PESQUISAS DE ORIGEM E DESTINO NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE

Mauricio Renato Pina Moreira
Universidade Federal de Pernambuco
Universidade Católica de Pernambuco
Grande Recife Consórcio de Transporte
Sideney Schreiner
Instituto da Cidade Pelópidas Silveira
Prefeitura da Cidade do Recife

RESUMO
As pesquisas de origem e destino são um importante instrumento para o planejamento do sistema de transportes de uma cidade. A Região Metropolitana do Recife já havia sido palco de duas pesquisas dessa natureza, nos anos de 1972 e 1997. Os elevados custos dessas pesquisas e a necessidade de atualização periódica dos seus resultados fizeram com que fosse desenvolvida na cidade do Recife uma metodologia inovadora, considerando os motivos de viagem mais importantes, a saber, trabalho e educação. O modelo objetiva conhecer os padrões das viagens a partir da participação de Polos Geradores de Viagens na realização de pesquisa sobre os deslocamentos realizados, mediante o preenchimento de formulário eletrônico por ocasião da matrícula dos alunos e a obrigatoriedade de respostas pelas empresas que causam impactos ambientais ou de tráfego. Obtém-se, então, um conhecimento detalhado dos deslocamentos das pessoas, a um custo muito inferior ao da metodologia usada nas pesquisas convencionais.

1. INTRODUÇÃO

Há uma tradição de pioneirismo da cidade do Recife e da sua Região Metropolitana (RMR) nas questões de planejamento urbano e de transportes. Em termos de pesquisas de origem e destino no espaço metropolitano, já haviam sido realizadas duas desde o ano de 1972, conforme é apresentado nos capítulos seguintes. Atualmente, está sendo aplicada a metodologia de uma nova pesquisa da mesma natureza e que utiliza uma tecnologia avançada, com o objetivo de permitir a elaboração do Plano de Mobilidade da cidade do Recife e da RMR.

2. A PRIMEIRA PESQUISA DE ORIGEM E DESTINO NA RMR (1972)

O Estudo de Transportes do Grande Recife foi elaborado em 1972 pela empresa Wit-Olaf Prochnik Arquitetura e Planejamento S.C.L., contratada pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE. Naquele estudo, foi realizada a primeira Pesquisa Domiciliar de Origem e Destino na região, com 166 zonas de tráfego, às quais foram acrescentadas mais nove zonas apenas de atração de viagens, correspondentes aos distritos industriais localizados na área rural, totalizando, portanto, 175 zonas. Outras vinte zonas foram criadas com o objetivo de permitir as projeções para os anos de 1980 e 2000, distribuídas de acordo com as alternativas de desenvolvimento formuladas.

A definição das zonas de tráfego foi baseada nos setores censitários definidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Cada zona de tráfego consistiu no agrupamento de oito a dez setores censitários formando uma área contínua, sem ser cortada por barreiras naturais do tráfego, com forma o mais regular possível (próxima a um quadrado), com população em torno de 10.000 habitantes (5.000 na área central do Recife) e com uso do solo homogêneo. Essas zonas de tráfego foram agrupadas em 49 distritos, permitindo a obtenção das matrizes de viagens correspondentes ao ano de 1972.

As pesquisas que deram origem ao Estudo de Transportes do Grande Recife foram realizadas

durante o período de julho a outubro de 1972 e compreenderam a pesquisa domiciliar com 8.480 entrevistas que forneceram informações socioeconômicas e de descrição das viagens; seu complemento para 5% dos proprietários de automóveis, com 530 domicílios pesquisados; entrevistas com proprietários de caminhões, em número de 464, não cobertos pela pesquisa domiciliar; a pesquisa do tráfego externo ("*cordon-line*"), com contagem de veículos e de passageiros em cinco postos de contagem, com o objetivo de conhecer as viagens com origem e/ou destino fora da área de estudo; a pesquisa do tráfego interno ("*screen-line*") em dez postos de contagem, com a finalidade de aferir os resultados das entrevistas domiciliares; pesquisas de origem e destino no interior de ônibus em 133 linhas urbanas e em 23 linhas de longo percurso, com uma amostra média de 37%; e pesquisas de origem e destino no interior de trens, incluindo 3 linhas e uma amostra média de 43%. Essas duas últimas pesquisas tiveram por finalidade obter a definição das características das viagens nos transportes públicos de passageiros.

3. A SEGUNDA PESQUISA DE ORIGEM E DESTINO NA RMR (1997)

No ano de 1997, vinte e cinco anos depois da pesquisa contratada pela SUDENE e relatada no capítulo anterior, foi realizada, dessa vez pela Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos - EMTU/Recife, órgão gestor do Sistema de Transporte Público de Passageiros da RMR, uma nova pesquisa de origem e destino com base domiciliar na RMR. Até então, os resultados da pesquisa de 1972 ainda eram adotados como referência nos estudos de transportes urbanos na RMR, embora não mais retratassem os hábitos de deslocamento da população, devido ao longo tempo decorrido e à elevada dinâmica urbana. O recomendável seria a repetição dessa pesquisa a intervalos de no máximo dez anos, o que infelizmente deixou de ocorrer durante um quarto de século (de 1972 a 1997).

A pesquisa domiciliar de origem e destino de 1997 foi realizada em duas etapas: a primeira, de abril a junho e a segunda durante os meses de agosto e setembro. Houve uma paralisação no mês de julho, devido ao período de férias escolares que descaracterizaria os padrões de deslocamento.

Foi considerada a existência naquela ocasião de cerca de 737.000 domicílios na RMR com cadastro junto à concessionária de energia elétrica. Em consequência, foram realizadas entrevistas em 10.980 domicílios, o que corresponde a uma amostra da ordem de 1,5%. Essa amostra foi dimensionada de acordo com o critério de Neymann e garantiu erros amostrais de no máximo 9% e um nível de confiança de 95% para as estimativas de viagens, habitantes e renda média familiar mensal em cada uma das 249 zonas de tráfego em que foi dividida a RMR. Para facilitar a aplicação dos resultados, as 249 zonas foram divididas em 51 macrozonas internas e 4 macrozonas externas.

Como era prática usual, o trabalho se baseou em três tipos de pesquisas. A primeira consistiu nas entrevistas realizadas junto aos ocupantes de cada um dos 10.980 domicílios sorteados junto ao cadastro de consumidores residenciais da concessionária de energia elétrica. A segunda correspondeu às pesquisas na linha de contorno ("*cordon-line*"), com 6 postos de contagem e a terceira às pesquisas do tráfego interno ("*screen-line*"), com 12 postos de contagem em pontes sobre o rio Capibaribe, este utilizado como linha divisória natural. Em cada entrevista, foram levantados dados socioeconômicos sobre o domicílio e obtidas informações detalhadas sobre todas as viagens realizadas no dia imediatamente anterior por todos os residentes (com idade mínima de 5 anos) no imóvel. São comentados a seguir alguns

dos inúmeros resultados obtidos pela pesquisa de 1997, que incluíram também as matrizes de origem e destino entre as diversas zonas de tráfego, por modo de transporte utilizado.

Verificou-se que o total de deslocamentos diários na RMR era na ocasião de cerca de 5.200.000 e os três principais modos utilizados (ônibus urbano, automóvel e a pé) representavam em conjunto aproximadamente 88,1% do total.

Quanto à duração média das viagens, constatou-se que os tempos médios de viagem dos usuários do transporte coletivo e do transporte individual eram de respectivamente 43 minutos e 28 minutos, o que significa dizer que as viagens dos primeiros eram cerca de 54% mais demoradas. Verificou-se ainda que o tempo médio de duração das viagens a pé era de 16 minutos. Considerando a velocidade do pedestre da ordem de 4,8 km/h, conclui-se que a distância média das viagens a pé era de cerca de 1,3 km.

Um comparativo das pesquisas de 1972 e 1997, a respeito dos motivos da viagem no destino, embasa um dos conceitos teóricos da metodologia que está sendo atualmente empregada na cidade do Recife, conforme é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Comparativo entre os motivos da viagem no destino (RMR, 1972 e 1997)

Motivo no Destino	1972	1997
	%	%
Trabalho	38,8	38,4
Estudo	35,4	35,1
Assuntos Pessoais/Negócios	7,8	11,0
Levar/Trazer passageiros p/Trabalho/Estudo	(*)	2,7
Saúde	2,4	3,8
Compras	3,0	3,6
Lazer	2.4	2,4
Visitas	2,6	(*)
Almoço	6,0	(*)
Outros	1,5	3,0
Total	100,0	100,0

(*) Dado não pesquisado.
Fontes: relatórios das pesquisas de origem e destino na RMR (1972 e 1997)

Observa-se que a participação das viagens com motivo de trabalho permaneceu praticamente inalterada, mesmo após a defasagem de 25 anos entre as duas pesquisas. A mesma conclusão pode ser obtida com relação às viagens com motivo de estudo.

A soma das participações de viagens com motivo de trabalho e de estudo alcançou 82% no ano de 1972, ao se incluir aquelas com motivo de assuntos pessoais e negócios. Já no ano de 1997, essa soma atingiu 87,2%, ao também considerar as viagens com o motivo de levar ou trazer passageiros para trabalho ou estudo.

Ou seja, sem prejuízo de também inserir na metodologia os demais motivos (saúde, compras, lazer etc), a metodologia apresentada nos capítulos seguintes contempla um percentual muito expressivo de viagens, o que fortalece os seus resultados.

4. A TERCEIRA PESQUISA DE ORIGEM E DESTINO NO RECIFE (2015/2016)

Em 2012, a Política Nacional de Mobilidade Urbana, instituída pela Lei Federal nº 12.587, estabeleceu, além das diretrizes para a mobilidade urbana no Brasil, a exigência de Planos de Mobilidade Urbana para todos os municípios com população igual ou superior a 20 mil habitantes e em todos os demais obrigados, na forma da lei, à elaboração do plano diretor. Essa exigência veio acompanhada de ação punitiva às cidades que violassem a lei federal, na forma de bloqueio ao acesso a recursos do orçamento federal da pasta de mobilidade urbana. Entretanto, a lei não previu qualquer forma de financiamento para o desenvolvimento dos planos municipais de mobilidade urbana ou para a realização das diversas pesquisas necessárias para sua realização. O custo para a realização da pesquisa no Recife foi estimado em mais de R$ 6 milhões.

A proposição de uma nova metodologia para a realização da Pesquisa de Origem e Destino ocorreu em decorrência de dois principais fatores: (a) a grave situação econômica enfrentada pelo Município e pelo Estado; e (b) a necessidade de modernizar o processo de coleta de dados de mobilidade e incorporá-lo à rotina da cidade.

Desta forma, foi desenvolvida uma metodologia de coleta de dados focada em diferentes grupos, com o objetivo de garantir a abrangência da pesquisa nos diferentes estratos sociais bem como garantir a cobertura espacial necessária para validação da amostra coletada a partir dos mesmos critérios do formato tradicional de entrevistas domiciliares. A metodologia se baseia na ação direta junto aos pais de alunos de escolas municipais, estaduais e públicas, estudantes de instituições de ensino superior públicas ou particulares, funcionários/colaboradores de empresas privadas e servidores públicos. Nesta primeira edição da nova pesquisa de origem e destino, os esforços foram direcionados aos deslocamentos com motivos trabalho e estudo, que representam entre 80% e mais de 85% das viagens diárias, com base nos resultados das pesquisas anteriores (1972 e 1997) na RMR e em pesquisas de outras cidades no Brasil e no exterior.

A Política Nacional de Mobilidade Urbana em seu Art. 5º, inciso VII, estabelece o princípio da justa distribuição dos benefícios e ônus decorrentes do uso dos diferentes modos e serviços; e no Art. 7º, inciso IV, o objetivo de promover o desenvolvimento sustentável com a mitigação dos custos ambientais e socioeconômicos dos deslocamentos de pessoas e cargas nas cidades. Considerando esses dois artigos, foi elaborada uma legislação municipal que tornou obrigatória a participação dos Polos Geradores de Viagens (PGVs) na pesquisa de origem e destino. Dessa forma, seja pelo acesso dos seus próprios funcionários, colaboradores, alunos e servidores, ou pelo acesso dos seus fornecedores e clientes, as instituições públicas e privadas que se beneficiam diariamente da infraestrutura de mobilidade para seu funcionamento, passaram a ter responsabilidade de cooperar com o processo de pesquisa. A estratégia de utilizar a legislação para garantir a participação na pesquisa foi adotada após diversas rodadas de negociação com os principais PGVs do município, de forma a minimizar o impacto da obrigatoriedade gerada pela lei. As seções a seguir detalham a metodologia e a aplicação da pesquisa.

4.1. O conceito

O conceito fundamental da metodologia proposta é substituir as entrevistas domiciliares por um formulário eletrônico, de forma a eliminar a necessidade de um grande contingente de pesquisadores e reduzir o intervalo entre pesquisas consecutivas.

4.2. Instrumento de pesquisa

Um formulário eletrônico, hospedado no portal da Prefeitura do Recife, foi utilizado como instrumento de pesquisa. As perguntas foram formuladas com base nas tradicionais perguntas das entrevistas domiciliares ajustadas para serem mais facilmente compreendidas pelo respondente, já que não haveria um entrevistador para auxiliá-lo. O formulário não solicitava a identificação do respondente, entretanto, o sistema coletava automaticamente o IP (Internet Protocol) do computador, a data e o horário da resposta.

De forma a permitir a auditoria do cumprimento da Lei de Informação de Mobilidade, ao finalizar as respostas, o sistema gera um Comprovante de Participação, que inclui um número de protocolo único.

O formulário era composto de 55 perguntas no total, que eram apresentadas ao respondente em blocos condicionados às respostas recebidas. Por exemplo, se o respondente selecionasse a resposta “Sim” na pergunta “Você trabalha?”, as perguntas relacionadas às viagens com motivo trabalho eram apresentadas e, em caso contrário, as perguntas permaneciam ocultas.

4.3. Validação da amostra

Um paralelo pode ser feito para comparação da metodologia proposta com a tradicional entrevista domiciliar. Nesta, a área a ser pesquisada é dividida em Zonas de Tráfego, cujas quantidades de domicílios, as populações e respectivas distribuições de faixa de renda são utilizadas para determinação das amostras necessárias em cada uma dessas zonas, em termos de domicílios a serem pesquisados. Na metodologia proposta, o processo considera apenas a população e a faixa de renda, podendo considerar também a distribuição de idades, determinando as quantidades de pessoas por faixa de renda e idade que devem ser pesquisadas em cada zona de tráfego.

A principal diferença, entretanto, está na forma como essas amostras por zona são trabalhadas. Na entrevista domiciliar, o pesquisador recebe a lista de endereços dos domicílios que deverão ser pesquisados. Seu objetivo é atingir 100% daquela lista. Quando um domicílio da lista não pode ser pesquisado, um novo domicílio deve tomar seu lugar na lista, garantindo a amostra. Diversas razões podem levar a essa substituição: por exemplo, o domicílio pode ter sido convertido em comércio, ou simplesmente não há ninguém disponível no domicílio para responder a pesquisa naquele período. Na metodologia proposta, a partir de um determinado momento, são gerados relatórios periódicos sobre a quantidade de respostas, cujas respectivas zonas de tráfego são determinadas a partir do endereço residencial informado. Metas intermediárias de atendimento da amostra são utilizadas para o acompanhamento da evolução do número de respostas por zona de tráfego. Ações específicas de divulgação e promoção da pesquisa são acionadas nas zonas que não atingem as metas intermediárias, buscando aumentar a participação nessas zonas.

A primeira edição da pesquisa utilizando essa metodologia mostrou uma significante participação da sociedade de todas as classes de renda e de idade, atingindo mais de 100% da amostra calculada em mais de 70% das zonas de tráfego sem a necessidade de ações de reforço.

A metodologia proposta permitiu a obtenção de informações relativas a pessoas residentes

fora da área de estudo que desenvolvem atividades de trabalho ou estudo naquela área. Esse resultado, inédito para uma pesquisa de origem e destino, permite a análise das viagens de caráter externo-interno, anteriormente objeto da pesquisa da linha de contorno ("*cordon-line"*).

Ao total foram recebidas 61.032 respostas, abrangendo informações de deslocamentos de 84.220 pessoas, incluindo informações sobre os filhos/filhas dos respondentes que estudam no ensino fundamental e médio.

4.4. Validação das respostas individuais

A utilização de uma lei como instrumento de coerção para garantir a participação dos PGVs traz consigo a possibilidade de tentativas de fraude com o objetivo de gerar comprovantes de participação sem a efetiva participação dos funcionários, alunos ou servidores.

Assim, para garantir a qualidade dos dados recebidos, foi desenvolvido um procedimento de validação individual de cada resposta. Neste procedimento, são avaliadas as respostas de cada pergunta, buscando incoerências que levariam ao descarte da resposta e, adicionalmente, a comparação daquela resposta com todas as outras respostas já existentes no banco de dados, principalmente com relação ao IP de onde a resposta se originou e a data e horário da resposta. Dessa forma, tentativas de fraude baseadas na submissão de respostas idênticas repetidamente foram facilmente identificadas e descartadas.

No total, foram descartadas 3,92% das respostas recebidas, mostrando um excelente resultado em termos de qualidade dos dados.

4.5. Resultados

Alguns dos resultados obtidos na Pesquisa de Origem e Destino do Recife 2015/2016 são apresentados a seguir, considerando os motivos de viagem trabalho e educação.

Na Figura 1, são apresentados os resultados de deslocamentos, considerando a participação de cada modo de transporte para cada faixa de renda.

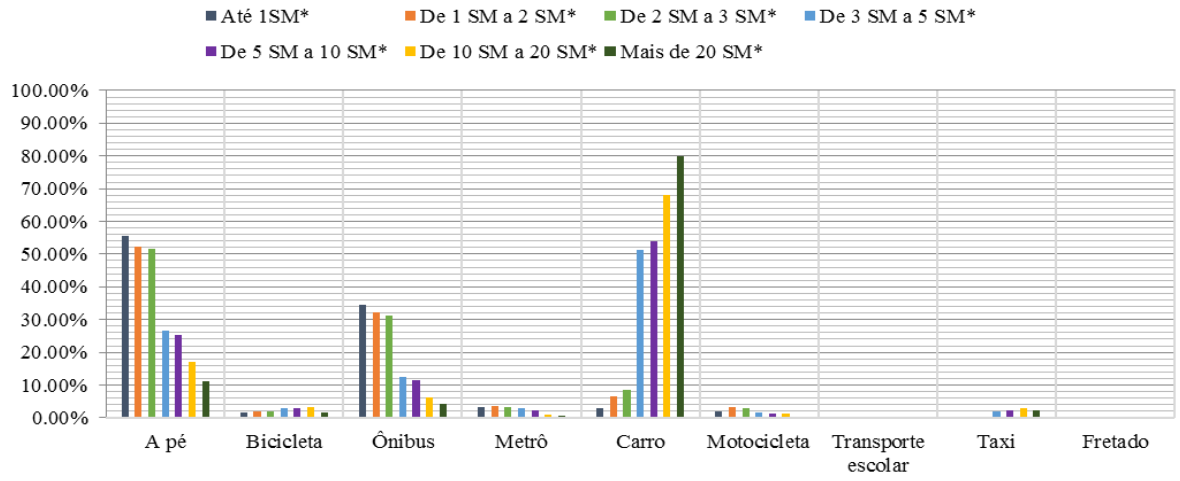


Figura 1: Resultado expandido para a população da participação de cada modo de transporte segundo as faixas de renda nos deslocamentos diários para o trabalho.

Nessa avaliação, especificamente para o transporte público, são contabilizadas as viagens a pé até o primeiro embarque e após o desembarque final. As viagens integradas do transporte público (ônibus+ônibus e ônibus+metrô) consideraram um deslocamento para cada trecho da viagem. Dessa forma, uma viagem ônibus+metrô+ônibus totalizou 2 deslocamentos a pé, 2 deslocamentos por ônibus e 1 deslocamento por metrô.

Os resultados dos deslocamentos baseados na faixa de renda e com motivo Trabalho se assemelharam bastante aos resultados de deslocamentos com motivo Estudo. No motivo Trabalho, porém, além do destaque para aqueles com faixa de renda de mais de 20 salários mínimos (SM) que utilizam o carro (79,96%), os respondentes com renda de 10 a 20 SM também se destacaram na utilização do veículo, com representação de quase 70% do total destes. A bicicleta se manteve entre 1 a 3% em todas as faixas de renda e o metrô apresentou uma representatividade pouco maior em todas as faixas de renda pelo motivo Trabalho. O modo a pé e o ônibus foram indicados como os mais utilizados por pessoas com renda de até 3 salários mínimos, em que o primeiro indicou percentuais entre 51 e 55% em cada grupo e o segundo, 31 a 34%.

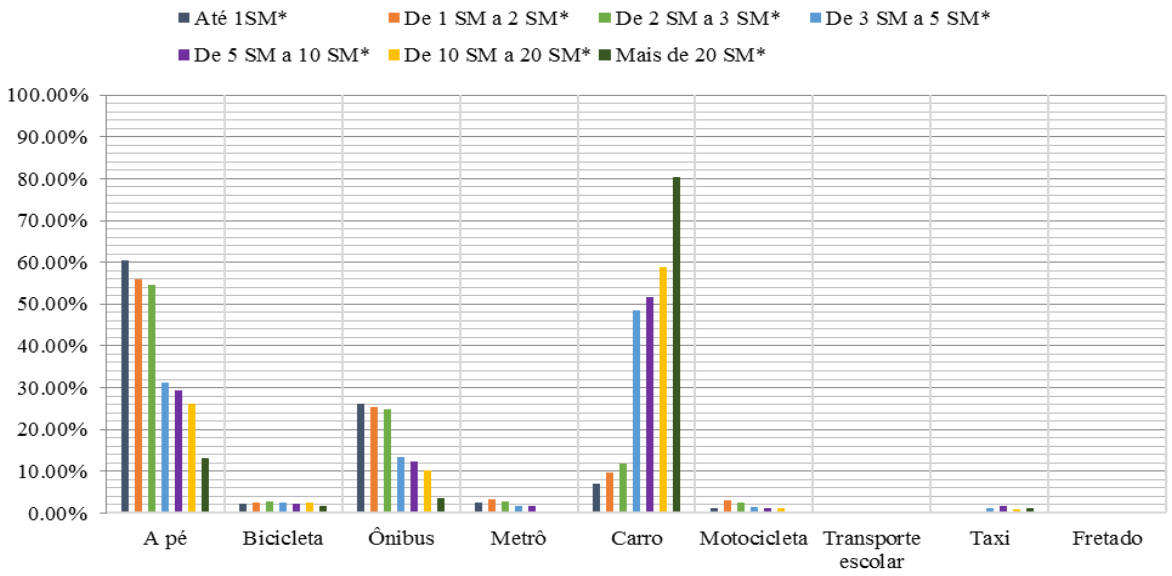


Figura 2: Resultado expandido para a população da participação de cada modo de transporte segundo as faixas de renda nos deslocamentos diários para o estudo.

Com foco na faixa de renda dos respondentes, os dados que indicaram os deslocamentos dos respondentes com motivo Estudo deram destaque ao carro, ao modo a pé e ao ônibus. Dentro dos que ganham mais de 20 salários mínimos, 80,47% indicaram utilizar o carro, enquanto aqueles que ganham até 3 SM não passaram de 12% e os que ganham de 3 a 20 SM não ultrapassaram porcentagens de 60%, tendo então, aqueles com renda mais alta (em comparação aos outros), grande destaque em relação ao uso do carro. O modo a pé de deslocamento no motivo Estudo revelou-se o mais utilizado entre os que possuem até 3 salários mínimos, com indicadores entre 54 a 60%, seguido do ônibus, que apresentou porcentagens de 24 a 26%.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia usada na pesquisa de origem e destino no Município do Recife, pelo êxito

alcançado, está sendo estendida para toda a RMR, com os objetivos de:
(i) oferecer a cada um dos treze municípios restantes que a compõem um substancial auxílio na elaboração dos seus respectivos Planos Municipais de Mobilidade, para fins de atendimento ao que estabelece a Lei Nacional da Mobilidade Urbana. Considere-se, a esse respeito, que as pesquisas de origem e destino correspondem a cerca de 60% dos custos referentes ao plano de mobilidade;
(ii) permitir a elaboração de um Plano Metropolitano de Mobilidade ou de Transporte, ao se considerar as características da RMR, na qual existe uma forte conurbação entre os municípios, não se percebendo praticamente a caracterização dos limites territoriais entre eles. Como outra peculiaridade, a população do Município do Recife, de acordo com a estimativa de população do IBGE para o ano de 2016, é de apenas cerca de 41,3% da população da RMR, o que faz com que sejam muito fortes os deslocamentos entre os municípios e a capital. O plano metropolitano vem assim suprir uma lacuna da Lei Nacional da Mobilidade Urbana, que passou a exigir apenas os planos municipais, ao deixar de considerar os planos para regiões metropolitanas ou aglomerados urbanos.

Como principais aspectos positivos da nova metodologia proposta, podem ser destacados:
1) economicidade - Os seus custos são muito inferiores aos da metodologia tradicional, em especial por prescindir das entrevistas domiciliares;
2) atualizações permanentes - Ao contrário da metodologia tradicional que, pelas suas características, teve interregnos de, pelo menos 20 anos, a aqui apresentada permite atualizações permanentes por parte das pessoas, das empresas e dos estabelecimentos de ensino;
3) participação - As pessoas podem livremente participar da pesquisa, demonstrando assim o seu interesse em colaborar na melhoria da mobilidade urbana;
4) uso de tecnologia avançada - Todo o procedimento da nova metodologia, conforme descrito, usa intensamente recursos avançados de tecnologia;
5) inovação - Toda a metodologia foi desenvolvida em caráter inovador, o que certamente possibilitará o seu pleno aperfeiçoamento.

Destaque-se ainda que, enquanto a pesquisa de origem e destino de 1997 alcançou uma amostra de cerca de 55.000 pessoas entrevistadas (10.980 domicílios) em toda a RMR, a realizada em 2015/2016 apenas no Município do Recife teve respostas referentes aos deslocamentos de mais de 84.000 pessoas.

Como limitações à nova metodologia, pode-se indicar a ausência do registro de viagens realizadas por outros motivos que não sejam trabalho e estudo. No entanto, o aperfeiçoamento que certamente advirá do seu refinamento poderá ampliar o universo pesquisado, de modo a alcançar praticamente a totalidade das viagens.

ANÁLISE DA OPERAÇÃO ANTES E DEPOIS DA IMPLANTAÇÃO DE FAIXAS EXCLUSIVAS PARA ÔNIBUS EM AVENIDA DA CIDADE DE FORTALEZA

Larissa Almeida Matias de Lima Batista
Juliana Brito Barbosa
Universidade Federal do Ceará
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes

RESUMO
Para superar a crise da mobilidade urbana, a priorização do transporte coletivo se faz necessária. Uma das medidas possíveis é a implantação de faixas exclusivas de ônibus que contribuem para o aumento da velocidade operacional, redução dos custos e melhoria da qualidade dos serviços ofertados. O objetivo deste trabalho é fazer uma análise operacional do corredor de ônibus da avenida Antônio Sales na cidade de Fortaleza. A análise tem como foco a movimentação de pessoas pelo transporte público e pelo transporte particular. Serão analisados aspectos como a velocidade instantânea e velocidade média dos veículos em um trecho da avenida, para ambos os modos. A análise está apoiada nos bancos de dados da ETUFOR e da TRANA, de fiscalização eletrônica. Os resultados mostram uma diminuição do tempo de viagem, aumento da velocidade média dos automóveis, aumento da velocidade média dos ônibus e redução do fluxo de veículos no início do trecho estudado.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Vasconcellos (2000), as cidades de países em desenvolvimento apresentam muitos problemas de mobilidade que são agravados pela carência de investimentos no transporte público urbano. Este contexto não é diferente na cidade de Fortaleza, onde ainda se observa limitadas opções de transportes oferecidas à população, sendo o ônibus o principal meio de transporte público na cidade.

Nos últimos anos a Prefeitura de Fortaleza passou a investir em diversos projetos e obras relacionadas à mobilidade em decorrência, principalmente, da Política Nacional de Mobilidade Urbana (BRASIL, 2012) e das demandas da Copa do Mundo FIFA 2014. Nessa conjuntura, surge em março de 2014 o Plano de Ações Imediatas de Transporte e Trânsito – PAITT, que integra um conjunto de iniciativas na estrutura viária existente; dentre elas, a implantação de faixas e corredores exclusivos de ônibus.

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo comparar a operação antes e depois da implantação da faixa exclusiva de ônibus na avenida Antônio Sales, levantando discussões sobre os principais aspectos operacionais associados a esse tipo de intervenção que são a velocidade de operação, o tempo de viagem e o fluxo na via.

2. CORREDORES DE TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS

Um estudo realizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2012) observou que 41% da população dos municípios do Brasil acima de 100 mil habitantes considera o transporte público como “ruim” ou “muito ruim”. Além disso, 48% da população das grandes cidades brasileiras discorda que o transporte público de sua cidade permite que as pessoas se desloquem com facilidade por todo o município.

Segundo Vuchic (2005), as principais intervenções físicas adotadas na qualificação e priorização do transporte público são: separação absoluta do fluxo de tráfego; separação física do fluxo de tráfego (corredores tipo BRT - *Bus Rapid Transit*); e separação parcial do fluxo de tráfego (ônibus e outros veículos). Nessa última categoria, a faixa exclusiva pode ser considerada como um dos tipos mais comuns de intervenção utilizada em todo o mundo,

destinam-se à circulação dos veículos do transporte público e permitem, em condições limitadas, a interferência do tráfego dos veículos particulares. Este tipo de corredor é geralmente implantado junto ao meio-fio, na faixa da direita da via, e permite ao usuário do veículo particular acessar essa faixa quando houver necessidade de fazer a conversão à direita ou ter acesso aos lotes lindeiros à via.

As faixas exclusivas para ônibus têm sido implantadas no sentido de priorizar o transporte coletivo. Essa medida foi implantada com o objetivo de racionalizar o sistema de transporte público e, consequentemente, aumentar a velocidade das viagens do transporte coletivo e reduzir o tempo de viagem dos usuários. Para que se garanta essa prioridade efetiva, um conjunto de atributos são utilizados, principalmente sinalização vertical e horizontal, comunicação com usuários e fiscalização preferencialmente com a implantação de câmeras de monitoramento (MCIDADES, 2006).

Além dos benefícios citados anteriormente, algumas outras características do sistema de corredores exclusivos para ônibus são esperadas, tais como: maior fluidez na circulação viária para ônibus; racionalização da operação com a otimização da frota, a redução de viagens e o aumento da ocupação média dos ônibus; redução do consumo de combustíveis e emissões de poluentes, além de gerar um impacto positivo na mobilidade da cidade (MCIDADES, 2006).

Essa medida também possui uma série de vantagens que contribuem para sua implantação: não há necessidade de desapropriações, o baixo custo de implantação (de 100 mil a 500 mil reais por quilômetro), utilização dos ônibus já em operação na cidade, redução do consumo de combustível (até 30%) e emissão de poluentes (até 40%), redução de até 40% no tempo de viagem, revitalização da área de intervenção e impacto positivo na mobilidade (NTU, 2013). Existe uma variedade de medidas de desempenho que têm sido desenvolvidas para descrever diferentes níveis serviço de trânsito. Estas medidas podem ser organizadas em categorias específicas, as quais são: disponibilidade, serviço de monitoramento, tempo de viagem, proteção e segurança, manutenção e construção, economia e capacidade (TRB, 2003).

3. MÉTODO DE ANÁLISE

O método proposto foi dividido em quatro etapas. O primeiro passo é a seleção da amostra que será utilizada para as etapas sequentes. Depois analisa-se a velocidade instantânea em dois pontos da via, seguida pela análise da velocidade média no trecho, bem como do fluxo e quantidade de passageiros transportados. Utiliza-se um total de observações suficientes para um tratamento estatístico, considerando a premissa de que a variável velocidade média tende a distribuição normal, e com isso será possível utilizar o teste T-*Student*.

3.1. Seleção da amostra

Para analisar a operação da faixa exclusiva de ônibus e os seus impactos, será necessário utilizar duas amostras; uma referente ao cenário anterior à implantação da faixa e outra referente ao cenário após a intervenção. Em seguida, seleciona-se o período de avaliação, abrangendo os dois cenários. Finalmente, serão analisados apenas dias típicos, de terça a quinta-feira.

O trecho analisado deve ser representativo, a seleção será baseada na disponibilidade de dados captados pelo fotossensor naquele determinado trecho. Diante disso, seleciona-se o trecho que tenha maior fluxo, com a finalidade de avaliar de maneira mais sensível os efeitos decorrentes da implantação da faixa exclusiva.

3.2. Análise da velocidade instantânea

Depois de escolher o trecho que será analisado, serão avaliadas as velocidades instantâneas, antes e depois, no início e no fim do trecho escolhido a fim de observar se a amostra sugere a existência de mudanças ou não devido à implantação da faixa exclusiva.

3.3. Análise da velocidade média

Em seguida, será feita a comparação entre a velocidade média dos dois cenários, tanto para os ônibus como para os automóveis. Além disso, também será feito um teste T para verificar se há indícios estatísticos para inferir que houve a melhoria esperada no desempenho do transporte coletivo (ganho de velocidade em pelo menos 40%).

3.4. Análise do fluxo

Para a análise do fluxo da via em estudo, antes (2014) e após (2015) a implantação da faixa exclusiva de transporte público, utilizar-se-á a variável média de veículos nas três faixas existentes na via. Esta variável será escolhida de forma que, ao longo dos dias utilizados para análise, obtenha-se um número suficiente de observações para a utilização do teste T.

4. APLICAÇÃO DO MÉTODO

4.1. Seleção da amostra

A faixa exclusiva para ônibus foi implantada no início de novembro de 2014 na av. Antônio Sales. O trecho para análise compreende as interseções da av. Antônio Sales com as avenidas Barão de Studart e Virgílio Távora, totalizando uma seção de 1500 metros. Em cada interseção há um equipamento de fiscalização eletrônica, os quais fornecem os dados para as velocidades dos automóveis e cálculo do fluxo de veículos.



Figura 1: Localização do trecho em estudo.

Para viabilizar o estudo, escolheu-se o período de pico, delimitando-se o horário de 7h às 9h da manhã para análise das velocidades instantâneas "antes da implantação" e "depois da implantação", tanto para ônibus como para os demais veículos. Optou-se em utilizar os dias de terça-feira a quinta-feira por serem dias típicos. Para o cenário antes da implantação, trabalhou-se com os dias 11, 17 e 18 de setembro de 2014. Optou-se em utilizar o último mês em que se teria uma operação normal na via, uma vez que em outubro provavelmente já haveria alguma intervenção. Para o cenário depois da implantação, trabalhou-se com os dias 10 e 17 de março de 2015; tempo suficiente para os usuários da via se adaptarem à

modificação advinda da faixa exclusiva. Essas datas foram definidas de acordo com a disponibilidade de dados. Após os dados tratados para os dois cenários, calculam-se as velocidades médias no trecho e o fluxo da avenida.

4.2. Análise da velocidade instantânea dos veículos

Na av. Barão de Studart, serão coletados os dados: i) horário início e, ii) velocidade instantânea inicial. Na av. Virgílio Távora, serão coletados os dados: i) horário final e, ii) velocidade instantânea final.

Com isso têm-se as velocidades instantâneas no início do trecho (av. Barão de Studart) e no final do trecho (av. Virgílio Távora), para antes e depois da implantação. As amostras contém 11.014 observações para a situação antes e 11.584 observações para a situação depois, então considera-se que as amostras podem ajudar a compreender o fenômeno em estudo.

Uma melhor análise desses dados pode ser feita através de um gráfico de caixa, ou *boxplot*. A elaboração do *boxplot* é feita mediante os dados máximo e mínimo de velocidade instantânea, e com o cálculo da mediana e dos primeiro e terceiro quartis (Q1 e Q3). Esses dados são apresentados na Tabela 1 e representados graficamente nas Figuras 1 e 2:

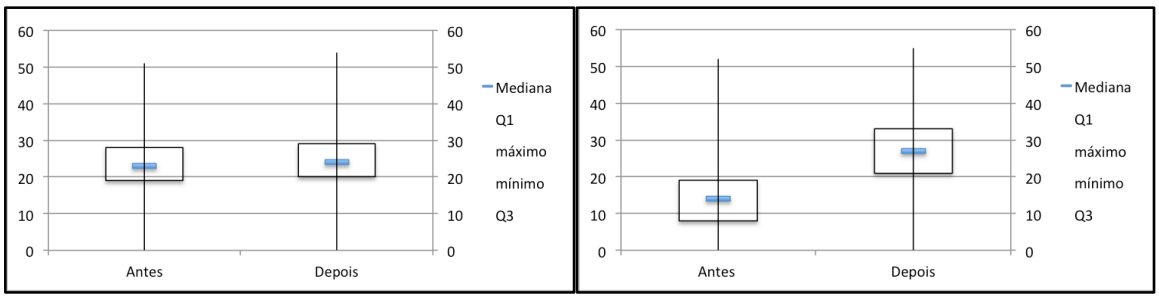


Figura 2: Velocidades instantâneas nos cruzamentos com Av. Barão de Studart (início do trecho) à esquerda e Av. Sen. Virgílio Távora (final do trecho) à direita, antes e depois da implantação da faixa exclusiva.

Tabela 1: Dados das velocidades instantâneas na Barão de Studart e Virgílio Távora.

Av. Barão de Studart		
	Antes	Depois
Mediana	23	24
Q1	19	20
Máximo	51	54
Mínimo	0	0
Q3	28	29

Av. Virgílio Távora		
	Antes	Depois
Mediana	14	27
Q1	8	21
Máximo	52	55
Mínimo	0	0
Q3	19	33

A partir das amostras selecionadas, percebe-se um aumento nas velocidades instantâneas dos automóveis no início e no final do trecho estudado depois da implantação da faixa exclusiva para ônibus, principalmente na interseção da Av. Virgílio Távora.

4.3. Análise da velocidade média

4.3.1. Automóveis

No intuito de aprofundar esta análise, calcula-se a velocidade média dos automóveis fazendo uma nova filtragem nos dados. Primeiramente, limita-se a amostra para os veículos que obrigatoriamente percorreram todo o trecho, através da identificação do carro pela placa nos dois equipamentos, e o segundo limitador é o tamanho do veículo para até 5,5 metros, de

modo a evitar que vans, transporte escolar (veículos também permitidos a trafegar na faixa exclusiva) e ônibus entrem na amostra.

Esta análise permite o levantamento do tempo de viagem, e como o trecho tem 1500 metros, chega-se nos valores de velocidade média para cada automóvel observado. Para a amostra "antes" foram observados 158 automóveis, já para a amostra "depois" foram observados 257 automóveis. Portanto, temos os seguintes valores para as amostras:

Tabela 2: Análise dos dados para velocidade média.

Amostra	Antes	Depois
Média	8,09	17,48
Desvio padrão	2,33	7,97

Considerando n>30, admite-se que a variável média segue distribuição normal pelo Teorema do Limite Central. Tem-se a premissa de que as amostras são aleatórias simples e independentes; dessa forma, é possível aplicar a inferência estatística através de testes de hipóteses com distribuição T e nível de confiança de 95%. Como μ_1 e μ_2 são as velocidades médias das populações antes e depois, respectivamente, as duas hipóteses para o teste T são:

H_0: $\mu_2 \leq \mu_1$

H_a: $\mu_2 > \mu_1$

Portanto, H_0 será rejeitada se $T_{amostra} > T_{crítico}$. Com o nível de significância α=0,05 e o teste sendo unicaudal, tem-se que $T_{crítico} = T_{\alpha\ ;\ gl.}$; isto é, $T_{crítico}$= - 1,65. Após os cálculos, chega-se ao valor de -17,69 para o $T_{amostra}$ que representa um valor muito menor do que o $T_{crítico}$ de -1,65. Dessa forma, resulta na rejeição de H_0 com 95% de confiança. Portanto, há indícios para acreditar que $\mu_2 > \mu_1$; isto é, que houve aumento da velocidade média dos automóveis.

4.3.2. Ônibus: comparação entre antes e depois

Deseja-se verificar se a implantação da faixa exclusiva de ônibus trouxe ganhos em relação à velocidade operacional do transporte coletivo. Para isso, buscou-se dados de velocidade média dos ônibus das duas situações estudadas: antes e depois da implantação da faixa exclusiva no trecho analisado. Essa informação foi disponível devido à existência de *GPS* nos ônibus que possibilita detectar vários pontos do veículo durante o percurso e, por meio da diferença do tempo para chegar até outro ponto, obtém-se a velocidade média deles.

Para a amostra "antes" foram observados 117 ônibus, já para a amostra "depois" foram observados 103. A partir disso, foram obtidos a velocidade média e o desvio padrão para as duas situações, conforme Tabela 2:

Tabela 3: Dados de velocidade média dos ônibus.

Amostra	Antes	Depois
Média	10,07	14,46
Desvio	4,27	6,26
n	117	103

Com o intuito de realizar inferências estatísticas sobre as médias de duas populações, considera-se as seguintes premissas: amostras independentes; amostras aleatórias simples; Vm_1 (velocidade média antes da implantação) e Vm_2 (velocidade média depois da implantação) seguem a distribuição normal.

Como se deseja verificar se existem indícios estatísticos que apontam a melhoria na velocidade operacional, esta deve ser a hipótese alternativa. Também será utilizado o nível de significância de 5%. Desse modo, tem-se:

H_0: $\mu_2 \leq \mu_1$

H_a: $\mu_2 > \mu_1$

Com o nível de significância α=0,05, tem-se que $T_{crítico} = T_{\alpha/2\ ;\ gl}$, ou seja, $T_{crítico}$= -1,66. Após o cálculo, chegou-se ao valor de -5,99 para o $T_{amostra}$ que representa um valor muito menor do que o $T_{crítico}$ de -1,66. Visto que -5,99<-1,66, t está na região de rejeição de H_0. Portanto, a um nível de significância de 5%, a hipótese nula é rejeitada. Com isso, há indícios estatísticos para inferir que houve melhoria no desempenho operacional do transporte coletivo no trecho.

4.3.3. Ônibus: verificação do ganho de velocidade em pelo menos 40%

Analisando apenas as duas amostras encontradas, poderia se afirmar que de fato houve o ganho de pelo menos 40% na velocidade no trecho, uma vez que $Vm_2/Vm_1 = 1,436$; sugerindo que houve um aumento de 43% na velocidade dos ônibus no trecho analisado. Entretanto, são apenas duas amostras; para uma análise mais confiável, é necessário realizar inferências estatísticas. Com isso, tem-se:

H_0: $\mu_2 \leq 1,4\mu_1$

H_a: $\mu_2 > 1,4\mu_1$

Como o valor de μ_1 não é conhecido, torna-se necessário fazer uma estimativa de μ_1. Para isso, escolheu-se estimar o de valor μ_1 por meio de um intervalo de confiança bilateral para um grau de confiança de 95% ($T_{crítico}$ = 1,98). Com isso, obtém-se: [9,29 - 10,85].

i) Fazendo o teste T para μ_1 = 10,85, tem-se 40% como: 4,34.

H_0: $\mu_2 - \mu_1 \leq 4,34$

H_a: $\mu_2 - \mu_1 > 4,32$

Após o cálculo, chegou-se ao valor de -0,07 para o $T_{amostra}$ que representa um valor maior do que o $T_{crítico}$ de -1,66. Visto que -0,07>-1,66, t não está na região de rejeição de H_0. Portanto, a um nível de significância de 5%, a hipótese nula não é rejeitada. Com isso, não há indícios estatísticos suficientes para confirmar que houve uma melhora de 40% na velocidade média do transporte coletivo no trecho estudado depois da implantação da faixa exclusiva.

ii) Fazendo o teste T para μ_1 = 9,29, tem-se 40% como: 3,72. Resultando em:

H_0: $\mu_2 - \mu_1 \leq 3,72$

H_a: $\mu_2 - \mu_1 > 3,72$

Com o nível de significância de 5%, tem-se que $T_{crítico} = T_{\alpha/2\ ;\ gl}$, ou seja, $T_{crítico}$= -1,66. O $T_{amostra}$ é calculado pela fórmula da estatística de teste T. Após os cálculos, chegou-se ao valor de -0,91 para o $T_{amostra}$ que representa um valor maior do que o $T_{crítico}$ de -1,66. Visto que -0,91>-1,66, t não está na região de rejeição de H_0. Portanto, a um nível de significância de 5%, a hipótese nula não é rejeitada. Com isso, neste cenário, também não há indícios estatísticos suficientes para inferir que houve uma melhoria de 40% na velocidade média do transporte coletivo no trecho estudado depois da implantação da faixa exclusiva.

4.4. Análise do fluxo

Para finalizar a análise operacional da via em estudo, foi avaliado o fluxo da via antes (2014) e após (2015) a implantação da faixa exclusiva de transporte público. Para isso, foi utilizada a variável média de veículos nas três faixas existentes na via. Esta variável foi escolhida de forma que, ao longo dos dias utilizados para análise, obtenha-se um número suficiente de observações para a utilização do teste T.

A análise foi realizada em períodos de 10 minutos, resultando em 24 observações para antes e depois da implantação; com isso, foram obtidos os seguintes dados:

Tabela 4: Dados do fluxo de veículos na Barão de Studart e na Virgílio Távora

Barão de Studart				Virgílio Távora			
	Média	Desvio padrão	n		Média	Desvio padrão	n
Antes	290,0	31,78	24	Antes	161,67	46,66	24
Depois	232,3	24,61	24	Depois	258,13	38,03	24

A fim de verificar, por meio estatístico, se o comportamento do fluxo populacional seguiu o que as amostras sugerem, será necessário fazer um teste T. Com o intuito de realizar inferências estatísticas sobre as médias de duas populações, considera-se as seguintes premissas: amostras independentes; amostras aleatórias simples; F_1 (fluxo médio antes da implantação) e F_2 (fluxo médio depois da implantação) seguem a distribuição normal.

- **Barão de Studart**

Como se deseja verificar se existem indícios estatísticos para avaliar se houve redução no fluxo no ponto da Barão de Studart, esta deve ser a hipótese alternativa. Também será utilizado o nível de significância de 5%. Desse modo, tem-se:

H_0: $\mu_1 \leq \mu_2$

H_a: $\mu_1 > \mu_2$

Com o nível de significância de 5%, tem-se que $T_{crítico} = T_{0,95\ ;\ 23}$, ou seja, $T_{crítico} = 1,714$. O $T_{amostra}$ é calculado pela fórmula da estatística de teste T usada anteriormente (sendo $\Delta_0 = \mu_1 - \mu_2 = 0$). Após os cálculos, chegou-se ao valor de 7,04 para o $T_{amostra}$ que representa um valor muito maior do que o $T_{crítico}$ de 1,714. Visto que 7,04>1,714, t está na região de rejeição de H_0. Portanto, a um nível de significância de 5%, a hipótese nula é rejeitada. Com isso, há indícios estatísticos no sentido da redução do fluxo no início do trecho estudado (interseção da av. Antônio Sales com Barão de Studart).

- **Virgílio Távora**

Como se deseja verificar se existem indícios estatísticos para inferir se houve aumento no fluxo no ponto da Virgílio Távora, esta deve ser a hipótese alternativa. Também será utilizado o nível de significância de 5%. Desse modo, tem-se:

H_0: $\mu_2 \leq \mu_1$

H_a: $\mu_2 > \mu_1$

Com o nível de significância de 5%, tem-se que $T_{crítico} = T_{0,05\ ;\ 23}$, ou seja, $T_{crítico} = -1,714$. O $T_{amostra}$ é calculado pela fórmula da estatística de teste T (sendo $\Delta_0 = \mu_1 - \mu_2 = 0$). Após os cálculos, chegou-se ao valor de -7,85 para o $T_{amostra}$ que representa um valor muito menor do que o $T_{crítico}$ de -1,714. Visto que -7,85<-1,714, t está na região de rejeição de H_0. Portanto, a um nível de significância de 5%, a hipótese nula é rejeitada. Com isso, há indícios estatísticos para acreditar que houve aumento no fluxo no fim do trecho estudado.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da análise dos dados de *GPS* dos ônibus e dados de fiscalização eletrônica para a avaliação antes e depois da implantação da faixa exclusiva na av. Antônio Sales, foi possível, com auxílio de ferramentas estatísticas básicas, verificar indícios de aumento nas velocidades médias ônibus e demais veículos no trecho estudado. Os resultados mostram uma diminuição do tempo de viagem, mas não é possível confirmar o atingimento da meta que era o aumento de 40% da velocidade operacional. Entretanto, há indícios estatísticos que levam a crer que

houve melhoria relacionada ao aumento de velocidade média, tanto para os ônibus como para os demais veículos.

O cenário dos veículos foi inusitado, visto que com a redução de uma faixa para o tráfego de automóveis supõe-se a diminuição das velocidades médias. Como a velocidade média dos carros aumentaram, foram traçados diversos motivos, um deles é a melhor organização do fluxo, minimizando a disputa do automóvel pelo espaço físico da via com os ônibus. Além disso, com 95% de confiança, há indícios estatísticos que houve uma redução no volume de veículos na interseção da av. Barão de Studart, contribuindo para o aumento do nível de serviço na via.

Contudo, os dados inferem um aumento no fluxo de veículos na interseção com a av. Virgílio Távora. Esse fato pode ter ocorrido devido ao novo viaduto que vai em direção à av. Engenheiro Santana Júnior (logo depois da av. Virgílio Távora); isto é, os usuários podem fazer os percurso oeste-leste em outra via, mas optam pela av. Antônio Sales no final de seu trecho a fim de ter acesso ao viaduto. O ganho de velocidade operacional dos ônibus representa um resultado bastante positivo, já que, diferentemente dos automóveis que houve uma redução do volume de veículos, para o transporte coletivo, além da quantidade de veículos existentes antes, foi implantada uma nova linha na av. Antônio Sales. Isso significa que mais pessoas são transportadas em menos tempo.

Recomenda-se para trabalhos futuros aumentar o período de análise de uma semana para um mês, para melhor caracterizar a variabilidade dos tempos de viagem, assim como a análise de outros corredores e a distribuição dos tempos de viagem dos trajetos completos dos usuários. Além disso, seria interessante verificar se houve um aumento na ocupação média dos ônibus a fim de quantificar melhor o ganho operacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL (2012) Lei no 12.587, de 03 de janeiro de 2012. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana e dá outras providências.

MCIDADES. (2006) Gestão Integrada da Mobilidade Urbana.

NTU. (2013) Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos.

IPEA. (2012) Mobilidade urbana 2ª edição: análise preliminar dos dados coletados em 2011 . Disponível em: http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=24443. Acesso em: 08 abr. 2017.

Transportation Research Board (2003). TRCP Report 100 – Transit Capacity and Quality of Service Manual (2ª ed.). *Transportation Research Board*. Washington, D.C.

Vasconcellos, E. A. (2000) Transporte urbano nos países em desenvolvimento: reflexões e propostas (3ª ed.) Annablume, São Paulo, SP, Brasil.

VUCHIC, V. R. (2005) Urban transit: Operations, planning and economics. 1 ed. New Jersey: *John Wiley and Sons*, Inc., 644 p.

Larissa A. Matias de L. Batista (larissabatista@det.ufc.br)
Juliana Brito Barbosa (julianabrito@det.ufc.br)
Departamento de Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará
Campus do Pici, S/N, Prédio 703 –Fortaleza, CE, Brasil

CARACTERIZAÇÃO DAS VIAGENS DO TRANSPORTE PÚBLICO COM DADOS DO SBE E USO DO SOLO

Bianca Maria Pacheco Vieira[1]
Francelino Franco Leite de Matos Sousa[2]
Mário Angelo Nunes de Azevedo Filho[1]
[1]Departamento de Engenharia de Transportes - Universidade Federal do Ceará
[2]Centro Universitário Christus - Núcleo de Tecnologia

RESUMO
Este trabalho visa analisar a correlação entre os dados de uso do solo da cidade de Fortaleza – CE e os dados de validação do Sistema de Bilhetagem Eletrônica (SBE) a partir de uma metodologia de comparação baseada em análises estatísticas contendo a média e o desvio padrão das amostras em que se criou grupos de diferentes padrões para tal comparação. Tendo como objetivo caracterizar as viagens do transporte público local, pode-se validar a hipótese do pendularismo adotada para a cidade estudada comprovando-se a correlação dos dados e compreendendo a demanda e o fluxo dos usuários do sistema de transporte público local.

1. INTRODUÇÃO

O Sistema de Transporte Público de Passageiros (STPP) é importante para a mobilidade urbana, pois permite o deslocamento diário de pessoas que desenvolverão suas atividades rotineiras. Sabe-se a partir de bases disponibilizadas pela Empresa de Transporte Urbano de Fortaleza (ETUFOR) que para o ano de 2015 ocorreram aproximadamente 1.100.000 viagens por dia útil. Além disso, estima-se que no Brasil, cerca de 30% das viagens diárias ocorrem no STPP (ANTP, 2012). A necessidade por fazer um bom estudo para melhor compreensão dos problemas enfrentados pelo STPP é relevante, de forma a possibilitar seu correto planejamento, garantindo com isso a oferta de um serviço sustentável. Dentro do STPP existe o Sistema de Bilhetagem Eletrônica (SBE), que surgiu com o objetivo de facilitar o acesso ao sistema público de transporte já que permite a aquisição de créditos de viagens antecipadamente, que são gravados em dispositivos especiais, utilizados pelos usuários para entrar no sistema. Ao apresentar o dispositivo no validador, o mesmo libera o acesso. Esse processo é realizado sempre que o usuário embarca, e, ao final da operação, os registros podem fomentar a construção de uma grande base de dados que retrata o uso do sistema ao longo do dia. FREITAS (2015) entende que essas informações coletadas e armazenadas pelo SBE, tais como identificador do usuário, linha utilizada, horário do embarque, local do embarque, local do desembarque e outras informações, dependendo da complexidade do sistema, são úteis para compreender o padrão de viagem dos usuários. Também a partir dos dados do SBE é possível estimar um caminho percorrido pelos usuários. Barry et al (2002) apresentaram uma metodologia para estimar o local do embarque e desembarque com base na hipótese de pendularismo. Tal método é baseado em duas suposições: a primeira é a de que os usuários voltam ao local de destino da viagem anterior para começar a próxima viagem e a segunda é que os usuários terminam a última viagem do dia no local de origem da primeira viagem. A proposta deste artigo será tentar estimar os locais mais relevantes que são origem das primeiras viagens do dia, bem como os locais mais relevantes de destino das últimas. Aliado a isso, dados complementares, como informações sobre sistema de atividades e sobre uso do solo podem contribuir para o processo de compreensão e caracterização das viagens, até mesmo auxiliando na construção de modelos matemáticos que possibilitem fazer projeções e previsões acerca das viagens no STPP, o que constitui informação primal para o processo de

planejamento de sistemas de transporte (LAWSON et al., 2012). Desta forma, com o objetivo de proporcionar o mais adequado planejamento do STPP, este artigo tem como objetivo confrontar os dados de uso do solo com os dados do sistema de bilhetagem eletrônica para caracterizar as viagens de ônibus, tomando como estudo a cidade de Fortaleza-CE, avaliando a hipótese de que ocorre movimentos pendulares na cidade.

2. DIAGNÓSTICO, PROPOSIÇÕES E RESULTADOS

A metodologia aplicada dividiu a análise dos dados em 3 etapas: Caracterização dos bairros da cidade de Fortaleza com Base no Uso do Solo, Análise dos Dados de Sistema de Bilhetagem Eletrônica e Confronto dos Resultados Obtidos.

2.1. Etapa 1: Caracterização dos Bairros da Cidade de Fortaleza com Base no Uso do Solo

Na primeira fase, houve a caracterização dos bairros da cidade de fortaleza com base no número de lotes Residenciais e Comerciais. Através dos dados de Uso do Solo de Fortaleza (fornecidos pela Secretaria de Finanças - Sefin, Fortaleza, 2015) foi possível saber quantos lotes comerciais e residenciais existem em cada bairro da cidade e fazer uma manipulação estatística de modo a agrupar esses bairros de acordo com o padrão de número de lotes de cada um. Vale ressaltar que a análise foi feita separando os bairros residenciais e comerciais, como será explicado a seguir.

Antes, vale ressaltar que durante a análise, alguns bairros foram desconsiderados por terem valores muito diferentes da média de número de lotes residenciais ou comerciais da cidade. Por exemplo o Centro, que é o maior polo comercial da cidade de Fortaleza e, além dele, Aldeota, Meireles, Bairro de Fátima e Messejana são bairros que polarizam o comércio para as suas redondezas e por isso devem ser retirados da análise pois suas caracterizações já são claras, são bairros comerciais. Outros bairros como Papicu e Parangaba foram desconsiderados na bilhetagem por possuírem terminais de Ônibus, assim, seus valores de validações muito mais altos do que os outros bairros praticamente durante todo o dia.

2.1.1. Análise dos Bairros por Lotes Residenciais

Com o objetivo de comparar o número de lotes residenciais em cada bairro com o número de validações do SBE no período da manhã, fez-se necessário agrupar os bairros residenciais de acordo com um padrão que os representassem. Assim, excluindo da análise os bairros que destoavam muito seus valores em relação aos demais, pode-se retirar a média e o desvio padrão da amostra restante e dividi-la em 4 categorias. O processo descrito acima gerou osresultados mostrados na Tabela 1.

Destaca-se que os bairros Aldeota e Meireles foram desconsiderados, pois estavam destoantes do restante dos bairros de Fortaleza. Identificou-se nestes bairros números muito maiores de lotes residenciais. São bairros que apesar de possuírem muito comércio, têm predominância de condomínios verticais.

Considerou-se que Classe 2 seria a classe padrão. Sendo assim, a classe 1 foi considerada de baixo padrão e as classes 3 e 4 formam uma só classe de alto padrão.Com isso, pode-se observar que o número de bairros residenciais segue aproximadamente uma distribuição normal, com a maioria de seus valores na classe 2, o que indica que a maioria dos bairros possui um número médio de lotes residenciais, enquanto 20 estão abaixo do padrão médio e 18 estão acima.

Tabela 1: Classificação dos Bairros com Base na Distribuição Estatística do Número de Lotes Residenciais

Classe	Intervalo			N de Bairros
1	0 a M – 1 DP	0	986	20
2	M - 1 DP a M + 1 DP	986	5039	81
3	M + 1 DP a M + 2 DP	5039	7066	13
4	M + 2 DP a M + 3 DP	7066	9092	5

M = média
DP = desvio padrão

2.1.2. Análise dos Bairros por Lotes Comerciais

O mesmo processo foi aplicado para aquisição das classes dos bairros comerciais com o objetivo de comparar com o número de validações do período da noite. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 2. Nesta situação, os bairros Aldeota, Centro e Meireles foram desconsiderados, pois têm números muito maiores de lotes comerciais. Há nestas localidades uma predominância de centros comerciais e shoppings. Ressalta-se que devido a um maior desvio padrão, foi necessário incluir uma classe a mais para os bairros acima do padrão médio.

Tabela 2: Classificação dos Bairros com Base na Distribuição Estatística do Número de Lotes Comerciais

Classe	Intervalo			N de Bairros
1	0 a M – 1 DP	0	137	17
2	M - 1 DP a M + 1 DP	137	948	86
3	M + 1 DP a M + 2 DP	948	1354	10
4	M + 2 DP a M + 3 DP	1354	1759	3
5	M + 3 DP a M + 4 DP	1759	2165	2

Considerou-se que Classe 2 seria a classe padrão. Sendo assim, a classe 1 foi considerada de baixo padrão e as classes 3, 4 e 5 formam uma só classe de alto padrão. Percebe-se que apesar da inclusão de uma classe a mais, poucos bairros foram incluídos na mesma e a maioria dos bairros permaneceu com um padrão médio. Apenas 17 foram abaixo do padrão médio e 15 acima.

Vale ressaltar que a base de dados de uso do solo possui 115 bairros, já a base de dados proveniente do SBE possui 119 bairros. Essa diferença deve-se ao fato de que alguns bairros foram divididos em 2 ou até um mesmo bairro possui dois nomes distintos. Essas imprecisões foram corrigidas de modo que a análise levou em consideração que a quantidade de bairros mais coerente será a de bilhetagem eletrônica. Logo, os dados de uso do solo foram adaptados para que durante o confronto pudesse haver uma comparação compatível.

2.2. Etapa 2: Análise dos Dados do Sistema de Bilhetagem Eletrônica

Assim como foi feito com os dados de uso do solo, um processo semelhante foi aplicado para os dados obtidos por meio da bilhetagem eletrônica. A base dos dados de bilhetagem eletrônica

utilizada foi do dia 15 de setembro de 2014 e foi concedida pela Secretaria de Conservação e Serviços Públicos da Prefeitura Municipal de Fortaleza. Para melhor avaliar os horários de maior utilização do sistema, somou-se o número de validações por bairro das 6h às 9h da manhã, o que se chamou de pico manhã. Enquanto que as validações entre as horas de 17h às 20h foram somadas e chamadas de validações pico noite. Optou-se por definir esses horários picos por conta do padrão de validações que se espera para estas horas. No caso do pico manhã, sabe-se que há um maior fluxo entre o intervalo estabelecido e que isso se dá por conta da saída das pessoas de suas residências para suas ocupações. Durante o período da noite também há um intervalo de pico que se caracteriza pelo retorno às residências, tendo-se, muitas vezes, usuários que seguem o mesmo caminho de ida e volta (Pendularismo). As outras horas do dia não inclusas nos intervalos analisados são dispensáveis dado que não comprometem o bom funcionamento do sistema de transporte, ou seja, não há grandes solicitações do sistema. Para cada pico de utilização do sistema público de transporte foi feita uma avaliação estatística com base na média e no desvio padrão dos dados para entender o comportamento das viagens de cada bairro nos períodos estudados.

2.2.1. Estudo Das Validações do Pico Manhã

Na análise estatística também foram desconsiderados bairros destoantes e foram tiradas a média e o desvio padrão de validações dos bairros para o horário em questão. Os resultados estão na Tabela 3. Bairros destoantes (desconsiderados): Parangaba, Bairro de Fátima, Messejana, Centro, Aldeota (Bairros com rodoviárias ou centros comercias).

Tabela 3: Classificação dos Bairros com Base na Distribuição Estatística do Número de Validações no Horário Pico Manhã

Classe	Intervalo			N de Bairros
1	0 a M – 1 DP	0	543	12
2	M - 1 DP a M + 1 DP	543	3630	88
3	M + 1 DP a M + 2 DP	3630	5173	6
4	M + 2 DP a M + 3 DP	5173	6717	7
5	M + 3 DP a M + 4 DP	6717	8260	1

Considerou-se que Classe 2 seria a classe padrão. Sendo assim, a Classe 1 foi considerada de baixo padrão e as classes 3, 4 e 5 formam uma só classe de alto padrão. Observando-se os dados, mais uma vez o padrão médio atinge um valor muito maior que as classes mais baixas, que possuem apenas 12 bairros e as classes mais altas, com apenas 15 bairros. Logo, espera-se que no confronto entre estes valores e os dados de uso do solo residencial, o maior número de bairros médios em ambas as distribuições sejam os mesmo bairros. Assim como os bairros com padrão mais baixo devem ser os que menos tem lotes residenciais e menos validações na manhã. E os mais altos devem ser aqueles que possuem o maior número de residências e o maior número de validações na manhã.

2.2.2. Estudo das Validações do Pico Noite

Seguindo a metodologia adotada, temos os resultados para as validações do pico noite na Tabela 4.Bairros destoantes (desconsiderados): Papicu, Meireles, Benfica, Centro, Aldeota, Messejana, Fátima, Parangaba. (bairros considerados polos comerciais ou com presença de rodoviária)

Tabela 4: Classificação dos Bairros com Base na Distribuição Estatística do Número de Validações no Horário Pico Noite

Classe	Intervalo			N de Bairros
1	0 a M – 1DP	0	403	11
2	M - 1 DP a M + 1 DP	403	3080	84
3	M + 1 DP a M + 2 DP	3080	4419	11
4	M + 2 DP a M + 3 DP	4419	5758	3
5	M + 3 DP a M + 4 DP	5758	7096	2

Considerou-se que Classe 2 seria a classe padrão. Sendo assim, a classe 1 foi considerada de baixo padrão e as classes 3, 4 e 5 formam uma só classe de alto padrão.

2.3. Etapa 3: Confronto dos Resultados Obtidos nas Análises das Etapas 1 e 2

Nesta etapa, houve a comparação das distribuições feitas nas etapas 1 e 2. Comparou-se a distribuição de lotes residenciais com a distribuição de validações no pico manhã já que se espera que pela manhã o fluxo ocorra das residências para as ocupações, logo as validações ocorrem nos bairros residenciais. Com isso, observou-se se os bairros padrões nas duas distribuições eram os mesmos. A mesma observação foi feita para os bairros de alto e baixo padrão. Posteriormente, a mesma análise foi feita para os lotes comerciais e as validações no pico noite, já que seguindo a mesma linha de raciocínio temos que nesse intervalo de tempo as pessoas validam seus tickets nos bairros comerciais para voltar para casa. O intuito desta comparação é mostrar que o número de validações dos bairros ao longo do dia está associada a quantidade de lotes de comércio e residência. Assim, se pela manhã alguns bairros possuem maior número de validação, significa que o número de lotes residenciais dele deve ser significativo. O mesmo raciocínio se aplica para o período da noite, quando as pessoas saem do trabalho, que ficam nos bairros de maior número de comércio e voltam para as suas casas, finalizando o movimento pendular. Dentro dessa análise, algumas excepcionalidades são encontradas. Além do centro da cidade, alguns bairros são chamados de subcentros (KNEIB, 2014), bairros que são polarizadores de viagens dado sua importância econômica ou até mesmo pela presença de rodoviárias.Vale ressaltar que durante esta comparação, os bairros então desconsiderados na análise estatística entraram para a análise comparativa como bairros de alto padrão já que são bairros atípicos que possuem características de máximos nas duas classificações. A Figura 1, abaixo, mostra as distribuições realizadas nas etapas 1 e 2 e como será feita a comparação entre os padrões.

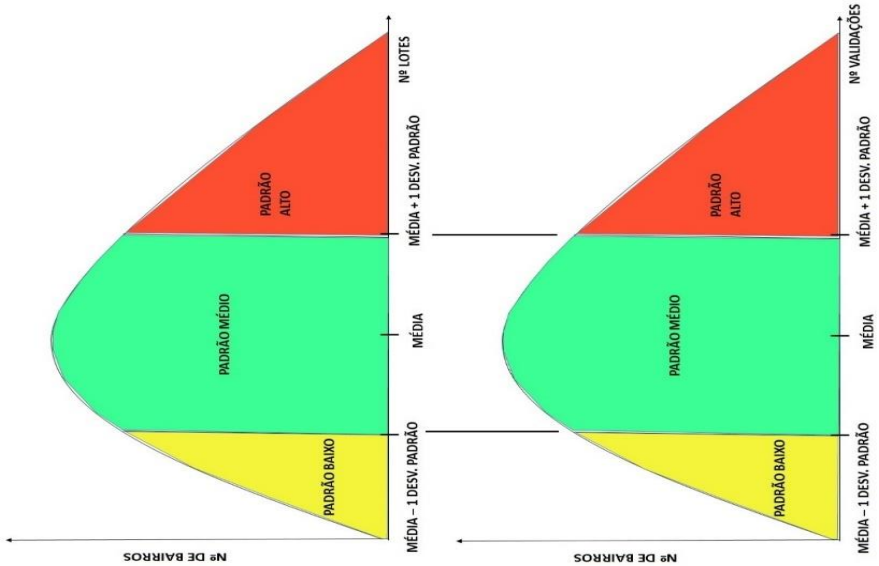


Figura 1: Comparação entre Distribuições realizadas com os dados de validações e número de lotes

2.3.1. Comparação entre Distribuição de Lotes Residenciais e Validações no Período Pico Manhã

Comparação dos Bairros Padrão: Nesta etapa, dos 81 bairros padrões da distribuição de lotes residenciais, apenas 12 não coincidem com os bairros de padrão médio da distribuição de validação. Isso significa que bairros com um número médio de lotes residenciais tendem a ser bairros com um número médio de validações também.

Comparação Bairros Alto Padrão: Dos 20 bairros da distribuição de lotes residenciais considerados de alto padrão, 12 também são de alto padrão na distribuição de validações. O que confirma que há uma relação do número de viagens gerados pelos bairros residenciais no período da manhã. Aqueles bairros que não foram considerados de alto padrão nas duas distribuições podem ou se encontrar no limite entre os bairros de padrão médio e os de alto padrão ou possuir características peculiares que justificam esse fenômeno, como, por exemplo serem bairros com muitos lotes residenciais em que muitos deles não são habitados. Não há casos de bairros de baixo padrão no número de lotes residenciais com alto padrão de viagens, o que mostra que por mais que alguns bairros fujam do comportamento esperado, muitas vezes os valores desviados estão muito próximos dos que deveriam ser. Além disso, devido a algumas diferenças dos nomes e número de bairros entre as duas bases de dados, alguns deles possuem valores aproximados que podem resultar em imprecisões na comparação.

Comparação entre Bairros de Baixo padrão: Dos 19 bairros com baixo padrão no número de lotes residenciais, 8 são também de baixo padrão no número de validações. Os 11 que não se enquadraram na mesma classificação para ambas análises são bairros de padrão médio para o número de validações. Abaixo, na Figura 2 observamos mapas temáticos do número de lotes residenciais por bairro e do número de validações da hora pico manhã, onde pode-se perceber com mais clareza a correlação entre esses dados.

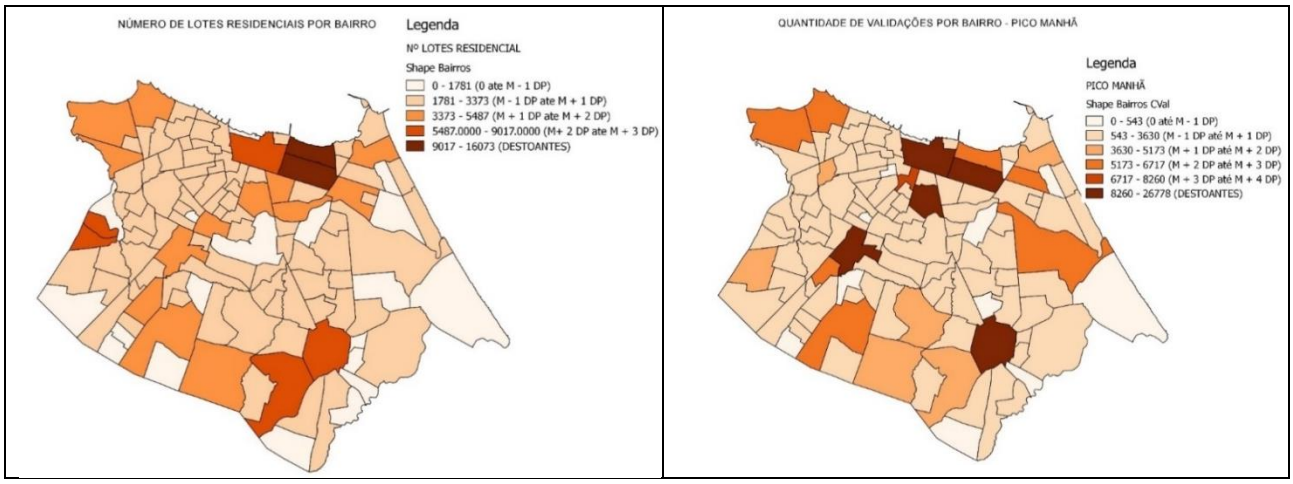


Figura 2: (a) Número de Lotes Residenciais por Bairro; (b) Número de Validações por Bairro no período de Pico da Manhã

2.3.2. Comparação entre Distribuição de Lotes Comerciais e Validações no Período Pico Noite

Comparação dos Bairros Padrão: Seguindo a mesma linha de raciocínio da comparação anterior, dos 86 bairros de padrão médio de lotes comerciais, 69 também tem padrão médio de número de validações no horário pico da noite.

Comparação Bairros Alto Padrão: Dos 18 bairros de alto padrão de lotes comerciais, 11 também possuem grande número de validações no horário pico da noite.

Comparação Bairros Baixo Padrão: Dos 17 bairros de baixo padrão de lotes comerciais, 11 também são de baixo padrão nas validações. A seguir, assim como na comparação anterior, observamos mapas temáticos do número de lotes comerciais por bairro e do número de validações da hora pico noite na Figura 3.

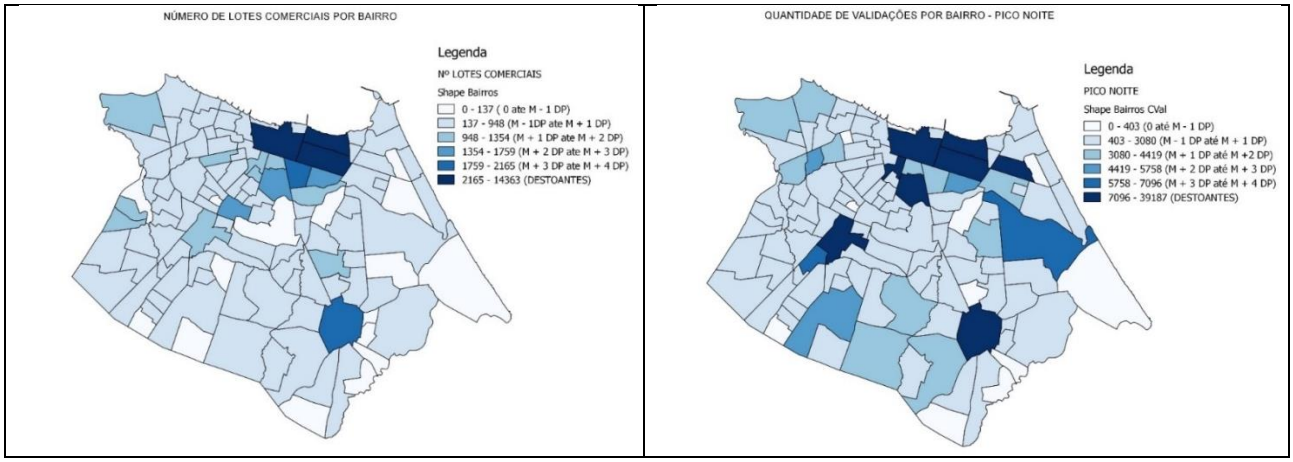


Figura 3: (a) Número de Lotes Comerciais por Bairro; (b) Número de validações no Período Pico Noite por Bairro

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mostrada a comparação entre as duas análises feitas para o número de lotes residenciais e comerciais de cada bairro e o número de validações nas horas pico, pode-se confirmar a hipótese de que há um movimento pendular na cidade de Fortaleza que se inicia no período pico da manhã nos bairros em que há maior número de lotes residenciais e termina no horário pico da noite com as pessoas deixando os bairros com maior número de lotes comercias e voltando para suas casas.
Dada a relação confirmada entre Uso do Solo e as viagens do Transporte Público, deve-se tentar adequar o sistema de transporte público as necessidades previstas de acordo com os dados de uso do solo e outras informações não estudadas neste trabalho, tais como número de empregos por bairro e número de habitantes por bairro. Assim, será possível ter um melhor aproveitamento dos veículos disponíveis para suprir as necessidades da população, proporcionando viagens mais confortáveis e seguras. Apesar de utilizada uma metodologia bastante simples para categorização dos bairros em 3 tipos de padrão (baixo, médio e alto), os objetivos de mostrar a alta dependência dos dados trabalhados entre si foram alcançados com êxito.

Agradecimentos

Ao Professor Bruno Vieira Bertoncini (PETRAN/UFC), que trabalhou na construção desta Comunicação Técnica. O Professor Bruno pode ser considerado co-autor deste trabalho, seu nome só não figura na relação de autores devido as restrições do Congresso quanto ao número de trabalhos que um mesmo autor pode estar presente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FREITAS, A. T. de. Metodologia de caracterização da problemática do sistema de transporte público de passageiros a partir dos dados da bilhetagem eletrônica. 2015. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2015.

KNEIB, E. C.*Projeto e Cidade: centralidades e mobilidade urbana.* Goiânia: Gráfica UFG, 2014. 324 p.

LAWSON, C. T.; HOLGUÍN-VERAS, J.; SÁNCHEZ-DIAZ, I.; JALLER, M.; CAMPBELL, S.; POWERS, E. L. (2012) Estimation of freight trip generation based on land use. Transportation Research Record, v. 2465.

ANTP (2012) Sistema de Informações da Mobilidade Urbana - Relatório Geral 2012, São Paulo.

BARRY J.;NEWHOUSER R.;RAHBEE A.;SAYEDA S. (2002) Origin and Destination Estimation in New York City with Automated Fare System Data. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Volume 1817, 183-187

Bianca Maria Pacheco Vieira (biancampvieira@gmail.com)
Francelino Franco Leite de Matos Sousa (francolms@gmail.com)
Mário Angelo Nunes de Azevedo Filho (azevedo@det.ufc.br)
Departamento de Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará.
Av. Humberto Monte (85) 3366-9300 – Fortaleza, CE, Brasil

DIAGNÓSTICO DE SISTEMA INTRAMUNICIPAL DE TRANSPORTE PÚBLICO – UM ESTUDO DE CASO DO MUNICÍPIO DE TERESINA-PI

Lara Maria de Sousa Barroso
Luana Viana de Paula Cabral
Diego Bastos de França
Filipe Ribeiro Viana
Makey Nondas Maia
Marcus Vinícius Teixeira de Oliveira
Certare Engenharia e Consultoria

RESUMO
O acesso à saúde, educação, emprego, lazer, entre outros, é um direito inerente a toda a população. Desta forma, o papel do transporte se torna fundamental, sendo este também um direito público. No cenário atual de alguns municípios brasileiros, devido às suas distribuições espaciais mais dispersas, e/ou políticas de planejamento implementadas, o transporte público se ramifica em sistemas distintos para melhor atender à população. No caso do município de Teresina – PI, o transporte público consiste na oferta de dois sistemas: urbano e intramunicipal (rural). Este trabalho descreve a sequência metodológica que a Certare Engenharia e Consultoria utilizou de levantamento de dados e de análises que tornaram possível a caracterização do sistema de transporte rural de Teresina (2015). O trabalho consiste no diagnóstico completo sobre a oferta, a demanda e a operação do transporte coletivo rural de passageiros, abordando suas características e suas deficiências. Foram identificados os problemas referentes à frota, à infraestrutura viária e à operação dos veículos que percorrem as rotas rurais do Município. Além disso, foi analisado o perfil de viagens dos usuários do sistema intramunicipal de transporte público, abordando as zonas mais atrativas e os modos de pagamento mais frequentemente utilizados.

1. INTRODUÇÃO

A oferta de transporte público eficaz e de qualidade é um direito da população, sendo este um ator importante no cotidiano dessa, permitindo o seu deslocamento a diversas atividades, e de valorização da região onde se inserem. Quanto ao acesso aos sistemas de transporte, para Vasconcelos (1985) determina-se a acessibilidade como "a facilidade (ou dificuldade) com que os locais da cidade são atingidos pelas pessoas e mercadorias, medida pelo tempo e pelo custo envolvido". Seria a facilidade (distância, tempo e custo) de se alcançar fisicamente, a partir de um ponto específico, os destinos desejados (Gomide, 2006). Para Cardoso (2008), acessibilidade denota "a efetividade do sistema de transporte em conectar localidades separadas". No contexto do ambiente rural, constata-se que a acessibilidade ao transporte em meios rurais é um fator essencial para se alcançar a equidade social e combater o isolamento dessas áreas. Todavia, uma vez que a população dessas áreas é, geralmente, pequena e dispersa, a operação de transporte público acaba tornando-se um negócio pouco atrativo para o operador, originando diminuição da oferta.

Nas áreas rurais periféricas, os problemas do envelhecimento e do despovoamento humano, associados à reorganização dos equipamentos e serviços públicos e à redução da mobilidade, por via da contração da oferta de transportes coletivos, geram situações de exclusão social (Alves, 2009). Dessa forma, melhorar o serviço de Transporte Público em áreas rurais deve ser visto como uma política de desenvolvimento e de redistribuição de riqueza (Verkeer et al, 2000). A oferta de transporte público nestas áreas deve ser, assim, vista como um fator de integração social e de distribuição equilibrada de acesso a serviços e postos de trabalho.

Este trabalho aborda, como estudo de caso, o município de Teresina-PI, que é a única capital nordestina que se encontra no interior dessa região, apresentando diversas particularidades devido à sua extensão territorial. Ao longo de uma década, a população de Teresina teve um

crescimento absoluto de quase cem mil habitantes, segundo dados do IBGE (2016), um aumento de 12,14% no período considerado. Quanto à distribuição espacial da população, cerca de 6% dessa reside na zona rural do município. Em relação à área do município, Teresina possui 1.392 km² de extensão (IBGE, 2016), e desta área, 17% é urbana e 83% é rural, o que confere a Teresina o título de capital nordestina com maior área territorial rural (IBGE, 2016). A percepção de tal disparidade espacial entre população rural sobre área rural, converge para uma problemática evidente em Teresina: os vazios urbanos e longos tempos de viagem para a população rural.

A capital piauiense, assim como muitas cidades de seu porte, sofreu transformações induzidas por uma expansão de uso do solo para implantação de habitações unifamiliar. Essa expansão se deu de forma acentuada em direção às bordas do seu perímetro urbano e tal característica resultou no aumento do custeio dos serviços públicos urbanos, incluindo os transportes coletivos. O aumento das distâncias a serem percorridas e o acelerado reposicionamento de atividades econômicas no espaço urbano foram impulsionados, assim, pela expansão natural do leque de atividades, serviços e necessidades da população.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral do Diagnóstico do Sistema Intramunicipal de Transporte Público de Teresina foi caracterizar a demanda de passageiros e a oferta do sistema de transporte público das linhas ofertadas, estudando o sistema por meio de pesquisas de campo, coleta e análise de dados, viabilizando a recomendação de melhorias na operação do sistema do ponto de vista dos usuários e dos gestores. Quanto aos objetivos específicos, definiu-se:

- mapear as rotas de transporte público rural de Teresina, avaliando suas características operacionais e de infraestrutura;
- realizar pesquisas de origem e destino, em campo, com usuários do sistema;
- estimar a demanda transportada nas linhas de transporte coletivo que circulam pela zona rural de Teresina;
- analisar a relação oferta/demanda das linhas, diagnosticando as deficiências do sistema de transporte público rural de Teresina.

3. METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos na realização desse trabalho, foram executadas as seguintes etapas metodológicas:

3.1. Análise da Oferta do Sistema

Sendo este o objeto de estudo, define-se transporte rural como “aquele que ocorre dentro dos limites do município entres as áreas urbanas e rurais ou somente dentro da área rural” (GEIPOT, 1995). Nesta etapa, o levantamento da oferta de transportes foi composto pela identificação dos itinerários de todas as linhas de transporte coletivo rural, composta exclusivamente por ônibus, e da frequência de viagens dos veículos da frota. Esses dados foram coletados no órgão gestor de transportes de Teresina e nas empresas operadoras do serviço. Além disso, também foram levantadas informações sobre a estrutura física, a velocidade operacional, os tipos de parada (oficial e irregular), além das rotas realmente percorridas por cada linha. O mapeamento das rotas foi realizado utilizando-se o *Global Positioning System* (GPS) e o aplicativo *MyTracks*, que apresenta um conjunto de funcionalidades para armazenagem e caracterização de rotas. Esse mapeamento teve o objetivo de identificar possíveis rotas que percorressem a extensão das

comunidades pertencentes à zona rural de Teresina, fornecendo condições para o levantamento de distâncias entre essas comunidades, registrando inclusive dados referentes à pavimentação da malha viária. Esse levantamento possibilitou a criação de uma base para planejamento futuro referente ao transporte das pessoas que moram em diferentes áreas do município e que precisam de auxílio para locomoção, devido à ausência de um sistema regular de transporte.

3.2. Análise da Demanda do Sistema

Nesta etapa, foram elaboradas pesquisas e realizadas consultas públicas, visando estruturar um conjunto de informações que serviram para a caracterização da demanda e das condições do cenário atual do sistema de transporte rural de passageiros de Teresina. Para tanto, pesquisas amostrais dos tipos Sobe/Desce e Origem/Destino foram executadas, durante o mês de outubro de 2015, em todas as linhas rurais levantadas.

3.2.1 Pesquisa Sobe/Desce

Esse tipo de pesquisa consiste na contagem dos usuários que entram e que saem do veículo durante certo intervalo de tempo. Para essa coleta, foram alocados dois pesquisadores em cada ônibus em circulação, que preenchiam, num formulário específico, a quantidade de pessoas que subiam e desciam do veículo em cada ponto de parada. Essa pesquisa foi realizada em dias típicos nos horários de pico da manhã, entre-pico e pico da tarde. Essas informações foram essenciais para a determinação do carregamento de passageiros por trecho e também do índice de passageiro por quilômetro (IPK) das linhas.

3.2.2 Pesquisa Origem/Destino

A pesquisa origem/destino objetiva obter dados para se traçar uma matriz origem/destino dos passageiros das linhas de ônibus, bem como identificar o perfil de viagem desses usuários. Para isso, foram realizadas entrevistas com passageiros embarcados nos ônibus, coletando-se os bairros de origem e de destino, o tipo de pagamento da passagem, o motivo do deslocamento e a frequência de realização da viagem de cada um deles.

Esse mesmo tipo de pesquisa foi realizado em um ponto estratégico do sistema de transporte rural, o Terminal de ônibus, ampliando assim a amostra de usuários entrevistados, melhorando a qualidade da coleta.

3.3. Diagnóstico da Operação do Sistema

Nesta etapa, foram identificados e estimados alguns parâmetros importantes para a avaliação do sistema de transporte público rural de Teresina, baseando-se nos dados levantados de acordo com os processos descritos nos tópicos anteriores. Apoiando-se nas informações amostrais coletadas em campo, estimaram-se as demandas diária e mensal de passageiros em todas as linhas do sistema. Além disso, foi constatado o par origem/destino com maior demanda dentre os bairros do município, assim como o perfil de pagamento e da frequência de utilização da demanda desse serviço.

Como indicadores operacionais do sistema, foram identificados: índice de passageiros por quilômetro (IPK), índice de passageiros por viagem (IPV), cobertura espacial das linhas, velocidade média do sistema, tempo médio das viagens e a condição de pavimentação das vias.

4. CARACTERIZAÇÃO DA OFERTA DE TRANSPORTES

Após o levantamento da oferta de linhas do sistema de transportes rurais de Teresina, constatou-se que das 43 linhas que estavam no controle da gerência de transportes rurais do município, 36 linhas encontravam-se em operação (referente a outubro de 2015). Tal fato deve-se à incorporação de algumas dessas linhas no sistema de transporte urbano e/ou unificação de linhas que atendem comunidades próximas.

O mapeamento e a distribuição espacial das linhas de transporte rurais foram levantados a partir de aparelhos receptores de GPS e tratados em um Sistema de Informação Geográfica SIG, de modo a se obter um mapa de trajetos das linhas de transportes, conforme apresentado na Figura 1, abaixo. No mapa, Teresina apresenta-se dividida por zonas (norte, leste, sudeste e sul). Dessa forma, identificou-se que o itinerário de algumas das linhas se superpõem, gerando concorrência entre elas.

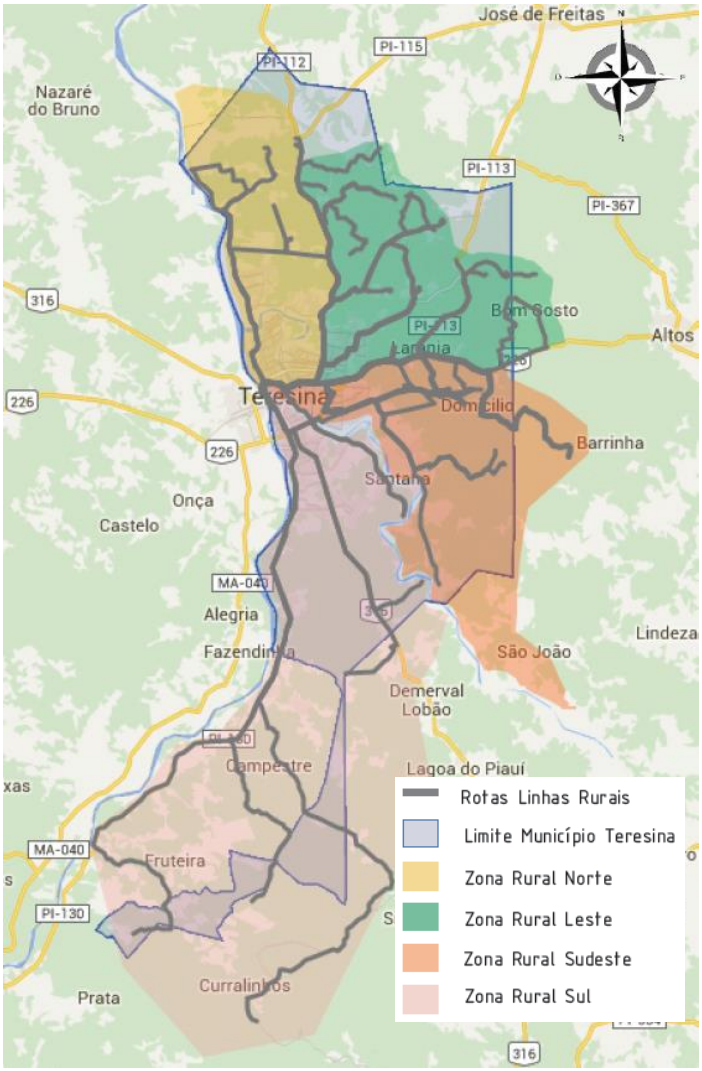


Figura 1: Rotas do sistema de transporte público intramunicipal de Teresina e suas zonas

A rede de transporte público rural do município de Teresina e sua cobertura espacial são apresentadas na figura ao lado. Observou-se uma cobertura de aproximadamente 54% de toda à população rural do município de Teresina, assumindo-se um raio de abrangência de 500

metros do eixo de cada rota. Detalhadamente, as linhas rurais, atravessam 4 zonas rurais e a zona urbana, totalizando uma extensão de aproximadamente 2.800 km, atendendo diretamente cerca de 24.962 de habitantes na zona rural (54,2% do total) e 367.353 de habitantes na zona urbana (47,8% do total).

Outro aspecto importante para a operação do sistema levantado foi a disposição dos pontos de parada, pois sua distribuição espacial determina o desempenho operacional das linhas e influencia diretamente nos seus custos operacionais. Durante os estudos realizados na zona rural, não foi observado um espaçamento equidistante entre os pontos de parada, como recomendam os manuais de políticas públicas de transportes.

Em seguida, foi realizada a estatística descritiva dos dados de quilometragem por zona, e observou-se que a variável quilometragem percorrida pelas linhas por zona segue a distribuição normal. As linhas das zonas norte, leste e sudeste percorrem, em média, 65 km, 71 km e 75 km por viagem, respectivamente. Dentre essas zonas, identificou-se uma distribuição simétrica entre as quilometragens das linhas, com baixa variação entre os seus comprimentos totais. Já a zona sul apresentou um média muito maior, de 120 km, com valores mais destoantes.

Durante o processo de verificação das rotas existentes, foram analisadas todas as Ordens de Serviço referentes aos trajetos das linhas do sistema de transporte coletivo rural e foi identificado que cinco das linhas apresentaram inconsistências entre o percurso realizado e o planejado pelo órgão responsável.

A partir dos dados de velocidade do GPS, foi possível gerar o perfil de velocidade e constatar que, nas comunidades da zona rural, a velocidade operacional é mais baixa, devido à falta de padronização na localização das paradas. A Figura 2, em sequência, exemplifica um perfil de velocidade nos trechos citados.

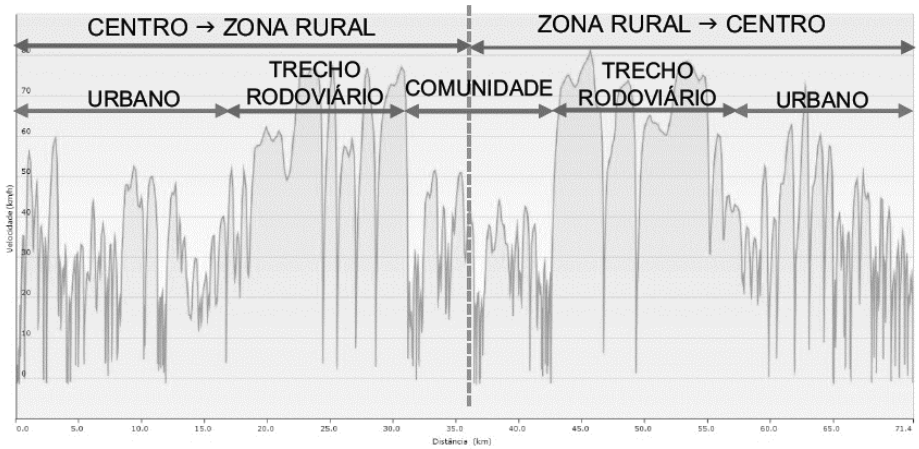


Figura 2: Perfil típico de velocidade de linhas rurais

A malha viária total de rodagem das linhas rurais é de aproximadamente 2.800 km, dos quais 2.087 km (74%) são pavimentados (dado referente a outubro de 2015), desconsiderando-se a sobreposição na malha de linhas com rotas similares. Os dados de quilometragem das linhas rurais, considerando o ciclo (ida e volta), foram analisados separadamente em trechos pavimentados e não–pavimentados, possibilitando calcular a relação entre os percentuais dos trechos pavimentados e não-pavimentados e a quilometragem total rodada por zonas.

O tipo básico de material rodante (modelo de ônibus) utilizado no sistema de transporte público rural de passageiros em Teresina é do tipo ônibus Comum. Nas zonas norte, leste, sul e sudeste foram vistos com maior frequência o material rodante com duas portas, já na zona sul, foi mais constante a circulação de ônibus com uma porta.

5. CARACTERIZAÇÃO DA DEMANDA DE TRANSPORTES

Para a caracterização da demanda das linhas rurais, foi construída uma Matriz Origem/Destino (Matriz O/D) representando o deslocamento dos usuários de uma rede transporte coletivo entre as diversas zonas de tráfego atendidas pelo sistema, usando os resultados das pesquisas embarcadas como dados de entrada.

A partir dessa Matriz, foi possível montar um diagrama que representa a distribuição espacial das ligações, conhecido como Linhas de Desejo. Nessa representação gráfica, os centroides das diversas zonas do município são ligados por linhas, com sua largura sendo proporcional à demanda, possibilitando visualizar o volume da demanda de acordo com o sentido de seu deslocamento.

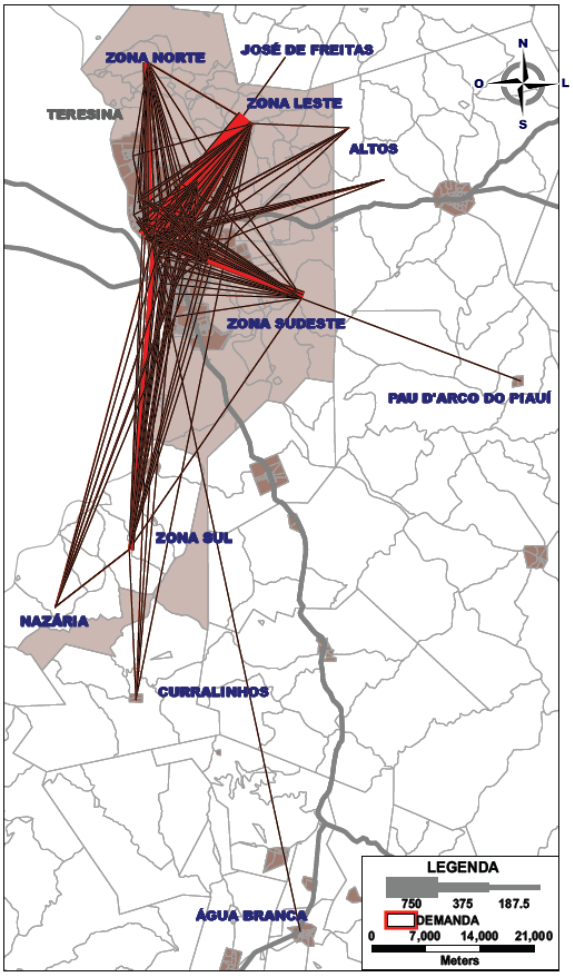


Figura 3: Linhas de Desejo

Além dessa análise, foi realizada uma observação estatística da distribuição de demanda por viagens de ônibus em cada uma das quatro zonas. Analisando-se os dados de bilhetagem fornecidos pelo Prefeitura de Teresina, plotou-se o gráfico do número de passageiros transportados por dia ao longo de uma semana típica do mês de setembro de 2015. Notou-se

que a variável considerada (passageiros/dia) seguiu uma distribuição normal, demonstrando uma concisão dos valores registrados pelas catracas, conferindo, assim, credibilidade ao uso dos dados levantados em campo. Dessa forma, o diagnóstico do perfil de viagens realizadas dentro do sistema de transporte rural pode ser representado pelas informações obtidas da amostra.

Quanto ao perfil de pagamento observado na amostra, constatou-se que aproximadamente 4 a cada 5 passageiros pagam o valor inteiro de tarifa aplicada, como é destacado na Tabela 1 a seguir. Destaca-se que o valor da meia aplicado na vigência da pesquisa correspondia apenas a 38% do valor total de tarifa (Superintendência Municipal de Transporte e Trânsito - STRANS).

Tabela 1: Resultado amostral – Tipo de pagamento

Tipo de Pagamento	Porcentagem (%)
Inteira	79
Meia	16
Gratuidade	5

No que toca os usuários que gozam de gratuidade no sistema de transporte público, a classe de idosos se mostra mais representativa, chegando a quase 80% do total de gratuidades. As classes que gozam de gratuidade em Teresina são: pessoas maiores de 65 ou menores de 6; militares fardados; policiais civis, servidores penitenciários e oficiais de justiça com identificação; cegos com guias e deficientes físicos (Sindicato das Empresas de Transportes Urbanos de Passageiros de Teresina – SETUT). A Tabela 2 mostra as proporções das classes que possuem gratuidade no sistema.

Tabela 2: Resultado amostral – Perfil de gratuidade

Perfil de Gratuidade	Porcentagem (%)
Idoso	78
Outro	13
Deficiente	8
Policial	1

Em relação aos motivos de viagem, a variável trabalho se destaca como maior motivo. Já o motivo “estudo” mostrou-se com menor incidência do que o motivo “lazer”. É válido ressaltar que, na pesquisa, foi considerada apenas a primeira viagem do usuário. A Tabela 3 exibe as proporções de desejo observadas na amostra.

Tabela 3: Resultado amostral – Motivo da viagem

Motivo da Viagem	Porcentagem (%)
Trabalho	44
Outro	18
Lazer	17
Estudo	12
Saúde	9

Quando questionados sobre a frequência de uso do transporte rural, mais da metade dos passageiros utilizam o sistema 5 ou mais vezes por semana, como mostrado na Tabela 4 em sequência. Tais usuários pagantes com maior frequência de viagens por semana, principalmente os com motivo "trabalho" e "estudo", são os usuários que viabilizam financeiramente a existência do transporte intramunicipal.

Tabela 4: Resultado amostral – Frequência de utilização do serviço

Frequência de utilização do serviço	Porcentagem (%)
>5 vezes	60
3-4 vezes	15
1-2 vezes	16
Raramente	9

6. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou a metodologia utilizada para caracterizar o sistema de transporte intramunicipal (rural) de Teresina-PI, analisando a oferta disponível e a demanda estimada no ano de 2015. Observou-se que o sistema, servido por 37 linhas, contava com inúmeras superposições rotas e paradas oficiosas, prejudicando a operação eficiente do sistema. Também se caracterizou a demanda por meio de amostra, sendo esta validada com dados de catraca fornecidos pelos operadores. Dentre as deficiências do sistema de transporte público, foram identificados elevados tempos de viagem ao longo das rotas devido à grande quantidade de paradas irregulares, falta de padronização no embarque/desembarque de passageiros e quantidade reduzida de assentos em alguns veículos operantes. Dentre os problemas de infraestrutura ao longo dos trechos pelos quais o transporte coletivo circula, identificou-se que trechos consideráveis de vias não pavimentadas aumentam problemas de manutenção e custos operacionais, além de gerarem desconforto aos usuários, demonstrando a grande influência da infraestrutura viária no nível de serviço ofertado.

Quanto aos desejos de deslocamento da população de referência, foi observado que o maior desejo de destino era o centro do município, onde se encontram os serviços e comércios, atraindo viagens principalmente da zona leste, e o maior motivo de transporte observado foi o motivo "trabalho".

Agradecemos a colaboração de Carlos Augusto Daniel Júnior, superintendente municipal de transportes e trânsito; de Cíntia Bartz Machado, diretora de transportes; de José Falcão Moraes Neto, diretor de trânsito; e dos demais servidores da Superintendência Municipal de Transportes e Trânsito de Teresina (STRANS) pelos dados e orientações fornecidos.

AVALIAÇÃO DE UMA NOVA ABORDAGEM PARA DISTRIBUIÇÃO DE VIAGENS NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

Bruno Morais Lemos
Universidade Severino Sombra – USS/RJ
Programa de Engenharia de Transportes – PET/COPPE/UFRJ
Romulo Dante Orrico Filho
Programa de Engenharia de Transportes – PET/COPPE/UFRJ
Marcelino Aurélio Vieira da Silva
Programa de Engenharia de Transportes – PET/COPPE/UFRJ

RESUMO
Com base nos deslocamentos da cidade do Rio de Janeiro-Brasil, este artigo avalia a capacidade do modelo de oportunidades intervenientes em estimar a distribuição de viagens. Inicialmente propõe-se uma modificação em um modelo clássico de distribuição de viagens, baseado nos modelos gravitacional e de oportunidades intervenientes, comparando seu desempenho à um modelo probabilístico de distribuição de viagens. Para definição das oportunidades intervenientes utilizou-se duas formas geométricas: círculo e elipse, além de ter sido considerado a possibilidade de variação das dimensões destas formas. Os desempenhos obtidos são apresentados por meio de metodologia estatística, tendo encontrado valores satisfatórios. Para a melhor combinação utilizada de variáveis e restrições, a distribuição das viagens estimadas obteve índice de dissimilaridade no valor de 18,03 e coeficiente de determinação igual a 0,9497.

ABSTRACT
Based on the displacements of the city of Rio de Janeiro-Brazil, this article assesses the capacity of the model of opportunities involved in estimating the distribution of trips. Initially, a modification of a classic trip distribution model based on gravitational models and intervening opportunities is proposed, comparing its performance to a probabilistic model of trip distribution. In order to define the intervening opportunities, two geometric forms were used: circle and ellipse, besides having been considered the possibility of variation of the dimensions of these forms. The obtained performances are presented by means of statistical methodology having found satisfactory values. For the best combination of variables and restrictions used, the distribution of the estimated trips obtained a dissimilarity index of 18.03 and a coefficient of determination equal to 0.9497.

1. INTRODUÇÃO

Os modelos de distribuição de viagens são ferramentas fundamentais nos processos de planejamento de sistemas de transporte urbanos e interurbanos. Eles são usados para estimar as matrizes de viagem que representam a distribuição de viagens do sistema da rede de transporte, a fim de apoiar na determinação dos níveis de demanda da rota (fluxos em arcos) e níveis de serviço (tais como tempos de viagem) (De Grange, *et al*., 2011). Esses modelos, são portanto cruciais para a previsão de deslocamentos das populações, mas também para fins explicativos, a fim de melhorar os mecanismos de entendimento da viagem (Lenormand, *et al.*, 2016), como utilizados nos modelos entrópicos e gravitacionais.

Conforme pode ser verificado na literatura especializada, desde dos anos 1950, um grande número de modelos de distribuição de viagens tem sido desenvolvidos e testados, principalmente nos EUA e Reino Unido. Entre eles, o modelo gravitacional ocupa uma importante posição (Gonçalves e Cursi, 2001). As aplicações e variações do modelo gravitacional foram desenvolvidas, utilizadas e testadas em diferentes cenários. Dentre eles estão os trabalhos desenvolvidos por Jung, *et al.* (2008); De Vries, *et al.* (2009); Gargiulo *et al.* (2012) e Chen (2015).

Utilizando outra abordagem, Stouffer (1940) desenvolveu um modelo de oportunidades intervenientes, assumindo que não há necessariamente relação entre mobilidade e distância. (Stouffer, 1940).

Ambos os modelos podem ser expressos como a probabilidade de deslocar-se de um lugar para o outro, chamado lei de distribuição de viagens e baseado nessa probabilidade de distribuição, o número total de viagens pode então ser simulado usando diferentes modelos de distribuição de viagens (Lenormand *et al.*, 2016).

A importância deste trabalho está no fato de buscar um melhor modelo de distribuição de viagens, bem como tentar estabelecer uma nova maneira de definir as oportunidades intervenientes. Sua relevância tem como ponto central a estimativa de uma matriz de viagens para a cidade do Rio de Janeiro, baseado em dados sócio demográficos. De acordo com o último censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a cidade possui população de 6.320.446 habitantes, sendo considerada a 2ª cidade brasileira mais populosa e com uma área territorial de 1.200,179 km^2 (IBGE, 2010).

Esta pesquisa trata o problema de distribuição de viagens na cidade do Rio de Janeiro, testando dois modelos matemáticos de distribuição: (a) modelo de oportunidades intervenientes reformulado por Schneider (1959) e utilizado no trabalho de Lenormand *et al.* (2016) e (b) um modelo modificado de oportunidades intervenientes.

As hipóteses desta pesquisa centram-se em dois pontos, a saber: a) As oportunidades intervenientes utilizadas para explicar o número de viagens entre uma zona de origem i e uma zona destino j, não são necessariamente encontradas apenas na distância ou tempo compreendida entre elas. Podendo haver um percentual δ que somado a essa distância, melhor explique os descolamentos entre origem e destino (O-D) e b) É possível estimar uma matriz O-D para a cidade do Rio de Janeiro utilizando oportunidades intervenientes.

O objetivo central deste trabalho é desenvolver e testar empiricamente um modelo modificado de oportunidades intervenientes (MMO), baseado na inserção de parâmetros nas variáveis de atração e produção e na mudança da maneira de se definir as oportunidades intervenientes.

No que tange ao modelo de distribuição de viagens, serão validados empiricamente dois modelos, sendo um deles o um modelo probabilístico clássico e outro uma derivação de um modelo híbrido entrópico de oportunidades.

Este artigo está organizado nesta introdução e outras quatro seções. Na segunda seção é feita uma revisão bibliográfica sobre modelos de distribuição de viagens baseados em oportunidades intervenientes e a maneira de defini-las. Na terceira seção são apresentados os materiais e métodos utilizados pela pesquisa. A quarta seção discute e compara os resultados obtidos por meio de dois modelos de distribuição de viagens e duas figuras geométricas utilizadas para definir as oportunidades intervenientes. Por fim, na quinta seção são realizadas as considerações finais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Modelos de oportunidades intervenientes (MOI)

O conceito de oportunidades intervenientes pode ser entendido como: “O número de pessoas que se dirigem a uma determinada distância é diretamente proporcional ao número de oportunidades naquela distância e inversamente proporcional ao número de oportunidades intervenientes.” (Stouffer, 1940)

Por exemplo, uma família irá matricular seus filhos em uma escola localizada a 10 km de sua residência se eles não encontrarem outra escola adequada perto deles. Assim, o principal fator que determina o número de viagens entre duas zonas não é a distância entre elas, mas sim a probabilidade de ter outras oportunidades localizadas próxima da origem da viagem (Gonçalves e Cursi, 2001) e portanto presume-se que a impedância entre duas zonas não é diretamente relacionada com a distância ou custo da viagem, mas em vez disso depende do número de oportunidades de destino.

Em meados de 1950, Stouffer reformulou sua teoria de migração competitiva e oportunidades intervenientes, testando o modelo revisado com dados do sensu de 1940, com relação à 116 fluxos de migração em grandes cidades dos EUA.

Ao final da década de 1950 Schneider (1959) faz uma revisão teórica sobre distribuição de viagens, contemplando o modelo gravitacional e a teoria de Stouffer. Anos depois, Galle e Taeuber (1966) realizam uma replicação da pesquisa de Stouffer utilizando dados de migração Inter metropolitana entre os anos de 1955 e 1960.

O modelo reformulado por Schneider (1959) é apresentado na Equação 1 e será denominado neste trabalho como Modelo original de oportunidades intervenientes (MOO).

$$P[i/j] = k_i \, e^{-\lambda W ij}(1 - e^{-\lambda Sj}), \qquad (1)$$

em que: P[i/j] é a probabilidade de uma viagem que se origina em i, terminar na zona j;
k_i é o fator de balanceamento;
λ é uma constante de probabilidade de uma oportunidade ser aceita em um destino;
w_{ij} é o número de oportunidades que se interpõem entre as zonas i e j;
S_j é o número de oportunidades na zona j.

Lenormand *et al.* (2016), em sua pesquisa utilizaram dados de seis países, a saber: Inglaterra e Gales, França, Itália, México, Espanha e EUA. Neste trabalho os autores testam os modelos: gravitacional e de oportunidades intervenientes, dentre eles os autores avaliam duas versões do modelo de distribuição de viagens de radiação.

Dentre os modelos de oportunidades intervenientes pesquisados, Akwawua e Pooler (2001) desenvolvem um modelo baseado não apenas no tamanho do destino ou sua distância, mas pela combinação destes dois fatores que chamam de dominância espacial (Pooler, 1992). Para testar o modelo desenvolvido, os autores realizaram um teste empírico com os dados de migração de quarenta e oito estados dos Estados Unidos.

Wills (1986) desenvolveu um modelo de distribuição de viagens denominado gravitacional-oportunidades flexível. Neste modelo as formas padrão do modelo de gravidade e oportunidades são obtidas como casos especiais de uma oportunidade. Mas, enquanto o modelo gravitacional (Wilson, 1967) é deficiente em efeitos intervenientes, o modelo proposto por Wills (1986) é igualmente deficiente em omitir a distância, os custos ou as impedâncias relacionados com o transporte. Assim, parece lógico que um modelo ideal deve conter ambos esses efeitos distintos.

Com o intuito de considerar tanto o custo da viagem quanto as oportunidades intervenientes Gonçalves (1992) desenvolve e testa, por meio de uma pesquisa de passageiros de ônibus, realizada em setenta e sete cidades de Santa Catarina-Brasil, um modelo integrado gravitacional-de oportunidades. Este modelo híbrido traz junto os modelos gravitacional e de oportunidades intervenientes, que incorporam a separação espacial entre as zonas de origem e destino, tanto quanto as oportunidades entre elas (Almeida e Gonçalves, 2001).

O modelo desenvolvido por Gonçalves (1992) é apresentado na Equação 2.

$$T_{ij} = A_i O_i B_i D_j e^{-\beta c_{ij} - \lambda w_{ij}}, \quad (2)$$

Em que A_i e B_j são denominados fatores de balanceamento e dados pelas Equações 3 e 4.

$$A_i = \left[\sum_j B_j D_j (e^{-\beta c_{ij} - \lambda w_{ij}})\right]^{-1} \quad (3) \quad \text{e} \quad B_j = \left[\sum_i A_i O_i (e^{-\beta c_{ij} - \lambda w_{ij}})\right]^{-1} \quad (4),$$

T_{ij} é o total de viagens entre a zona de origem i e a zona de destino j;
O_i é o total de viagens produzidas na origem;
D_j é o total de viagens atraídas no destino;
β e λ são parâmetros de impedância;
c_{ij} é a impedância entre i e j, neste trabalho utilizado o tempo de viagem;
w_{ij} são as oportunidades intervenientes entre a zona de origem i e de destino j.

Considerando as oportunidades de emprego, Gargiulo *et al.* (2012) desenvolvem um modelo que realiza uma simulação de deslocamentos da população rural de regiões da França, Alemanha e Reino Unido. Esta pesquisa corrobora o trabalho Thomas e Tutert (2013) ao afirmarem que do ponto de vista econômico, trabalhadores provavelmente escolherão empregos com custos mínimos de deslocamento que devem ter efeitos favoráveis sobre a quantidade de tráfego.

Outra derivação do MOI é apresentado por Nazem *et al.* (2013), onde abordam um modelo integrado de oportunidades intervenientes, analisando viagens que utilizaram Transporte Público, para fins de trabalho e estudo. A pesquisa considera dados sócio demográficos, socioeconômicos, características do Transporte Público e foi realizada no ano de 2008 na grande Montreal-Canadá.

Silva e D'Agosto (2013) formulam um modelo de distribuição de viagens, baseado no modelo gravitacional restrito, para estimar a matriz O-D do fluxo de exportação de soja no Brasil e nele inserem parâmetros nas variáveis de atração e produção. O modelo proposto pelos autores, mostra-se promissor apresentado como resultado de sua predição um coeficiente de determinação acima de 90%.

Este trabalho propõe uma alteração no modelo gravitacional de oportunidades apresentado por Gonçalves (1992) (Equação 2) e baseado na proposta de Silva e D'Agosto (2013), e o denominou como Modelo modificado de oportunidades intervenientes (MMO). Esta alteração é feita por meio da inserção de parâmetros nas variáveis de atração (O_i) e produção (D_j). A mudança proposta pode ser verificada na Equação 5.

$$T_{ij} = A_i O_i^{\alpha} B_i D_j^{\theta} e^{-\beta c_{ij} - \lambda w_{ij}} \quad (5)$$

Onde: α e θ são parâmetros inseridos no modelo proposto e as demais variáveis já foram explicadas ao apresentar a Equação 2.

2.2. Definição das oportunidades

Em 1960 Stouffer reformula sua própria teoria (Stouffer, 1940), com o objetivo de determinar as oportunidades intervenientes entre uma cidade de origem i e seu destino j (Stouffer, 1960). Este trabalho prevê os fluxos migratórios entre as cidades de St. Louis, Denver, New York e Los Angeles. O procedimento é proposto conforme segue: (1) Conecta-se as duas cidades por uma linha reta; (2) Desenha-se um círculo com esta linha como diâmetro; (3) Contam-se as oportunidades dentro deste círculo.

Desta forma, considera-se todas as oportunidades intervenientes que estão a uma distância d_{ik} menor que d_{ij}, conforme pode ser observado na Figura 1-A.

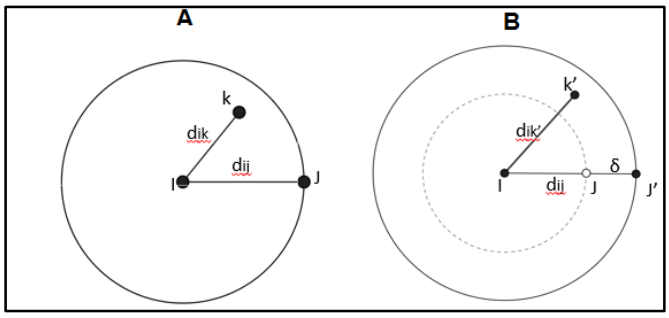


Figura 1: Figura geométrica círculo para definição das oportunidades

Em seu trabalho, Stouffer informa que a escolha do círculo foi realizada de forma arbitrária, em função da simplicidade de sua utilização e que ao invés do círculo poderia ser usada uma elipse ou outra região qualquer que fosse mais conveniente (Gonçalves, 1992).

Torna-se oportuno explicitar a adaptação realizada por este trabalho do método proposto por Stouffer (1960). Conforme indicado pelo autor, utilizou-se nesta pesquisa também a figura geométrica da elipse para delimitar as oportunidades intervenientes. Neste caso a origem i e destino j foram considerados os focos da elipse e k um ponto qualquer dentro da área delimitada pela referida figura geométrica. A Figura 2-A faz a ilustração desta relação.

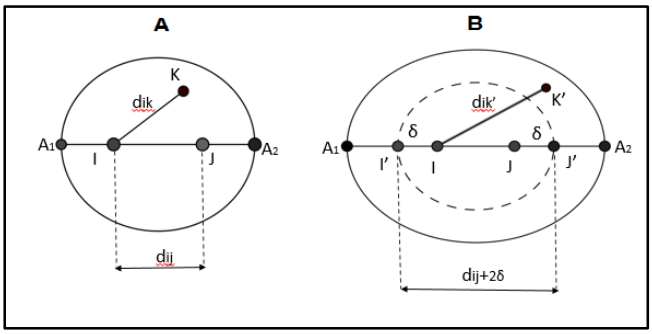


Figura 2: Figura geométrica elipse para definição das oportunidades

Ainda no que tange a definição das oportunidades intervenientes, com o intuito de atingir o objetivo desta pesquisa e corroborar uma de suas hipóteses, foi realizado para o círculo um

aumento baseado em um percentual δ na distância d_{ij} (Figura 1-B), considerando as oportunidades uma distância d_{ik} menor que $d_{ij}+\delta$, denotado pela Equação 6.

$$d_{ik} < d_{ij} + \delta, \forall\, \delta \mid \delta \geq 0 \quad (6)$$

Analogamente ao círculo, foi realizado para a elipse um aumento baseado em um percentual δ na distância que d_{ij} (Figura 2-B), conforme pode ser verificado na Equação 7.

$$d_{ik} + d_{kj} < d_{ij} + 2\delta, \forall\, \delta \mid \delta \geq 0 \quad (7)$$

O valor d δ será definido pelo percentual de aumento da distância d_{ij}, correspondente a maior correlação entre as viagens observadas (T_{ij}^{*}) e as oportunidades encontradas. Este procedimento será detalhado na seção 4.1 deste trabalho.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Materiais

A pesquisa foi realizada baseada em informações de deslocamentos de pessoas no município do Rio de Janeiro e os dados utilizados para compor a matriz observada de viagens (T_{ij}^{*}) foram obtidos a partir do Plano Diretor de Transporte Urbano da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (PDTU) (PDTU-RMRJ, 2003). O PDTU realizado no ano de 2003 é um estudo criterioso e detalhado sobre o sistema de transporte urbano na Região Metropolitana do Rio de Janeiro-Brasil, elaborado pela Secretaria de Estado de Transportes (SETRANS). Neste trabalho, decidiu-se utilizar como origem e destino as 33 regiões administrativas existentes na cidade do Rio de Janeiro.

Foram consideradas pessoas que se deslocavam da sua residência para o trabalho, no horário de 6h às 10h da manhã, totalizando 1.770.859 viagens. Essa divisão segue as recomendações de Wilson (1970), assim como outros pesquisadores que realizaram seus trabalhos baseados em dados de viagens com este propósito ou em horário de pico, conforme pode ser encontrado nos trabalhos de: Raphael (1998); Dickey e Hunter (1970); Okabe (1977); Rouwendal e Nijkamp (2004); Griffith (2009); De Vries *et al.* (2009); De Grange *et al.* (2011); Nazem *et al.* (2011); Gargiulo *et al.* (2012); Simini *et al.* (2012); Masucci *et al.* (2013); Nazem *et al.* (2013, 2015) e Lenormand *et al.* (2014, 2016).

As oportunidades intervenientes foram obtidas a partir de dados disponibilizados pelo Instituto Pereira Passos (BDA RIO, 2010). Foram consideradas como oportunidades intervenientes número de empregos e matrículas escolares realizadas no Ensino Fundamental (EF), Ensino Médio (EM) e uma variável adicional denominada Ensino Total (ET) que foi calculada pela soma das variáveis EF e EM.

3.2. Método

O experimento foi dividido em cinco etapas que serão descritas conforme segue. Na primeira etapa os dados foram agrupados de acordo com o filtro Residência x Trabalho (6h às 10h). Na segunda etapa foram calculadas as oportunidades intervenientes considerando os casos de $\delta = 0$ e $\delta \neq 0$ e para cada um deles, considerou-se duas diferentes figuras geométricas que este trabalho denominou como Círculo e Elipse.

Durante a terceira etapa, realizou-se para cada caso de δ ($\delta = 0$ e $\delta \neq 0$) e cada uma das figuras geométricas utilizadas para definição das oportunidades intervenientes (Etapa 2), a estimava de uma matriz O-D por meio de dois modelos, a saber: Modelo original de oportunidades intervenientes (MOO) (Equação 1) e Modelo modificado de oportunidades intervenientes (MMO) (Equação 5).

Na quarta etapa, aplicou-se o método interativo de Furness (Furness, 1970) que realizou o balanceamento das matrizes que compõem o experimento, obtendo dessa forma as novas matrizes O-D (T_{ij}). A utilização deste método pode ser encontrados nos trabalhos do Celik (2010); Thomas e Tutert (2013) e Gonçalves e UIysséa Neto (1993).

Na quinta etapa, avaliou-se a eficácia do experimento realizada pelo novo procedimento para a distribuição de viagens por meio do Coeficiente de determinação (R^2) e Índice de dissimilaridade (ID).

O ID é uma estatística que mede a porcentagem de viagens que necessitam ser realocadas entre os pares de origem-destino, no intuito que a matriz de viagem estimada coincida com a observada (Gonçalves, 1992). É possível encontrar sua utilização nos trabalhos de Almeida e Gonçalves (2001); Gonçalves e UIysséa Neto (1993) e Gonçalves (1992), e é definido pela Equação 8:

$$\mathrm{ID} = \frac{50}{T^*} \sum_{ij} | T_{ij} - T_{ij}^* | \quad (8)$$

Onde: T^* = Número total de viagem da matriz observada;
T_{ij}^* = Número observado de viagens na célula (i, j);
T_{ij} = Número estimado de viagens na célula (i, j).

4. DISCUSSÃO

A análise do resultados obtidos baseados no método descrito na seção 3 será apresentada em dois blocos, conforme método utilizado para a estimativa da matriz O-D.

4.1. Modelo original de oportunidades intervenientes (MOO)

Conforme relatado, a terceira etapa do procedimento adotado utilizou o MOO (Equação 1) para o cálculo da matriz O-D não balanceada e para isso, foram consideradas as oportunidades intervenientes definidas pelas figuras geométricas estabelecidas na segunda etapa deste experimento. Em um primeiro momento realizou-se o cálculo da matriz O-D considerando as oportunidades intervenientes (U_{ik}) existentes entre O_i e D_j, sendo ($d_{ik} < d_{ij} + \delta \mid \delta = 0$) para o círculo ou ($d_{ik} + d_{kj} < d_{ij} + 2\delta \mid \delta = 0$) para a elipse.

Objetivando validar a primeira hipótese deste trabalho, realizou-se um procedimento que consiste em aumentar a impedância d_{ij} em um percentual δ, incrementando em intervalos de 10%. A cada incremento em δ, avaliou-se a correlação entre as viagens observadas (T_{ij}^*) e as oportunidades intervenientes recalculadas (U_{ik}). O uso da correlação para avaliar a precisão de modelos de distribuição de viagem é discutido nos trabalhos de Masucci *et al.* (2013); Jung *et al.* (2008); Griffith (2009) e Black (1991). Segundo este último autor, no contexto da interação espacial, é possível abordar relação linear entre os fluxos observados e os fluxos estimados, apesar destes coeficientes não medirem a precisão entre esses fluxos.

Em ambas figuras geométricas utilizadas para determinar as oportunidades intervenientes, a variável emprego apresentou a melhor correlação com T_{ij}^* e por esta razão, esta pesquisa optou considera-la como referência para os valores que serão apresentados. As correlações para cada figura geométrica desta etapa são a apresentadas nas Figuras 3 e 4.

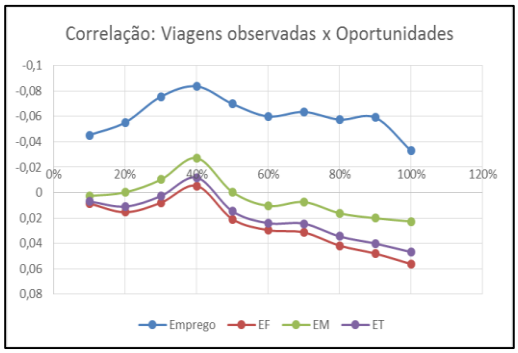


Figura 3: Figura geométrica: Círculo

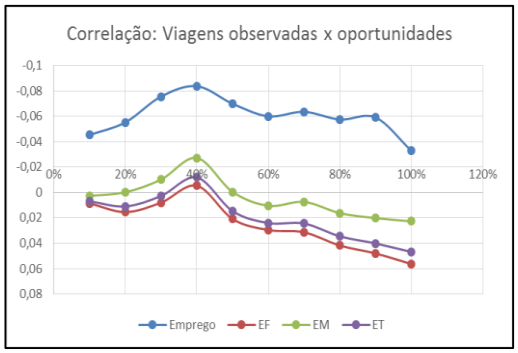


Figura 4: Figura geométrica: Elipse

Em ambos os caso, foi encontrada o valos $\delta = 40\%$, correspondendo à melhor correlação entre T_{ij}^* e U_{ik}.

O fato da variável emprego ter apresentado melhor correlação com as viagens observadas (T_{ij}^*) em ambos os gráficos apresentados, indica que dentre as variáveis analisadas, a mesma possui maior significância para o modelo adotado que busca explicar as viagens entre a origem i e o destino j, e por esta razão será a oportunidade interveniente considerada nesta pesquisa.

Os valores dos parâmetros (expoentes) λ foram obtidos por meio do método da máxima verossimilhança (Raphael, 1998; Rogerson, 1993; Sen, 1986; De Grange, *et al.*, 2011; Evans, 1971 e Williams, 1976) e os resultados são apresentados em cada conjunto de dados e figura geométrica, conforme Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros encontrados

	Valores para λ	
Figura geométrica	$\delta = 0$	$\delta \neq 0$
Círculo	$5{,}344224 \cdot 10^{-6}$	$2{,}478805 \cdot 10^{-6}$
Elipse	$1{,}506779 \cdot 10^{-5}$	$5{,}224857 \cdot 10^{-6}$

Ao realizar a quarta etapa, aplicou-se por meio método interativo de Furness (Furness, 1970), o balanceamento das 4 novas matrizes definidas neste segundo momento do experimento, obtendo dessa forma as novas matrizes O-D (T_{ij}).
Na quinta etapa, avaliou-se o novo procedimento para a distribuição de viagens por meio do Índice de dissimilaridade (ID) e Coeficiente de determinação (R^2). Os resultados são exibidos na Tabela 4.

4.2. Modelo modificado de oportunidades intervenientes (MMO)

Conforme relatado, durante a terceira etapa do experimento, utilizou-se também o MMO (Equação 5) para o cálculo da matriz O-D não balanceada e de maneira análoga ao relatado na seção 4.1, foram consideradas as oportunidades intervenientes definidas pelas figuras geométricas estabelecidas na segunda etapa deste experimento, bem como os valores encontrados para δ, nos casos da melhor correlação entre as oportunidades intervenientes (U_{ik}) e as viagens observadas (T_{ij}^*).

Os parâmetros α, θ, β e ω foram obtidos por meio do método dos mínimos quadrados (Dison e Hale, 1977; Thomas e Tutert, 2013; Chen, 2015; De Vries *et al.*, 2009). Os parâmetros (expoentes) são apresentados para cada e figura geométrica na Tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros encontrados (δ = 0)

	Parâmetros das variáveis			
Figura geométrica	Produção (α)	Atração (θ)	Tempo (β)	Emprego (ω)
Círculo	0,84096228	0,75428264	-0,015578	$-1{,}816144 \cdot 10^{-6}$
Elipse	0,80863002	0,74537010	-0,022293	-

Observe que para a elipse, o parâmetro ω associado à variável emprego não possui valor. Esse fato deve-se em função de não possuírem grau de significância suficiente para o modelo matemático utilizado.

Após encontrar a melhor correlação em δ% entre U_{ik} e T_{ij}^{*}, as oportunidades U_{ik} foram recalculadas considerando ($d_{ik} < d_{ij} + \delta\% \mid \delta \neq 0$) para o círculo ou ($d_{ik} + d_{kj} < d_{ij} + 2\delta\% \mid \delta \neq 0$) para a elipse. A seguir recalculou-se novamente por meio método dos mínimos quadrados o valor dos parâmetros α, θ, β, ω, definindo assim uma nova matriz O-D utilizando o MMO. Os parâmetros (expoentes) encontrados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Parâmetros encontrados (Melhor correlação - δ ≠ 0)

	Parâmetros das variáveis			
Figura geométrica	Produção (α)	Atração (θ)	Tempo (β)	Emprego (ω)
Círculo	0,89269864	0,80236543	- 0,015318	$-2{,}271873 \cdot 10^{-6}$
Elipse	0,82205261	0,74501916	-0,018993	$-8{,}035805 \cdot 10^{-6}$

Cumprindo a quinta etapa do experimento, apresenta-se na Tabela 4 os resultados obtidos.

4.3. Comparação entre os modelos

Ao observar os resultados das matrizes estimadas (Tabela 4), nota-se que nas oito matrizes estimadas, os valores do Índice de Dissimilaridade (ID) e Coeficiente de Determinação (R^2) melhoraram quando utilizou-se as oportunidades intervenientes de melhor correlação (δ ≠ 0), conforme resultados sublinhados.

Tabela 4: Resultados dos testes estatísticos das matrizes estimadas

Método	Círculo				Elipse			
	($d_{ik}<d_{ij}+\delta \mid \delta=0$)		($d_{ik}<d_{ij}+\delta \mid \delta \neq 0$)		($d_{ik}+d_{kj}<d_{ij}+2\delta \mid \delta=0$)		($d_{ik}+d_{kj}<d_{ij}+2\delta \mid \delta\neq0$)	
	ID	R^2	ID	R^2	ID	R^2	ID	R^2
MOO	25,54	0,7804	20,19	0,9283	26,46	0,8187	20,70	0,9165
MMO	21,29	0,8974	<u>18,03</u>	<u>0,9497</u>	19,80	0,9253	<u>19,72</u>	<u>0,9263</u>

Como é possível observar o MMO apresenta melhores resultados quando comparados nas mesmas condições (figura geométrica e valor de δ) ao MOO.

A Figura 5 mostra o percentual de distribuição de viagens em relação ao tempo de viagem, para ambos os modelos de distribuição de viagens testados neste trabalho com as oportunidades intervenientes determinadas pela figura geométrica círculo e com δ = 40%.

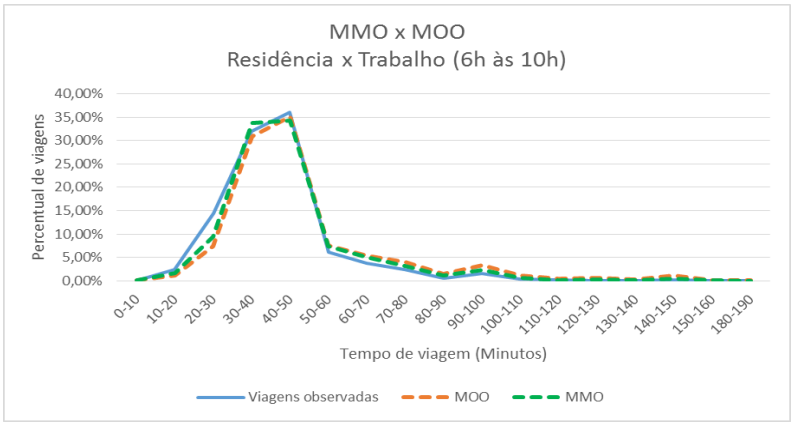


Figura 5: Comparação entre os modelos MOO e MMO – Círculo com δ = 40%

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que é possível utilizar as figuras geométricas círculo e elipse para delimitar as oportunidades intervenientes. Entretanto a figura círculo, tradicionalmente utilizada para este fim, apresentou melhores resultados na maioria dos cenários testados. Portanto, observando tais resultados e considerando a simplicidade de utilização do círculo, recomenda-se o uso desta figura para determinar as oportunidades.

Como contribuição principal deste trabalho, considera-se o alcance de seus objetivos, dado que mostrou-se válido o Modelo Modificado de Oportunidades (MMO) proposto neste trabalho, sendo inclusive através dele encontrado melhor resultado, com ID = 18,03 e R^2 = 0,9497, utilizando o círculo e considerado um adicional de 40% da distância delimitada pelo diâmetro do raio deste círculo (δ = 40%).

Esses resultados corroboram a primeira hipótese deste trabalho, que há um percentual δ que somado a uma distância d_{ij}, melhor explique os descolamentos entre a origem (O_i) e o destino (D_j). Por consequência, corrobora-se também a segunda hipótese ao mostrar ser possível estimar a matriz O-D para a cidade do Rio de Janeiro utilizando oportunidades intervenientes.
Ao se validar empiricamente a primeira hipótese deste trabalho, torna-se factível que para se delimitar as oportunidades intervenientes, adotar o procedimento de aumentar em 40% a distância entre a origem e o destino em ambas figuras geométricas testadas, gera melhores resultados na estimativa das viagens, sem entretanto explicar a causa deste fenômeno. Não se sabe ainda se o valor de 40% é atribuído apenas a este experimento ou se é um comportamento a ser detectado em outros estudos.

Como trabalhos futuros, espera-se expandir a pesquisa para viagens com outros propósitos e verificar se o MMO, juntamente com a nova maneira de determinar as oportunidades intervenientes estabelecida por este trabalho, pode ser aplicado em outras cidades com características demográficas e socioeconômicas diferentes da cidade do Rio de Janeiro. Além disso, como este trabalho não objetivou explicar a causa de se encontrar um δ = 40%, espera-se em novos trabalhos tentar realizar um experimento que possa explicar tal fenômeno.

REFERÊNCIAS

Akwawua, S. e Pooler, J. (2001) The Development of an Intervening Opportunities Model with Spatial Dominance Effects. *Journal of Geographical Systems*, 3, 69-86.

Almeida, L. M. W. e Goncalves, M. B. (2001) A Methodology to Incorporate Behavioral Aspects in Trip Distribution Models with an Application to Estimate Student Flow. *Environment and Planning A*, 33, 1125-1138.

BDA RIO (2010) *Banco de dados agregado. Instituto Pereira Passos*. Disponível em http://portalgeo.rio.rj.gov.br/bdario/. Acesso em 08 fev. 2017.

Black, W. R. A (1991) Note on the Use of Correlation Coefficients for Assessing Goodness-of-fit in Spatial Interaction Models. *Transportation*.

Celik, H. M. (2010) Sample size needed for calibrating trip distribution and behavior of the gravity model. *Journal of Transport Geography, 18*(1), 183-190. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2009.05.013

Chen, Y. (2015) The distance-decay function of geographical gravity model: power law or exponential law? *Chaos, Solitons Fractals* 77, 174–189

De Grange, L., Ibeas, A. e González, F. (2011) A Hierarchical Gravity Model with Spatial Correlation: Mathematical Formulation and Parameter Estimation. *Networks and Spatial Economics*, 11(3), 439-463. doi: 10.1007/s11067-008-9097-0

De Vries, J., Nijkamp, P. e Rietveld, P. (2009) Exponential or power distance-decay for commuting? an alternative specification. *Environ. Plan*. A 41, 461–480.

Dickey, J. W. e Hunter, S. P. (1970) Grouping of travel time distributions. *Transportation Research*, 4(1), 93–102. https://doi.org/10.1016/0041-1647(70)90079-1

Dison, D. W. e Hale, C. W. (1977) Gravity versus Intervening Opportunity Models in Explanation of Spatial Trade Flows. *Growth and Change*, 8(4). https://doi.org/10.1111/j.1468-2257.1977.tb00345.x

Evans, A . W. (1971) The Calibration of Trip Distribution Models with Exponential or Similar Cost Functions . *Transportation Research*, vol .5 , pp . 15-38.

Furness, K. P. (1970) *Time function interaction*. Traffic Engineering and Control 7.

Galle , O. R. e Taeuber, K. E. (1966) Metropolitan Migration and Intervening Opportunities. American *Sociological Review*, vol. 31, n 21.

Gargiulo, F., Lenormand, M., Huet, S. e Baqueiro Espinosa, O. (2012) Commuting network model: getting to the essentials. J. *Artif. Soc. Soc. Simul*. 15, 13.

Gonçalves, M. B. e De Cursi, J. E. S. (2001) Parameter Estimation in a Trip Distribution Model by Random Perturbation of a Descent Method. *Transportation Research Part B*, 35, 137-161.

Gonçalves, M. B. e UIysséa Neto, I. (1993) The Development of a new Gravity - Opportunity Model for Trip Distribution. *Environment and Planning A*, 25(6), 817-826.

Gonçalves, M. B. (1992) Desenvolvimento e teste de um novo modelo gravitacional – de oportunidades para distribuição de viagens. Tese. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

Griffith, D. A. (2009) Modeling spatial autocorrelation in spatial interaction data: empirical evidence from 2002 Germany journey-to-work flows. J. *Geogr. Syst*. 11, 117–140.

IBGE (2010) *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. Disponível em http://cidades.ibge.gov.br/. Acesso em 08 fev. 2017.

Jung, W. S., Wang, F. e Stanley, H. (2008) Gravity model in the Korean highway. *Europhys.Lett*. 81, 48,005.

Lenormand, M., Huet, S. e Gargiulo, F. (2014) Generating French virtual commuting network at municipality level. J. *Transp. Land Use* 7, 43–55.

Lenormand, M., Bassolas, A. e Ramasco, J. J. (2016) Systematic comparison of trip distribution laws and models. *Journal of Transport Geography*, pp. 158-169.

Masucci, A., Serras, J., Johansson, A. e Batty, M. (2013) Gravity versus radiation models: on the importance of scale and heterogeneity in commuting flows. *Phys. Rev.* E 88, 022,812.

Nazem, M., Trépanier, M. e Morency, C. (2011) Demographic Analysis of Route Choice for Public Transit. *Transportation Research Record*, 2(2217), 71-78.

Nazem, M., Trépanier, M. e Morency, C. (2013) Integrated Intervening Opportunities Model for Public Transit Trip Generation-Distribution: A Supply-dependent Approach. *Transportation Research Record*, 1(2350), 47-57. doi: 10.3141/2350-06.

Nazem, M., Trépanier, M. e Morency, C. (2015) Revisiting the destination ranking procedure in development of an Intervening Opportunities Model for public transit trip distribution. *Journal of Geographical Systems*, 17(1). https://doi.org/10.1007/s10109-014-0203-1

Okabe, A. (1977) Formulation of The Intervening Opportunities Model for housing location choice behavior. *Journal of Regional Science*, 17(1). https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.1977.tb00470.x

PDTU-RMRJ (2003) *Plano Diretor de Transporte Urbano da Região Metropolitana do Rio de Janeiro*. Disponível em http://www.pdtu.rj.gov.br/. Acesso em 08 fev. 2017.

Pooler, J. (1992) Spacial uncertainty and spatial dominance in interaction moddeling: a theoretical perspective on spatial competition. *Environment and Planning A*.

Raphael, S. (1998) Intervening opportunities, competing searchers, and the intrametropolitan flow of male youth labor. *Journal of Regional Science*, 38(1).

Rogerson, P. A. (1993) A maximum likelihood estimator for the intervening opportunities model. *Transportation Research Part B*, 27(4), 275–280. https://doi.org/10.1016/0191-2615(93)90037-B

Rouwendal, J. e Nijkamp, P. (2004) Living in two worlds: a review of home-to-work decisions. *Growth Chang*. 35, 287–303.

Schneider, M. (1959) Gravity Models and Trip Distribution Theory. *Regional Science Association*, 1, 51-56.

Sen, A. (1986) Maximum Likelihood Estimation of Gravity Model Parameters. *Journal of Regional Science*, vol. 26, n- 3, pp. 461-474, 1986.

Silva, M. A. V; D'Agosto, M. A. (2013) A model to estimate the origin–destination matrix for soybean exportation in Brazil. *Journal of Transport Geography*, 26, 97-107. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.08.011

Simini, F., González, M. C., Maritan, A., Barabasi, A. L. (2012) A universal model for mobility and migration patterns. *Nature* 484, 96–100.

Stouffer, S.A., (1940) Intervening opportunities: a theory relating mobility and distance. *Am. Sociol. Rev*. 5, 845–867.

Stouffer, S. A. (1960) Intervening Opportunities and Competing Migrants. *Journal of Regional Science*, 2, 1-26.

Thomas, T. e Tutert, S. I. A. (2013) An empirical model for trip distribution of commuters in The Netherlands: transferability in time and space reconsidered. *Journal of Transport Geography*, 26(0), 158-165. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.09.005

Williams , T. (1976) A Comparison of some Calibration Techniques for Doubly Constrained Modes with an Exponential Cost Function . *Transportation Research* , vol . 10, pp .91–104.

Wills, M. J. (1986) A flexible gravity-opportunities model for trip distribution. *Transportation Research Part B: Methodological*, 20(2), 89-111.

Wilson , A. G. (1967) A Statistical Theory of Spatial Distribution Models. *Transportation Research*, vol. 1, pp. 253-269.

Wilson, A. G. (1970) Advances and Problems in Distribution Modelling. *Transportation Research*, 4, 1-18.

Bruno Morais Lemos (bruno.lemos@pet.coppe.ufrj.br)
Marcelino Aurélio Vieira da Silva (marcelino@pet.coppe.ufrj.br)
Romulo Dante Orrico Filho (romulo@pet.coppe.ufrj.br)
Programa de Engenharia de Transportes do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).
Av. Horácio Macedo, 2030, Centro de Tecnologia - bloco H. Cidade Universitária – Ilha do Fundão. Rio de Janeiro, RJ.

ANÁLISE DA DEMANDA POR INTEGRAÇÃO DO TRANSPORTE PÚBLICO AO CICLOVIÁRIO EM FORTALEZA

Tais Barreto Costa
Carlos Felipe Grangeiro Loureiro
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes
Universidade Federal do Ceará

RESUMO
Apesar dos poucos incentivos nos últimos anos ao transporte cicloviário no Brasil, é possível perceber que novos usuários têm sido atraídos para o transporte por bicicleta. Em Fortaleza, análises realizadas no sistema de bicicletas compartilhadas apontam que 30% das viagens nesse sistema ocorrem com integração com ônibus, despertando um questionamento acerca dos benefícios que esse encadeamento de viagens pode trazer para os usuários. Esta pesquisa de dissertação de mestrado tem como objetivo geral, portanto, compreender o comportamento de escolha modal na integração do transporte público com o cicloviário em Fortaleza. Para tanto, serão inicialmente identificados os fatores que determinam a escolha do usuário pela integração bicicleta-ônibus, para em seguida calibrar um modelo de escolha discreta que permita simular cenários alternativos de integração, possibilitando realizar análises de sensibilidade da rede multimodal modelada no software TRANUS. Espera-se compreender a realidade local desse fenômeno, além de contribuir metodologicamente com o conhecimento da modelagem do transporte público integrado ao cicloviário.

Tais Barreto Costa (taiscosta@gmail.com)
Carlos Felipe Grangeiro Loureiro (felipe@det.ufc.br)
Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará
Campus do Pici - Bloco 703 - 60440-554 - Fortaleza CE Brasil

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE ALGORITMOS DE APRENDIZAGEM DE MÁQUINAS PARA ANÁLISE DESAGREGADA DE VIAGENS INTERMUNICIPAIS

Andreza Dornelas de Souza Roma
Henrique Stramandinoli Guimarães
Cira Souza Pitombo
Universidade de São Paulo/Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Engenharia de Transportes

RESUMO
Este trabalho propõe uma análise desagregada de escolha de destinos para viagens intermunicipais, por meio da aplicação de algoritmos de Aprendizagem de Máquinas - AM (Árvore de Decisão - AD e Algoritmos Genéticos - AG). Foi utilizada uma Pesquisa OD, realizada pelo Centro de Estudos de Transportes e Meio Ambiente (UFBA), em 2012/2013 em onze municípios do estado da Bahia. O desempenho de cada algoritmo de AM foi comparado à abordagem tradicional (modelo gravitacional). Tal comparação foi realizada considerando os seguintes critérios: distribuição das distâncias de viagens, medidas de ajuste e perspectiva qualitativa. Os resultados evidenciaram que os algoritmos de AM apresentaram melhores previsões para a escolha de destinos, sendo que o AG apresentou vantagens na obtenção dos parâmetros associados às variáveis independentes. A principal conclusão é que tais algoritmos podem ser aplicados na modelagem de distribuição de viagens, incorporando o efeito das variáveis desagregadas, sem suposições matemáticas rigorosas como independência das alternativas, por exemplo.

ABSTRACT
This paper proposes a disaggregated analysis of intercity destination choices, through the application of Machine Learning (ML) algorithms (Decision Tree - DT and Genetic Algorithms - GA). An Origin-Destination Survey was carried out by the Center of Transport and Environmental Studies (UFBA) in 2012/2013 in eleven municipalities in the state of Bahia. The performance of each ML algorithm was compared to a traditional approach (Gravitational Model). Such comparison was made considering the following criteria: distribution of travel distances, adjustment measures and qualitative perspective. The results showed that the ML algorithms presented better predictions for destination choices, and GA presented advantages in obtaining the estimated parameters related to the covariates. The main conclusion is that such algorithms can be applied in trip distribution step, incorporating the effect of the disaggregated variables, without rigorous assumptions as IIA.

1. INTRODUÇÃO E *BACKGROUND*

A análise delineada neste artigo baseia-se na segunda etapa do modelo sequencial tradicional, a Distribuição de Viagens. Os modelos de distribuição de viagens têm o objetivo de prever as escolhas de destinos dadas as viagens produzidas e atraídas em cada Zona de Tráfego (ZT) – ou variáveis sociodemográficas agregadas, além de variáveis de impedância de viagem entre cada par de origem e destino (De Grange et al., 2010; Wilson, 1967).

A análise desagregada para distribuição de viagens foi introduzida a partir do desenvolvimento dos modelos de escolha discreta no início da década de 1980 (Fotheringham, 1983; Ben - Akiva e Lerman, 1985). Tais modelos ajustam o banco de dados a formulações matemáticas e partem da suposição de estimativa de parâmetros que compõem as funções utilidades das alternativas. No entanto, eles implicam limitações relacionadas a um atributo reconhecido como IIA (Independência das Alternativas).

O atributo IIA envolve a restrição de que os termos de erro aleatório são independentes (sem correlação) e igualmente distribuídos (variância constante) (Koppelman e Wen, 2000). Tal restrição não faz parte dos algoritmos de Aprendizagem de Máquinas (AM), os quais são técnicas semi-paramétricas ou não paramétricas que identificam padrões e classificam indivíduos, dado um conjunto de dados. Este conjunto de algoritmos pode ser útil na análise da demanda por viagens, pois não tem limitações importantes, tais como dados multicolineares, suposições de distribuição populacionais ou IIA. A Figura 1 ilustra a justificativa para o uso de algoritmos de AM na etapa de distribuição de viagens.

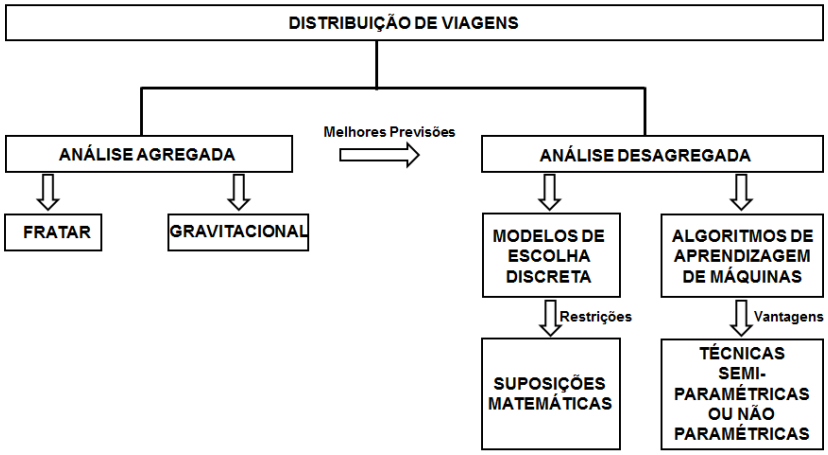


Figura 1: Aplicação de algoritmos de Aprendizagem de Máquinas em problemas de escolha de destinos intermunicipais (Adaptado de Pitombo et al., 2017; De Souza, 2017)

Neste contexto, a modelagem do comportamento individual relativo às viagens pode ser descrita formalmente como uma tarefa de reconhecimento de padrões em que vários atributos comportamentais humanos, representados por variáveis explicativas, permitem prever uma escolha entre um conjunto de alternativas (Xie et al., 2003).

Dessa forma, a literatura recente apresenta a aplicação de algoritmos de Aprendizagem de Máquinas em problemas de demanda por transportes (Pulugurta et al., 2013; Pitombo et al., 2011; Pitombo et al., 2013; Ichikawa et al., 2002, Omrani, 2015). No entanto, a aplicação de tais técnicas ainda é rara na estimativa de escolhas de destinos intermunicipais em um banco de dados desagregados (Yang et al., 2014; LaMondia et al., 2009; Pitombo et al., 2017). Além dos trabalhos mencionados anteriormente, existem alguns estudos recentes que consideram a aplicação e a adequabilidade de Redes Neurais Artificiais na modelagem de distribuição de viagens (Rasouli e Nikras, 2013; Mozolin et al., 2015).

A principal lacuna, e consequente contribuição deste trabalho, está focada na apresentação de tais algoritmos de AM para o caso específico de distribuição de viagens intermunicipais. Assim, o objetivo principal deste trabalho é propor uma análise desagregada de escolha de destinos intermunicipais por meio da aplicação da técnica não-paramétrica - CART(*Classification And Regression Tree*), e da técnica semi-paramétrica (Algoritmos Genéticos - AGs). Além disso, o presente trabalho propõe-se a identificar as variáveis mais importantes, agregadas e/ou desagregadas, na escolha de destinos intermunicipais, além de verificar o desempenho de tais algoritmos na estimativa de distribuição de viagens.

2. UMA BREVE DESCRIÇÃO DOS ALGORITMOS DE AM UTILIZADOS

2.1 Árvore de Decisão

Árvore de Decisão representa um conjunto de técnicas não-paramétricas que têm objetivo de prever (para variáveis dependentes contínuas) ou classificar dados (para variáveis dependentes categóricas). Tais técnicas geram uma estrutura representativa de uma sequência de decisões por meio das quais ocorrem sucessivas divisões em um conjunto de dados inicial (nó raiz) até que o mesmo seja representado por diversas classes dentro dos nós filhos gerados (Breiman et al., 1984). Quando nenhuma outra subdivisão dos dados é possível, os subconjuntos finais são denominados nós terminais ou folhas.

A aplicação da AD é realizada levando em conta três elementos principais: um conjunto de questões que delimita a divisão dos dados, um critério para estabelecer a melhor divisão na

obtenção de nós filhos e uma regra de parada para as subdivisões (*stop-splitting rule*). Os principais algoritmos de Árvores de Decisão são C4.5 (Quinlan, 1983), CHAID (Kass, 1980) e CART (Breiman et al., 1984). Neste trabalho optou-se pela aplicação do algoritmo CART.

O algoritmo CART (*Classification And Regression Tree*) foi desenvolvido por Breiman et al. (1984) e fundamenta-se na realização de uma sequência de divisões binárias do conjunto de dados inicial até atingir a máxima homogeneidade dentro dos nós terminais. A partição do banco de dados é realizada de forma a minimizar a impureza dos nós filhos.

Para problemas de classificação (Árvore de classificação – variável dependente categórica), como no caso do presente trabalho, o melhor critério de divisão do conjunto de dados é verificado quando um determinado atributo (variável) realizar a melhor partição dos dados. Este atributo é selecionado de modo que ocorra um decréscimo da medida de impureza de um determinado nó e, consequentemente, a sua máxima homogeneidade.

Inicialmente, o nó raiz apresenta grau de impureza máximo por ser o nó no qual está contido o conjunto de dados completo. As categorias dentro deste nó serão definidas de acordo com a variável dependente estabelecida para o problema. Dessa forma, considerando que a variável dependente apresente n (1,2,3,i,...,n) categorias, a probabilidade da categoria i aparecer no nó raiz, por exemplo, definido como nó inicial 0, será p(i/0). Cabe ressaltar que a soma das probabilidades de todas as categorias em um dado nó é equivalente a 1.

Após sucessivas divisões, irá ocorrer a diminuição da medida de impureza dentro dos nós filhos gerados. A máxima homogeneidade (Impureza=0) em um nó t será alcançada quando um nó contiver uma única categoria com 100% do conjunto de dados (p(i/t)=1). O cálculo mais comum da heterogeneidade dos dados do algoritmo CART é realizado pelo Índice Gini, dado pela Equação 1.

$$G(t) = 1 - \sum_{i=1}^{n} p^2(\frac{i}{t}) \quad (1)$$

A diferença entre o Índice Gini para o nó pai e a soma dos valores para os nós filhos, ponderados pela proporção de casos em cada filho, é apresentada na árvore como aprimoramento. A escolha da melhor variável explicativa e melhor valor de corte se dá pela combinação (de variável e valor de corte) que produz maior valor de aprimoramento.

2.2 Algoritmos Genéticos

Algoritmos Genéticos (AGs) são um conjunto de algoritmos que consiste em métodos de otimização e busca inspirados em mecanismos de evolução de populações de seres vivos (De Carvalho et al., 1999). Os AGs são uma aproximação computacional da maneira como a evolução realiza a busca, alterando o gene e, consequentemente, a forma dos indivíduos. Segundo Kononenko e Kukar (2007), Algoritmos Genéticos baseiam-se na evolução e seleção natural, em que cada hipótese corresponde a uma resposta, codificando com uma cadeia de bits, chamada genes.

A otimização consiste em um processo de busca pela melhor solução com o propósito de alcançar os objetivos determinados. As técnicas de busca e otimização devem ser utilizadas quando não existe uma solução simples e diretamente calculável para o problema. Isso geralmente ocorre quando a solução do problema é complexa ou existem milhões de possíveis soluções. Tais técnicas, geralmente, apresentam um espaço de busca, onde estão todas as possíveis soluções para o problema analisado, e uma função objetivo, da qual se utiliza para avaliar todas as soluções geradas por meio da atribuição de uma nota para cada uma delas.

Vale ressaltar que, na literatura de Algoritmos Genéticos (AGs), esta função objetivo também pode ser chamada de função de aptidão (De Carvalho et al., 1999).

3. MATERIAIS E MÉTODO

3.1 Banco de dados

O estado da Bahia é um dos 27 estados do Brasil, localizado na região nordeste e contém 417 municípios, incluindo Salvador, a capital. A análise deste artigo foi baseada no banco de dados de uma Pesquisa Origem-Destino de 2012, realizada em 11 municípios da Bahia: Alagoinhas, Catú, Pojuca, Mata de São João, Dias D'Ávila, Camaçari, Simões Filho, Salvador, Candeias, Santo Amaro e Conceição da Feira. A Figura 2 ilustra a área e destaca os 11 municípios.

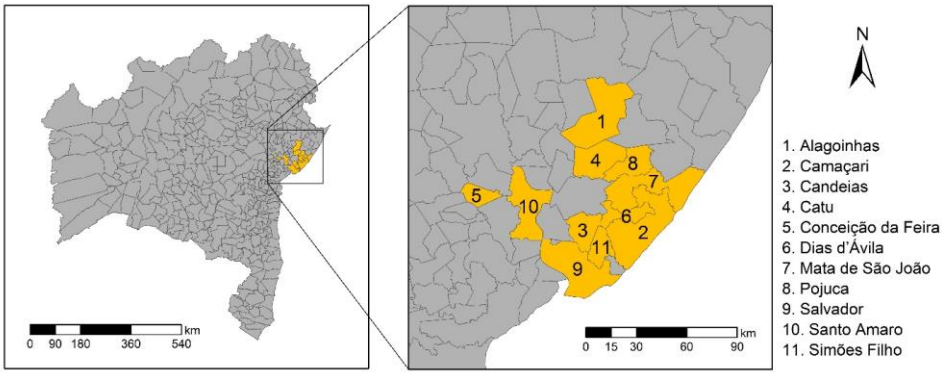


Figura 2: Estado da Bahia e os onze municípios estudados (Pitombo et al., 2017)

3.2 Amostra

A amostra é composta por indivíduos maiores de quinze anos, usuários dos ônibus nos terminais rodoviários residentes nos municípios que abrangem a pesquisa e por motoristas e passageiros de automóveis nas rodovias intermunicipais ao longo dos trechos em estudo. As informações foram coletadas por meio de um questionário estruturado, elaborado pelos pesquisadores do Centro de Estudos de Transporte e Meio Ambiente (UFBA).

Para tratamento da amostra foram utilizadas variáveis socioeconômicas, além de informações relativas às viagens intermunicipais (motivo, modo de transporte, frequência da viagem, etc.) – *variáveis categóricas ordinais*. Além disso, foram adicionados ao banco de dados, variáveis agregadas dos municípios de origem e destino, provenientes do último Censo Demográfico e variáveis de tempo e distância de viagem (*variáveis contínuas normalizadas*). Associadas a essas informações estão as escolhas de destino intermunicipais (variável dependente). A variável dependente de escolhas de destinos refere-se aos onze municípios (Figura 2). O tamanho final da amostra resultou em 3.229 indivíduos, sendo que, a amostra de calibração com 80% e a de validação com 20% dos dados, continham 2.584 e 645 indivíduos, respectivamente. Ressalta-se que a amostra de validação (20%) foi utilizada para comparação entre as abordagens.

3.3 Modelo de otimização

Para a análise desagregada de distribuição de viagens, realizada pelo Algoritmo Genético, foi efetuada a execução de um procedimento de otimização que utilizou os princípios conceituais da modelagem desagregada baseada nos modelos de Escolha Discreta.

Os modelos de Escolha Discreta buscam representar as condições em que um indivíduo realiza a sua escolha diante de um conjunto finito de alternativas. A utilidade de cada

alternativa é descrita por meio de uma função matemática, definida pela combinação das variáveis que caracterizam o indivíduo e as alternativas (Ben-Akiva e Lerman 1985). Neste trabalho, as funções utilidade possuem variáveis relativas aos indivíduos, domicílios, municípios, além das distâncias de viagens (Equação 2). Vale ressaltar que a função utilidade de um dos municípios foi fixada com o valor zero.

$$\mathrm{U_i} = const_i + \alpha_i . \mathrm{A} + \beta_i . \mathrm{B} + \gamma_i . \mathrm{C} + \cdots \quad (2)$$

Para o caso deste artigo, U_i é a função utilidade da alternativa i ($destino\ intermunicipal$); $const_i$ é a constante, relativa à alternativa i que engloba todas as variáveis que não estão inclusas no conjunto de dados; A, B e C são as variáveis relacionadas ao individuo (desagregadas) ou ao município (agregadas); e α_i, β_i e $\gamma_i$são os parâmetros a serem estimados das variáveis referentes ao indivíduo ou ao município. A partir da obtenção da utilidade para cada alternativa, é possível calcular as probabilidades de escolha de cada município, representada pela Equação 3.

$$\mathrm{P_i} = \frac{e^{\mathrm{U_i}}}{\sum_{j=1}^{n}(e^{\mathrm{U_j}})} \quad (3)$$

Em que, P_i é a probabilidade da alternativa (município) i ser escolhida (o); U_i é a utilidade da alternativa (município) i e o denominador corresponde ao somatório de todas as alternativas (municípios) disponíveis. Finalmente, o AG maximizou a função relativa à Equação 4 (Função objetivo), de forma que o maior valor de probabilidade é representado pelo município realmente escolhido.

$$\sum_{n=1}^{11} \ln(\mathrm{P_n}) \quad (4)$$

3.4 Método

A Figura 3 apresenta o método proposto neste artigo. Primeiramente, foi estimado um modelo gravitacional pelo método dos mínimos quadrados (*stepwise*) e, na sequência, foram aplicados os algoritmos de AM (CART e AG) para a análise desagregada de distribuição de viagens. Finalmente, tais modelagens foram comparadas (a partir da amostra de validação – 20%) com os dados observados segundo três critérios distintos: distribuição das distâncias de viagens, medidas de ajuste e da perspectiva qualitativa.

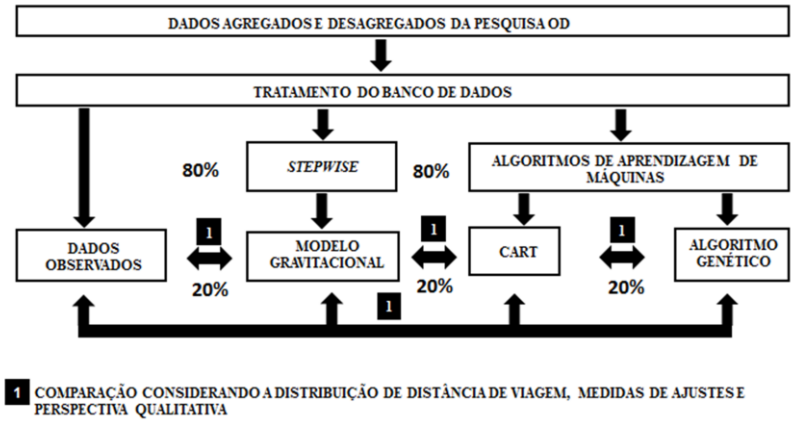


Figura 3: Método proposto para estimar a distribuição de viagens intermunicipais (Pitombo et al., 2017; De Souza, 2017)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção descreve os principais resultados provenientes da calibração ou treinamento das três abordagens propostas, bem como comparação da adequabilidade e eficiência das ferramentas, utilizando a amostra de validação.

4.1 Modelo 1: Modelo Gravitacional

Os coeficientes do Modelo Gravitacional foram calculados por meio do procedimento dos mínimos quadrados (Procedimento *Stepwise*). Os parâmetros estimados neste modelo estão apresentados na Equação 5.

$$V_{ij}^{intermunicipais} = \frac{P_i^{0,406} \cdot E_j^{0,283}}{d_{ij}^{0.110}} \quad (5)$$

Em que, $V_{ij}^{intermunicipais}$ é o total de viagens intermunicipais de i para j; P_i é a população da cidade de origem; E_j é a quantidade de empregos na cidade de destino; d_{ij} é a distância entre o município i e o município j.

Antes da aplicação do procedimento *Stepwise*, foi realizada uma transformação logarítmica das variáveis originais. O Coeficiente de Determinação, R^2, foi de 0,615. Ressalta-se ainda que as três variáveis foram selecionadas pelo método *Stepwise* como sendo aquelas associadas aos parâmetros estatisticamente significativos.

4.2 Modelo 2: Algoritmo CART

A Figura 4 representa esquematicamente o mapa de árvore da etapa de treinamento obtida pelo algoritmo CART.

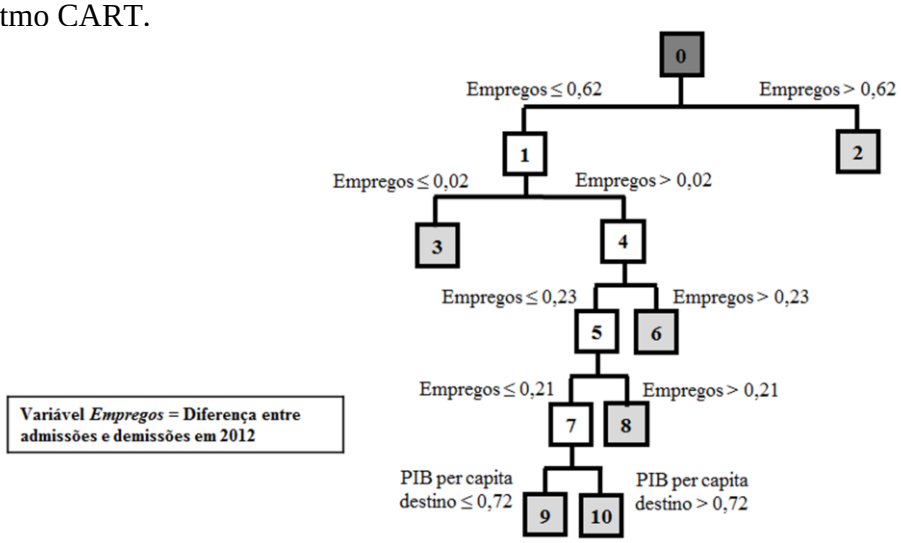


Figura 4: Mapa da Árvore de Decisão com as variáveis de corte normalizadas em cada divisão (Modelo 2: Algoritmo CART)

A Tabela 1 apresenta as informações dos nós-terminais, incluindo as três escolhas de destinos mais frequentes selecionadas pelo algoritmo CART. As divisões da amostra de treinamento resultaram em 10 subgrupos, compreendendo todos os nós-filhos (incluindo os nós-terminais), com diferentes combinações de faixa de valores para as variáveis agregadas *Empregos e PIB da cidade de destino*. Observou-se, ainda, homogeneidade total nos nós 2, 3, 6, 8 e 10. Tais folhas apresentaram 100% de observações em apenas uma das onze categorias possíveis da variável dependente.

A primeira variável independente selecionada foi *Empregos*, com o valor de corte de 0,62. Esta variável independente (e valor de corte selecionado) forneceu os dois grupos (nós filhos

seguintes ao nó raiz: Nó 1 e Nó 2) mais homogêneos do banco de dados original, segundo a variável dependente *Escolha de destinos*. A partir da amostra de validação do processo de Árvore de Decisão (AD), o algoritmo CART forneceu uma precisão de 85,9% de acertos.

Tabela 1: Municípios de destino mais frequentes e as condições de corte nos nós terminais (Modelo 2: Algoritmo CART)

Nó	**Municípios de destinos mais frequentes por folhas**	**%**
2	Salvador (100%)	28,9
3	Camaçari (100%)	18,4
6	Alagoinhas (100%)	10,1
8	Simões Filho (100%)	14,6
9	Dias D'Ávila (23,5%), Santo Amaro (23,0%), Catu (20,7%)	21,7
10	Candeias (100%)	6,3
Nó	**Condições de corte das variáveis explicativas**	**%**
2	Empregos > 0,62	28,9
3	Empregos ≤ 0,02	18,4
6	Empregos ≤ 0,62; Empregos > 0,23	10,1
8	Empregos ≤ 0,23; Empregos > 0,21	14,6
9	Empregos > 0,02; Empregos ≤ 0,21; PIB per capita ≤ 0,72	21,7
10	Empregos > 0,02; Empregos ≤ 0,21; PIB per capita > 0,72	6,3

É importante mencionar que, apesar de não ter variáveis desagregadas na estrutura da árvore, o algoritmo CART selecionou uma variável desagregada como divisão substituta: *N° de carros no domicílio*. As divisões substitutas são um artifício utilizado pelo algoritmo CART para tratamento de valores desconhecidos dentro de um determinado nó. Este artifício se dá por meio do armazenamento de um *ranking* de variáveis explicativas com comportamento semelhante à variável principal escolhida em determinada divisão dos dados, isto é, aquela que minimiza a medida de impureza dentro do nó. Dessa forma, é possível considerar outra variável explicativa de forma que realize divisões semelhantes, mensuradas através de uma medida positiva de associação.

4.3 Modelo 3: Algoritmo Genético

Para a obtenção do modelo de otimização, por meio da técnica do Algoritmo Genético, foi utilizado o *software* MathWorks MATLAB R2016B para calibrar os 130 parâmetros das funções utilidades dos onze municípios da análise. Foram obtidas oito replicações, provenientes de testes. Todas as oito replicações tiveram percentuais de acertos altos, obtidos a partir da amostra de validação, entre aproximadamente 94% e 96%.

Na definição do melhor conjunto de coeficientes estimados nos oito testes (oito replicações do Algoritmo Genético), foi considerado o modelo que se adequou melhor levando-se em conta os sinais e magnitude dos coeficientes estimados nas onze funções utilidade. Desta forma, foi definido o resultado do modelo (replicação) referente ao teste 5 como o melhor conjunto de coeficientes, o qual caracterizou as funções utilidade, apresentadas na Tabela 2, de acordo com os seguintes valores de parâmetros.

Importante salientar que a escolha do conjunto de funções utilidades diante das oito replicações não foi trivial. Para saber se a influência de determinada variável na escolha do destino é positiva ou negativa (definindo então o sinal do parâmetro estimado), os autores propuseram o seguinte procedimento, com auxílio do algoritmo CART, ilustrado na Figura 5:

(1) Fixa-se uma das variáveis independentes como primeira divisão a partir do nó raiz (como grau de instrução, por exemplo); (2) Observa-se se o percentual de escolha de cada cidade

diminuiu ou aumentou com o aumento da variável escolhida em *1* (as escolhas para a cidade de Camaçari aumentam com o aumento do grau de instrução – sinal positivo para utilidade de Camaçari); (3) Adota-se o sinal do parâmetro relativo à variável investigada em *2* para cada uma das funções utilidade; (4) repetem-se os passos de *1* a *3* para as demais variáveis independentes; (5) Escolhe-se a replicação de AG que possui maior número de coerências de sinais de parâmetros estimados.

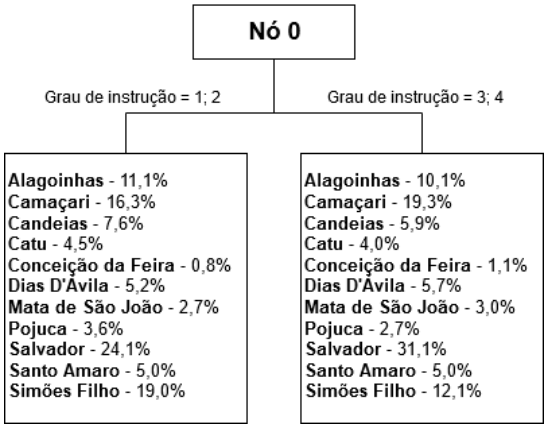


Figura 5. CART com primeira variável fixada *Grau de Instrução*, onde: 1=sem instrução; 2=1° grau; 3=2° grau; 4=3° grau.

Tabela 2: Funções utilidades para cada município da replicação 5 do AG

Município	Funções utilidades do município
Alagoinhas	$U_1 = -3{,}52 + 0{,}14.\,\text{Idade} - 0{,}11.\,\text{Renda} - 0{,}16.\,\text{Instrução} - 0{,}06.\,\text{Carros no domicílio} + 0{,}26.\,\text{Frequencia semanal de viagem} - 0{,}67.\,\text{Tempo de viagem} + 0{,}63.\,\text{Custo da viagem} - 6{,}34.\,\text{Pop da cidade de origem} - 2{,}89.\,\text{PIB da cidade de orige} - 11{,}52.\,\text{PIB da cidade de destino} + 33{,}69.\,\text{Empregos} + 14{,}47.\,\text{Distância}$
Camaçari	$U_2 = -0{,}58 - 0{,}26.\,\text{Idade} - 0{,}24.\,\text{Renda} + 0{,}33.\,\text{Instrução} - 0{,}34.\,\text{Carros no domicílio} + 0{,}26.\,\text{Frequencia semanal de viagem} - 0{,}16.\,\text{Tempo de viagem} + 0{,}32.\,\text{Custo da viagem} - 2{,}88.\,\text{Pop da cidade de origem} - 3{,}41.\,\text{PIB da cidade de origem} + 9{,}35.\,\text{PIB da cidade de destino} - 44{,}87.\,\text{Empregos} + 1{,}73.\,\text{Distância}$
Candeias	$U_3 = -4{,}91 - 0{,}02.\,\text{Idade} - 0{,}42.\,\text{Renda} - 0{,}05.\,\text{Instrução} - 0{,}76.\,\text{Carros no domicílio} + 0{,}20.\,\text{Frequencia semanal de viagem} - 0{,}63.\,\text{Tempo de viagem} + 0{,}29.\,\text{Custo da viagem} - 3{,}11.\,\text{Pop da cidade de origem} - 5{,}19.\,\text{PIB da cidade de origem} + 17{,}55.\,\text{PIB da cidade de destino} - 9{,}00.\,\text{Empregos} + 3{,}68.\,\text{Distância}$
Catu	$U_4 = +2{,}09 - 0{,}54.\,\text{Idade} - 0{,}13.\,\text{Renda} + 0{,}43.\,\text{Instrução} + 0{,}02.\,\text{Carros no domicílio} + 0{,}34.\,\text{Frequencia semanal de viagem} - 0{,}49.\,\text{Tempo de viagem} + 0{,}69.\,\text{Custo da viagem} - 3{,}48.\,\text{Pop da cidade de origem} - 0{,}77.\,\text{PIB da cidade de origem} - 21{,}89.\,\text{PIB da cidade de destino} - 4{,}50.\,\text{Empregos} + 7{,}55.\,\text{Distância}$
Conceição da Feira	$U_5 = -3{,}70 + 0{,}32.\,\text{Idade} + 0{,}04.\,\text{Renda} - 0{,}30.\,\text{Instrução} - 0{,}05.\,\text{Carros no domicílio} + 0{,}34.\,\text{Frequencia semanal de viagem} - 0{,}60.\,\text{Tempo de viagem} + 0{,}72.\,\text{Custo da viagem} - 3{,}14.\,\text{Pop da cidade de origem} + 3{,}81.\,\text{PIB da cidade de origem} - 21{,}67.\,\text{PIB da cidade de destino} - 11{,}86.\,\text{Empregos} + 19{,}17.\,\text{Distância}$
Dias D'Ávila	$U_6 = 2{,}79 + 0{,}36.\,\text{Idade} + 0{,}01.\,\text{Renda} + 0{,}55.\,\text{Instrução} - 0{,}53.\,\text{Carros no domicílio} + 0{,}17.\,\text{Frequencia semanal de viagem} + 0{,}01.\,\text{Tempo de viagem} + 0{,}21.\,\text{Custo da viagem} - 2{,}90.\,\text{Pop da cidade de origem} - 1{,}36.\,\text{PIB da cidade de origem} - 2{,}94.\,\text{PIB da cidade de destino} - 28{,}17.\,\text{Empregos} + 6{,}26.\,\text{Distância}$

Mata de São João	$U_7 = -1{,}15 + 0{,}37.\text{Idade} - 0{,}03.\text{Renda} + 0{,}25.\text{Instrução} - 0{,}05.\text{Carros no domicílio} + 0{,}26.\text{Frequencia semanal de viagem} + 0{,}21.\text{Tempo de viagem} + 0{,}45.\text{Custo da viagem} + 1{,}15.\text{Pop da cidade de origem} + 1{,}20.\text{PIB da cidade de origem} - 23{,}56.\text{PIB da cidade de destino} + 10{,}83.\text{Empregos} - 1{,}23.\text{Distância}$
Pojuca	$U_8 = -3{,}21 + 0{,}06.\text{Idade} - 0{,}12.\text{Renda} - 0{,}03.\text{Instrução} - 0{,}43.\text{Carros no domicílio} + 0{,}10.\text{Frequencia semanal de viagem} - 0{,}11.\text{Tempo de viagem} + 0{,}42.\text{Custo da viagem} - 5{,}56.\text{Pop da cidade de origem} - 4{,}80.\text{PIB da cidade de origem} + 7{,}15.\text{PIB da cidade de destino} + 4{,}93.\text{Empregos} + 11{,}77.\text{Distância}$
Salvador	$U_9 = -12{,}11 + 0{,}44.\text{Idade} - 0{,}73.\text{Renda} - 0{,}28.\text{Instrução} - 0{,}14.\text{Carros no domicílio} + 0{,}17.\text{Frequencia semanal de viagem} - 1{,}16.\text{Tempo de viagem} + 0{,}69.\text{Custo da viagem} - 7{,}92.\text{Pop da cidade de origem} - 3{,}76.\text{PIB da cidade de origem} - 17{,}25.\text{PIB da cidade de destino} + 56{,}85.\text{Empregos} + 11{,}06.\text{Distância}$
Santo Amaro	$U_{10} = 0{,}48 + 0{,}38.\text{Idade} + 0{,}25.\text{Renda} - 0{,}04.\text{Instrução} + 0{,}18.\text{Carros no domicílio} + 0{,}36.\text{Frequencia semanal de viagem} - 0{,}14.\text{Tempo de viagem} + 0{,}81.\text{Custo da viagem} + 1{,}75.\text{Pop da cidade de origem} + 5{,}11.\text{PIB da cidade de origem} - 26{,}65.\text{PIB da cidade de destino} - 19{,}48.\text{Empregos} + 5{,}01.\text{Distância}$
Simões Filho	$U_{11} = 0$

Como no algoritmo CART, variáveis agregadas como *Empregos* e *PIB* tiveram maior influência (maiores valores de coeficientes associados) nas escolhas das cidades de destino. Também é possível verificar a influência das variáveis desagregadas através da magnitude e sinais dos parâmetros estimados. Uma das desvantagens do AG é a ausência de teste de hipótese para testar a significância estatística dos parâmetros calibrados.

4.4 Comparações das abordagens

4.4.1 Distribuição das distâncias de viagens

A distribuição das distâncias das viagens estimadas e observadas, ilustrada na Figura 6, foi considerada como uma medida de desempenho para avaliar e comparar os modelos previamente estimados. O intuito deste critério é minimizar as diferenças entre as distribuições da função de impedâncias entre as viagens observadas e estimadas.

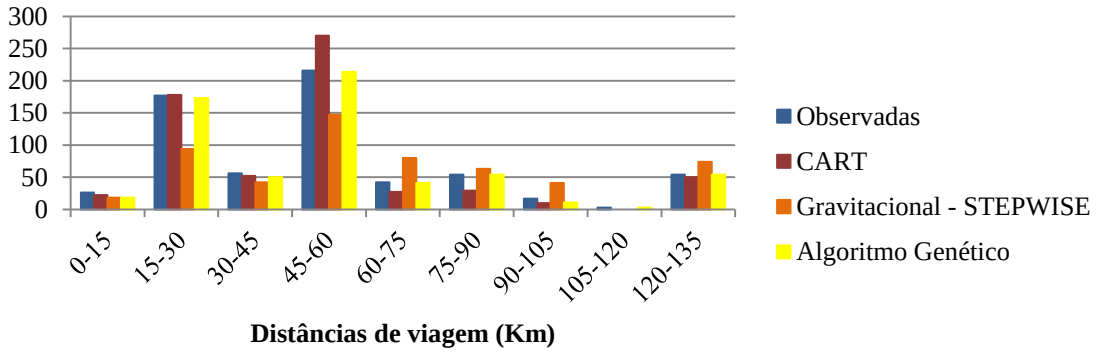


Figura 6: Histograma das distâncias de viagens

A Figura 6 indica uma forte associação entre a distribuição das distâncias de viagens dos valores observados e os estimados pelos algoritmos de AM. O Algoritmo Genético apresentou o melhor desempenho para qualquer faixa de distância destacada e algoritmo CART foi

melhor para viagens menores que 30 km, enquanto o Modelo Gravitacional melhor estima as viagens com distância menores que 15 km e distâncias entre 75 e 90 km.

Além da interpretação visual, testes não paramétricos, como os testes estatísticos *Mann-Whitney* e *Kolmogorov-Smirnov*, foram realizados a fim de comparar as distribuições das distâncias de viagens observadas às distribuições das distâncias de viagens estimadas pelas diferentes abordagens. O teste da mediana foi realizado para testar se as amostras têm medidas centrais semelhantes. Com base nos resultados, pode-se afirmar que os Algoritmos Genéticos (AG), seguido pelo CART, forneceram as estimativas mais precisas. Ambos os algoritmos de AM têm a mesma distribuição de probabilidade dos valores observados, bem como, as mesmas medidas centrais. No entanto, para o modelo gravitacional, esta hipótese foi rejeitada.

4.4.2 Medidas de qualidade do ajuste

Para o critério da qualidade do ajuste, algumas medidas relativas ao erro foram avaliadas, como as mostradas nas Equações 7 a 10, que, respectivamente, referem-se ao Erro Médio Quadrático, Raiz do Erro Médio Quadrático, Raiz Quadrada Média do Erro, o Erro Médio Absoluto e Correlação de *Pearson*.

$$\frac{1}{N}\sum(x_i - y_i)^2 \qquad (7)$$

$$\sqrt{\frac{1\sum(x_i - y_i)^2}{N}} \qquad (8)$$

$$\frac{1}{N}\sum(x_i - y_i) \qquad (9)$$

$$\frac{1}{N-1}.\sum\frac{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sigma_x \sigma_y} \qquad (10)$$

Em que, x_i é a medida estimada; y_i é a medida observada; N é o número de medidas, $\bar{x}$ e $\bar{y}$ são as médias das amostras; σ_x e σ_y são os desvios-padrão da amostra.

Um modelo é considerado com melhor desempenho do que outro se a sua qualidade do ajuste for melhor. A Tabela 3 apresenta os valores das medidas propostas. Observando as medidas estatísticas, pode-se notar que o procedimento de otimização do AG, seguido pelo CART, proporcionou melhores resultados do que o modelo gravitacional.

Tabela 3: Medidas estatísticas da qualidade do ajuste

Método	Erro médio quadrático	Raiz do erro médio quadrático	Erro médio absoluto	Correlação de Pearson
CART	36,74	6,06	1,59	0,91
AG	0,68	0,83	0,25	1,00
Modelo Gravit.	80,61	8,98	4,52	0,73

4.4.3 Perspectiva qualitativa

O algoritmo CART fornece a medida de importância das variáveis explicativas selecionadas no modelo. Esta medida é expressa em termos de quantidade normalizada, em relação à variável com a maior dimensão de importância. A Tabela 4 apresenta a importância normalizada das variáveis selecionadas por meio do algoritmo CART, sendo a variável *N° de carros no domicílio* foi a única variável desagregada selecionada. Esta variável foi selecionada como divisor substituto a partir do nó raiz. Sendo assim, é possível verificar a sua influência na escolha dos destinos, fixando-a como variável divisória a partir do nó raiz. A Figura 7 apresenta as diferenças nas escolhas de destinos quando a variável desagregada (*N° de carros no domicílio*) é selecionada como divisor substituto no nó raiz (nó 0). Percebe-se, por exemplo, que o número de carros influencia positivamente a escolha do município de

Salvador, é praticamente indiferente à escolha do município de Camaçari e influencia negativamente a escolha do município de Simões Filho.

Tabela 4: Medidas de importância das variáveis explicativas

Variável explicativa	Medida de Importância
Empregos	100,0%
PIB da cidade de destino	63,4%
Distância	20,0%
População da cidade de origem	17,9%
PIB da cidade de origem	9,9%
Custo de viagem	1,4%
Frequência semanal de viagem	1,0%
Tempo de viagem	0,9%
Carros no domicílio	0,1%

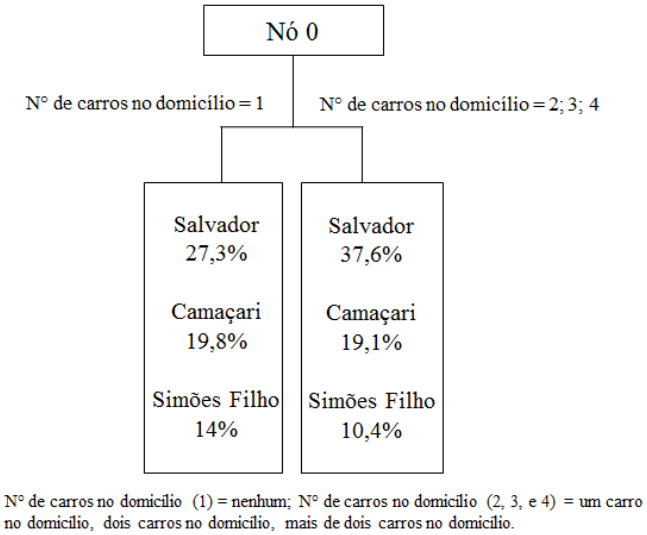


Figura 7: Variável *N° de carros no domicílio* utilizada como divisor substituto no nó raiz

Enquanto através do CART foi possível verificar a influência apenas da variável *N° de carros no domicílio*, a partir da calibração do AG, foi possível avaliar os valores dos coeficientes estimados das funções utilidade, podendo compreender a influência positiva ou negativa de cada variável, inclusive das desagregadas, na escolha de determinado município.

5. Conclusões

O estudo comparativo das técnicas de Aprendizagem de Máquinas e da abordagem tradicional de distribuição de viagens permitiu a comprovação de que a análise desagregada pode ser altamente eficaz na previsão de escolhas de destinos. Além disso, os algoritmos de Aprendizagem de Máquinas, aqui utilizados, não partem de suposições matemáticas rigorosas, sendo possível utilizar qualquer tipo de variável como dados de entrada, obtendo-se assim a probabilidade de escolha de cada destino como o principal dado de saída.

Os melhores resultados foram obtidos pelo Algoritmo Genético devido à sua capacidade de se determinar os parâmetros estimados de todas as variáveis (agregadas e desagregadas) selecionadas, assim como, as elevadas taxas de acertos obtidas do processo de validação dos modelos. Ressalta-se também o procedimento metodológico auxiliar para a escolha da melhor replicação do AG, com auxílio do CART. Além disso, é uma ferramenta viável inclusive para casos de obtenção de matrizes futuras a partir de matriz semente incompleta, pois é possível gerar um conjunto de dados sintéticos através dos diversos resultados obtidos através do AG.

Agradecimentos
Esta pesquisa foi patrocinada pela Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior (CAPES) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Os autores também agradecem ao grupo CETRAMA (Universidade Federal da Bahia) pela cessão dos dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ben-Akiva, M.E.; Lerman, S.R. (1985) *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*. The MIT Press, Cambridge, MA.

Breiman, L.; Friedman, J.H; Olshen, R.A.; Stone, C.J. (1984) *Classification and Regression Trees*. Wadsworth International Group, Belmont, CA.

De Grange, L.; Fernández, E.; de Cea, J. (2010) A consolidated model of trip distribution. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 46, n.1, p. 61–75. doi: 10.1016/j.tre.2009.06.001

De Souza, A. D. (2017); Comparação de algoritmos de Aprendizagem de Máquinas para análise desagregada de viagens intermunicipais. 84 f. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia de Transporte. Escola de Engenharia de São Carlos.

Fotheringham, A.S. (1983) Some theoretical aspects of destination choice and their relevance to production-constrained gravity models. *Environment and Planning A*, v.15, n.8, p. 1121–1132. doi: 10.1068/a151121

Ichikawa, S.M., Pitombo, C.S., Kawamoto, E. (2002) Aplicação de Minerador de dados na obtenção de relações entre padrões de viagens encadeadas e características socioeconômicas. Anais do XVI do Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Anpet, Natal (RN), vol2, p175-186.

Kass, G.V. (1980) An exploratory technique for investigating large quantities of categorical data. *Applied Statistics*, v.29, p. 119–127. doi: 10.2307/2986296

Koppelman, F. S.; Wen, C.H. (2000) The paired combinatorial logit model: properties, estimation and application. *Transportation Research Part B: Methodological*, v. 34, n. 2, p. 75-89. doi: 10.1016/S0191-2615(99)00012-0

LaMondia, J.; Snell, T.; Bhat, C.R. (2009) Traveler Behavior and Values Analysis in the Context of Vacation Destination and Travel Mode Choices: A European Union Case Study. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, n. 2156, p. 140-149. doi: 10.3141/2156-16

Marsland, S. (2009) Machine Learning: An Algorithmic Perspective. CRC Press. Cambridge, UK.

Mozolin, M.; Thill, J.C.; Linn, U.E. (2015) Trip distribution forecasting with multilayer perceptron neural networks: A critical evaluation. Transportation Research Part B: Methodological, v. 34, p.53-73. doi: 10.1016/S0191-2615(99)00014-4

Omrani, H. (2015) Predicting travel mode of individuals by machine learning. 18th Euro Working Group on Transportation, EWGT 2015, p. 840-849.

Ortúzar, J. D.; Willumsen, L. G. (2011) *Modelling Transport*. Wiley, London.

Pitombo, C.S.; Kawamoto, E.; Sousa, A.J. (2011) An exploratory analysis of relationships between socioeconomic, land use, activity participation variables and travel patterns. Transport Policy, v. 18, 347-357. doi: 10.1016/j.tranpol.2010.10.010

Pitombo, C.S.; Kawamoto, E.; Sousa, A.J. (2013) Linking activity participation, socioeconomic characteristics, land use and travel patterns: a comparison of industry and commerce sector workers. JTL-RELIT, v.7, p. 59-86. doi: 10.1590/s2238-10312013000300004

Pitombo, C. S. et al. (2017) Comparing decision tree algorithms to estimate intercity trip distribution. *Transportation Research Part C* 77, p. 16-32

Pulugurta, et al. (2013) Use of Artificial Intelligence for Mode Choice Analysis and Comparison with Traditional Multinomial Logit Model, v. 104, p. 583-592. doi: 10.1016/ j. sbspro.2013.11.152

Quinlan, R. (1983) Learning efficient classification procedures and their application to chess end-games. *Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach*, Tioga, Palo Alto, pp. 463-482.

Rasouli, M.; Nikraz, H. (2013) Trip Distribution Modelling Using Neural Network. Transport Research Forum, Brisbane, Australia.

Wilson, A.A. (1967) Statistical Theory of Spatial Distribution Models. *Transportation Research*, v.1, p. 253-269. doi: 10.1016/0041-1647(67)90035-4

Xie, C.; Lu, J.; Parkany, E. (2003) Work travel mode choice modeling with data mining: decision trees and neural networks. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n. 1854, p. 50-61. doi: 10.3141/1854-06

Yang, C.; Tsai, M.; Chang, C, 2014. Investigating the joint choice behavior of intercity transport mode and high-speed rail cabin with a strategy map. Journal of Advanced Transportation. doi: 10.1002/atr.1264

MODELO INTEGRADO DE USO DO SOLO E TRANSPORTE PARA AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE DEMANDAS RESPONSIVAS NA ESTRUTURA URBANA DO DISTRITO FEDERAL

Lorena Gonçalves Brasil
Pastor Willy Gonzales Taco
Universidade de Brasília - UnB
Programa de Pós-Graduação em Transportes

RESUMO
O desequilíbrio entre oferta e demanda de transporte acarreta em uma maior utilização de veículos nas vias e a solução mais inovadora para este problema são os transportes responsivos à demanda (TRD), que oferecem serviços de transporte público agregando as demandas de viagens similares. A partir de uma pré-reserva dos usuários, os TRD's otimizam o roteiro de captura, levando-os para o seu destino final, compartilhando veículos, reduzindo custos operacionais e oferecendo serviços melhores que os convencionais. Assim, surge a necessidade de abordar os aspectos dessa relação de demanda dinâmica entre os subsistemas urbanos e os impactos desta relação a longo prazo no Distrito Federal, visto que tal abordagem ainda é pouco tratada. O presente trabalho visa modelar cenários variando a porcentagem da participação de demanda responsiva no transporte, possibilitando a comparação dos resultados através de indicadores de mobilidade, tornando possível eleger o cenário que mais se encaixa no espaço urbano estudado.

Lorena Gonçalves Brasil
(lorenagbrasil@gmail.com) Pastor Willy
Gonzales Taco (pwgtaco@gmail.com)
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Transportes (PPGT) Universidade de Brasília.
Anexo Sg12, 1º andar – Brasília, DF, Brasil.

ANÁLISE DA VIABILIDADE E DO POTENCIAL DOS SERVIÇOS DE VIAGEM COMPARTILHADA SOB DEMANDA

Priscila Coutinho Costa
Claudio Barbieri da Cunha
Universidade de São Paulo
Escola Politécnica

RESUMO
A proposta da pesquisa de mestrado é estudar a viabilidade e o potencial dos serviços de transporte compartilhado sob demanda de maneira complementar ao sistema de transporte público convencional. Para tanto, será desenvolvido um simulador da operação desses serviços, acoplado a um algoritmo de otimização da programação das viagens. Assim que identificados os principais fatores que influenciam a tomada de decisão na escolha do modo de viagem por parte dos usuários em potencial, diferentes cenários de demanda serão programados e analisados. Do ponto de vista da oferta dos serviços, este é um problema de otimização combinatória, mais especificamente de roteirização e programação de veículos do tipo *Dynamic Dial-A-Ride Problem* – DDARP. Espera-se que os resultados e as análises ofereçam informações que orientem o desenvolvimento de estratégias que incentivem a escolha desses modos de viagem.

Priscila Coutinho Costa (pcoutinhocosta@usp.br)
Claudio Barbieri da Cunha (cbcunha@usp.br)
Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo
Av. Prof. Almeida Prado, Travessa 2, 83. Edificio Engenharia Civil – São Paulo, SP

ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DO VOLUME DE TRÁFEGO E DOS FLUXOS ORIGEM-DESTINO NA CIDADE DE FORTALEZA-CE

Joana Maia Fernandes Barroso
Carlos Felipe Grangeiro Loureiro
Francisco Moraes de Oliveira Neto
Universidade Federal do Ceará
Departamento de Engenharia de Transportes

RESUMO
A compreensão dos padrões de deslocamento de uma população é de fundamental importância para o planejamento de transportes. A partir disso é possível formular e aplicar modelos para previsão da demanda para subsidiar tomadas de decisão sobre políticas públicas no ambiente urbano. Esta pesquisa tem como objetivo geral analisar a variabilidade de duas das principais variáveis que compõem esse padrão: o volume de tráfego e os fluxos origem-destino (OD) nos principais eixos viários que conectam a região central às regiões periféricas de Fortaleza-CE. Para isto, serão utilizados dados desagregados de contagem volumétrica e leitura de placas, e propõem-se três etapas metodológicas: consolidação dos dados, análise exploratória e inferência estatística. Ao fim, espera-se obter como resultado a compreensão dos padrões de deslocamento viário da cidade, incluindo as relações de dependência temporal e espacial da variabilidade das variáveis analisadas, sua distribuição de probabilidade e a relação de dependência das variáveis entre si.

Joana Maia Fernandes Barroso (joana@det.ufc.br)
Carlos Felipe Grangeiro Loureiro (felipe@det.ufc.br)
Francisco Moraes de Oliveira Neto (moraes@det.ufc.br)
Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará
Campus do Pici, s/n – Bloco 703 – CEP 60455-760 – Fortaleza, CE, Brasil

ESTIMAÇÃO DO VALOR DO TEMPO COM BASE EM PESQUISAS DOMICILIARES DE ORIGEM E DESTINO: DESAFIOS TEÓRICOS E DIFICULDADES PRÁTICAS

Hélio Henrique Holanda de Souza
Departamento de Engenharia de Transportes – DET
Universidade Federal do Ceará – UFC
Francelino Franco Leite de Matos Sousa
Centro Universitário Christus
Francisco Moraes de Oliveira Neto
Renan Monteiro Carioca Freire
Carlos Felipe Grangeiro Loureiro
Departamento de Engenharia de Transportes – DET
Universidade Federal do Ceará – UFC

RESUMO
Indicadores com base no conceito de utilidade são cada vez mais usados como forma de medir a acessibilidade de deslocamentos no meio urbano. Dentre eles, destaca-se o Valor do Tempo (VT), ou valor implícito que o usuário associa às diversas parcelas do tempo gasto no seu deslocamento. Este parâmetro comportamental é essencial no novo paradigma de planejamento urbano e regional, e já se apresentava relevante nos esforços tradicionais de previsão da demanda e avaliação de alternativas no sistema de transportes. Entretanto, não é comum a disponibilidade de dados coletados especificamente para estimação do VT. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é discutir o uso de dados de preferência revelada obtidos por meio de pesquisas domiciliares tradicionais para a calibração de funções de utilidade que possibilitem a estimação do VT, alertando e orientando analistas de transportes com relação aos desafios teóricos e às dificuldades práticas desses esforços de modelagem e estimação.

ABSTRACT
Performance indicators based on utility theory are increasingly used as a way of measuring the accessibility of urban trips. Among them, stands out the Value of Time (VOT), which is the implicit value that users associate to the various portions of time spent on their travel. This behavioral parameter is essential not only for the new paradigm of urban and regional planning, but it was already relevant in the traditional efforts of forecasting demand and evaluating alternatives in the transportation system. However, the availability of data specifically for VOT estimation is not common. In this context, this work aims to discuss the use of revealed preference data obtained through traditional household travel surveys for calibration of utility functions that allow the estimation of the VOT, alerting and guiding transportation analysts concerning theoretical and practical challenges of this process.

1. INTRODUÇÃO

A mudança de paradigma do planejamento da mobilidade para o da acessibilidade urbana (Bertolini *et al.*, 2005) reforçou a necessidade de uma maior reflexão sobre as medidas de desempenho capazes de melhor representar o fenômeno do afastamento espacial entre as atividades e as pessoas que desejam realizá-las. Entre os diversos tipos de indicadores de acessibilidade urbana já propostos na literatura técnico-científica, conforme classificação de Curtis e Scheurer (2010), pode-se citar medidas de separação espacial, de contorno, de gravidade, de competição, de tempo/espaço, de utilidade e de rede. Dentre estas se destacam as medidas de utilidade, pois, segundo Ortúzar *et al.* (2000), vários estudos não encontraram relação entre indicadores de acessibilidade infraestrutural e os respectivos padrões de viagens observados em campo, fazendo com que os pesquisadores partissem para uma definição de indicadores suportados por modelos comportamentais. Indicadores baseados em funções de utilidade, segundo Curtis e Scheurer (2010), são projetados especificamente para capturar os benefícios para os usuários de melhorias nas condições da acessibilidade às suas atividades socioeconômicas. Uma vantagem importante desse tipo de indicador, destacada por Geurs e van Eck (2001) e Cascetta *et al.* (2013), é que eles têm uma base teórica sólida, pois a teoria da

utilidade aleatória fornece uma ligação direta com a teoria do bem-estar. Além disso, esse indicador apresenta uma base comportamental melhor do que outras medidas de acessibilidade, tendo como componente importante o valor implícito que o usuário associa às diversas parcelas do tempo gasto no seu deslocamento (acesso, espera, dentro do veículo, transbordo e difusão), traduzindo seu Valor do Tempo (VT).

A despeito da crescente valorização das medidas de acessibilidade, e consequentemente do VT, no novo paradigma de planejamento urbano e regional, este parâmetro comportamental já apresentava relevante papel nos esforços tradicionais de previsão da demanda e de avaliação de alternativas de intervenção nos sistemas de transportes. A grande maioria dos modelos utilizados para prever a demanda por transportes recorrem ao tempo gasto no deslocamento como medida de impedância, assim como atributo decisivo no comportamento de escolha dos usuários. Em abordagens mais clássicas, o VT é o argumento mais comum na função de fricção dos modelos de distribuição de viagens, sendo considerado ainda nas etapas de escolha de modos e rotas como parte de um custo generalizado que explica a escolha dos usuários entre as alternativas existentes. Na avaliação de alternativas de intervenção, o VT assume papel de protagonista. Segundo Metz (2008), Mackie *et al.* (2001) e The World Bank (2005), cerca de 80% dos benefícios considerados nas avaliações realizadas em países desenvolvidos decorrem da redução do tempo de deslocamento.

Embora não pairem dúvidas sobre a relevância do VT nas diversas fases e paradigmas do processo de planejamento dos transportes, infelizmente não é comum a disponibilidade de dados coletados especificamente para a sua estimação. Normalmente, a estimativa do VT é realizada a partir da calibração de modelos comportamentais de escolha discreta, assumindo que a função de utilidade, ou de desutilidade no caso dos deslocamentos, é compensatória (Train, 2009). Dessa forma, tem-se que o VT é dado pela derivada parcial do custo pelo tempo. No caso de uma desutilidade linear, o VT se resume, portanto, a razão do coeficiente do tempo de viagem pelo do custo monetário, como reportado em Train (2009) e Greene e Hensher (2010). Essa razão representa a taxa marginal de substituição entre o tempo e o custo, ou seja, a disposição a pagar dos indivíduos para reduzir uma unidade de tempo no seu deslocamento, sendo interpretada como um valor subjetivo do tempo.

A função de desutilidade do deslocamento pode ser obtida a partir da modelagem do processo de escolha de modos ou rotas pelos usuários (Cascetta, 2009). Para calibrá-la, é utilizado o princípio de maximização da utilidade, no qual o consumidor é considerado racional, tendo conhecimento completo das suas alternativas de escolha e optando sempre por aquela de maior utilidade. Neste tipo de modelagem, a escolha dos indivíduos é utilizada como variável qualitativa dependente, pois o valor da função de utilidade para cada alternativa não pode ser observado diretamente em campo. Na calibração deste tipo de modelo, as pesquisas de Preferência Declarada (PD) tornaram-se a principal ferramenta de obtenção de dados (Ortúzar e Willumsen, 2011). Entretanto, ainda há dificuldades, especialmente de cunho técnico, por parte dos gestores municipais em executarem tais pesquisas, sendo uma opção utilizar dados de Preferência Revelada (PR) já disponíveis, tais como os dados coletados nas pesquisas domiciliares de origem-destino, realizadas nos últimos anos em algumas das capitais brasileiras, com grande abrangência espacial e elevada quantidade de entrevistas.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é discutir o uso de dados de PR obtidos por meio de pesquisas domiciliares tradicionais para a calibração de funções de utilidade que possibilitem a

estimação do VT para diferentes grupos de usuários, alertando e orientando analistas de transportes com relação aos desafios teóricos e às dificuldades práticas desses esforços de modelagem e estimação, tendo como base uma revisão da literatura nacional e internacional, assim como análises empíricas de estimativas do VT a partir das pesquisas domiciliares realizadas em Porto Alegre (2004) e São Paulo (2007).

2. DESAFIOS TEÓRICOS NA MODELAGEM DO VALOR DO TEMPO

A modelagem da escolha dos indivíduos entre alternativas discretas a partir de funções de utilidade, conhecida na literatura como desenvolvimento de modelos comportamentais de Escolha Discreta (ED), normalmente base da estimação do VT, pode ser descrita como um processo constituído de cinco etapas: *formulação, projeto de experimento, coleta de dados, calibração e validação*. Cada uma das etapas será discutida nesta seção, juntamente com os desafios teóricos inerentes ao processo de estimação do VT com base em modelos ED, a partir de dados de preferência revelada obtidos por meio de pesquisas domiciliares.

2.1. Formulação do modelo

A primeira etapa do processo de modelagem do VT é composta pela formulação e especificação da estrutura do modelo, sendo este o momento da definição das alternativas de escolhas postas aos usuários, da seleção dos seus atributos, dos tipos de funções de dependência (lineares ou não lineares), das segmentações da amostra, assim como da distribuição de probabilidade dos erros. Percebe-se em alguns trabalhos sobre estimativas do VT (Silva, 2011) que o objetivo do estudo está mais voltado para o aperfeiçoamento no uso do ferramental de análise, em que o foco da análise está mais no domínio da ferramenta do que na análise do fenômeno. Já nos casos em que o interesse reside no uso da modelagem como forma de melhor compreender o comportamento dos usuários, destaca-se a necessidade de um esforço maior na formulação do modelo de modo a garantir sua adequação ao fenômeno a ser estudado e aos objetivos específicos da análise em questão.

2.1.1. Tipo de modelo

Para estimar o VT, a abordagem mais comum na comunidade científica brasileira tem sido utilizar somente tempo e custo como atributos nas escolhas de modos ou rotas, como observado em Gonçalvez *et al*. (2006), Brandão Filho *et al*. (2006), Brito e Strambi (2007), Sanches e Ferreira (2007), Silva (2011), Cardoso e Senna (2012), Silva *et al*. (2012), além de Brito e Poiani (2014). A grande maioria dos trabalhos nacionais tem assumido que esses atributos estão relacionados linearmente com a utilidade de cada alternativa, empregando modelos *logit* para a calibração dos parâmetros. Já na comunidade científica internacional, verifica-se que outros modelos tem sido testados, assim como formulações não lineares da função de utilidade, tanto em trabalhos com discussões conceituais sobre o ferramental de ED (Devarasetty *et al*., 2012; Kato *et al*., 2013), quanto em análises empíricas do fenômeno do VT (Cirillo e Axhausen, 2006; Forsey *et al*., 2013); entretanto, os modelos *logit* com utilidade linear ainda são bastante utilizados internacionalmente, como pode ser constatado nos trabalhos de Antoniou *et al*. (2007), Kato *et al*. (2011) e Fezzi *et al*. (2014).

Vale destacar que modelos do tipo *logit* apresentam uma série de limitações que devem ser consideradas quando aplicados na estimação do VT. Inicialmente, assume-se que os tomadores de decisão, num dado segmento socioeconômico, são racionais e percebem da mesma forma o efeito do tempo e custo sobre a sua utilidade. Entretanto, de acordo com Small (2012), diversos estudos empíricos mostram haver heterogeneidade na percepção dos indivíduos, o que indicaria

que os parâmetros de tempo e custo são aleatórios. Em suma, assumir a variabilidade dos parâmetros de custo e de tempo é reconhecer a variabilidade do VT entre usuários pertencentes ao mesmo segmento. Esta premissa de aleatoriedade dos coeficientes, ou do VT, é comumente desconsiderada pelos analistas, pois esta requer a aplicação de modelos mais complexos, de difícil compreensão, e que exigem maior esforço computacional na calibração, como é o caso do *mixed logit* (Ortúzar e Willumsen, 2011). As pesquisas domiciliares, como a maioria das pesquisas PR, não incorporam informações suficientes sobre a variabilidade nas escolhas, inviabilizando modelos mais complexos como o *mixed logit.*

Outro aspecto a ser considerado na formulação diz respeito ao fato do modelo *logit*, com apenas tempo e custo, não ser capaz de capturar situações nas quais fatores não observáveis, como por exemplo atitudes habituais de um mesmo indivíduo, são correlacionados ao longo do tempo. Simma e Axhausen (2003) encontraram indícios de que indivíduos que possuem automóvel em sua residência estão mais propensos a fazerem uso do mesmo em seus deslocamentos; situação similar ocorreu para o transporte público entre os indivíduos que possuem bilhetes sazonais. Tal tipo de análise só pode ser realizada com dados em painel, que incorporam tanto a variação nas decisões entre indivíduos, como a variação ao longo do tempo para um mesmo indivíduo, o que não é o caso dos dados de pesquisa domiciliar.

2.1.2. Forma da função de utilidade

Mesmo que o *logit* seja de fato um bom modelo para representar decisões de escolha de modo e rota, deve-se ainda refletir sobre qual a melhor forma da função de utilidade. Como visto, o uso de funções lineares tem sido o formato mais recorrente neste tipo de análise. Entretanto, esta pode não ser a melhor representação. É possível que o VT varie conforme o comprimento da viagem (tempo de descolamento); ou seja, o VT tende a ser menor quanto maior for o tempo de deslocamento. A solução para incorporar a não linearidade pode ser segmentar a função de utilidade conforme o comprimento da viagem, ou assumir outro tipo de função.

Hess *et al.* (2005) defendem que o fenômeno dos deslocamentos, quando tratado com suas peculiaridades, torna-se difícil de ser modelado. Entre essas peculiaridades, os autores apresentam o conceito de que existe uma parcela de satisfação na realização da viagem, sendo esta detentora não apenas de aspectos negativos. Segundo Salomon e Mokhtarian (1998), a utilidade de realizar uma atividade pode ser separada em três componentes: i) a utilidade da atividade no destino - em modelos que simulam a escolha de modos ou rotas, a utilidade da atividade é fixa e independente do modo, restando para serem discutidas apenas as outras duas parcelas; ii) a desutilidade do deslocamento (aspectos negativos); e iii) a utilidade da viagem ao destino (aspectos positivos), usualmente, fatores subjetivos e não observáveis.

Os atributos tradicionais, tempo e custo, são pertencentes ao segundo grupo de variáveis e, por conta disso, devem possuir coeficientes negativos. Quando esses parâmetros são encontrados com valores positivos são tratados como indicativos de falhas na modelagem; mas é possível que a deficiência esteja relacionada com a interpretação do parâmetro, que pode não estar representando apenas o atributo tempo. Outros fatores podem impactar de forma positiva na utilidade da viagem, como discutem Salomon e Mokhtarian (1998). Estes fatores pertencem a terceira parte da utilidade e quando omitidos confundem o efeito do tempo e custo. Uma maneira de evitar esta correlação com variáveis não expressas é adicioná-las na parte sistemática, porém reconhecendo as dificuldades inerentes ao fato dessas variáveis pertencerem ao terceiro grupo, dos fatores subjetivos e de difícil valoração, mesmo em pesquisas de PD. Nas

pesquisas de PR, como é o caso das pesquisas domiciliares, em que não existe o controle do cenário no qual a viagem ocorreu, quantificar o peso desses atributos torna-se uma tarefa ainda mais árdua, já que apenas atributos relacionados com o nível de serviço da viagem são normalmente obtidos.

2.1.3. Tipo de decisão modelada

Outra questão relevante na formulação dos modelos é qual o processo de decisão que deve ser analisado: a escolha do modo ou da rota. A princípio o mais indicado é modelar a decisão de escolha do modo (Cascetta, 2009), com as alternativas podendo ser consideradas separadamente (e.x., automóvel ou ônibus) ou combinadas no caso de viagens com integração modal, tais como bicicleta-ônibus. A principal vantagem de modelar a escolha modal para se estimar o VT é que ela permite a consideração do valor do tempo alocado a cada uma das etapas da viagem, diferenciando a percepção dos usuários sobre os tempos de acesso/difusão, de espera, de transbordo e efetivamente se deslocando dentro do veículo. Nas entrevistas da pesquisa domiciliar os usuários normalmente relatam o tempo decorrido em cada etapa do deslocamento no modo utilizado. A grande dificuldade na estimação do VT é que os atributos das alternativas não escolhidas não são observados diretamente neste tipo de pesquisa. Assim, torna-se necessário algum tipo de agregação dos valores relatados por outros usuários, ou ainda sua simulação por meio da modelagem computacional dos fluxos alocados nas redes viária e de transporte público. Vale ressaltar, contudo, que nas pesquisas domiciliares realizadas no Brasil não são coletados dados específicos relativos a escolhas multimodais, com integração entre modos distintos ao longo da mesma viagem, especialmente envolvendo modos não-motorizados.

Já quanto à modelagem da escolha da rota, uma das principais dificuldades diz respeito à definição do conjunto de alternativas disponíveis para cada indivíduo numa rede de transportes. Muitas rotas são possíveis e várias delas compartilham os mesmos arcos da rede. É comum encontrar na literatura artigos que fazem uso de pesquisas de PR com o objetivo de estimar o VT a partir da modelagem da escolha de rotas em trechos viários onde podem ser observados diretamente os atributos de tempo e custo das alternativas (Kato *et al.*, 2013; Fezzi *et al.*,2013), como por exemplo, a escolha entre uma rota com cobrança de pedágio e outra sem. Os dados de pesquisa domiciliar, em geral, não fornecem informação detalhada o suficiente para a modelagem da escolha de rota, já que nos questionários não são normalmente incluídas perguntas sobre trajetos viários ou linhas e paradas/terminais de ônibus utilizados.

2.2. Projeto do experimento

O termo projeto do experimento é bastante difundido em pesquisas de PD. Neste tipo de experimento, o analista constrói cenários de escolha a partir da combinação de níveis predefinidos dos atributos das alternativas dentro do conjunto de escolha. Já no projeto de experimento das pesquisas de PR não há a elaboração de cenários de escolha a serem avaliados pelos usuários; portanto, os desafios se limitam à seleção de dados secundários ou programação de estudos observacionais. Existem na literatura discussões sobre as vantagens e desvantagens com relação ao uso de PR ou PD, inclusive com propostas de combinações dessas duas técnicas para estimação de modelos de escolha discreta com a premissa de que os dados originados se complementam (Cascetta, 2009; Ortúzar e Willumsen, 2011). Nas pesquisas de PR, como é o caso da pesquisa domiciliar, destacamos como principal vantagem a possibilidade de observar decisões reais dos indivíduos ao utilizarem o sistema de transportes, permitindo assim capturar a percepção real que os usuários têm sobre o serviço ofertado. Contudo, existem algumas

questões que precisam ser consideradas no experimento e que podem alterar os resultados da modelagem, referentes ao período de coleta, à elaboração dos questionários, à definição da área de estudo e seu zoneamento, além de como a informação deve ser coletada ou derivada.

Uma das definições iniciais nas pesquisas de preferência revelada é o período de coleta. Em qualquer estudo de transporte, evita-se a realização da coleta de dados em dias não úteis, durante os meses típicos de atividades. As pesquisas domiciliares não são diferentes neste aspecto. Contudo, todas as características dos deslocamentos dos indivíduos, referem-se as viagens ocorridas em apenas um dia típico anterior ao do dia escolhido para realizar a pesquisa. A principal premissa para se adotar apenas um dia de coleta é que o comportamento de cada indivíduo não varia ao longo tempo. Porém, sabe-se que tanto mudanças macroscópicas como microscópicas no ambiente urbano, no sistema de transportes e/ou na sócio demografia da região, podem acarretar em mudanças na percepção dos usuários com relação ao sistema ofertado. Se essas mudanças ocorrem com certa frequência ao longo do tempo, um único dia de coleta sobre as características do padrão de deslocamentos urbano talvez não forneça informação suficiente para se modelar satisfatoriamente a realidade, sendo necessário a coleta de dados longitudinais.

O zoneamento da área em estudo é uma etapa importante para realização de pesquisas domiciliares. Esta etapa consiste em dividir a área em estudo em zonas aproximadamente homogêneas em termos de características socioeconômicas da população. Cada zona representa a unidade geográfica usada como estrato para obtenção da amostra de deslocamentos na rede e, portanto, estabelece o nível de resolução dos dados (Ortúzar e Willumsen, 2011). Em geral, o zoneamento em cidades Brasileiras é feito com o propósito principal de gerar informação para um plano estratégico de transportes, tendo como um dos objetivos estimar uma matriz origem-destino (OD) de viagens. Neste caso, a resolução dos dados é “menor” uma vez que uma área de estudo com um elevado número de pares OD resulta em várias células da matriz OD sem observação.

Por fim, é necessário definir como as informações necessárias à modelagem serão obtidas. O principal desafio na elaboração tanto de cenários de PD, quanto de questionários de PR, é o possível viés causado nas estimativas dos parâmetros dos modelos. Um exemplo é a questão de quanto tempo um dado indivíduo leva para realizar uma viagem. Em geral os usuários tendem a superestimar o tempo efetivamente gasto em cada etapa do seu deslocamento, levando a um viés sistemático nas estimativas, como será discutido na seção 2.3. Além disso, os dados obtidos por meio de entrevistas, permitem observar somente a percepção dos indivíduos sobre as alternativas de viagem (modo e rota) escolhidas, e não os atributos de todas as alternativas viáveis. Portanto, as pesquisas domiciliares permitem estimar um valor do tempo estático, para um período especifico de tempo, e de forma agregada.

2.3. Coleta de dados

Ortúzar e Willumsen (2011) defendem a PR como uma fonte de dados para escolhas atuais ou observadas, mas destacam que os analistas normalmente não podem observar as características reais das escolhas e optam apenas por obter as informações a partir do que as pessoas relatam sobre suas escolhas. Como as pesquisas domiciliares apresentam informações relatadas pelos usuários e não observadas, fica a questão se o analista deve modelar com atributos reais ou percebidos pelos usuários. Alguns autores defendem que os dados utilizados nas calibrações e aplicações dos modelos podem ser o tempo e o custo percebidos e não os reais, pois é a partir

de suas percepções que os indivíduos tomam suas decisões diariamente. O valor do tempo que pode ser estimado desses dados, a partir de modelos de utilidade aleatória, é um valor subjetivo do tempo. Contudo, quando o objetivo é avaliar alternativas de transporte é difícil prever as percepções dos usuários sobre cenários futuros de intervenção sobre o sistema de transportes, pois o que modelador simula é a representação do que realmente acontece em campo.

Outros autores recomendam que o valor do tempo seja calibrado a partir de observações reais dos atributos das viagens. Neste caso, a percepção dos indivíduos é capturada pelos coeficientes do tempo e do custo de realizar a viagem. Uma forma de se estimar os valores reais dos atributos é considerar uma parcela dos valores percebidos como sendo compostos por um *erro de percepção* sistemático, conforme proposto por Ghosh (2001), que propõe considerar estes atributos subjetivos diretamente incluindo a estimativas do erro de percepção na função utilidade. Ghosh (2001) encontrou, entretanto, que os valores de tempo obtidos com o uso de PR não mudaram ao incluir tal variável, sugerindo que resultados obtidos a partir de PR podem não ser afetados por problemas de percepção. Este resultado sustenta a necessidade de se discutir melhor a questão antes de adotar valores percebidos ou reais.

Outros trabalhos comparam os valores médios entre os tempos de viagem percebido e real, indicando haver uma superestimação do tempo real (Peer *et al.*, 2014; Brownstone e Small, 2005). Peer *et al.* (2014) afirmam que é possível eliminar *erros de percepção* nos dados de tempo de viagem oriundos de uma PR se existir melhoria em sua coleta. Os autores propõem que, ao invés de perguntar aos usuários o tempo de viagem, pode-se solicitar que eles indiquem seus horários, por exemplo: quando deixaram suas residências, o momento em que entraram em seus veículos, quando estacionaram o carro novamente e quando chegaram ao local de trabalho.

O erro de percepção, como definido acima, é possivelmente composto por outros aspectos que interferem na percepção dos usuários sobre o tempo, como segurança, conforto, fluidez, entre outros, frequentemente não conhecidos, ou coletados. Assim, para se calibrar uma função utilidade que incorpore atributos reais das viagens, torna-se necessário incluir, além dos tempos e custo reais, aqueles atributos subjetivos que alteram a percepção que os usuários têm sobre as características de suas viagens. Na prática, esses atributos raramente são conhecidos, por conta disso, a recomendação de calibrar modelos mistos de dados de preferência PR e PD; assim, aqueles atributos subjetivos não observados das viagens podem ser capturados a partir da complementação da PR com uma PD (Cascetta, 2009; Ortúzar e Willumsen, 2011). Vale ressaltar que nestes casos é necessário saber os tempos de viagens realmente realizados pelos indivíduos, o que pode ser feito a partir de pesquisas complementares, como por exemplo de coletas de tempo de viagem na rede.

Além da questão da percepção que os indivíduos têm sobre as características das viagens, ainda existem outras questões a considerar na coleta de dados, como: a coleta das características das alternativas não escolhidas e o problema da falta de variabilidade nos dados. Como já mencionado, nas pesquisas domiciliares os atributos das alternativas (modos ou rotas) não selecionadas pelos indivíduos não são coletados. Tal questionamento poderia ser incluído nos questionários, mas ainda assim as estimativas destas variáveis seriam percepções preconcebidas dos deslocamentos em rotas e/ou modos alternativos, e a coleta se tornaria mais complexa para os entrevistados. Uma alternativa de coleta desta informação seria realizar pesquisas complementares de tempo de viagem na rede de transportes. Outra limitação das pesquisas PR,

como apontado por Ortúzar e Willumsen (2011), é que as observações das escolhas atuais podem não oferecer variabilidade suficiente para a estimação dos parâmetros da função utilidade.

2.4. Calibração e validação

A etapa de calibração consiste na estimação dos parâmetros do modelo adotado, e análise de consistência das estimativas e da forma funcional do modelo. O processo de estimação busca encontrar estimativas pontuais dos parâmetros e realizar inferências sobre a significância do modelo proposto. Na modelagem de escolha discreta, o método mais comum para obter estimativas pontuais dos parâmetros é o método da máxima verossimilhança. Este método é aplicado para estimar modelos de utilidade aleatória (p.ex., o *logit*) a partir de amostragem aleatória de escolhas de um grupo de indivíduos (Cascetta, 2009). As ferramentas matemáticas para estimação dos parâmetros e os softwares disponibilizados facilitam consideravelmente este processo. Sendo assim, os desafios dos analistas não estão na calibração em si, mas sim, na interpretação e aceitação destes resultados.

Com relação a análise das estimativas, sinais contra intuitivos podem indicar que a variável está correlacionada com variáveis não expressas na função de utilidade, que a informação coletada não era a desejada, ou ainda que a variabilidade nos dados é insuficiente para realizar a calibração. O desvio padrão dos coeficientes estimados pode indicar que existe elevada heterogeneidade nas decisões de escolha, que outras variáveis devem ser incorporadas ao modelo, ou que a forma da função não está adequada.

Os dados de pesquisas domiciliares não permitem calibrar um modelo *logit* multinomial de escolha de modo pelo método da verossimilhança, já que os atributos das alternativas não escolhidas não são observados para cada indivíduo participante da pesquisa. Os dados das decisões e atributos das escolhas podem ser agrupados por par OD, gerando estimativas das proporções de escolha e valores médios dos atributos de escolha de diferentes alternativas. Neste caso, para dados de escolhas agregados, utiliza-se o método de Berkson-theil (Ortúzar e Willumsen, 2011) para transformação da função utilidade e o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) para a estimativa dos parâmetros.

A validação consiste na verificação de que o modelo é capaz de reproduzir razoavelmente as decisões de escolha de uma amostra de indivíduos (Cascetta, 2009). O modelo deve servir, portanto, não apenas para a situação ao qual foi calibrado, mas também para representar o fenômeno em questão em outro contexto, como em outro período de tempo, ou com outro grupo de pessoas. Um método comum de validação é a aplicação do modelo calibrado em uma segunda amostra. Outra alternativa de validação é a comparação de valores do tempo obtidos a partir de uma pesquisa de PD e uma de PR. Wardman (1998) realizou um estudo deste tipo e concluiu que as respostas dadas pelos usuários em situações hipotéticas da PD é um bom caminho para compreender as preferências reais dos usuários.

3. ESTIMATIVA DO VALOR DO TEMPO EM CIDADES BRASILEIRAS: DIFICULDADES PRÁTICAS

Existem diversas pesquisas domiciliares já realizadas em cidades brasileiras, mas que não foram preparadas com o objetivo de se estimar o valor do tempo. Neste item, serão discutidas as dificuldades práticas na utilização destes dados para a obtenção do valor do tempo. Para tanto foram utilizadas 2 pesquisas domiciliares de origem e destino: Porto Alegre (2004) e São Paulo

(2007). Outras duas fontes de dados (Fortaleza e Salvador) também foram consideradas inicialmente nas análises. Contudo, análises exploratórias dos dados evidenciaram que as observações não apresentavam variabilidade suficiente dos atributos para se estimar os coeficientes da função de utilidade. A discussão seguirá as etapas de modelagem da Seção 2.

3.1. Formulação e projeto de experimento

A decisão a ser modelada é o ponto de partida do processo de formulação. Como visto, as decisões de escolha de modo ou de rota são as mais utilizadas na estimação de valor do tempo; entretanto, nas pesquisas domiciliares não existem informações capazes de subsidiar a modelagem da escolha de rotas. A tomada de decisão do indivíduo nem sempre está relacionada com a utilização de apenas um modo. As pesquisas, apesar de possuírem viagens que utilizam mais de um modo, fornecem como variável o que denominam por modo principal do deslocamento. Definiu-se, portanto, duas alternativas possíveis: modo individual motorizado e modo coletivo motorizado; sendo que neste último caso, a depender da cidade, pode incluir ônibus, metrô ou barcas, enquanto no primeiro caso apenas automóvel e motocicleta. Outros modos de transporte, não motorizados, não foram contemplados por serem restritos a um conjunto específicos de deslocamentos de curta distância.

Cada alternativa de decisão deve possuir um conjunto de atributos que comporão suas respectivas funções de utilidade. Para o objetivo de identificar o valor do tempo, apenas tempo e custo são atributos obrigatórios. Atributos socioeconômicos dos indivíduos participantes das pesquisas, que também são coletados, não foram considerados nesta análise. Estes últimos atributos permitem a avaliação do valor do tempo por tipo de indivíduo (p.ex. nível de renda, sexo, idade, etc.), mas tal análise está além do escopo deste estudo. Desta forma, optou-se por utilizar atributos relativos a tempo e custo dos deslocamentos, definindo-se para cada alternativa uma função de utilidade linear (U) como na Equação 1.

$$U = \alpha + \beta_c Custo + \beta_t Tempo + \varepsilon \quad (1)$$

Onde: α = constante específica;
β_c = peso do custo na utilidade do indivíduo;
β_t = peso do tempo na utilidade do indivíduo;
ε = termo aleatório da função utilidade.

A formulação acima permite a estimação de um valor do tempo genérico de deslocamento para as cidades estudadas, sem a segmentação por tipo de indivíduo e estágio da viagem. Portanto, não permite a estimação de impedância em transbordos e transferências, devido ao uso de diferentes modos de transporte para realizar uma mesma viagem, em redes multimodais. Isto é uma grande limitação desta modelagem. Vale ressaltar ainda que os tempos de deslocamentos das pesquisas domiciliares são tempos percebidos e não realizados das viagens. Portanto, parte da percepção em relação ao tempo já é incorporada nos dados relatados de tempo, sendo o coeficiente β_t interpretado como o peso médio do tempo percebido, ou relatado, pelos indivíduos sobre a utilidade.

3.2. Seleção dos dados

Este tópico trata da seleção das viagens e estimativa dos atributos necessários a estimação da função utilidade da Equação 1, e por conseguinte do valor do tempo. Como será visto, nem todas as viagens da amostra foram utilizadas para estimativa do valor do tempo, seja por

características dos indivíduos, dos deslocamentos ou do próprio domicílio. Os atributos das alternativas não escolhidas foram estimados a partir de um método de agregação dos dados.

Alguns fatores limitaram a utilização de algumas observações para compor a amostra de calibração do modelo apresentado na Equação 1, visto que a decisão modelada não se aplica a qualquer indivíduo ou tipo de deslocamento. Exclusões nos dados foram realizadas em função de características dos usuários, como deslocamentos realizados por menores de 18 anos, que não podem utilizar veículos motorizados individuais. Com relação à características das viagens, viagens curtas ou de tempos elevados também foram excluídas, por possuírem peculiaridades não observadas nos dados e que impossibilitam a utilização de outro modo a não ser aquele escolhido pelo usuário. Por fim, restringiu-se a amostra a deslocamentos de indivíduos que residem em domicílios que possuem pelo menos um carro ou moto, caracterizando a possibilidade de utilização do modo motorizado individual. Assim, a amostra foi composta apenas por viagens urbanas, cujos passageiros fossem maiores que 18 anos e moradores de domicílios com um automóvel ou motocicleta, assim como viagens com tempos de deslocamento entre o 1º e o 99º percentis.

Além destas restrições, também é comum encontrar erros de coleta, inconsistências, que impossibilitam a utilização de alguma observação. Com a remoção dos erros e aplicação das restrições, a amostra de viagens para São Paulo foi reduzida a 72% e em Porto Alegre a 68%. Assumiu-se, neste ponto, que esta amostra resultante em relação a amostra total é uma amostra aleatória de viagens que permite identificar os parâmetros do modelo adotado na Equação 1.

Para estimar os valores de custo e tempo de cada alternativa, foi necessário agregar os dados em classes de deslocamento, em que se espera variação do nível de serviço da oferta de transportes entre grupos tanto do transporte individual como do coletivo. A definição das classes a partir dos pares OD (entre zonas de tráfego) não gerou amostras suficientes (com vários pares OD's com poucas ou nenhuma viagem observada) que permitisse a estimação dos modelos. Assim, optou-se por agregar as observações, conforme as suas distâncias euclidianas das viagens, em classes com amplitude de 500 metros cada. Esta agregação é necessária por que o único atributo cujo valor é fornecido é o tempo de viagem do modo utilizado, e todos os demais precisam ser estimados.

Para cada grupo de viagem foi retirada uma média dos tempos e das distâncias euclidianas dos deslocamentos para cada alternativa. Grupos com menos de 30 observações em uma das alternativas foram excluídos da amostra. Em São Paulo, 15.431 observações ocorreram por transporte coletivo, enquanto 40.486 ocorreram pelo modo motorizado individual. Essas observações foram agrupadas em 45 grupos de distância. Em Porto Alegre, 11.237 observações pertencem ao motorizado coletivo e 13.706 pertencem ao motorizado individual. Essas observações foram agrupadas em 30 grupos de distâncias.

Além do tempo de viagem, foi necessário estimar o custo médio de viagem para cada grupo e alternativa. A dificuldade nesta estimativa é a definição dos elementos que compõem o custo do deslocamento. Para um modo motorizado individual, como o automóvel, é evidente que o custo do combustível faz parte deste custo, mas existem outros elementos que podem ser considerados pelo tomador de decisão, como o valor pago pelo estacionamento, a depreciação do veículo e o pagamento de impostos, contudo, cada uma dessas parcelas pode ser percebida de forma diferente. Além disso a maior parte não está disponível nas pesquisas domiciliares.

Pelas domiciliares trabalhadas, dois componentes do custo do motorizado individual puderam ser obtidos: o custo com combustível e com o estacionamento. A partir do conhecimento médio da distância de viagem, a adoção de um consumo médio de combustível (8 km/l) e o valor do preço do combustível na época da pesquisa (R$ 1,95 em Porto Alegre em 2003 e R$ 2,50 em São Paulo em 2007) foi possível obter o custo do combustível. Quanto ao estacionamento, as pesquisas perguntaram onde os veículos foram estacionados e o respectivo valor pago, dessa forma, foi possível obter um custo médio de estacionamento (R$ 0,59 em São Paulo e R$ 0,31 em Porto Alegre). Para o modo motorizado coletivo apenas o custo médio da tarifa foi considerado. O valor da tarifa média em cada grupo foi estimado através de uma média ponderada conforme as proporções de pagantes de passagem inteira, pagantes de meia passagem e de gratuidades.

3.3. Resultados da calibração

Por conta da agregação dos dados, o método de calibração foi o de mínimos quadrados ordinários, o mesmo utilizado em regressões lineares. Isso foi possível, por conta da transformação de Berkson-Theil, a partir da adoção de grupos homogêneos de escolhas como observações para o processo de calibração. No caso de um modelo binário, a probabilidade de escolha de um modo *i* entre duas alternativas (*i*, *j*) é dada pela Equação 2 e dependente da utilidade sistemática de cada modo (Equação 3):

$$p_i = exp\,(V_i)\,/\,exp\,(V_i + V_j) \tag{2}$$

$$V_i = \alpha_i + \beta_c C_i + \beta_t T_i \tag{3}$$

E a partir da transformação de Berkson-Theil, tem-se a Equação 4.

$$log\left(\frac{P_i}{P_j}\right) = \alpha + \beta_c\,(C_i - C_j) + \beta_t\,(T_i - T_j) \tag{4}$$

Onde: p_i = Probabilidade de escolha do transporte coletivo;
P_i = Proporção de viagens por classe de transporte coletivo;
P_j = Proporção de viagens por classe de transporte individual;
C_i = Custo médio por classe do transporte coletivo;
C_j = Custo médio por classe do transporte individual;
T_i = Tempo médio por classe do transporte coletivo;
T_j = Tempo médio por classe do transporte individual.

A Tabela 1 apresenta os resultados da calibração dos modelos com os dados das pesquisas domiciliares de Porto Alegre e de São Paulo. Como se pode ver, os coeficientes estimados de tempo e custo são significativos no nível de 5%. A Tabela 1 mostra também que os resultados encontrados aqui estão próximos da abrangência de valores encontrados por Santos (2012) em outras cidades brasileiras. Vale ressaltar que os resultados apresentados são apenas estimativas pontuais do valor do tempo, sendo necessário uma análise de inferência, que está além do escopo deste estudo.

Tabela 1: Resultados das estimativas do modelo binário adotado

	SÃO PAULO (2007)		PORTO ALEGRE (2004)	
	Coeficiente	***Valor_p***	***Coeficiente***	***Valor_p***
Intercepto	-0,46	0,00	0,18	0,15
β_tempo	0,01	0,04	0,02	0,02
β_custo	0,18	0,00	0,34	0,00
VT	R$ 3,23 / h		R$ 4,22 / h	
VT em jan/2017	R$ 5,92 / h		R$ 9,07 / h	
R^2	0,82		0,74	

Outras Cidades (Santos, 2012)	**Usuários de Ônibus**	**Usuários de Automóveis**
Intervalo de variação do VT (R$/h) em jan/2017	1,69 – 12,68	9,30 – 11,83

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho, discutiu-se o uso dos dados oriundos de pesquisas domiciliares de origem e destino para estimativa do valor do tempo de deslocamento de viagens com motivo trabalho. Considerando a função utilidade proposta, o Valor do Tempo é interpretado como um valor médio de deslocamento sem considerar qualquer tipo de segmentação da amostra, seja por características das viagens ou dos indivíduos.

Com relação as dificuldades práticas, destaca-se a impossibilidade de coletar em entrevistas domiciliares os tempos realmente realizados nas viagens. Portanto, o VT estimado é o valor que um indivíduo pagaria para reduzir o tempo percebido, e não o tempo real. É questionável se esta estimativa pode ser utilizada com o propósito de previsão de viagens, já que não é possível projetar como os indivíduos perceberão seus tempos de viagens no futuro. Outra dificuldade prática é a ausência nos dados de estimativas dos atributos de tempo e custo dos modos não escolhidos nas viagens. Para remediar isso, os dados das pesquisas analisadas foram agregados segundo as distâncias euclidianas das viagens, já que não se conhecia as distâncias nas redes de transportes das cidades estudadas. Contudo, este tipo de agregação pode gerar grupos heterogêneos, conforme as características das viagens e dos indivíduos, que dificultam a identificação dos parâmetros da função utilidade. Vale ressaltar que as pesquisas domiciliares carecem de informações que permitam estimar os custos das viagens do transporte individual (como tipo de veículo, distância do deslocamento e consumo médio de combustível).

A modelagem da demanda em redes multimodais, com diferentes formas de integração, requer a definição de vários parâmetros (valor do tempo e impedâncias) segmentados por viagem ou indivíduo. A partir da análise realizada neste estudo, verifica-se que os dados de pesquisas domiciliares tradicionais são incipientes para este fim. Em redes de transportes multimodais, diferentes indivíduos, com diferentes perfis socioeconômicos, utilizam o sistema diariamente, realizando transbordos e transferências em terminais ou pontos de integração. As impedâncias dos diferentes movimentos realizados ao longo das viagens devem ser consideradas para uma correta modelagem do sistema atual e previsão de deslocamentos futuros. Além disso, as diferenças de percepção sobre o nível de serviço do sistema de transporte entre os indivíduos que utilizam o sistema também devem ser consideradas.

Considerando estas limitações, para se modelar e avaliar intervenções em redes de transportes multimodais, faz-se necessária uma complementação no planejamento de pesquisas domiciliares. Questionamentos sobre os tipos de veículos (ano, modelo e desempenho) que permitam estimar o custo de viagens motorizadas individuais precisam ser inseridos. Coletas

complementares precisam ser realizadas sobre as opções de transporte. Estas coletas devem permitir identificar o modo (ou sequência de modos no caso de viagens multimodais), a rota (ou combinações de modo e rota) e os tipos de integração, se for o caso, das alternativas de transporte. Além disso, os tempos reais gastos em cada estágio (em movimento, em transbordos e transferências, e em paradas de ônibus) para todas as alternativas de viagens consideradas devem ser coletados. Por fim, a heterogeneidade da população (por tipo de renda ou outro fator que se deseja considerar) pode ser considerada a partir da definição de uma amostra adequada. Vale ressaltar ainda que mesmo com todas as recomendações acima os valores de tempo estimados são estáticos, para um dado período especifico em que os dados sejam observados. Somente com pesquisas longitudinais, que são realizadas com uma certa periodicidade, é que seria possível avaliar alguma mudança de percepção da população.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Antoniou, C., Matsoukis, E., & Roussi, P. (2007). A methodology for the estimation of value-of-time using state-of-the-art econometric models. *Journal of Public Transportation*, 10(3), 1–19.

Bertolini, L., le Clercq, F., e Kapoen, L. (2005) Sustainable accessibility: A conceptual framework to integrate transport and land use plan-making. Two test-applications in the Netherlands and a reflection on the way forward. *Transport Policy*, 12(3), 207–220. doi:10.1016/j.tranpol.2005.01.006

Brandão Filho, J. E., Loureiro, C. F. G., & Cavalcante, R. A. (2006). Avaliação de parâmetros de disposição a pagar de usuários de transporte público intermunicipal através de técnica de preferência declarada - um estudo de caso. *In Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes* - XX ANPET. Brasília: ANPET.

Brito, A. N., & Poiani, J. H. (2014). Aplicação de métodos de preferência declarada utilizando pesquisa online para a avaliação da tarifa de um serviço de transporte por balsas. *In Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes* - XXVIII ANPET. CPAPER, Curitiba.

Brito, A. N., & Strambi, O. (2007). Análise de características à variação do valor do tempo de viagem de motoristas usando técnicas de preferência declarada. *Transportes*, XV(1), 50–57. article.

Brownstone, D., & Small, K. A. (2005). Valuing time and reliability: Assessing the evidence from road pricing demonstrations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 39(4 SPEC. ISSS.), 279–293. http://doi.org/10.1016/j.tra.2004.11.001

Cardoso, C., & Senna, L. A. S. (2012). O uso do valor do tempo na avaliação de projetos de transporte. *In Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes* - XXVI ANPET. CPAPER, Joinville.

Cascetta, E. (2009). *Transportation systems analysis: models and applications* (2a.). book, New York: Springer. http://doi.org/10.1007/978-0-387-75857-2

Cascetta, E., Cartenì, A., & Montanino, M. (2013). A new measure of accessibility based on perceived opportunities. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 87, 117–132. http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.10.598

Cirillo, C., & Axhausen, K. W. (2006). Evidence on the distribution of values of travel time savings from a six-week diary. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 40(5), 444–457. article. http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2005.06.007

Curtis, C., & Scheurer, J. (2010). Planning for sustainable accessibility: Developing tools to aid discussion and decision-making. *Progress in Planning*, 74(2), 53–106. http://doi.org/10.1016/j.progress.2010.05.001

Devarasetty, P. C., Burris, M., & Shaw, W. D. (2012). The value of travel time and reliability-evidence from a stated preference survey and actual usage. *Transportation Research Part A-Policy and Practice*, 46(8), 1227–1240. article. http://doi.org/10.1016/j.tra.2012.05.002

Fezzi, C., Bateman, I. J., & Ferrini, S. (2013). Estimating the value of travel time to recreational sites using revealed preferences. Milano.

Fezzi, C., Bateman, I. J., & Ferrini, S. (2014). Using revealed preferences to estimate the value of travel time to recreation sites. *Journal of Environmental Economics and Management*, 67(1), 58–70. article. http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jeem.2013.10.003

Forsey, D., Habib, K. N., Miller, E. J., & Shalaby, A. (2013). Evaluating the impacts of a new transit system on commuting mode choice using a GEV model estimated to revealed preference data: a case study of the VIVA system in York Region, Ontario. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 50, 1–14. article. http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2013.01.033

Geurs, K. T., & van Eck, J. R. (2001). *Accessibility measures: review and applications. Evaluation of accessibility impacts of land-use transportation scenarios, and related social and economic impact*. RIVM Report, 787, 1–265. Retrieved from https://rivm.openrepository.com/rivm/handle/10029/9487

Ghosh, A. (2001). *Valuing time and reliability: Commuter´s mode choice from a real time congestion pricing experiment*. University of California.

Gonçalvez, M. B., Bez, E. T., Medeiros, H. C., Luz, G., & Philippi, R. C. N. (2006). Um estudo sobre as preferências dos usuários do transporte rodoviário interestadual de passageiros. *In Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes* - XX ANPET. CPAPER, Brasília.

Greene, W. H., & Hensher, D. A. (2010). *Modeling ordered choices: a primer*. book, Cambridge University Press.

Hess, S., Bierlaire, M., & Polak, J. W. (2005). Estimation of value of travel-time savings using mixed logit models. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 39(2–3), 221–236. article. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965856404001028

Kato, H., Oda, T., & Sakashita, A. (2013). Valuation of travel time saving with revealed preference data in Japan: Further Analysis. *In 13th WCT*. CPAPER, Rio de Janeiro, Brasil.

Kato, H., Sakashita, A., Tsuchiya, T., Oda, T., & Tanishita, M. (2011). Estimating value of travel time savings by using large-scale household survey data from Japan. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2231, 85–92. http://doi.org/10.3141/2231-11

Mackie, P. J., Jara-Díaz, S. R., & Fowkes, A. S. (2001). The value of travel time savings in evaluation. *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, 37(2–3), 91–106. article. http://doi.org/10.1016/s1366-5545(00)00013-2

Metz, D. (2008). The Myth of Travel Time Saving. *Transport Reviews*, 28(3), 321–336. http://doi.org/10.1080/01441640701642348

Ortúzar, J. de D., & Willumsen, L. G. (2011). *Modelling transport* (4a.). book, Jon Wiley & Sons Ltda.

Ortúzar, J. de D., Martinez, F. J., & Varela, F. J. (2000). Stated Preferences in Modelling Accessibility. *International Planning Studies*, 5(1), 65–85. http://doi.org/10.1080/135634700111828

Peer, S., Knockaert, J., Koster, P., & Verhoef, E. T. (2014). Over-reporting vs. overreacting: Commuters' perceptions of travel times. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 69, 476–494. http://doi.org/10.1016/j.tra.2014.07.005

Salomon, I., & Mokhtarian, P. L. (1998). What happens when mobility-inclined market segments face accessibility-enhancing policies? *Transportation Research Part D-Transport and Environment*, 3(3), 129–140. article. http://doi.org/10.1016/s1361-9209(97)00038-2

Sanches, S. P., & Ferreira, M. A. G. (2007). Estudo comparativo entre um modelo de rede neural artificial e um modelo logit multinomial para estimar a opção modal. *In Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes* - XXI ANPET. CPAPER, Rio de Janeiro.

Santos, C. C. dos. (2012) *O Valor do Tempo na Avaliação de Projetos de Transportes*. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Silva, F. G. F. da, Macambira Filho, J. K. D., Souza, S. A. de, & Martins, F. G. D. (2012). Modelando o Valor de Tempo de viagem: um estudo do serviço regular e clandestino de transporte rodoviário intermunicipal por ônibus no Ceará. XXVI ANPET. CPAPER, Joinville.

Silva, F. G. F. da. (2011). *Modelando valor de tempo de viagem para modos concorrentes por diferentes modelos logit: o que se ganha e o que se perde?* (PhD thesis). Universidade Federal do Ceará.

Simma, A., & Axhausen, K. W. (2003). Commitments and modal usage: analysis of German and Dutch panels. *Traveler Behavior and Values 2003: Planning and Administration*, (1854), 22–31. article.

Small, K. A. (2012). Valuation of travel time. *Economics of Transportation*, 1(1–2), 2–14. article. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212012212000093

The World Bank. (2005). *Valuation of time savings* (Notes on the Economic Evaluation of Transport Projects No. TRN-15). Washington, DC. Retrieved from http://siteresources.worldbank.org/INTTRANSPORT/Resources/336291-1227561426235/5611053-1231943010251/trn-15EENote2.pdf

Train, K. E. (2009). *Discrete Choice Methods with Simulation* (2a ed.). book, Cambridge University Press.

Wardman, M. (1998). The value of travel time a review of British evidence. *Journal of Transport Economics and Policy*, 32(3), 285–316. http://doi.org/10.2307/20053775.

Hélio Henrique Holanda de Souza (hhhsouza@gmail.com), Francelino Franco Leite de Matos Sousa (francolms@gmail.com), Francisco Moraes de Oliveira Neto (moraes@det.ufc.br), Renan Monteiro Carioca Freire (renanmcarioca@gmail.com), Carlos Felipe Grangeiro Loureiro (felipe@det.ufc.br)
Universidade Federal do Ceará
Departamento de Engenharia de Transportes
Campus do Pici, Bloco 703, CEP 60440-900 – Fortaleza, CE – Fone/Fax: (85) 3366 9488

ANÁLISE DINÂMICA DE IMPACTOS VIÁRIOS DECORRENTE DE ACIDENTES EM SEGMENTOS DE ALTA PRIORIDADE NA REDE DE TRANSPORTE

Francisco Marchet Dalosto
Helena Beatriz Bettella Cybis
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

RESUMO
Este trabalho tem como objetivo identificar o impacto na rede de transportes decorrente de um acidente em um segmento de alta importância na rede. Para a realização da análise é proposto um método de hierarquização de segmentos, em seguida, é testado o impacto de acidentes nos segmentos de alta importância. Para o teste da metodologia proposta foi codificada a rede viária do Litoral Norte do Rio Grande do Sul com o programa de macro-simulação PTV VISUM. Os dados de calibração serão obtidos com os órgãos públicos competentes. O trabalho também busca propor medidas de mitigação para o caso estudado.

Francisco M. Dalosto. (francisco.dalosto@ufrgs.br)
Helena B. B. Cybis (helenabc@producao.ufrgs.br)
Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Avenida Osvaldo Aranha DEPROT/PPGEP, 99 – 5º Andar, Porto Alegre, RS, Brasil

RISCO DE ACIDENTE COMO CONCEITO DIRECIONADOR PARA ANÁLISE DE VULNERABILIDADE DA REDE VIÁRIA

George Vasconcelos Goes [1]
Bruno Vieira Bertoncini [2]
Márcio de Almeida D'Agosto [1]
Universidade Federal do Rio de Janeiro /COPPE[1]
Programa de Engenharia de Transportes
Universidade Federal do Ceará[2]
Departamento de Engenharia de Transportes

RESUMO
Este artigo apresenta um procedimento para analisar a vulnerabilidade de uma rede viária baseada em aspectos econômicos (nível de serviço) e ambiental. Isto posto, desenvolveu-se um método para verificar a efetividade do risco a acidentes como um atributo para localizar os arcos mais vulneráveis da rede viária. Considerou-se vulnerabilidade como variação de CO_2 equivalente e da distância total. Os resultados monstraram um aumento de até 8,51% da distância média de viagem quando são rompidos arcos com maior exposição a acidentes. O CO_2-eq seguiu a mesma tendência, rupturas em links com alto risco causaram um aumento de até 9,19%, enquanto o aumento das emissões após o rompimento de links com baixo risco foi de apenas 5,54%. Apesar do tamanho limitado da rede viária, a quantidade de cenários modelados para coleta de dados, bem como a simulação de Monte Carlo, foram eficazes em avaliar os impactos sob várias fontes de incertezas.

ABSTRACT
This paper presents a framework to road network vulnerability analysis based on economic (level of service) and environmental aspects. Hence, we developed a procedure to verify the effectiveness of risk as an attribute to find the most vulnerable links of a road network. Here, vulnerability is measured as the variation of CO_2 equivalent emissions and total distance traveled. The results showed an increase up to 8.51% (average distance traveled), when links with high exposure to accidents are disrupted. CO_2-eq emissions yielded the same outcome, the disruptions of links with high exposure caused an increase up to 9.19%, whereas the most reliable links caused an average increase of only 5.54% when disrupted. Despite the limited size of the network, the number of scenarios modeled (for collecting data) as well as the Monte Carlo simulation were effective in assessing impacts under many sources of uncertainties.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento da intensidade de uso dos veículos de carga nos centros urbanos tem contribuído para a saturação da relação entre o fluxo de veículos e capacidade dos sistemas de transporte, aumentando a frequência e a duração dos congestionamentos em áreas densamente povoadas. Esse cenário é potencializado em vista de os sistemas de transporte serem configurados para operarem próximos à capacidade como forma de reduzir os custos (Mattsson e Jenelius, 2015). Assim, o menor distúrbio na rede viária pode gerar impactos econômicos, sociais ou ambientais que inicialmente são percebidos pelos usuários através dos congestionamentos de trafego.

A literatura define dois tipos de congestionamento de tráfego: (1) recorrente, se depende dos fluxos e da densidade de tráfego; (2) não recorrente, quando é resultado de eventos externos, como um acidente (Conca *et al.*, 2016). Desta forma, a importância de um sistema de transportes robusto e confiável gera o desenvolvimento de pesquisas com objetivo de compreender os mecanismos e as inter-relações que criam a sua vulnerabilidade, bem como formas de o tornar resiliente para mitigar as consequências de perturbações (Mattsson e Jenelius, 2015).

Ao considerar que a medição da vulnerabilidade passa pela redução ou obstrução da capacidade dos arcos e pela análise do impacto em termos de aumento do tempo da viagem ou de custos monetários (Jenelius e Mattsson, 2012), existem na literatura métodos que podem ser utilizados e que são divididos em dois grupos (Knoop *et al.*, 2012). O primeiro grupo contém os métodos de cálculos completos, ou seja, a capacidade é reduzida para cada arco individualmente. Desta forma, faz-se uma varredura na rede viária para descobrir quais arcos são mais críticos em caso de interrupções. O segundo grupo utiliza critérios pré-definidos para ter uma direção na busca de elos mais vulneráveis.

Nessa abordagem, primeiro se selecionam arcos que são possivelmente vulneráveis, baseados em características específicas (exemplo: uso do solo, topologia, condições de acessibilidade, histórico de desastres etc.). Para esses arcos uma análise mais detalhada é realizada através da redução da capacidade e, com isso, avalia-se a vulnerabilidade de cada arco. Desenvolver métodos que se enquadrem no segundo grupo é interessante do ponto de vista da modelagem de rede, no intuito de reduzir iterações no processo de simulação computacional do experimento. Pode-se, portanto, identificar os arcos críticos da rede viária de forma indireta, ou seja, que não necessite reduzir a capacidade individualmente de todos os arcos de uma rede. Para redes viárias de centros urbanos adensados, a utilização desses métodos pode acarretar em economia de recursos.

O objetivo deste trabalho é desenvolver um procedimento que possibilite verificar a eficácia do atributo do risco de acidente como direcionador para a análise de vulnerabilidade da rede viária, em termos de aumento da distância e emissões de CO_2 equivalente (CO_2-eq), aplicado ao transporte urbano de carga. O trabalho foi dividido em seis seções. A Seção 2 apresenta a avaliação de risco considerada neste trabalho. A Seção 3 apresenta o método desenvolvido nesta pesquisa para análise da vulnerabilidade da rede viária. Na Seção 4, tem-se a aplicação do procedimento e os resultados encontrados. Na Seção 5 são apresentadas as análises. Por fim, a Seção 6 discute as conclusões.

2. AVALIAÇÃO DO RISCO DE ACIDENTE

Risco é um conceito utilizado para caracterizar a ameaça de um evento de desastre em termos de probabilidade de ocorrência e das consequências (Faturechi e Miller-Hooks, 2014). O método deste trabalho para mensurar o valor esperado do risco é baseado no conceito exposto por (Haimes, 1998) que é pertinente a problemáticas contemporâneas. O autor afirma que o valor esperado do risco é essencialmente o produto das consequências de cada evento pela probabilidade de ocorrência e, ao final, soma-se todos os produtos no universo de eventos possíveis. Desta forma, para cada cenário de risco concebível a avaliação pode ser formalizada como o seguinte "tripleto": (1) descrição de cenário; (2) probabilidade e (3) consequências (medida de dano) (Mattsson e Jenelius, 2015).

As consequências geralmente dizem respeito a impactos socioambientais e econômicos. No tocante à probabilidade e exposição ao risco de acidentes (objeto deste trabalho), foram desenvolvidos os Modelos de Previsão de Acidentes (MPA) que, entre outros objetivos, buscam aferir o grau de exposição a acidentes automobilísticos para determinado trecho ou interseção mediante variáveis que expliquem o grau de incidência ao risco. Desta forma, a previsão da ocorrência de acidentes de trânsito usualmente é relacionada a modelos matemáticos que buscam mensurar o valor específico de um índice de acidentes, utilizando para isso uma série de variáveis que exercem influência significativa para tal ocorrência (Cardoso e Goldner, 2007).

O atributo de vulnerabilidade, por sua vez, busca inferir o impacto no desempenho de uma rede viária após a obstrução total ou parcial de um arco ou nó. Desta forma, considera as potenciais consequências de um evento de desastre sobre o desempenho do sistema (Faturechi e Miller-Hooks, 2014).

3. MÉTODO

A Figura 1 ilustra as etapas metodológicas seguidas neste trabalho. O procedimento utilizado nesse trabalho, aplica-se a redes viárias urbanas com presença de congestionamentos. As atividades consistem de:

1. Dados de planejamento da rede viária – através das Etapas 1.1, 1.2 e 1.3;
2. Cenário de rede viária íntegra – Etapas 2.1, 2.2 e 2.3;
3. Cenário de rede viária comprometida – Etapas 3.1 e 3.2;
4. Análise dos resultados – Etapa 4.1.

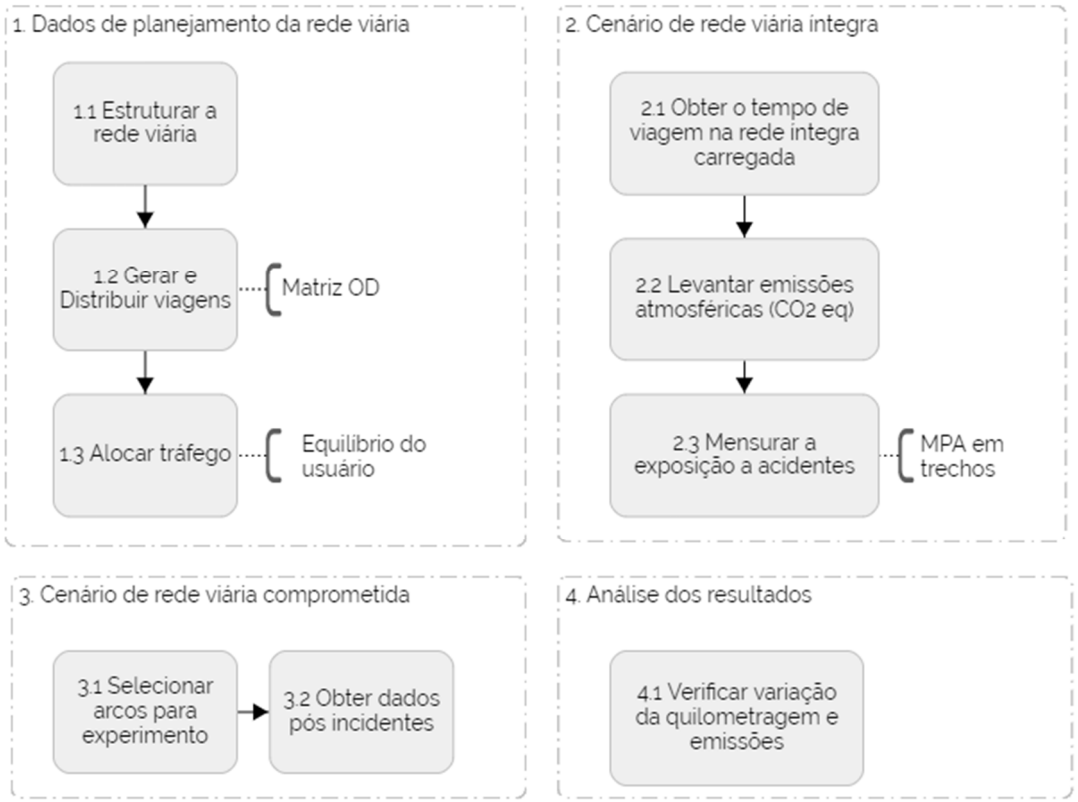


Figura 1: Análise da vulnerabilidade através do direcionador de risco.

4. APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO

4.1 Atividade 1: Dados de planejamento da rede viária

O procedimento foi aplicado em parte da rede viária cidade de Fortaleza, Brasil, especificamente na região que abrange o bairro da Aldeota (Figura 2), área adensada que concentra grande quantidade de comércio e serviços, ou seja, há movimentação de carga urbana e presença constante de congestionamentos.

O recorte da rede viária foi modelado no software de SIG voltado ao transporte TransCAD 4.5; contém 47 nós, conectados entre si por 74 arcos orientados. Os nós de origem (6, 30 e 42), foram escolhidos por estarem próximos a zonas industrializadas. A escolha dos pontos de destino (1, 20 e 47) se justifica por serem pontos estratégicos de recebimento de cargas. Os pontos 1 e 20 representam três shopping centers situados na área de abrangência. O ponto 47 representa a saída do sistema de transporte em direção à outra região comercial da cidade.

Adotou-se 1.250 veículos por hora (vph) como capacidade para cada faixa de tráfego, conforme estudo realizado em vias urbanas semaforizadas apresentado por Colella

et al. (2004). O comprimento por arco foi padronizado em 113 metros, uma vez que representa a média dos comprimentos do recorte da região. Cada trecho possui entre quatro e cinco arcos, com velocidades máximas regulamentadas de 40 km/h (coletoras) e 60 km/h (arteriais). Desse modo, o tempo de viagem para cada arco em fluxo livre é de 6,78 segundos para as arteriais e 10,17 segundos para as coletoras. É evidente que ao carregar a rede o tempo das viagens o tempo de viagem, a quilometragem percorrida e a emissão de poluentes sofrerão variações, as quais podem influenciar na decisão da escolha da rota pelo usuário.



Figura 2: Região do experimento e pontos OD distribuídos na rede.

A movimentação dos veículos urbanos de carga (VUC) entre os pares origem-destino foi representada por uma Matriz OD de carga (Tabela 1). Nesse experimento, foi desenvolvida mediante a contagem de estabelecimentos comerciais e industrias nos trechos da rede viária e teve seu volume inferido baseado na quantidade de estabelecimentos comerciais e indústrias da região (2 shopping centers, 208 comércios e 2 indústrias).

Portanto, foi obtida por um método expedito, desenvolvido internamente para realização do trabalho e sem qualquer garantia, ou pretensão, que a mesma represente o real carregamento de VUC na área em estudo. Tratou-se de contagem *in loco* dos veículos de carga que viajaram entre os pontos OD no intervalo de 1 hora. Embora reconheça-se que uma Matriz OD real traria maior contribuição ao método, entendeu-se que devido ao objetivo ser de verificar a aplicabilidade da proposta, os fluxos entre pares OD não seriam o elemento central de análise a ser considerado.

Tabela 1: Matriz OD de carga.

Origem/Destino (nós)	1	20	47	∑
6	38	32	40	**110**
30	54	48	44	**146**
42	36	52	38	**126**
∑	**128**	**132**	**122**	**382**

Para alocar o tráfego, adotou-se o modelo de equilíbrio determinístico do usuário, cujos preceitos iniciais foram desenvolvidos por Wardrop (1952). A decisão se baseou na utilização do modelo por outros autores da literatura especializada como (Jenelius *et al.*, 2006), (Scott *et al.*, 2006), (Tampère *et al.*, 2008), (Sullivan *et al.*, 2010) e (Huang et al., 2012), portanto, partem do princípio que as realocações de usuários dispersos pela rede viária impactam no tempo de viagem dos arcos no sistema. Nesse tocante, a função objetivo busca minimizar o tempo total *ta* da rede de transportes, conforme as equações 1 a 5.

$$F = \sum_{a \in A} \int_{0}^{xa} t_a(y) d_y \tag{1}$$

sujeito à

$$\sum_{k=1}^{nij} x_{ij}^k = T_{ij}^k \qquad \forall (i,j) \in \text{OD} \tag{2}$$

$$x_a = \sum_{k=1}^{nij} x_{ij}^k \sum_{(i,j) \in OD} (p_{ij}^k)_a (x_{ij}^k) \quad \forall i \in \text{A} \tag{3}$$

$$x_{ij}^k \geq 0 \qquad \forall k = (1, \ldots, n_{ij}) \tag{4}$$

em que

t_a: custo do arco a (tempo);
x_a: fluxo no arco a;
y: constante calibrada;
T_{ij}: quantidade de usuários que desejam se locomover do nó i para o nó j;
x_{ij}^k: quantidade de usuários que percorrem p_{ij}^k (*k-ésimo* caminho entre i e j);
p_{ij}^k= 1, se o arco $a \in p_{ij}^k$ ou 0, caso não pertença.

O custo do arco *ta* (medido em tempo) foi estimado consoante Equação 5, proposta pelo *Bureau of Public Roads* (BPR), tratada na NCHRP 365 (TRB, 1998). Conforme calibração prévia, adotou-se como constante y o valor 4 e da constante b o valor *0*,15.

$$t_a = t_{0,a} \left[1 + b \left(\frac{f_a}{cap_a} \right)^y \right] \tag{5}$$

nos quais

t_a: tempo do arco a;
$t_{0,a}$: tempo inicial do arco a;
fa: fluxo no arco a;
cap_a: capacidade do arco a;
y: constante de calibração;
b: constante de calibração.

4.2 Atividade 2: Cenário de rede viária íntegra

Os fatores de emissão para CO_2 (2,603 kg/l), CH_4 (0,060 g/km) e N_2O (0,030 g/km) para caminhão leve foram obtidos conforme o 2º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA, 2014), cuja eficiência energética (4,99 km/l) foi obtida mediante coleta em campo. Posteriormente, convertidos em CO_2-eq através da medida do potencial de aquecimento global (GWP) de cada gás, revisada periodicamente pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) (Myhre *et al.*, 2013).

Utilizou-se o MPA em trechos, desenvolvido por (Cardoso e Goldner, 2007). As variáveis significativas adotadas neste trabalho são: volume médio diário de veículos (*Vol_Veic*) e velocidade média no trecho (*Vel_Méd*). Após determinar as variáveis significativas, a próxima etapa foi baseada na codificação das variáveis para uma mesma base numérica. Conforme Equação 6.

$$Vcod = \frac{Vobs - A}{B - A} \tag{6}$$

portanto

V_{cod}: valor codificado da variável (intervalo de 0 a 1);
V_{obs}: valor observado para a variável;
A: menor valor observado da amostra;
B: maior valor observado da amostra.

Os fatores de risco e exposição (variáveis significativas) foram, por fim, aglutinados em um modelo de exposição representado pela Equação 7.

$$VR = e^{\left(b_0 + \sum_{i=1}^{n} b_i x_i\right)} \tag{7}$$

sendo

VR: variável resposta;
b_o: constante;
b_i: parâmetros do modelo;
x_i: variáveis significativas (fatores de risco e exposição analisados).

Adotou-se 1,4338 como o valor da constante b_0, 0,7724 para o parâmetro *b* associado a variável *Vol_Veic* e -0,4388 para o parâmetro *b* associado a variável *Vel_Méd*, os mesmos valores sugeridos por Cardoso e Goldner (2007) em um centro urbano adensado. Tal formulação é necessária para atribuir uma gradação de risco (alto, médio e baixo) de cada arco da rede de transportes, considerando os fatores de exposição (variáveis significativas) adotados.

4.3 Atividade 3: Cenário de rede viária comprometida

Após a aferição da exposição a acidentes de cada arco, tornou-se viável verificar se o atributo do risco pode direcionar a avaliação para os elos mais vulneráveis de uma rede viária. Foram simulados 32 cenários com o propósito de representar situações de falhas em arcos com índices extremos de exposição a acidentes, identificando a variação na quilometragem percorrida e na emissão de CO_2-eq em cada situação. A Tabela 2 demonstra a variável resposta (VR) de cada arco do recorte da rede viária.

Tabela 2: Variável resposta por arco.

Arcos	Variável Resposta	Exposição a acidentes
9;10;11;12;13;14;15;19;20;21;22;23;24;25;29;30;32; 33;34;35;39;40;49;50;57;59;60;61;62;63;64;68;69.	VR ≤ 18	Baixa
1;2;3;5;6;7;8;16;18;26;27;28;31; 36;37;38;41;46;48;53;54;56;58;67;72.	18 < VR ≤ 25	Média
5;17;42;43;44;45;47;51;52;55;65;66;70;71;73;74.	25 < VR	Alta

A análise da vulnerabilidade foi baseada na variação da quilometragem percorrida oriunda das mudanças de rotas em função das obstruções dos arcos. Para efeito desta análise, quanto maior a variação da quilometragem percorrida na rede e maior a emissão de CO_2-eq, maior a vulnerabilidade que o arco representa à rede viária. Portanto, simulou-se a obstrução em 32 cenários: 16 com interrupção em um arco de alta exposição a acidentes e 16 em arco de baixa exposição a acidentes. A Tabela 3 evidencia os valores obtidos das médias amostrais de emissão e distância para que possa ser realizada uma simulação de Monte Carlo, avaliando os impactos sob várias fontes de incertezas. Considerou-se uma distribuição normal da amostra.

Tabela 3: Parâmetros de entrada estocásticos para a simulação de Monte Carlo.

Cenários	Emissão CO_2-eq (kg)	DP[3]	Distância percorrida (km)	DP
Rede íntegra	1.192,81	-	2.285,25	-
Cenário I [1]	μ = 1.291,70	σ = 71,10	μ = 2.474,71	σ = 136,23
Cenário II [2]	μ = 1.227,61	σ = 49,76	μ = 2.351,93	σ = 95,33

[1] Coleta de dados amostrais de obstrução em arco com alta exposição a acidentes (n = 16); [2] Coleta de dados amostrais de obstrução em arco com baixa exposição a acidentes (*n* = 16); [3] Desvio padrão.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Através da aplicação do procedimento desenvolvido neste trabalho, foi possível identificar a exposição a acidentes dos arcos de uma rede viária e verificar, por via da simulação Monte Carlo, se os valores extremos podem ser utilizados como direcionadores para análise da vulnerabilidade, considerando aspectos de distância percorrida e emissões de CO_2-eq (Figuras 3 e 4). Utilizou-se a ferramenta MS Excel para geração e tabulação dos números aleatórios (distribuição normal) com base nos parâmetros coletados na modelagem.

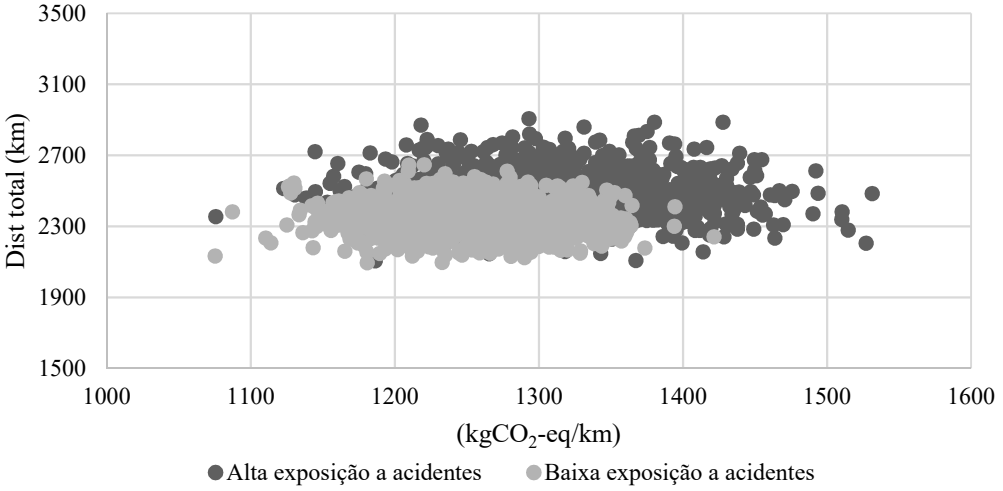


Figura 3: Relação entre distância e emissões por cenário.

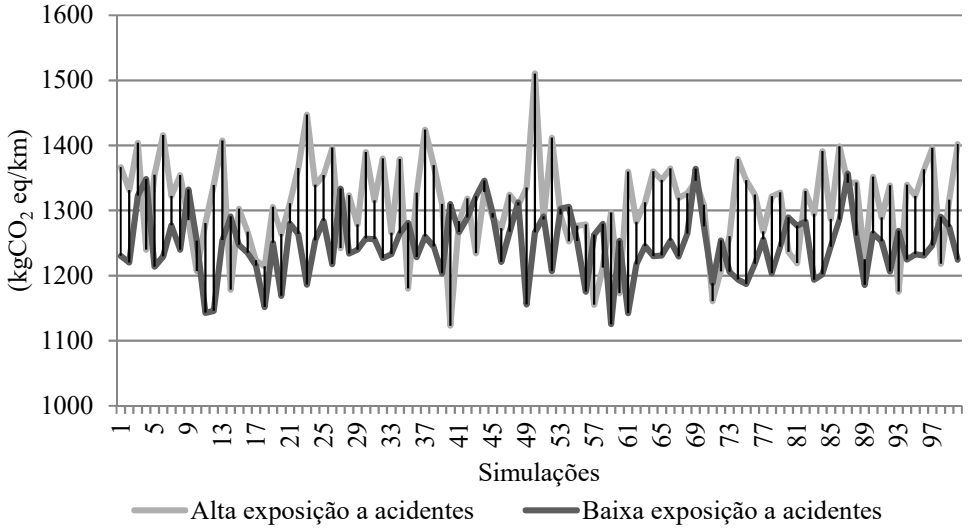


Figura 4: Simulação das emissões de CO_2-eq ao longo do tempo.

Na simulação foram realizadas 1.000 iterações, utilizando os parâmetros de média amostral e desvio padrão dos cenários de alta e baixa exposição a acidentes ilustrados na Tabela 3. A Figura 3 demonstra o confronto da quantidade emitida de CO_2-eq pela a distância total das viagens da rede viária pós incidente após a simulação. Nota-se que as médias amostrais de emissão de CO_2-eq e distância total para o cenário de alta exposição a acidentes são mais elevadas do que no cenário de baixa exposição.

A Tabela 4 ilustra a variação dos índices para ambos os cenários. No primeiro caso, a variação do CO_2-eq é 9,19% maior em relação ao status de rede íntegra e apresenta 8,51% a mais de quilometragem percorrida pelos caminhões. No segundo caso, a variação após a simulação foi de 5,54% (CO_2-eq) e 2,38% (distância total), respectivamente.

Tabela 4: Resultados da simulação de Monte Carlo.

Cenários	Emissão CO2-eq (kg)	Variação (%)[3]	Distância percorrida (km)	Variação (%)
Rede íntegra	1.192,81	-	2.285,25	-
Cenário I [1]	μ = 1.302,48	9,19	μ = 2.479,70	8,51
Cenário II [2]	μ = 1.258,83	5,54	μ = 2.339,66	2,38

[1] Alta exposição a acidentes; [2] Baixa exposição a acidentes; [3] Variação em relação ao cenário de rede íntegra.

A maior variação dos índices para o Cenário I pode ser explicada pelas variáveis significativas de volume médio diário de veículos (Vol_Veic.) e velocidade média no trecho (Vel_Méd.) adotadas no MPA, visto que a variável do volume médio diário do arco apresenta maior peso no modelo. No experimento, os arcos apresentados com alto índice de exposição a acidentes se localizam próximos de polos geradores de tráfego que, ao serem interrompidos, acarreta em uma maior quantidade de usuários afetados, portanto, em aumentos substancias da distância total percorrida pelos caminhões na rede viária.

No quesito de emissões globais de gases do efeito estufa (Figura 4), a simulação mostra que, em média, os valores de emissões são maiores no caso de ruptura em um arco com alta exposição a acidentes, uma vez que a distância total das viagens aumenta na mesma proporção. Pelos resultados da aplicação é possível inferir que o atributo de risco está diretamente relacionado a arcos mais vulneráveis para a rede viária. Deste modo, as evidências geradas podem contribuir em análises de vulnerabilidade da rede viária em centros adensados no intuito de reduzir a quantidade de iterações em simulações.

6. CONCLUSÃO

Através dos resultados das simulações dos cenários de corte, advoga-se que o conceito de risco pode ser empregado como direcionador da vulnerabilidade de uma rede. Devido ao estado de equilíbrio da rede, as alterações de rotas dos motoristas afetados pelo corte de um arco propiciam aumento da distância das viagens de forma agregada, ou seja, envolvendo os demais motoristas que trafegam no mesmo intervalo de tempo.

No experimento, observou-se que os arcos de alta exposição a acidentes apresentaram aumento em aproximadamente 8,51% da distância média de viagem quando obstruídos. Em outra vertente, as rupturas realizadas nos arcos de baixo risco apresentaram cerca de 2,38% de acréscimo na distância média das viagens da rede, ou seja, tratam-se de elos com menor representatividade em caso de ruptura.

O comportamento das emissões de CO_2-eq seguiu a mesma tendência da variação da distância total. Em arcos com maior exposição ao risco, a ruptura ocasiona em aumento médio de 9,19% nas emissões de CO_2-eq, enquanto que as rupturas nos arcos com menor exposição ocasionaram em média apenas 5,54% de aumento nas emissões.

As conclusões vêm a contribuir com o trabalho de (Knoop *et al.*, 2012) no que se refere à triagem dos arcos a ter a vulnerabilidade analisada. Apesar de o tamanho da rede viária modelada ser restrito, a quantidade de cenários modelados para coleta de parâmetros, bem como a simulação de Monte Carlo permitiram avaliar os impactos sob várias fontes de incertezas. Por conseguinte, o método mostrou ser viável na verificação do conceito de risco de acidentes como direcionador para análise de vulnerabilidade da rede viária.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cardoso, G., e Goldner, L. G. (2007) Desenvolvimento e aplicação de modelos para previsão de acidentes de trânsito. Transportes, XV(2), 43–51.

Colella, D. A. T.; Lima E. P., Demarchi S. H (2004) Calibração e validação do modelo fluxo-velocidade do Integration para vias urbanas semaforizadas. In: Anais do XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, Florianópolis, v. 1, p. 453-564.

Conca, A., Ridella, C., e Sapori, E. (2016) A Risk Assessment for Road Transportation of Dangerous Goods: A Routing Solution. Transportation Research Procedia, 14, 2890–2899. doi:10.1016/j.trpro.2016.05.407

Faturechi, R., e Miller-Hooks, E. (2014) Measuring the performance of transportation infrastructure systems in disasters: A comprehensive review. ASCE Journal of Infrastructure Systems, 21(1), 1–15. doi:10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000212.

Haimes, Yacov Y. (1998) Risk modeling, assessment, and management. ISBN 0-471-24005-2.

Huang, Z., Kuang, A., Fan, W., E Zhou, Q. (2012) Impact of Traveler Information on Road Network Travel Time Reliability. Journal of Transportation Systems Engineering and Information

Technology, 12(6), 93–99. doi:10.1016/S1570-6672(11)60235-3
Jenelius, E., e Mattsson, L. G. (2012) Road network vulnerability analysis of area-covering disruptions: A grid-based approach with case study. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 46(5), 746–760. doi:10.1016/j.tra.2012.02.003
Jenelius, E., Petersen, T., e Mattsson, L. G. (2006) Importance and exposure in road network vulnerability analysis. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 40(7), 537–560. doi:10.1016/j.tra.2005.11.003
Knoop, V. L., Snelder, M., van Zuylen, H. J., e Hoogendoorn, S. P. (2012) Link-level vulnerability indicators for real-world networks. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 46(5), 843–854. doi:10.1016/j.tra.2012.02.004
MMA. (2013) Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Rodoviários. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, Brazil.
Mattsson, L. G., e Jenelius, E. (2015) Vulnerability and resilience of transport systems - A discussion of recent research. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 81, 16–34. doi:10.1016/j.tra.2015.06.002
Myhre, G., Shindell, D., Bréon, F.-M., Collins, W., Fuglestvedt, J., Huang, J., Koch, D., Lamarque, J.-F., Lee, D., Mendoza, B., Nakajima, T., Robock, A., Stephens, G., Takemura, T., e Zhang, H. (2013) Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 659–740. doi:10.1017/CBO9781107415324.018
Scott, D. M., Novak, D. C., Aultman-Hall, L., e Guo, F. (2006) Network Robustness Index: A new method for identifying critical links and evaluating the performance of transportation networks. Journal of Transport Geography, 14(3), 215–227. doi:10.1016/j.jtrangeo.2005.10.003
Sullivan, J. L., Novak, D. C., Aultman-Hall, L., e Scott, D. M. (2010) Identifying critical road segments and measuring system-wide robustness in transportation networks with isolating links: A link-based capacity-reduction approach. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 44(5), 323–336. doi:10.1016/j.tra.2010.02.003
Tampère, C. M. J., Stada, J., Immers, B., Peetermans, E., e Organe, K. (2008) Methodology for Identifying Vulnerable Sections in a National Road Network. Transportation Research Record, 2012(1), 1–10. doi:10.3141/2012-01
TRB (1998). Travel Estimation Techniques for Urban Planning. Transportation Research Board, NCHR Report 365.
Wardrop J.G. (1952) Some Theoretical Aspect of Road Traffic Research Proceedings. Institution of Civil Engineering, 1, part 2, 325 – 378.

CÁLCULO DE EFICIÊNCIA NA ALOCAÇÃO DE MÃO DE OBRA EM ESTAÇÕES FERROVIÁRIAS DA MALHA DO RIO DE JANEIRO ATRAVÉS DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)

Luíza Serra Moreira
Wagner Luis Ferreira
João Carlos Correia Baptista Soares de Mello
Universidade Federal Fluminense
Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense

RESUMO
O presente estudo de caso analisa a eficiência em relação a utilização da mão de obra e passageiros atendidos nas estações ferroviárias do principal ramal ferroviário da cidade do Rio de Janeiro. O objetivo é de viabilizar uma análise de melhores práticas nas estações, possibilitando uma melhor alocação de mão obra. Para tanto, foi utilizado o DEA como ferramenta de elaboração dos cálculos, através do modelo CCR com orientação a *inputs* e análise da fronteira invertida. Os dados iniciais adotados correspondem ao total de funcionários (*input*) estimados por meio de observações, e as quantidades de passageiros por estação (*output*) que correspondem à média de dias úteis entre maio de 2016 até maio de 2017 multiplicados por um fator de correção. A seleção de outras variáveis, por vez, foi realizada utilizando o método de Multicritério para Seleção de Variáveis. Além disso, uma ampla revisão literária foi pesquisada como referências aos conceitos e premissas aqui adotados.

Palavras-chave: Eficiência. Ferrovia. Análise Envoltória de Dados.

ABSTRACT
This case study analyzes the efficiency in relation to the utilization of labor and passengers served from the railway stations of the main railway branch of the Rio de Janeiro city. The objective is to make feasible an analysis of best practices in the stations, allowing a better allocation of labor. For this purpose, the DEA was used as a computation tool, using the CCR model with *input* orientation and inverted border analysis. The initial data used correspond to the total number of employees (*input*) estimated by observation, and the number of passengers per station corresponds to the average number of business days between May 2016 and May 2017 multiplied by a correction factor. The selection of other variables was performed using the Multicriteria Method for Selection of Variables. In addition, a large literary revision was made as references to the concepts and premises adopted here.

Keywords: Efficiency. Railway. Data Envelopment Analysis.

1. INTRODUÇÃO

As estações ferroviárias podem ser consideradas o principal meio de interface entre passageiros e a via férrea uma vez que, por meio delas, ocorrem a entrada de usuários no sistema ferroviário, embarque e desembarque nos vagões e mudanças de linha. De acordo com Sameni *et al.*(2016),estações usualmente são gargalos da rede ferroviária. Contudo, poucos trabalhos são dedicados a avaliar e ranquear suas perfomances.

Por apresentar custos de operação e manutenção elevados, faz-se necessária a melhor utilização dos recursos disponíveis, tais como materiais, energia e mão de obra. Neste estudo serão analisadas as eficiências relativas à utilização de mão de obra nas estações ferroviárias do Ramal de Deodoro, no Rio de Janeiro, relacionadas à quantidade de passageiros e ao número de linhas atendidas utilizando a ferramenta de Análise Envoltória de Dados (DEA). A análise tem como objetivo apoiar possíveis tomadas de decisões futuras em relação a melhor utilização da mão de obra disponível no que se relaciona ao quadro de funcionários e à alocação de trabalhadores nas estações.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A fim de embasar o estudo, foram pesquisados diversos trabalhos que envolvem a aplicação de DEA em ferrovias. Entre eles estão os apresentados a seguir.

Oum e Yu (1994) realizam uma análise utilizando DEA a fim de identificar os efeitos das intervenções governamentais e subsídios na eficiência produtiva dos sistemas ferroviários que possuem grande parte de seus serviços voltados para passageiros em países Europeus e Asiáticos. Utiliza como *inputs* o número de funcionários, o consumo de energia, a estrutura, materiais, número de vagões de passageiros, número de vagões de carga e número de locomotivas. As variáveis utilizadas como *outputs* são número de passageiros por Km, toneladas por Km, trem de passageiros por Km e trem de carga por Km.

Lan e Lin (2003) utilizam DEA orientado a *input* para investigar a eficiência técnica e a efetividade do serviço de 76 ferrovias ao redor do mundo no período de 1999-2001. Utilizam como *inputs* a extensão da rede, a quantidade de locomotivas e vagões e o número de empregados. Como *output* utilizam apenas a variável trem por Km.

Yu (2008) utilizou os modelos DEA, TDEA *(Traditional Data Development Analysis)* e NDEA *(Network Data Development Analysis)* visando comparar a eficiência de 40 ferrovias. Os *inputs* utilizados foram comprimento da linha, número de funcionários, número de vagões de carga e número de vagões de passageiros, e como *outputs* foram utilizados tonelada por Km e passageiros por Km.

Himola (2010) apresenta em seu artigo o modelo DEA *multiestágio* para analisar a eficiência operacional e financeira do modo ferroviário de alguns países. Para eficiência operacional, os *inputs* utilizados foram a quilometragem da malha, o número de vagões, de locomotivas e o número de funcionários, e os *outputs* considerados foram a tonelada quilômetro útil e a tonelada útil tracionada. Por outro lado, o cálculo da eficiência financeira utilizou como *inputs* as saídas da modelagem da eficiência operacional, e como *outputs* a receita e o frete.

Caldas *et al.* (2012) aplicam o modelo DEA CCR orientado a *output* para comparar a eficiência operacional das concessionárias brasileiras e americanas. Utilizam como entradas a extensão da linha em quilômetros e o número de funcionários trabalham no trecho. O *output* foi a quantidade de carga transportada no trecho (em toneladas).

Kutlar *et al.* (2013) mediram a eficiência de 31 ferrovias de diversos países, de 2000 a 2009. Foram considerados como *inputs* o número de funcionários, comprimento da linha, número de vagões de carga, número de vagões de passageiros, número de veículos de operação e custo da operação anual. O estudo considerou como *outputs* a tonelada por quilômetro, passageiros por quilômetro, tonelada transportada, número de passageiros transportados e receita anual.

Pereira e Soares de Mello (2014) estudam a eficiência das concessionárias brasileiras nos anos de 2009 a 2011 através do modelo DEA BCC orientado a *output*. Os *inputs* utilizados foram a meta de carga transportada e a extensão da malha concessionada, enquanto que os *outputs* foram a carga real transportada e a receita.

Pereira *et al*. (2015) analisam a eficiência das empresas concessionárias da malha ferroviária brasileira, no período de 2009 a 2013. Nesta análise são utilizados como *inputs* a área de

concessão, número de empregados, gastos com pessoal, gastos com depreciação, outros gastos e total de gastos, bem como a receita líquida é utilizada como *output*.

Reis *et al.* (2017) estudaram a eficiência de ferrovias utilizadas para transporte de cargas utilizando métodos de seleção de variáveis e *outputs* indesejáveis. Utilizando o modelo BCC orientado a *output*, foram utilizados como *inputs* os investimentos e o número de acidentes e, como *outputs*, a carga transportada e o número de clientes.

Sameni *et al*. (2016) realizam análise de 96 estações ferroviárias da Grã Bretanha em relação a eficiência das mesmas e a efetividade do serviço. Para isso, desenvolveram o modelo de avaliação de eficiência técnica orientado a *output* utilizando o número de paradas que os trens realizam nas estações (informação retirada da grade horária) e como *inputs* o número de plataformas e porcentagem de linhas de passagem em cada estação (calculada divindindo o total de linhas de passagem sobre a soma do total de linhas de passagem e total de linhas terminais em cada estação). Já para a análise de efetividade do serviço foram realizadas análises orientadas tanto a *output* como a *input*. Dessa forma, as variáveis de entrada foram o número de paradas que os trens realizam nas estações, a área populacional captada e o número de oportunidades de trabalho na área captada. Já as variáveis de saída utilizadas foram o número de passageiros que entram e saem nas estações e o número de mudanças de linhas realizadas pelos usuários.

3. ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)

A Análise Envoltória de Dados (DEA – *Data Envelopment Analysis*), desenvolvida por Charnes *et al.* (1978), é uma ferramenta utilizada para análise de eficiência de unidades produtivas ou tomadoras de decisão (DMUs - *Decision Making Units*). Por meio de uma abordagem não-paramétrica baseada em modelos de programação matemática, as eficiências das DMUs são calculadas individualmente comparando as quantidades produzidas (*outputs*) em relação aos recursos utilizados (*inputs*) aos níveis de todas as outras unidades envolvidas no estudo.

O método DEA otimiza cada observação individual objetivando calcular uma fronteira de eficiência, determinada pelas unidades que são Pareto Eficientes, ou seja, que não conseguem melhorar alguma de suas características sem deteriorar as demais. Como resultado, tem-se a construção de uma fronteira eficiente. As DMUs que se encontram na fronteira são consideradas eficientes, que tem sua pontuação atribuída a 100%, enquanto as demais são consideradas ineficientes. Dessa forma, as DMUs na fronteira se tornam *benchmarks* para as demais, ou seja, se tornam referência em relação a níveis de *inputs*, *outputs* e práticas gerenciais.

Em geral, há duas formas básicas de DMUs não eficientes alcançarem a fronteira. A primeira é por meio da orientação a *input*, que parte do pressuposto da redução dos recursos utilizados mantendo os mesmos níveis de produção. Já a orientação a *output* visa o aumento das quantidades produzidas, mantendo constantes os recursos utilizados (*inputs*).

DEA apresenta dois modelos clássicos: CCR e BCC. O primeiro, proposto por Charnes *et al*. (1978), também é denominado por CRS (*Constant Returns to Scale*), uma vez que trabalha com retornos constantes de escala. Dessa forma, toda variação nas entradas implica em variação proporcional nas saídas, obedecendo, portanto, a propriedade do raio ilimitado (Cooper *et al.*, 2007).

Esse modelo maximiza o quociente entre a combinação linear dos *outputs* e a combinação linear dos *inputs*, com a restrição de que para qualquer DMU esse quociente não pode ser maior que 1. O modelo CCR é apresentado pelas equações abaixo.

$$\text{Max } Eff_o = \sum_{j=1}^{s} u_j y_{jo} \quad (1)$$

Sujeito a

$$\sum_{i=1}^{r} v_i x_{io} = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{s} u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^{r} v_i x_{ik} \leq 0 \text{ , } k=1,..., n \quad (3)$$

$$u_j, v_i \geq 0, \; i=1,..., s, \; j=1,...,r$$

Em que: *Effo:* eficiência da DMU o em análise

vi e uj : pesos de *inputs* i, i =1,...,r , e *outputs* j, j =1,...,s respectivamente

xik e jik : *inputs* i e *outputs* j da DMU k, k =1,..., n

xio e yjo : *inputs* i e *outputs* j da DMU o

O modelo BCC proposto por Banker *et al*. (1984) é também conhecido como VRS (*Variable Returns to Scale*), uma vez que considera situações de eficiência de produção com variação de escala, substituindo o axioma da proporcionalidade entre *inputs* e *outputs* pelo da convexidade. Dessa forma, deixa de obedecer a propriedade do raio ilimitado. Uma distorção do modelo VRS é considerar sempre eficientes as DMUs que tenham o menor valor para um dos *inputs* ou o maior valor para um dos *outputs* (Soares de Mello *et al*., 2004). A elas é dado o nome de eficientes por *default*.

4. METODOLOGIA

4.1 Seleção de Variáveis em DEA

Segundo Senra *et al*. (2004), a metodologia DEA, historicamente, possui a fragilidade de sua baixa capacidade em ordenar DMUs, uma vez que, ao se calcular um modelo com muitas variáveis em relação ao número de unidades tomadoras de decisão, muitas são classificadas como eficientes.

Na literatura DEA, a grande maioria dos trabalhos publicados traz a abordagem da seleção de variáveis segundo a opinião de especialistas ou até mesmo da disponibilidade de dados (Senra *et al*., 2007). Segundo Lins e Angulo Meza (2000), quando se dispõe de poucas variáveis e muitas DMUs, a utilização de todas as variáveis não prejudica o modelo. Logo, não se justifica o cuidado em se valer de técnicas de seleção em variáveis.

Por outro lado, caso o número de DMUs seja pequeno, utilizar muitas variáveis pode diminuir o poder discriminatório do modelo e classificar muitas como eficientes. Uma solução para este caso é restringir as variáveis que serão analisadas, fazendo uso de um dos métodos de seleção de variáveis, objetivando aumentar a possibilidade de que apenas os *inputs* e os *outputs* mais adequados sejam utilizados na avaliação de eficiência.

Senra *et al.*, 2007 realizam um estudo sobre métodos de seleção de variáveis em DEA no qual discorrem sobre as metodologias *I-O Stepwise* Exaustivo Completo, Multicritério para Seleção

de Variáveis em Modelos DEA, Multicritério Combinatório Inicial para Seleção de Variáveis, Multicritério Combinatório por Cenários para Seleção de Variáveis.

4.2 Método Multicritério para Seleção de Variáveis em Modelos DEA

Neste estudo, optou-se pela utilização do Método Multicritério para Seleção de Variáveis em Modelos DEA proposto por Soares de Mello *et al.* (2002) por permitir a escolha inicial do par de variáveis pelo decisor, combinar uma relação causal entre *inputs* e *outputs* satisfatória, além de garantir a discriminação entre as DMUs. A aplicação deste método pode ser vista em Senra e Soares de Mello (2004) em análises do setor elétrico.

O método de seleção constitui na adesão dos passos descritos a seguir:

I. Escolher um par *input-output* inicial: o decisor escolhe o melhor par *input-output* para iniciar a análise, baseando-se no seu conhecimento sobre o assunto e no tipo de medida que pretende fazer.
II. Calcular a eficiência média para cada variável acrescentada: os valores obtidos das eficiências médias serão normalizados com o uso de uma interpolação que atribua valor 1 à maior eficiência média e 0 à menor. Este valor normalizado é chamado SEF.
III. Contar o número de DMUs na fronteira para variável acrescentada: este número será normalizado com o uso de uma interpolação que atribua valor 1 ao menor número de DMUs na fronteira e 0 ao maior número. Observa-se que esta normalização garante que quanto maior for o número de DMUs na fronteira, menor será o poder discriminatório do modelo. Para tais valores é dado o nome de SDIS.
IV. Fazer uma soma ponderada de SEF e SDIS: com restrição de que a soma dos pesos seja igual a 1, esta soma é equivalente a uma soma ponderada, cabe ao decisor escolher o peso de cada variável de acordo com o fator que ele julgar mais relevante. Foi assim definida a variável $S = \alpha SEF + (1 - \alpha)$ SDIS.
V. Escolher a variável que tenha maior valor de S: a alternativa que tiver o maior valor de S é considerada que melhor concilia uma boa ordenação (alto valor de SDIS) e uma boa relação causal (alto valor de SEF), e será incluída no modelo.
VI. Verificar se o número de DMUs excede o quíntuplo do número de variáveis: caso afirmativo, deve-se encerrar a seleção de variáveis. Caso contrário, deve-se reiniciar o processo na etapa 2 incluindo mais uma variável. É importante ressaltar que a escolha de 1/5 é arbitrária e baseada em estudos de Gonzalez-Araya (2003).

4.3 Fronteira Invertida

O conceito de Fronteira Invertida foi introduzido por Yamada *et al.* (1994) e posteriormente ilustrado por Entani *et al.* (2002), os quais denominavam o método de IDEA ("*Inverted* DEA"). Seu uso para contornar problemas de baixa discriminação foi proposto inicialmente por Angulo Meza *et al.* (2003).

A Fronteira Invertida é uma avaliação pessimista das DMUs. Dessa forma é feita uma troca entre *inputs* com os *outputs* do modelo original. Esta fronteira é composta pelas DMUs com as piores práticas gerenciais podendo ser chamada de fronteira ineficiente (Leta *et al.*, 2005).

Por consequência, o método impede a especialização das DMUs quando as mesmas atribuem pesos nulos às variáveis em que não apresentam resultado satisfatório para que não tenham suas

eficiências prejudicadas. A Fronteira Invertida anula esse efeito, destacando também variáveis nas quais as DMUs não possuem bom desempenho. (Soares de Mello *et al.*,2005).

O cálculo da eficiência invertida permite o cálculo da eficiência composta que considera tanto a avaliação otimista da fronteira padrão, quanto a pessimista da fronteira invertida. Segundo Leta *et al*. (2005), o índice composto à DMU mais eficiente é aquele que consegue ter um bom desempenho naquilo em que é melhor sem ter um desempenho ruim naquilo em que é pior.

O índice de eficiência composta, como observado na equação (2), é definido pela média aritmética entre a eficiência em relação à fronteira convencional e o complemento da eficiência em relação à fronteira invertida.

$$Eficiência_{composta} = \frac{Eficiência_{padrão} + (1 - Eficiência_{invertida})}{2} \quad (4)$$

Aplicações deste método podem ser encontrados em Maciel *et al.* (2014), na qual é realizada uma análise no processo de licitatório de contratação de embarcações, e também em Reinas *et al*. (2011), na qual são realizados cálculos para custo/benefício de aeronaves.

5. ESTUDO DE CASO

Os usuários interagem diretamente com os funcionários alocados nas estações. A alocação desses funcionários entre as estações deve permitir condições de trabalho satisfatórias pela ótica dos empregados, evitando a sobrecarga dos mesmos. Ao mesmo tempo, deve evitar o desperdício de recursos como a sub utilização do capital humano quando há excesso de mão de obra para execução de tarefas necessárias na rotina das estações.

A percepção pelo passageiro da qualidade do serviço prestado se dá por quesitos como ingresso nas estações sem esperas significativas, a disponibilidade fácil de informações, a segurança e, limpeza do ambiente e a pontualidade de saída do trem de uma estação até a de destino.

A via férrea do Rio de Janeiro tem extensão de 270km que atendem a 102 estações de 5 ramais e 3 extensões. Servindo a 12 municípios da região metropolitana, são transportados uma média de 700 mil passageiros por dia útil em uma frota de 201 trens em operação.

O objetivo deste presente estudo é calcular as eficiências das estações ferroviárias do Ramal Deodoro em relação a utilização de sua mão de obra e passageiros atendidos, a fim de viabilizar uma análise de melhores práticas nas estações e melhor alocação de mão obra utilizada.

O Ramal Deodoro possui aproximadamente 22km de extensão atendendo a 20 estações. A escolha deste ramal para análise se justifica pelo mesmo concentrar aproximadamente 48% do total de passageiros que utilizam o sistema. Sendo assim, qualquer melhoria de utilização ou redução de recursos apresentará resultados mais significativos do que se realizado em qualquer outro ramal.

5.1 Análise de dados e aplicação do modelo

Para a realização do estudo foi necessária a coleta inicial dos dados apresentados na tabela abaixo. Foi excluída da análise a estação Central do Brasil para que não houvesse interferências na análise ao comparar uma estação que, por ser interseção entre todos os ramais, atende a um número muito maior de passageiros do que as outras estações menores.

As variáveis abaixo foram selecionadas pois refletem como características operacionais das estações, como o número de linhas e viagens, interferem na quantidade de passageiros que frequentam o espaço tornando necessária a presença de mais funcionários. Já o número de pagantes na bilheteria, ou seja, pessoas que não utilizam cartões de transporte pré-carregados, influencia diretamente na quantidade de bilheteiros.

Tabela 1: Dados utilizados de total de passageiros e pagantes nas bilheteiras em dias úteis, quantidade de viagens, total de funcionários e número de linhas distribuídos por estações

Estação	Passageiros em dias úteis	Pagantes na bilheteria	Viagens	Total Funcionários	Número de linhas
Bento Ribeiro	7093	2534	208	20	3
Cascadura	8228	2780	208	20	4
Deodoro	15000	4161	523	62	12
Engenho Novo	8641	3054	208	16	2
Engenho de Dentro	23273	7673	522	38	5
Madureira	69988	20378	522	72	5
Maracanã	27410	9520	783	38	6
Marechal Hermes	12021	4154	208	18	4
Méier	29642	10569	208	32	2
Oswaldo Cruz	6547	2265	208	18	4
Praça da Bandeira	9366	3035	208	18	2
Piedade	6860	2560	208	14	2
Quintino	5808	1911	208	14	2
Riachuelo	9199	2778	208	14	2
São Francisco Xavier	5554	1717	208	24	4
Sampaio	3994	1581	208	18	2
São Cristóvão	60223	18242	783	52	6
Silva Freire	1348	473	77	4	2

Os dados utilizados sobre passageiros e pagantes nas bilheteiras correspondem à média de dias úteis entre maio de 2016 até maio de 2017 multiplicadas por um fator de correção para preservar o sigilo dos dados. A alteração não apresenta danos ao modelo uma vez que a Análise Envoltória de Dados é invariante a escala. Já o número de viagens e o número de linhas correspondem ao cenário realista em maio de 2017. O total de funcionários foi estimado de acordo com o observado nas estações e corresponde ao número de empregados alocados nos cargos de bilheteiros, agentes de segurança, auxiliadores de público e profissionais de limpeza. É válido ressaltar que os dados utilizados para passageiros em dias úteis, pagantes na bilheteria e total de passageiros não são fiéis a realidade.

O número de viagens corresponde a quantas vezes o trem para na estação de modo que haja embarque e desembarque de passageiros, não importando o sentido. O número de linhas corresponde ao número de vias em que há a possibilidade do Material Rodante passar pela estação. Usualmente, as estações possuem pelo menos duas linhas de mesma direção porém com sentidos de movimentação opostos. As estações que possuem mais de duas linhas em geral estão em locais nos quais a via permanente pode atender a mais de um ramal. Vale ressaltar que

a conexão entre os ramais nestes pontos depende da operação da empresa que obtém a concessão da linha férrea.

Com o intuito de garantir a ótica do modelo voltada para a mão de obra utilizada, optou-se pela utilização da mesma como único *input* a ser reduzido utilizando a orientação voltada a *input*. Por opção do decisor em manter a relação mão de obra e passageiros, a utilização do par inicial de variáveis se deu da seguinte forma:

Input inicial: Total de Funcionários
Output inicial: Passageiros em dias úteis

A seleção de outras variáveis foi realizada utilizando o método de Multicritério para Seleção de Variáveis em Modelos DEA. Além disso, para todos os cálculos do modelo foi utilizado o modelo CCR orientado a *input*, com o objetivo de evitar que sejam colocadas na fronteira de eficiência as DMUs eficientes por *default* apresentadas do modelo BCC, que seriam aquelas que apresentam o menor número de funcionários ou que atendem ao maior número de passageiros e linhas.

Neste trabalho será utilizado o modelo CCR com orientação a *inputs* e cálculo da Fronteira Invertida para a análise de eficiência na alocação de mão de obra nas estações ferroviárias.

É válido destacar que apesar de algumas variáveis do modelo não respeitarem a propriedade da proporcionalidade como total de funcionários e número de linhas, o modelo CCR se mostra mais adequado. O modelo BCC apresenta alguns problemas teóricos já mencionados na literatura, como eficiências por *default* (Ali, 1993) e eficiências negativas implícitas, tal como descrito por Soares de Mello *et al.*(2013). Análises e críticas ao modelo BCC podem também ser encontradas em Rubem *et al*. (2013).

Dessa forma, para a seleção da terceira variável foram calculados 3 modelos utilizando o par inicial de variáveis e acrescentados das variáveis Pagantes, Viagens e Linhas individualmente na posição de *output*. Para os cálculos de eficiência, foi utilizado o *Software* de Sistema Integrado de Apoio à Decisão (SIAD) desenvolvido por Angulo Meza *et al.* (2005a, 2005b).

Na sequência, seguindo o modelo de seleção de variáveis, foram calculadas as eficiências médias de cada modelo, assim como os valores de SEF e SDIS que viabilizaram o cálculo de S utilizando $\alpha = 0{,}5$ igualando, portanto, as prioridades dadas ao cálculo de eficiência e discriminação.

A variável que apresentou o maior valor de S foi a quantidade de linhas e a mesma foi incluída no modelo. Como são 18 DMUs utilizadas, optou-se por encerrar o processo de seleção para que a regra 1/5, apresentada na seção de seleção de variáveis, não fosse ultrapassada.

Tabela 2: Cálculo de eficiência para seleção de variáveis

DMU	Pagantes	Viagens	Linhas
Bento Ribeiro	0,361167	1,000000	0,480562
Cascadura	0,396228	1,000000	0,596938
Deodoro	0,208898	0,233847	0,466473
Engenho Novo	0,544102	0,483197	0,574582
Engenho de Dentro	0,575514	0,543652	0,636057

Madureira	0,839315	0,844382	0,839315
Maracanã	0,714141	0,634711	0,753593
Marechal Hermes	0,657847	0,590034	0,813338
Méier	0,941399	0,806131	0,799818
Oswaldo Cruz	0,358538	0,335640	0,596733
Praça da Bandeira	0,480479	0,466647	0,539377
Piedade	0,521246	0,441282	0,566038
Quintino	0,389306	0,378446	0,512536
Riachuelo	0,567282	0,580929	0,684941
São Francisco Xavier	0,203815	0,225051	0,418120
Sampaio	0,250533	0,217084	0,326886
São Cristóvão	1,000000	1,000000	1,000000
Silva Freire	0,337792	0,313341	1,000000
Eficiência Média	0,519311	0,560799	0,644739
DMUS na fronteira	1,000000	3,000000	2,000000
SEF	0,000000	0,330768	1,000000
SDIS	1,000000	0,000000	0,500000
S	0,500000	0,165384	**0,750000**

Por mais que o número de linhas atendidas pelas estações possa ser considerado um *input* e fator relevante para a decisão de um passageiro em acessar ou não o sistema naquele ponto da malha ferroviária, a utilização da variável selecionada como *output* se dá pelo sentido dado ao modelo proposto que visa a melhoria na alocação do quadro de funcionários. Além disso, não é interessante para os passageiros que o número de linhas venha a ser reduzido.
Dessa forma, para o cálculo das eficiências para cada estação foi utilizado o modelo CCR orientado a *input* utilizando as variáveis listadas abaixo:

Input: Total de Funcionários
Output: Passageiros em dias úteis e número de linhas

Analisando as eficiências padrão previamente calculadas para as estações durante a fase de seleção de variáveis e apresentadas na tabela abaixo, pode-se perceber que as únicas DMUs que se encontram na fronteira são São Cristóvão e Silva Freire.

Tabela 3: Cálculo de eficiência padrão

DMU	Eficiência Padrão
Bento Ribeiro	0,480562
Cascadura	0,596938
Deodoro	0,466473
Engenho Novo	0,574582
Engenho de Dentro	0,636057
Madureira	0,839315
Maracanã	0,753593
Marechal Hermes	0,813338
Méier	0,799818
Oswaldo Cruz	0,596733
Praça da Bandeira	0,539377
Piedade	0,566038
Quintino	0,512536

Riachuelo	0,684941
São Francisco Xavier	0,41812
Sampaio	0,326886
São Cristóvão	1
Silva Freire	1

O fato de São Cristóvão e Silva Freire estarem na fronteira de eficiência significa que ambos podem ser considerados benchmarks para as outras DMUs. Todavia, ao analisar os valores encontrados pelo cálculo de benchmark, pode-se verificar que todas as estações não consideram Silva Freire como um alvo, inclusive ela mesma.

Tabela 4: Cálculo de benchmarks

DMU	São Cristóvão	Silva Freire
Bento Ribeiro	0,090281	0
Cascadura	0,098469	0
Deodoro	0,123033	0
Engenho Novo	0,129833	0
Engenho de Dentro	0,354254	0
Madureira	1,162128	0
Maracanã	0,415913	0
Marechal Hermes	0,166002	0
Méier	0,492196	0
Oswaldo Cruz	0,068530	0
Praça da Bandeira	0,142720	0
Piedade	0,098113	0
Quintino	0,079388	0
Riachuelo	0,139729	0
São Francisco Xavier	0,050872	0
Sampaio	0,047099	0
São Cristóvão	1,000000	0
Silva Freire	0,000000	0

Em busca de uma análise mais profunda e da possibilidade de ordenar as estações por eficiência, foi realizado o cálculo de Fronteira Invertida que, como dito anteriormente, inverte *outputs* e *inputs* permitindo a análise das DMUs ineficientes. Como pode-se notar pelos resultados abaixo, a estação Méier e Sampaio se encontram na fronteira de ineficiência e a estação Madureira muito próxima dela.

Tabela 5: Cálculo de eficiência invertida, composta e composta normalizada

DMU	Eficiência Padrão	Eficiência Invertida	Eficiência Composta	Eficiência Composta Normalizada
São Cristóvão	1	0,647306	0,676347	1
Marechal Hermes	0,813338	0,47118	0,671079	0,992211
Silva Freire	1	0,658424	0,670788	0,991781
Maracanã	0,753593	0,608766	0,572414	0,846331
Cascadura	0,596938	0,553541	0,521699	0,771347
Riachuelo	0,684941	0,671765	0,506588	0,749006
Oswaldo Cruz	0,596733	0,610144	0,493295	0,729351
Madureira	0,839315	0,926013	0,456651	0,675173
Engenho de	0,636057	0,727235	0,454411	0,671861

Dentro				
Piedade	0,566038	0,715585	0,425226	0,62871
Méier	0,799818	1	0,399909	0,591278
Engenho Novo	0,574582	0,779077	0,397752	0,588089
Quintino	0,512536	0,737223	0,387656	0,573162
Bento Ribeiro	0,480562	0,724583	0,37799	0,558869
Praça da Bandeira	0,539377	0,859914	0,339731	0,502303
Deodoro	0,466473	0,917141	0,274666	0,406102
São Francisco Xavier	0,41812	0,958828	0,229646	0,339539
Sampaio	0,326886	1	0,163443	0,241655

Analisando a eficiência composta, ou seja, a combinação entre valores de eficiência e ineficiência, apenas as DMUs Cascadura, Maracanã, Marechal Hermes, Riachuelo, São Cristóvão e Silva Freire apresentaram valores acima de 0,5. Neste caso, as outras DMUs se aproximam mais da fronteira de ineficiência do que de eficiência.

Calculando os valores da composta normalizada, é possível ordenar as DMUs por eficiência. Tal ordenação pode ser vista na tabela 5.

6. CONCLUSÕES

Após os resultados encontrados, pode-se constatar que, analisando os valores da eficiência composta, as estações de Cascadura, Maracanã, Marechal Hermes, Riachuelo, São Cristóvão e Silva Freire apresentam-se mais próximas da fronteira de eficiência. No entanto, somente a estação de São Cristóvão apresenta-se eficiente a ponto de ser considerada *benchmark* para todas as demais estações.

Dessa forma, as práticas e critérios adotados na utilização de mão-de-obra na estação de São Cristóvão devem ser, quando operacionalmente possível, replicados e/ou adaptados às demais estações, a fim de que possa ser melhorada a eficiência global do atendimento aos passageiros usuários da Ramal de Deodoro, através de uma melhor otimização de seus recursos.

A ordenação das estações pode ser considerada uma ferramenta de auxílio para o desenvolvimento de um plano de ação para análise e melhorias da utilização de mão de obra das estações iniciando pelas menos eficientes.

Independentemente dos resultados aqui apresentados e da ampla revisão literária, este estudo não tem a pretensão de exaurir todo o tema, disponibilizando informações que possam ser adotadas por outros estudos futuros, os quais possam incluir variáveis não consideradas no presente trabalho, assim como dados mais recentes à época das novas iniciativas.

Além disso, é indicado para futuras análises avaliar a adequação do modelo CCR ao estudo de caso, a utilização do modelo BCC, a inclusão de outras DMUs e a explicação do fato da Estação Silva Freire não possuir benchmarks.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Angulo Meza, L.; L. Biondi Neto, J. C. C. B. Soares de Mello e E. G. Gomes (2005a) ISYDS - Integrated System fo Decision Support (SIAD - Sistema Integrado de Apoio à Decisão): a software package for data envelopment analysis model. *Pesquisa Operacional*, v. 25, n. 3, p. 493-503.

Angulo Meza, L.; L. Biondi Neto, J. C. C. B. Soares de Mello, E. G. Gomes, P. H. G. Coelho (2005b) Free software for decision analysis: a software package for data envelopment models. *7th International Conference on Enterprise Information Systems - ICEIS*, v. 2, p. 207-212.

Caldas, M. A. F.; P. D. Gabriele, R. L. Carvalhal e T. G. Ramos (2012) A Eficiência do Transporte Ferroviário de Cargas: Uma Análise do Brasil e dos Estados Unidos. *Congresso Latino Ibero-Americano de Investigación Operativa e Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional XVI CLAIO - XLIV SBPO*, p.1775-1786

Charnes, A.; W. Cooper e E. Rhodes (1978) Measurind the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, v.2, n. 6, p. 429-444.

Himola, O. (2010) Building efficiency from bottom-up? Analysing global railway freight. *International Jounal of Logistics Economics and Globalisation*, v. 2, n. 2, p. 139-150.

Kutlar. A., K. Ali e M. Sarikaya (2013) Determination of the efficiency of the world railway companies by method of DEA and comparison of their efficiency by Tobit analysis. *Quality & Quantity*, v. 47, n. 6, p. 3575-3602.

Lan, L. W. e E. T. Lin (2003) Technical efficiency and service effectiveness for railways industry: DEA approaches. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, v. 5, p.2932-2947

Leta, F. R.; J. C. C. B. Soares de Mello, E. G. Gomes e Angulo Meza, L. (2005) Métodos de Melhora de Ordenação em DEA Aplicados à Avaliação Estática de Tornos Mecânicos. *Investigação Operacional*, v. 25, n. 2, p. 229-242.

Maciel, G. S.; G. B. A. Lima,L. Angulo Meza e S. F. Gomes Júnior (2014) Avaliação de processos licitatórios de embarcaçÕes de apoio marítmo offshore com utilização de análise envoltória de dados. *Journal of Transport Literature*, v. 8, n. 4, p. 329-349.

Oum, T. H. e C. Yu (1994) Economic Efficiency of Railways and Implications for Public Policy - A comparative Study of the OECD Countries Railways. *Journal of transport Economics and Policy*, v. 28, n. 2, p. 121-138

Pereira, L. A. M. e. J. C. C. B. Soares de Mello (2014). Eficiência técnica das concessionárias ferroviárias nacionais usando Análise Envoltória de Dados. *Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção*, v. 14, p. 246-256.

Pereira, M. A. R. F. S. e. L. R. J., 2015. Análise da eficiência ferroviária no Brasil nos anos entre 2009 a 2013. *Transportes*, v. 23, n. 3, p. 56-63.

Reinas, R. I.; E. B. Mariano e D. A. N. Rebelatto (2011) Custo/benefício de aeronaves: uma abordagem pela Análise Envoltória de Dados. *Produção*, p. 684-695.

Reis, J. C.; K. T. Sacramento, J. C. C. B. Soares de Mello e L. Angulo Meza (2017) Avaliação de eficiência das ferrovias brasileiras: Uma aplicação do método multicritério para seleção de variáveis em DEA e Representação Gráfica Bidimensional. *Revista Espacios*, v. 38, n. 14, p. 16-26

Rubem, A. P. S.; J. C. C. B. Soares de Mello, L. Ângulo Meza e F. F. Gomes Júnior (2013) Análise de Eficiência de Companhias Aéreas com um modelo DEA e Clusters Dinâmicos.

Sameni, M. K.; J. Preston e M. K. Sameni (2016) Evaluating efficiency of passengers railway stations: A DEA approach. *Research in Transportation Business & Management*, v. 20, p. 33-38

Senra, L. F. A. C.; L. C. Nanci e J. C. C. B. Soares de Mello (2004) Métodos totais de seleção de variáveis em DEA. *VII Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha*

Senra, L. F. A. C.; L. C. Nanci, L. C., J. C. C. B. Soares de Mello e L. Angulo Meza (2007) Estudo sobre métodos de Seleção de Variáveis em DEA. *Pesquisa Operacional*, v. 27, n. 2, p. 191-207.

Senra, L. F. A. C. e J. C. C. B. Soares de Mello (2004). Uso de técnicas de seleção de variáveis em DEA para analisar o setor elétrico. *Relatório de Pesquisa em Engenharia de Produção.*

Yu, M. M. (2008). Assessing the technical efficiency, service effectiveness, and technical effectiveness os the world`s railways through NDEA analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 42, n. 10, p. 1283-1294.

Luíza Serra Moreira (luizaserramoreira@id.uff.br)
Wagner Luis Ferreira (w.ferreira@globo.com)
João Carlos Correia Baptista Soares de Mello (jcsmello@producao.uff.br)
Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense
Rua Passo da Pátria, 156 – Niterói, RJ, Brasil

DISCRETE-EVENT SIMULATION FOR PERFORMANCE EVALUATION OF MAINTENANCE OPERATIONS IN A BUS GARAGE

Gustavo Alencar Rolim
Anselmo Ramalho Pitombeira Neto
Departamento de Engenharia de Produção
Universidade Federal do Ceará

RESUMO
O presente trabalho apresenta um modelo de simulação de eventos discretos que busca reproduzir com fidelidade as operações de manutenção em uma empresa do ramo de transporte rodoviário de passageiros. Foram coletados dados relativos aos tempos entre chegadas de veículos e aos diversos serviços de manutenção, os quais foram modelados por meio de distribuições de probabilidades. O comportamento do sistema foi estudado por meio de diferentes cenários nos quais a quantidade de recursos é alterada de forma que seja possível analisar o impacto das mudanças, facilitando a tomada de decisão em projetos de aumento de eficiência operacional. Os diferentes cenários incluem: incremento no número de valas mecânicas objetivando alterações no desempenho do sistema, assim como o remanejamento de recursos visando aumentar a eficiência operacional. O estudo conclui que tanto o remanejamento quanto o incremento no número de valas podem gerar ganhos significativos com relação ao lead-time e utilização dos recursos.

ABSTRACT
In this study, a computer model based on discrete-event simulation is developed to replicate the maintenance operations of a bus garage. Data relative to vehicle interarrival times and various maintenance services were collected, which were modelled using probability distributions. The system behaviour is studied under a different set of conditions aiming at supporting decision-makers on projects that intend to increase operational efficiency to meet demand requirements. Alternative scenarios are tested, which include: incrementing the number of mechanical pits to evaluate variations on the system's performance, and reallocating resources to increase operational efficiency. The results show that either incrementing or reallocating the number of mechanical pits can generate significant gains in relation to the lead-time of vehicles as well as benefits concerning to resource utilisation.

1. INTRODUCTION

In an ever-changing scenario, service providers and production systems are becoming more complex and facing tougher competition at both national and international levels. In many cases, several decisions are made on a regular basis. Most of these decisions are taken based on manager's experience or on simple imprecise assumptions. In some situations, this kind of intuitive approach may be cost effective due to the necessity of fast response and lack of resources. However, as complexity and costs increase, any infrastructure or operational change may require rigorous analysis to avoid expressive losses.

To remain competitive, many manufacturing companies and service providers must reorganise, improve, and assess the capacity of their maintenance systems (Khebbache-Hadji *et al.* 2012). These tasks are complicated and time demanding since greater asset availability is expected (Alabdulkarim *et al.* 2013). Therefore, the use of decision support tools such as computer simulation is fundamental to accurately predict the behaviour of a real system and test the effect of alternative scenarios over system performance.

Maintenance operations in the bus service sector play a key role in the overall performance of companies and directly affects customer perception of value. Maintenance operations can become a complicated task due to the number and variety of components of each vehicle. Bladikas and Papadimitriou (1986) argued that maintenance costs account for the second highest expense category after vehicle operations. In a typical transit system, it represents

approximately 21% of the total operating costs (Purdy and Wiegmann, 1987). Providers of bus service are constantly being confronted by pressure to improve service quality, high operational costs, and dwindling sources of support funds (Haghani and Shafahi, 2002).

To approach the issues aforementioned, it is necessary to evaluate, identify, and assess the capacity of the facility to find the appropriate equipment, the best operational policy and so on. In many cases, testing scenarios with distinct characteristics under several circumstances is essential to determine if the capital invested will bring significant performance gains. In this research, a simulation model was developed to emulate maintenance operations in a bus garage located in Fortaleza, Brazil. It aims at measuring the scheduled resource utilisation and the average lead-time of buses as well as evaluating the response in these performance indicators to changes in resource assignment. This research is subdivided as follows: Section 2 presents a literature review about previous related studies; Section 3 encompasses the methods utilised to model the system; Section 4 concerns to the model development stage; Section 5 relates to the results of real and alternative scenarios; Section 6 draws some conclusions and comments on future research.

2. LITERATURE REVIEW

Relevant research on simulation of maintenance operations in bus garages is limited. In the following paragraphs, we refer to related work on simulation and optimisation in maintenance operations.

Haghani and Shafahi (2002) previously addressed optimisation in bus maintenance systems. Their research consisted in the application of mathematical programming to schedule maintenance activities in bus transit operations. Hamdouni *et al.* (2007) studied the parking problem in bus depots considering stochastic arrival times. Leung and Lai (2003) reported the application of the sequential method to define optimal maintenance strategies for a bus service provider in Hong Kong. Constantin and Florian (1995) presented a nonlinear bi-level programming approach to optimise frequencies in real large-scale transit networks.

Simulation of maintenance systems in industrial settings is extensively addressed in the literature. Alabdulkarim *et al.* (2013) presented a considerable literature review on the application of maintenance simulation models in industry. Iwata and Mavris (2013) propose a discrete-event simulation modelling environment for aerospace vehicle maintenance and logistic process. Another important contribution was conducted by Fang and Zhaodong (2014), where the authors analyse the influence of part's failure rate and preventive maintenance costs during the lifecycle of aviation equipment. Duffuaa *et al.* (2001) developed a conceptual simulation model for maintenance systems. The conceptual model consists of seven modules: input, maintenance load, planning and scheduling, material and spare parts supply, equipment availability, quality control, and, finally, performance measures. Alabdulkarim *et al.* (2011) attempted to fill the literature gap by specifying, creating, and testing simulation functionality to rapidly model field maintenance systems. In other study, Alabdulkarim *et al.* (2015) assessed asset monitoring levels for maintenance operations in a simulation approach to achieve cost effectiveness. Generic and simulation modules were created to examine how maintenance operation system behave regarding different levels of asset monitoring.

A hybrid approach of simulation-optimisation is significantly increasing. Oyarbide-Zubillaga *et al.* (2008) combined discrete-event simulation with evolutionary algorithms to determine the optimal preventive maintenance frequencies for multi-equipment systems under cost and profit criteria. Roux *et al.* (2008) focused on the development of a simulation and optimisation platform to analyse maintenance policies performances for manufacturing systems in which operating characteristics deteriorate with use and whose lifetime and repair duration are random. Alrabghi and Tiwari (2015) reviewed the application of simulation-optimisation techniques in literature concluding that much of the research in the area focus on preventive maintenance. In other study, Alrabghi and Tiwari (2016) proposed a framework that provide adequate level of detail to guide both academic and practitioners in optimising maintenance systems.

3. METHODOLOGY

The present study was carried out as a case study. The operations of a real bus garage were emulated through the development of a simulation model in the academic version of Arena 15.0. The research was conducted based on the steps proposed by Altiok and Melamed (2007), which match the goals of this research. Each stage is described as follows:

- *Problem analysis:* Despite the size of the company under study, there is a lack of reliable information regarding to the average lead-time of the buses in the garage as well as the capacity of its facilities. No previous study was conducted to attempt to estimate these performance indicators based on mathematical modelling and statistical analysis. In other words, the objectives of the simulation model under consideration is to provide a real quantitative analysis taking into account the stochastic nature of the operations that occur within the garage and emulating them to assist the decision-making process by formulating alternative scenarios. These scenarios include testing increased number of resources, their reallocation, and the impact over lead-time and utilisation.
- *Data collection:* The data required to build the model was extracted from the database of the company's computerised maintenance software. For example, the maintenance reports included information on the date and time that each bus arrived at the inspection pit, the time that the bus left, the identification number of the vehicle, the type of maintenance service that was executed, and the employee responsible for the service. In some cases, manually filled forms had to be analysed. Due to the nature of this data, it was not possible to work with large sample spaces, instead, only the necessary observations were used. In other cases, neither automated data nor manually filled forms were available to measure processes time. In these situations, the times for each operation were manually taken using a stopwatch. When the alternatives aforementioned were unachievable, the execution times of each process were estimated by means of interviews with the responsible staff. After collecting the data, the information was processed using R statistical software. In case of outlying values, the samples were plotted in a boxplot chart and the outliers were removed. This process was replicated to all activities considered in the simulation model. Then, the processed data were represented using probability distributions. These distributions were chosen based on Arena's *Input Analyser* fit all test. The distributions with the minimum square error value were chosen. They were rejected only if the p-values from the Kolmogorov Smirnov (K-S) test were below the significance level of 0.05. In case of rejection, empirical distributions were used.
- *Model construction*: After studying the problem, collecting data, and understanding the behaviour of the system, the next step is to build the model based on the data gathered.

The main processes were modelled according to their specifications. The respective simulated processes are listed as follows: bus arrival, fuel loading, external wash, machine wash, inspection pits, maintenance services, and cleaning services. The resources of the processes were also identified. Further discussion is conducted on the model development section.

- *Model verification:* Model verification refers to inspection and correction of the simulation model during the development phase. The verification stage allowed the developer to make sure that the model was running according to the specifications defined by the users. Several meetings with the garage coordinator and the maintenance engineering team of the company were necessary to adjust any possible divergences.
- *Model validation:* In the validation stage, the outputs of the simulation model are compared to the behaviour of the real system. In this paper, the users of the model were heavily involved with the development team to determine the validity of the model. To validate the results of the model, a confidence interval of 95% was set and the number of scheduled buses was compared to the real system based on real observations from the period of 12nd to 26th of September 2016. The average number of scheduled buses for one day under normal circumstances is expected to be 107.67 buses. The simulation outputs show that the average number of scheduled buses (number out) was 104.70. The upper and lower limits for the confidence interval are respectively 109.94 and 99.47. From these observations, it is clear that the emulated system and the real system share a similar behaviour in relation to the number of scheduled vehicles. This validation technique is also known as historical data validation (Sargent, 2005).
- *Simulation experiments:* To grant statistical reliability of scenario-related performance measures, each scenario was replicated, and the results averaged to reduce variability. The total number of replications was set to 30 and their duration was established as a one-day period. The bus terminal works 24 hours a day, seven days a week. Therefore, the operations do not stop from one day to another. We conservatively setup a 90-day warm-up period.
- *Output analysis:* The performance measures were then subject to a statistical analysis. A set of alternative scenarios were tested to evaluate the impact over performance indicators. First, the real scenario is tested to obtain the results for the behaviour of the system under normal circumstances. Second, the increment in the number of mechanical pits is tested to evaluate the benefits for the company in case of expansion projects. Finally, the redistribution of resources is assessed. A further discussion is conducted in the simulation results section.
- *Final suggestions:* A final report was presented to the company. Further analysis is conducted in the conclusion section.

4. MODEL DEVELOPMENT

The bus garage is the main maintenance hub of the company under study. In this hub, the company plans the routes, establishes vehicle timetables, and houses the company headquarters. The process starts at the reception with the arrival of buses. Then, the buses are prepared for fuel loading at the fuel station. Next, it is necessary to wash the buses at the external washing platforms. Any remaining dirty is eliminated in the washing machine. Subsequently, the vehicles wait for available spaces at the maintenance department. If there is any free space, the buses move to the mechanical pits in the maintenance department to undergo an inspection process. In case of identification of vehicle malfunctioning, it is necessary to perform preventive and corrective maintenance actions. The buses are then

assigned to the pits depending on the type of failure that was identified. Eventually, the final cleaning procedures are performed. Figure 1 illustrates the garage's layout and vehicle flow.

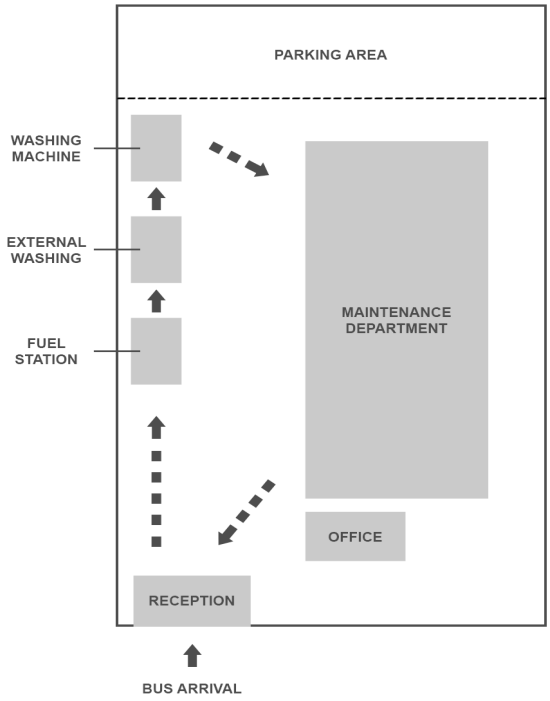


Figure 1: Garage's layout

4.1 Bus arrivals

To simulate the bus arrival events, the day was subdivided into 8 time intervals of approximately 3 hours each. The days that were selected encompass the period ranging from 12nd to 26th of September 2016. This period was chosen since there were no public holidays and special events occurring, so that a regular behaviour is expected.

Table 1: Probability distributions for each time interval

Time Interval	Probability Distribution	Type of Distribution
Interval 1 (from 00:00 to 02:59)	Weibull (17.8, 0.564)	Theoretical
Interval 2 (from 03:00 to 05:59)	Exponential (15.7)	Theoretical
Interval 3 (from 06:00 to 08:59)	Continuous	Empirical
Interval 4 (from 09:00 to 11:59)	Continuous	Empirical
Interval 5 (from 12:00 to 14:59)	Continuous	Empirical
Interval 6 (from 15:00 to 17:59)	Continuous	Empirical
Interval 7 (from 18:00 to 20:59)	44 * Beta (0.634, 1.46)	Theoretical
Interval 8 (from 21:00 to 23:59)	Continuous	Empirical

There were large samples available and we managed to fit probability distributions by using *Input Analyser*, which is an add-on to *Arena* simulation software. Theoretical probability

distributions were specified if p-values for K-S goodness-of-fit tests were greater than 0.05. Otherwise, empirical distributions were defined from relative frequency distributions. Table 1 shows the probability distributions for bus arrivals.

4.2 Fuel loading, washing, and cleaning procedures

Fuel loading, external wash, machine wash, and the final cleaning procedures were modelled according to data extracted from the company's monitoring system or manually collected using a stopwatch. The times for these procedures were estimated based on sample sizes of at least 30 samples. All the processes passed the K-S tests with p-values greater than 0.05. A list of the specified probability distributions is illustrated in Table 2.

Table 2: Probability distributions for fuel loading, washing, and cleaning procedures

Process	Probability Distribution
Fuel loading and lubrification	2 + Gamma (0.466, 5.47)
External washing	6 + Weibull (4.99, 2.6)
Machine wash	0.54 + Gamma (0.141, 7.14)
Luggage compartment and tyres cleaning	Triangular (1, 2.17, 3.23)
Dashboard cleaning	3 + 6.91 * Beta (1.47, 2.62)
Final cleaning inspection	2 + Erlang (1.22, 3)

4.3 Inspection and maintenance services

As soon as the bus arrives at the maintenance department, it is directed to a mechanical pit and a team specialized in different maintenance areas checks the overall state of the vehicle. The teams are composed of maintenance professionals, who try to identify any possible failure, unexpected functioning, or damaged components of the following areas: refrigeration, electric, upholstery, bodywork, and mechanics. Figure 2 depicts the layout of the maintenance department.

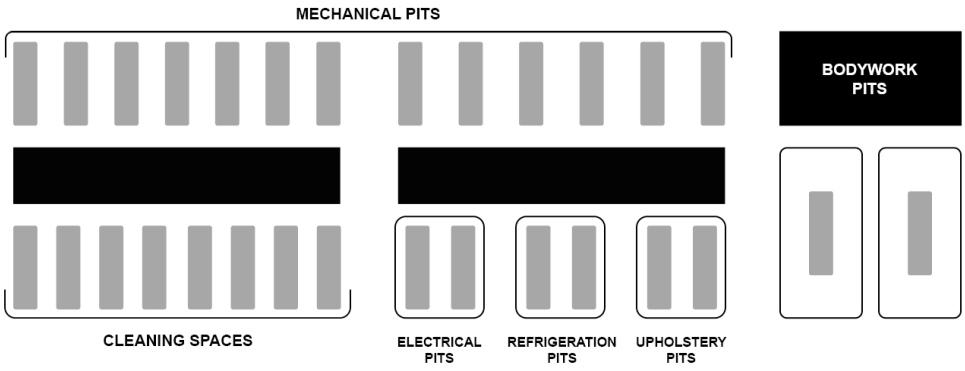


Figure 2: Layout of the maintenance department

In case of unexpected behaviour or vehicle malfunction, it is necessary to perform corrective and preventive maintenance actions. Defects are typically detected during the inspections at the mechanical pits. To model the execution of maintenance services, we estimated the

proportion of buses that require maintenance. After analysing service order reports from a fifteen-day period, we estimated that 75.67% of the buses need to perform maintenance service. We also estimated the proportion of vehicles that require each different type of maintenance service and the probability distributions of processing times. Table 3 shows the probability distributions as well as the proportion of vehicles assigned to inspection and to each one of the maintenance services.

Table 3: Probability distributions and proportion of vehicles assigned

Service type	Probability Distribution	Proportion of vehicles assigned to service (%)
Inspection	Continuous (empirical)	100.00
Mechanical	Continuous (empirical)	67.92
Electrical	Triangular (15.0, 45.0, 300.0)	15.09
Refrigeration	Triangular (60.0, 90.0, 300.0)	9.40
Upholstery	Triangular (30.0, 45.0, 120.0)	1.89
Bodywork	Triangular (60.0, 100.0, 120.0)	10.69

4.4 Model assumptions

One of the main goals of this research is to represent the real system in a way that the processes' times as well as the performance measures obtained with the simulation are good approximations to real observations, thereby making it possible to configure the model to represent the system under different circumstances and scenarios. Due to the high complexity of the system under study, there are many activities that were not modelled. The reason for this is related to the economic and time cost of the final model that would significantly increase, and would likely make the model inefficient rather than useful. Some premises and simplifications were adopted during the modelling of the system. The assumptions are described as follows:

- The model does not consider variations in demand influenced by external factors, such as: public holidays, seasonality, bus availability, and other factors.
- The model does not consider sporadic failures on the system including failures on the fuel pump, maintenance of the fuel station, fuel quality inspections, washing machine maintenance interruptions, breakdowns, and other events that rarely occur.
- It is assumed that the buses follow a first-come-first-served (FCFS) allocation policy. In other words, the buses are assigned to inspection pits according to their arrival order. The model does not consider the schedule of each bus to allocate them on the inspection pits.
- The transfer times between processes are not considered in this model, since they are negligible in comparison with the duration of the processes.

5. RESULTS AND DISCUSSION

In this section, the results of the simulation experiments are described in detail. First, the base scenario, corresponding to current conditions of the bus garage, is simulated and the results for the performance indicators are shown. In a second scenario, the performance of the system is assessed for different numbers of mechanical pits to evaluate the benefits of a potential expansion project. A third scenario is simulated considering the reallocation of upholstery pits to mechanical pits.

5.1 Base scenario

In this scenario, we simulate the bus garage operations under current real conditions in order to estimate the average lead-time of buses and the scheduled utilisation of resources. The results showed that the characteristics of the real system were faithfully represented by the computer model. For example, the company's policy stipulates a minimum average time of 3.5 hours per bus to execute all the processes within the garage. In other words, the buses cannot leave the terminal earlier to perform the next trip. The model outputs show that the lead-time of buses is close enough to the company's policy considering a 95% confidence interval (Table 4). Another performance indicator of interest is the value-added time. As a service provider, the company wants to keep the value-added time greater than the waiting times. Other performance measures include: number in, number out, and work-in-progress (WIP). These performance indicators are depicted in Table 4.

Table 4: Performance outputs for bus related indicators

Performance indicator	Average - 95% confidence level	Half width	Minimum average	Maximum average
Value-added time (minutes)	92.83 (88.19; 97.47)	3.18	70.56	106.25
Wait time (minutes)	126.73 (120.39; 133.07)	13.94	45.98	209.51
Lead-time (minutes)	219.57 (208.59; 230.55)	16.57	124.32	312.59
Number in (units)	150.13 (142.62; 157.64)	0.49	147.00	151.00
Number out (units)	104.70 (99.47; 109.94)	1.73	95.00	113.00
WIP (units)	25.12 (23.86; 26.38)	1.42	17.10	33.58

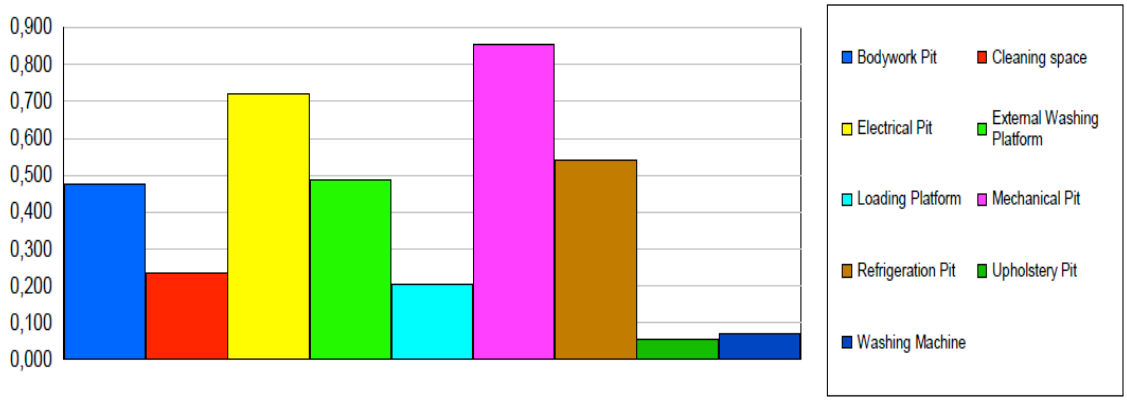


Figure 3: Resource utilisation

The scheduled utilisation of resources also matched the expected results. The mechanical pits are the busier. This occurs due to the fact that two of the most important operations depend on them, which include the inspections as well as the mechanical services. Other resources with a high utilisation rate are the electrical pits. Electrical failures are among the most common vehicle defects. The less utilised resources include the upholstery pits and the washing machines. Upholstery procedures are rarely performed by the company. The washing machines have a fixed capacity and work 24 hours a day, however the process times are usually lower than 5 minutes, which culminates in a very low scheduled utilisation rate. Figure 3 shows the estimated utilisation of the current company's maintenance resources.

5.2 Increasing the number of mechanical pits

The mechanical pits were the resources with highest utilisation under the base scenario. They are therefore the first candidates to resource expansion. We then simulated the bus garage under increased number of mechanical pits in order to estimate the impact on scheduled utilisation and lead time (Figures 4 and 5, respectively).

Figures 4 and 5 allow a cost-benefit analysis for the operational gains in comparison to the number of additional mechanical pits necessary for a potential expansion project. Notice that both performance measures reach a plateau around 18 or 19 mechanical pits. This means that no gains in performance would be obtained past this point, and any capacity expansion above it may be only waste of resources.

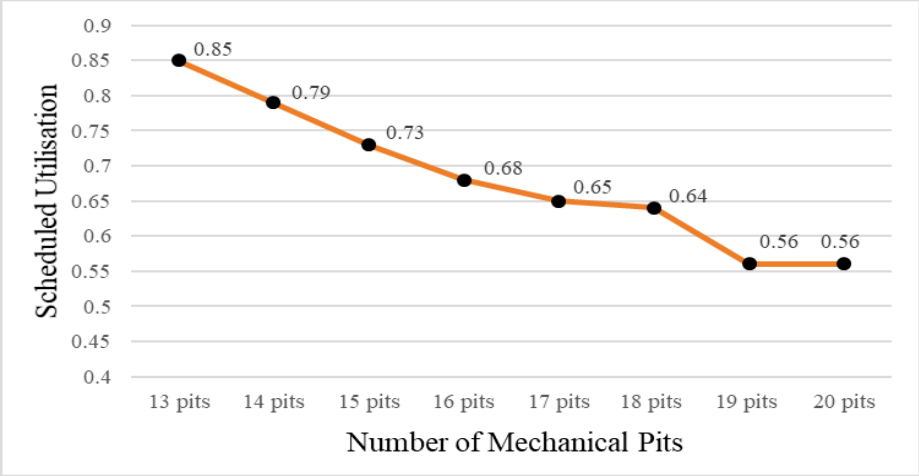


Figure 4: Scheduled utilisation for different numbers of mechanical pits

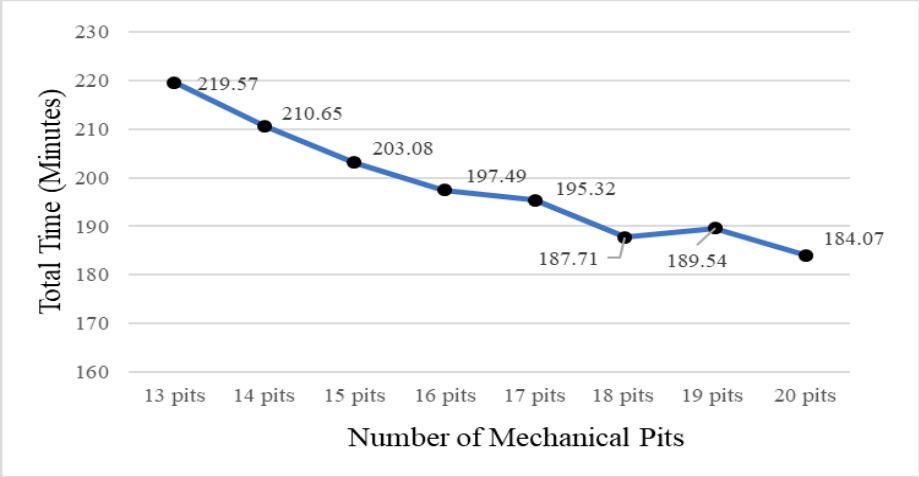


Figure 5: Lead-time for different numbers of mechanical pits

5.3 Resource reallocation

From the scenarios previously simulated, there is a clear discrepancy on the utilisation of resources. For example, the scheduled utilisation of upholstery pits is commonly the lower one, which is usually around 5%, while the mechanical pits utilisation reaches approximately 85%. Another way to test the efficiency of the operations is to reallocate resources with

greater demands to the less used ones. In this case, it is viable to evaluate whether it is worth or not to reallocate the upholstery pits. In other words, the activities that take place in the upholstery pits can be changed to fit the extra demand that overloads the mechanical pits. In this scenario, there was a substitution of the 2 upholstery pits to mechanical ones. The number of mechanical pits increased from 13 to 15 and the upholstery services were also set to be performed at mechanical pits. Table 6 shows a comparison between the results before and after resource reallocation.

Table 5: Comparison of performance indicators between real and alternative scenarios (95% confidence intervals)

Performance measure	Real scenario	Alternative scenario
Value-added time (minutes)	92.83 (88.19; 97.47)	93.69 (89.01; 98.37)
Wait time (minutes)	126.73 (120.39, 133.07)	110.11 (104.60; 115.62)
Lead-time (minutes)	219.57 (208.59, 230.55)	203.80 (193.61; 213.99)
Mechanical pit utilisation	0.85	0.74

Table 5 shows a reduction of approximately 15 minutes in the average lead-time of the buses in comparison to the real base scenario. This possibly occurs due to the better performance of the system that presents lower waiting times. The utilisation rate dropped from 85% to 74%. From the table, it is also possible to identify that the value-added time had a negligible variation.

6. CONCLUSION

In this paper, we described the development and application of a discrete-event simulation model for the assessment of maintenance operations in a bus garage. We collected data directly in the company by means of the maintenance management software, hand filled data, and interviews conducted with the maintenance engineering personnel. The model was validated by comparing its outputs with real system performance indicators.

Different scenarios were simulated to explore the potential modifications in the behaviour of the real system and the effects over operational performance. It was verified that the increments in the number of mechanical pits is the best alternative in terms of performance gains, up to 18 pits. Past this point performance gains reach a plateau and further capacity expansion may be cost ineffective.

Increasing the number of mechanical pits can be costly to the company in case of a possible expansion. Due to this reason, this study also suggests the reallocation of resources by substituting the upholstery pits, which had a scheduled utilisation of only 5%, for mechanical pits. It was taken into account that the upholstery services could also be performed at mechanical pits. This scenario estimated a reduction in the average lead-time of the buses from 219.57 to 203.80 minutes, with no additional resources.

Even though the developed model required a significant amount of information in relation to the processes of the company, various aspects of the system had to be simplified such as: imprecisions generated during the outlier removal, barriers during the data gathering process (the times of bodywork, electrical, refrigeration, and upholstery pits processes were modelled according to interviews), and abstractions regarding to bus schedules could have limited the

model. A new information system is now under implementation, which will enable the analysts to obtain data that was unreachable before. As a possible future work, there is the opportunity to test different schedule policies rather than FCFS in a simulation-optimisation environment.

Acknowledgements
We would like to thank Expresso Guanabara S/A for funding this research and all the support given by Operational Research in Production and Logistics (OPL) from Universidade Federal do Ceará.

REFERENCES

Alabdulkarim, A. A.; P. D. Ball and A. Tiwari (2011) Rapid Modeling of Filed Maintenance Using Discrete Event Simulation. *Winter Simulation Conference*, IEEE, Phoenix, v. 1, p. 637-646.

Alabdulkarim, A. A.; P. D. Ball and A. Tiwari (2013) Applications of Simulation in Maintenance Research. *World Journal of Modelling and Simulation*, v. 9, n. 1, p. 14-37.

Alabdulkarim, A. A.; P. D. Ball and A. Tiwari (2015) Assessing Asset Monitoring Levels for Maintenance Operations: A Simulation Approach. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 26, n. 5, p. 632-659.

Alrabghi, A. and A. Tiwari (2015) State of the Art in Simulation-Based Optimisation for Maintenance Systems. *Computers & Industrial Engineering*, v. 82, p. 167-182.

Alrabghi, A. and A. Tiwari (2016) A Novel Framework for Simulation-Based Optimisation of Maintenance Systems. *International Journal of Simulation Modelling*, v. 15, n.1, p. 16-28.

Altiok, T. and B. Melamed (2007) *Simulation Modeling and Analysis with Arena* (1st ed.). Ed. Academic Press, Cambridge.

Bladikas, A. K. and C. Papadimitriou (1986) Analysis of Bus Transit's Maintenance Efficiency Using Section 15 Data. *Transportation Research Record*, n. 1066, p. 22-29.

Constantin, I. and M. Florian (1995) Optimizing Frequencies in a Transit Network: A Nonlinear Bi-Level Programming Approach. *International Transactions in Operational Research*, v. 2, n. 2, p. 149, 164.

Duffuaa, S. O.; M. Ben-Daya; K. S. Al-Sultan and A. A. Andijani (2001) A Generic Conceptual Simulation Model for Maintenance Systems. *Journal of Quality in Maintenance*, v. 7, n. 3., p. 207-219.

Fang, L. and H. Zhaodong (2014) System Dynamics Based Simulation Approach on Corrective Maintenance Cost of Aviation Equipment. *Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology*, Procedia Engineering, Shanghai, v. 1, p. 150-155.

Haghani, A. and Y. Shafahi (2002) Bus Maintenance Systems and Maintenance Scheduling: Model Formulations and Solutions. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v.36, n. 5, p. 453-482.

Hamdouni, M.; F. Soumis and G. Desaulniers (2007) Parking Buses in a Depot with Stochastic Arrival Times. *European Journal of Operational Research*, v. 183, n. 2, p. 502-515.

Iwata, C. and D. Mavris (2013) Object-Oriented Discrete Event Simulation Modeling Environment for Aerospace Vehicle Maintenance and Logistics Process. *Conference on Systems Engineering Research*, Procedia Computer Science, Atlanta, v. 1, p. 187-196.

Khebbache-Hadji, S.; Y. Hani; N. Lahiani and A. El Mhamedi (2012) Genetic Algorithm Used in Simulation Model: Application in a Maintenance Process. *Symposium on Information Control Problems in Manufacturing*, IFAC, Bucharest, v. 1, p. 1047-1052.

Leung, F. K. N. and K. K. Lai (2003) A Case Study on Maintenance of Bus Engines Using the Sequential Method. *International Journal of Quality and Reliability Management*, v. 20., n. 2., p. 255-267.

Oyarbide-zubillaga, A.; A. Goti and A. Sanchez (2008) Preventive Maintenance Optimisation of Multi-Equipment Manufacturing Systems by Combining Discrete Event Simulation and Multi-Objective Evolutionary Algorithms. *Production Planning and Control*, v. 19, n. 4, p. 342-355.

Purdy, J. E. and J. D. Weigmann (1987) Vehicle Maintenance: Cost Relationship and Estimating Methodology. *Transportation Research Record*, n. 1140, p. 1-17.

Roux, O.; M. A. Jamali; D. Ait Kadi and E. Châtelet (2008) Development of Simulation and Optimization Platform to Analyse Maintenance Policies Performances for Manufacturing Systems. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, v. 21, n. 4, p. 407-414.

Sargent, R. G. (2005) Verification and Validation of Simulation Models. *Winter Simulation Conference*, IEEE, Lake Buena Vista, v. 1, p. 130-143.

ANÁLISE EMPÍRICA DOS DETERMINANTES DA PADRONIZAÇÃO DE FROTA E OS EFEITOS DOS FATORES OPERACIONAIS

Rodolfo R. Narcizo
Instituto Tecnológico de Aeronáutica
Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica
Alessandro V. M. Oliveira
Instituto Tecnológico de Aeronáutica
Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica

RESUMO
Esse trabalho desenvolve um modelo econométrico para identificar quais os fatores determinantes da padronização de frota de uma companhia aérea. Considera-se a padronização de frota em nível de fabricante, de família e modelo de aeronave. O modelo empírico utiliza-se de dados do período entre Janeiro de 2002 a Dezembro de 2013 e faz controle de diversas variáveis operacionais como tamanho e idade da frota, quantidade de passageiros por voo e número de destinos. O efeito de fatores de custo e de demanda também foram testados. Resultados indicaram evidência de redução na padronização em companhias com frotas maiores e mais velhas, ao passo que a padronização em nível de fabricante e família também mostrou aumentar a tendência de padronização em nível de modelo de aeronave. Adicionalmente, nota-se um aumento na padronização em companhias com elevada proporção de falha de aeronaves e uma redução conforme há um aumento na etapa média voada.

ABSTRACT
This paper develops an econometric model to identify the determinant factors for an airline fleet standardization. We consider fleet standardization on a manufacturer, family and aircraft model levels. The empirical model uses data from January 2002 to December 2013 and makes control of several operational variables, such as fleet size, fleet age, average passengers per flight and number of destinations. The effects caused by factors of cost and market demand are also tested. Results suggest a standardization reduction as the airline's fleet grows and gets older. Fleet standardization on manufacturer and family levels increased the tendency for standardization on the aircraft model level. Additionally, there is an increase in fleet standardization in airlines with high aircraft failure proportion and a decrease in fleet standardization as the airline's average stage length grows.

1. INTRODUÇÃO

A padronização de frota é um fator geralmente associado à redução de custos e às companhias aéreas com modelo de negócio de baixo custo (*low-cost carriers*). Kilpi (2007) apresenta indícios de que a padronização de frota tem decrescido no mundo inteiro nos últimos 50 anos, mesmo que o tamanho das frotas tenha aumentado. Novos modelos de aeronaves têm sido lançados em um espaço de tempo relativamente curto, o que reduz o tempo médio que companhias maiores utilizam suas aeronaves antes de trocá-las por modelos mais novos e tecnologicamente mais avançados. Apesar das ideias discutidas por Kilpi (2007), as razões e os fatores determinantes para a decisão de padronizar ou não uma frota ainda são aspectos pouco abordados na literatura existente e com grande potencial científico.

Outro aspecto a ser considerado é o fato de que, embora Kilpi (2007) tenha observado em seu estudo uma diminuição na uniformidade de frota, ela ainda é bastante presente em diversas companhias ao redor do mundo. Tal fato apenas ressalta a importância do assunto para o mercado e para a academia. A Southwest Airlines, por exemplo, já possui uma frota inteiramente composta por aeronaves da família 737 e reafirmou em 2011 sua preferência pelas aeronaves da Boeing ao fazer um pedido de 350 aeronaves do novo modelo 737 MAX (FlightGlobal, 2011). A redução nos custos operacionais e a melhoria na eficiência das operações são os fatores rotineiramente associados aos supostos benefícios decorrentes da comunalidade, e foram justamente as razões apresentadas pelo chefe executivo de operações

da companhia para a escolha deste modelo ao invés do também novo Airbus A320neo.

Os estudos atuais da literatura tem como enfoque o efeito da comunalidade nos custos operacionais, enquanto que o questionamento das razões pelas quais uma companhia aérea padronizaria sua frota ainda não foi profundamente abordado. Tem-se como objetivo primário dessa pesquisa, portanto, compreender melhor quais as razões e características que levam a uma companhia aérea a padronizar sua frota e a demandar a presença de comunalidade na mesma. Este trabalho destaca ainda a ligeira diferença conceitual entre os termos comunalidade e padronização de frota. Enquanto o primeiro tende a indicar e quantificar as similaridades de peças e componentes entre duas ou mais aeronaves, o segundo termo apenas remete à ideia de busca por um padrão único, o qual pode ser observado de diversas maneiras, dependendo apenas de qual padrão está sendo buscado.

Devido à sua dificuldade de identificação e quantificação em uma frota, a comunalidade é observada nesse trabalho através das variáveis de padronização de frota e é encarada como um produto que os fabricantes oferecem às companhias, ou seja, seus clientes. A principal justificativa de venda deste tipo de produto é de que, com ele, as empresas poderiam obter redução em seus custos operacionais, o que resultaria em melhores performances operacionais e maiores lucros. Uma vez que a padronização está sendo observada como um produto e as companhias aéreas como potenciais compradores, pode-se dizer que essa pesquisa também permite identificar as características mais comuns dentre os principais compradores e qual a demanda de mercado pela padronização.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Comunalidade de frota

A ideia transmitida pelo termo comunalidade remete ao significado da palavra comum. De forma geral, afirmar que uma frota contém um elevado índice de comunalidade seria o mesmo que afirmar que essa mesma frota possuí diversos fatores em comum. O termo é frequentemente utilizado por fabricantes de aeronaves para indicar a quantidade de peças equivalentes e intercambiáveis entre os seus próprios modelos. Por essa razão, a comunalidade é geralmente associada a aeronaves que pertençam a uma mesma família, já que estas foram desenvolvidas sobre um mesmo projeto base e tendem a possuir maior compartilhamento de peças.

A diferença de conceito entre os termos comunalidade e padronização de frota já foi brevemente abordada por Brüggen e Klose (2010) e tem por base a hipótese de que uma frota pode ser completamente padronizada enquanto que ainda assim pode não estar no mais elevado nível de comunalidade possível. Isso se deve ao fato de que a comunalidade está para o fabricante da aeronave assim como a padronização de frota está para a companhia aérea. Ou seja, o fabricante da aeronave é o principal responsável em determinar o grau de comunalidade entre suas aeronaves, já que, salvo em pequenas exceções, não cabe à companhia aérea decidir quais peças e componentes que serão empregados. Da mesma forma, a decisão de construir uma frota sob um padrão único de modelo, família ou fabricante cabe tão somente à companhia aérea, restando ao fabricante apenas incentivar a padronização durante o processo de negociação.

Observa-se, por exemplo, que uma frota pode ser inteiramente composta por aeronaves do

modelo Airbus A320, o que representaria uma frota inteiramente padronizada em modelo de aeronave. Entretanto, uma vez que o fabricante da aeronave autoriza tanto o emprego de motores CFM56 quanto IAE V2500, essa mesma frota pode ter índices de comunalidade diversos dependendo de como foi motorizada. Embora o exemplo trate de um item com impacto financeiro e operacional expressivo dentro da companhia, é possível observar que essa ausência de comunalidade pode estar presente em diversas peças e componentes menores, como por exemplo, na presença ou não de winglet, sistema de entretenimento, variações na configuração interna e na autonomia, entre outros. Tais características podem variar de forma significativa dentre as aeronaves de uma frota e podem reduzir a presença de comunalidade na mesma. Dessa maneira, quanto mais aspectos divergentes e peças não intercambiáveis existirem entre as aeronaves, menor será a presença da comunalidade, ao passo que a padronização não se alterará enquanto os modelos de aeronaves da frota mantiverem-se os mesmos. Curiosamente, uma frota com menor padronização também não representa ausência completa de comunalidade. Em uma frota de Boeing 737 e Airbus A320, ambos os modelos podem ser equipados com motores CFM56, o que permitiria, embora de forma pequena, a presença de comunalidade. Assim como no exemplo anterior, tal fato não se limita apenas aos motores e pode também ser observado em outras partes e sistemas.

A relatividade do que é ser comum e padrão e a necessidade de analisar seus reais impactos fizeram necessárias formas de quantificar tais características. Borges Pan e Espírito Santo (2004), por exemplo, segmentaram a comunalidade de acordo com partes da aeronave, como motor e célula. Isso significa que, considerando o Índice para Motor (IPM) criado pelos autores, uma frota com um elevado número de aeronaves com uma mesma motorização resultaria em um alto índice IPM. De maneira análoga, uma frota com fuselagens similares também teria resultados elevados quando considerando o Índice para Célula (IPC). A avaliação de frota como um todo se dá pelo Índice de Padronização de Frota (IPF), o qual é calculado através dos dois primeiros índices. Os autores sugerem ainda a implementação de novos índices, como de Aviônicos, para obter uma melhor observação das idiossincrasias existente em uma frota e para contabilização da comunalidade real. Kilpe (2007) adiciona ao índice IPF o efeito de escala de frota, uma vez que o autor considera este um fator relevante para a verificação dos potenciais benefícios da comunalidade.

Outra maneira de analisar a padronização de frota é proposta por Zou, Yu e Dresner (2015), os quais sugerem a segmentação da padronização por níveis de fabricante, família e modelo de aeronave. A ideia apresentada pelos autores remete ao *Herfindahl-Hirshman Index* (HHI), índice comumente usado para representação de concentração de mercado. Os resultados obtidos pelo método dos autores podem variam de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de zero, menor é a padronização de frota. Este método de análise apresenta maior proximidade com o conceito puro de padronização de frota do que o índice IPF, que consegue capturar mais aspectos ligados à comunalidade. Isso ocorre já que, no método de Zou, Yu e Dresner (2015), as características idiossincráticas de cada aeronave na frota não são consideradas individualmente, mas sim apenas o modelo de aeronave em questão. Por se tratar de níveis, uma frota composta por aeronaves de um mesmo fabricante seria, naturalmente, possuidora de elevada padronização por fabricante, porém não necessariamente apresentaria um índice elevado em nível de família e modelo. Entretanto, há de se notar que um elevado índice por modelo implica também em alta padronização de família e fabricante, uma vez que cada modelo de aeronave pertence obrigatoriamente a uma família, e essa, por sua vez, faz parte do conjunto de aeronaves produzidas por um fabricante. A métrica utilizada na presente pesquisa

para o cálculo da padronização foi a desenvolvida por Zou, Yu e Dresner (2015).

Embora o índice HHI desenvolvido pelos autores funcione de forma mais apropriada para observar a padronização do que a comunalidade em si, ele é utilizado neste trabalho como uma alternativa para a estimação dos efeitos da comunalidade existente em uma frota. De certa forma, tal índice acaba por funcionar como um modelo que tenta explicar os fenômenos da comunalidade observados em outras variáveis coletadas em campo, como eficiência e custos operacionais. A justificativa para a utilização de um índice de padronização ao invés da elaboração de um novo índice que calcule a comunalidade em si, justifica-se pela impraticabilidade de identificar e analisar todos os aspectos que são relevantes para a comunalidade e que podem ser divergentes em uma frota. Nota-se, por exemplo, que apesar do esforço empregado por Borges Pan e Espírito Santo (2004), o índice IPF dos autores ainda não consegue capturar mais do que dois aspectos diferentes de uma aeronave (célula e motor). Portanto, o emprego do índice de padronização de Zou, Yu e Dresner (2015) como uma variável *proxy* funciona como uma forma eficiente de estimar o efeito da comunalidade existente.

2.2. Efeitos da comunalidade

Além dos custos operacionais das companhias aéreas já terem sido o problema de pesquisa de muitos autores, o efeito da comunalidade nesses custos também já percorreu diversos artigos. De maneira geral, os trabalhos atuais buscam identificar os efeitos da comunalidade nos custos operacionais totais, os quais englobam gastos com combustível, manutenção, tripulação, arrendamento, entre outros. A comunalidade é costumeiramente associada à redução de custos e a companhias *low-cost*, justamente devido ao seu modelo de negócio de baixo custo (Kilpi, 2007; Brüggen e Klose, 2010; Zuidberg, 2014; Zou, Yu e Dresner, 2015).

Seristö e Vepsälainen (1997) sugerem uma correlação negativa entre comunalidade de frota e custos com operações de voo e manutenção de aeronave. Os autores também ressaltam que o coeficiente dos custos de manutenção apresentou-se muito próximo de zero, o que seria um indicativo de que a real economia gerada pela comunalidade seria decorrente dos gastos com operações de voo. Zuidberg (2014), em seu modelo econométrico, também obteve resultados indicativos de uma correlação negativa entre custos operacionais e comunalidade de frota, porém sem que apresentassem significância estatística.

Brüggen e Klose (2010) indicam que o desempenho operacional de uma companhia aérea é positivamente associado a uma frota única e que essa relação é intensificada conforme ocorre um aumento em seu tamanho, uma vez que isso otimizaria os trabalhos técnicos na companhia e traria um ganho de escala. Os autores também afirmam que distância voada não interage com a padronização de frota. Kilpi (2007) afirma que companhias com frotas menos diversificadas teriam a tendência de obter melhores resultados financeiros, justamente devido a uma alta correlação entre uniformidade e lucro operacional. Note que o autor não explica se o aumento no lucro é resultado de uma redução nos custos operacionais ou se é devido a um aumento na receita.

A falta desse esclarecimento no artigo de Kilpi (2007) se apresenta relevante quando comparada com os resultados de Zou, Yu e Dresner (2015). Os autores afirmam que a padronização de frota teria um efeito negativo sobre a margem de lucro, uma vez que essa característica limitaria a capacidade da companhia de responder rapidamente a uma variação

na demanda ou a ações de competidores. Note que os autores também encontraram indícios de redução de custos em frotas padronizadas em nível de modelo ou de família. Tais resultados são, portanto, indícios de que a presença de frota única poderia, além de diminuir os custos operacionais, reduzir também a receita obtida com os voos efetuados.

3. METODOLOGIA

3.1. Modelo conceitual e empírico

A presente pesquisa utiliza-se de modelos econométricos para identificar os fatores determinantes da decisão de padronização de frota das companhias aéreas. Em particular, o modelo empírico investiga a influência de aspectos operacionais e de fatores de mercado. Durante a modelagem, por exemplo, torna-se possível a verificação do impacto isolado de cada variável, como por exemplo, o efeito da presença de padronização em outros níveis, a idade e o tamanho da frota, entre outras. As variáveis utilizadas no modelo podem ser visualizadas no modelo empírico representado na Equação (1).

$$\begin{aligned}\text{standardization model}_{kt} = {} & \beta_0 \\ & + \beta_1 \text{standardization manufac}_{kt} \\ & + \beta_2 \text{standardization family}_{kt} \\ & + \beta_3 \ln \text{pax per flight}_{kt} + \beta_4 \ln \text{load factor}_{kt} \\ & + \beta_5 \ln \text{destinations}_{kt} + \beta_6 \ln \text{fleet size}_{kt} + \beta_7 \ln \text{fleet age}_{kt} \\ & + \beta_8 \ln \text{avg stage length}_{kt} + \beta_9 \ln \text{ask}_{kt} \\ & + \beta_{10} \ln \text{prop delay}_{kt} + \beta_{11} \ln \text{prop airc fail}_{kt} + \beta_{12} \ln \text{cask}_{kt} \\ & + \beta_{13} \text{demand grw6}_t + \beta_{14} \text{demand grw12}_t \\ & + \beta_{15} \text{demand grw24}_t + \beta_{16} \text{route grw6}_t \\ & + \beta_{17} \text{route grw12}_t + \beta_{18} \text{route grw24}_t \\ & + \beta_{19} \text{tendency}_{kt} + \beta_{20} \text{tendency} \times \text{hsea}_{kt} \\ & + \beta_{21} \text{tendency} \times \text{prop delay}_{kt} \\ & + \beta_{22} \text{tendency} \times \text{fuel cst}_{kt} \\ & + u_{kt}\end{aligned} \quad (1)$$

em que

standardization model$_{kt}$:	representação do índice de comunalidade criado por Zou, Yu e Dresner (2015) em nível de modelo de aeronave
standardization manufac$_{kt}$:	representação do índice de comunalidade criado por Zou, Yu e Dresner (2015) em nível de fabricante de aeronave
standardization family$_{kt}$:	representação do índice de comunalidade criado por Zou, Yu e Dresner (2015) em nível de família de aeronave
ln pax per flight$_{kt}$:	média de passageiros transportados por voo
ln load factor$_{kt}$:	taxa de ocupação
ln destinations$_{kt}$:	número de destinos
ln fleet size$_{kt}$:	tamanho médio da frota
ln fleet age$_{kt}$:	idade média da frota
ln avg stage length$_{kt}$:	distância de voo média
ln ask$_{kt}$:	quantidade de assentos quilômetros disponíveis
ln prop delay$_{kt}$:	proporção de atrasos de voo reportados
ln prop airc fail$_{kt}$:	proporção de falhas de aeronave reportadas
ln cask$_{kt}$:	custo por assento quilômetro disponível
demand grw6$_t$:	crescimento da demanda nos próximos 6 meses

demand grw12$_t$:	crescimento da demanda nos próximos 12 meses
demand grw24$_t$:	crescimento da demanda nos próximos 24 meses
route grw6$_t$:	crescimento do número de rotas nos próximos 6 meses
route grw12$_t$:	crescimento do número de rotas nos próximos 12 meses
route grw24$_t$:	crescimento do número de rotas nos próximos 24 meses
tendency$_{kt}$:	tendência de longo prazo da variável y
tendency × hsea$_{kt}$:	tendência de longo prazo interagida com *dummy* de alta estação
tendency × prop delay$_{kt}$:	tendência de longo prazo interagida com a proporção de atrasos
tendency × fuel cst$_{kt}$:	tendência de longo prazo interagida com o valor gasto com combustível
β_0 ... β_{23}:	parâmetros desconhecidos
u_{kt}:	termo de erro

O raciocínio para a criação e desenvolvimento do modelo apresentado na Equação (1) baseia-se em quatro vertentes principais que incluem fatores de operação, de custo, de demanda e tendências temporais, conforme apresenta o modelo conceitual da Figura 1.

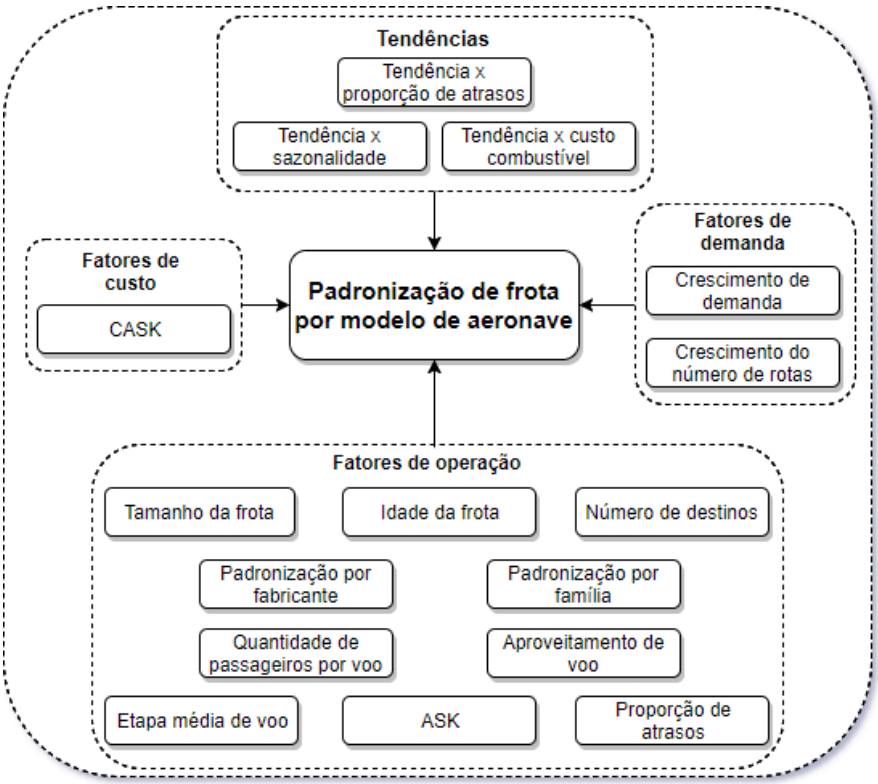


Figura 1: Modelo conceitual

Embora a discussão da relação entre comunalidade e custo operacional geralmente fique em torno dos efeitos da comunalidade sobre os custos, a aplicação de tais variáveis nesse modelo visa justamente identificar o efeito oposto. Ou seja, a influência dos mais diversos fatores na

decisão de uma companhia em padronizar sua frota. Observa-se na Figura 1, por exemplo, diversas variáveis ligadas às questões operacionais, tais como idade de frota, etapa média voada, quantidade de assento-quilômetro disponível, entre outros. Dos aspectos relacionados às operações de voo, vale ressaltar a quantidade de destinos e, consequentemente, se a empresa opera em nichos de mercado. De forma geral, presume-se que se a operação é feita em nichos de mercado, a padronização tende a prejudicar a operação, uma vez que a demanda é muito variável e o ideal pode ser manter aeronaves de portes diferentes. Por outro lado, a operação majoritária em mercados de massa comumente apresenta pouca variação na demanda, o que pode ser benéfico à rentabilidade da empresa caso esta tenha uma frota padronizada por uma aeronave que já é adequada ao mercado em que opera. De forma similar, quanto maior a frota supõe-se que a empresa opera em diversos mercados com diferentes demandas, sendo possivelmente interessante para a mesma a presença de modelos com capacidades e autonomias distintas.

Os fatores de demanda questionam, por sua vez, se a previsão de mudança significativa da demanda em curto prazo (6 meses, por exemplo), não poderia funcionar como um incentivo à aquisição de diferentes modelos de aeronaves que possam ser mais rapidamente incorporadas à frota para atender ao cenário de crescimento esperado. Tal ideia baseia-se no fato de que a compra de uma aeronave leva tempo e geralmente é feita visando o longo prazo. Isso criaria uma desvantagem competitiva para a companhia, caso esta não esteja disposta a incorporar em sua frota modelos que tenham aquisição/entrega mais rápida do que o modelo de aeronave já operado. Paralelamente, uma previsão de mudança significativa da demanda em prazo maior (24 meses), pode resultar em maior disponibilidade de tempo para se adequar às modificações do mercado, sem a necessidade de buscar por modelos alternativos de aeronaves.

A premissa para os fatores de custo baseia-se no questionamento se ainda hoje, mesmo já passado gerações de empresas *low-cost* e convergência de modelo de negócios, são ainda as companhias aéreas de baixo custo que mais preferem a padronização. Por fim, as variáveis de tendência temporal investigam justamente qual a propensão da variável explicada, ou seja, da padronização por modelo. Tais variáveis possuem ainda interações com outros aspectos ligados ao mercado como um todo, como custo de combustível e idade de frota, tornando possível identificar se tais elementos possuem um efeito intensificador ou atenuador para a tendência de padronização da frota das companhias.

O modelo conceitual apresentado foi montado de acordo com uma base de dados produzida a partir de diversas publicações e dados estatísticos liberados pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). A base utilizada possui informações do período de Janeiro de 2002 até Dezembro de 2013. No total, foram contabilizados dados de quatro companhias aéreas brasileiras (Azul, Gol, Avianca e Tam). Embora a métrica utilizada para efetuar o cálculo da padronização de frota considere os diversos modelos de aeronaves que as companhias utilizaram nesse período (Airbus A318, A319, A320, A321, A332, A333, Boeing 733, 737, 738, 752, 763, 773, Embraer E120, E170, E190, ATR42, ATR72 e Fokker 50 e 100), a base é somente desagregada por companhia aérea. A justificativa para tal é de que a padronização de frota é calculada apenas por companhia, uma vez que, dentro de uma mesma empresa, o índice de padronização deve ser o mesmo para todos os modelos de aeronaves existentes. Por se tratar de um painel de dados, as informações sobre cada empresa são apresentadas em uma periodicidade mensal até o último período observado. Ao todo, são 385 observações e as

estatísticas descritivas de cada variável estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Estatísticas descritivas das variáveis

Variável	N_obs	Média	Err Padr	Mín.	Máx.
standard.: model	385	0.54	0.17	0.30	1.00
standard.: manufac	385	0.92	0.15	0.50	1.00
standard.: family	385	0.86	0.16	0.50	1.00
ln pax per flight	385	4.42	0.45	3.14	4.94
ln load factor	385	-0.55	0.34	-1.58	-0.08
ln destinations	385	3.60	0.43	1.10	4.63
ln fleet size	385	3.66	1.09	0.00	4.99
ln fleet age	385	1.74	0.60	-0.69	2.74
ln avg stage length	385	6.71	0.15	6.36	7.02
ln ask	385	20.96	0.95	16.80	22.14
ln prop delay	385	-1.52	0.44	-2.82	-0.45
ln prop airc fail	385	-5.12	1.20	-9.62	-2.54
ln cask	385	-1.48	0.38	-2.99	-0.31
demand grw6	385	0.17	0.67	-0.39	12.31
demand grw12	385	0.34	1.02	-0.33	18.53
demand grw24	385	0.69	2.21	-0.26	40.57
route grw6	385	0.13	0.48	-0.73	4.67
route grw12	385	0.25	0.69	-0.70	7.50
route grw24	385	0.57	1.79	-0.72	23.83
tendency	385	85.12	42.01	1.00	144.00
tendency x hsea	385	20.85	41.67	0.00	140.00
tendency x prop delay	385	20.42	12.30	0.19	54.88
tendency x fuel cst	385	246.23	190.80	1.13	782.57

4. RESULTADOS

A partir do modelo empírico proposto na Equação (1), e, considerando ainda que a variável explicada constitui-se uma variável censurada com valores entre 0 e 1, um modelo Tobit com efeitos aleatórios foi utilizado para a estimação dos coeficientes de cada variável. Os resultados do modelo são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados Estimados

standard.: model	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
standard.: manufac	0.1284	0.1610**	0.4900***	0.6037***	0.6179***
standard.: family	0.2258***	0.2370***	0.1961***	0.1723***	0.1834***
ln pax per flight	0.8468***	0.8759***	0.4461***	0.4339***	0.4125***
ln load factor	-0.6123***	-0.6354***	-0.3920***	-0.3929***	-0.3654***
ln destinations	-0.1857***	-0.1525***	-0.0510	-0.0025	-0.1252***
ln fleet size	-0.3481***	-0.3590***	-0.3181***	-0.3263***	-0.2882***
ln fleet age	-0.0713***	-0.0526***	-0.0963***	-0.0820***	
ln avg stage length	-0.0867	-0.0792	-0.3878***	-0.3484***	-0.5296***
ln ask	0.2867***	0.3073***	0.1043***	0.1038***	0.1304***
ln prop delay	-0.0425***	-0.0351***	-0.0273*	-0.0095	-0.0091

ln prop airc fail	0.0424***	0.0401***	0.0288***	0.0286***	0.0286***
ln cask	0.0027	0.0161	0.0117	0.0205	0.0208
demand grw6		-0.0249		-0.0642***	-0.0755***
demand grw12		0.0464*		-0.0032	0.0025
demand grw24		0.0395*		0.0611***	0.0690***
route grw6		-0.0144		-0.0082	-0.0086
route grw12		-0.0257**		-0.0197**	-0.0219**
route grw24		-0.0034		-0.0025	-0.0081
tendency			0.0045***	0.0047***	0.0044***
tendency × hsea			-0.0000	-0.0000	0.0000
tendency × prop delay			0.0015*	0.0006	0.0007
tendency × fuel cst			-0.0004***	-0.0004***	-0.0003***
efeitos aleatórios	sim	sim	sim	sim	sim
R-quadrado ajustado	0.7823	0.7888	0.8115	0.8197	0.7380
Estatística RMSE	0.0784	0.0773	0.0720	0.0704	0.0849
Estatística F	40.697	59.685	39.339	58.968	26.806
Nº de observações	385	385	385	385	385

Notas: Resultados produzidos por um modelo Tobit; R-quadrado ajustado, estatísticas RMSE e F produzidos por um modelo de mínimos quadrados ordinários consistente a heterocedasticidade e autocorrelação (OLS-HAC) de especificação idêntica; representações do P-valor: ***p<0.01, **p<0.05, *p<0.10; Coluna (1): modelo apenas com variáveis operacionais e de custo; Coluna (2): modelo com variáveis operacionais, de custo e de demanda; Coluna (3): modelo com variáveis operacionais, de custo e de tendência; Coluna (4): modelo empírico principal com todas as variáveis; Coluna (5): modelo com variável faltante para teste de robustez do modelo principal.

Conforme apresenta a Tabela 2, os resultados foram organizados de forma a apresentar ao leitor a evolução do modelo empírico proposto, trazendo ainda a variação dos resultados de cada variável à medida que novos fatores explicativos foram adicionados. A Coluna (1), por exemplo, apenas apresenta as variáveis dos fatores operacionais e de custo. Nota-se que, entre as variáveis de padronização (*standard.: manufac/family*), apenas a padronização de família mostrou significância estatística elevada e correlação positiva com a padronização em nível de modelo (*standard.: model*). Embora também funcionem como variáveis de controle, a expectativa para ambas as variáveis era de correlação positiva, uma vez que existe a premissa de que, se a companhia aérea já possui algum tipo de padronização, o aprofundamento desta em um maior grau é mais provável do que em condições contrárias. Note também que aspectos como negociação e poder de barganha são fundamentais na aquisição e arrendamento de novas aeronaves. Uma vez que esses fatores não podem ser observados, ambas as variáveis de padronização são consideradas como possivelmente endógenas e são passíveis de instrumentação.

A quantidade de passageiros por voo (*ln pax per flight*) apresentou-se positivamente correlacionada com a padronização de modelo, ao passo que a taxa de aproveitamento de voo (*ln load factor*) mostrou-se negativamente correlacionado. Embora sejam aspectos bastante conectados, ainda assim representam características diferentes. A primeira variável permite identificar a quantidade de passageiros em cada voo e funciona ainda como uma *proxy* para tamanho médio de aeronave. Entretanto, a variável não possui a capacidade de indicar a taxa de utilização de tais aeronaves, função que é delegada a segunda variável. Curiosamente, os sinais apresentados são opostos, o que exige uma análise e interpretação individual para cada

resultado. Naturalmente, pode-se supor que uma maior quantidade média de passageiros por voo representa também um maior tamanho médio de aeronave. Por sua vez, aeronaves maiores operam mais eficientemente em mercados de massa, os quais já são bem estabelecidos e não sofrem grandes variações na demanda a ponto de ser vantajoso para a companhia aérea possuir modelos de aeronaves com capacidades diferentes. Por outro lado, a variável de aproveitamento de voo baseia-se na ideia de que voos regionais e em mercados de nicho possuem uma probabilidade de taxa de ocupação maior do que em mercados de massa, uma vez que nesses mercados há poucos voos e poucas empresas operando. Ressalta-se que, embora haja baixa concorrência, a demanda também é bastante volátil, fazendo com que seja interessante à empresa aérea possuir aeronaves com capacidades diferentes.

Ainda na Coluna (1), nota-se que a variável de número de destinos servidos (*ln destinations*) mostrou-se negativamente correlacionado com padronização de modelo. Tal resultado corrobora com a hipótese de concentração de malha apresentada. De forma geral, espera-se que quanto maior a malha, maior é a necessidade de adequar as aeronaves às características de mercado e as distâncias de cada rota. Adicionalmente, quanto maior e mais velha a frota (*ln fleet size* e *ln fleet age*), menores são as tendências de uma elevada comunalidade em nível de modelo. Conforme explicitado anteriormente, adquirir novos modelos de aeronaves com melhorias e avanços tecnológicos é, por vezes, preferível do que manter um modelo anterior e mais velho. A variável de distância média voada (*ln avg stage length*) apresentou correlação negativa, porém estatisticamente não significante. A premissa inicial era de que, conforme há um crescimento na distância voada, há também uma diminuição na padronização de modelo existente na frota. A explicação para tal hipótese é de que, à medida que os voos tornam-se mais longos, a amplitude e variação dos mercados atendidos também aumentam, fazendo com que aeronaves de autonomia e portes diferentes possam ser interessantes ao seu operador, resultando em uma diminuição na padronização de modelo. A quantidade de assento-quilômetro disponível (*ln ask*) mostrou correlação positiva, sugerindo que companhias que possuem um elevado valor nesse índice são mais propensas a padronizar.

As últimas variáveis operacionais do modelo são as de proporção de atrasos (*ln prop delay*) e proporção de falha de aeronaves (*ln prop airc fail*). Enquanto a primeira apresentou correlação negativa, a última apresentou correlação positiva. Nota-se, através dos resultados, que companhias com menores índices de atrasos possuiriam também maior padronização de frota. De forma antagônica, nota-se também que companhias com maiores índices de falha de aeronaves possuiriam também maior propensão a padronizar suas frotas. A premissa para tal circunstância é de que a padronização de frota seria vista como uma possível solução às falhas das aeronaves. Observa-se, por exemplo, que frotas padronizadas possuem os benefícios da comunalidade. Ou seja, abre a possibilidade de compartilhamento de peças e até mesmo de troca de aeronaves na escala de voo da companhia sem grandes consequências no cronograma geral da empresa. Portanto, conclui-se que a padronização traz vantagens operacionais às empresas com índices de falha elevados. Dessa forma, pode-se afirmar, inclusive, que a padronização de frota é vista justamente como consequência de um elevado índice de falha, e não mais como uma causa para um baixo índice. Por fim, a Coluna (1) apresenta também a variável de custo (*ln cask*), a qual se mostrou, no modelo, como estatisticamente insignificante. A característica de frota única e com elevada comunalidade é, como exposto por diversos autores, geralmente associada a companhias de baixo custo. Por essa razão, partiu-se do pressuposto de que a padronização reduziria os custos operacionais e que companhias de menores custos possuiriam tendência a padronizar mais.

Apesar da adição das variáveis de demanda na Coluna (2), os resultados das variáveis operacionais e de custo não sofreram alterações, salvo para padronização de fabricante (*standard.: manufac*), o qual passou a apresentar significância estatística. Conforme discutido anteriormente, a hipótese para as variáveis de crescimento de demanda era de que, em curto prazo, companhias aéreas poderiam se sentir motivadas a reduzir a padronização de frota em prol do recebimento mais rápido de novas aeronaves. A hipótese também cogitava a ideia de que o oposto ocorreria quando o crescimento da demanda era para longo prazo. Nota-se, entretanto, que apenas as variáveis de longo prazo (*demand grw12 / grw24*) apresentaram baixa significância estatística, indicando apenas não existir efeito no prazo de 6 meses (*demand grw6*). Uma vez que a premissa para o crescimento do número de rotas é similar ao crescimento da demanda, os sinais esperados para os resultados também não sofreram tanta variação. Entretanto, nota-se que dessa vez apenas a variável de 12 meses (*route grw12*) apresentou correlação significante e negativa, ao passo que as variáveis de 6 e 24 meses (*route grw6 / grw24*) mostraram-se estatisticamente insignificantes.

Comparando com os resultados das variáveis operacionais na primeira coluna, os resultados da Coluna (3) também não sofreram grandes alterações. A exceção se dá no número de destinos (*ln destinations*), padronização de fabricante (*standard.: manufac*) e etapa média voada (*ln avg stage length*). Enquanto a primeira perdeu sua significância estatística, a segunda passou a ter correlação positiva e significante com o regressando, corroborando a explicação dada para a mesma. Por fim, a variável de etapa média voada passou a apresentar correlação negativa e significância estatística forte. Tal resultado justifica a hipótese inicial apresentada de que há uma diminuição na padronização de modelo existente na frota conforme ocorre um crescimento na distância voada. Adicionalmente, vale ressaltar os resultados obtidos com as variáveis de tendência temporal. A variável tendência (*tendency*) indicou que há uma predisposição para um aumento na padronização de frota observada nas companhias, contrariando os resultados de Kilpi (2007) de que a padronização de frota estaria em decréscimo. Nota-se que, quando interagida com custo de combustível (*tendency × fuel cst*) a tendência de padronização é atenuada, enquanto que nenhum efeito é observado na interação com proporção de atrasos (*tendency × prop delay*) e períodos de alta estação (*tendency × hsea*).

Os resultados obtidos com o modelo completo podem ser visualizados na Coluna (4). Notam-se variações pontuais quando os resultados são comparados com os obtidos nas Colunas (1)-(3). Dentre as variáveis operacionais, apenas a de número de destinos (*ln destinations*) e proporção de atrasos (*ln prop delay*) perderam a significância estatística. Dentre as variáveis de demanda, o crescimento da demanda em 6 meses (*demand grw6*) obteve a correlação negativa esperada, fortalecendo a hipótese de que as companhias priorizariam uma redução na padronização em prol de obter aeronaves mais rapidamente. De forma contrária, a variável de crescimento da demanda em 12 meses (*demand grw12*) perdeu a significância observada na Coluna (2). As variáveis de tendência não sofreram variações significativas.

Por fim, a Coluna (5) representa um dos diversos testes de robustez que foram feitos com o modelo principal. Observa-se que a retirada da variável de idade de frota (*ln fleet age*) não trouxe ao modelo empírico muitas variações nos resultados obtidos, mostrando que o modelo proposto é robusto o suficiente para não sofrer grandes modificações após perturbações terem sido aplicadas em sua especificação original.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Até então, a literatura existente considerou a padronização de frota e as variáveis que a representa como uma função explicativa para outro aspecto de interesse. Nota-se, por exemplo, a colocação da comunalidade em diversos modelos de custos e de receita, sempre com a finalidade de identificar os efeitos da comunalidade no desempenho operacional de companhias aéreas. Entretanto, a colocação desta como variável a ser explicada, da forma como é tratada nessa pesquisa, é uma ideia ainda pouco explorada. Embora tal fato proporcione contribuições acadêmicas, também dificulta o encontro de variáveis realmente significativas ao problema e a correta identificação de seus efeitos. Vale ressaltar, portanto, que o modelo apresentado ainda pode sofrer de problemas de endogenia em certas variáveis, tais como de CASK e de padronização de frota em nível de fabricante e família. A justificativa para isso se dá no fato de que a variável explicada possui em seus fatores não observados aspectos como poder de barganha e questões comerciais, seja de venda, de operações, de decisões estratégicas, entre outros. Tais aspectos também estão, naturalmente, relacionados às variáveis explicativas de padronização de fabricante e família.

Por tais razões, esse trabalho sugere para pesquisas futuras a inclusão de variáveis instrumentais para o controle de endogenia. Paralelamente, torna-se interessante ainda a inserção de novas variáveis de experimentação e a verificação de seus efeitos, tais como quantidade de Hubs, participação em alianças globais, fila de pedidos e entregas de novas aeronaves e o efeito da concorrência. Por fim, uma vez que os fatores determinantes para a padronização de frota sejam identificados, pode-se dizer que o conhecimento acerca da formação de frota das companhias aéreas está mais bem estabelecido. Isso, por sua vez, favorece a inclusão e execução de novas pesquisas sobre os efeitos da padronização na eficiência operacional e financeira das empresas, os quais não deixam de ser tópicos sugeridos para estudos futuros.

Agradecimentos

Os autores agradecem a professores, colegas e avaliadores anônimos que contribuíram para a produção e desenvolvimento deste trabalho através de críticas e sugestões de melhoria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANAC (2015) *Anuário do transporte aéreo 2014*. Agência Nacional de Aviação Civil, Brasília.

Borges Pan, A. G.; Santo Jr, R. A. E. (2004) Developing a fleet standardization index for airline pricing. *Journal of Air Transportation*, v. 9, n. 2, p. 97-110.

Brüggen, A.; Klose, L. (2010) How fleet commonality influences low-cost airline operating performance: Empirical evidence. *Journal of Air Transport Management*, v. 16, n. 6, p. 299-303.

Flightglobal (2011) *Commonality, performance tipped Southwest to 737 Max*. Washington, DC, USA.

Kilpi, J. (2007) Fleet composition of commercial jet aircraft 1952–2005: Developments in uniformity and scale. *Journal of Air Transport Management*, v. 13, n. 2, p. 81-89.

Seristö, H.; Vepsälainen, A. P. (1997) Airline cost drivers: cost implications of fleet, routes, and personnel policies. *Journal of Air Transport Management*, v. 3, n. 1, p. 11-22.

Zou, L; Yu, C.; Dresner, M. (2015) Fleet Standardisation and Airline Performance. *Journal of Transport Economics and Policy*, v. 49, n. 1, p. 149-166.

Zuidberg, J. (2014) Identifying airline cost economies: An econometric analysis of the factors affecting aircraft operating costs. *Journal of Air Transport Management*, v. 40, p. 86-95.

Rodolfo R. Narcizo (RRN93@hotmail.com)
Alessandro V. M. Oliveira (avmoliveira@gmail.com)
Programa de Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA)
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - São José dos Campos, SP, Brasil

CONCEPÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO DA LINHA 4 DO METRÔ DO RIO DE JANEIRO E SUA APLICAÇÃO NA MELHORIA DO SISTEMA NO TRANSPORTE DE PASSAGEIROS

Luiz Eduardo Cotta Monteiro
Hugo Varela Repolho
Fernando Luiz Cyrino Oliveira
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC – Rio
Departamento de Engenharia Industrial

RESUMO
Este trabalho analisa a estrutura e funcionamento da linha 4 do Metrô do Rio de Janeiro, sua capacidade e eficiência no transporte de passageiros, por meio da concepção e implementação de um modelo computacional de simulação de eventos discretos, considerando a aleatoriedade da dinâmica de chegada de passageiros em cada estação. Para a simulação são utilizados dados do Estudo de Demanda para Linha 4 realizado pela Fundação Getúlio Vargas com a previsão de demanda para o ano de 2016. São realizadas simulações com diferentes valores de *headways*, e por meio da análise da variação da taxa de utilização das composições é proposto um novo cenário objetivando a melhoria do sistema. Pode-se concluir que o modelo de simulação é um importante instrumento para auxiliar o gerenciamento e avaliação de desempenho do sistema metroviário e que o dimensionamento da capacidade da linha 4 do Metrô atende à demanda projetada.

ABSTRACT
This paper analyses the structure and operation of line 4 of the Rio de Janeiro subway, its capacity and efficiency in the transportation of passengers by the development of a discrete events simulation model, considering the randomness of the arrival dynamics of passengers at each station. For the simulation it will be used data from the Demand Study for Line 4 conducted by Fundação Getúlio Vargas with the forecast for the year 2016. Simulations are performed with different values of headways and by analyzing the variation of the utilization rate is proposed a new scenario aiming the improvement of the system. It can be concluded that the simulation model is an important instrument to assist the management and evaluation of the subway system performance and that the dimensioning of the capacity of subway line 4 meets the expected demand.

1. INTRODUÇÃO

O rápido processo de urbanização e crescimento dos centros urbanos tem provocado sérios problemas de mobilidade nas grandes cidades. Carvalho (2016) destaca que na realidade brasileira a falta de investimentos na rede de infraestrutura urbana e de transporte de massa ao longo dos anos explica em grande parte o aumento da degradação das condições de mobilidade da população, principalmente em função do crescimento dos acidentes de trânsito com vítimas, dos intensos congestionamentos urbanos e poluentes veiculares. Dentro desse panorama, a mobilidade urbana é um dos desafios que se apresenta às cidades brasileiras, tanto em termos qualitativos na busca por melhores níveis de serviços nos diferentes modos de transporte coletivo e melhoria das condições viárias, como em termos quantitativos, no aumento da capacidade de transporte de massa.

A cidade do Rio de Janeiro realizou, entre os anos de 2012 e 2016, um grande investimento na expansão de suas infraestruturas para o transporte coletivo de passageiros, com a construção e implementação de linhas rodoviárias de *Bus Rapid Transit* (BRT) e da linha 4 do Metrô em sua rede metroviária. A construção da linha 4 do Metrô, por meio da sua integração com a linha 1, possibilita a ligação da zona oeste com a zona central da cidade, região esta que concentra a maioria dos empregos da cidade e corresponde à principal zona de atração dos fluxos diários de transporte de passageiros (PDTU, 2015).

Os sistemas metroviários têm desempenhado um importante papel no transporte urbano, por seu baixo índice poluente e por ser relativamente livre de congestionamentos (You *et al*., 2016). Um importante problema nos sistemas metroviários consiste em definir a escala dos trens, os tempos de parada nas estações e o intervalo entre os trens de acordo com a demanda de passageiros. Custos operacionais e tempo de viagem dos passageiros precisam ser balanceados na otimização da escala dos trens (Sun *et al*., 2015).

Este trabalho analisa a estrutura e funcionamento da Linha 4 do Metrô do Rio de Janeiro e realiza a concepção e implementação de um modelo computacional de simulação para avaliar o funcionamento e a capacidade de seu sistema. Para a simulação são utilizados dados do Estudo de Demanda para Linha 4 realizado pela Fundação Getúlio Vargas com a previsão de demanda para o ano de 2016 no sentido da estação Jardim Oceânico para a estação General Osório, fluxo que corresponde ao deslocamento de maior demanda do sistema no período de pico da manhã. No capítulo 2 é feita uma breve revisão da literatura sobre modelos de simulação aplicados em sistemas metroviários. O capítulo 3 trata da coleta de dados do modelo e é feita uma análise sobre a dinâmica de chegada dos passageiros nas estações com a aplicação de diferentes distribuições de probabilidade. O capítulo 4 apresenta a concepção e implementação do modelo desenvolvido. No capítulo 5 são realizadas simulações com diferentes valores de *headways*, intervalo de tempo entre os trens, e por meio da análise da variação da taxa de utilização das composições é proposto um novo cenário objetivando a melhoria do sistema. O capítulo 6 apresenta as considerações finais.

2. MODELOS DE SIMULAÇÃO

De um ponto de vista prático, Kelton *et al.* (1998) definem simulação como o processo de criar e implementar um modelo computacional de um sistema proposto ou real com o objetivo de realizar experimentos numéricos que proporcionem a melhor compreensão do comportamento do sistema para um dado conjunto de condições, especialmente quando usado em sistemas complexos.

O funcionamento de uma linha metroviária no transporte de passageiros envolve o deslocamento de trens com uma série de carregamentos e descarregamentos ao longo do tempo, submetidas a uma série de restrições estruturais, de tempo e capacidade, que adquire grande complexidade quando relacionada a uma demanda dinâmica de passageiros. Por envolver grande complexidade e por ser muito difícil e custoso realizar experimentos práticos do seu sistema, a concepção e implementação de um modelo de simulação torna-se um recurso aplicável para a sua análise.

Diversos autores utilizaram modelos de simulação para estudar problemas relacionados a sistemas metroviários, no entanto é possível identificar diferentes abordagens e objetivos nos diferentes modelos.

Yao *et al.* (2013) criaram um modelo computacional para simular o metro de Beijing utilizando a linguagem C++ para dar suporte à análise do seu sistema metroviário considerando cada componente do sistema, passageiros, estacoes e trens, com autonomia. O modelo registra estatísticas importantes como tamanho de filas, fluxos de passageiros e carregamento dos trens, mas o estudo se limita a reproduzir o funcionamento do metro, sem realizar experimentos e análises do sistema a partir da variação dos parâmetros. Schmaranzer *et al.* (2016) desenvolveram um modelo de simulação baseado no Metrô de Viena, Áustria,

que considera a estocacidade na demanda, nos tempos de viagem e de plataforma, e realizaram diferentes *what-if-scenarios* com o objetivo de dar suporte para decisões estratégicas como o dimensionamento de frotas de acordo com os tempos de *headway*. O modelo foi implementado utilizando o software AnyLogic e assume a distribuição de Poisson para representar a chegada de passageiros.

O trabalho desenvolvido por Halim *et al.* (2016) busca a otimização do sistema combinando um modelo de programação linear inteira, para gerar iterativamente diferentes programações de trens, e um modelo de simulação para avaliar os resultados. O modelo é aplicado no metrô do Cairo e tem como o principal objetivo minimizar o tempo total de espera dos passageiros no sistema. Utiliza como principais dados estatísticos o fator de carregamento dos trens e o tempo de espera em filas e utiliza a distribuição de Poisson para representar a chegada de passageiros. You *et al.* (2016) utilizaram a plataforma MATLAB para desenvolver um modelo de simulação baseado em estrutura de grafos e utilizando parâmetros de custos de caminhos para definir a preferência de rotas de viagens pelos passageiros. O modelo foi aplicado no cenário do metrô de Beijing e considera como principais outputs os dados estatísticos do fluxo de passageiros nas conexões e o tempo de viagem dos passageiros.

Stoilova e Stoev (2017) desenvolveram um modelo em quatro etapas que combina modelos de simulação e otimização com o objetivo principal de minimizar a distância percorrida pelos trens de forma a encontrar as melhores rotas e o número ótimo de trens no sistema. O modelo é implementado no software Arena, aplicado na rede metroviária de Sofia, Bulgária, utiliza como principal dado estatístico o número médio de passageiros na fila, e utiliza a distribuição de Poisson para representar a chegada de passageiros.

O modelo de simulação desenvolvido nesse trabalho pretende apresentar como principais contribuições: o uso da estatística da taxa de utilização dos trens como principal parâmetro para análise do sistema; o uso de um estudo de projeção de demanda e sua matriz origem-destino como referência para o volume de passageiros; e o uso de uma distribuição diferente da Poisson, usualmente utilizada nos modelos, para representar a dinâmica da chegada de passageiros. A metodologia utilizada segue o método proposto por Chwif e Medina (2014) com as etapas de concepção, implementação e análise dos resultados.

3. ANÁLISE DA LINHA 4 DO METRÔ, COLETA E TRATAMENTO DE DADOS

A estrutura do sistema metroviário da linha 4 tem aproximadamente 16 quilômetros de extensão e 7 estações, ligando a estação Jardim Oceânico, situada no bairro da Barra da Tijuca, à estação General Osório, situada no bairro de Ipanema. Na estação General Osório ocorre a integração com a linha 1 do sistema, que segue até a zona central da cidade. A figura 1 ilustra os tempos médios e o desenho da linha 4 do Metrô.

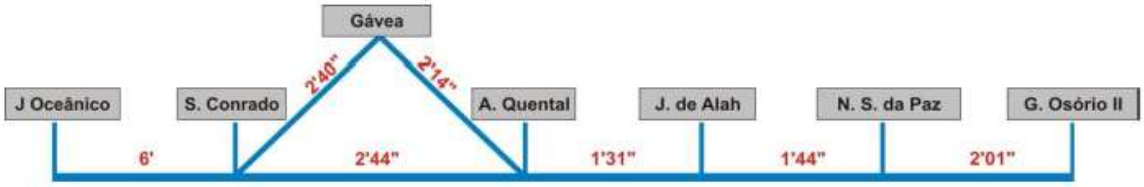


Figura 1: Desenho e tempos médios da linha 4 do Metrô (FGV, 2011)

A linha 4 foi inaugurada em julho de 2016 ainda sem o funcionamento da Estação Gávea, que está prevista para entrar em operação no ano de 2018. Por essa razão, a estação Gávea não será considerada no modelo desenvolvido nesse trabalho. A estação General Osório é a estação final da linha 4 e nela ocorre a sua integração com a linha 1. Como a matriz origem-destino utilizada como referência não dispõe dos dados de embarque na estação General Osório, ela será considerada no modelo como estação terminal onde todos os passageiros do trem devem desembarcar.

Para orientar a construção do modelo conceitual, foram feitas observações *in loco* do funcionamento e dinâmica do sistema da linha 4 durante os meses de outubro e novembro de 2016. Os dados operacionais e estruturais da Linha 4 foram obtidos por meio dos boletins divulgados pela Concessionária MetrôRio, responsável pela operação do Sistema Metroviário, e pela Concessionária Rio Barra, responsável pelas obras da linha 4. Os dados operacionais do sistema, referentes ao funcionamento da Linha 4 em outubro de 2016, estão resumidos nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Dados operacionais da Linha 4 em outubro de 2016

Headway - Intervalo entre trens	8 minutos
Tempo de parada na estação	20 segundos
Capacidade do trem	1800 pessoas
Frota máxima	15 trens

Tabela 2: Tempos médios de deslocamento e plataforma do trem

Segmento	**Tempo de Deslocamento (minutos)**	**Tempo plataforma (minutos)**
Jd Oceanico - São Conrado	06:00	00:20
São Conrado - Leblon	02:44	00:20
Leblon - Jardim de Alah	01:31	00:20
Jardim de Alah - N.S. Paz	01:44	00:20
N.S. Paz - General Osório	02:01	00:20
Somatório	14:00	01:40
Total	15:40	

O Metrô do Rio de Janeiro opera com *headway* cíclico, isto é, com valores fixos de *headway* em determinados períodos. Halim *et al.* (2016) destacam que normalmente as linhas metroviárias utilizam *headway* cíclicos, com possíveis variações a cada intervalo de uma hora objetivando atender a variação da demanda. As vantagens associadas à utilização do *headway*

cíclico nos sistemas metroviários estão associadas à simplificação da operação do sistema e à fácil compreensão e previsão de tempo de espera pelo usuário.

A demanda de passageiros utilizada para a simulação foi obtida a partir da matriz origem–destino disponibilizada no Estudo de Demanda da Linha 4 (FGV, 2011) com a previsão de demanda para o período de pico da manhã, entre 6:30 e 9:29, para o ano de 2016. A matriz original apresenta a demanda de passageiros da linha 4 pontualmente entre cada estação de origem e destino do sistema metroviário do Rio de Janeiro. Os dados foram então calculados de forma a encontrar a demanda total de passageiros para cada estação da linha 4 dentro do período analisado e estão expressos na tabela 3.

Tabela 3: Demanda prevista para o período de pico da manhã (6:30 às 9:29). Adaptado do Estudo de Demanda para a Linha 4 (FGV, 2011)

Estações	**Embarque**	**Desembarque**	
(sentido Jd Oceanico - Gen. Osorio)	**(número de passageiros)**	**(núm. passageiros)**	**%**
Jardim Oceanico	28695	-	-
Sao Conrado	10961	2635	9,18%
Leblon	3027	4138	11,18%
Jardim de Alah	1994	2111	5,88%
Nossa Senhora da Paz	3925	3715	10,38%
General Osorio	-	36003	100,00%
Total	48602	48602	

3.1 Aleatoriedade do tempo de chegada dos passageiros

Os dados apresentados na matriz origem–destino fornecem a demanda total de passageiros dentro do período de pico, no entanto, a distribuição da chegada de passageiros no período não é uniforme e a sua aleatoriedade deve ser considerada para que o modelo de simulação represente a dinâmica real do sistema e tenha resultados efetivos.

Foi realizada uma extensa pesquisa na literatura na tentativa de identificar referências às distribuições de probabilidade aplicadas a esse tipo de problema. Nos artigos pesquisados, nenhum trabalho que utilizasse dados reais apresentou a análise ou testes de aderência no sentido de encontrar a melhor distribuição de probabilidade para representar a chegada dos passageiros. Porém, muitos trabalhos utilizam a distribuição de Poisson para esse caso por sua característica em assumir independência entre os eventos, que é o caso da chegada de passageiros, e por ser uma distribuição aplicada usualmente para representar o número de chegadas em Teoria das Filas. No entanto, o uso da Poisson pode não ser a mais adequada no caso estudado se considerarmos que ela é uma distribuição que utiliza um único parâmetro constante (λ) referente a média e variância, o que parece não refletir a variação da dinâmica real de chegadas no período de pico. Nesse sentido, apesar de o presente estudo não ter tido acesso aos dados reais de chegada que não são divulgados pelo operador do sistema metroviário, será desenvolvida uma análise para estimar a distribuição de chegadas dos passageiros a partir de gráficos divulgados nos relatórios do Plano Diretor de Transportes Urbanos da Região Metropolitana do Rio de Janeiro de 2015 (PDTU 2015), com a distribuição das viagens por tipo de transporte ao longo do dia, e dos gráficos divulgados no Plano de Mobilidade Urbana Sustentável do Rio de Janeiro (PMUS 2015), com a variação do fluxo de passageiros nas linhas 1 e 2 do Metrô. Os gráficos estão expressos na figura 2.

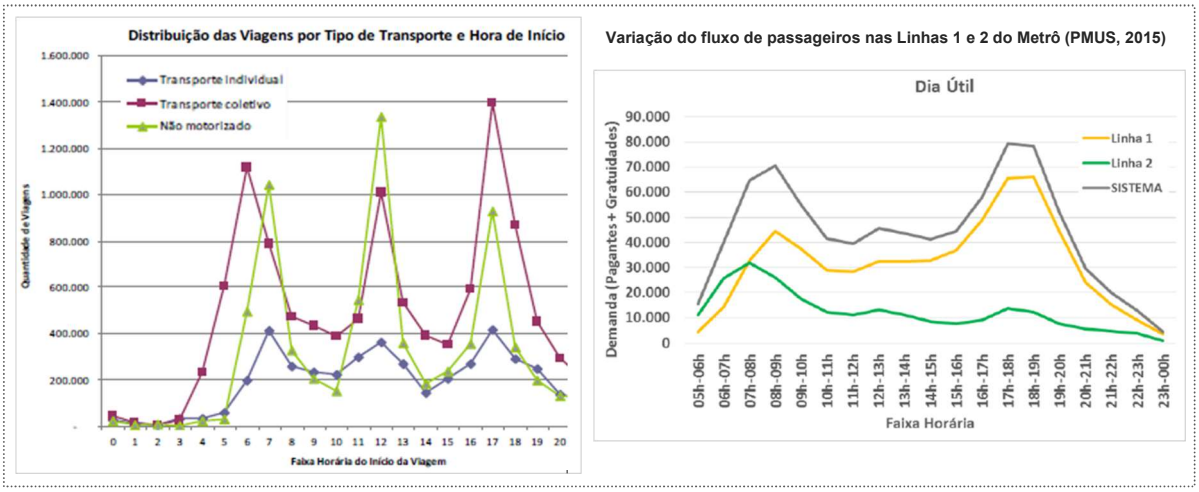


Figura 2: Distribuição de viagens por tipo de transporte (PDTU, 2015) e variação do fluxo de passageiros nas Linhas 1 e 2 do Metrô (PMUS, 2015).

Analisando os gráficos, nota-se no período de pico da manhã um comportamento semelhante: uma curva ascendente até aproximadamente a metade do período, quando atinge o ponto máximo, e em seguida uma curva descendente até o final do período. A forma dos gráficos do PDTU sugere uma distribuição triangular, e a dos gráficos do PMUS sugere uma distribuição próxima à Normal. Seguindo esses aspectos, e utilizando os dados de demanda total do problema, foram geradas e comparadas quatro diferentes distribuições para a estação Jardim Oceânico: uma distribuição triangular simétrica; uma distribuição de Poisson com média 90; e duas distribuições Normais: N(90, σ=22,5) e N(90, σ=30). As distribuições foram geradas utilizando o recurso de geração de números aleatórios no software Excell e estão representadas na figura 3.

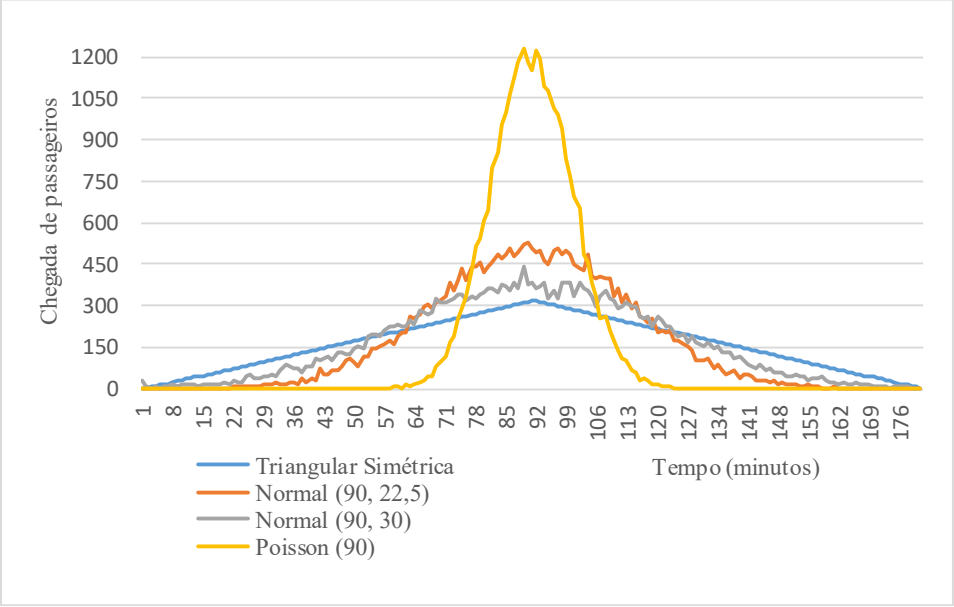


Figura 3: Diferentes distribuições de probabilidade aplicadas à demanda de passageiros na Estação Jardim Oceânico.

A distribuição triangular teve o seu ponto máximo com 317 passageiros por minuto, e por suas características de simetria, com crescimento e decrescimento linear, o seu valor de pico será utilizado como referência comparativa para as outras distribuições. A distribuição de Poisson teve uma alta concentração dos dados na região média, chegando ao ponto máximo de aproximadamente 1.200 passageiros por minuto, valor muito dispare comparado às outras distribuições. A distribuição Normal (90; σ=22,5) teve o seu ponto máximo com 529 passageiros por minuto e a Normal (90; σ=30) com aproximadamente 390 passageiros por minuto.

Entre as distribuições analisadas, a distribuição Normal (90; σ=30) foi escolhida para representar a chegada dos passageiros no modelo pelos seguintes aspectos: o comportamento de sua curva se aproxima ao dos gráficos do PMUS que representam a variação do fluxo de passageiros nas linhas 1 e 2 do metrô; o seu ponto máximo ficou comparativamente mais próximo da distribuição triangular; pelas característica da distribuição Normal com os parâmetros de média 90 e desvio padrão 30, pode-se assegurar que aproximadamente 99,73% dos dados gerados estejam dentro da curva utilizada, uma proporção significativamente alta para o modelo. Foram então geradas cinco distribuições Normais com os parâmetros (90; σ=30) para os dados de chegada de passageiros em cada estação. Os gráficos estão representados na figura 4 e foram *plotados* com os dados utilizados no modelo.

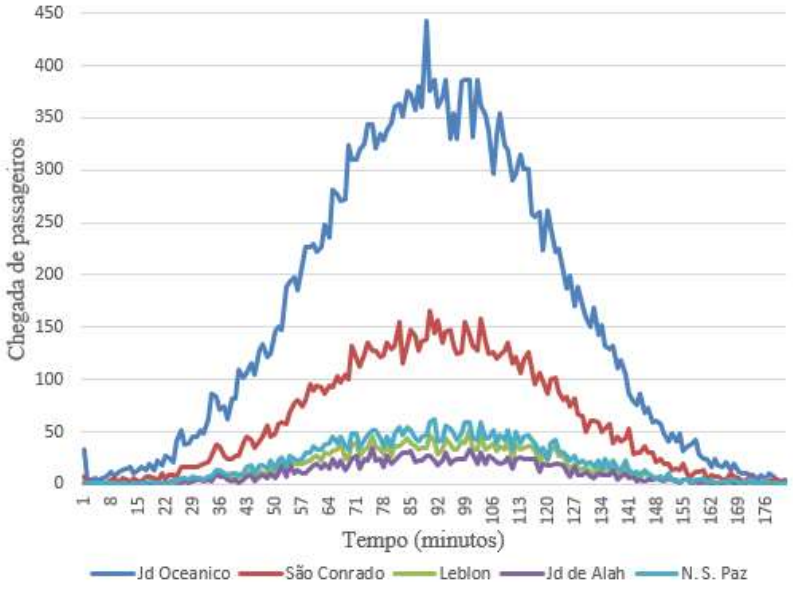


Figura 4: Distribuição Normal (90; σ=30) da chegada de passageiros nas estações na linha 4.

4. O MODELO DE SIMULAÇÃO DA LINHA 4 DO METRÔ

4.1 Modelo Conceitual e *Framework*

O modelo conceitual para o trabalho foi elaborado a partir da observação da dinâmica e movimentações do transporte de passageiros nas estações da linha 4 do Metrô. O *framework* do modelo está representado na figura 5. Em cada estação da linha tem-se uma taxa de chegada de passageiros que varia ao longo do tempo de acordo com a variação da demanda. Os passageiros que chegam às estações se dirigem à plataforma de embarque e aguardam a chegada de uma composição do metrô, que ocorre em um intervalo de tempo definido como o *headway* do sistema. O embarque dos passageiros está condicionado à disponibilidade do

trem na plataforma e à disponibilidade de lugares vagos dentro da composição. O desembarque dos passageiros varia de acordo com a demanda pelo destino de cada estação e é sempre uma parcela dos passageiros do trem.

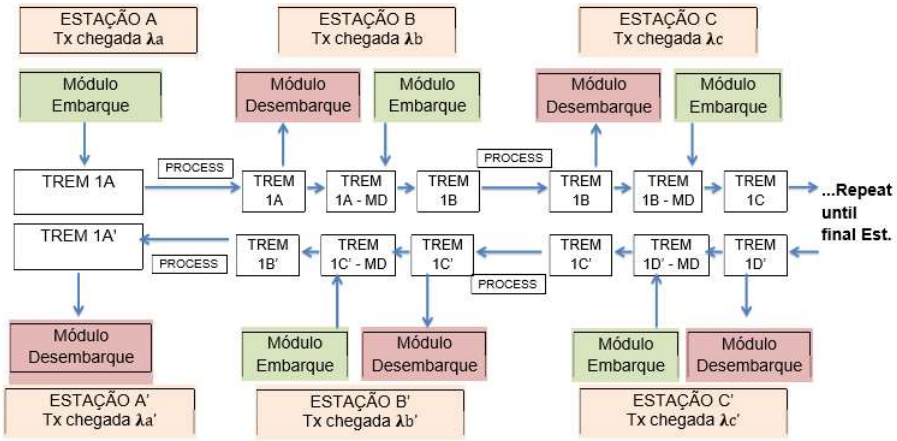


Figura 5: Framework do modelo conceitual da linha 4 do metrô.

4.2 Modelo computacional

Para a construção e implementação do modelo computacional de simulação foi utilizado o software ARENA versão 14.7 com licença acadêmica. Os modelos desenvolvidos no ARENA são baseados na linguagem de simulação SIMAN e são construídos através de blocos de modelagem que, com diferentes funções e configurações, permitem ao usuário criar modelos que representem processos e sistemas reais. O armazenamento de dados e variáveis do modelo permite definir e analisar os comportamentos do sistema.

No modelo de simulação do metrô desenvolvido nesse trabalho são criados paralelamente dois tipos de entidades: passageiro e trem. À entidade trem é atribuído um limite de capacidade e sua criação na estação inicial segue o intervalo de tempo definido pelo operador como o *headway* do sistema. Em cada estação os passageiros são criados de acordo com os dados de demanda, volume e distribuição, definidos no item 3.1 desse artigo e são dispostos em fila seguindo a disciplina First In First Out (FIFO). A liberação da fila de passageiros para o embarque está sujeita a duas condições: a presença de um trem na plataforma e a disponibilidade de vaga no trem. Os passageiros liberados para o embarque são agrupados e o trem só é liberado depois que todo o grupo de passageiros estiver no trem. O desembarque de passageiros de cada trem em cada estação segue as porcentagens definidas na tabela 3 seguindo os parâmetros do modelo. Para essas operações são utilizados os blocos de modelagem Create; Assign; Hold; Batch; Separate; Decide; Delay; Enter; Route; e Station.

A construção e implementação do modelo computacional foi dividida em três etapas: inicialmente com a construção e verificação de dois módulos, embarque na estação inicial e desembarque na estação final; em seguida a construção e verificação dos módulos de embarque na estação inicial, embarque e desembarque na estação intermediária e desembarque na estação final; e concluindo, a construção e verificação do modelo completo, com as seis estações. Para a verificação do funcionamento dos módulos em cada etapa foram utilizados dados determinísticos simplificados e tabelas de controle para verificar e avaliar o

funcionamento do modelo e os resultados gerados. O modelo computacional completo foi verificado com sucesso e está representado na figura 6.

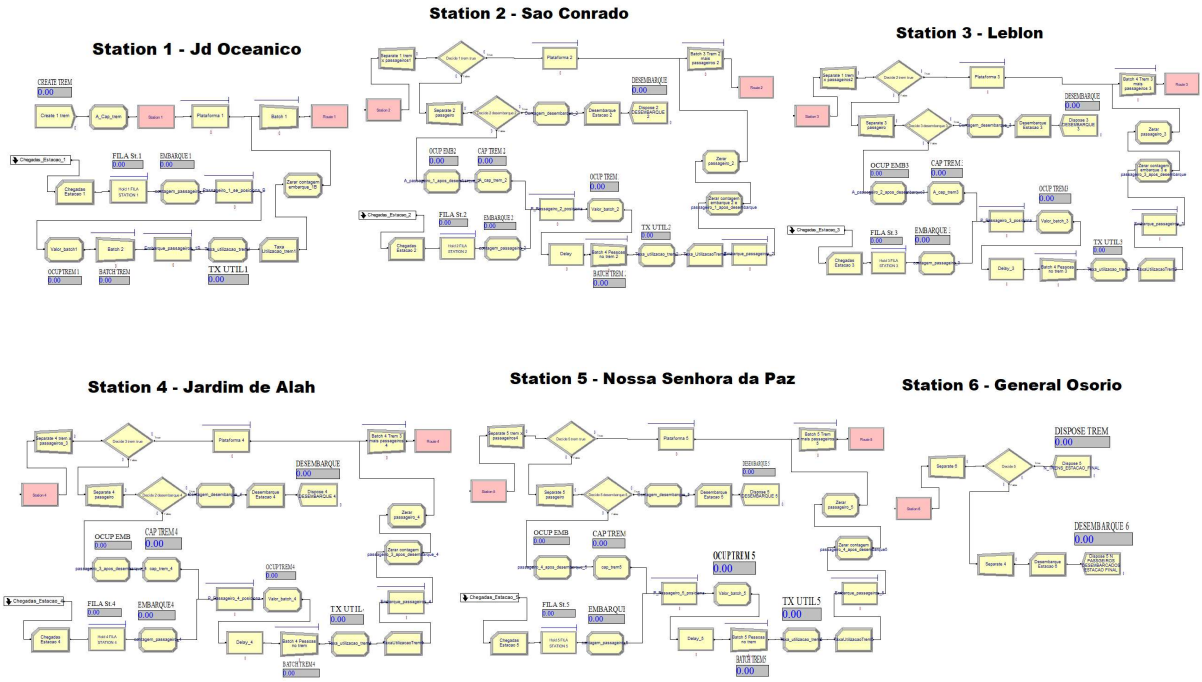


Figura 6: Modelo computacional de simulação da linha 4 do Metrô.

5. SIMULAÇÃO E RESULTADOS

5.1 Simulação com tempo de *headway* de 8 minutos conforme dados operacionais de outubro de 2016

Cada simulação foi rodada considerando o período de 180 minutos, equivalente ao intervalo de pico da manhã especificado no Estudo de Demanda para Linha 4 (FGV, 2011). Inicialmente foi realizada a simulação do modelo com o *headway* de 8 minutos, intervalo utilizado no sistema real em outubro de 2016. Os resultados da taxa de utilização e tempo de espera estão descritos na tabela 4. Nota-se que para esse *headway* a demanda projetada não é atendida satisfatoriamente, gerando sobrelotação com taxa máxima de utilização atingindo 100% em todas as estações e tempo de espera excessivo. Esse resultado é condizente com fatos noticiados na imprensa nesse período, indicando que a demanda real da linha 4 estava bem abaixo da demanda esperada, isto é, no modelo de simulação, utilizando uma demanda maior do que a demanda real, o *headway* de 8 minutos não atende com eficiência o sistema.

Tabela 4: Resultados da taxa de utilização e tempo de espera em fila com simulação de *headway* de 8 minutos.

Headway: 8 minutos	Taxa de utilização do trem			Tempo de espera em fila (minutos)		
Estação	mínima	média	máxima	mínimo	médio	máximo
Jardim Oceâncio	0,0383	0,7554	1,0000	0,0000	16,6000	34,3800
São Conrado	0,0828	0,8383	1,0000	0,0070	31,8000	89,5900
Leblon	0,0533	0,7899	1,0000	0,0005	14,3500	31,3200
Jardim de Alah	0,0544	0,7976	1,0000	0,0016	26,4900	54,8100
N. S. da Paz	0,0522	0,8013	1,0000	0,0197	25,5200	58,7550

5.2 Simulação com a análise de sensibilidade da variação do tempo de headway

Apesar de o tempo de *headway* de 8 minutos utilizado não apresentar resultados satisfatórios para atender a demanda projetada, com a frota máxima disponível de 15 composições, é possível reduzir o tempo de *headway* até um limite inteiro aproximado de 3 minutos, o que pode ser calculado ao dividir o tempo de ciclo da linha (31,33 minutos) pelo número de composições da frota (15). Nesse sentido, serão realizadas novas simulações com novos cenários realizando a variação do tempo de *headway* entre 7 e 3 minutos.

Tabela 5: Resultados da taxa de utilização com a variação do headway.

	Headway: 6 minutos			**Headway: 4 minutos**			**Headway: 3 minutos**		
	Taxa de utilização			**Taxa de utilização**			**Taxa de utilização**		
Estação	**mínima**	**média**	**máxima**	**mínima**	**média**	**máxima**	**mínima**	**média**	**máxima**
Jardim Oceâncio	0,0280	0,5861	1,0000	0,0188	0,3862	0,8350	0,0122	0,2929	0,6261
São Conrado	0,0550	0,7572	1,0000	0,0372	0,4986	1,0000	0,0277	0,3773	0,8000
Leblon	0,0500	0,7336	1,0000	0,0283	0,4840	0,9678	0,0216	0,3675	0,7889
Jardim de Alah	0,3720	0,7064	1,0000	0,0288	0,4822	0,9656	0,0194	0,3600	0,7889
N.S. da Paz	0,3720	0,7335	1,0000	0,0255	0,4840	0,9633	0,0167	0,3614	0,7767

Os resultados obtidos para a taxa de utilização do modelo nas novas simulações estão descritos na tabela 5 e mostram que é possível com o *headway* de 3 minutos diminuir os valores da taxa máxima de utilização para abaixo dos 100% em todas as estações, ou seja, nessa configuração o sistema não atinge a sobrelotação em nenhum momento. No entanto, nota-se que a taxa de utilização média nessa configuração está muita baixa, o que representa uma ineficiência do sistema. Nesse sentido, a próxima etapa do trabalho será buscar uma nova configuração para o tempo de *headway* de forma que não provoque a sobrelotação do sistema mas apresente melhores resultados para a taxa média de utilização.

5.3 Análise dos resultados e melhoria do sistema

Analisando os resultados percebe-se que a taxa de utilização é um indicador importante para avaliar o desempenho do sistema de transporte metroviário, e embora o seu aumento possa representar um fator positivo no sentido de que o sistema está tendo alta utilidade, o aumento para níveis acima de cem por cento indica a sobrelotação do sistema com composições superlotadas, comprometendo o nível de serviço e podendo provocar a fuga de passageiros. Por outro lado, um alto número de viagens com baixa utilização do transporte representa ociosidade do sistema, um indicador negativo, significando custos excessivos para o operador do sistema. O ajuste do valor de *headway* é um importante fator no balanceamento no *trade-off* entre o aumento do nível de serviço - que do ponto de vista dos passageiros está associado com menor tempo de espera e maior conforto - e a diminuição dos custos operacionais - que do ponto de vista do operador do sistema está associada à uma menor utilização da frota de trens e equipes em operação.

Considerando essa análise, e tendo como referência os valores descritos na tabela 6, foi realizada uma nova simulação utilizando dois valores diferentes de *headway* em um mesmo cenário: *headway* de três minutos para o intervalo de pico central da distribuição, dos 60 aos 120 minutos; e *headway* de 6 minutos para o restante do tempo de simulação, do 0 aos 60 minutos e dos 120 aos 180 minutos.

Pretende-se com essa combinação de valores de *headway* atingir melhores índices de utilização, com a melhor distribuição de trens de acordo com a variação da demanda do período, sem subutilizar o sistema com o excesso de trens nos períodos de menor demanda. Dessa forma, o modelo de simulação pode ser um importante instrumento para medir e avaliar o comportamento do sistema e buscar a sua melhoria. Os resultados obtidos nesse novo cenário estão descritos na tabela 6.

Tabela 6: Resultados da taxa de utilização com o *headway* de 3 e 6 minutos

Headway: 3 e 6 minutos	**Taxa de utilização do trem**		
Estação	**mínima**	**média**	**máxima**
Jardim Oceâncio	0,0283	0,4277	0,6917
São Conrado	0,0550	0,5515	0,9772
Leblon	0,0500	0,5359	0,9756
Jardim de Alah	0,0372	0,5259	0,9739
Nossa Senhora da Paz	0,3720	0,5359	0,9978

Analisando os resultados da nova simulação nota-se que os novos valores de *headway* resultaram em melhorias significativas na utilização do sistema, pois comparando com os outros cenários, as taxas médias de utilização tiveram aumento e estão melhor distribuídas ao longo das estações, e as taxas máximas não atingiram níveis de sobrelotação. Pode-se perceber ainda que essa melhoria foi obtida com um custo de 40 viagens realizadas pelos trens no sistema, número menor de viagens quando comparado aos cenários gerados com *headways* constantes de 3 e 4 minutos, em que o número de viagens foi de 60 e 45 respectivamente. O número de viagens realizadas pelos trens no sistema pode ser obtido dividindo o tempo total do período de simulação, 180 minutos, pelos tempos de *headway* de cada cenário, e estão descritos na tabela 7.

Tabela 7: Número de viagens realizadas pelos trens conforme variação do headway

Headway (min.)	Total de viagens (trem)
8	23
7	26
6	30
5	36
4	45
3	60
6 e 3	40

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo de simulação da linha 4 do Metrô foi concebido e implementado com sucesso e pode ser também adaptado para aplicação em outras configurações de sistemas metroviários a partir da atualização de seus parâmetros e inclusão de novos módulos intermediários. O software Arena se mostrou uma ferramenta eficiente e flexível para a modelagem e solução do problema de simulação do metrô.

Os resultados encontrados na busca por valores eficientes de *headway* representam melhorias significativas no desempenho do sistema e o estudo pode ser utilizado como referência para o planejamento operacional do sistema metroviário a partir de novos dados de demanda. Os

resultados do estudo também mostram que o dimensionamento da frota para a operação da linha 4 em 2016 atende com eficiência à demanda projetada no Estudo de Demanda para Linha 4 da FGV (2011).

Uma limitação do estudo está relacionada à existência de apenas uma fonte de dados para a estimação das demandas de passageiros. Nesse sentido, para trabalhos futuros, pode-se buscar novos dados de demanda, se possível dados reais que permitam análises estatísticas de forma a encontrar as distribuições que melhor representem a sua dinâmica. O modelo computacional desenvolvido pode ser aperfeiçoado com a aferição de novos indicadores e pode-se incluir no modelo os dois sentidos da linha 4 do Metrô. Novos cenários podem ser simulados para avaliar o comportamento do sistema e buscar o seu aperfeiçoamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Carvalho, C. H. R. (2016) *Desafios da Mobilidade Urbana no Brasil*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, IPEA, Brasília.

Chwif, L. e A.C. Medina (2014) *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações*. (4ª ed.) Elsevier Brasil, São Paulo.

Concessionária Rio Barra S.A. (2016) *Boletins informativos das obras do Metrô Linha 4.* Disponível em < http://www.metrolinha4.com.br>. Acessado em 20/10/2016.

FGV (2011) *Relatório Final-Estudos de Demanda: Linha 4 do Metrô do Rio de Janeiro*. Fundação Getúlio Vargas, FGV Projetos.

Halim, H. I.; Sakr, M. A. e W. M. Aly (2016) Metro Timetable Optimization from Passenger Perspective Based on Simulation Models And Incomplete Data of Passenger Flow. 2016 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI), Athens, Greece.

Kelton, W. D.; Sadowski, R. P. e D. A. Sadowski (1998). *Simulation with ARENA* (Vol. 47). WCB/McGraw-Hill, New York, USA.

Schmaranzer, D.; Braune, R. e K. F. Doerner (2016) Discrete Event Simulation Model of the Viennese Subway System for Decision Support and Strategic Planning. Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference, p. 2406-2417.

SETRANS (2015) *Plano Diretor de Transportes Urbanos da Região Metropolitana do Rio de Janeiro 2015 (PDTU-RMRJ)*. Secretaria de Estado de Transportes, Governo do Estado do Rio de Janeiro.

SMTR (2015) *Plano de Mobilidade Urbana Sustentável da cidade Rio de Janeiro (PMUS).* Secretaria Municipal de Transportes, Prefeitura do Rio de Janeiro.

Stoilova, S. e V. Stoev (2017) Methodology of Transport Scheme Selection for Metro Trains Using a Combined Simulation-Optimization Model. Promet – Traffic&Transportation, v. 29, n. 1, p. 23-33.

Sun, X.; Zhang, S.; Dong, H.; Chen, Y. e H. Zhu (2015) Optimization of Metro Train Schedules With a Dwell Time Model Using the Lagrangian Duality Theory. IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems, v. 16, n. 3, p. 1285-1293.

Yao, X.; Zhao P. e K. Qiao (2013) Simulation and evaluation of urban rail transit network based on multi-agent approach. Journal of Industrial Engineering and Management, v. 6, n. 1, p. 367-379.

You, J.; Guo, W.; Zhang,Y. e J. Hu (2016) An Effective Simulation Model for Multi-line Metro Systems Based on Origin-destination Data. IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Rio de Janeiro, Brazil, November 1-4, 2016.

PLANEJAMENTO DE REDE DE TRANSPORTE URBANO E CENTROS ATRATORES DE VIAGENS: UMA PERSPECTIVA DE OTIMIZAÇÃO BASEADA EM REDES DE PETRI

Katarini Wanini Gonçalves de Araújo
Maurício Oliveira de Andrade
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

RESUMO
A dissertação em andamento se propõe a analisar o desempenho de uma rede de transporte urbano, sob a ótica da velocidade operacional, e os impactos dessa operação na acessibilidade aos centros atratores de viagens (CAVs). Para isso, deve-se utilizar a modelagem em Redes de Petri (RdP), uma ferramenta matemática que permite a integração dos conceitos de análise de desempenho e descrição propriamente dita do sistema. O estudo deve ser aplicado em um corredor BRT na Região Metropolitana do Recife (RMR), que atende o principal CAV da região, o centro da cidade do Recife. Com isso, espera-se identificar as fragilidades da rede e sugerir medidas que poderiam otimizá-la. Pretende-se, assim, contribuir para as tomadas de decisão relacionadas ao planejamento e operação da rede de transporte urbano da RMR, visando à melhoria na qualidade e na eficiência do atendimento ao CAV.

Katarini Wanini Gonçalves de Araújo (katariniaraujo@hotmail.com)
Maurício Oliveira de Andrade (mauandrade@gmail.com)
Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco
Av. da Arquitetura, s/n – Cidade Universitária, Recife, PE, Brasil.

OTIMIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS EM OBRAS DE TERRAPLANAGEM UTILIZANDO PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA

Bruna de Almeida Morais
Viviane Adriano Falcão
Departamento de Engenharia Civil
Universidade Federal do Triângulo Mineiro

RESUMO
Com o intuito de reduzir os gastos da terraplanagem, vários estudos abordaram formas de promover a diminuição das distâncias percorridas pelos veículos transportadores, encontrando distâncias de transporte ótimas que atendam às demandas das seções de corte e aterro. Outros buscaram, ainda, encontrar rotas para os veículos de forma que todo o seu itinerário resulte na menor distância total de transporte possível, porém não consideraram a composição da frota de equipamentos e as limitações que cada um deles possui. Este trabalho tem como objetivo reformular o modelo de roteamento para múltiplos veículos de maneira que o intervalo de distâncias de transporte ideal para cada tipo de maquinário fosse incluso nele. O novo modelo foi aplicado a um exemplo fictício para fins de validação, e os resultados obtidos demonstram que o modelo é capaz de atender diferentes faixas de distâncias, fornecendo a trajetória ótima para equipamentos diversos.

ABSTRACT
Aiming to reduce earthwork expenses, many studies have approached ways to promote the decrease of the distances traveled by the hauling vehicles, finding optimal haul distances that meet the demand of the cut and fill sections. Others have even searched to find routes for the vehicles, so that their whole itinerary results on the smallest possible haul distance, but they haven't considered the composition of the equipment fleet and the limitations each of them have. This work aims to reformulate the multiple vehicle routing model so that the ideal haul distance interval for each type of machinery was included in it. The new model was applied to a fictitious example for the purpose of validation, and the results demonstrated that the model is capable of attending different distance ranges, providing the optimal trajectory for diverse equipment.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico de uma região e a capacidade de seu sistema de transportes estão intrinsecamente relacionados, pois, à medida que este é majorado, comportando maior movimentação de pessoas e cargas, aquele aparece como uma consequência, devido ao aumento das possibilidades de comércio, trabalho e intercâmbio científico e tecnológico. Da mesma forma, à medida que uma região se desenvolve economicamente, é necessária a adaptação do sistema de transportes à sua expansão e à nova demanda de deslocamento. Assim, o estudo dos sistemas de transporte e obras de infraestrutura viária é recomendável ao planejamento do progresso de uma localidade.

No Brasil, o modal rodoviário tem expressiva participação no transporte de carga como um todo, o que indica a necessidade de haver a adequação de suas vias ao grande volume de transporte a ser realizado, através de diversas obras rodoviárias de infraestrutura, seja para implementação, ampliação ou manutenção de rodovias. Como os valores despendidos nessas obras são altos, o que se justifica por sua extensão e sua frequência, a minimização das despesas em quaisquer de suas fases tem como resultado uma redução significativa no seu valor total, principalmente se for uma etapa com participação expressiva no custo da obra, como a terraplanagem.

Considerando-se que a terraplanagem corresponde a cerca de 25% do custo total da obra rodoviária, podendo esse percentual ser bem maior em obras com alta dificuldade de execução (HARE *et al*., 2011), sua otimização tem um grande impacto no custo final da obra como um todo. Ainda de acordo com Hare *et al*. (2011), um valor preciso do custo ótimo de

terraplanagem é essencial para a avaliação de um determinado projeto de rodovia. Assim, para obtenção do custo ótimo, é preciso determinar as rotas entre corte e aterro de forma que o transporte de terra seja o mínimo, além da utilização do equipamento mais adequado de acordo com as características da obra.

Alguns modelos matemáticos, como o de Mayer e Stark (1981), Easa (1987, 1988) e Jayawardane e Harris (1990), foram desenvolvidos buscando minimizar o custo das operações de terraplanagem, mas grande parte destes não observa como o percurso dos equipamentos utilizados poderia impactar na diminuição dos custos. Já outros, como de Henderson *et al* (2003), buscam encontrar a rota percorrida pelos veículos que resulte no menor custo. Porém, no estudo mais recente a considerar esse roteamento, de Falcão (2016), a variável da Distância de Transporte não foi examinada como um fator determinante para a escolha do maquinário a ser utilizado.

A inclusão da variável distância de transporte no modelo de otimização poderia resultar em um modelo que represente melhor a realidade em uma operação de terraplanagem, e, consequentemente, pode ser uma forma de determinação do equipamento mais econômico a ser utilizado. Segundo Day e Benjamin (1991), os *scrapers* são o equipamento mais indicado para operações de corte e aterro para valores de distância de transporte entre 300 pés, cerca de 92 metros, e 1,5 milha, cerca de 2400 metros. Porém, os autores referem-se a *scrapers* de maneira ampla, não especificando se são *motoscrapers* ou *scrapers* rebocados, os quais têm capacidade de percorrer distâncias mais extensas.

Ainda conforme Day e Benjamin (1991), para distâncias abaixo de 300 pés, o custo de utilização de um *scraper* deve ser comparado ao custo de utilização de um *dolzer*. Já para distâncias de transporte longas, essa comparação deve ser feita com escavadeiras ou pás carregadeiras e unidades transportadoras. Além do valor da distância de transporte, a escolha do equipamento a ser utilizado deve ser feita considerando-se outros fatores, como as características do solo a ser escavado, a declividade do terreno e o espaço disponível para manejo e condução do maquinário, entre outras. Apesar disso, Ricardo e Catalani (2007) afirmam que, se considerado individualmente, o valor da distância de transporte é o principal fator a ser considerado na escolha do equipamento.

Segundo esses autores, para distâncias consideradas pequenas, menores que 50 metros, é indicado o uso de máquinas de esteira com lâmina, que, apesar de apresentarem baixas velocidades, inferiores a 10 km/h, apresentam também custos baixos. Já para distâncias maiores que 100 m, os autores recomendam o uso de *scrapers* rebocados ou *motoscrapers*, que transportam maiores volumes.

Ricardo e Catalani (2007) dizem, ainda, que de acordo com estudos feitos pelo *Highway Research Board*, quando as distâncias de transporte compreendem-se entre 50 metros e 200 metros, o *scraper* rebocado é utilizado mais frequentemente. Já o *motoscraper*, se for pequeno ou médio, é preferido na faixa de 100 metros a 400 metros, e, se for de grande capacidade ou de dois motores, são indicados para distâncias entre 300 metros e 750 metros. Por outro lado, para distâncias superiores a 900 metros, os autores recomendam a adoção de equipamentos de baixo custo, viabilizando uma frota com muitas unidades de transporte e carregamento realizado por máquinas escavocarregadoras.

Assim, o objetivo deste trabalho é propor um modelo que considere o tipo de maquinário a ser utilizado nas operações de terraplanagem como um fator limitante das distâncias a serem percorridas e seu consequente reflexo no custo total e no tempo gasto para realizar essas operações.

2. MODELOS MATEMÁTICOS APLICADOS À TERRAPLANAGEM

Nos modelos que foram previamente aplicados à terraplanagem, existem duas abordagens distintas. A primeira diz respeito ao problema de transporte, que visa à redução do custo total das viagens, sem analisar qual rota o caminhão deve percorrer. Assim, o resultado fornecido é apenas de quais seções de excesso e para quais seções de déficit a terra deve ser levada, sem considerar o custo do transporte que decorrerá dos deslocamentos dos veículos nos trechos intermediários entre essas seções. A segunda diz respeito ao problema de roteamento, que fornece, como resultado, todo o caminho ordenado a ser percorrido pelos veículos durante as operações de terraplanagem, oferecendo um cálculo de custo total mais próximo do real.

2.1 Modelos matemáticos aplicados ao problema de transporte na terraplanagem

Mayer e Stark (1981) formularam um modelo em que o custo total deve ser minimizado, determinando-se os valores das variáveis de distância. Algumas seções possuem determinados volumes de solo disponíveis para corte, e outras devem ser aterradas. Assim, o modelo visa a determinar quanto do solo disponível para corte em cada seção deve ser transportado para as seções a serem aterradas.

O custo unitário é determinado de acordo com o custo de escavação e aterramento de cada um desses locais e o custo de transporte, sendo este último resultante da distância entre eles e do custo por unidade de distância percorrida. O custo total será a soma dos valores das multiplicações de cada volume a ser transportado de um local de corte a um local de aterro pelo custo unitário de cada uma dessas operações de um local a outro.

Esses autores consideraram no modelo as variações que o empolamento e a compactação do solo nesses locais também ensejam nos valores de custo unitário, uma vez que o volume de solo tende a aumentar quando escavado e a diminuir quando compactado. Outro fator que foi considerado pelos autores é a necessidade ou a conveniência de serem estabelecidos locais de disposição ou de empréstimo nas proximidades da rodovia, o que geraria custos de implantação, como a aquisição do terreno ou obtenção de servidão de passagem, a preparação do terreno para escavação ou aterramento e a construção e manutenção de vias de acesso. Assim, o modelo fornece também quais são os volumes a serem transportados para esses locais de disposição ou recebidos desses locais de empréstimos, caso sejam utilizados.

Easa (1987, 1988) expandiu o modelo de Mayer e Stark, de forma que este pudesse abranger variáveis de custo lineares e não constantes, já que diversos fatores podem fazer com que os custos unitários variem. O autor exemplifica esses fatores, abordando variações nos custos unitários de escavação, que dependem da quantidade de material a ser escavado e do tipo de solo, variações nos custos unitários de transporte, que dependem, entre outros condicionantes, dos tipos de unidades transportadoras, da distância de transporte e da oscilação de preços de acordo com a faixa de volume a ser transportado, e variações no custo unitário de compactação, que é determinado de acordo com o tipo de equipamento a ser utilizado, este escolhido conforme o tipo de solo, o nível de compactação requerido e outras condições operacionais.

O autor também aborda a variação nos custos de aquisição de áreas de empréstimo, que mudam de acordo com a localização da área, se em zona rural ou urbana, e que podem mudar de acordo com a quantidade utilizada, e de áreas de bota-fora, que representam uma porção muito pequena quando comparados aos custos de outras atividades de terraplanagem, uma vez que, na maioria das vezes, esse custo não varia conforma a quantidade de material a ser disposto.

Easa (1987, 1988) analisa, portanto, quais os fatores que variam de acordo com a quantidade de material a ser operado, reformulando-os como variáveis não constantes, sendo esses fatores o custo de aquisição e de escavação em uma área de empréstimo. As outras variáveis, que não dependiam da quantidade de material, foram inseridas no modelo como constantes. Assim, o autor tornou o modelo mais adequado à realidade das atividades de terraplanagem.

Jayawardane e Harris (1990) incorporaram ao modelo de Mayer e Stark (1981) a duração do projeto de acordo com as distâncias de transporte e outros fatores práticos, como a variação de extratos do solo, diferentes graus de compactação em extratos diferentes de um mesmo solo, um número maior de áreas de empréstimo e locais de disposição, além de condicionais de tempo, como a necessidade de que uma seção da rodovia seja concluída antes que as obras comecem em outra.

2.2 Modelos matemáticos aplicados ao problema de roteamento na terraplanagem

Henderson *et al.* (2003) abordaram o Problema do Caminho Mínimo entre Corte e Aterro (*Shortest Route Cut and Fill Problem* - SRCFP), que busca uma rota para um único veículo transportador de solo que minimize a distância total percorrida entre localizações de corte e aterro. Esse problema baseia-se no Problema do Caixeiro Viajante - PCV, o qual consiste em encontrar um passeio através de um circuito hamiltoniano (ou seja, um circuito em que todos os vértices devem ser visitados apenas uma vez e em que se deve retornar ao vértice inicial) em que cada um de seus vértices representa uma cidade a ser visitada pelo caixeiro (GOLDBARG; LUNA, 2005).

O SRCFP diferencia-se do PCV pelo fato de que o veículo deve visitar, alternadamente, vértices que representam seções de corte e vértices que representam seções de aterro, além da possibilidade de um local ser visitado mais de uma vez (LIM; RODRIGUES; ZHANG, 2005).

Como a enumeração de todas as possibilidades seria um processo ineficiente, considerando-se o grande número de seções, Henderson *et al.* desenvolveram um algoritmo que pudesse fornecer a rota ótima ou quase ótima para um único veículo. Para desenvolvê-lo, esses autores determinaram que uma rota é o caminho percorrido pelo veículo de forma a visitar todas as seções de corte e aterro, alternadamente, uma única vez, e retornar à seção de corte inicial. O parâmetro a ser minimizado é a distância total de transporte, que corresponde à extensão de uma rota.

Assim, ainda segundo Henderson *et al.* (2003), o problema de roteamento difere do problema de transporte ao considerar a necessidade de que o veículo atenda alternadamente a uma seção de corte e uma de aterro, buscando minimizar, assim, o custo total resultante das viagens entre seções de corte e aterro, e não apenas o custo do percurso entre seções. Os autores utilizaram

um algoritmo de recozimento simulado e modelaram o SRCFP como um problema de otimização discreta.

Falcão (2016) aumentou a abrangência do modelo ao reformulá-lo de forma a obter a solução do Problema do Caminho Mínimo entre Corte e Aterro para múltiplos caminhões, problema conhecido como Problema de Roteamento de Corte e Aterro com Múltiplos Caminhões (*Truck Route Cut and Fill Problem* – TRCFP). Dessa forma, o modelo torna-se aplicável a um número maior de operações de terraplanagem, que utilizam mais de um veículo transportador, o que apresenta como vantagem a possibilidade de uma redução drástica no tempo total de operação. Assim, o modelo pode fornecer as rotas mais econômicas para cada caminhão basculante, de forma a obter-se um itinerário otimizado da operação de terraplanagem.

Assim, o modelo da autora viabiliza a definição das rotas ótimas para cada caminhão de forma a minimizar a distância total de transporte percorrida por cada um deles, e, consequentemente, a distância total de transporte de toda a operação de terraplanagem. Apesar disso, o modelo não contempla a possibilidade de que um tipo de unidade transportadora possa ser mais viável que outras, conforme essa distância total percorrida. Assim, a inclusão da restrição referente à DMT nesse modelo poderia resultar em uma escolha de equipamento mais eficiente.

3 PROBLEMA DE ROTEAMENTO COM MÚLTIPLOS VEÍCULOS COM RESTRIÇÃO DE DISTÂNCIA DE TRANSPORTE

Inicialmente, foram definidos os fundamentos do problema para possibilitar sua devida compreensão. Em seguida, o SRCFP proposto por Henderson *et al.* (2003), com um único veículo de transporte, foi formulado computacionalmente, assim como o TRCFP proposto por Falcão (2016). Assim, foi possível estabelecer as bases para a inserção de uma nova restrição no modelo.

Por fim, a limitação referente à Distância de Transporte foi incorporada ao modelo do TRCFP, e foi feita a validação deste novo modelo através de um exemplo. Esse exemplo foi, também, aplicado nos modelos de SCRFP e TRCFP para fins de comparação.

3.1 Definição do problema

O Problema de Roteamento de Corte e Aterro com Múltiplos Caminhões mostra-se eficiente quanto à determinação do fluxo a ser percorrido pelos veículos em obras rodoviárias de terraplanagem. Apesar disso, sabe-se que as distâncias a serem percorridas por esses veículos variam de acordo com as limitações do equipamento escolhido, e que a utilização do maquinário inadequado pode ter consequências impactantes no custo total da obra. Assim, ao decidir previamente qual deve ser o tipo de equipamento utilizado, ou qual equipamento deve ser evitado, é possível limitar as rotas a serem percorridas pelos veículos para que suas extensões não sejam superiores ou inferiores à faixa ótima de utilização do maquinário.

Assim, se a análise das condições da obra estabelecer que, por algum fator natural, técnico ou operacional, um determinado equipamento não pode ser utilizado, a faixa ideal de distâncias na qual esse equipamento atua pode ser excluída no modelo. Dessa forma, o veículo escolhido para realizar as operações de terraplanagem, que terá um intervalo de distâncias ideais

distinto, não percorrerá trechos com extensões na faixa de atuação do equipamento descartado.

3.2 Formulação matemática

O modelo do problema de roteamento com múltiplos veículos e restrição de distância de transporte é representado nas Equações (1) a (11).

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{(i,j)\in A} D_{ij}X_{ijk} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$x_{ijk} + x_{jik} \leq 1 \quad \forall\ (i,j) \in A, \text{ com } i < j \quad (2)$$

$$\sum_{i\neq j} f_{ij} - \sum_{i\neq j} f_{ji} = 1,\ \forall\ i,j \in G / j \neq 1,\ i,j = 1,\ldots,p \quad (3)$$

$$f_{ij} \leq (n-1)x_{ijk},\ \forall\ i,j \in G \quad (4)$$

$$x_{ijk} + x_{jik} = 0,\ \forall\ (i,j) \in A / DT_{mín} \geq d_{ij} \geq DT_{máx},\ d_{ij} \in D \quad (5)$$

$$\sum_{j} x_{ijk} = y_{ik},\ i = 1,\ldots,m \text{ e } k = 1,\ldots,t \quad (6)$$

$$\sum_{j} x_{ijk} = y_{jk},\ j = 1,\ldots,n \text{ e } k = 1,\ldots,t \quad (7)$$

$$\sum_{k} y_{ik} = 1,\ i = 1,..,n \quad (8)$$

$$\sum_{i,j} x_{ijk} \leq v,\ k = 1,\ldots,t \quad (9)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\}\ \ \forall\ (i,j) \in A \text{ e } k = 1,\ldots,t \quad (10)$$

$$y_{jk} \in \{0,1\}\ \ j = 1,\ldots,n \text{ e } k = 1,\ldots,t \quad (11)$$

Em que: m = número de unidades de corte;
n = número de unidades de aterro;
w = quantidade de unidades de corte e aterro, ou seja, m + n;
A = conjunto de arcos de cortes para os aterros e de aterros para cortes;
p = quantidade de seções de corte ou aterro;
G = vetor de posições das seções de corte e aterro;
K = quantidade de caminhões, $k = 1, 2, \ldots, t$;
D_{ij}=matriz de distâncias entre seções de corte e aterro;
x_{ijk} = variável binária que assume o valor 1 quando o caminhão k transporta material do corte i para o aterro j, sendo 0, caso contrário;
y_{ik} = variável binária que assume o valor 1 quando o caminhão k transporta material do corte i, sendo 0, caso contrário;
f_{ij}=variável de fluxo que assume valor positivo se x_{ijk}=1, $f_{ijk} \in R^+$;
DT = a distância de transporte limite do equipamento, a depender do seu tipo, sendo $DT_{mín}$ a distância mínima a ser percorrida e $DT_{máx}$ a distância máxima a ser percorrida;
v = variável de balanceamento de veículos, sendo determinada de acordo com a proporcionalidade desejada.

A função objetivo (1) minimiza a distância total percorrida pelo veículo que faz o transporte de terra entre seções de corte e de aterro, alternadamente. A restrição (2) impede a formação de subcircuitos, ou seja, impede que o veículo retorne a uma seção intermediária de sua rota sem atender todas as seções. As restrições (3) e (4) têm como objetivo garantir a continuidade do fluxo, assegurando que o caminhão siga para a próxima seção.

O conjunto de restrições (6) e (7) assegura que de uma seção de corte o veículo deve seguir para uma única seção de aterro, impedindo que o percurso seja interrompido, enquanto a restrição (8) garante que uma unidade de corte ou aterro será atendida por uma única máquina. Já a restrição (9) tem como objetivo evitar a sobrecarga de veículos em cada trecho e, consequentemente, uniformizar a distribuição de viagens para o maquinário disponível.

Por fim, a restrição (5) limita distância de transporte a ser percorrida em cada trecho de acordo com o equipamento a ser utilizado. Ao serem determinadas as distâncias mínima e máxima do maquinário, ou seja, sua faixa de atuação, o modelo exclui do percurso os trechos que não se encontrem nesse intervalo, adequando as operações ao desempenho do equipamento.

3.3 Validação do modelo

Para validar o modelo, foi utilizado um exemplo fictício de um trecho de estrada com nove seções de corte e nove de aterro, com diferentes volumes e distâncias entre si. O objetivo desse exemplo foi possibilitar que um mesmo trecho comportasse distâncias de diversos valores entre as seções, de forma que pudessem ser adotados múltiplos tipos de equipamentos com os quais fosse possível encontrar soluções. A Tabela 1 apresenta as distâncias, em metros, entre os centros de massa de cada seção de corte a cada seção de aterro.

Tabela 1: Distâncias, em metros, entre as seções de corte e aterro do exemplo fictício.

DISTÂNCIAS		**ATERROS**								
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
CORTES	**1**	350	700	850	1000	1200	1300	1600	1600	1800
	2	500	450	600	800	1000	1100	1300	1200	1500
	3	550	400	600	650	800	850	1000	950	1050
	4	450	300	750	700	700	850	1100	1000	1500
	5	850	650	600	650	550	600	650	950	1150
	6	950	800	500	600	400	700	550	750	1000
	7	1400	1200	1100	1250	500	350	450	350	750
	8	1450	1250	900	1100	700	450	500	550	750
	9	1650	1600	950	1350	1200	450	750	600	850

Quanto aos volumes de corte, considerou-se que os Cortes 1, 3, 4, 6, 7 e 9 requeriam a retirada de 4 m³ de terra, enquanto os Cortes 2, 5 e 8 requeriam a retirada de 3 m³. Já quanto aos volumes de aterro, considerou-se que os Aterros 1, 4 e 7 comportavam 5 m³, enquanto os Aterros 2, 3, 5, 6, 8 e 9 comportavam 3 m³. Para encontrar a quantidade de unidades de cortes ou de aterro em cada um dos pontos analisados, foram divididos seus volumes totais pelo valor da unidade de carregamento, ou seja, a capacidade do veículo, que foi adotada como 1 m³, independentemente do seu tipo.

Para a solução computacional do problema, foi utilizado o CPLEX 12.6, que é um *software* da IBM que oferece bibliotecas C, C++, Java, .NET e Python que resolvem programação linear e problemas relacionados em que o objetivo a ser otimizado pode ser expresso como uma função linear (IBM, 2014). O programa foi executado em um sistema operacional Windows 10 de 64 Bits, com processador Intel Core i7 e 8 GB de memória RAM.

Inicialmente, para fins de comparação, o exemplo foi aplicado no modelo SRCFP. A distância de transporte total obtida foi de 34800 metros. Em seguida, foi testado o modelo TRCFP, para dois caminhões, e a distância de transporte obtida foi de 34750 metros. Posteriormente, o exemplo foi utilizado para a validação do modelo com a limitação de distância de transporte. Novamente, foram adotados dois veículos com capacidade de 1 m³, prezando a facilidade de compreensão do exemplo. Foram consideradas duas situações: uma em que uma equipe composta por *motoscrapers* e *pushers* não é aceitável e outra em que uma equipe composta por carregadeiras ou escavadeiras e caminhões basculantes não pode ser utilizada.

Na primeira situação, as distâncias de transporte compreendidas na faixa de atuação de um *motoscraper* devem ser desconsideradas, pois o maquinário a ser utilizado deverá trabalhar com distâncias superiores à distância máxima na qual o *motoscraper* é viável. Assim, o limite $DT_{mín}$ do modelo foi estabelecidos como 750 metros, seguindo as orientações de Ricardo e Catalani (2007), não havendo um limite máximo. Dessa forma, todos os trechos que possuíam extensões inferiores a esse valor foram excluídos das rotas dos veículos, sendo a rota ótima determinada dentre os trechos restantes. Os resultados forneceram uma distância total de transporte de 68000 metros.

Por fim, o modelo foi aplicado à segunda situação, em que não se pode utilizar a combinação de unidades escavocarregadoras e unidades de transporte. Como, segundo Ricardo e Catalani (2007), essa equipe é indicada para distâncias superiores a 900 metros, o limite de distância de transporte utilizado foi $DT_{máx}$ = 900 metros. Não foi estabelecido um limite mínimo. Dessa vez, os trechos que possuíam extensões superiores a 900 metros não foram abarcados na rota ótima. A distância total de transporte obtida foi de 35500 metros. Os resultados dos quatro modelos são apresentados na forma de gráfico na Figura 1.

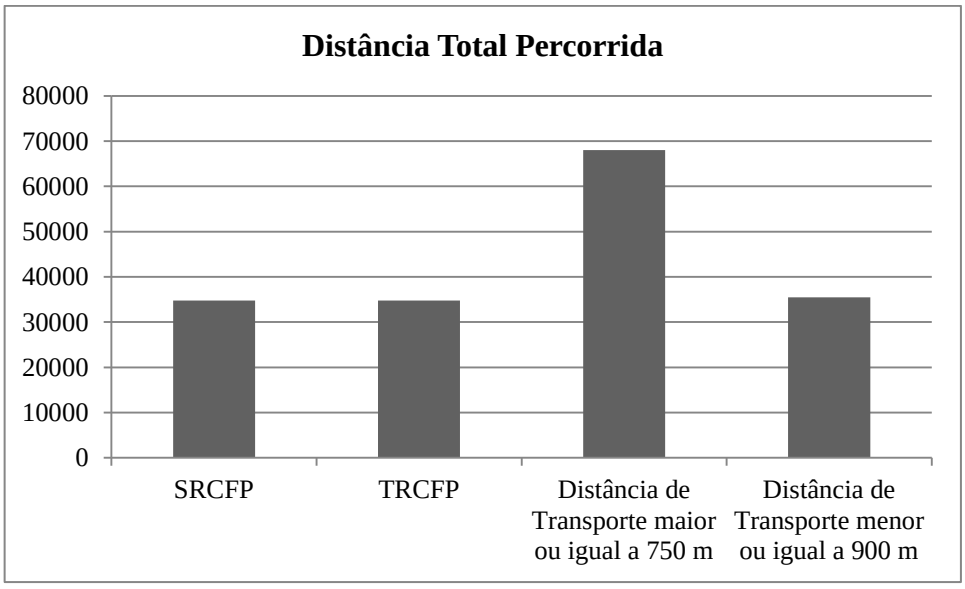


Figura 1: Distância total percorrida em cada modelo.

3.4 Resultados e discussões

Através dos resultados obtidos, pode-se observar que a distância total de transporte do modelo TRCFP, com dois veículos, foi inferior ao total percorrido por um único caminhão no modelo SRCFP. Considerando-se, ainda, que o Veículo 1 fez cerca de 55% das viagens e o Veículo 2, cerca de 45%, o tempo decorrido nas operações de transporte foi reduzido a quase metade do tempo de um único veículo. Observa-se, portanto, que a utilização de mais de um veículo teve resultados positivos no exemplo adotado.

Observa-se, também, que a distância total de transporte obtida no modelo com distâncias superiores a 750 metros foi altíssima, quase duas vezes o valor da distância do modelo com distâncias inferiores a 900 metros. A utilização de dois veículos promove uma grande redução no tempo total das operações, se comparado a um único veículo, uma vez que o Veículo 1 fez cerca de 52% das viagens, e o Veículo 2, cerca de 48%.

Já a distância total de transporte obtida no modelo para a segunda situação foi muito próxima à fornecida pelo modelo TRCFP, que é a distância proveniente da menor rota genérica, ou seja, sem nenhuma especificação quanto ao maquinário e, consequentemente, à distância de transporte. A proporcionalidade de viagens entre os veículos foi semelhante à do TRCFP (Veículo 1 = 55% e Veículo 2 = 45%), o que indica que a redução do tempo em relação a um único veículo será a mesma. Assim, percebe-se que equipes que têm seu intervalo de atuação ótimo inferiores a 900 metros são adequadas ao trabalho nas operações de terraplanagem do exemplo adotado, pois, apesar de suas limitações, têm um desempenho próximo ao ideal calculado.

De acordo com as especificações de itens constantes do catálogo da Caterpillar, 2016, as velocidades máximas de um trator-escrêiper carregado e de um caminhão articulado carregado giram em torno de 53.5 km/h e 56 km/h, respectivamente. Essas velocidades foram adotadas como as velocidades médias de operação das equipes nas duas situações de aplicação do exemplo, para fins de cálculo do tempo dispendido no transporte na terraplanagem.

Na primeira situação, como não seria possível utilizar um *motoscraper*, poderiam ser utilizadas unidades de transporte, como caminhões articulados. Considerando-se que os dois caminhões trabalharam concomitantemente, foram divididas as distâncias percorridas por cada um deles pela velocidade adotada, sendo, assim, obtidos os tempos que levaram para circular todo o seu percurso. Os resultados são apresentados na Tabela 2:

Tabela 2: Distância e tempo para cada caminhão articulado.

Veículo	Velocidade (km/h)	Distância (metros)	Tempo (minutos)
Caminhão 1	56	36800	39,43
Caminhão 2	56	31200	33,43

Na segunda situação, não podendo ser utilizadas unidades de transporte, pode-se optar pelo uso de tratores-escrêiperes. Novamente, foi considerado que os dois tratores-escrêiperes realizaram o trabalho concomitantemente, e o mesmo processo foi utilizado para encontrar os tempos de percurso de cada um deles, mostrados na Tabela 3:

Tabela 3: Distância e tempo para cada trator-escrêiper.

Veículo	Velocidade (km/h)	Distância (metros)	Tempo (minutos)
Trator-escrêiper 1	53,5	19300	21,64
Trator-escrêiper 2	53,5	16200	18,17

O tempo total de operação da primeira equipe será de 21,64 minutos, enquanto o da segunda equipe será de 39,43 minutos. A partir desses resultados, observa-se que o tempo operacional na primeira situação será muito maior do que na segunda, pois as extensões dos trechos a serem percorridos nesta são muito menores do que naquela, e as velocidades médias dos diferentes equipamentos são muito próximas. Assim, analisando-se apenas os aspectos das distâncias e do tempo, sem considerar outros fatores que podem influenciar no desempenho do maquinário, a equipe de unidades de transporte deveria ser utilizada apenas em casos extremos, em que não haja outra opção devido à inviabilidade do uso de outras equipes.

4 CONCLUSÕES

A adição da limitação da distância de transporte ao modelo apresentou, como benefício, a possibilidade de melhor adequação do modelo a uma situação real, na qual, frequentemente, uma única equipe de maquinário realizará um grande número de operações, não sendo viável que esta percorra distâncias muito variadas. O modelo permite, também, uma análise da melhor equipe quando não há um fator limitante, e o critério de decisão é, portanto, exclusivamente econômico ou relativo ao tempo de execução, auxiliando a escolha da composição da equipe de terraplanagem.

Apesar disso, o modelo apresenta limitações pertinentes à frota utilizada. Presume-se que as frotas sejam homogêneas em ambas as situações em que o exemplo foi aplicado, mas pode haver situações reais em que ela não o seja. O modelo apresentado neste trabalho não é capaz de atender essas condições, uma vez que não seria possível inserir múltiplos intervalos de distâncias de transporte, pois estas seriam consideradas válidas para todos os veículos, sem diferenciá-los.

Assim, para estudos futuros, sugere-se a elaboração de um modelo que seja capaz de atender frotas heterogêneas, além das homogêneas. Outra possibilidade de estudo seria o desenvolvimento de um modelo que aprimore ainda mais o problema do roteamento ao considerar outros fatores que influenciam na decisão dos equipamentos de terraplanagem, como a inclinação do terreno e a capacidade de suporte do solo, tornando-o mais apropriado a uma situação real.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais - FAPEMIG, ao apoio financeiro recebido via edital de participação individual em eventos de caráter científico e tecnológico, para apresentação e publicação deste artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CATERPILLAR. Disponível em: < http://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment.html>. Acesso em 05/06/2016.

DAY, D. A. e BENJAMIN, N. B. H. Construction Equipment Guide. 2ª ed. John Wiley & Sons, Inc. 1991. 464 p. (Wiley series of practical construction guides).

EASA, S. (1987). Earthwork Allocations with Nonconstant Unit Costs. Journal of Construction Engineering and Management. 113, 34–50.
EASA, S. (1988). Earthwork Allocations with Linear Unit Costs. Journal of Construction Engineering and Management. 114 (4), 641–655. doi: 10.1061/(ASCE) 0733- 9364 (1988) 114:4 (641)
FALCÃO, V. A. Modelo de roteirização para a terraplenagem em obras rodoviárias aplicando programação linear inteira. 2016. 104 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2016.
GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. Otimização Combinatória e Programação Linear. 2 ed. Rio de Janeiro: Campus, 2005.
HARE, L. W.; KOCH, V. R.; LUCET, Y. (2011) Models and algorithms to improve earthwork operations in road design using mixed integer linear programming. European Journal of Operational Research, 215, 470-480
HENDERSON, et al. Solving the shortest route cut and fill problem using simulated annealing. European Journal of Operational Research 145 (2003) 72–84.
IBM ILOG CPLEX Optimization Studio CPLEX User's Manual (2014). Version 12 Release 6. Disponível em: <https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/SSSA5P_12.6.1/ilog.odms.studio.help/pdf/usrcplex.pdf>.
JAYAWARDANE, A. K. W.; HARRIS, F. C. (1990) Further development of integer programming in earthwork optimization, Journal of Construction Engineering and Management. 1990.116:18-34.
LIM, A; RODRIGUES, B and ZHANG, J. (2005). Tabu search embedded simulated annealing for the shortest route cut and fill problem. Journal of the Operational Research Society (2005) 56, 816–824.
MAYER, R. H. e STARK, R. M. (1981), Earthmoving Logistics. Journal of the Construction Division, 107(2), 297-312.
RICARDO, H. S. e G. CATALANI Manual Prático de Escavação - Terraplenagem e Escavação de Rocha. São Paulo: PINI, 2007.

Bruna de Almeida Morais (brunaalmeida2302@gmail.com)
Viviane Adriano Falcão (viviane.falcao@uftm.edu.br)
Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Triângulo Mineiro– Uberaba, MG, Brasil

CONCEPÇÃO DE SISTEMA DE CONTROLE SEMAFÓRICO PARA OTIMIZAÇÃO DE FLUXO DE TRÁFEGO EM VIAS URBANAS

Ana Caroline Meireles Soares
Prof. Dr. João Viana da Fonseca Neto
Universidade Federal do Maranhão - UFMA
Departamento de Engenharia de Eletricidade
Prof. Drª. Patrícia Helena Rêgo
Universidade Estadual do Maranhão – UEMA
Departamento de Matemática e Informática - DEMATI

RESUMO
Este trabalho propõe levantar uma concepção de sistema de otimização do fluxo de tráfego através de estratégias traçadas aos semáforos em cruzamentos de forma isolada. O objetivo é apresentar uma concepção de sistema que possa ser aplicado em cruzamentos reais da cidade escolhida para o estudo de caso, em que o sistema projetado seja capaz de se antecipar aos eventos, tendo como propósito diminuir ou evitar congestionamentos. A metodologia deste trabalho será dividida em três partes: (i) estimação da matriz OD (origem–destino), apresentando uma proposta aplicável aos cruzamentos característicos da região; (ii) reconhecimento de padrão através de técnicas de agrupamento *fuzzy* e (iii) otimização dos tempos de semáforo a cada padrão encontrado. Através destas medidas, pretende-se obter um controle de tráfego, melhorando o trânsito local.

Ana Caroline Meireles Soares (carolsdr17@gmail.com)
Patrícia Helena Moraes Rêgo (phmrego@yahoo.com.br)
João Viana da Fonseca Neto (jviana@dee.ufma.br)
Departamento de Pós-Graduação em Engenharia de Eletricidade, Universidade Federal do Maranhão
Av. dos Portugueses, 1966 - Vila Bacanga, São Luís - MA, 65065-545

PLANEJAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO DE VAGÕES VAZIOS PARA FORMAÇÃO DE TRENS CONSIDERANDO INCERTEZAS NA OFERTA E DEMANDA DE VAGÕES

Luiza Gagno Azolin
Leidimara Scheffer Favero
Rodrigo de Alvarenga Rosa
Patricia Costa Louzada
Universidade Federal do Espírito Santo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

RESUMO
No transporte ferroviário é comum formar trens que transportam exclusivamente vagões vazios para carregar em outro pátio, elevando os custos operacionais da ferrovia. Uma estratégia parra reduzir esses custos seria aproveitar a folga de capacidade dos trens de vagões carregados para transportar também os vazios. Entretanto, a oferta e a demanda de vazios nos pátios possuem incertezas em função de atrasos nas operações dos pátios e na circulação dos trens. Assim, este artigo propõe um modelo matemático baseado em um vetor espaço-tempo e três modos para tratar a incerteza nos valores de demanda e de oferta de vagões vazios disponibilizada em cada pátio e em cada momento, para a distribuição de vagões vazios. O *solver* CPLEX 12.6 foi utilizado para testar o modelo com dados da Estrada de Ferro Vitória a Minas. Foram avaliados os impactos dos três modos de tratar incerteza na distribuição de vazios.

ABSTRACT
Railways make up trains to transport only empty wagons to load in another rail yard, increasing its operational costs. One strategy to reduce these costs would be to take advantage of the slack capacity of loaded freight trains to carry also the empty ones. The supply and demand of empty wagons in the yards have uncertainties due to delays in the operations of these yards and in the traveling time of the trains. Thus, this article proposes mathematical model based on a space-time vector and three ways to deal with the uncertainty in the demand and supply values of empty wagons made available in each yard and in each moment, for the distribution of empty wagons. CPLEX 12.6 solver was used to test the model with data from the Vitória a Minas Railroad. The impacts of these analyses were evaluated.

1. INTRODUÇÃO

Tendo em vista que muito pátios ferroviários somente carregam vagões e outros somente descarregam vagões, ocorre, então, naturalmente um desbalanceamento entre oferta de demanda de vagões vazios ao longo da ferrovia. Para tratar esta situação, a maioria da ferrovia lança mão de trens que viajam vazios do pátio de descarga para o pátio de carregamento. Isto acarreta um aumento dos custos operacionais da ferrovia, tendo em vista que um trem exclusivamente formado de vagões vazios acarreta custos com maquinista, combustível, além de não gerar receita para a ferrovia. Assim, buscar diminuir o número de trens de vagões vazios pode ser uma boa alternativa para reduzir os custos da ferrovia. A distribuição e entrega de vagões vazios para atender à demanda dos pátios de carregamento é conhecida como distribuição de vagões vazios e, conforme visto anteriormente, é fator chave para garantir a competitividade e a confiabilidade no transporte ferroviário (Melo *et al.*, 2008).

No entanto, sabe-se que no dia a dia operacional, contratempos operacionais ocorrem e nem sempre o que estava programado para carregar e/ou descarregar vagões são cumpridos e com isso todo o planejamento da distribuição de vagões vazios pode ficar comprometido. Assim, realizar um planejamento que incorpore nos seus resultados as incertezas em relação à demanda e oferta de vagões vazios nos pátios ferroviários é muito relevante para as ferrovias a fim de ter planos mais realistas e exequíveis. Para atender a esta nova classe de problemas, são propostos os modelos matemáticos que incorporem na modelagem do problema as questões da incerteza,

quer sejam na oferta/demanda ou no tempo de circulação. Este artigo tratará de incertezas na oferta e demanda de vagões vazios.

Foletto *et al.* (2016) propuseram um modelo matemático de Programação Linear Inteira para a distribuição de vagões vazios utilizando a estratégia de aproveitar a folga de tração dos trens carregados. Por exemplo, para formar um trem que demanda 6.000HP de potência para deslocar o peso dos vagões carregados a ferrovia só dispõe de locomotivas de 4.000HP e, assim, deve-se acoplar duas locomotivas que somadas entregam 8.000HP de potência, gerando, assim, uma folga de tração de 2.000HP. Desta forma, poder-se-ia acoplar um conjunto de vagões vazios que demandasse até os 2.000HP de folga de tração na cauda do trem, evitando assim, a formação de um trem exclusivamente de vagões vazios.

O modelo proposto neste artigo foi elaborado com base no modelo de Foletto *et al.* (2016). A diferença entre estes modelos é que o modelo proposto neste artigo considera as incertezas na demanda de vagões solicitada e na oferta de vagões vazios em cada pátio ferroviário, enquanto o modelo de Foletto *et al.* (2016) não as considera. Sungur (2007) apresenta diferentes formas de tratamento da incerteza nos problemas de roteirização de veículos (VRP - Vehicle Routing Problems) por meio da metodologia de otimização robusta. Este artigo faz a adaptação da metodologia proposta por Sungur (2007) para ser introduzida no modelo matemático proposto por Foletto *et al.* (2016).

Com o intuito de avaliar o modelo matemático proposto, o mesmo foi aplicado à Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM) na distribuição de vagões vazios que atendem ao transporte de carga geral. Os dados utilizados foram coletados do dia 01 de janeiro de 2017 ao dia 30 de maio de 2017. Realizou-se uma média ponderada com os valores obtidos nesse período que serviu de instância base, denominado caso real. Os testes foram divididos em três modos de geração da incerteza: *convex hull*, *box* e *elipsoid*. Baseado na instância base, foram elaboradas mais 30 instâncias. Sendo que 10 instâncias foram usadas para avaliar a incerteza pelo modo *convex hull*, 10 instâncias para tratar a incerteza com o modo *box* e 10 instâncias para tratar a incerteza com o modo *elipsoid*. A elaboração e o detalhamento dessas instâncias serão apresentados na Seção 4. O modelo foi resolvido usando o *solver* CPLEX 12.6. Análises quanto ao impacto da incerteza e do modo utilizado para tratá-la são apresentadas na Seção 5.

O artigo está estruturado em seis seções, incluindo esta introdução. Na Seção 2 descreve-se o problema de distribuição de vagões vazios e também é realizada uma revisão da literatura sobre o tema. A Seção 3 apresenta o modelo matemático proposto e as três formas de tratamento da incerteza. Na Seção 4 é apresentado o estudo de caso da EFVM e como os cenários de teste foram elaborados. Na Seção 5 são apresentados os resultados obtidos e as análises. Na Seção 6 são apresentadas as conclusões e por fim as referências.

2. O PROBLEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE VAGÕES VAZIOS

O problema da distribuição de vagões vazios consiste em alocar os vagões atribuídos pelo método de distribuição aos trens contidos na grade, de modo que estes vagões sejam transportados dos pátios onde existe oferta para pátios onde existe demanda (Costa, 2010). Via de regra, o problema de distribuição de vagões vazios é resolvido por meio do uso de uma rede espaço-tempo para representar a operação de trens, entre pátios, em certo horizonte de tempo (Crainic e Laporte, 1997). Na rede espaço-tempo, o horizonte de planejamento é dividido em tempos discretizados que podem ser dias, horas ou qualquer outro intervalo de tempo. Cada

pátio ocorre na rede-espaço tempo o mesmo tanto que o número de intervalos de tempo no horizonte de planejamento. O fluxo nesta rede representa o movimento de vagões vazios de um pátio para outro ou o estoque de vagões vazios fluindo no tempo em um mesmo pátio (Figura 1). Cada pátio, em um determinado momento de tempo, é representado por um nó na rede espaço-tempo (Joborn *et al.*, 2004). Dessa forma, em cada nó pode ocorrer uma oferta de ou uma demanda por vagões vazios. A Figura 1 apresenta um esquema representando o fluxo de vagões entre os diversos pátios, em uma ferrovia. O arco entre o (pátio 1, tempo 1) e o (pátio 2, tempo 2) corresponde a um fluxo (trem) de vagões vazios entre pátio 1 no tempo 1 e pátio 2 no tempo 2.

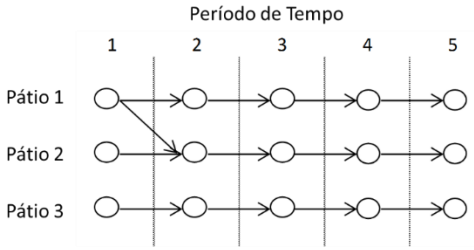


Figura 1: Rede Espaço-Tempo

White e Bomberault (1969) desenvolveram um dos primeiros trabalhos na área de distribuição de vagões vazios e propuseram um modelo de programação linear para distribuir vagões vazios. Haghani (1989) utilizou uma rede espaço-tempo para apresentar uma formulação para distribuição de vagões vazios e uma heurística de decomposição. Crainic e Laporte (1997) realizaram uma revisão sobre o planejamento do transporte ferroviário.

Fukasawa (2002) estudou o Problema de Planejamento de Atendimento (PPA) para realizar o planejamento da operação mensal considerando a capacidade da malha, o tamanho da frota de vagões, disponibilidade de vagões vazios, entre outros parâmetros. Ele também estudou o Problema de Fluxo de Vagões (PFV) para definir a rota completa de cada vagão na ferrovia e a sequência de carregamentos e descarregamentos. Sherali e Suharko (1998), abordaram estratégias de reposicionamento dos vagões vazios no âmbito do transporte ferroviário de automóveis. Powell e Topaloglu (2005), Powell *et al.* (2007) e Holmberg *et al.* (1998), apresentaram modelos de otimização para melhorar o processo de distribuição de vagões vazios no planejamento de minas de minério de ferro.

Melo *et al.* (2008) elaboraram cinco modelos com cinco diferentes funções objetivo que visavam minimizar os vagões ociosos retidos em cada pátio, minimizar o número total de vagões em circulação, minimizar apenas o número de vagões vazios em circulação e maximizar o lucro minimizando os custos. Costa (2010) propôs tratar a distribuição de vagões vazios em duas etapas. 1) realizar a distribuição de vagões para atender a demanda de transporte gerando uma solicitação de movimentação de vagões e 2) com base nesta solicitação, são definidos quais trens transportarão os vagões de sua origem até o seu destino. Folleto *et al.* (2016) propuseram um modelo matemático de Programação Inteira para uma estratégia de distribuir vagões aproveitando a folga de tração dos trens de vagões carregados para acoplar vagões vazios na cauda do trem, evitando a formação de trens exclusivamente de vazios. Os resultados mostraram que ganhos foram obtidos com esta estratégia.

3. MODELO MATEMÁTICO PROPOSTO

O modelo matemático proposto de Programação Inteira foi elaborado visando planejar a a distribuição de vagões vazios por meio da estratégia de aproveitar a folga de tração dos trens carregados para anexar vagões vazios em sua cauda até o limite da capacidade da folga de tração do trem, pois estes não trazem nenhuma receita para a ferrovia e geram custos. Como mencionado na seção anterior, os modelos matemáticos propostos, usualmente, tratam a distribuição de vagões vazios por meio de uma rede espaço-tempo onde cada nó é representado por um par ordenado (pátio, tempo) (Joborn *et al.* 2004). Foletto *et al.* (2016) consideraram para cada nó um índice único, criando um vetor-espaço tempo, com o intuito de simplificar a estrutura de dados do problema. O modelo matemático proposto neste artigo corresponde a uma adaptação do modelo proposto por Foletto *et al.* (2016), em que foi inserida a incerteza, com base na metodologia proposta por Sungur (2007) tanto na demanda como na oferta de vagões vazios nos terminais ferroviários.

Para inserir a incerteza nos dados a serem avaliados pelo modelo matemático é necessário que seja realizado um pré-processamento dos dados históricos referentes a demanda e a oferta de vagões em cada pátio. A partir destes dados históricos, é possível definir uma distribuição contínua de probabilidade que melhor os represente. Com base nesta distribuição contínua de probabilidade são gerados s cenários. Assim, para cada pátio da ferrovia tem-se um conjunto de cenários, S, variando de $1, \dots, s$, que representa os prováveis valores de demanda solicitada e da oferta disponível de vagões vazios no respectivo pátio em um certo tempo t.

Para cada cenário $s \in S$ é associada uma variável de ponderação e de delimitação do conjunto da incerteza, y_s. Essas variáveis de ponderação são geradas a partir de um dos três modos listados a seguir: 1) *convex hull*, Y_1, Equação (1), 2) *box*, Y_2, Equação (2), e 3) *elipsoid*, Y_3, Equação (3) (Sungur, 2007).

$$Y_1 = \left\{ y_s \mid y_s \geq 0, \sum_{m \in S} y_m \leq 1 \right\} \qquad \forall s \in S \qquad (1)$$

$$Y_2 = \{ y_s \mid -1 \leq y_s \leq 1 \} \qquad \forall s \in S \qquad (2)$$

$$Y_3 = \left\{ y_s \mid \sum_{m \in S} {y_m}^2 \leq 1 \right\} \qquad \forall s \in S \qquad (3)$$

Considerando que: K é o conjunto de todos os pátios da ferrovia que serão analisados; d_k e o_k correspondem à demanda e a oferta de vagões vazios, respectivamente, que serão consideradas como entrada para cada cenário a ser utilizado pelo modelo matemático; d_{0k} e o_{0k} correspondem aos valores médios de demanda e oferta, respectivamente, do pátio, calculados como a média ponderada realizada a partir de dados históricos do pátio $k \in K$.

O valor de δd_{km} corresponde à diferença entre o valor da demanda do pátio $k \in K$ no cenário $s \in S$, d_{ks}, e o valor de d_{0k}, ou seja, $\delta d_{ks} = d_{ks} - d_{0k}$. O valor de d_{ks} é calculado pela distribuição contínua de probabilidade que foi encontrada com base nos dados históricos de demanda levantados em cada pátio. De forma análoga, o valor de δo_{km} corresponde à diferença entre o valor da oferta do pátio $k \in K$, no cenário $s \in S$, o_{ks}, e o valor de o_{0k}, ou seja, $\delta o_{ks} = o_{ks} - o_{0k}$. O valor de o_{ks} é calculado pela distribuição contínua de probabilidade que foi encontrada com base nos dados históricos de oferta levantados em cada pátio.

Assim, geram-se os conjuntos de incerteza de demanda e oferta, U_D e U_O, respectivamente, que correspondem aos conjuntos dos valores de demanda e oferta com base nas incertezas e que virá a ser considerado no modelo matemático, Equações (4) e (5). O conjunto Y considerado pode ser um dos três conjuntos $Y_1, Y_2\ e\ Y_3$ apresentados nas Equações (1), (2) e (3), respectivamente.

$$U_D = \left\{ d_k \mid d_{0k} + \sum_{m \in S \mid y_m \in Y} y_m\ \delta d_{km} \right\} \qquad \forall k \in K \qquad (4)$$

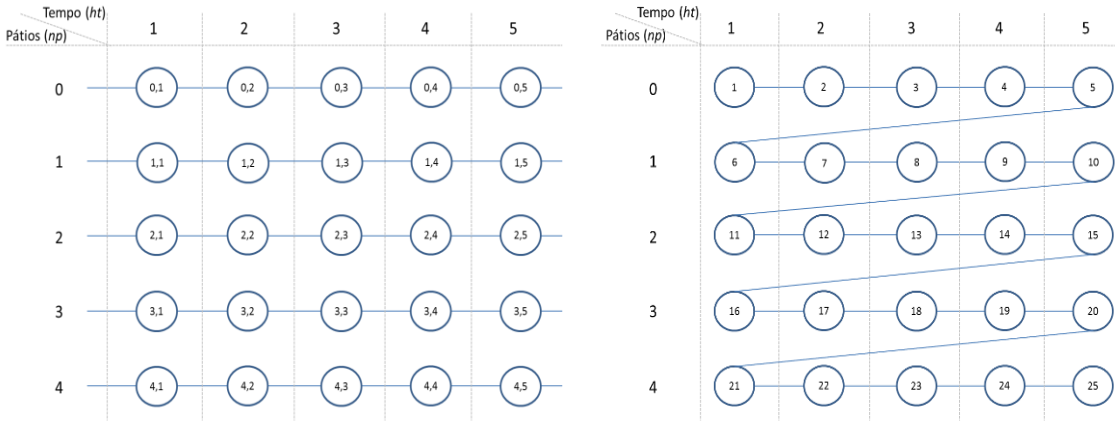
$$U_O = \left\{ o_k \mid o_{0k} + \sum_{m \in S \mid y_m \in Y} y_m\ \delta o_{km} \right\} \qquad \forall k \in K \qquad (5)$$

Este artigo representa a matriz espaço-tempo como um vetor espaço-tempo. Para realizar a transformação da matriz espaço-tempo em vetor espaço-tempo, define-se np como o número de pátios da ferrovia e p um pátio específico da ferrovia, sendo que p varia de 0 a $np - 1$, ht o horizonte de planejamento e t um tempo específico e discretizado variando de 1 até ht. Têm-se então duas situações: 1) quando se está no pátio p no tempo 1; e 2) quando se está no pátio p no tempo maior que 1. Tomando as duas situações apresentadas anteriormente, pode-se transformar a rede espaço-tempo da Figura 2a no vetor espaço-tempo da Figura 2b por meio da Equação (6) (Folleto et al., 2016).

$$\omega = (t + (p\ ht)) \qquad (6)$$

Na Figura 2 é apresentado um exemplo com cinco pátios e um horizonte de planejamento de cinco dias e são apresentados dois exemplos, um para cada uma das duas situações apresentadas. Primeiro, analisando o pátio 0 no tempo 1 da Figura 2a chega-se à posição 1 do vetor espaço-tempo da Figura 2b calculada pela fórmula $\omega = \big(t + (p\ ht)\big) = \big(1 + (0 \cdot 5)\big) = 1$. Segundo exemplo, analisando o pátio 2 no tempo 3 da Figura 2a chega-se à posição 13 do vetor espaço-tempo da Figura 2b calculada pela fórmula $\omega = \big(t + (p\ ht)\big) = \big(3 + (2 \cdot 5)\big) = 13$. O valor de ω é limitado pelos valores $1 \leq \omega \leq (np\ ht)$. Assim, após toda a transformação, conforme exemplificado anteriormente, chega-se, então, à Figura 2b que representa o vetor espaço-tempo do problema da Figura 2a.

Neste artigo os arcos representam o trem carregado e sua folga de capacidade de tração entre os pátios i (nó de partida) e j (nó de chegada). Como premissas da rede espaço-tempo tem-se que: 1) um trem não pode realizar trajetos entre pátios em um mesmo período de tempo, ou para períodos de tempo anteriores; 2) para os casos em que deve ser restringida a possibilidade de circulação de trens, o parâmetro folga de capacidade para estes arcos deve ser igual a zero, de modo que, onde houver folga de capacidade entende-se que há algum trem planejado para o trajeto correspondente.



a) **b)**

Figura 2: a) Representação da Rede Espaço-Tempo. b) representação do vetor espaço tempo. (Folleto *et al.*, 2016)

Também, diferentemente de Folleto *et al.* (2016), neste modelo proposto foi introduzida uma variável para representar quantos vagões não foram entregues em cada solicitação de demanda de vagões vazios de um pátio. Essa variável sendo maior que zero sinaliza para o planejador da distribuição de vagões que provavelmente deverá ser introduzido um trem exclusivo de vagões vazios na circulação para atender a estas demandas não atendidas.

Com base nas explicações sobre como tratar a incerteza e das peculiaridades da abordagem, o modelo matemático proposto é apresentado a seguir em cinco partes: os conjuntos, os parâmetros, as variáveis de decisão, a função objetivo e as restrições.

- Conjuntos:

P - Conjunto de pátios da ferrovia, variando de $0 \cdots (np-1)$;
T - Conjunto de tempos discretizados, variando de $1 \cdots ht$;
N - Conjunto de nós do vetor espaço-tempo, variando de $1 \cdots (np\ ht)$;
V - Conjunto de tipos de vagões, variando de $1 \cdots \vartheta$.

- Parâmetros:

σ_{ij} - Custo de transportar um vagão vazio no trecho $i \in N$ a $j \in N$;
τ_{ϑ} - Peso do tipo de vagão vazio em tonelada $\vartheta \in V$;
φ_{ij} - Folga de capacidade no trecho $i \in N$ a $j \in N$ em tonelada;
$\theta_{\vartheta i}$ - Oferta de vagões vazios do tipo $\vartheta \in V$ no nó $i \in N$;
$\alpha_{\vartheta i}$ - Demanda de vagões vazios do tipo $\vartheta \in V$ no nó $i \in N$;
ϕ - Constante com valor muito alto para a segunda parcela da função objetivo para evitar o não atendimento à demanda. Foi adotado o valor de 100.000,00.

- Váriáveis de decisão:

$\gamma_{\vartheta ij}$- Quantidade de vagões vazios do tipo $\vartheta \in V$ transportada do nó $i \in N$ ao nó $j \in N$;
$\beta_{\vartheta i}$ - Estoque de vagões vazios do tipo $\vartheta \in V$ no nó $i \in N$;
$\psi_{\vartheta i}$ - Não atendimento à demanda de vagões vazios do tipo $\vartheta \in V$ no nó $i \in N$.

Função Objetivo

Minimizar

$$\sum_{i\in N}\sum_{j\in N}\sigma_{ij}\sum_{\vartheta\in V}\gamma_{\vartheta ij}+\phi\sum_{i\in N}\sum_{\vartheta\in V}\psi_{\vartheta i} \quad (7)$$

Sujeito a:

$$\sum_{\vartheta\in V}\gamma_{\vartheta ij}\,\tau_k\le\varphi_{ij} \qquad \forall\ i,j\in N: i\neq j \quad (8)$$

$$\beta_{\vartheta(t+(p\,ht))}=\theta_{\vartheta(t+(p\,ht))}-\sum_{g\in G}\sum_{j\in N}\gamma_{\vartheta(t+(p\,ht))j} \qquad \forall\,\vartheta\in V,p\in P,t\in T: t=1 \quad (9)$$
$$-\alpha_{\vartheta(t+(p\,ht))}$$

$$\beta_{\vartheta(t+(p\,ht))}=\beta_{\vartheta\left((t+(p\,ht))-1\right)}+\theta_{\vartheta(t+(p\,ht))}-$$
$$\sum_{j\in N}\gamma_{\vartheta(t+(p\,ht))j}+\sum_{j\in N}\gamma_{\vartheta j(t+(p\,ht))} \qquad \forall\,\vartheta\in V,p\in P,t\in T: t>1 \quad (10)$$
$$-\alpha_{\vartheta(t+(p\,ht))}+\psi_{\vartheta(t+(p\,ht))}$$

$$\beta_{\vartheta i}\in Z^+ \qquad \forall\,\vartheta\in V,i\in N \quad (11)$$

$$\gamma_{\vartheta ij}\in Z^+ \qquad \forall\,\vartheta\in V,i,j\in N \quad (12)$$

$$\psi_{\vartheta ij}\in Z^+ \qquad \forall\,\vartheta\in V,i\in N \quad (12)$$

A função objetivo, Equação (7), representa o custo total da movimentação de vagões vazios, calculado como sendo a multiplicação do custo unitário de transportar um vagão $\vartheta\in V$ no trecho de $i\in N$ a $j\in N$ mais o custo do não atendimento à demanda por vagões vazios representado pela variável de decisão $\psi_{\vartheta i}$ multiplicada por uma penalização $\psi_{\vartheta ij}$ muito alta, com o valor arbitrado de 10^6. A função objetivo deve ser minimizada.

As Restrições (8) garantem que peso total dos vagões vazios transportados não exceda o limite da folga de capacidade em tonelada em cada trecho da ferrovia. As Restrições (9) garantem que o estoque de vagões vazios em cada pátio no tempo $t=1$ é igual a oferta no tempo 1 menos o que foi mantido no pátio para o próximo tempo menos o que foi enviado para outros pátios. As Restrições (10) diferem das Restrições (9), pois representam os tempos $t>1$ dos pátios. Assim, o estoque de vagões no próximo tempo é igual ao estoque de vagões no tempo atual, mais a oferta ou menos a demanda no tempo atual, mais o que chegou de vagões em trem menos o que foi enviado para outros pátios. Nestas restrições, soma-se ainda a variável que representa o não atendimento às demandas, $\psi_{\vartheta i}$, que foi introduzida no modelo, pois em alguns casos, somente a folga de tração nos trens pode não ser suficiente para atender a todas as demandas. Quando esta variável é maior que zero ocorreu um não atendimento à demanda do pátio no tempo solicitado. As Restrições (11), (12) e (13) definem o domínio das varáveis de decisão.

4. ESTUDO DE CASO E LEVANTAMENTO DE DADOS

Os dados utilizados são referentes ao período do dia 01 de janeiro de 2017 ao dia 30 de maio de 2017 dos pátios de carga geral da Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM). O trecho da ferrovia estudado possui 12 pátios, cada pátio com sua demanda e oferta registrada durante os 150 dias. Após a extração dos dados, foi utilizado o software Minitab 17 para identificar qual tipo de distribuição contínua de probabilidade que melhor representava a demanda e a oferta existente em cada pátio tomando como base os dados históricos mencionados. Como resultado,

foi obtida uma curva normal de probabilidade para cada pátio estudado, com índice de confiança de 95%. A partir da distribuição normal encontrada para cada pátio, utilizando sua média e desvio padrão, foram gerados 10 cenários com diferentes valores de demanda e oferta para cada um dos 12 pátios.

Ainda utilizando os dados históricos, calculou-se a média ponderada dos valores de demanda e oferta em cada pátio atribuindo maior peso aos dados mais recentes, dessa forma foi adotado peso 0,5 aos dados do dia 01 de janeiro ao dia 20 de janeiro, peso 1,0 aos dados do dia 21 de janeiro ao dia 09 de fevereiro, peso 1,5 aos dados do dia 10 de fevereiro ao dia 01 de março e peso 2,0 aos dados do dia 02 de março ao dia 21 de março. Depois, procedeu-se, para cada cenário, a subtração entre o valor de demanda e oferta de cada pátio calculado pela curva normal e o valor da média ponderada calculada para o respectivo pátio. Dando prosseguimento aos cálculos, para cada um dos modos de geração da variável de ponderação (*box*, *convex hull* e *elipsoid*), Equações (1), (2) e (3), gerou-se um valor de forma randômica para cada cenário. Assim, para cada cenário e para cada pátio, multiplicou-se o valor da variável de ponderação (para cada um dos modos analisados) pelo valor da diferença da curva normal menos a média ponderada (explicada anteriormente).

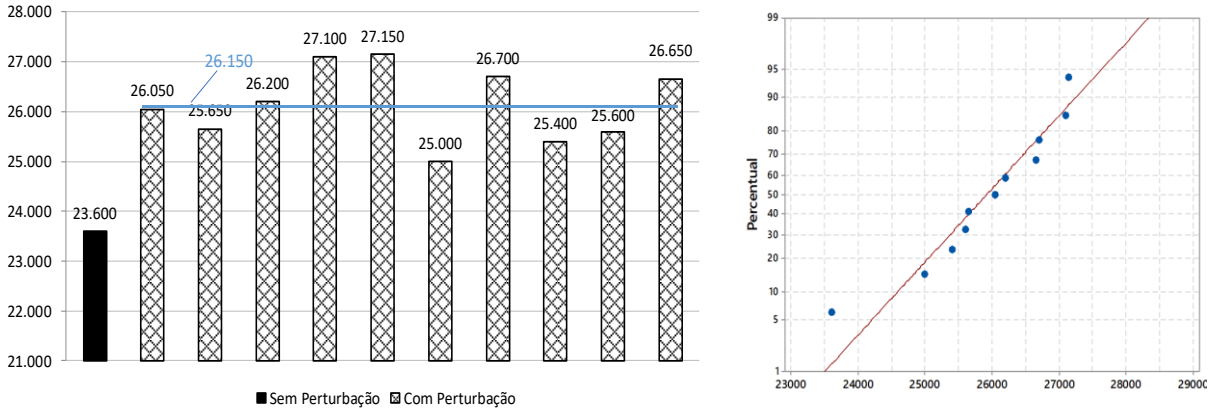
Após a realização do procedimento descrito, tem-se uma instância de incerteza. Como são três tipos de variável de ponderação, tem-se ao fim do procedimento três instâncias de incerteza. Adotou-se neste artigo, que deveriam ser geradas para cada variável de ponderação, 10 instâncias de incerteza e, portanto, foram geradas 30 instâncias de incerteza, sendo 10 para cada tipo de variável de ponderação. Como foram considerados três modos de ponderação e foram considerados 10 cenários de incerteza. Então, têm-se 30 cenários de incerteza estudados. Por fim, considerou-se a média das dez instâncias de incerteza, geradas a partir da incerteza histórica e do modo de geração das variáveis de ponderação, como resultado da função objetivo do modelo de planejamento da circulação de trens proposto neste artigo. As 31 instâncias de incerteza foram testadas utilizando-se o *solver* CPLEX 12.6 para resolver o modelo matemático proposto usando um computador com processador Intel *i7*, com 8GB de memória RAM. A partir deste ponto do artigo, as instâncias de incerteza serão referenciadas somente como sendo instâncias para simplificação da escrita do texto.

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O *solver* CPLEX encontrou a solução ótima para as 31 instâncias testadas com um tempo máximo de execução de 32 segundos na Instância 13. As análises a seguir são focadas em avaliar o impacto de cada modo de geração da variável de ponderação adotado para tratar a incerteza. Foi utilizado o teste de normalidade de Shapiro-wilk para verificar a hipótese de que uma dada amostra tenha sido retirada de uma dada população com função de distribuição acumulada contínua. Pode-se observar que para os três modos de geração de incerteza o Valor-P, considerado normal quando maior do que 0,05, deu sempre maior que este valor, gráficos das Figuras 3(b), 4(b) e 5(b). Este teste foi realizado usando o Minitab 17 Statistical Software.

A Figura 3(a) apresenta o valor da função objetivo da instância sem perturbação e os valores da função objetivo das 10 instâncias geradas a partir do modo *convex hull*. Pode-se notar que que o valor da função objetivo das instâncias com incerteza deu sempre superior ao valor da instância sem perturbação. Isto se deveu ao fato que o modo *convex hull* considera sempre valores maiores que zero para a variável de ponderação, y_s, Equação (1). Como neste método de geração da incerteza os valores de y_s são sempre maiores que zero, isso leva os valores da

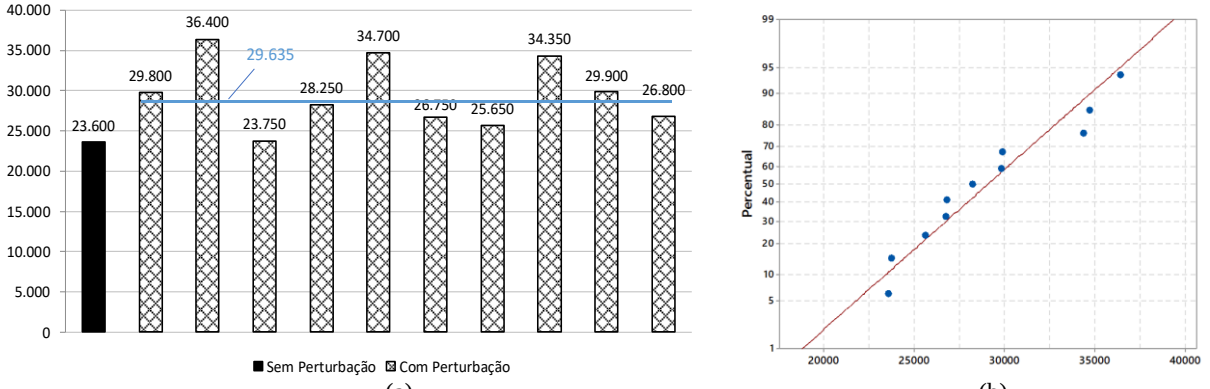
função objetivo serem, no mínimo, 5,93% maiores do que o cenário sem perturbação e, no máximo, 15,04%. Como neste método de incerteza os valores y_s são limitados pela regra $\sum_{m \in S} y_m \leq 1$, então o desvio padrão da incerteza nas 10 instâncias apresenta pouca variação.



(a) (b)

Figura 3: Modo *convex hull*. a) Função objetivo da instância sem pertubação e das 10 instâncias com incerteza; b) Gráfico do teste de normalidade

A Figura 4(a) apresenta o valor da função objetivo da instância sem pertubação e o valor da função objetivo das 10 instâncias geradas a partir do modo *box*. Pode-se notar que a os valores da função objetivo das 10 instâncias deram valores mais dispersos quando comparados com o modo *convex hull*. Isso provavelmente ocorreu porque o modo *box* gera valores para a variável de ponderação y_s, Equação (2), limitados a $-1 \leq y_s \leq 1$, o que acaba gerando uma variação maior na incerteza do que o modo *convex hull*. Além disso, quando o valor de oferta e de demanda, após a aplicação da incerteza, deve ser maior ou igual a zero, não há, então, a compensação de oferta e demandas positivas e negativas. Os resultados para o modo *box* da função objetivo foram, no mínimo, 0,64% maiores do que o cenário sem perturbação e, no máximo, 54,24%. Por conta da maior dispersão dos valores de incerteza, o modo de geração da variável de ponderação *box* pode ser visto como um modo menos interessante para a aplicação prática da distribuição de vagões quando comparados com o método *convex hull*. Aliado a isso, o método *convex hull* deu valores de função objetivo mais próximos ao valor da instância sem perturbação, o que reflete melhor a realidade das ofertas e demandas dos pátios que variam de forma mais comportada, ou seja, sem grandes variações.

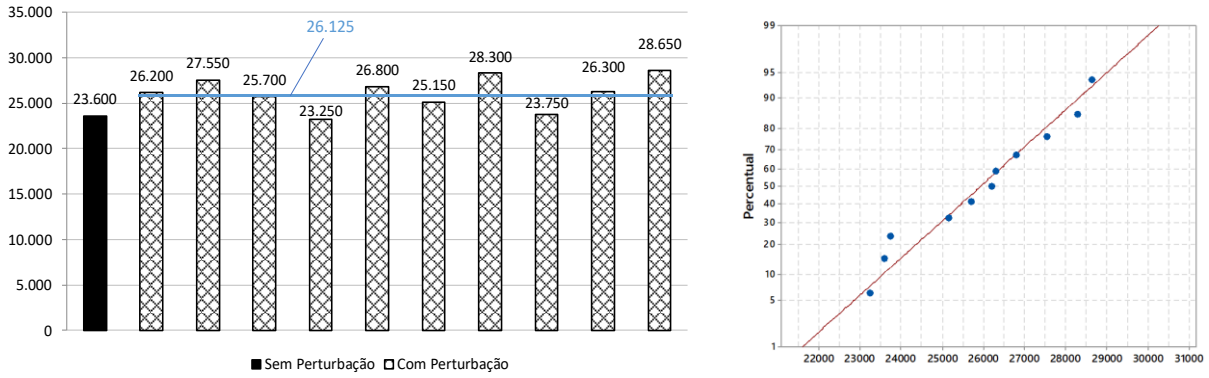


(a) (b)

Figura 4: Modo *box*. a) Função objetivo da instância sem perturbação e das 10 instâncias com incerteza; b) Gráfico do teste de normalidade

A Figura 5(a) apresenta o valor da função objetivo da instância sem perturbação e o valor da função objetivo das 10 instâncias geradas a partir do modo *elipsoid*. Pode-se notar que a média dos valores da função objetivo com incerteza deram mais próximas ao valor da instância sem perturbação quando comparados com os métodos *convex hull* e *box*. Pode-se notar que a os valores da função objetivo das 10 instâncias deram valores mais comportados, sem grandes oscilações, e todos mais próximos do valor da função objetivo da instância sem perturbação. Isso provavelmente ocorreu porque o modo *elipsoid* gera valores para a variável de ponderação y_s, Equação (3), limitados a $\sum_{m \in S} {y_m}^2 \leq 1$, que são ainda menores que o método *convex hull*. Os resultados para o modo *elipsoid* da função objetivo foram, no mínimo, 1,34% menores do que o cenário sem perturbação e, no máximo, 21,39%.

Por conta da baixa dispersão dos valores de incerteza e dos valores da função objetivo próximos do valor da instância sem perturbação, o modo de geração da variável de ponderação *convex hull* e *elipsoid* se apresentaram como os métodos que melhor representam a realidade de incerteza de um pátio ferrovário, que, conforme dito anteriormente, as ofertas e as demandas ocorrem variando de forma mais comportada, ou seja, sem grandes variações e próximas do valor médio solicitado. No entanto, na média das 10 instâncias com perturbação, que é considerado o resultado do modelo de incerteza, o modo *elipsoid* conseguiu um valor ainda mais próximo do modelo sem perturbação.



(a) (b)

Figura 5: Modo *elipsoid*. a) Função objetivo da instância sem perturbação e das 10 instâncias com incerteza; b) Gráfico do teste de normalidade

Com base nos resultados apresentados anteriormente, pode-se notar que o modelo matemático proposto se apresenta como uma abordagem interessante para o problema de planejamento de distribuição de vagões vazios considerando as incertezas na oferta e na demanda dos pátios. É importante ressaltar, que é primordial a análise do método de geração da incerteza a fim de avaliar qual o método gera a variação em torno do valor sem perturbação mais próximo com o comportamento da incerteza verificado na realidade, mais disperso ou mais comportado, com poucas oscilações. A estratégia de se rodar 10 instâncias com diferentes perturbações e gerar a solução do modelo proposto como a média das 10 soluções se mostrou compatível com os resultados alcançados no caso sem perturbação, apresentando soluções com perturbações pequenas em relação ao caso sem perturbação o que é compatível com a realidade das ferrovias.

Por fim, é importante ressaltar que a abordagem proposta para tratar a incerteza apresentada neste artigo pode ser aplicada a diversos outros problemas reais e ainda preservar todas as heurísticas e meta-heurísticas já desenvolvidas para os problemas.

6. CONCLUSÕES

Esse artigo estudou o problema de planejamento de distribuição de vagões vazios para atender a demanda para formação de trens considerando que diversas incertezas podem ocorrer tanto no valor da demanda e na oferta de vagões vazios em função de atrasos na operação do pátio, bem como nos tempos de viagens dos trens que fazem a distribuição dos vagões. Para tratar esta incerteza da oferta e da demanda, foram propostos três modos de geração de incerteza e foi apresentado um modelo matemático que de Programação Inteira.

O modelo matemático proposto foi avaliado com base nos dados dos pátios de carga geral da Estrada de Ferro Vitória a Minas, sendo os dados coletados no período de 01 de janeiro de 2017 a dia 30 de maio de 2017. Os valores da instância sem perturbação foram calculados como a média ponderada deste período. Os testes foram divididos em três modos de geração da incerteza: *convex hull*, *box* e *elipsoid*. Baseado na instância sem perturbação, foram elaboradas mais 30 instâncias. Sendo que 10 instâncias foram usadas para avaliar a incerteza pelo modo *convex hull*, 10 instâncias para tratar a incerteza com o modo *box* e 10 instâncias para tratar a incerteza com o modo *elipsoid*.

O modelo foi resolvido usando o *solver* CPLEX 12.6 e concluiu-se que o modelo matemático proposto pode ser uma abordagem interessante para o problema de distribuição de vagões considerando a incerteza. No entanto, a escolha do modo de geração da variável de ponderação pode ter efeitos não tão desejados no resultado final. Os resultados indicaram que o modo *convex hull e elipsoid* se mostraram melhores em função da baixa dispersão dos valores das instâncias com perturbação. O modo *elipsoid* se mostrou uma solução com menos variação quando analisada a média das 10 instâncias com perturbação, que representa a solução do modelo com incerteza. A estratégia de se rodar 10 instâncias com diferentes perturbações e gerar a solução do modelo como a média das 10 soluções se mostrou compatível com os resultados alcançados no caso sem perturbação, apresentando soluções com perturbações pequenas em relação ao caso sem perturbação o que é compatível com a realidade das ferrovias.

É importante destacar que a abordagem proposta para tratar a incerteza apresentada neste artigo pode ser aplicada a diversos outros problemas reais e ainda preservar todas as heurísticas e meta-heurísticas já desenvolvidas para os problemas. O modelo matemático proposto e os três modos de geração da incerteza podem servir de referência para outras ferrovias do Brasil e de outros países, desde que se tenha uma base de dados histórica sobre oferta e demanda de vagões. Sugere-se como trabalhos futuros, para ferrovias de grande porte e/ou por facilidade de uso, o desenvolvimento de meta-heurísticas como *Ant Colony Optimizaton*, *Simulated Annealing*, dentre outras, para o modelo matemático proposto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTT - *Agência Nacional de Transportes Terrestres* (2016). Web page. http://www.antt.gov.br/ Acessado em: 06 de junho de 2016.

Bektas, T.; T. G. Crainic e V. Morency (2007) Improving Performance of Rail Yards Through Dynamic Reassignments of Empty Cars. *Journées de l'Optimisation*. HEC Montréal.

Costa, J. C. (2010) Algoritmo de Distribuição e Alocação Vagões em Tempo Real. *Dissertação de Mestrado*, UNICAMP, Campinas, SP.

Crainic, T. G. e G. Laporte (1997) Planning Models for Freight Transportation. *European Journal of Operational Research*, v. 97, p. 409-438.

Foletto, M. B.; R. A. Rosa; P. C. Louzada e L. B. Pimenta (2016) Modelo Matemático para Uma Nova Estratégia de Planejamento da Distribuição de Vagões Vazios. *XLVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO)*, Vitória, ES.

Fukasawa, R. (2002) Resolução de problemas de logística ferroviária utilizando programação inteira. *Dissertação de Mestrado*, PUC-RJ, Rio de Janeiro, RJ.

Haghani, A. E. (1989) Formulation and Solution of a Combined Train Routing and Makeup, and Empty Car Distribution Model. *Transportation Research B*, v. 23B, n. 6, p. 433-452.

Joborn, M.; T. G. Crainic; M. Gendreau; K. Holmberg e J. T. Lundgren (2004) Economies of Scale in Empty Freight Car Distribution in Scheduled Railways. *Transportation Science*, v. 38, n. 2, p. 121-134.

Melo, M. C. V. ; J. F. Barros Neto e E. F. Nobre Jr. (2008) Problema de Planejamento da Alocação de Vagões de Carga: uma Abordagem via Modelagem Matemática. CNT - Confederação Nacional dos Transporte e ANPET - Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes. (Org.). *Transporte em Transformação* XIII.

Powell, W. B.; B. Bouzaïene-Ayari e H. P. Simao (2007) Dynamic Models for Freight Transportation. In: Barnhart, C., Laporte, G. (Eds.), *Transportation, Handbooks in Operations Research and Management Science*, vol. 14. North-Holland, Amsterdam.

Powell, W. B. e T. A. Carvalho (1998) Real-time Optimization of Containers and Flatcars for Intermodal Operations. *Transportation Science* 32 (2).

Powell, W. B. e H. Topaloglu (2005) Fleet management. In: Wallace, S., Ziemba, W. (Eds.), *Applications of Stochastic Programming Math Programming Society-Series on Optimization*. SIAM, Philadelphia, PA.

Sherali, H. D. e A. B. Suharko (1998) A Tactical Decision Support System for Empty Railcar Management. *Transportation Science* 32 (4).

Sungur, I. (2007) *The Robust Vehicle Routing Problem*. University of Southern California.

White, W. W e A. M. Bomberault 1969) A Network Algorithm for Empty Freight car Allocation. *IBM System Journal* 8, 147-169.

Luiza Gagno Azolin (luiza.azolin@gmail.com); Leidimara Scheffer Favero (leidischeffer@gmail.com); Rodrigo de Alvarenga Rosa (rodrigo.a.rosa@ufes.br); Patricia Costa Louzada (patylouzada@hotmail.com)
Universidade Federal do Espírito Santo - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Av. Fernando Ferrari, 514, Campus Goiabeiras, Tecnológico, Vitória, ES

GERENCIAMENTO DE MANOBRAS E DESCARREGAMENTO DE TRENS DE MINÉRIO DE FERRO EM PÁTIOS FERROVIÁRIOS USANDO ALGORITMO GENÉTICO

Juan X. E. A. Calles[1]
Leandro C. Resendo[1]
Rodrigo A. Rosa[2]
[1]Instituto Federal do Espírito Santo - Campus Serra
[2]Universidade Federal do Espírito Santo

RESUMO
No transporte ferroviário de minério de ferro, a matéria prima extraída é descarregada em pátios ferroviários para posterior estocagem ou encaminhamento a usinas de pelotização. Ao chegar no pátio de recepção, os trens são conduzidos num conjunto de linhas férreas, dispostas paralelamente, até chegar em viradores de vagões onde são descarregados. Para cada trem carregado de minério que ingressa no pátio, organizado tipicamente em 3 lotes, é necessário escolher um virador e uma rota para cada lote. Dependendo da configuração e arranjo de linhas no pátio, e/ou do fluxo de chegada de trens, a escolha é determinante para diminuir atrasos. Neste trabalho propomos um algoritmo genético para escolher o virador e a rota dos trens que chegam no pátio, além de um modelo ILP para formalizar e analisar a heurística proposta. Experimentos mostram que o algoritmo genético executa na grandeza de segundos para atender demandas de centenas de trens.

ABSTRACT
In iron ore transportation, extracted raw materials are unloaded in railyards for later stocking or pelletizing. After reaching the reception yard, trains are led in a set of rail lines, arranged in parallel, reaching rotary car dumpers where materials are unloaded. For each loaded train arriving the railyard, usually arranged in 3 batches, a car dumper and route must be assigned for each batch. Depending on a railyard's configuration and arrangement, and/or train arrival flow, this decision is crucial for reducing delays. In this paper, we propose a genetic algorithm for assigning a car dumper and route for trains arriving the reception yard, and an ILP model for formalizing and analyzing the heuristic. Experiments show that the genetic algorithm executes in terms of seconds in response to hundreds of incoming trains.

1. INTRODUÇÃO

No setor de mineração o transporte ferroviário exerce papel fundamental no transporte de vários produtos, tais como, minério de ferro, carvão, manganês, etc. Sendo transportado desde as minas nas quais ele é extraído até usinas ou terminais marítimos para exportação. O sistema ferroviário que comporta o transporte do minério inicia quando, depois de extraído da mina, o minério é carregado e transportado em trens distribuídos em lotes, com uma quantidade fixa de vagões. Os trens carregados viajam quilômetros através de ferrovias até chegar a pátios ferroviários, onde o minério é descarregado e encaminhado para a usina de pelotização ou terminal marítimo (Camurça et al., 2012).

Tanto na linha de circulação quanto nas linhas de um pátio ferroviário, os trens deslocam-se sobre linhas férreas e para mudar de linha é necessário o uso de travessões, que são compostos por dois aparelhos de mudança de via e uma linha de ligação, referenciados daqui em adiante como Aparelho de Mudança de Via (AMV). Além disso, dispositivos de sinalização são instalados nas vias para permitir ou restringir o seu acesso a elas, tipicamente permitindo que uma linha seja ocupada por apenas um trem de cada vez. Isto é uma restrição de segurança exigido para o pátio ferroviário investigado.

Depois da linha de chegada no pátio de recepção, as linhas seguintes estão dispostas paralelamente para permitir a entrada de vários trens em intervalos curtos de tempo. O grupo de linhas paralelas encontra-se no final da outra extremidade, num conjunto de AMVs

conhecido como domínio, que permite a permutação dentre um novo grupo de linhas paralelas subsequentes. Esse layout se repete até chegar no setor de descarregamento, onde estão os viradores de vagões, chamados adiante apenas de viradores. Assim, ao ingressar no pátio de recepção, cada lote é direcionado nesse feixe de linhas férreas até chegar no virador onde será descarregado. Essa configuração está ilustrada na Figura 1, que representa um pátio de recepção, onde cada lote ingressa na linha mais à esquerda e percorre os domínios 1, 2 e 3, até chegar nos viradores, à direita. Depois do pátio de recepção e descarregamento, seguem-se os de pátios de classificação, onde os vagões são encaminhados para limpeza, manutenção e formação de trens. Por último todos os vagos seguem para a formação, para que o trem retorne para linha. Entretanto este trabalho investigará apenas o pátio de recepção.

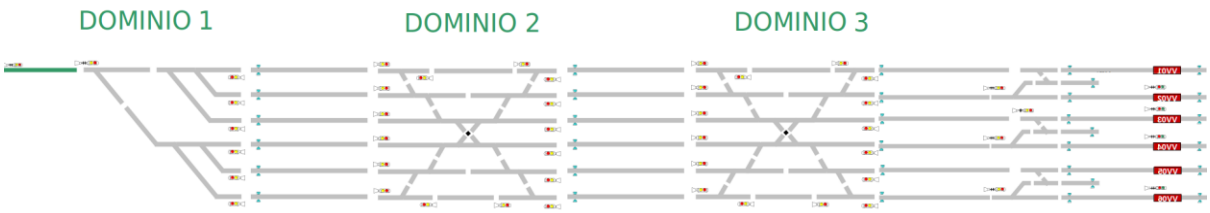


Figura 1: Ilustração de um pátio de recepção

O encaminhamento de cada lote no pátio de recepção envolve um processo de tomada de decisão onde deve ser determinado qual virador atenderá o lote e a rota que será usada para chegar até ele. Chamamos este processo de decisão de problema da Escolha de Virador e Roteamento de Lote, no resto do trabalho abreviado como EVRL. Com a chegada de vários trens no pátio, em intervalos de tempo próximos, a escolha de viradores e rotas torna-se fator que influencia na capacidade de recebimento de trens do pátio. Sendo assim, decisões pouco criteriosas podem levar a atrasos no trajeto do lote até o seu destino e aumentar o custo de recursos (trabalho, energia e tempo) no pátio ferroviário (Monteiro e Scopel, 2003). Apesar disso, na prática, a atribuição de virador e rota para cada lote é feita por empregados especialistas que se baseiam em políticas operacionais do pátio e/ou no conhecimento empírico. Contudo, esta tarefa pode tornar-se de elevada complexidade, variando a quantidade e disposições de linhas e AMVs no pátio, além da quantidade e tempo de chegada de trens, pois o número de possibilidades pode aumentar exponencialmente.

Grande parte dos trabalhos que lidam com problemas em pátios ferroviários abordam holisticamente a recepção, classificação e formação (etapas posteriores à recepção do pátio) de trens de carga. Shi e Zhou (2014), por exemplo, apresentam um modelo de fluxo de rede baseado em camadas (recepção, classificação e formação), além de um modelo de programação linear inteira que representa uma contagem acumulativa do fluxo de trens no pátio, para modelar restrições de capacidade do pátio. Porém, o trabalho não modela as decisões tomadas para a descarga de vagões. Em Yue et al. (2006) é apresentado um controle para alocação de recursos do pátio usando um modelo baseado em *job shop scheduling* e um algoritmo de colônia de formigas para atribuir linhas de chegada (recepção) e saída (formação). Em Oliveira e Cardoso (2003), um método *branch & bound* é usado para otimizar as manobras em um pátio ferroviário, onde manobra refere-se à movimentação de vagões por uma locomotiva de manobras, aplicando paralelismo para diminuir o tempo de espera de processamento. Outros trabalhos que modelam o fluxo e otimização de trens que atravessam um pátio ferroviário de frete encontram-se nos estudos de Boysen (2012, 2013).

Grande parte das referências em otimização de logística ferroviária toma como critério o tempo de alocação das locomotivas de manobra. Em Sabino et al. (2010) é apresentado um algoritmo de colônia de formigas para construir um cronograma de alocação das locomotivas de manobras em um pátio ferroviário, particularmente no setor de classificação e nos atendimentos de limpeza e manutenção de vagões. Contudo, o trabalho desconsidera a influência das decisões de roteamento dos trens na movimentação das locomotivas de manobra. Em Hamacher et al. (2005) e Bacelar e Salles (2005) são apresentados modelos de programação inteira que determinam a movimentação de locomotivas em uma malha ferroviária cujo objetivo é maximizar a quantidade de manobras realizadas. O primeiro modelo ainda representa o atraso ou adiamento de manobras, de acordo com a possibilidade ou não em executá-las num determinado momento, como por exemplo, se um pátio de destino não permite a entrada de novos vagões por estar lotado.

O presente trabalho propõe um algoritmo genético para auxiliar na tomada de decisão sobre qual o virador deverá ser escolhido e as rotas atribuídas a trens carregados de minério que ingressam em um pátio ferroviário. Em destaque, esta abordagem pretende considerar minuciosamente o controle de alocação de linhas e AMVs e o seu impacto no atraso de trens para chegar nos seus destinos. Adicionalmente, este controle deve considerar a restrição de segurança para a movimentação dos lotes, como será apresentado mais adiante. Além disso, um modelo ILP (*Integer Linear Programming*) é proposto para formalizar o problema tratado.

No que segue deste trabalho, na Seção 2 são descritas as restrições da recepção do pátio ferroviário, para o problema de escolha de virador e roteamento de lotes. A Seção 3 apresenta modelo ILP do problema. Na Seção 4 apresenta-se o algoritmo genético proposto. Na Seção 5 apresentam-se os experimentos, resultados e análises obtidas para as soluções encontradas e, por último, na Seção 6 são apresentadas as conclusões.

2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Computacionalmente um pátio ferroviário para descarga de minério de ferro pode ser representado como uma estrutura de grafo direcionado $G = (V, E)$, considerando que, depois de passar pela linha de entrada do pátio, um trem sempre se desloca em direção a um virador. No grafo G do pátio, cada linha é representada por um vértice pertencente ao conjunto V e cada enlace do conjunto E representa uma sequência de AMVs que fazem a conexão entre pares de linhas adjacentes. Os viradores também são considerados como nós em V.

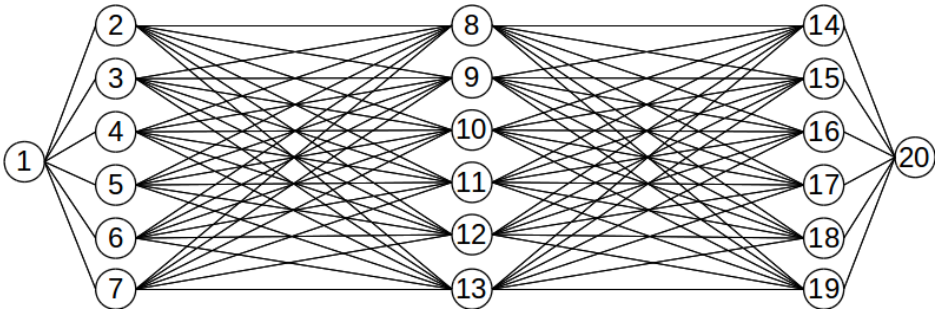


Figura 2: Representação em grafo do pátio na Figura 1

A Figura 2 mostra a representação do pátio ferroviário anterior. Nela, o nó 1 representa a linha de chegada, os nós de 2 a 7 o primeiro conjunto de linhas em paralelo, de 8 a 13 o segundo conjunto de linhas em paralelo e, de 14 a 19, os viradores – além disso, um nó virtual

(20) é usado no modelo ILP para representar o término do fluxo de roteamento no pátio de recepção. O caminho que deve ser percorrido por um lote desde a linha de chegada até o virador atribuído, ou seja, a sua rota, é uma lista ordenada de vértices $R = \{V_1,V_2,...,V_n\}$, que define a sequência de linhas a ser atravessadas. O primeiro elemento da lista representa sempre a linha de chegada e, o último elemento, representa o virador escolhido.

As métricas que descrevem numericamente o pátio ferroviário (e.x.: o comprimento das linhas, os comprimento e velocidade dos lotes, a taxa com a qual os viradores descarregam um vagão, etc.) foram todas reduzidas a uma única dimensão, o tempo. Dessa maneira, o valor atribuído a uma linha, virador ou AMV, representa o tempo que a extremidade de um trem gasta para o atravessar. Por motivos de simplificação, consideraremos que todos os lotes possuem o mesmo comprimento e que eles se locomovem na mesma velocidade. Desconsidera-se, portanto, a aceleração e desaceleração de um trem que precisa parar, por exemplo, quando a próxima via ainda não está liberada.

Outra característica importante em pátios ferroviários é a política de segurança para circulação de trens, tendo como propósito evitar acidentes. Basicamente ela trata das velocidades de trens dentro do pátio e a capacidade de ocupação de linhas férreas. Tipicamente a capacidade de ocupação de linhas é tida como apenas um lote por linha. Quando um lote se encontra, total ou parcialmente, numa linha, a linha é considerada totalmente ocupada. Caso um lote precise percorrer uma linha ocupada por outro lote, o primeiro deve esperar que o último percorra a linha por completo, só então a linha torna-se disponível novamente.

Para efeito de identificar os instantes em que as linhas estão ocupadas ou disponíveis, e consequentemente ser capaz de identificar os atrasos por tempo de espera, consideram-se quatro situações/eventos distintas. São estes referentes aos instantes em que: 1) a parte da frente de um lote entra em contato com a extremidade inicial da linha, a partir desse momento a linha está ocupada; 2) a parte da frente do mesmo lote entra em contato com a extremidade final da linha, mantendo a linha ocupada, mas ocupando também a próxima linha; 3) o último vagão do lote entra em contato com a extremidade inicial da linha, tornando disponível a linha anterior, e; 4) o último vagão do lote entra em contato com a extremidade final da linha, a partir desse instante a linha está novamente disponível. Com essas informações é possível identificar o tempo que cada lote demora em percorrer o pátio, mesmo na ocorrência de atrasos ocasionados por linhas ocupadas. O objetivo do problema é então diminuir o tempo total de atendimento dos trens.

3. MODELO ILP

O problema de EVRL é similar ao problema de roteamento de veículos, entretanto, é necessário modelar as restrições de segurança que determinam a capacidade de uso das linhas no pátio ferroviário. Assim, partindo do modelo de roteamento, a seguir são apresentadas as notações, parâmetros e variáveis de decisão.

Parâmetros

N: Conjunto de nós, onde cada nó representa um segmento de linha, sendo $|N| = n$.
L: Conjunto de lotes que entrarão no pátio.
$E[i][j]$: Matriz de adjacência, representando a conexão entre os nós i e j. Sendo cada enlace representando um conjunto de AMVs.

TN[i]: Tempo gasto para uma extremidade do lote atravessar o nó *i*. Note que esse parâmetro identifica o comprimento do nó.
TAMV[i][j]: Tempo gasto para uma extremidade de um lote atravessar uma aresta *ij* referente a um conjunto de AMVs.
B[l]: Momento em que o lote *l* chega no pátio (primeiro nó).
TL[l]: Tempo que o lote *l* gasta para atravessar completamente um ponto fixo no pátio. Note que esse parâmetro indica o "comprimento" do lote.

Variáveis de decisão

$x_{i,j}^{l}$: Variável binária que vale 1 se o lote *l* se desloca do nó *i* até o nó *j*, usando a aresta *ij* e zero caso contrário.

b_i^l : O instante em que o lote *l* chega no nó *i*.

Função objetivo

A função objetivo representa a minimização do tempo que cada lote demora para atravessar a recepção do pátio ferroviário, representado no modelo por B^l.

Minimizar: $\sum_{l \in L} B^l$ *(1)*

Sujeito a:

$\sum_{j \in N} x_{1,j}^{l} = 1$ $\quad \forall l \in L$ *(2)*

$\sum_{i \in N} x_{i,n}^{l} = 1$ $\quad \forall l \in L$ *(3)*

$\sum_{j \in N} x_{i,j}^{l} - \sum_{j \in N} x_{j,i}^{l} = 0$ $\quad \forall l \in L; i \in \{2,..,n-1\}$ *(4)*

$b_1^l \geq B[l]$ $\quad \forall l \in L$ *(5)*

$b_j^l \geq b_i^l + TN[i] + TAMV[i][j] - M(1 - x_{ij}^l)$ $\quad \forall l \in L; \forall i, j \in N \,/\, j > i$ *(6)*

$b_i^l \geq b_i^m + TN[i] + TL[l] - M \sum_{j \in N} (2 - x_{ji}^l - x_{ji}^m)$ $\quad \forall i \in N; \forall l, m \in L \,/\, B[l] > B[m]$ *(7)*

$b_i^l \leq B^l$ $\quad \forall l \in L; \forall i \in N$ *(8)*

As Expressões (2), (3) e (4) são restrições clássicas para problemas de roteamento. A Restrição (2) garante que todos os lotes vão entrar no pátio, a Restrição (3) garante que todos os lotes vão sair do pátio. A Restrição (4) garante a continuidade de fluxo dos lotes nos nós. A Restrição (5) garante que cada lote entrará no primeiro nó após chegar no pátio. Nota-se que, em caso de congestionamento o lote pode esperar antes de entrar no pátio. A Restrição (6) assegura que o tempo que o lote *l* chega no nó *j* deve ser maior que o tempo em chega no nó *i*, mais o tempo gasto para atravessar o nó *i* e o conjunto de AMVs que formam a aresta *ij*. A Restrição (7) é o controle de segurança de colisões, garantindo que se os lotes *l* e *m* usam o mesmo nó *i*, *l* apenas entrará em *i* depois de *m* sair completamente do nó. Esta restrição é descrita na Seção 2. Nas restrições (6) e (7), M é uma constante suficientemente grande. A Restrição (8) garante a relação entre as variáveis de minimização.

O problema tratado nesse trabalho pertence à classe de problemas de roteamento em redes de transporte, que computacionalmente é classificado como um problema NP-Hard. Assim, esta formulação tem uma complexidade computacional exponencial, que inviabiliza o uso da formulação para problemas reais, Pióro e Medhi (2004). Contudo, apresentamos a formulação para melhor formalização do problema.

4. ALGORITMO GENÉTICO PROPOSTO

O algoritmo genético (AG) é uma meta-heurística que imita o processo de seleção natural das espécies para gerar soluções de boa qualidade, usado amplamente para problemas de busca heurística e otimização combinatória. O AG realiza uma busca multidirecional mantendo, a cada iteração, uma população de soluções candidatas que trocam informações entre si para gerar novos indivíduos. No algoritmo genético uma solução é chamada de cromossomo e as informações que compõem um cromossomo são chamadas de genes. A cada iteração, uma população de cromossomos é chamada de geração. A busca no espaço de soluções é realizada por meio de duas operações básicas, o cruzamento (ou *crossover*) e a mutação. O *crossover* consiste na troca de informação entre dois cromossomos e formação de uma nova solução que extrai características de ambos. A mutação, por sua vez, consiste na alteração probabilística de um ou mais genes que compõem uma solução, permitindo o surgimento de soluções não contempladas por operações de *crossover* em uma determinada geração (Goldberg, 1989).

4.1. Representação de uma solução

Nesse trabalho representaremos um cromossomo (solução) como uma lista de rotas associadas a cada lote, incluindo o virador escolhido. Escreve-se uma rota como a sequência de segmentos de linhas que um lote (trem) deve percorrer. Os genes, que são as informações que compõem um cromossomo, representam então os segmentos de linhas que pertencem a uma rota, ou seja, um subconjunto ordenado de nós do grafo que representa o pátio. Na Figura 3, cada linha representa a rota de um trem, e as colunas os nós que cada rota utiliza. Na anotação adotada N_{ij}, representa o *j*-ésimo nó visitado pela *i*-ésima rota. Como parte do problema é a escolha de viradores, o último nó visitado por qualquer rota (a última coluna da matriz do cromossomo) representa sempre um virador. Na Figura 3, os nós N_{in} são portanto viradores.

N_{11}	N_{12}	...	$N_{1(n-1)}$	N_{1n}
N_{21}	N_{22}	...	$N_{2(n-1)}$	N_{2n}
		...		
$N_{(m-1)1}$	$N_{(m-1)2}$	...	$N_{(m-1)(n-1)}$	$N_{(m-1)n}$
N_{m1}	N_{m2}	...	$N_{m(n-1)}$	N_{mn}

Figura 3: Representação de um cromossomo

4.2. Geração inicial

A geração inicial refere-se ao conjunto de cromossomos que participa da primeira iteração do algoritmo genético. Portanto, ela determina os locais, dentro do espaço de soluções, nos quais a heurística iniciará a busca de boas soluções, potencialmente influenciando na qualidade das soluções encontradas no final de sua execução. Nesta abordagem, a geração inicial pode ser obtida de duas formas, ambas dependentes de valores aleatórios.

A primeira forma, inteiramente aleatória, consiste em adicionar incremental e aleatoriamente cada nó de uma rota. Isto é, considerando o nó de origem, um nó adjacente é escolhido

aleatoriamente. Em seguida, um novo nó adjacente ao anterior é escolhido aleatoriamente, e assim sucessivamente, até chegar ao destino (um virador escolhido aleatoriamente). Esse procedimento é repetido para todos os lotes.

No segundo método a obtenção de uma geração inicial depende também de escolhas aleatórias, entretanto adota uma regra que busca obter rotas que empiricamente geram menos atraso. Desta maneira pretende-se iniciar a heurística a partir de soluções de melhor qualidade. A regra consiste em, para cada lote (computados em ordem de chegada), seleciona-se o virador mais próximo (em termos de tempo), ou seja, cujo caminho possui menor custo. Em seguida, considerando que a concorrência de trens por um conjunto de linhas pode gerar congestionamento e consequentemente atrasos, depois de determinar o virador e rota de um lote incrementa-se o custo dos nós da rota recém-formada. Assim, para os próximos lotes sabe-se de maneira imediata que determinadas rotas podem gerar atrasos, as de maior custo. O valor incrementado ao custo dos nós é obtido aleatoriamente, variando de 0 (zero) até o valor que representa o custo do lote.

O último método é representado na Figura 4, na formação de um cromossomo que corresponde ao roteamento de 4 lotes. Depois de selecionada a rota do primeiro lote (1, 2, 8, 14), considerando-se como a rota de virador mais próximo, os custos dos nós são incrementados aleatoriamente, diminuindo a probabilidade dos mesmos nós serem escolhidos para os lotes subsequentes. O mesmo ocorre depois de escolhida a rota do 2º (1, 3, 9, 15) e 3º (1, 4, 10, 16) lotes, até que o cromossomo é formado. O mesmo procedimento é repetido dependendo da quantidade de cromossomos na geração inicial.

1º Lote			
1	2	8	14

2º Lote			
1	2	8	14
1	3	9	15

3º Lote			
1	2	8	14
1	3	9	15
1	4	10	16

4º Lote			
1	2	8	14
1	3	9	15
1	4	10	16
1	5	11	17

Figura 4: Formação de um cromossomo

4.3. *Crossover*

A operação de *crossover*, análoga à busca na vizinhança, consiste em tomar dois cromossomos e gerar um novo cromossomo com características (genes) de ambos. Dado que o cromossomo representa uma combinação específica de rotas para todos os lotes, e um gene representa cada uma dessas rotas, o *crossover* cria um novo cromossomo tomando todos os genes ímpares de A e o genes pares de B (de acordo com a ordem de chegada dos lotes), conforme ilustrado na Figura 5. A cada iteração do algoritmo genético, todos os cromossomos são selecionados para realizar a operação de *crossover*, cada um deles participando apenas de um cruzamento. Para cada par de cromossomos quaisquer de uma geração, o cruzamento é feito entre eles e o cromossomo filho é adicionado à geração. Novos pares são cruzados, exceto os cromossomos que já foram cruzados em iterações anteriores, até que não reste nenhum ou apenas um cromossomo (para gerações de tamanho ímpar). Conflitos entre rotas gerados nesta operação, por exemplo nas rotas dos genes 1 e 4 do cromossomo filho (na Figura 5), são tratados na função *fitness* considerando a ordem de chegada de trens no pátio. Portanto, dependendo do intervalo entre os tempos de chegadas dos trens 1 e 4, o último poderá sofrer atrasos.

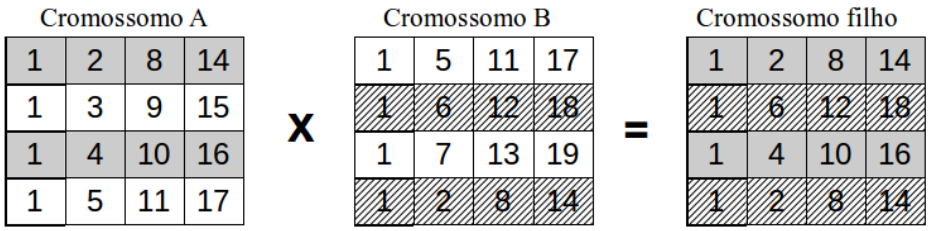


Figura 5: Crossover de dois cromossomos

4.4. Mutação

A operação de mutação permite explorar novas soluções dentro do espaço de busca para evitar que a heurística pare em mínimos locais. Para cada gene de um cromossomo, dada uma probabilidade de mutação, esta operação ocorre da seguinte maneira (conforme ilustrado na Figura 6): 1) o nó de uma rota é selecionado aleatoriamente, o ponto de mutação; 2) a partir do ponto de mutação, os demais nós rota são descartados; 3) em seguida um nó correspondente a algum virador é selecionado também aleatoriamente; e 4) a menor rota do ponto de mutação até o novo virador selecionado é calculada e anexada à rota do lote. O cromossomo que sofreu mutação é adicionado à geração mantendo o cromossomo original.

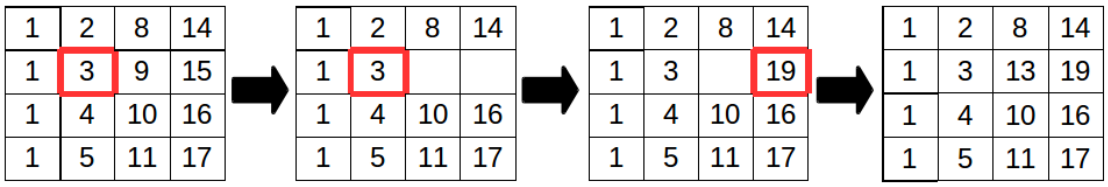


Figura 6: Mutação de um gene

4.5. Função *fitness*

A função *fitness* atribui um valor numérico para um cromossomo a partir de suas características, permitindo comparar a qualidade entre as soluções. A função *fitness* para esta heurística obtém o somatório do tempo gasto por cada trem em atravessar todo o pátio. O tempo gasto considera desde o instante em que o lote chega no pátio (dado de entrada fornecido) até o instante em que o último vagão do lote sai do virador. Por se tratar de um problema de minimização, uma solução é melhor quanto menor a sua *fitness*, representando trens que atravessam o pátio com menos atrasos.

4.6. Seleção

A partir de uma população de N elementos, e depois de executar as operações de *crossover* e mutação, são selecionados os N melhores cromossomos que irão compor a próxima geração.

5. EXPERIÊNCIAS E RESULTADOS

Os experimentos aqui realizados têm o objetivo de: 1) verificar se as definições de solução inicial, operações de *crossover* e mutação possibilitam a convergência da heurística; 2) averiguar a eficiência da heurística, por meio de comparações feitas em instância onde o ótimo pôde ser obtido; e 3) calibrar a heurística, encontrando a combinação de parâmetros (quantidade de iterações, tamanho de uma geração e probabilidade de mutação) que geram melhores resultados. As experiências foram realizadas usando um processador Intel Core i7-3.4GHz com oito núcleos e 8GB de memória RAM em um sistema operacional Ubuntu 14.04 LTS. A heurística foi implementada em Python 2.7, usando os pacotes Numpy e NetworkX.

5.1. Calibração da heurística

A calibração da heurística consiste em obter uma combinação de parâmetros que geram melhores resultados para um conjunto de entradas. Para isso, tomamos os mesmos layouts de recepção de pátio ferroviário do experimento anterior e o mesmo agendamento de chegada de nove lotes no pátio. Os parâmetros a serem calibrados, e os possíveis valores assumidos por cada um deles, são os seguintes: 1) a quantidade de iterações da heurística (número de gerações a serem simuladas), que pode assumir os valores em [50, 100, 250, 500, 1000]; 2) o tamanho de uma geração (a quantidade máxima de cromossomos que serão repassados para a próxima iteração), assumindo um dos valores em [10, 30, 50]; e 3) a probabilidade de mutação, dentre [1%, 5%, 10%]. Assim, foi experimentado um total de 45 combinações.

Para cada combinação dos três parâmetros citados a heurística foi executada dez vezes e o valor médio dos resultados foi registrado. Consideramos para a calibração a adoção de soluções iniciais aleatórias pois, como identificado no experimento anterior, ela forneceu à heurística um comportamento mais regular, independentemente do tipo de layout adotado. Ao realizar o experimento para cada tipo de layout, simétrico e não simétrico, identificou-se que ambos os casos compartilharam seis dentre as dez melhores combinações. As melhores combinações que se aplicam às duas instâncias são (ordenados em número de iterações, tamanho de geração e probabilidade de mutação) as seguintes: [250, 50, 10%]; [500, 30, 10%]; [500, 50, 10%]; [1000, 30, 5%]; [1000, 30, 10%]; e [1000, 50, 5%]. As combinações foram ordenadas desta maneira pois quanto maior o número de iterações e a quantidade de cromossomos por geração, maior também o tempo de processamento necessário, sendo preferidas combinações que executem mais rápido. Observa-se também que nenhuma das melhores configurações encontradas apresenta probabilidade de mutação equivalente a 1%. Isto evidencia que, para a heurística, apenas a operação de *crossover* não é suficiente para obter as melhores soluções e que, sem uma probabilidade específica de mutação, o problema de escolha de viradores e roteamento de lotes pode não atingir bons resultados.

Testes foram realizados também no sentido de verificar o tempo de processamento da heurística, aumentando a quantidade de lotes que ingressam na recepção em dez, cem e mil lotes. Como os critérios de parada do algoritmo dependem apenas do número de iterações e os demais parâmetros são fixos, o tempo de processamento aumenta praticamente de maneira linear em relação ao aumento de lotes, obtendo para as entradas de tamanho, dez, cem e mil, os tempos aproximados de 600 milissegundos, 6 segundos e 60 segundos, respectivamente.

5.2. Verificação da heurística

Para verificar a contribuição dos métodos de construção de soluções iniciais (aleatória ou baseada em regra), do *crossover* e da mutação, nos resultados obtidos pela heurística de algoritmo genético, tomamos duas instâncias de pátio ferroviário. Dada uma sequência de lotes agendados para ingressar na recepção do pátio (núm. total de nove lotes), executamos versões incrementais da heurística nas duas instâncias e registramos os resultados obtidos. A métrica usada para avaliar os resultados dos experimentos foi a função de *fitness*.

Foram usadas duas instâncias nos experimentos, representadas por grafos de 26 nós e 120 arestas. Além no número de nós essas instâncias diferenciaram-se pelo seu layout, sendo o pátio de 26 nós com um layout simétrico e outro não simétrico. Os testes foram feitos para avaliar diferentes estratégias para layout de pátio. Na recepção de layout simétrico, as linhas

com mesmos domínios de origem e destino possuem o mesmo custo, similar ao pátio na Figura 1. Na recepção de layout não simétrico, o custo dessas mesmas linhas foi alterado aleatoriamente, simulando um pátio cuja disposição de linhas não é simétrica. Para testar a contribuição dos elementos do AG foram implementadas três versões incrementais da heurística, sendo elas as seguintes (por ordem de versão): 1) apenas a solução inicial (sendo ela aleatória ou baseada em regra); 2) com *crossover*, sem mutação; e 3) completa, com *crossover* e mutação. Esta estratégia busca identificar a relevância de cada procedimento para a obtenção de soluções de boa qualidade.

Para cada tipo de layout de pátio (simétrico e não simétrico) e para cada forma de solução inicial (aleatória ou baseada em regra) fizemos os experimentos com as versões incrementais e, para cada versão, o experimento foi repetido dez vezes e os valores médios foram calculados. O layout simétrico foi usado para verificar a qualidade das soluções da heurística, pois a solução ótima consiste em distribuir os lotes alternadamente entre linhas subsequentes.

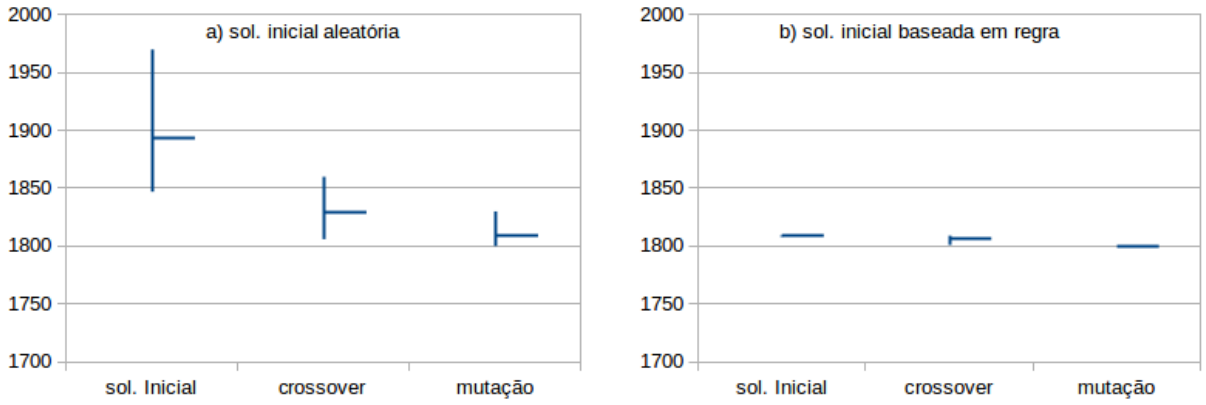


Figura 7: Resultados no pátio de layout simétrico

A Figura 7 mostra, em minutos, os tempos (eixo Y) mínimo, máximo e médio obtidos após 10 execuções da heurística. Foi arbitrado 10 execuções para avaliar a variabilidade das soluções encontradas pela heurística. Para avaliar a contribuição dos elementos do AG, os eixos X representam versões incrementais do algoritmo, na ordem: 1) apenas solução inicial; 2) com *crossover;* e 3) com mutação. A Figura 7.a adota a solução inicial aleatória e a Figura 7.b a solução inicial baseada em regra. Para o layout simétrico, observa-se que, adotando a solução inicial aleatória, em média, a melhor solução inicial encontrada (1.892,8 min.) dista em aproximadamente 85 min. da melhor solução encontrada (1.808,5 min.). Ao adicionar de *crossover*, o valor médio cai para 1.829,5 minutos, distante em 21 min. da melhor solução encontrada. A melhor solução também foi obtida usando a operação de mutação.

Ainda para o layout simétrico adotando agora a solução inicial baseada em regra, observa-se que, além de apresentar um baixo desvio padrão, os valores médios na solução inicial (1.808,6 min.) e depois do *crossover* (1.807,1) são próximos à melhor solução encontrada (1.800,0 min.). Isso quer dizer que, para o problema de EVRL, quando a recepção do pátio ferroviário possui um layout simétrico, a melhor solução encontrada por meio da heurística pode ser também encontrada (ou uma solução muito próxima) usando um algoritmo determinístico, baseado nas regras consideradas para a solução inicial. Por fim, as melhores soluções encontradas, tanto considerando soluções iniciais aleatórias (1.808,5 min.) como soluções baseadas em regras (1.800.0 min.), não estão muito distantes.

Para o layout não simétrico observa-se que, adotando a solução inicial aleatória (Figura 8.a), em média, a melhor solução inicial encontrada (1.651,8 min.) dista em aproximadamente 60 min. da melhor solução encontrada (1.591,3 min.). Ao adicionar a operação de *crossover* (1,628,6 min.), a distância para a melhor solução encontrada cai para aproximadamente 37 minutos. Assim como no layout simétrico, no layout não simétrico a melhor solução apenas foi alcançada ao adicionar a operação de mutação (1.591,3 min.).

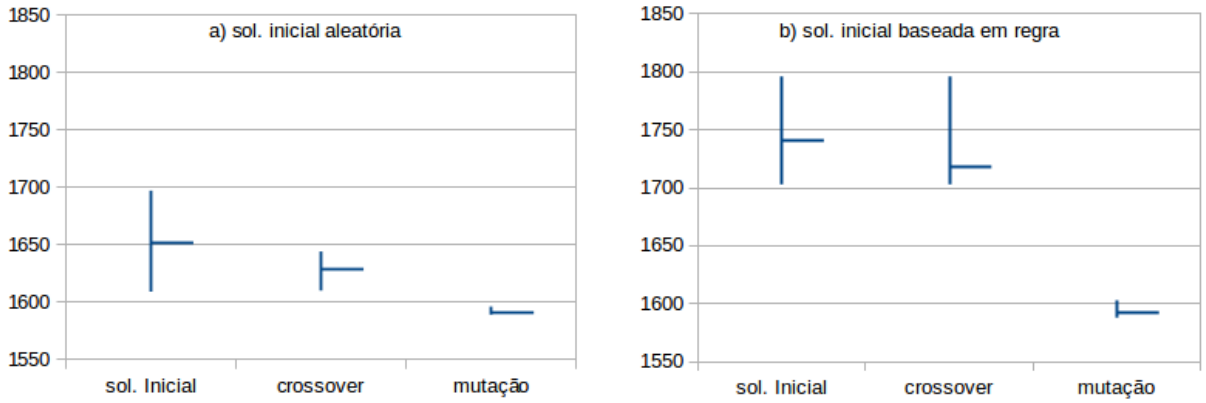


Figura 8: Resultados no pátio de layout não simétrico

Tomando a solução inicial baseada em regra (Figura 8.b), também para o layout não simétrico, observa-se que, em média, a melhor solução inicial encontrada (1.740,4 min.) dista em aproximadamente 147 minutos da melhor solução encontrada (1.592,9 min.). Resultado completamente diferente àquele obtido para um layout simétrico, ou seja, soluções iniciais baseadas em regras podem não atender adequadamente instâncias com layouts de pátios ferroviários não simétricos. Além disso, adicionando apenas o *crossover* (1.717,5 min.) as soluções não apresentam melhorias consideráveis (permanecendo na mesma faixa de custos anteriores), caindo apenas para aproximadamente 124 min. de diferença da melhor solução encontrada. Apenas ao adicionar a operação de mutação a heurística alcança valores próximos às melhores soluções obtidas quando adotada a solução inicial aleatória, em 1.592,9 min..

A partir das instâncias exploradas identifica-se que, tanto em layout simétrico e não simétrico, a heurística apresenta o mesmo comportamento para soluções iniciais aleatórias, enquanto que o desempenho de soluções iniciais baseadas em regra depende do layout do pátio. Contudo, os resultados mostram a necessidade de utilizar todos os procedimentos do algoritmo genético, pois apenas com a combinação deles foi possível obter as soluções de melhor qualidade.

6. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentado um algoritmo genético para auxiliar no processo de tomada de decisão no encaminhamento trens carregados de minério, processados em lotes, que ingressam na recepção de um pátio ferroviário. Vale destacar que a solução aqui proposta pode ser aplicada para quaisquer pátios onde trens devem ser roteados dentre um conjunto de possíveis caminhos até a chegada em equipamentos para descarga, como no transporte de soja, farelo, etc. O problema, chamado aqui de problema de Escolha de Virador e Roteamento de Lotes (EVRL), consiste em, para cada lote que ingressa no pátio, decidir em qual virador os seus vagões serão descarregados e a rota para chegar nele, minimizando o tempo de passagem de cada lote na recepção do pátio. Para a tomada de decisão são usados como informações de entrada os elementos da via (linhas, AMVs e viradores) do pátio ferroviário e

os tempos de chegada de lotes no pátio. Os elementos da via são representados em um grafo.

A heurística proposta, baseada em algoritmo genético, representa uma solução como um conjunto de rotas, onde o destino de cada uma delas é um virador. A partir de um conjunto inicial de possíveis soluções, a cada iteração a heurística realiza combinações entre pares de soluções e precipitações baseadas em probabilidade, mantendo para o próximo ciclo apenas as soluções com os melhores *fitness*. Experimentos realizados mostram que soluções iniciais baseadas em regras são mais adequadas em instâncias nas quais a disposição e custos dos elementos de via de um pátio ferroviário apresentam uma configuração simétrica. Sendo assim, nesses casos a melhor solução pode ser obtida através de regras intuitivas, como a alternação de lotes entre corredores de linhas subsequentes. Entretanto, para instâncias de configuração não simétricas, a mesma regra aplicada gera resultados distantes dos melhores resultados encontrados quando adotada a heurística proposta. Além disso, mostrou-se evidente a contribuição gradual das operações de *crossover* e mutação para a convergência nas melhores soluções encontradas, principalmente da segunda.

Como trabalhos futuros, espera-se aplicar o algoritmo genético proposto num pátio de recepção real. Além disso, será avaliada a sua aplicabilidade nos demais setores do pátio ferroviário (pátios de classificação e formação).

Agradecimentos
Os autores agradecem o suporte financeiro do CNPq através dos projetos com processos nº. 469172/2014-2 e nº 307439/2016-0 e a FAPES com processo de nº. 75528452/2016.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bacelar, A. e Salles. A. (2005). Um modelo matemático para maximização da produtividade de locomotivas em ferrovias brasileiras. *Anais do SBPO 2005*.

Boysen, N.; Fliedner, M.; Jaehn, F. e Pesch, E. (2013). A Survey on Container Processing in Railway Yards. *Transportation Science*, v. 47, n. 3, p. 312-329.

Boysen, N.; Fliedner, M.; Jaehn, F. e Pesch, E. (2012). Shunting yard operations: Theoretical aspects and applications. *European Journal of Operational Research*, v. 220, n. 1, p. 1–14.

Camurça, F.; Sampaio, S. e Robles, L. (2012). Produtividade portuária: Estudo de caso do processo de descarga de minério no Terminal Portuário Ponta da Madeira – Vale. *SIMPOI 2012*.

Goldberg, D. (1989). *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*, Addison-Wisley.

Hamacher, F.; Porto, O.; Uchoa, E. e Poggi, M. (2005). Logística ferroviária: Resolução do problema de alocação ótima de vagões e locomotivas no curto prazo. *Anais do SBPO 2005*.

Monteiro, M. e Scopel, M. (2003). Dados para um estudo de comportamento dinâmico de um pátio de manobras ferroviárias. *Anais do SBPO 2003*, p. 933-945.

Oliveira, W. e Cardoso, R. (2003). Um otimizador branch & bound paralelo para manobras em pátios ferroviários. *SBPO 2003*.

Sabino, J.; Leal, J.; Stutzel, T. e Birattari, B. (2010). A multi-objective ant colony optimization method applied to switch engine scheduling in railroad yards. *Revista Pesquisa Operacional*, v. 30, n. 2.

Shi, T. e Zhou, X. (2015). A mixed integer programming model for optimizing multi-level operations process in railroad yards. *Transportation Research Part B: Methodological*, v. 80, p. 19–39.

Yue, Y.; Zhou, L.; Sun, Q. e Yue, Q. (2006). An Ant Algorithm for the Reception-Departure Line Assignment Problem. *Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, p. 2284–2289.

Juan X. E. A. Calles (callesjuan@gmail.com)
Leandro C. Resendo (leandro@ifes.edu.br)
Rodrigo de A. Rosa (rodrigo.a.rosa@ufes.br)
Coordenadoria de Sistema de Informação, Instituto Federal do Espírito Santo - Campus Serra
Rodovia ES-010 - Km 6,5 - Manguinhos - Serra - ES

UM *BRANCH-AND-CUT* PARA O PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO DE SENSORES DE TRÁFEGO COM LIMITAÇÕES QUANTO AO NÚMERO DE SENSORES E DE FAIXAS DE TRÁFEGO OBSERVADAS

Pedro Henrique González
Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ)
Victor Hugo Souza de Abreu
Bruno Salezze Vieira
Glaydston Mattos Ribeiro
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE)
Heider Augusto da Silva Gomes
Fundação COPPETEC, Universidade Federal do Rio de Janeiro
Leonardo Roberto Perim
Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – Ministério dos Transportes

RESUMO
O problema de localização de sensores em rede para monitorar o fluxo de veículos tem sido objeto de crescente interesse nos últimos anos, devido à sua relevância para o gerenciamento e controle de tráfego, ao fornecer dados de tráfego essenciais para desenvolvimento de novas políticas públicas relacionadas ao setor de transportes e direcionar decisões governamentais. Nesse sentido, este artigo tem como propósitos apresentar uma formulação matemática inovadora para representação do problema, com sensores instalados em segmentos viários, para fins de cobertura de pares origem e destino com restrições quanto ao número de sensores e de faixas de tráfego observadas, e propor um algoritmo *Branch-and-Cut* para encontrar soluções ótimas. Os testes computacionais, realizados em instâncias reais, correspondentes aos estados brasileiros, comprovaram que o algoritmo desenvolvido é capaz de fornecer soluções ótimas para sete dessas instâncias e boas soluções para outras treze.

ABSTRACT
The network sensor location problem to monitor flows has been an object of growing interest in the past few years, due to its relevance in the field of traffic management and control, by providing essential traffic data for developing new public policies related to the transport sector and directing government decisions. In this sense, this paper aims to present an innovative mathematical formulation to represent the problem, with sensors located in links, for the purpose of counting flow from origin-destination pairs with restrictions on the number of traffic sensors and traffic lanes observed; and proposes a Branch-and-Cut algorithm to find optimal solutions. The computational tests applied in real instances, composed of the Brazilian states, have shown that the algorithm developed is able to provide optimum solutions for seven of these instances and good solutions for another thirteen.

1. INTRODUÇÃO

Para monitorar as condições de tráfego durante dias normais, bem como em eventos atípicos, as agências de controle e gestão de tráfego utilizam sensores (por exemplo, tubos de estrada pneumáticos e dispositivos de contato elétrico ou magnético) que indicam a presença ou passagem de veículos por um determinado ponto viário (ou uma estação de medição), durante um período de tempo especificado (Garber e Hoel, 1999).

Os sensores são pequenos dispositivos eletrônicos com energia e capacidade de bateria limitadas utilizados para detecção, processamento e comunicação de dados de tráfego (Guney *et al.*, 2011). As informações transmitidas por esses equipamentos, como o volume médio diário anual, quilômetros percorridos por veículo, composição do tráfego e o volume de pico em um determinado período, são essenciais para o planejamento e gerenciamento do sistema de transporte rodoviário (Fei e Mahmassani, 2011). Os dados obtidos pelos sensores podem, por exemplo, indicar a necessidade de duplicação de uma via ou de criação de uma faixa

auxiliar em Rodovias com grande fluxo de veículos, ou mesmo, reforçar a necessidade de melhorias na pavimentação de vias com elevado tráfego de veículos pesados, que solicitam maiores cargas à infraestrutura viária. Além disso, podem ser eficientes no desenvolvimento de matrizes de Origem e Destino (OD) que representam a distribuição espacial das viagens entre as zonas de tráfego de uma área de estudo e que são fonte de informação importante para muitos estudos de transporte, como previsão de demanda futura de viagens e gestão de transporte e controle.

Entretanto, a qualidade das informações coletadas depende de quantos e quais tipos de sensores estão instalados na rede, do local de instalação (segmentos ou nós viários) e da complexidade da rede de transporte. Além disso, diferentes pesos e prioridades podem ser atribuídos às variáveis de estado de acordo com a importância das vias a serem analisadas (Viti *et al.*, 2014).

Como a instalação de sensores em cada segmento da rede não é possível, devido às limitações orçamentárias a que as agências de tráfego são submetidas, faz- se necessário definir estratégias para determinar a melhor localização desses equipamentos com o propósito de melhorar a quantidade e a qualidade das informações de tráfego coletadas (Bianco *et al.*, 2006).

O problema de posicionar estrategicamente sensores em uma rede é definido como Problema de Localização de Sensores em Rede (PLSR) que se diferencia de acordo com o tipo de sensor a ser instalado (sensor de contagem, sensor de identificação de rota – Rota ID, sensor de imagem e sensor de identificação de veículo – Veículo ID) e fluxo de interesse (volume entre pares Origem e Destino – OD, volume nos arcos, volume na rota ou uma combinação deles) (Cerrone *et al.*, 2015).

Além disso, segundo Gentili e Mirchandani (2012), o problema pode ser dividido em dois subproblemas: (I) Problema de localização de sensores para observar completamente o fluxo (*sensor location flow-observability problems)*; e (II) Problema de localização de sensores para estimar o fluxo (*sensor location flow-estimation problems).*

O problema de observação do fluxo consiste em identificar o número mínimo de sensores e suas localizações ótimas, de modo que as medições coletadas permitam a determinação dos fluxos em todos os segmentos diretamente ou indiretamente observados pelos equipamentos eletrônicos (Castillo *et al.*, 2013, 2015). As informações necessárias para resolver esses problemas são as relações topológicas expressas na chamada incidência, que relaciona o segmento, o nó, a rota e possivelmente as variáveis OD entre si (Rinaldi *et al.*, 2015).

Entretanto, a análise empírica e os métodos analíticos mostraram que entre 60% e 70% dos segmentos, em uma rede, teriam que ser observados para atingir a observação completa (Hu *et al.*, 2009; Ng, 2012; Castillo *et al.*, 2013), o que é economicamente inviável para qualquer rede de tamanho real.

Dessa forma, foram desenvolvidos modelos matemáticos de estimativa do fluxo que são mais adequados às limitações orçamentárias a que as agências de controle e gestão de tráfego são submetidas. Esses modelos foram desenvolvidos para resolver duas situações distintas: (I) Quando o número de sensores é ilimitado, mas busca-se minimizar sua quantidade; ou (II)

Quando o número total de sensores é limitado, devido às restrições orçamentárias, e busca-se maximizar alguma regra de cobertura (Gentili e Mirchandani, 2012). Essas regras, explicitamente, não melhoram uma função de estimativa, mas definem diretrizes na localização de sensores que são usadas para impor restrições e/ou objetivos nos modelos de localização.

Nesse sentido, o presente artigo tem como propósito apresentar um modelo matemático de programação linear inteira, que busca localizar os sensores de contagem em uma rede para fins de cobertura de pares OD, para auxiliar o processo de definição de matrizes OD. Esse modelo difere da literatura ao introduzir explicitamente uma restrição que limita o número de sensores posicionados bem como o número de faixas de tráfego. Além do modelo, este trabalho ainda propõe um algoritmo exato, *Branch-and-Cut*, para encontrar soluções ótimas. Experimentos computacionais foram realizados com os dados reais dos estados brasileiros, propostos por González *et al.* (2016), que permitem demonstrar a eficiência do algoritmo proposto.

Este trabalho é motivado pelo Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT) que está em fase de implantação pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). O PNCT tem como finalidade fornecer dados precisos do tráfego nas rodovias federais.

Além desta seção introdutória, o restante deste trabalho está assim estruturado. A Seção 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre o PLSR. A Seção 3 apresenta e descreve a formulação matemática desenvolvida para representação do problema. O algoritmo exato de *Branch-and-Cut* é apresentado na Seção 4, que é seguida da Seção 5 que contém os experimentos computacionais realizados. Por fim, as conclusões e recomendações para trabalhos futuros são descritas na Seção 6.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Modelos matemáticos foram desenvolvidos ao longo dos anos com o propósito de representar matematicamente o PLSR, mais precisamente para estimar o fluxo de viagens entre pares OD a partir de sensores de contagem instalados em segmentos viários. Os modelos matemáticos que se encaixam nessa categoria podem ser divididos em dois tipos principais: (I) Aqueles que buscam minimizar o número de sensores considerando que os recursos são ilimitados; e (II) Aqueles que buscam maximizar algum critério ou "regra" de localização, considerando um recurso limitado como, por exemplo, que o número de sensores posicionados não ultrapasse um valor limite.

Entre os modelos matemáticos que buscam minimizar o número de sensores na rede, destaca-se o proposto por Yang *et al.* (1991) que tem como restrição a garantia de atendimento a todos os pares OD (ou seja, cada par OD precisa ser coberto por pelo menos um sensor) e o modelo proposto por Yang *et al.* (2006) que garante a cobertura de todas as rotas de todos os pares OD (ou seja, os sensores devem estar localizados em segmentos da rede de modo que, para cada par OD, todas as rotas devem ser cobertas).

Entretanto, como as agências de controle e gestão de tráfego são submetidas, na maioria das vezes, às restrições orçamentárias que impossibilitam a cobertura de todos os pares OD ou todas as rotas entre pares OD, foram desenvolvidos modelos matemáticos que buscam maximizar alguma "regra" ou critério de localização.

Nesse sentido, encaixam-se nessa categoria: o modelo proposto por Yim e Lam (1998) que busca maximizar o fluxo de viagens OD capturado (os sensores devem estar localizados em segmentos de modo que, para um dado número de sensores, o melhor conjunto de localização é aquele que capta o maior número de pares OD), o proposto por Yang e Zhou (1998) que garante a cobertura de todos os pares OD e maximiza o fluxo de rota capturado (os sensores devem estar localizados em segmentos de modo que, para um dado número de sensores, o melhor conjunto de localização é aquele que capta os maiores fluxos de rotas entre pares OD), e o introduzido por Larsson *et al.* (2009) que tem como objetivo principal cobrir ao máximo o fluxo de tráfego (os sensores devem estar localizados nos segmentos de modo que os fluxos observados sejam maiores tanto quanto possíveis).

Uma desvantagem considerável dos modelos matemáticos desenvolvidos por Yim e Lam (1998), Yang e Zhou (1998) e Larsson *et al.* (2009) consiste no fato de dependerem das informações de fluxo obtidas previamente por meio de dados históricos, levantamentos iniciais ou modelos estáticos de atribuição de tráfego calibrados para fins de planejamento.

Dessa forma, Yang *et al.* (2006) propuseram mais um modelo matemático que posiciona sensores, em um dado número máximo de segmentos, e maximiza o número de pares OD separados, ou seja, interceptados pelos contadores de tráfego. Nota-se que o modelo criado por Yang *et al.* (2006) depende apenas do conjunto de segmentos, nós e pares OD da rede em estudo e suas relações (depende apenas da topologia da rede), dessa forma, não precisam ser realizadas considerações a respeito do fluxo de tráfego.

Analisando criteriosamente os modelos matemáticos descritos anteriormente, constatou-se que eles não levem em consideração a questão do sensor estar posicionado em segmentos com uma ou mais faixas de rolamento. Entretanto, sabe-se que o custo para implantar e contar o número de veículos que passa em um segmento com, por exemplo, três faixas de rolamento por sentido, é maior do que se este equipamento fosse instalado em local onde se tem apenas uma faixa por sentido. Surge assim, a necessidade de incorporar uma restrição referente ao número de faixas monitoradas pelos sensores. Destaca-se, no entanto, que essa caraterística está presente no PNCT, apresentado na Seção 1. Dessa forma, tomando como base o modelo matemático de Yang *et al.* (2006), este artigo apresenta um novo modelo que incorpora uma restrição quanto ao número de faixas de rolamento por sentido, conforme apresentado na Seção 3.

O PLSR é um problema combinatório *NP-Hard* (Chen *et al.*, 2007), com isso diversos métodos de solução foram desenvolvidos para resolvê-lo, desde aqueles focados na obtenção de soluções aproximadas com tempo computacional reduzido, denominados heurísticas e meta-heurísticas, até aqueles que obtém a solução ótima (melhor solução) do problema, mas que consomem elevado tempo de processamento, chamados de métodos exatos.

González *et al.* (2016) propuseram três heurísticas para o PLSR no qual todos os pares OD devem ser interceptadores por contadores. A primeira heurística (C1) é baseada no limite superior do problema de fluxo máximo. Já a segunda (C2) utiliza a ideia de gerar alguns caminhos necessários entre cada par OD e adicionar aleatoriamente um contador de tráfego a este caminho. Por último, a heurística (C3) utiliza a ideia de separar cada par OD, por meio do

emprego de um algoritmo de corte mínimo. Dentre as heurísticas desenvolvidas, a C3 apresentou os melhores resultados, porém como maior tempo computacional.

Chen *et al.* (2007) desenvolveram um Algoritmo Genético (AG) (Goldberg e Holland, 1988) para solucionar o problema também abordado por González *et al.* (2016), que inicia a partir de uma população aleatória de indivíduos, os quais são representados por uma sequência de números inteiros binários (cromossomos) com um tamanho igual ao número de segmentos da rede, e o valor em cada gene indica a existência ou não de um contador na respectiva aresta.

Já Bianco *et al.* (2014) desenvolveram e testaram um algoritmo exato, baseado em um esquema *Branch and Price*, para resolver otimamente o problema de localização de sensores, que incorpora heurísticas existentes na literatura para melhorar o desempenho do algoritmo. Além disso, os autores ainda propuseram uma meta-heurística, baseada em AG, para obter uma solução quase ótima.

Seguindo a linha de pesquisa de Bianco *et al.* (2014), o presente artigo propõe um algoritmo exato, *Branch and Cut*, conforme apresentado na Seção 4, para resolver o modelo matemático descrito na Seção 3.

3. DEFINIÇÃO E FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO PROBLEMA

Nesta Seção é definida e apresentada a formulação matemática de programação linear inteira para o PLSR que leva em consideração restrições relacionadas ao número de faixas atendidas. Como mencionado na Seção 2, tomou-se a formulação de Yang *et al.* (2006) como base para o desenvolvimento do novo modelo.

Considere uma rede de transportes não orientada $G = (V, A)$, em que o conjunto de nós V representa as interseções da rede e o conjunto de segmentos A representa as vias ou os segmentos da rede. O conjunto V contém também os centróides das zonas de tráfego da rede de transportes estudada.

Considere ainda que W é o conjunto de todos os pares OD e R é o conjunto de todas as rotas que conectam os pares OD. Seja δ_{ra}^{w} um parâmetro que é igual a 1 se o segmento $a \in A$ estiver na rota $r \in R$ entre o par OD $w \in W$, e 0, caso contrário. Para limitar o número de contadores posicionados na rede, seja α um parâmetro que indica o número máximo de segmentos selecionados.

Para contemplar a questão do número máximo de faixas de rolamento (β) atendidas por cada sensor posicionado, seja c_a um parâmetro que representa o número de faixas no segmento $a \in A$. Então, por exemplo, se um dado segmento $a_1 \in A$ possui duas faixas por sentido, logo $c_{a_1} = 4$.

Com relação às variáveis de decisão, seja x_a, $a \in A$, uma variável de decisão binária que ao assumir o valor 1, indica que um sensor de contagem de tráfego deve ser localizado no segmento a, caso contrário, $x_a = 0$. E por último, seja y_w uma variável de decisão também binária que indica se um par OD $w \in W$ está (y_w=1) ou não (y_w=0) sendo coberto por pelo menos um sensor de contagem posicionado. Assim, o modelo matemático do PLSR proposto neste artigo está apresentado a seguir.

Maximizar $$Z_1 = \sum_{w \in W} y_w \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{a \in A} \delta_{ra}^{w} x_a \geq y_w \qquad \forall r \in R_w, w \in W \quad (2)$$

$$\sum_{a \in A} x_a \leq \alpha \quad (3)$$

$$\sum_{a \in A} c_a x_a \leq \beta \quad (4)$$

$$x_a \in \{0,1\} \qquad \forall a \in A \quad (5)$$

$$y_w \in \{0,1\} \qquad \forall w \in W \quad (6)$$

A Função Objetivo (1) busca maximizar o número de pares OD separados, ou seja, interceptados pelos sensores de tráfego. As Restrições (2) garantem que se um par OD for interceptado, pelo menos um sensor de contagem de tráfego deve estar associado a um segmento dos caminhos mínimos envolvidos. A Restrição (3) indica que o número total de segmentos selecionados deve respeitar o número máximo de segmentos permitidos. A Restrição (4) garante que o número de faixas observadas deve respeitar o valor máximo permitido. Por último, as Restrições (5) e (6) estão associadas ao domínio das variáveis de decisão.

4. ALGORITMO DE *BRANCH-AND-CUT*

O algoritmo de *Branch-and-Cut* deriva da combinação do algoritmo de *Branch-and-Bound* com a técnica de planos de corte. Ele necessita de um algoritmo de separação para auxiliar no processo de definição dos cortes. Nemhauser e Wolsey (1988) apontam que as técnicas exatas *Branch-and-Bound* e *Branch-and-Cut* foram desenvolvidas com o propósito de garantir a convergência e fornecer a solução ótima (melhor solução) para problemas de Programação Linear Inteira (PLI) que, por definição, são problemas que possuem restrições que garantem que um subconjunto das variáveis só pode assumir valores inteiros.

Ao considerar o conjunto $\wp$ de pontos de coordenadas inteiras viáveis para o problema, a envoltória convexa é definida como o menor poliedro que contém $\wp$. Para problemas NP-hard, não se pode encontrar todas as desigualdades que definem a envoltória convexa em tempo polinomial, a não ser que $\wp = NP$, já que do contrário seria possível resolver o problema de PLI sem necessidade de uma técnica desenvolvida especificamente para ele.

Nesse sentido, a ideia por trás de *Branch-and-Cut* é encontrar famílias de desigualdades válidas que permitam uma melhor aproximação da envoltória convexa do problema. Depois de resolver a relaxação de programação linear em um nó da árvore, é possível verificar se a solução ótima encontrada viola algumas dessas desigualdades. Se assim for, uma nova restrição é inserida no modelo matemático e a relaxação é resolvida novamente. Este processo é repetido até que o limite inferior estabilize.

O conjunto de Restrições (2) cresce exponencialmente à medida que a rede cresce. Portanto, é impossível enumerar todos os caminhos para obter a solução ótima do Modelo (1)-(6). Assim, adotou-se inicialmente um modelo matemático relaxado que é composto apenas da Função Objetivo (1) e das Restrições (3)-(6) e que recebe mais restrições do tipo (2) por meio de um algoritmo de planos de corte. Este procedimento é repetido enquanto a solução viável encontrada violar algum aspecto do conjunto de restrições. Ao adotar esta estratégia, trabalha-se com um número menor de restrições do tipo (2).

O algoritmo de planos de corte ou de separação trabalha da seguinte maneira. Considere que $\boldsymbol{x}$ denota o vetor das variáveis binárias correspondentes aos elementos $x_a, a \in A$. Um algoritmo de separação para uma determinada classe de desigualdades do PLSR é um procedimento que toma um vetor $\boldsymbol{x}$ como entrada e retorna uma ou mais desigualdades do tipo (2) que são violadas por $\boldsymbol{x}$.

Denote $u_w(\boldsymbol{x})$ como o caminho mais curto entre o par OD $w \in W$, determinado como uma função do vetor binário $\boldsymbol{x}$. Se o valor do caminho mínimo (denotado por $val(u_w(x))$) for maior do que zero, então o caminho mais curto entre o par OD $w \in W$, obtido, por exemplo, pelo método de Dijkstra (Ahuba *et al.*,1993; Bertsekas, 1998), inclui pelo menos um sensor de contagem. Caso contrário, há pelo menos um caminho entre a origem e o destino do par OD em questão que não passa por qualquer sensor de contagem.

Algoritmo 1: $GeraCortes(s)$

```
1  Início
2     R = { };
3     U = Floyd − Warshall(G, s, W);
4     Para w ∈ W faça
5        Se val(u_w(s)) < val(y_w) e u_w(s) é ortogonal a todo u_w2 ∈ R Então
6           R ← R ∪ {u_w(s)};
7        Fim
8     Fim
9     Retorna R;
10 Fim
```

Para adicionar as Restrições (2) como cortes, o algoritmo de separação precisa de uma cobertura s, uma rede G e um conjunto de pares OD W. O pseudocódigo deste método é descrito no Algoritmo 1 que emprega o método de Floyd-Warshall (Passo 3) para retornar o conjunto U de todos os caminhos mais curtos entre todos os nós na rede. Para cada caminho entre os pares OD, $u_w \in U$, aqueles onde $val(u_w(\boldsymbol{x})) < val(y_w)$ violam as Restrições (2) e, portanto, são candidatos a entrarem como restrições de corte. O termo candidatos é usado, porque nem todos os caminhos desobstruídos são adicionados como cortes. A adição de cortes de todos os candidatos pode gerar um número muito grande de cortes que, na maioria das

vezes, não são necessários. Desta maneira optou-se por adicionar somente os caminhos que não possuam arestas em comum (Passo 5).

5. RESULTADOS COMPUTACIONAIS

O *Branch-and-Cut* foi implementado com auxílio do Software IBM CPLEX com todos os seus cortes e suas heurísticas desligadas. O processamento foi realizado em uma única *Thread* a fim de testar a eficiência do método.

As 26 instâncias, que representam cada um dos estados brasileiros, propostas por González *et al*. (2016), foram consideradas. Os dados foram extraídos da base georreferenciada do ano de 2015, disponibilizada pelo DNIT. Cada ponto de origem ou destino é um município brasileiro e cada aresta é um segmento de rodovia estadual ou federal. Salienta-se que como cada município é considerado origem ou destino para todos os outros municípios da rede, o número de pares OD (|W|) para cada instância, foi calculado como $|\mathrm{W}| = \frac{M\,(M-1)}{2}$, onde M representa o número de municípios da instância. Cada rota entre cada par OD (|W|) foi definida com base nas rotas das rodovias intermunicipais pavimentadas brasileiras, ou seja, são rotas efetivamente utilizadas por usuários da rede em estudo e não foram elaboradas com base em caminhos mínimos.

A Tabela 1 descreve as características de cada instância utilizada nos experimentos computacionais. A segunda coluna apresenta a quantidade de nós, a terceira coluna a quantidade de segmentos, a quarta contém a quantidade de pares OD e a quinta apresenta o número total de faixas de cada uma das instâncias.

Tabela 1: dados de cada instância.

Instância	$\|V\|$	$\|A\|$	$\|W\|$	$\|\mathrm{F}\|$
AC	61	84	190	172
AL	169	219	4656	444
AM	74	77	666	158
AP	52	77	78	148
BA	812	1113	77815	2248
CE	401	612	15576	1260
ES	283	394	2775	798
GO e DF	799	1165	28920	2478
MA	257	355	13203	736
MG	1474	1917	322003	4034
MS	343	497	2850	1026
MT	711	1069	9730	2166
PA	289	370	7381	742
PB	384	480	22578	1006
PE	362	472	14706	1028
PI	405	550	22366	1114
PR	780	1083	72390	2348
RJ	502	721	3655	1532
RN	333	433	12720	908
RO	185	258	1225	528
RR	75	97	78	194
RS	675	859	76245	1862
SC	481	604	35245	1252
SE	183	248	2701	504
SP	1280	1683	183315	4346
TO	372	524	8911	1072

Tabela 2: Resultados computacionais.

Instancia	Parâmetro α	Parâmetro β	Solução	Tempo(s)	GAP%
AC	8	17	128	1,68	0,00
		34	167	0,21	0,00
		51	167	0,21	0,00
AL	21	44	3689	165,06	0,00
		88	4206	1298,33	0,00
		133	4206	574.08	0,00
AM	7	15	615	2,13	0,00
		31	648	1,91	0,00
		47	648	23,43	0,00
AP	7	14	52	0,04	0,00
		29	67	0,07	0,00
		44	67	0,01	0,00
CE	61	126	13640	3600,00	0,22
		252	-	3600,00	-
		378	-	3600,00	-
ES	39	79	2365	3441,07	0,00
		159	2625	3600,00	0,09
		239	2625	3600,00	0,10
MA	35	73	11016	3600,00	0,16
		147	12214	3600,00	0,18
		220	12302	3600,00	0,11
MS	49	102	2569	3600,00	0,12
		205	2763	3600,00	0,25
		307	2766	3600,00	0,23
PA	37	74	6674	3600,00	0,06
		148	7110	3600,00	0,22
		222	7136	3600,00	0,16
PB	48	100	19668	3600,00	0,29
		201	-	3600,00	-
		301	21522	3600,00	0,19
PE	47	102	-	3600,00	-
		205	-	3600,00	-
		308	13988	3600,00	0,15
PI	55	111	-	3600,00	-
		222	21491	3600,00	0,14
		334	21503	3600,00	0,13
PR	108	234	67339	3618,70	0,34
		469	-	3600,00	-
		704	-	3600,00	-
RJ	72	153	3422	3600,00	0,38
		306	-	3600,00	-
		459	-	3600,00	-
RN	43	90	-	3600,00	-
		181	12004	3600,00	0,17
		272	12038	3600,00	0,12
RO	25	52	1053	50,69	0,00
		105	1154	817,10	0,00
		158	1155	1804,35	0,00
RR	9	19	67	0,61	0,00
		38	77	0,59	0,00
		58	77	0,70	0,00
SC	60	125	-	3600,00	-
		250	33679	3600,00	0,31
		375	-	3600,00	-
SE	24	50	2212	50,20	0,00
		100	2491	172,38	0,00
		151	2491	118,21	0,00

Instancia	Parâmetro α	Parâmetro β	Solução	Tempo(s)	GAP%
TO	52	107	7983	3600,00	0,07
		214	8495	3600,00	0,13
		321	8523	3600,00	0,09

A Tabela 2 apresenta os resultados da execução do algoritmo *Branch-and-Cut* com um tempo limite de uma hora de execução. A coluna Solução apresenta o valor da melhor solução encontrada durante o teste, ou seja, o maior número possível de pares OD interceptados pelos sensores de tráfego selecionados, a Coluna Tempo apresenta o tempo de execução em segundos necessário para obtenção da solução (quando encontrada) e a Coluna GAP% apresenta o residual da execução. Se o GAP% é igual 0,00 isso indica que a solução ótima foi encontrada. Salienta-se ainda que foram adotadas as seguintes premissas: (I) Para obtenção do parâmetro α considerou-se 10% do número total de segmentos de cada instância em estudo; e (II) Para obtenção do parâmetro β considerou-se cenários com 10%, 20% e 30% do total de faixas existentes em cada instância.

Analisando a Tabela 2, observa-se que *Branch-and-Cut* foi capaz de encontrar a solução ótima em sete instâncias (AC, AL, AM, AP, RO, RR e SE) para cada uma das variações do Parâmetro β. Além disso, na Instância ES, quando o Parâmetro β assume o valor de 79 faixas, o algoritmo desenvolvido também foi capaz de encontrar a solução ótima do problema.

Com a Tabela 2, percebe-se ainda que o aumento de 10% para 20% do total de faixas existentes nas Instâncias AC, AL, AM, AP, RR e SE (todas com solução ótima entrada) permitiu uma quantidade maior de Pares OD interceptados pelos sensores de tráfego, mas que o aumento de 20% para 30% não representou melhoria significativa. Isso se deve ao fato de que na primeira situação o Parâmetro β restringiu a observação dos Pares OD e que na segunda situação é o Parâmetro α (número de segmentos permitidos) quem restringe essa observação.

Salienta-se ainda que o algoritmo não foi capaz de encontrar uma solução viável (que respeita todas as restrições) para as Instâncias BA, GOeDF, MG, MT, RS e SP durante os 3600 segundos de execução.

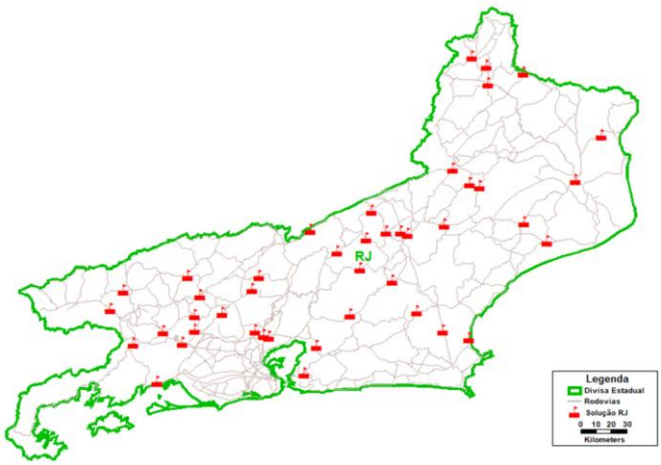


Figura 1 – Localização dos sensores para instância RJ com Parâmetro $\alpha = 0{,}1$ e Parâmetro $\beta = 0{,}1$.

Para exemplificar graficamente a solução de uma das instâncias, considere a instância RJ com Parâmetro $\alpha = 0{,}1$ e Parâmetro $\beta = 0{,}1$. A melhor solução obtida é capaz de interceptar 3422 pares OD com a distribuição de sensores de tráfego apresentada na Figura 1. Nota-se uma distribuição espacial que considera os principais segmentos rodoviários como a BR 040, BR 101 e BR 116.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo buscou propor uma formulação matemática inovadora para o problema de localização de sensores em rede, que busca maximizar o número de pares OD cobertos e que tem como restrições o número de segmentos e de faixas de rolamento atendidos por cada sensor posicionado. Além disso, foi proposto um algoritmo *Branch-and-Cut* para solucionar o problema de maneira ótima.

Os testes computacionais realizados em instâncias reais, propostas por González *et al.* (2016), comprovam que o algoritmo desenvolvido é capaz de encontrar solução ótima de sete instâncias (AC, AL, AM, AP, RO, RR e SE) e fornecer boas soluções para outras treze (CE, ES, MA, MS, PA, PB, PE, PI, PR, RJ, RN, SC e TO). Além disso, foi possível constatar que uma restrição da formulação matemática pode exercer mais influência que outra no aumento da quantidade de pares OD observados pelos sensores.

Como sugestões para trabalhos futuros recomenda-se avaliar como a variação de cada uma das restrições afeta na cobertura dos pares OD e incorporar, ao *Branch-and-Cut* proposto, heurísticas que melhorem o seu desempenho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahuja, R. K., Magnanti, T. L. e Orlin, J. B. (1993). *Network flows: Theory, Algorithms and Applications.* Prentice Hall, Upper Saddle River, New Iersey.

Bertsekas, D. P. (1998). *Network Optimization: Continuous and Discrete Models.* Athena Scientific, Belmont, Massachusetts.

Bianco, L., Confessore, G. e Gentili, M. (2006). Combinatorial Aspects of the Sensor Location Problem. *Annals of Operations Research*, v. 144, n. 1, p. 201–234.

Bianco, L., Cerrone, C., Cerulli, R., e Gentili, M. (2014). Locating Sensors to Observe Network Arc Flows: Exact and Heuristic Approaches. *Computers and Operations Research*, v. 46, p. 12–22.

Castillo, E., Grande, Z., Calviño, A, Szeto, W.Y. e Lo, H.K. (2015). A state-of-the-Art Review of the Sensor Location, Flow Observability, Estimation and Prediction Problems in Traffic Networks. *Journal of Sensors.* v. 2015.

Castillo, E., Nogal, M., Rivas, A. e Sánchez-Cambronero, S. (2013). Observability of Traffic Networks: Optimal Location of Counting and Scanning Devices. *Transportmetrica B: Transport Dynamics*, v. 1, n. 1, p. 68–102.

Cerrone, C., Cerulli, R., e Gentili, M. (2015). Vehicle-ID Sensor Location for Route Flow Recognition: Models and Algorithms. *European Journal of Operational Research*, v. 247, n. 2, p. 618–629.

Chen, A., Pravinvongvuth, S., Chootinan, P., Lee, M. e Recker, W. (2007). Strategies for Selecting Additional Traffic Counts for Improving O-D Trip Table Estimation. *Transportmetrica*, v. 3, n. 3, p. 191–211 .

Ehlert, A., Bell, M.G.H. e Grosso, S. (2006). The Optimization of Traffic Count Locations in Road Networks. *Transportation Research Part B: Methodological*, v. 40, p. 460–479.

Fei, X., Mahmassani, H.S. (2011). Structural Analysis of Near-Optimal Sensor Locations for a Stochastic Large-Scale Network. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, v. 19, n. 2, p. 440–453.

Garber, N.J. e Hoel, L.A. (1999). *Traffic and Highway Engineering*. PWS Publishing Company, Boston, Massachusetts.

Gentili, M. e Mirchandani, P.B. (2012). Locating Sensors on Traffic Networks: Models, Challenges and Research Opportunities. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, v. 24, p. 227–255.

González, P. H., Clímaco, G., Simonetti, L., Gomes, H. A. e Ribeiro, G. M. (2016). Heurísticas para o Problema de Localização de Contadores de Tráfego em Redes de Transporte. *In Anais do XXX ANPET*. ANPET.

Guney, E., Necati Aras, N., Altınel, I. K. e Ersoy, C. (2011). Efficient Solution Techniques for the Integrated Coverage, Sink Location and Routing Problem in Wireless Sensor Networks. *Computers & Operations Research*, v. 39, p. 1530–1539.

Hu, S.R., Peeta, S. e Chu, C.H. (2009). Identification of Vehicle Sensor Locations for Segmento-based Network Traffic Applications. *Transportation Research Part B: Methodological*, v. 43; n. 8–9, p. 873–894.

Larsson, T., Lundgren, J.T. e Peterson, A. (2009). Allocation of Link Flow Detectors for Origin-Destination Matrix Estimation – a Comparative Study. *Computer- Aided Civil and Infrastructure Engineering*, v. 00, p. 1–16.

Nemhauser, G. L. e Wolsey, L. A. (1988). Integer Programming and Combi-Natorial Optimization.

Ng, M. (2012). Synergistic Sensor Location for Segmento Flow Inference Without Path Enumeration: a Node-based Approach. *Transportation Research Part B: Methodological*, v. 46, n. 6, p. 781–788.

Rinaldi, M., Corman, F. e Viti, F. (2015). Assessing the Effect of Route Information on Network Observability Applied to Sensor Location Problems. *Transportation Research Procedia*, p. 3–12.

Viti, F., Rinaldi, M., Corman, F. e Tampe`re, C. M. J. (2014) Assessing partial observability in network sensor location problems. *Transportation Research Part B: Methodological*, 70, 65–89.

Yang, C., Chootinan, P. e Chen, A. (2003). Traffic Counting Location Planning using Genetic Algorithm. *Journal of Eastern Asian Society for Transportation Studies*, v. 5, p. 898–913.

Yang, H., Lida, Y. e Sasaki, T. (1991). An Analysis of the Reliability of an Origin–Destination Trip Matrix Estimated from Traffic Counts. *Transportation Research Part B: Methodological*, v. 25, n. 5, p. 351–363.

Yang, H., Yang, C., e Gan, L. (2006). Models and Algorithms for the Screen Line-based Traffic-Counting Location Problems. *Computers & Operations Research*, v. 33, n. 3, p. 836–858.

Yang, H. e Zhou, J. (1998). Optimal Traffic Counting Locations for Origin–Destination Matrix Estimation. *Transportation Research Part B: Methodological*, v. 32, n. 2, 1998, p. 109–126.

Yim, P.K.N. e Lam, W. H. K. (1998). Evaluation of Count Location Selection Methods for Estimation of O–D Matrices. *Journal of Transportation Engineering*, v. 124, p. 376–383.

Pedro Henrique González (pegonzalez@eic.cefet-rj.br)
Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ)
Av. Maracanã, 229 - Maracanã, Rio de Janeiro - RJ

Victor Hugo Souza de Abreu (victor@pet.coppe.ufrj.br)
Bruno Salezze Vieira (bruno.vieira@pet.coppe.ufrj.br)
Glaydston Mattos Ribeiro (glaydston@pet.coppe.ufrj.br)
Programa de Engenharia de Transportes, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro
Av. Horácio Macedo, 2030, 101 – Cidade Universitária – Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Heider Augusto da Silva Gomes (heider.gomes@pnct.coppe.ufrj.br)
Fundação COPPETEC, Universidade Federal do Rio de Janeiro
R. Muniz de Aragão, 360 - Bloco 1 - Ilha do Fundão - Cidade Universitária, Rio de Janeiro - RJ, Brasil

Leonardo Roberto Perim (leonardo.perim@dnit.gov.br)
Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - Coordenação de Planejamento SAN Quadra 03 lote "A", Brasília - DF - CEP 70 902-902

PLANEJAMENTO DA SEQUÊNCIA DAS ATIVIDADES E A UTILIZAÇÃO DOS RECURSOS PARA ATENDIMENTO AOS VAGÕES EM TERMINAIS FERROVIÁRIOS

Lucas de Barros Pimenta
Rodrigo de Alvarenga Rosa
Universidade Federal do Espírito Santo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

RESUMO
Os pátios ferroviários vêm crescendo em complexidade de vias e em recepção de vagões para serem carregados e descarregados. Esta situação aumenta em muito a complexidade de planejamento destes pátios, levando a uma maior estadia dos vagões nos pátios, gerando custos e diminuindo a capacidade de transporte das ferrovias. Assim, este artigo propõe um modelo matemático baseado no *Multi-Mode Resource Constrained Project Scheduling Problem* para realizar o planejamento das atividades no pátio em função dos vagões que serão recebidos por dia visando minimizar o tempo total de estadia dos vagões. Após a revisão da bibliografia, não foi encontrado nenhum modelo matemático como o proposto para este tema. O modelo matemático foi testado com dados reais do maior pátio ferroviário de grãos do Espírito Santo. Os resultados mostraram que o modelo é efetivo para o planejamento das atividades, bem como para o planejamento da manutenção dos recursos.

ABSTRACT
Rail yards have been growing in complexity of lanes and in number of wagons received to be loaded and unloaded. This situation greatly increases the complexity of planning these rail yards, leading to a longer stay of the wagons inside it, generating costs and reducing the capacity of transport of the railways. Thus, this article proposes a mathematical model based on the Multiple Mode Resource Constrained Project Scheduling Problem to carry out the planning of the activities in the yard according to the wagons that will be received per day in order to minimize the total time of stay of them. After reviewing the bibliography, no mathematical model was found as the one proposed for this topic. The mathematical model was tested with real data from Espírito Santo's largest grain rail yard. The results showed that the model is effective for the planning of the activities, as well as for the resource maintenance planning.

1. INTRODUÇÃO

Os pátios ferroviários representam cerca de 50% dos custos de uma nova ferrovia e estima-se que 70% de toda a frota de vagões fiquem, em um dado momento, em atividades nos terminais de cargas não especializados (ROSA, 2016). Também chamados de pátios de classificação ou pátios de manobra, os pátios ferroviários exercem um importante papel como nós de interface na rede de transporte ferroviário (BOYSEN *et al.*, 2012). Um terminal ferroviário é um pátio ferroviário que tem como função precípua o carregamento e descarregamento das cargas transportadas pelo modo ferroviário (CRAINIC, 1998). Doravante, neste artigo, os terminais ferroviários serão denominados somente terminais.

Na ótica da operação de um terminal, um trem é formado por um conjunto de lotes, onde cada lote é um conjunto de vagões de um cliente com uma carga específica. Cada lote deve passar por uma sequência de atividades a fim de concluir seu processamento pelo terminal, em função da carga transportada e das operações a serem realizadas. O tempo para concluir estas atividades é crítico para o desempenho operacional da ferrovia. Estas atividades podem ser manobras ferroviárias ou, apenas, atividades que são realizadas necessárias para concluir seu processamento no terminal. Dentre elas, citam-se: manobras de movimentação entre linhas e manobras de triagem, atividades de limpeza, descarregamento ou carregamento etc.

As atividades em terminais ferroviários demandam diversos recursos para serem executadas. Dentre eles citam-se: linhas de pátio, operadores de trem, operadores de manobra,

locomotivas, terminais de descarga e carregamento, etc. Esses recursos são limitados e como diversos lotes chegam ao terminal para serem processados, ocorre a situação destes lotes disputarem o mesmo recurso ao mesmo tempo, ocasionando um lote a ter que esperar que o outro lote termine sua operação para que ele possa começar a ser operado. Esta situação leva a atrasos na operação dos lotes. Assim, o planejador das manobras deve tomar a decisão de entregar um recurso para um lote operar sabendo que o outro sofrerá atrasos. O planejamento destas atividades e a alocação dos recursos visando reduzir o tempo de permanência dos lotes no terminal é uma tarefa complexa e, mesmo assim, a grande maioria das ferrovias não possui ferramentas computacionais que auxiliem este processo. Desta forma, é relevante que estudos científicos proponham ferramentas computacionais, baseadas em modelos matemáticos, para o planejamento das atividades e alocação de recursos dos terminais.

Uma característica específica da alocação de recursos para a execução de algumas atividades em terminais é que, em certas situações, determinada atividade só pode ser encerrada, caso os recursos para processamento da próxima atividade estejam disponíveis. Caso contrário, o lote deve manter o recurso atual ocupado, mesmo após o seu término, até iniciar a próxima atividade. Esse conceito é denominado retenção (na literatura cientifica do problema *job shop* é tratada como *blocking*). Como exemplo, um lote que está sendo manobrado nas linhas do pátio para, após isso, ser alocado no ponto de descarga, apenas liberará as linhas que está ocupando após esse ponto de descarga estar liberado e a atividade de posicionamento do lote ser realizada. Este conceito de retenção já foi aplicado a diversos problemas de sequenciamento (*scheduling*) que, no entanto, não consideravam questões relativas à necessidade de diversos recursos por atividade. Dessa forma, este artigo propõe o conceito de retenção aplicado ao *Multi-Mode Resource Constrained Project Scheduling Problem* (MRCPSP), em que cada uma de suas atividades pode demandar diversos recursos.

Portanto, esse artigo, baseado no artigo de Pimenta *et al*. (2016), propõe um modelo matemático que elabore o planejamento das atividades de um terminal e alocação dos recursos. No entanto, este artigo difere do proposto de Pimenta *et al*. Nos seguintes pontos: 1) inclui múltiplos modos de execução das atividades; 2) inclui a questão de retenção de recursos; 3) inclui a indisponibilidade de recursos em função de manutenção e 4) considera a redução do tempo de processamento do lote e não o término das atividades. Após a revisão bibliográfica realizada na Seção 2, não foi encontrado nenhum artigo que aplicasse o conceito do MRCPSP com indisponibilidade de recursos ao longo do tempo à terminais ferroviários e, também, que levasse em consideração a aplicação do conceito de retenção ao MRCPSP. Por este motivo, o modelo matemático proposto foi denominado *Multi mode Resource Constrained Project Scheduling Problem* com Retenção (MRCPSP-R).

A Seção 2 apresenta o referencial teórico e a revisão da literatura sobre os principais trabalhos relacionados ao planejamento de atividades em pátios ou terminais ferroviários. Já na Seção 3, são apresentados o estudo de caso e as instâncias de teste. Na Seção 4 apresenta-se o modelo matemático proposto. Na Seção 5 são apresentados os resultados obtidos. Finalmente, na Seção 6, tem-se a apresentação das conclusões.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Tendo em vista as diversas atividades realizadas em um terminal e, levando em consideração que as mesmas têm uma relação entre si para seu processamento, seu planejamento das atividades pode ser visto como um processo de sequenciamento de atividades (*scheduling*).

Um dos modelos mais utilizados para sequenciamento das atividades é o *Resource Constrained Project Scheduling Problem* (RCPSP) (Sonke e Hartmann, 1999). O RCPSP realiza o sequenciamento de atividades que necessitam de recursos, que são limitados, de forma a minimizar o tempo entre o início e o fim de uma sequência de atividades, chamado *makespan*. O RCPSP considera ainda relações de precedências entre as atividades. Muitas variações do modelo RCPSP foram exploradas ao longo das últimas três décadas. Essas variações podem ser divididas em várias categorias baseadas nas características dos problemas, isto é, no número de projetos (lotes), no modo de execução, no consumo dos recursos e na possibilidade de interrupção (Figura 1) (GEN *et al.*, 2010).

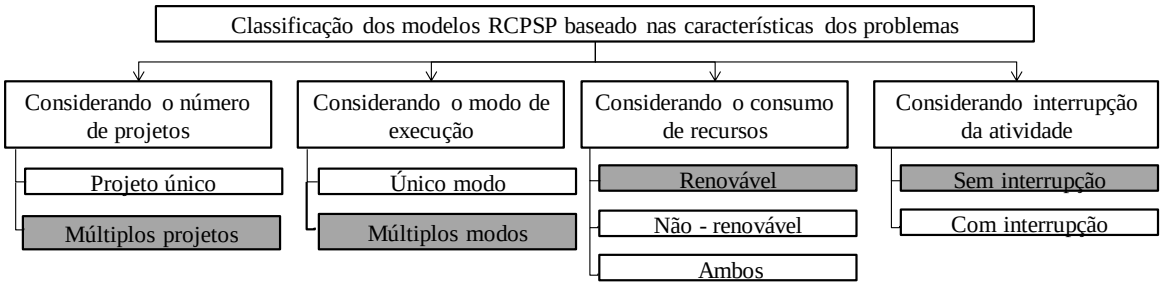


Figura 1: Classificação dos modelos de RCPSP (adaptado de GEN *et al*., 2010)

Este artigo utiliza o RCPSP com múltiplos projetos, sendo cada lote um projeto, múltiplos modos, pois cada atividade a ser realizada pelo lote pode ser realizada de mais de uma maneira, demandando recursos diferentes e quantidades diferentes. O recurso é renovável, pois ao fim da atividade ele está disponível para ser utilizado pela outra atividade e sem interrupção, pois uma vez iniciada a atividade, ela deve ser terminada, ou seja, ela não pode ser interrompida para outra atividade ser realizada e depois retornar para ser concluída.

Hartmann e Briscorn (2010) realizaram uma revisão acerca do RCPSP publicados a partir do ano 2000. Courdeau *et al*. (1998) fizeram uma revisão bibliográfica a respeito de modelos de otimização de sequenciamento aplicados à realidade ferroviária. Nesse estudo, ele também aborda os modelos relacionados a pátio ferroviários. No entanto, esse foco concentra-se em pátios com *hump yard* (pátios de classificação de vagões por gravidade), não abordando as características de terminal, como pontos de carregamento e descarga, e manobras de classificação em pátios planos. Winter e Zimmermann (2000) abordaram em seus estudos a redução do tempo de formação e liberação de trens, minimizando as movimentações de manobra dentre outros objetivos, no entanto, eles não planejavam as atividades e, sim, as rotas dos trens no pátio. He *et al*. (2000) desenvolveram um controle e formação de trens, sem lidar com os recursos necessários, por meio de um modelo de despacho difuso (*fuzzy dispatching model*) e um algoritmo genético para auxiliar a coordenação da liberação de trens, levando em conta a maximização da saída de trens do pátio e a aderência ao horário de formação e liberação dos trens planejados. He *et al.* (2003) desenvolveram um modelo matemático aplicado inicialmente a um pátio simplificado, com um *hump yard*, uma locomotiva de manobra e uma máquina de chave, para a partir disso, aumentarem a quantidade de recursos. Eles focaram na rota do lote e não consideraram os recursos envolvidos para carregamento e descarga dos lotes. Sabino *et al*. (2010) propuseram um algoritmo de otimização com colônia de formigas para auxiliar a equipe os controladores de pátios ferroviários no planejamento das manobras.

Pimenta *et al*. (2016) propuseram um modelo matemático para planejamento operacional de manobras em um terminal, considerando os recursos necessários para a realização dessas manobras que buscam auxiliar os controladores de pátios planos. No entanto, o trabalho não considerou a possibilidade de retenção da atividade que está sendo realizada até a liberação da atividade seguinte, como ocorre na realidade em terminais ferroviários, tampouco a variação da disponibilidade de recursos ao longo do tempo e, ainda, a alternativa dessas atividades serem processadas em múltiplos modos.

Após esta revisão da literatura, não foi encontrado nenhuma publicação que tratasse do planejamento das atividades em terminais ferroviários considerando a possibilidade de retenção dos recursos do terminal em uma atividade até à atividade sucessora, tampouco foram encontrados estudos que abordavam a variação da disponibilidade de recursos ao longo do tempo e a operação em múltiplos modos aplicados à realidade de terminais ferroviários.

3. ESTUDO DE CASO E INSTÂNCIAS

O terminal utilizado para validação do modelo matemático proposto de planejamento de atividades possui os fluxos de processamento dos lotes pelo terminal apresentados na Figura 2. O fluxo (a) representa aqueles lotes que passarão por descarregamento e carregamento dentro do terminal. Já o fluxo (b), são aqueles que apenas serão descarregados no terminal e não possuem programação de carregamento, ou seja, serão disponibilizados para formação de trens vazios. Especificamente este terminal recebe os lotes de vagões do tipo *Hopper*, carregados de granéis agrícolas (soja, milho e farelo de soja) para serem descarregados. No retorno, duas opções podem ocorrer: são manobrados para a área de carregamento de fertilizante para serem carregados (fluxo "a") ou retornam vazios para carregar novamente no ponto de carga (fluxo "b"). Assim, os lotes do fluxo (a) possuem seis atividades sucessivas a serem executadas pelo terminal (atividades de 1 a 6). Já os lotes do fluxo (b) são necessárias apenas 4 atividades (atividades 1, 2, 3 e 6).

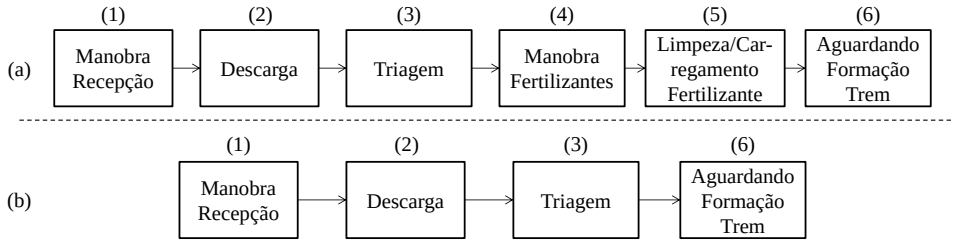


Figura 2: Fluxos de processamento dos lotes pelo terminal: a) Descarregamento e Carregamento, b) Apenas descarregamento.

A atividade "1" é a Manobra Recepção, onde os mesmos são recebidos pelo terminal e estacionados em linha disponível. Essa é uma das atividades em que os recursos ficam retidos até a disponibilidade dos recursos que realizarão a atividade "2", Descarga. Nessa atividade, os lotes são descarregados nas moegas ferroviárias. Na atividade "3", Triagem, os lotes são manobrados para retirada de vagões que devem passar por reparos na oficina. Nessa mesma atividade, vagões que estavam na oficina e foram reparados são incluídos no lote para que o mesmo volte a ter a quantidade de vagões estabelecida (no caso do terminal em estudo, 30 vagões). As atividades "4", Manobra Fertilizantes, e "5", Limpeza e Carregamento de Fertilizantes, que ocorrem apenas quando o lote tem programação de carregamento, têm por objetivo levar os lotes para o local do terminal onde ocorre o carregamento do produto de

retorno desse terminal (Fertilizantes), efetuar o carregamento e disponibilizá-lo para retirada. Especificamente a atividade “4”, possui a mesma característica de retenção da atividade “1”, pois seus recursos ficam retidos até a disponibilidade dos recursos que realizarão a atividade “5”. A atividade “6”, Aguardando Formação Trem, o lote é manobrado e destinado para devolução dos lotes do terminal.

Similar a diversos terminais ferroviários, esse terminal possui linhas de acesso dos lotes aos diversos recursos em que as atividades acima descritas serão processadas. Os recursos desse terminal utilizados para o processamento dos lotes estão descritos na Tabela 1. Esses recursos podem variar com o tempo devido a tempos de manutenção, falta de equipes, dentre outros.

Tabela 1: Recursos disponíveis no terminal

Tipos de recurso	Manobreiro	Locomotiva	Linhas AL	Moega 1	Moega 2	Estrutura Fertilizante	Pá car-regadeira	Linhas GR
Quantidades	3	4	3	1	1	1	2	4

À medida que os trens vão chegando, eles são manobrados e os lotes de trinta vagões são disponibilizados para o terminal. Essa quantidade de vagões em um lote é baseada nas capacidades de tração das locomotivas de manobra, somado às restrições dos tamanhos das linhas de carregamento, limpeza e descarga. A partir deste ponto, os lotes são processados conforme a sequência já descrita na Figura 2. Com relação aos tempos de processamento, estes podem variar de acordo com o material que está sendo processado, e com os recursos alocados para esse processamento. A Tabela 2 apresenta os tempos de processamento dos lotes em cada uma das atividades do terminal, separados por material e pelos dois modos de operação possíveis, aqui denominados MM1 e MM2. Na Tabela 2, item “a”, são apresentados os tempos de duração dos lotes que estão carregados com grãos (milho e soja) sendo processados na operação tradicional do terminal em estudo. Na Tabela 2, item “b”, são apresentados os tempos de duração dos lotes que estão carregados com grãos (milho e soja) sendo processados na operação alternativa do terminal. Da mesma forma ocorre nos itens “c” e “d” na Tabela 2, com relação aos lotes carregados com Farelo, ou seja, no primeiro são apresentados os tempos de duração dos lotes carregados com Farelo sendo processados na operação tradicional do terminal em estudo e o segundo, sendo processados na operação alternativa do terminal.

Esses tempos são baseados nos dados de processamento histórico do terminal. Para entendimento do artigo, convencionaram-se os valores de tempo particionados em 30 minutos. Assim, quando uma atividade tiver necessidade de durar 3 (três) unidades de tempo, ela demandará 1h30min dos recursos necessários. Nota-se que nos tipos de lotes a serem processados que não estão programados para carregamento, o tempo de processamento nas atividades “4” (Manobra Fertilizantes) e “5” (Limpeza/Carregamento Fertilizante) é 0 (zero), conforme Figura 2. Outra questão que é importante ser ressaltada é a diferença de processamento entre lotes carregados com Farelo com os lotes carregados com grãos (Milho e Soja), nas atividades “2” e “5”. Isso se deve à necessidade de um tempo maior para a descarga e limpeza do vagão para carregamento, devido à compactação do Farelo no vagão. Foi levantado junto à operação os recursos necessários para execução de cada uma das atividades em seus diferentes modos de operação e suas respectivas quantidades para cada tarefa que o lote precisa executar no terminal.

Tabela 2: Tempos de processamento de acordo com o material e com o modo de processamento, em unidades de tempo (ut).

(a)

Atividades e tempo de duração (em unidades de tempo)							
	Milho e Soja - MM1						
Tipos de lote a serem processados	Manobra Recepção	Descarga	Triagem	Manobra Fertilizantes	Limpeza/Carregamento Fertilizante	Aguardando Formação Trem	
Descarregamento	1	5	2	0	0	1	
Descarregamento/ Carregamento	1	5	2	3	18	2	

(b)

Atividades e tempo de duração (em unidades de tempo)							
	Milho e Soja - MM2						
Tipos de lote a serem processados	Manobra Recepção	Descarga	Triagem	Manobra Fertilizantes	Limpeza/Carregamento Fertilizante	Aguardando Formação Trem	
Descarregamento	2	7	2	0	0	2	
Descarregamento/ Carregamento	2	7	2	2	15	3	

(c)

Atividades e tempo de duração (em unidades de tempo)							
	Farelo - MM1						
Tipos de lote a serem processados	Manobra Recepção	Descarga	Triagem	Manobra Fertilizantes	Limpeza/Carregamento Fertilizante	Aguardando Formação Trem	
Descarregamento	1	8	2	0	0	1	
Descarregamento/ Carregamento	1	8	2	3	22	2	

(d)

Atividades e tempo de duração (em unidades de tempo)							
	Farelo - MM2						
Tipos de lote a serem processados	Manobra Recepção	Descarga	Triagem	Manobra Fertilizantes	Limpeza/Carregamento Fertilizante	Aguardando Formação Trem	
Descarregamento	2	10	2	0	0	2	
Descarregamento/ Carregamento	2	10	2	2	18	3	

Para realização dos testes no modelo matemático proposto, foram elaboradas onze instâncias, apresentadas na Tabela 3, que foram escolhidas por representarem amostras de operação rotineiras do terminal em estudo. Nota-se que as instâncias estão agrupadas em três cenários. Isso ocorre pelo fato dessas instâncias agrupadas terem por objetivo testarem variações de execução em um mesmo cenário de lotes a serem processados pelo terminal, conforme exposto nas colunas da Quantidade de lotes de cada tipo, ainda na Tabela 3. As variações de execução do processamento estão demonstradas nas colunas Retenção, Manutenção, Proposta Manutenção e Equipe Completa.

Tabela 3: Cenários de teste do modelo

Cenários	Quantidade de Lotes	Instância	Quantidade de lotes de cada tipo				Retenção	Manutenção	Proposta Manutenção	Equipe Completa
			Descarga de grãos	Descarga de grãos e carreg. de fertilizante	Descarga de Farelo	Descarga de Farelo e carreg. de fertilizante				
1	9	1	4	2	3	0	X	X		X
		2	4	2	3	0		X		X
		3	4	2	3	0	X			X
		4	4	2	3	0	X		X	X
2	9	5	7	2	0	0	X	X		
		6	7	2	0	0	X			
		7	7	2	0	0	X		X	
		8	7	2	0	0	X	X		X
3	12	9	7	2	3	0	X	X		X
		10	7	2	3	0	X			X
		11	7	2	3	0	X		X	X

A instância 1, possui a retenção dos recursos das atividades “Manobra Recepção” e “Manobra Fertilizantes” até suas atividades sucessoras, bem como tempos de manutenção e equipe de trabalho do terminal completa. A instância 2, com as mesmas características da Instância 1, exceto pela não retenção dos recursos, objetiva demonstrar como seria o planejamento de atividades caso não houvesse a retenção de recursos das atividades “Manobra Recepção” e

"Manobra Fertilizantes" até suas atividades sucessoras. Nas instâncias 3, 6 e 10, ocorre o planejamento das atividades do terminal sem disponibilizar tempos para Manutenção, mantendo-se as demais características das instâncias 2, 5 e 9, respectivamente. Nas instâncias 4, 7 e 11, são realizadas propostas de disponibilização dos tempos para manutenção que impactariam menos no planejamento das atividades, mantendo-se as demais características das instâncias 2, 5 e 9. Na instância 8, avalia-se a consequência para o planejamento das atividades do terminal em situação que a equipe operacional está completa, em relação a instância 5, em que o terminal está com uma Locomotiva a menos disponível devido a falta de um maquinista na escala.

4. MODELO MATEMÁTICO PROPOSTO

O modelo matemático proposto neste artigo considera diversos recursos escassos na programação das atividades, inclui múltiplos modos de execução dessas atividades e insere a possibilidade de retenção dos recursos até o início da atividade seguinte, que aqui foi denominado MRCPSP-R. Tem como característica, também, a indisponibilidade de recursos em função de manutenção e considera a redução do tempo de processamento do lote e não o término das atividades. A introdução do horário solicitado de início para cada lote pelo profissional responsável pelo planejamento das atividades no terminal garante que a atividade não comece antes da chegada do lote no terminal. Também foi realizada uma adaptação da FO utilizada em Pimenta *et al.* (2016), uma vez que a do presente artigo minimiza a somatória dos atrasos de processamento do lote a partir da sua previsão de término baseada na hora de início, ao invés da minimização do tempo de término de todas as atividades. Optou-se pela alteração da FO uma vez que minimizar o tempo de atraso de processamento do lote é mais interessante para o problema estudado, pois significa diminuir os custos operacionais (alocação dos recursos apenas quando necessários) e agilizar a entrega do lote à ferrovia (redução do tempo do lote no pátio).

Os conjuntos do modelo matemático são: L - conjunto de lotes a serem processados no terminal; J - conjunto de atividades; J^l - conjunto de atividades do lote $l \in L$; T - conjunto de períodos de tempo; K - conjunto de recursos; M - conjunto de modos diferentes de processamento das atividades. Os parâmetros do modelo são: p_{jm} - tempo de processamento da atividade $j \in J$ no modo $m \in M$; R_{kt} - disponibilidade do recurso $k \in K$ no tempo $t \in T$; r_{jkm} - quantidade do recurso $k \in K$ que a atividade $j \in J$ necessita no modo $m \in M$; s_j - momento desejado de início da atividade $j \in J$; rr_j – define se há retenção do recurso até a próxima atividade $j \in J$, sendo 1 se há retenção e 0, caso contrário; a_{jh} - define as predecessoras da atividade $j \in J$, assumindo o valor 1 se a atividade $h \in J$ é predecessora de $j \in J$, e 0 caso contrário; b_{jh} - define a sucessora da atividade $j \in J$, assumindo o valor 1 se a atividade $h \in J$ é sucessora de $j \in J$, e 0 caso contrário; pt_l - primeira atividade do lote $l \in L$ e ut_l - última atividade do lote $l \in L$. A variável de decisão do modelo é $x_{j\,m\,t}$ que assume o valor 1 se a atividade $j \in J$ no modo $m \in M$ termina no instante $t \in T$ e 0, caso contrário.

Função objetivo:

$$Minimizar \sum_{l \in L} \sum_{t \in T} \sum_{m \in M} \left(t - s_{pt_l} - \sum_{j \in J^l} p_{mj} \right) x_{ut_l\,mt} \qquad (1)$$

Restrições:

$$\sum_{m \in M} \sum_{t \in T} x_{jtm} = 1 \qquad \forall\, j \in J \qquad (2)$$

$$\sum_{m \in M} \sum_{t \in T \,|\, t \geq 0 \; e \; t \leq s_j + p_{mj}} x_{jmt} = 0 \qquad \forall\, j \in J \qquad (3)$$

$$\sum_{m \in M} \sum_{t \in T \,|\, t \geq s_h + p_{mh}} t\, x_{hmt} \leq \sum_{m \in M} \sum_{t \in T \,|\, t \geq s_j + p_{mj}} \left(t - p_{mj}\right) x_{jmt} \qquad \forall\, j \in J, h \in J \,|\, a_{jh} = 1 \qquad (4)$$

$$x_{jm(t-p_{mh})} = x_{hmt} \qquad \forall\, j \in J, h \in J, t \in T, m \in M \,|\, rr_j = 1 \; e \; S_{jh} = 1 \; e \; t \geq (p_{mh} + 1) \qquad (5)$$

$$x_{jmt} = 0 \qquad \forall\, j \in J, t \in T, m \in M \,|\, rr_j = 1 \; e \; S_{jh} = 1 \; e \; t < (p_{mh} + 1) \qquad (6)$$

$$\sum_{m \in M} \sum_{j \in J} r_{mjk} \sum_{b \in T \,|\, b \geq t \; e \; b \leq t + p_{mj} - 1} x_{jmb} \leq R_{kt} \qquad \forall\, k \in K, t \in T \qquad (7)$$

$$x_{jmt} \in \{0,1\} \qquad \forall\, j \in J, t \in T. m \in M \qquad (8)$$

A função objetivo, Equação (1), que deve ser minimizada, representa a soma da diferença entre o término do processamento do lote no terminal, menos o tempo de chegada do lote, menos o tempo de processamento de cada atividade desse lote. Assim, mede a soma dos atrasos do processamento dos lotes. As Restrições (2) asseguram que cada atividade é realizada apenas uma vez e as Restrições (3) asseguram que a atividade não terá início antes do horário solicitado. As relações de precedência estão definidas nas Restrições (4). As Restrições (5) e (6) asseguram o bloqueio dos recursos, caso a atividade seja considerada um recurso que só pode ser liberado para utilização após início da atividade sucessora. As restrições relativas aos recursos disponíveis são dadas pelas Restrições (7). As Restrições (8) definem a variável binária de decisão.

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Utilizou-se o CPLEX 12.6 para executar o modelo matemático em um computador com processador Intel i7 com 16GB de memória RAM. Um resumo dos resultados é apresentado na Tabela 4. Pode-se ver que foram encontradas soluções ótimas para as onze instâncias testadas, mesmo para as instâncias mais complexas (Cenário 3 – instâncias 9, 10 e 11).

Conforme descrito na Seção 3, a diferença entre a instância 1 e a instância 2 estava no fato de que a primeira havia a necessidade de retenção do recurso até o início da atividade sucessora. Nessas duas instâncias havia uma programação de manutenção e, consequentemente, indisponibilidade de recursos. São eles: manutenção do recurso Moega 1 por duas horas a partir do tempo 21 (unidades de tempo 21, 22, 23 e 24) e manutenção em um dos recursos das Linhas AL, a partir do tempo 31 por duas horas (unidades de tempo 31 a 34). Apesar do resultado da função objetivo apontar para uma melhor distribuição das atividades na instância 2 (FO = 31 ut) do que na instância 1 (FO = 86 ut), analisou-se a distribuição das atividades ao longo do tempo, conforme Figura 3. Nela, o sequenciamento das atividades 1 e 2 da instância 1 (com retenção) está em cinza e as atividades 1 e 2 da instância 2 estão com padrão de preenchimento de linhas diagonais. Pode-se observar que na instância 2, atividade 1, do Lote 6 (linha de identificação – id-23) ocupa um recurso das Linhas AL no tempo 17. No entanto, a

mesma desocupa este recurso, mesmo sem o lote ter sido posicionado para a atividade de Descarga (id-24), o que ocorre apenas no Tempo 29. Essa disponibilidade do recurso faz com que outras atividades sejam alocadas para realizar atividades nas Linhas AL, como acontece nas linhas de id-27, id-31, e id-35. Como a primeira atividade Descarga desses lotes apenas se inicia no momento 22 (lote 9, id-36), essa situação viabilizaria 4 lotes sendo manobrados em um local que tem disponibilidade de três recursos apenas (Linhas AL), inviabilizando o modelo para tal situação. Esse conflito já não ocorre no modelo com retenção. Assim, com o objetivo de refletir a realidade operacional, as demais instâncias foram testadas com a retenção.

Tabela 4: Resultados Encontrados pelo CPLEX

Cenários	Quantidade de Lotes	Instância	Tempo de Execução (s)	GAP (%)	Função Objetivo (ut)
1	9	1	33,51	0,00	86
		2	10,98	0,00	31
		3	24,54	0,00	70
		4	22,20	0,00	77
2	9	5	18,09	0,00	139
		6	13,55	0,00	61
		7	9,75	0,00	71
		8	8,64	0,00	139
3	12	9	85,59	0,00	212
		10	777,80	0,00	180
		11	24,45	0,00	200

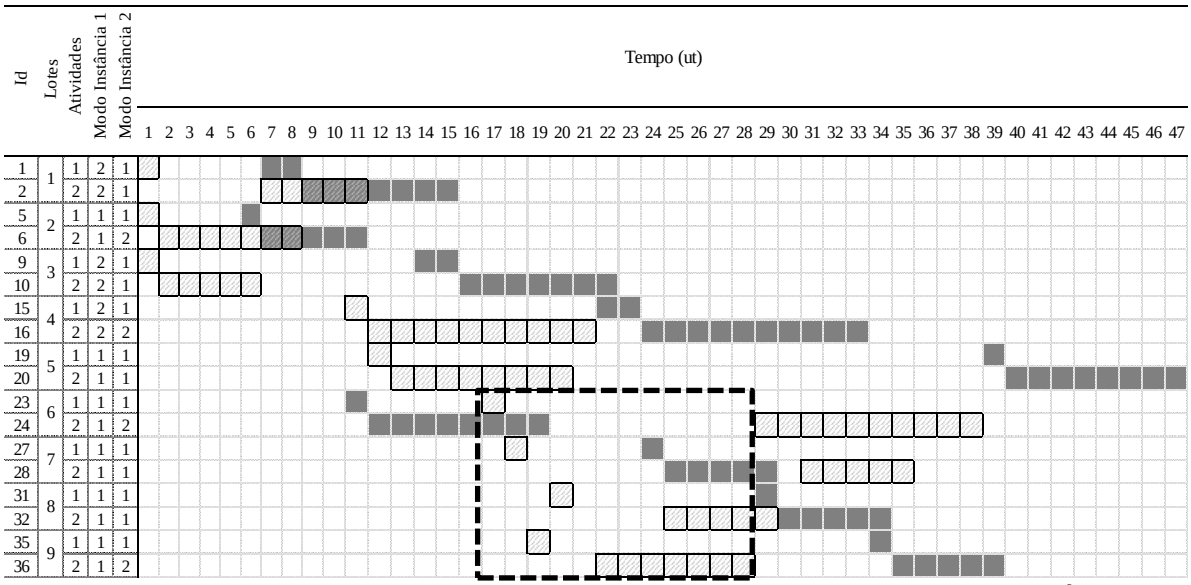


Figura 3: Sequenciamento das atividades Manobra Recepção e Descarga nas instâncias 1 (cinza) e 2 (linhas diagonais).

Ainda na Figura 3 é possível visualizar, nas quarta e quinta colunas, Modo Instância 1 e Modo Instância 2 respectivamente, os diferentes modos em que essas atividades foram processadas pelo terminal. Essas alternativas de processamento passam então a serem utilizadas pelo modelo a fim de melhor planejar o sequenciamento das atividades pelo terminal, tendo diferentes tempos de processamento e diferentes recursos utilizados.

Comparou-se, na Figura 4, o atraso médio dos lotes em cada instância (resultado da divisão entre a FO pela quantidade de lotes processados da instância) dos três cenários nas situações em que ocorreu a indisponibilidade dos recursos conforme situação inicial (solicitação inicial da manutenção ou falta de equipe) demonstrado nas instâncias 1, 5 e 9, com as instâncias em que os recursos do terminal estavam completos (instâncias 3, 6 e 10), a fim de evidenciar o impacto da indisponibilidade de alguns recursos no planejamento da sequência das atividades em um terminal. As solicitações da equipe de manutenção na Instância 1 foram as seguintes: manutenção no recurso Moega 1 por duas horas a partir do tempo 21 (unidades de tempo 21, 22, 23 e 24) e manutenção em um dos recursos das Linhas AL, a partir do tempo 31 por duas horas (unidades de tempo 31 a 34). Na instância 5 a equipe de manutenção solicitou os seguintes recursos: manutenção nos recursos Moega 1 e Moega 2 por 3 horas a partir do tempo 15 (unidades de tempo 15 a 20). Também ocorreu uma falta de um maquinista e, consequentemente, um recurso Locomotiva a menos no terminal, entre os tempos 11 a 20. Já na instância 9, a equipe de manutenção solicitou os seguintes recursos: manutenção na moega 2 nas unidades de tempo de 21 a 40 e manutenção em duas Linhas GR nas unidades de tempo de 11 a 20.

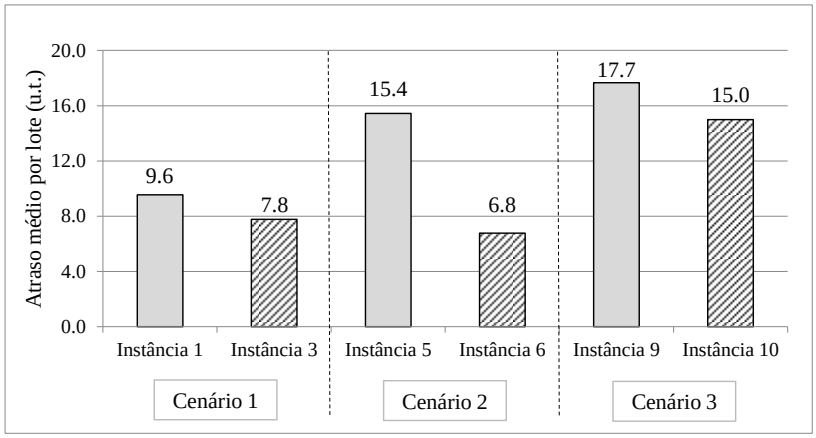


Figura 4: Resultados do atraso médio por lote

Assim, dado essa relevante diferença entre os resultados observados na Figura 4, foram realizadas análises no planejamento da sequencia de atividades entre essas instâncias com o objetivo de propor que essas manutenções fossem realizadas em intervalos de tempo que viessem a impactar menos a programação de atividades do terminal. Com o objetivo de exemplificar essa análise, as atividades de Descarga dos lotes das instâncias 5 e 6 foram apresentadas na Figura 5. Nela observa-se que na instância 5 (cor cinza), não ocorre a atividade de Descarga nos tempos de 15 a 20 devido ao fato dos recursos estarem em manutenção. Ocorre também que, observando a distribuição das atividades de Descarga da instância 6 (linhas diagonais), onde os recursos estão completos, nota-se que apenas uma das moegas é utilizada entre os tempos 16 a 21 e 29 a 34. Portanto, caso fosse possível ajustar a manutenção que seria realizada entre os tempos 15 a 20 nas duas moegas para os tempos 16 a 21 em uma das moegas e 29 a 34 na outra, poderia haver um melhor resultado da função objetivo, gerando menor atraso. Para o cenário 2, a instância 7 representou o planejamento de atividades com essa manutenção proposta. A mesma alcançou resultado da FO de 71 u.t., reduzindo consideravelmente o tempo de processamento dos lotes pelo terminal nessa situação. De forma similar ocorreu com os cenários 1 e 3, por meio das instâncias 4 e 11, respectivamente. A Figura 6 demonstra o atraso médio em cada uma dessas instâncias.

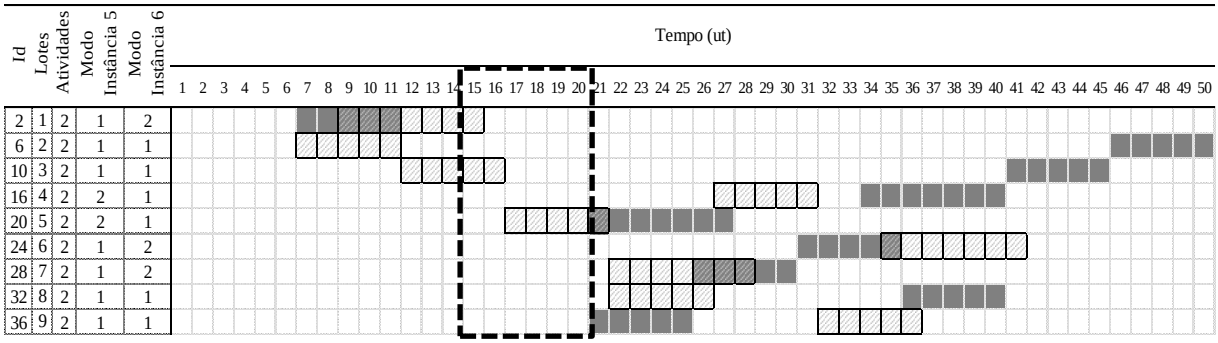


Figura 5: Sequenciamento da atividade Descarga nas instâncias 5 (cinza) e 6 (hachurado).

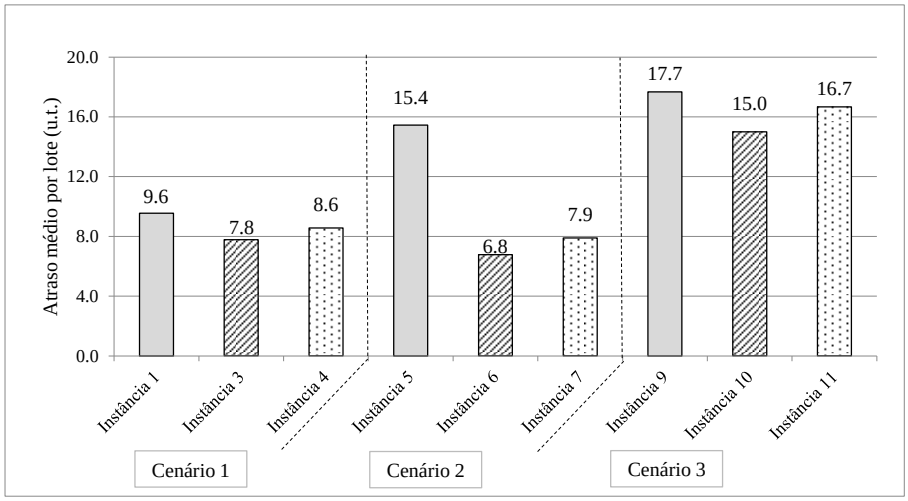


Figura 6: Resultados do atraso médio por lote para os três cenários.

Por meio da observação dos resultados na Figura 6, nota-se que nos três cenários ocorreu uma melhora no planejamento da sequencia de atividades do terminal, sendo os lotes processados com menor atraso. No cenário 2 foi realizado também a instância 8, em que o maquinista que estava ausente da escala no contexto da instância 5 foi substituído por outro, a fim de que o recurso Locomotiva estivesse completo, para se avaliar o impacto dessa diferença de recursos na FO. Conforme Tabela 4, nota-se que o resultado na instância 5 é igual ao da instância 8 (139 u.t.). Portanto, nesse cenário específico, a redução de uma unidade no recurso Locomotiva não impacta no planejamento da sequencia das atividades do terminal.

Desta forma, pode-se perceber a relevância de um modelo como o proposto neste artigo que além de auxiliar o planejamento da sequencia das atividades de um terminal, pode servir de suporte para planejamento das manutenções, bem como base para planejamento dos recursos a serem alocados no terminal.

6. CONCLUSÃO

Este artigo propôs um modelo matemático baseado no conceito do MRCPSP aplicado ao planejamento da sequencia de atividades e a utilização dos recursos para atendimento aos vagões em terminais ferroviários, incluindo a indisponibilidade de recursos ao longo do tempo e levando em consideração a aplicação do conceito de retenção ao MRCPSP, denominado então MRCPSP-R. Por meio da revisão de literatura não foi encontrado, até o presente momento, nenhuma publicação que tratasse do planejamento das atividades em terminais ferroviários considerando a possibilidade de retenção dos recursos do terminal, que

abordavam a variação da disponibilidade de recursos ao longo do tempo, nem a operação em múltiplos modos aplicados à realidade de terminais ferroviários.

As instâncias analisadas mostraram que o CPLEX consegue resolver os cenários que representam um dia padrão de operação do terminal, levando menos de treze minutos de execução para alcançar uma solução ótima em todas as instâncias.

O modelo matemático proposto mostrou-se adequado para a minimização da somatória dos atrasos no processamento dos lotes e ser uma ferramenta útil para melhorar a gestão de recursos em um terminal ferroviário. O modelo se apresentou eficaz para sequenciar as atividades que necessitam de recursos limitados e em situações que ocorre a variação desses recursos ao longo do tempo. Foi possível identificar os diferentes modos de processamento e utilizá-lo como uma ferramenta de auxílio à disponibilidade de recursos para manutenção e planejamento de mão-de-obra. Propõe-se como possível continuação da pesquisa a elaboração de uma meta-heurística para o modelo MRCPSP-R.

Agradecimentos
Os autores agradecem à FAPES (75528452/2016) e ao CNPq (307439/2016-0) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Boysen, N., Fliedner, M., Jaehn, F., & Pesch, E. (2012). Shunting yard operations: Theoretical aspects and applications. European Journal of Operational Research, 220, 1–14.

Crainic, T.G., 1998. Rail tactical planning: issues models and tools. In: Binaco, L., Bella, A.L. (Eds.), Freight Transport Planning and Logistics. Springer-Verlag, Berlin, pp. 463–509.

Gen, M.; Cheng, R.; Lin, L. (2010) Network Models and Optimization: Multiobjective Genetic Algorithm Approach. Springer, London.

Hartmann, S. (1999). Project Scheduling under Limited Resources Models, Methods, and Applications. University of Kiel Institut fur Betriebswirtschaftslehre Olshausenstr.40 24118 Kiel, Germany, 219.

Hartmann, S.; Briskorn, D. (2010) A survey of variants and extensions of the resource-constrained project scheduling problem. European Journal of Operational Research. 207/1-14

He, S., Song, R., & Chaudhry, S. S. (2000). Fuzzy dispatching model and genetic algorithms for railyards operations. European Journal of Operational Research.

He, S., Song, R., & Chaudhry, S. S. (2003). An integrated dispatching model for rail yards operations. Computers and Operations Research.

Pimenta, L. B.; Rosa, R. A.; Zanotti, L. A.; Arrivabeni, B. S.; Louzada, P. C.; Vieira, J. R. G. (2016) Modelo matemático para o planejamento de manobras de lotes de vagões em um terminal ferroviário. XXX Congresso da ANPET, 2016, Rio de Janeiro.

Rosa, R. A. Operação Ferroviária. Rio de Janeiro: Ed. LTC, v.01, 2016.

Sabino, J. A.; Leal, J. E.; Stützle, T.; Birattari, M. (2010). A multi-objective ant colony optimization method applied to switch engine scheduling in railroad yards. Pesquisa Operacional (Impresso), v. 30, p. 487-514.

Winter, T.; Zimmermann, U. T. (2000). Real-time dispatch of trams in storage yards. Annals of Operations Research, 96, 287–315.

Lucas de Barros Pimenta (lucas.barrospimenta@gmail.com), Rodrigo de Alvarenga Rosa (rodrigo.a.rosa@ufes.br).
Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Espírito Santo - Av. Fernando Ferrari, 514, Goiabeiras – Vitória, ES, Brasil

ANÁLISE DA SATISFAÇÃO DO USUÁRIO EM MEIOS DE TRANSPORTES TURÍSTICOS: LINHA TURISMO DE CURITIBA

Jefferson Hishiyama da Silva
Jaqueline Alves Ferreira
Rafael Varella
Lorena Ohana Caroline Costa Pereyra
Keity Nayara Botelho Sena
Leidiane Maria Soares Francisco
Universidade Federal do Paraná
Departamento de Turismo

RESUMO
O presente artigo visa analisar a qualidade da prestação do serviço e satisfação do usuário da Linha Turismo de Curitiba através de 48 (quarenta e oito) questionários aplicados em três pontos de parada principais: Jardim Botânico, Museu Oscar Niemeyer e Ópera de Arame. Com base no método TOURQUAL, foram avaliados itens de infraestrutura e acesso, itinerário e prestação de serviço em perguntas pareadas, sendo a primeira o nível de importância da categoria avaliada e em seguida a nota aplicada a Linha Turismo na prática. De modo geral, observou-se que os usuários apresentam maior nível de satisfação com os critérios relacionados ao itinerário e à prestação de serviço, todavia, os aspectos relacionados à qualidade técnica do atrativo, especialmente o preço, devem ter atenção especial por parte dos gestores para que a percepção de qualidade e a satisfação do usuário não sejam afetadas.

ABSTRACT
The study aims to analyze the user's satisfaction and the quality of the services provided by the Linha Turismo (Tourism Line) of Curitiba through the application of 48 (forty-eight) questionnaires at three of the main stops of the line: Jardim Botânico (Botanical Garden), Museu Oscar Niemeyer (Oscar Niemeyer Museum) and Ópera de Arame (Wire House). Based on the TOURQUAL methodology, items related to infrastructure and access, itinerary and service were analyzed by pair of questions to highlight first the importance of the category and then the actual review given by the users. Overall, it was possible to notice from the results that users express higher level of satisfaction with the itinerary as well as the services provided. However, some aspects regarding technical quality, especially the fare price, must receive further attention from the managers in order to avoid a negative rating of Curitiba's Tourism Line quality.

1. INTRODUÇÃO

O presente estudo busca analisar a satisfação do usuário da Linha Turismo de Curitiba em relação à qualidade do serviço prestado. A análise será realizada através do modelo de satisfação de qualidade e quantidade aplicado aos serviços turísticos TOURQUAL (MONDO, 2014) e o levantamento de dados será realizado em campo junto aos usuários durante o tempo de espera através de entrevistas estruturadas.

A Linha Turismo é um dos principais produtos turísticos de recepção da cidade de Curitiba. Com ela, é possível conhecer os principais atrativos turísticos da cidade em um itinerário de aproximadamente 45 km que é percorrido em cerca de 3 horas (CURITIBA.URBS, 2017). Segundo o Instituto Municipal de Turismo – IMT (2015), em 2014 a linha movimentou 659.047 passageiros, tendo cada usuário um gasto médio diário de US$ 114,22, ou seja, mais de 75 milhões de dólares apenas naquele ano. Embora o ano de 2014 tenha sido influenciado pelo megaevento da Copa do Mundo FIFA, de acordo com dados da URBS (2017), o número de embarques na linha em 2015 se manteve estável, com 657.227 passageiros transportados.

Nesse contexto, para melhor entender o impacto que esse *city tour* tem no cenário do Turismo em Curitiba, se faz importante analisar o grau de satisfação dos usuários da Linha Turismo em

relação à qualidade do serviço prestado.

O problema a ser estudado na pesquisa é: Como o usuário/consumidor avalia os serviços da Linha Turismo de Curitiba? O objetivo principal abrange verificar a qualidade e satisfação dos usuários sobre o serviço prestado pela Linha Turismo da cidade. Por sua vez, os objetivos específicos englobam: a) descrever o perfil dos usuários; b) avaliar a infraestrutura e acessibilidade equipamento utilizado para prestar o serviço como b.1) peculiaridades dos ônibus, b.2) ponto de parada, b.3) disponibilidade de horários e informações e b.4) preço; c) questões referentes ao itinerário; d) avaliar a prestação do serviço, tais como c.1) pontualidade, c.2) cortesia dos motoristas e cobradores (staff) e c.3) segurança do atrativo, e, por fim, d) verificar a probabilidade de recomendação do usuário em relação ao passeio, juntamente com o seu grau de satisfação, e quantifica-lo através da pesquisa em campo com entrevistas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Através da revisão de literatura, os objetivos específicos (qualidade de serviços; comportamento do consumidor; *city tour*; roteiro turístico) foram discutidos por meio de autores que realizaram estudos anteriores, relacionados ao artigo da Linha Turismo de Curitiba, e que serviram como auxílio para o desenvolvimento e embasamento da pesquisa desenvolvida.

2.1. Qualidade de serviços

Inicialmente no campo do turismo e lazer defendia-se que a satisfação era a chave do sucesso, pois ao ser formada por múltiplos processos de comparação, o desempenho do prestador de serviços turístico apresenta influência direta na satisfação do consumidor (MOWEN, J.C.; MINOR, M. S, 2003), sendo essa considerada uma resposta entre a expectativa e a performance real. Porém o estudo realizado por Tse e Wilton (1988) concluiu que havia uma baixa relação entre expectativa e satisfação.

Entretanto, uma pesquisa realizada posteriormente comprovou que embora qualidade e satisfação andem juntas, são conceitos diferentes com grau de importância que variáveis. Enquanto a qualidade refere-se ao serviço ofertado pelos prestadores de serviços turísticos e a satisfação é uma internalização do consumidor. Sabendo que os turistas são parte essencial no processo de prestação dos serviços, ativa ou passivamente, a satisfação pode estar relacionada com fatores internos incontroláveis pelos prestadores de serviços. Para a concepção da qualidade o turista pode criar sua percepção através de elementos externos porém a satisfação é meramente experimental. Os aspectos variáveis dificultam a existência de uma correlação perfeita entre os dois conceitos, porém a pesquisa realizada demonstrou que a qualidade, percursora da satisfação, apresenta mais efeito no campo do turismo e lazer (BAKER; CROMPTON, 2000).

Segundo Zeithman *et al*. (2006) citados por Mondo (2014, p. 33) a percepção de qualidade em bens é distinta da percepção em serviços devido a sua essência intangível de conteúdo e outras características peculiares como a inseparabilidade entre a produção e o consumo, o potencial de variabilidade no desempenho e a impossibilidade de armazenamento do serviço. A qualidade em serviço é a avaliação que o cliente faz, durante ou após a prestação de serviço, por meio da comparação entre o que esperava e o que percebeu do serviço prestado (GIANESI; CORRÊA, 1994 apud MONDO, 2014). O crescimento da atividade turística

proporciona oportunidades às cidades para desenvolverem seus potenciais turísticos, os quais, aliados com a competitividade do mercado, ressaltam a importância da temática qualidade de serviços em atrativos turísticos (MONDO, 2014, p. 345).

Mondo (2014, p. 41) argumenta que apesar da predominância de utilização do modelo SERVQUAL na avaliação da percepção de qualidade de serviços, existem muitas divergências no campo científico sobre sua conceituação e aplicação surgindo, assim inúmeros modelos para atender serviços específicos. No turismo, existem modelos de mensuração da qualidade para hotéis, restaurantes, agências de viagens, companhias aéreas e atrativos históricos (castelos). Assim, observando a lacuna da especificidade de modelos de avaliação da qualidade de serviços em atrativos turísticos e ressaltando sua importância como principais motivadores da viagem turística, Mondo (2014) propõe o modelo de percepção de qualidade TOURQUAL, voltado para a especificidade de atrativos turísticos. A realização de melhoras no desempenho em relação a qualidade e satisfação resultará na ampliação do número de turistas, aumento do lucro e incentivo de políticas públicas. (ABBAS; POSSAMAI, 2008, p. 209).

2.2. Comportamento do consumidor

O consumidor de produtos turísticos não apresenta um padrão de aquisição por receber influência de fatores intrínsecos à sua personalidade, algo que os fatores externos como marketing e controle de qualidade de serviços não pode gerir. Esse comportamento consiste, basicamente, na procura de bens e serviços de acordo com seus hábitos particulares de consumo (MOWEN; MINOR, 2003). O turista adquire uma experiência e não somente um produto e para realizar a escolha é influenciado por fatores motivadores e determinantes com motivações múltiplas e compartilhadas (SWARBROOKE, 2002).

As pesquisas sobre comportamento do consumidor no turismo são necessárias para que seja possível entender o processo de decisão dos consumidores na compra de produtos e serviços turísticos, visto que esses são influenciados por fatores internos e externos (SWARBROOKE, 2002). É preciso analisar os padrões comportamentais do consumidor no turismo através do marketing visto que a compra realizada, em etapas, é o preenchimento de uma necessidade percebida, tornando-se um processo complexo de decisão, como: reconhecimento da necessidade, busca de informações, avaliação da alternativa, escolha do produto e até mesmo uma avaliação após a compra (PINTO; LARA; PEREIRA, 2008).

Ocorre que esse estudo de comportamento é difícil por tratar-se do elemento humano, variável e imprevisível, porém, compreendê-los traz benefícios que geram incentivos ao campo do turismo e lazer, fundamentais para as empresas (SILVA; DEBOÇÃ; SILVA, 2011). Nesse viés, estudar o comportamento do consumidor no turismo é essencial para entender as necessidades, impactos, percepção e segmentos do mercado na área (SILVA; DEBOÇÃ; SILVA; VEIGA, 2012; MEIRA; OLIVEIRA, 2004).

2.2. *City tour* e roteiro turístico

Em relação à importância do ônibus nas atividades turísticas, a análise de mercado é necessária para uma abordagem que permita uma maior compreensão de todos os seus aspectos, considerando a diferença entre viagens de utilidade e recreação. Os turistas buscam uma experiência e isso deve ser fator primordial no design dos ônibus para encorajá-los a trocarem os carros pelos ônibus (LUMDSON, 2006).

Um roteiro turístico é estabelecido através do planejamento e estudo da disponibilidade e relevância de atrativos localizados em uma determinada região, com o intuito de ser percorrida por visitantes - turistas ou excursionistas (PALHARES, 2002). A escolha do tipo de veículo utilizado no percurso é feita através do estudo e/ou adequação da estrutura das vias a serem percorridas por ele, levando em consideração a frequência da linha, a fim de considerar a via apta ou não (TOMAZZONI, 2009; GRONAU; KAGERMEIR, 2007; DE LA TORRE, 2002).

A Linha Turismo de Curitiba é um serviço regular e dispõe de um preço e roteiro pré-estabelecidos após um planejamento turístico dentro do município. Tal roteiro se engloba na definição de roteiro turístico nacional local (BAHL, 2004), onde todos os seus atrativos estão localizados dentro do âmbito geográfico de Curitiba, distribuídos de acordo com sua origem histórica, e percorridos mediante disponibilidade estrutural de receber o atual veículo utilizado: ônibus panorâmico de dois andares (*double decker*).

Levando em conta todas as definições de roteiro turístico para que a Linha Turismo de Curitiba, como conhecida hoje, exista, incluindo o veículo utilizado, o roteiro percorrido e seus atrativos, faz-se necessário analisar o tópico ‘roteiro turístico’ como um dos conceitos para a atual pesquisa da satisfação do usuário em relação à Linha Turismo da capital paranaense (PAZINI; MANOSSO; BIZINELLI, 2014). Esse aspecto auxiliará na obtenção do resultado final.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O objetivo geral da pesquisa é verificar a qualidade da Linha Turismo de Curitiba através do ponto de vista do usuário utilizando-se de uma metodologia qualitativa e quantitativa. Com a caracterização da pesquisa, os cinco objetivos específicos (descrever o perfil do usuário, avaliar a infraestrutura e acesso, a prestação de serviço, o itinerário e o grau de recomendação do usuário) serão investigados a partir de fontes de dados primários (usuários) e secundários (revisão de literatura), por meio de entrevista estruturada assistida, em campo, com a utilização de questionário fechado, elaborado segundo a ferramenta TOURQUAL, desenvolvida por Mondo (2014) e também observação dos pesquisadores. As entrevistas serão realizadas nos pontos de embarque do Jardim Botânico, da Ópera de Arame/Pedreira Paulo Leminski e do Museu Oscar Niemeyer. O Quadro 1 apresenta a caracterização da pesquisa.

Quadro 1: Caracterização da pesquisa

OBJETIVOS ESPECÍFICOS		CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA		
Dimensão (TOURQUAL)	**Tema**	**Fontes de dados**	**Técnicas de coleta de dados**	**Instrumentos de coleta de dados**
-	Descrever o perfil dos usuários / consumidores	Dados primários (usuários) e secundários (revisão bibliográfica)	Entrevista estruturada e Pesquisa em artigos de periódicos, livros, teses e dissertações	Realização de questionário com o público usuário e Fichamento
Acesso, Ambiente, Segurança e Qualidade Técnica	Avaliar a Infraestrutura e acesso			
Ambiente e Experiência	Analisar o Itinerário			
Elemento humano, Segurança e Qualidade Técnica	Avaliar a prestação de serviço (*staff* e custo-benefício)			
-	Avaliar o grau de recomendação do usuário			

Fonte: Elaboração própria (2017)

Segundo Mondo (2014), o modelo TOURQUAL contém 26 indicadores distribuídos em 6 dimensões definidas segundo a lógica da execução do serviço: acesso, ambiente, elemento humano, experiência, segurança e qualidade técnica. Apesar da ferramenta TOURQUAL se mostrar abrangente para avaliar a qualidade de atrativos turísticos através dos seus 26 indicadores, de modo a tornar a atividade de campo mais eficaz devido à escassez de tempo e recursos humanos disponíveis para a realização da pesquisa, no presente trabalho a avaliação da qualidade da Linha Turismo de Curitiba considerará apenas 12 indicadores, os quais foram estabelecidos a partir da aproximação ao campo de pesquisa realizada no dia 07 de maio de 2017.

Embora em relação ao modelo TOURQUAL a quantidade de indicadores foi reduzida, a seleção dos mesmos buscou preservar os critérios principais da ferramenta e avaliar a percepção de qualidade do usuário quanto a infraestrutura e acesso, itinerário e prestação de serviço nas 6 dimensões propostas por Mondo (2014). A infraestrutura e acesso compreendem a acessibilidade física e temporal ao atrativo, o ambiente e a qualidade técnica do mesmo, sendo esses critérios avaliados segundo 6 indicadores. O itinerário representa a experiência quanto ao entretenimento e aprendizado por parte do usuário, sendo avaliado em 2 indicadores. Já a prestação de serviço envolve a avaliação quanto ao elemento humano e a operação do serviço (pontualidade e segurança), os quais serão avaliados em 3 indicadores. Desta forma, os 11 indicadores selecionados são: divulgação e prestação de informações, infraestrutura e acessibilidade física, horário de atendimento, pontualidade, cortesia dos funcionários, conforto interno, segurança na prestação do serviço, roteiro, equipamento de áudio, informações turísticas durante o percurso e preço. Por fim, o décimo segundo indicador utilizado no questionário estruturado identificará a recomendação do atrativo à terceiros, o qual não se baseia no modelo TOURQUAL, além do perfil do usuário entrevistado.

Para auxiliar a obtenção do resultado da pesquisa, será realizada uma análise de dados a partir das respostas obtidas através do questionário fechado. Com isso, será necessário, inicialmente, realizar a codificação das alternativas em escala nominal - como idade, estado civil, escolaridade e gênero. Em relação às questões com escala, as avaliações variam de ruim a excelente, sendo aplicada uma concessão de um a cinco, sendo, consequentemente, um a pior nota e cinco a maior. Após a codificação, será feita a tabulação simples para as questões de

sim ou não - se é a primeira vez no atrativo - e para as perguntas em aberto e estruturadas - cidade de origem, quantos dias na cidade, viajando de que forma. A tabulação, tratamento e processamento de dados serão realizadas com o auxílio da ferramenta eletrônica Google Forms e do software editor de planilhas Microsoft Excel.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

O dados foram coletados em somente um dia de pesquisa em 26 de maio de 2017 em três paradas consideradas principais da Linha Turismo: Jardim Botânico, Ópera de Arame e Museu Oscar Niemeyer, sendo designado, para cada atrativo, dois pesquisadores que conduziriam a entrevista individualmente seguindo o questionário elaborado. As condições climáticas eram propícias por se tratar de um dia ensolarado e de temperatura agradável. Inicialmente, os turistas forneciam alguns dados pessoais e, após, eram indagados em questões pareadas, sendo a primeira o nível de importância da categoria avaliada e em seguida a nota aplicada a Linha Turismo na prática.

No total foram 48 entrevistados, sendo 46,9% no Jardim Botânico, 26,5% na Ópera de Arame e 26,5% no Museu Oscar Niemeyer. Em relação a origem dos entrevistados, obteve-se a seguinte quantidade: 16 (33,3%) da região Sul, 16 (33,3%) do Sudeste, 11 (22,9%) do Nordeste, 3 (6,3%) do Centro-Oeste, uma pessoa (2,1%) do Norte e apenas um (2,1%) entrevistado proveniente do exterior, os quais permaneceriam na cidade, em média, 3,7 dias.
Indagados em relação a forma de viajar, em sua maioria, 35,41% estava em família e 27,08% com cônjuge/companheiro (a). Ademais, 71,4% informaram que estavam realizando a Linha Turismo pela primeira vez, contra 28,6% que já haviam realizado. Observou-se que a faixa etária predominante dos usuários é de 30 a 39 anos, representando 27,08%, assim como 62,5% do gênero feminino e 37,5% masculino, deixando aberta a opção de outro gênero. No tocante ao estado civil, foi mais expressiva a quantidade de usuários solteiros com 45,83%, seguidos de 35,42%. Por fim, sobre a escolaridade, em sua maioria, 52,05% possuem Ensino Superior Completo.

Além do perfil do usuário, foram avaliados também, em escala com mínimo 1 e máximo 5, a percepção de qualidade dos usuários para a infraestrutura e acesso, itinerário e prestação do serviço da Linha Turismo de Curitiba. A Tabela 1 apresenta, para cada um dos 11 indicadores que compõem as 3 categorias de análise, os resultados da importância e ad avaliação do serviço em relação ao indicador analisado. A tabela apresenta também a satisfação percebida pelos usuários, a qual possui mínimo de quatro pontos negativos e máximo de quatro pontos positivos.

Tabela 1: Resultado dos indicadores de qualidade

Categoria	Indicador	Importância	Avaliação	Satisfação
Infraestrutura e acesso	Divulgação e prestação de informações	4,44	3,88	-0,56
	Infraestrutura e acessibilidade física	4,71	4,06	-0,65
	Horário de atendimento	4,52	4,10	-0,42
	Conforto interno (assentos, ar condicionado e limpeza)	4,52	4,06	-0,46
	Equipamento de áudio	4,40	3,56	-0,83
	Preço	4,54	3,25	-1,29
Itinerário	Roteiro	4,60	4,48	-0,13
	Informações turísticas	4,38	3,96	-0,42
Prestação do serviço	Pontualidade	4,65	4,25	-0,40
	Cortesia dos funcionários	4,31	4,10	-0,21
	Segurança do serviço	4,54	4,06	-0,48
Média		**4,51**	**3,98**	**-0,53**

Fonte: Elaboração própria (2017)

A categoria "Infraestrutura e acesso" teve uma média geral de importância para os usuários de 4,52 e um média geral de 3,82, a satisfação dessa categoria teve uma pontuação de -0,70. A categoria "Itinerário" apresentou uma média geral de importância de 4,49 e de avaliação do serviço prestado de 4,22, tendo uma pontuação de satisfação de -0,27. Já a categoria "Prestação do serviço" obteve média geral de importância de 4,50 e média geral de avaliação 4,14, com pontuação de satisfação de -0,36. Em relação a recomendação da linha turismo por parte dos usuários, 100% afirmam que indicariam o atrativo para amigos e parentes.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Inicialmente, em relação ao perfil do usuário, constatou-se, em sua maioria, tratar-se de mulheres, solteiras, na faixa etária de 30 a 39 anos, que possuem Ensino Superior Completo, viajando pela primeira vez com familiares, permanecendo na cidade uma média de 3 a 4 dias e provenientes em sua maioria das regiões Sul e Sudeste.

A categoria "Infraestrutura e acesso" foi avaliada pelos usuários como a categoria mais importante entre as três analisadas, sendo o indicador "Infraestrutura e acessibilidade física" o item de maior importância entre todos os analisados. Entretanto, observa-se que a mesma categoria apresenta a menor nota em relação à avaliação do serviço prestado, tendo os indicadores "Preço", "Equipamento de áudio" e "Divulgação e prestação de informações" obtido os menos níveis de avaliação entre os indicadores e como consequência, observa-se ainda que o usuário apresenta o menor grau de satisfação também em relação ao valor do cobrado pelo atrativo (-1,29), ao equipamento de áudio (-0,83) e a infraestrutura e acessibilidade física dos veículos e pontos de parada (-0,65).

Por outro lado, a categoria “Itinerário” apresentou o menor nível de insatisfação por parte do usuário, sendo o indicador “Roteiro” avaliado como o segundo item em geral de maior importância para os usuários e o que apresentou a melhor avaliação do serviço prestando, tendo assim o menor índice de insatisfação entre os indicadores avaliados (-0,13). Já na categoria “Prestação do Serviço”, o indicador “Pontualidade” apresentou a segunda maior importância para os usuários e o terceiro maior nível de satisfação (-0,40), já a cordialidade dos funcionários da Linha Turismo obteve o segundo melhor nível de satisfação entre os indicadores avaliados (-0,21).

Os dados de satisfação da Linha Turismo de Curitiba propiciam entender a dicotomia entre a expectativa e qualidade efetiva do serviço. De modo geral, observa-se que o usuário se mostra satisfeito com os critérios relacionados ao itinerário e a prestação de serviço, todavia, observa-se que aspectos relacionados a qualidade técnica do atrativo, especialmente o preço, devem ter maior atenção especial por parte dos gestores para que a percepção de qualidade e a satisfação do usuário não sejam afetadas.

6. CONCLUSÃO

A metodologia empregada constituiu-se na aplicação de questionários estruturados através do método Tourqual (Mondo, 2014) com intuito de analisar a qualidade na prestação dos serviços da Linha Turismo de Curitiba assim como a satisfação do usuário. Para melhorar a qualidade do serviço é necessário conhecer o perfil e as preferências dos usuários. A pesquisa realizada apontou falhas críticas na prestação dos serviços como: preço, áudio, pontualidade e limpeza. Durante a realização da pesquisa foram encontradas algumas dificuldades de abordagem dos usuários, pois estes aguardavam no interior dos atrativos e se dirigiam ao ponto apenas quando avistavam o ônibus se aproximando, impossibilitando a entrevista em razão do tempo escasso.

Alguns problemas técnicos foram enfatizados pelos usuários e observados pelos pesquisadores como a ausência de outros métodos de pagamento no ato, uma vez que a Linha Turismo não aceita pagamento em cartão, algo que surpreende os usuários e, muitas vezes, impossibilita a compra do produto. Ademais, afirmam que o valor é alto para as poucas paradas que o ingresso lhes dá direito a realizar. Em relação a segurança do transporte, foi relatado pelos usuários que ainda encontravam-se adentrando o veículo, muitas vezes com crianças e idosos, e antes que obtivesse a oportunidade de se assentar o motorista moveu o veículo, causando um desequilíbrio. É um fator que os administradores devem dar atenção com o intuito de evitar acidentes durante a realização do percurso.

Outro quesito que deixou a desejar aos usuários foi o áudio do veículo, o qual era falho e não apresentava as informações de todos os pontos de parada. Sobre a limpeza, concluiu-se que alguns ônibus estão fora do padrão, pois houve uma grande divergência entre as informações recebidas. Em relação à observação realizada pelos pesquisadores, verificou-se uma grande inconsistência em relação aos horários, pois comumente o ônibus saia do ponto adiantado ou atrasado. Em razão dos atrasos o veículo ficava lotado e com os passageiros encostados na porta.

Todos os comentários e avaliações dos usuários corroboraram para o indicador negativo de qualidade dos quesitos analisados, entretanto, pode-se inferir que os usuários se demonstraram satisfeitos com o serviço prestado. Sendo assim, o índice de satisfação apresentado na Tabela

1 para cada um dos indicadores pode ser utilizado como um critério para hierarquização de ações prioritárias por parte da gestão do atrativo para a melhoria da percepção de qualidade e satisfação do usuário no atrativo turístico.

Agradecimentos
Os autores agradecem à Prof. Dra. Marcia Shizue Massukado Nakatani pelo apoio, incentivo e orientação na realização desse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBAS, K.; POSSAMAI, O. Proposta de uma sistemática de alocação de recursos em ativos intangíveis para a maximização da percepção da qualidade em serviços. *Gestão e Produção***,** São Paulo, v. 15, n. 3, p.507-522, set-dez, 2008. Disponível em: <https://goo.gl/ha156L>. Acesso em: 01 jun. 2017.

BAHL, M. *Viagens e Roteiros Turísticos*. Curitiba: Protexto, 2004.

BAKER, D. A.; CROMPTON, J. L. Quality, satisfaction and behavioural intentios. *Annals of Tourism Research*, v. 27, n.3, p. 785-804, 2000. Disponível em: < https://goo.gl/eEaI9q>. Acesso em: 01 jun. 2017.

COSTA, J. K. B. A busca de Qualidade nos Serviços Turísticos. *Partes Revista Virtual*. 2011. Disponível em: < https://goo.gl/UA0bgM>. Acesso em: 01 jun.2017.

CURITIBA.IMT - Instituto Municipal de Turismo. *Pesquisa de Perfil, Comportamento e Opinião*: Linha Turismo - 2014. Curitiba: Prefeitura de Curitiba, 2015. 26 p.

CURITIBA.URBS – Urbanização de Curitiba. *Turismo*. Disponível em: <https://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/transporte/linha-turismo>. Acesso em: 27 mar.2017.

DE LA TORRE, F. *Sistemas de transportes turísticos*. São Paulo: Roca, 2002.

DENCKER, A. de F. M. *Pesquisa em turismo: planejamento, métodos e técnicas***.** São Paulo: Futura, 2007.

GRONAU, W.; KAGERMEIR, A. Key fators for successful leisure and tourism public transport provision. *Journal of Transport Geography*, 2007. P. 127-135. Disponível em: <https://goo.gl/Qmu5uI>. Acesso em: 01 jun. 2017.

IGNARRA, L. R. *Fundamentos do Turismo*. 3ª Ed. Senac, 1999.

LUMSDON, L. M. Factors affecting the design of tourism bus services. *Annals of Tourism Research*, v. 22, n 3, p. 748-766, 2006. Disponível em: < https://goo.gl/1Ju9sS>. Acesso em: 01 jun. 2017.

MATOS, C. A. de; VEIGA, R. T. Avaliação da qualidade percebida de serviços: um estudo em uma organização não-governamental. *Caderno de Pesquisas em Administração*. São Paulo, v. 3, n. 7, p.27-42, jul. 2000. Disponível em: < https://goo.gl/fdsWuY>. Acesso em: 01 jun. 2017.

MEIRA, P. R.; OLIVEIRA, R. L. T. de. *Comportamento do cliente no Brasil:* princípios teóricos e recentes pesquisas na área. Pelotas: EDUCAT, 2004.

MOWEN, J. C.; MINOR, M. S. *Comportamento do Consumidor*. Trad. Vera Jordan. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

MONDO, T. S. *TOURQUAL:* proposta de um modelo de avaliação da qualidade de serviços em atrativos turísticos. 2014. 402 f. Tese (Doutorado) - Curso de Administração, Centro Sócio-econômico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014. Disponível em: <https://goo.gl/GC17XO>. Acesso em: 02 jun. 2017.

PALHARES, G. *Transporte turístico*. São Paulo: Aleph, 2003.

PARASURAMAN, A., ZEITHAML, V.; BERRY, L. SERVQUAL: a multiple-item scale for measuring consumer perception of service quality. *Journal of Retailing*, V. 64 N. 1, p. 12-40, 1988. Disponível em: < https://goo.gl/NEytFi>. Acesso em: 02 jun. 2017.

PAZINI, R.; MANOSSO, F. C.; BIZINELLI, C.. Turismo receptivo: uma análise dos city tours de Curitiba. *Revista Turismo – Visão e Ação*, Itajaí, v. 16, n. 3, 2014. Disponível em: <https://goo.gl/WuD0u4>. Acesso em: 02 jun. 2017.

PEREIRA, G. S. *Comportamento do Consumidor no Turismo: tipologias e processo de tomada de decisão nas compras***.** Universidade Caxias do Sul. Disponível em: < https://goo.gl/JenY1u>. Acesso em: 28 abr. 2017.

PINTO, Marcelo de Rezende; LARA, José Edson. O que se publica sobre comportamento do consumidor no Brasil, afinal? *Revista de Administração da Ufsm: Brazilian Journal of Management,* Santa Maria, v. 1, n. 3, p.1-18, 2008. Trimestral. Disponível em: < https://goo.gl/X8nmM2>. Acesso em: 18 jun. 2017.

RICHARDSON, R. J.; DE SOUSA PERES, J. A. *Pesquisa social: métodos e técnicas*. Atlas, 1999.

ROSSI, C. A. V.; SLONGO L. A. Pesquisa de satisfação de clientes: O Estado-da-arte e proposição de um método brasileiro. *Revista de Administração Contemporânea*, v.2, n.1, p.101-25, 1998. Disponível em: <https://goo.gl/rrWmco>. Acesso em: 28 abr. 2017.

SILVA, P. R. da; DEBOÇÃ, L. P.; SILVA, A. J. H. da; VEIGA, R. T. Uma Análise da Produção Científica nos Periódicos de Turismo Sobre o Tema Comportamento do Consumidor em Turismo. *Revista Turismo Visão e Ação*, Ponta Grossa, v. 14, n. 1, p. 47-66, 2012. Disponível em: < https://goo.gl/pr7tiW>. Acesso em: 28 abr. 2017.

STRAUSS, A.; CORBIN, J. *Basics of Qualitative Research*. 1998. Thousand Oaks, 1998.

SWARBROOKE, J.; HORNER, S. *O comportamento do consumidor no turismo*, 2002.

TOMAZZONI, E. L. *Turismo e desenvolvimento regional:* dimensões, elementos e indicadores. Caxias do Sul, RS : Educs, 2009. p. 170.

TSE, D. K.; WILTON, P. C**.** Models of consumer satisfaction formation: an extension. *Journal of marketing research*, p. 204-212, 1988. Disponível em: < https://goo.gl/N94eZL>. Acesso em: 28 abr. 2017.

Jefferson Hishiyama da Silva (jefferson.hishiyama@gmail.com)
Jaqueline Alves Ferreira (jaque-alvesferreira@hotmail.com)
Rafael Varella (rafaelvarella7@gmail.com)
Lorena Ohana Caroline Costa Pereyra (lorena4ohana@gmail.com)
Keity Nayara Botelho Sena (keitybotelho@gmail.com)
Leidiane Maria Soares Francisco (leidianemariasoares@outlook.com)

Orientadora:
Marcia Shizue Massukado Nakatani (marcia.nakatani@ufpr.br)

Departamento de Turismo, Universidade Federal do Paraná
Rua Dr. Faivre 405, 3º andar, Ed. D. Pedro II, Curitiba - PR

REGULARIDADE E ESTIMATIVA DE DESEMBARQUE A PARTIR DE DADOS DE SMARTCARD DE SISTEMAS DE BILHETAGEM ELETRÔNICA

Gabriel Tenenbaum de Oliveira
Carlos David Nassi
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Programa de Engenharia de Transportes / COPPE

RESUMO
Dados de cartões inteligentes (*smartcard*) de Sistemas de Bilhetagem Eletrônica (SBE) são parte de uma revolução no nível de informação que dispomos sobre sistemas de transporte público. Este artigo define um método de processamento de dados de *smartcard* para identificar passageiros regulares, a partir do conceito de âncora de Chu e Chapleau (2013), e estimar o local de desembarque para viagens em modos baseados em estações com validadores fixos. O método foi aplicado em um corredor de BRT na cidade do Rio de Janeiro. Detectou-se que 24% dos usuários classificados como regulares são responsáveis por 68% das viagens e foi possível estimar o desembarque para 67% delas. A taxa de sucesso de estimativa foi maior para usuários regulares que usam pelo menos duas estações do BRT. O artigo conclui com recomendações para futuras aplicações de dados de *smartcard* de SBE.

ABSTRACT
Smartcard data from Automatic Fare Collection (AFC) systems are part of a revolution in the level of information we have on public transport systems. This paper lays down a method to process smartcard data to identify regular passengers according to Chu and Chapleau (2013) anchor concept and estimate alighting location for trips in validator-equipped station-based transport modes. The method was applied in a BRT corridor in the city of Rio de Janeiro. Findings revealed that 24% of users classified as regulars are responsible for 68% of the trips and it was possible to estimate the alighting location for 67% of the trips. Estimation success rate was higher for regular riders who use at least two BRT system stations. The paper concludes with recommendations for future AFC smartcard data applications.

1. INTRODUÇÃO

Convencionalmente, os milhões de deslocamentos diários no âmbito de cidades e regiões metropolitanas são analisados baseando-se em um conjunto consideravelmente menor de dados, da ordem de poucas dezenas de milhares, adquiridos manualmente por meio de pesquisas de campo custosas que demandam longos tempos de processamento. Sistemas de coleta automática de dados (ADC, da sigla em inglês para *Automated Data Collection systems*) representam uma potencial quebra de paradigma para suplementar tais pesquisas convencionais.

De fato, os dados são coletados em quantidade incomparavelmente maior, com confiabilidade e precisão em seu registro, de forma contínua e abrangente e possibilitam, por respeitarem sempre um mesmo formato, a automação de prospecção de informações. Em relação a sistemas de transporte público de passageiros, dentre os sistemas de ADC disponíveis se encontram os Sistemas de Bilhetagem Eletrônica (SBE) baseados em cartões inteligentes (*smartcards*) individuais e utilizados para a automatização do processo de arrecadação tarifária. Embora concebidos para atender este objetivo primário, estes dados podem ser processados para gerar informações detalhadas do perfil de demanda no nível do usuário.

Dentre as aplicações possíveis, se destaca a determinação de matriz embarque e desembarque em sistemas de transporte público, insumo básico no planejamento de transportes públicos urbanos. Embora em sistemas de transporte "abertos" (em que não é necessário "validar" o cartão ao desembarcar do sistema) os dados de local de embarque possam ser associados para cada transação de *smartcard*, dados de desembarque não estão disponíveis. Por meio do

processamento com base em regras lógicas, é possível estimá-los e assim alcançar matrizes similares àquelas obtidas como resultado de pesquisas de campo. Na literatura internacional, como será visto na seção a seguir, uma quantidade importante de autores já se dedicou ao estudo deste tema. Até o presente todos os trabalhos se utilizaram não somente de dados de *smartcard* sobre a demanda como também de outra fonte de dados primário sobre a localização GPS da oferta de viagens no território.

Este artigo objetiva desenvolver um método de estimativa de local de desembarque de viagens realizadas em sistemas de transporte público dotados de estações com validadores, a partir exclusivamente de dados de *smartcard*, e que enfatize na análise de resultados os padrões de regularidade dos usuários investigados.

O artigo se divide da seguinte forma: na seção 2 é feita uma revisão bibliográfica de trabalhos que ressaltaram a análise de regularidade a partir de dados de *smartcard* e dos principais passos, resultados, desdobramentos e limitações quanto a sua aplicação para a estimativa de desembarque de viagens. Na seção 3 os matérias e métodos utilizados para a detecção de desembarque de viagens são descritos. Na seção 4, um estudo de caso é realizado no BRT TransCarioca da cidade do Rio de Janeiro, ressaltando-se a relação entre o percentual de passageiros que pode ser considerado regular e o sucesso deste tipo de estimativa. Por fim, a seção 5 conclui e traça recomendações para pesquisas e aplicações em sistemas reais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Aplicação de Dados de *Smartcard* para Caracterização da Demanda

O cartão eletrônico teve sua primeira utilização para fins de arrecadação tarifária em sistemas de transporte público no final dos anos 1990 nas cidades de Washington e Tóquio (DEVILLAINE et al., 2013). Até meados dos anos 2000, os estudos relacionados a SBE na literatura acadêmica se limitavam a análises da tecnologia empregada (MORENCY; TRÉPANIER; AGARD, 2007). A partir de autores como Buneman (1984), que estudou transações registradas em tarjetas magnéticas, Barry et al. (2002), Bagchi (2003) e Zhao (2004) começou a ser aprofundado o conhecimento sobre a prospecção de informação a partir da grande quantidade de dados deste tipo de sistema para a caracterização da demanda e para o planejamento de transportes.

Em comparação com dados provenientes de coletas manuais, a utilização destes dados apresenta vantagens importantes como abrangência, acurácia, baixa interferência humana, registro na escala do indivíduo e possibilidade de automatização do processamento de dados. Como desvantagens, podem ser citadas a estrutura de dados complexa, a ausência de georreferenciamento no registro e de dados do perfil do usuário, a necessidade de validação exógena dos resultados e o desconhecimento da penetração do bilhete eletrônico entre, por exemplo, as diferentes classes de renda. A privacidade do usuário e o sigilo de suas informações pessoais continua a ser um dos pontos de atenção na utilização dos dados de SBE (PELLETIER; TRÉPANIER; MORENCY, 2011).

2.2. Aplicação de Dados para Análises de Padrões de Regularidade

Por estarem atomizados em transações individuais por usuário e permitirem janelas multidiárias de observações, os dados de SBE são uma fonte rica para entender o comportamento desagregado na escala do indivíduo (CHU; CHAPLEAU, 2013). Esta caracterização na escala

individual pode ser de grande interesse para promover a difusão de informações mais específicas quanto aos serviços e para a modelagem de transportes (BAGCHI; WHITE, 2005).

Chu e Chapleau propõem para a análise da regularidade o conceito de âncora (2013). A âncora designa um lugar repetidamente visitado e, assim, um comportamento recorrente do ponto de vista do usuário. No âmbito da cidade, representam lugares de especial importância para o indivíduo como local de moradia, de trabalho e de estudo. No âmbito da rede de transportes representam estações ou linhas comumente utilizadas. No método proposto pelos autores, a âncora é um atributo laureado a um cartão a partir do histórico de suas transações, que pode indicar suas estações mais utilizadas. Cartões com âncora servem assim como um *proxy* para usuário regulares enquanto cartões sem âncora podem ser considerados usuários esporádicos.

O método de Chu e Chapleau foi testado no sistema de metrô de Montréal, Canadá e é facilmente replicável a outros sistemas. Outros autores, como Ortega-Tong (2013) e Goulet-Langlois (2015) em Londres, Ma et al. (2013) em Beijing e Zhong et al. (2015) em Singapura, estudaram a regularidade e variabilidade da demanda utilizando métodos de clusterização. Os métodos incluíram outras condições de regularidade, como a sequência de atividades no caso de Goulet-Langlois, e permitiram classificar os usuários em grupos mais específicos (usuários de todos os dias da semana, usuários de dias úteis de semana, usuários regulares infrequentes, etc.).

2.3. Estimativa de Embarque e Desembarque a partir de Dados de SBE

As transações registram, como colocado anteriormente, o embarque realizado por usuários. É desse modo natural que se conheçam informações relativas à entrada do usuário em determinado horário ou modo de transporte. Porém, para fins de planejamento de transportes, é importante que se conheça o ponto de desembarque do usuário, tanto de um trecho de viagem, quanto da viagem por completo.

Dados de SBE já foram empregados para a estimativa do local de desembarque de viagens por diversos autores, conforme disposto na Tabela 1. Em todos os trabalhos estudados, chama atenção a quantidade de transações tratadas e taxa de estimativa do local de desembarque das viagens.

Tabela 1. Autores que realizaram estimativas de local de desembarque a partir de dados de SBE, com respectivo quantitativo de transações analisadas e taxa de sucesso de estimativa.
Fonte: Elaboração própria.

País	Autores	Transações analisadas	Taxa de sucesso de estimativa
Chile	MUNIZAGA; PALMA, 2012	38 mi	83%
	DEVILLAINE et al., 2013	ND	ND
Brasil	FARZIN, 2008;	658 k	77%
	GUERRA; BARBOSA; KELLI, 2014	24,9 k	56%
Canadá	TRÉPANIER; TRANCHANT; CHAPLEAU, 2007	ND	66%
EUA	CUI, 2006	2,7 mi	60%
	ZHAO; RAHBEE; WILSON, 2007	2,5 mi	71%
	DUMAS, 2015	18,3 mi	56% Ônibus / 75% Trem
Inglaterra	GORDON, 2012	6,3 mi	77%
	WANG; ATTANUCCI; WILSON, 2011	72,4 k	66%
China	LIANFU et al., 2007	ND	ND

Onde: k = 10^3 / mi = 10^6 / ND = dado não disponível na bibliografia consultada.

Trabalho recente compilou as regras lógicas adotadas para detectar local de desembarque e para distinção entre transferências e viagens completas (OLIVEIRA; NASSI, 2016). É de se ressaltar que o grau de complexidade de análises empreendidas em sistemas que apresentam validadores localizados de forma fixa na rede de transportes (trem, metrô, BRT) é menor se comparado a sistemas com validadores localizados dentro dos veículos e, portanto, móveis na rede de transportes (ônibus e vans). Em todos os estudos envolvendo modos capilares (CUI, 2006; DUMAS, 2015; FARZIN, 2008; GORDON, 2012; GUERRA; BARBOSA; KELLI, 2014; MUNIZAGA; PALMA, 2012; WANG; ATTANUCCI; WILSON, 2011), foi utilizada uma outra base de dados primária relativa à localização dos veículos na rede e no tempo, como sistemas de localização veicular automática baseado em GPS ou programação horária de viagens.

Munizaga *et al.* (2014) realizaram a validação de resultados e concluíram a estimativa como correta em 84% dos desembarques e em 90% o agrupamento de trechos de viagem. Os métodos propostos por Gordon (2012), Munizaga *et al.* (2014) e Zhao, Rahbee e Wilson (2007) são aplicados para fins de análise operacional e planejamento em 3 sistemas reais (Londres, Santiago e Chicago, respectivamente).

Uma vez estimados os embarques, os desembarques e transferências, as matrizes de viagem podem ainda servir de base para outros algoritmos de pós-processamento e enriquecimento de dados. Os trabalhos de Devillaine (2012) em Santiago e Ortega-Tong (2013) e Goulet-Langlois (2015) em Londres, por exemplo, estimam o motivo da viagem no nível de usuário. Em sistemas de transporte "fechados", onde a validação na saída é obrigatória e o destino das viagens é automaticamente conhecido, outros também se interessaram pela estimativa de motivo da viagem, como Kusakabe e Asakura (2014) em Osaka e pela análise de variabilidade de viagens, como Zhong et al. (2015) em Singapura a partir de dados de *smartcard*.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O método a seguir detalha os passos para investigar a relação entre a regularidade de usuários em um sistema de transporte estruturante e a estimativa do local de desembarque de suas viagens. Neste método, são empreendidas as seguintes etapas:

1. Organização de Dados Necessários
2. Detecção de Usuários Regulares
3. Montagem de Transações em Viagens
4. Detecção de Local de Desembarque

3.1. Organização de Dados Necessários

Os dados primários básicos provenientes de um SBE explorados neste método são os dados de transações, de cadastro de cartões de usuários e de cadastro das linhas e estações que compõem o sistema de transporte público. Para a detecção de usuários regulares e para a detecção de local de desembarque, sugere-se analisar janela de dados de transações de 20 dias úteis ou 4 semanas corridas. Como neste método são estudados os padrões em um subsistema do sistema de transporte público total (ex: sistema de trens, sistema de metrô ou sistema de BRT), é importante fazer a triagem dos dados de transação do mesmo para agilizar processamentos subsequentes.

3.2. Detecção de Usuários Regulares

Em primeiro lugar, é importante conhecer aqueles cartões que apresentam regularidade, ou seja, aqueles que utilizam certas estações de forma recorrente. Para distingui-los, utiliza-se o conceito de âncora, definido por Chu e Chapleau (2013). Para conceder a âncora a uma determinada estação para um cartão específico, propõem-se que sejam respeitadas, no período de 20 dias analisados, as seguintes condições de regularidade: (i) a estação foi utilizada pelo cartão em ao menos 3 semanas distintas no período analisado; e (ii) a proporção de transações na estação em relação ao total de transações realizadas pelo cartão no sistema e no período analisado é superior a 20%. Originalmente, Chu e Chapleau (2013) apontam como condição de regularidade (i) a realização de ao menos 5 transações em determinada estação. Esta condição foi modificada para captar usuários que apresentaram regularidade ao longo da maior parte do período analisado.

3.2.1. Montagem das Viagens a partir da Base de Transações

Para suceder ao processo de estimativa de desembarque, sugere-se em primeiro lugar montar uma base contendo as viagens completas realizadas no modo estruturante estudado. Esta base é montada a partir da base de transações. Para cada viagem, além da transação no modo estruturante (aqui notado como trecho "B"), são armazenadas a transação imediatamente anterior (aqui notado como trecho "A") na mesma viagem e a transação imediatamente posterior (aqui notado como trecho "P"), na mesma viagem ou em uma viagem distinta ulterior. Para detectar se a transação anterior A ou posterior P faz de fato parte da mesma viagem em que o modo estruturante B foi utilizado, são adotados critérios de tempo, respeitando as seguintes condições:

- Deve ser estipulado um intervalo de tempo entre transações A-B ou B-P para caracterizar transferência. Recomenda-se que seja adotado um intervalo limite diferente entre o horário fora de pico e o horário de pico (ex: 1h30 entre transações em horários fora de pico, 2h no horário de pico), para reproduzir os maiores tempos de viagens típicos destes períodos;
- Deve ser adotado um intervalo máximo entre a transação anterior e a transação posterior (A-P) de uma mesma viagem. Caso o intervalo máximo seja ultrapassado é adotado um critério de desmembramento de viagens muito longas. No horário da manhã, é conservado o trecho anterior ao modo estruturante, enquanto o trecho posterior é anulado. No horário de pico da tarde, é conservado o trecho posterior ao modo estruturante, enquanto o trecho anterior é anulado.

Idealmente, o critério de tempo para caracterização de transferências deveria incidir entre o desembarque de uma transação e o embarque na transação seguinte. Esta análise, no entanto, careceria de se estimar o tempo de viagem decorrido em cada transação, o que não é realizado neste método. De forma simplificada, a transferência é caracterizada apenas analisando-se a diferença temporal entre embarques. Além dessas condições, caso a transação anterior (A) ou posterior (P) seja realizada no modo estruturante estudado, considera-se que se trata de viagem distinta. Este critério está relacionado ao fato de sair e entrar em um mesmo sistema de transporte indicar a realização de uma atividade.

No registro da viagem, para cada transação A-B-P são incluídos dados relativos a: data e horário da transação; número sequencial da transação; código da linha / estação utilizada; modo utilizado e vista da linha / nome da estação. Complementarmente, para cada viagem são

incluídos o número do cartão, a data de sua realização e o número sequencial da viagem para o cartão nesta data. Para o processo de estimativa de desembarque, facilita que sejam incluídos no registro da viagem dados sobre o trecho posterior, ainda que não pertença à mesma viagem. Para tanto, é registrado para o trecho P indicativo de que se trata de trecho relativo a outra viagem (P-$_{PVG}$) ou de uma mesma viagem (P-$_{TRNSF}$).

A cada registro de transação no modo estruturante estudado corresponderá um registro na tabela de viagens montada. Este método de montagem contempla apenas viagens de 3 trechos, tendo o trecho no modo estruturante estudado como central da viagem.

3.2.2. Processo de Estimativa de Desembarque em Modo Estruturante

O processo de estimativa se propõe a encontrar o desembarque para cada transação realizada no modo estruturante B. São adotados os seguintes passos sequenciais a partir da base de viagens montada:

- Caso haja trecho posterior P (na mesma viagem ou em viagem subsequente):
  - Estimativa Direta: Caso o modo de P seja o mesmo modo estruturante estudado (ex: BRT): é adotada como estação de desembarque a própria estação utilizada no trecho P, que neste caso será de uma viagem ulterior (P-$_{PVG}$);
  - Estimativa com base em trechos A/P espelhados: Caso o modo de P seja distinto, é buscado se houve outras viagens, no mesmo dia, em que P tenha sido utilizado no trecho A. Neste caso são seguidos os passos:
    - Caso P tenha sido realizado em outro modo estruturante (ex: metrô) e caso tenha havido outra viagem no mesmo dia em que o mesmo ramal deste modo tenha sido utilizado no trecho A (ex: mesma linha do metrô), a estação de desembarque é estimada como a mesma estação de embarque B utilizada na viagem A-B;
    - Caso P tenha sido realizado em modo capilar (ex: ônibus) e caso tenha havido outra viagem no mesmo dia em que a mesma linha tenha sido utilizada no trecho A, a estação de desembarque é estimada como a mesma estação de embarque B utilizada da viagem A-B.
  - Estimativa com base em proximidade: Caso não tenha havido viagens similares no mesmo dia com P utilizado em A, é buscado o desembarque com base em uma estimativa de proximidade. Neste caso são seguidos os passos:
    - Caso P tenha sido realizado em estação de outro modo estruturante (ex: metrô), é buscado se há estações próximas às linhas do modo estruturante estudado. É adotado como estação de desembarque aquela que permite a menor distância de caminhada para a integração com o embarque na estação em que foi realizada a integração posterior;
    - Caso P tenha sido realizada em linha de modo capilar (ex: ônibus), deve-se atentar ao fato de que a linha pode passar por mais de uma estação do modo estruturante estudado, o que pode confundir as estimativas. É buscado a partir do SBE se há alguma estação do sistema estudado que tenha maior interseção com a linha P. Para tanto é utilizada uma tabela auxiliar, montada a partir da quantidade de transações realizadas para cada par A-B no período. É buscado nesta tabela auxiliar os pares A-B em que A corresponda a linha P da viagem estudada. Caso haja alguma estação B que tenha sido utilizada em mais de 50% dos casos em que A

foi utilizado, esta estação é considerada a estação de desembarque. Só são consideradas estações em que o par A-B ocorreu mais de 5 vezes ao dia, para evitar casos de linhas pouco utilizadas.

- Caso não haja trecho posterior P encontrado:
  - Estimativa com base em trechos A/P espelhados: É buscado se houve outras viagens, no mesmo dia, em que A tenha sido utilizado no trecho P. Neste caso são seguidos os passos similares à etapa 1.2;
  - Primeiro Embarque: Para a última viagem do dia, é buscado o primeiro embarque realizado pelo usuário no dia no sistema de BRT. Esta estação será designada como desembarque na viagem estudada.

Ao final destas etapas, para cada linha da tabela de viagens, haverá uma estação de embarque e, caso tenha sido encontrada com sucesso, uma estação de desembarque no modo estruturante estudado. Durante a análise, em primeiro lugar, é importante que sejam analisadas as taxas de sucesso de estimativa para cada etapa do algoritmo e a taxa total para o grupo de usuários regulares e esporádicos. Considerando as viagens cujo desembarque foi estimado com sucesso, pode-se analisar sua distribuição espacial.

4. ESTUDO DE CASO, RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, a metodologia proposta é testada para caracterizar as viagens realizadas no BRT TransCarioca da cidade do Rio de Janeiro. A aplicação utiliza os dados do SBE do programa de Bilhete Único da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (BURMRJ).

4.1. Escopo do Caso

4.1.1. Dados de smartcard do Programa BURMRJ

Embora a utilização de dados de *smartcard* seja o ponto de partida das análises, é essencial compreender que por trás das viagens, há um programa de subsídio tarifário que impacta diretamente nos custos das mesmas para os usuários, indiretamente no acesso a oportunidades urbanas (MIHESSEN, 2013; NERI, 2010) e por consequência nos padrões de utilização da rede de transportes. BURMRJ é como se convenciona chamar neste trabalho o rol de políticas de subsídio tarifário ao transporte público de passageiros instituído no âmbito da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) pelo Governo do Estado, que inclui benefícios aos usuários cadastrados no programa em viagens intermunicipais, no sistema de trens e no sistema de barcas. Os autores tiveram acesso apenas aos dados provenientes de cartões habilitados ao BURMRJ. Devido à estrutura tarifária e ao arranjo institucional do programa, os dados analisados só incluem transações de viagens intermunicipais. Foram realizadas neste SBE, no mês de março de 2015, quase 48,0 milhões de transações e havia 4,3 milhões de usuários cadastrados, aproximadamente 36% da população da RMRJ (IBGE, 2014).

4.1.2. O BRT TransCarioca no Sistema de Transportes da RMRJ

O BRT TransCarioca, segundo corredor da cidade do Rio de Janeiro, inaugurado em junho de 2014, conecta o Aeroporto Internacional à Zona Norte e à Barra da Tijuca, constituindo a primeira ligação transversal da rede de transporte público já existente na cidade. Este corredor, de 39 km e 47 estações, possui proximidade com três ramais de trem, com um ramal do metrô e com linhas de ônibus e vans intermunicipais. Neste estudo de caso foram utilizados os dados de transação de 20 dias úteis (4 semanas), do dia 2 (segunda-feira) ao 27 (sexta-feira) de março de 2015. Foram realizadas no período 231.287 transações no BRT TransCarioca por 48.699 usuários distintos.

4.2. Detecção de Cartões Regulares

Para distinguir os usuários regulares daqueles esporádicos foi utilizado o conceito de âncora detalhado na metodologia. Foram detectados 78.044 pares cartão-estação, dos quais 15.214 (19,5%) seguem a regra de âncora aplicada, isto é, que respeitaram as duas condições de regularidade analisadas. Os pares de cartão-estação que respeitam as condições de âncora são então utilizados para apontar a quantidade de âncoras por cartão e a quantidade e de cartões e transações em cada grupo de cartões (Tabela 2).

Tabela 2. Cartões, Transações e Transações Ancoradas por Grupo de Cartões
Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURM RJ

Grupo de Cartões com Quantidade de Âncoras por Cartão	Quantidade de Cartões [A]	Percentual do Total de Cartões [A/A_T]	Quantidade de Transações [B]	Percentual do Total de Transações [B/B_T]	Transações por Usuário por Dia [B/A/20 d.]
Sem Âncora (1 trans.) *	21.644	44%	21.644	9%	0,05
Sem Âncora	37.069	76%	75.025	32%	0,10
1 Âncora	8.268	17%	83.074	36%	0,50
2 Âncoras	3.144	6%	67.576	29%	1,07
3 Âncoras	214	0%	5.497	2%	1,28
4 Âncoras	4	0%	115	0%	1,44
Total ($_T$)	48.699	100%	231.287	100%	0,24
Total para Cart. com Âncora	11.630	24%	156.262	68%	0,67

Nota-se que embora os cartões com âncora representem apenas 24% do total de cartões BURMRJ do sistema, eles realizaram 68% do total de transações no período. Cartões com âncora têm taxa de utilização (0,67 trans./cartão/dia) quase sete vezes superior à taxa de cartões sem âncora (0,10 trans./cartão/dia). Por fim, é importante perceber que quase metade (44%) dos cartões realizaram apenas 1 transação no sistema durante o período.

4.3. Montagem de Viagens

No caso da RMRJ foi identificado, a partir de dados do PDTU-RMRJ (2013), que o horário de pico para viagens motorizadas se dá na parte da manhã às 06-07h e na parte da tarde às 17-18h, e que o tempo médio de viagem em ônibus intermunicipais e no trem é de respectivamente 58 e 47 minutos. O intervalo entre transações caracterizando uma transferência de trechos de uma mesma viagem foi definido como duas horas durante o horário de pico e como uma hora e meia para outros horários. As viagens foram definidas como tendo intervalo máximo de três horas entre o trecho anterior ao BRT e o trecho posterior ao BRT. As transações realizadas foram montadas em viagens com informações de trecho anterior e posterior. Há uma similaridade de quantidade de viagens com trechos A - B (47%) e viagens com trechos B – P (45%), indicando viagens pendulares; 8% de viagens só com BRT e 1% com trechos anterior e posterior.

4.4. Estimativa de Desembarque

Aplica-se às viagens montadas as regras de estimativa detalhadas na metodologia. Ao final do algoritmo chegou-se a uma estimativa com sucesso para 67% das viagens montadas (155.432 viagens de um total de 231.287). Uma base primária de localização dos veículos de modos capilares (sistemas AVL) poderia incrementar o sucesso da etapa baseada na proximidade (etapa 3) e o peso desta no sucesso geral da estimativa.

4.5. Padrões de Regularidade na Estimativa de Desembarque

A partir do processo de detecção de cartões com âncora realizado na seção anterior, o total de viagens com desembarque foi separado para cartões que apresentaram regularidade e cartões com uso esporádico (Tabela 3).

Tabela 3. Taxa de Sucesso de Estimativa de Desembarque para Cartões com e sem Âncora
Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURM RJ

Cartões	Total de Cartões	Total de Viagens	Total de Viagens com Desembarque Estimado	Taxa de Sucesso de Estimativa
Sem Âncora	35 635	69 890	44 207	62%
Com Âncora	13 064	161 397	114 239	70%
1 Âncora	8 998	82 734	45 958	56%
2 Âncoras	3 753	71 960	60 307	84%
3 Âncoras	310	6 640	5 928	89%
4 Âncoras	3	63	52	83%
Total	**48 699**	**231 287**	**155 446**	**67%**

Do total de viagens montadas, 70% foram realizadas por cartões com âncora. De uma forma geral, nota-se uma diferença importante, da ordem de 8 pp, da taxa de sucesso de estimativa de desembarque entre cartões com âncora (70%) em relação aos cartões sem âncora (62%). Porém, quando analisado por quantidade de âncoras, a taxa de sucesso revela-se superior apenas a partir do grupo de cartões com duas âncoras (84% na média ponderada para os grupos de cartões com duas ou mais âncoras, isto é, 22pp superior à taxa para cartões esporádicos). Cartões com apenas uma âncora têm taxa de sucesso de estimativa de 56%, não maior que cartões sem âncora.

Estes fatos provavelmente estão relacionados ao incremento na taxa de sucesso advindo da etapa de estimativa com base em trechos espelhados, que é maior logicamente para cartões com duas ou mais âncoras. Conclui-se que foi maior no caso estudado a possibilidade de detecção de desembarques para os usuários que apresentam regularidade de uso em no mínimo dois pontos do sistema; para usuários com regularidade em apenas um ponto a detecção não é maior do que para usuários sem regularidade.

4.5.1. Distribuição Espacial de Viagens com Desembarque Estimado

Nesta subseção é realizada uma análise da distribuição espacial das viagens cujo desembarque foi estimado com sucesso durante o horário de pico da manhã (06h). Neste horário foram realizadas 26.777 viagens, das quais conseguiu-se estimar o desembarque para 59%. Esta taxa é inferior à média para o total de viagens, pelo fato de os desembarques no horário de pico da manhã estarem mais distribuídos em uma grande gama de estações do que em outros horários do dia.

A partir das viagens cujo desembarque foi estimado com sucesso construiu-se a Figura 1 com embarques e desembarques para cada estação e o fluxo de passageiros ao longo da linha no pico da manhã. A grande maioria das viagens se concentra apenas no BRT TransCarioca (85% no pico da manhã), porém é possível quantificar que 15% delas são viagens entre os corredores TransOeste e TransCarioca. O fluxo é maior no sentido Sul do que no sentido Norte, ultrapassando 400 passageiros BURMRJ por hora naquele sentido e estando abaixo de 200 neste. Este fato tem estreita relação com a grande concentração de empregos presentes na Baixa de Jacarepaguá, Barra da Tijuca e Recreio dos Bandeirantes, se comparado com outras regiões atendidas pelo corredor. A maior quantidade de embarques e desembarques acontece nas

estações do Terminal Madureira e Penha, onde há estações de trem e alta concentração de linhas intermunicipais.

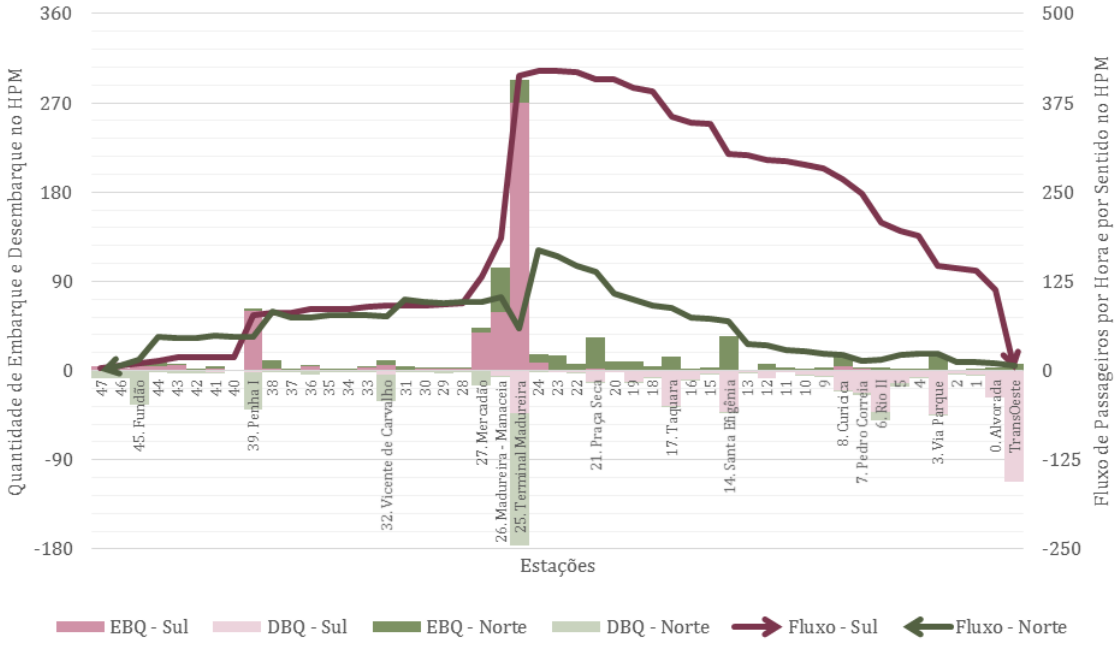


Figura 1. Quantidade de Embarque e Desembarque por Sentido e Carregamento para Viagens cujo Embarque foi Estimado com Sucesso, Horário de Pico da Manhã (06h)
Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURM RJ

Na Figura 2 estão plotadas as estações do BRT TransCarioca e algumas estações do BRT TransOeste localizadas na Barra da Tijuca e Recreio dos Bandeirantes, com tamanho proporcional à quantidade de embarques e desembarques que foram realizados nas mesmas. Gráficos de pizza indicam, a proporção de segmentos isolados de viagem ou de transferências de outros modos.

No pico da manhã, os embarques se encontram bem concentrados em poucas estações. As estações com maior quantidade de embarques são aquelas que apresentam maior proporção de transferência modal (Madureira e Penha). Estações com quantidade de embarque intermediário, como Merck/Santa Efigênia e Praça Seca, são em geral o início de viagens, fato que pode estar atrelado tanto a pessoas saindo de suas residências quanto pessoas retornando de atividades laborais noturnas. Os desembarques por sua vez se encontram distribuídos entre diversas estações. As estações da Baixada de Jacarepaguá (Tanque, Taquara, Curicica, Rio II) e aquelas do BRT TransOeste localizadas na Barra da Tijuca e Recreio dos Bandeirantes são em geral estações de desembarque final de viagens. Madureira e Penha, grandes concentradoras de desembarques, se caracterizam por alta proporção de transferência para outros modos. Estações como Via Parque, Vicente de Carvalho e Fundão (localizado na Cidade Universitária) são tanto destinos finais como estações de transferência para outros modos.

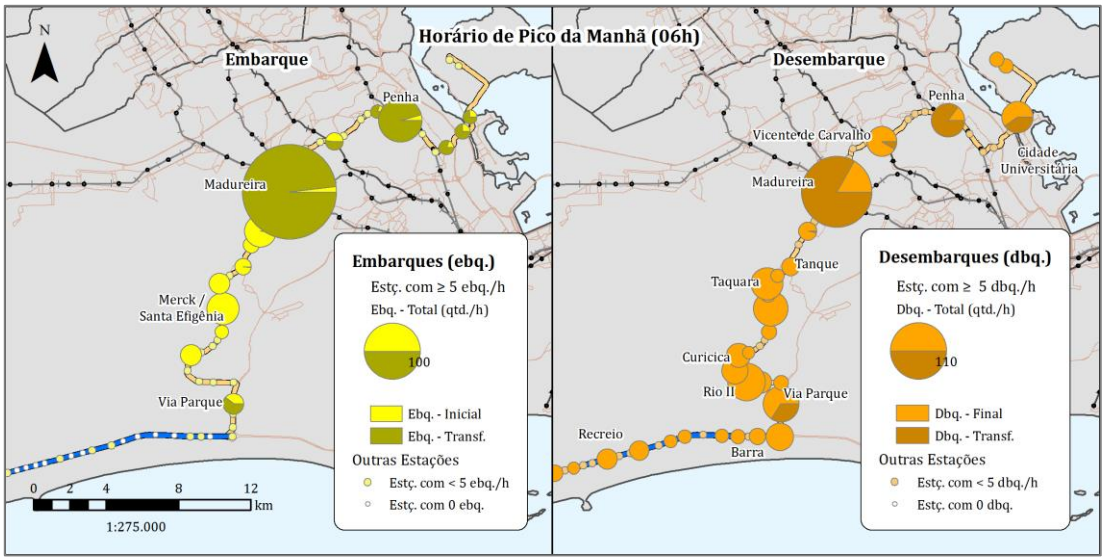


Figura 2. Distribuição Espacial de Transações no Horário de Pico da Manhã (06h)
Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURMRJ

4.6. Limitações

Algumas ressalvas e limitações quanto a esta aplicação existem: (i) foram analisados apenas os dados de passageiros do BRT usuários do BURMRJ que realizaram viagem de âmbito intermunicipal. Há outro universo de viagens, exclusivamente municipais, que não foi analisado nesta pesquisa. Sobre este ponto, é recomendável que o sistema de bilhetagem seja único e abranja todos os benefícios e sistemas no território metropolitano (OLIVEIRA; SILVA; NASSI, 2016); (ii) o sistema de BRT enfrenta uma grande quantidade de evasão tarifária por parte de passageiros que utilizam as portas de vidro das plataformas para acessar o sistema, evitando pagar a tarifa (G1 GLOBO, 2015). Estes usuários permanecem invisíveis para a bilhetagem eletrônica e para as análises aqui estudadas, embora Devillaine *et al.* apontem algumas medidas a serem consideradas nestes casos (2013); (iii) não foi possível efetuar algumas análises, como de carregamento e aderência às viagens programas pela falta de dados sobre a oferta; (iv) no método de estimativa de desembarque, só são considerados parâmetros temporais para a caracterização de transferências. Trabalhos como o de Munizaga e Palma (2012) e Gordon (2012) adotam complementarmente parâmetros espaciais; (v) para serem utilizadas por parte dos agentes operadores e fiscalizadores, os resultados das etapas do algoritmo e suas respectivas taxas de sucesso devem ser validadas por meio de pesquisas de campo, similarmente ao realizado por Munizaga et al. (2014).

5. CONCLUSÕES

Esta pesquisa estruturou uma metodologia baseada exclusivamente em dados de transações de *smartcard* de Sistemas de Bilhetagem Eletrônica para estimar o local de desembarque de viagens em sistemas de transporte público baseado em estações com validadores fixos.

A metodologia concebida foi aplicada no caso do sistema de BRT da cidade do Rio de Janeiro, utilizando-se, para tanto, dados de 20 dias consecutivos do SBE do programa de subsídio tarifário BURMRJ. Os padrões de regularidade e o método de estimativa de desembarque foi testada em mais de 231 mil transações, tendo sido bem-sucedida em 155 mil casos (67%). Os resultados foram analisados do ponto de vista de sua distribuição espacial. A aplicação comprovou o potencial deste tipo de dados em caracterizar a demanda de um sistema de

transporte público e validou numericamente, é maior a taxa de sucesso de estimativa de desembarque para usuários que apresentam regularidade em no mínimo dois pontos do sistema se comparada àquela de usuários esporádicos (84% para aquele grupo contra 62% para este, isto é, uma diferença de 22pp).

Em termos de aplicação, houve contribuição no sentido de melhor compreender os padrões de comportamento da demanda específicos de um sistema de BRT, até o presente momento realizada por apenas um autor (TAO et al., 2014).

A metodologia poderia ser aprofundada em alguns pontos. No caso da análise de regularidade, o conceito de âncora, apesar de relativamente simples, não permite evidenciar as diferenças que existem dentro do grupo de usuários regulares. Para isto, seria possível recorrer por exemplo a um método de clusterização. No método de estimativa de desembarque e detecção de transferências, recomenda-se refinar o parâmetro temporal adotado para considerar o intervalo entre o desembarque estimado em uma transação e o embarque na transação seguinte e incluir parâmetros espaciais complementares.

Enfim, pela grande quantidade de dados gerados de forma contínua e abrangente e o grau de precisão e desagregação dos resultados encontrados, é notável que os SBE têm a capacidade de progredir em uma nova era os sistemas de transporte público, ao transformar sua operação, fiscalização e seu planejamento de pobres em dados a ricos em informações.

Agradecimentos
Os autores gostariam de agradecer à Secretaria de Estado de Transportes do Rio de Janeiro (SETRANS-RJ) pela colaboração e dados fornecidos, Glaydston Ribeiro e Luis Antonio Lindau por revisarem a pesquisa de pós-graduação relacionada a este estudo e o CNPq-MCTI pela bolsa de pesquisa que viabilizou a sua realização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAGCHI, M. (2003). Use of smart card data from bus systems for travel behaviour analysis, and implications for marketing. University of Westminster.

BAGCHI, M., WHITE, P.R. (2005). The potential of public transport smart card data. Transp. Policy 12, 464–474. doi:10.1016/j.tranpol.2005.06.008

BARRY, J., NEWHOUSER, R., RAHBEE, A., SAYEDA, S. (2002). Origin and Destination Estimation in New York City with Automated Fare System Data. Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board 1817, 183–187.

BUNEMAN, K. (1984). Automated and Passenger-Based Transit Performance Measures. Transp. Res. Rec.

CHU, A., CHAPLEAU, R. (2013). Smart Card Validation Data as a Multi-Day Transit Panel Survey to Investigate Individual and Aggregate Variation in Travel Behavior, in: Transport Survey Methods: Best Practice for Decision Making. Emerald Goup Publishing Limited, pp. 649–671.

CUI, A. (2006). Bus Passenger Origin-Destination Matrix Estimation Using Automated Data Collection Systems. Massachusetts Institute of Technology.

DEVILLAINE, F., MUNIZAGA, M., PALMA, C., ZÚÑIGA, M. (2013). Towards a Reliable Origin-Destination Matrix from Massive Amounts of Smart Card and GPS Data: Application to Santiago, in: Transport Survey Methods: Best Practice for Decision Making. Emerald Goup Publishing Limited.

DEVILLAINE, F.G. (2012). Estimación de viajes y actividades en base a sistemas tecnológicos de transporte público. Universidad de Chile.

DUMAS, R.A. (2015). Analyzing Transit Equity Using Automatically Collected Data. Massachusetts Institute of Technology.

FARZIN, J.M. (2008). Constructing an Automated Bus Origin – Destination Matrix Using Farecard and Global Positioning System Data in São Paulo , Brazil. Transp. Res. Rec. 30–37.

G1 Globo (2015). Passageiros andam na pista exclusiva do BRT para não pagar passagem. URL http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2015/08/passageiros-andam-na-pista-exclusiva-do-brt-para-nao-pagar-passagem.html (accessed 10.6.15).

GORDON, J.B. (2012). Intermodal Passenger Flows on London's Public Transport Network. Massachusetts Institute of Technology.

GOULET-LANGLOIS, G. (2015). Exploring Regularity and Structure in Travel Behavior Using Smartcard Data. Massachusetts Institute of Technology.

GUERRA, L., BARBOSA, H.M., KELLI, L. (2014). Estimativa de matriz origem/destino utilizando dados do sistema de bilhetagem eletrônica: proposta metodológica. Transportes 22, p. 26–38.

IBGE (2014). Nota Técnica - Estimativas da População dos Municípios Brasileiros com data de referência em 1o de Julho de 2014.

KUSAKABE, T., ASAKURA, Y. (2014). Behavioural data mining of transit smart card data: A data fusion approach. Transp. Res. Part C Emerg. Technol. 46, 179–191. doi:10.1016/j.trc.2014.05.012

LIANFU, Z., SHUZHI, Z., YONGGANG, Z., ZIYIN, Z. (2007). Study on the method of constructing bus stops OD matrix based on IC card data. 2007 Int. Conf. Wirel. Commun. Netw. Mob. Comput. WiCOM 2007 3142–3145. doi:10.1109/WICOM.2007.780

MA, X., WU, Y.-J., WANG, Y., CHEN, F., LIU, J. (2013). Mining smart card data for transit riders' travel patterns. Transp. Res. Part C Emerg. Technol. 36, 1–12. doi:10.1016/j.trc.2013.07.010

MIHESSEN, V.D. (2013). Mobilidade urbana e liberdades reais - Transporte como política inclusiva, in: ANPET.

MORENCY, C., TRÉPANIER, M., AGARD, B. (2007). Measuring transit use variability with smart-card data. Transp. Policy 14, 193–203. doi:10.1016/j.tranpol.2007.01.001

MUNIZAGA, M., DEVILLAINE, F., NAVARRETE, C., SILVA, D. (2014). Validating travel behavior estimated from smartcard data. Transp. Res. Part C Emerg. Technol. 44, 70–79.

MUNIZAGA, M., PALMA, C. (2012). Estimation of a disaggregate multimodal public transport Origin-Destination matrix from passive smartcard data from Santiago, Chile. Transp. Res. Part C Emerg. Technol. 24, 9–18. doi:10.1016/j.trc.2012.01.007

NERI, M.C. (2010). Impactos Sociais do Bilhete Único Intermunicipal no Grande Rio. Rio de Janeiro.

OLIVEIRA, G.T. DE, NASSI, C.D. (2016). Estimación de Matriz Origen-Destino a Partir de Datos de Tarjetas Inteligentes: uns Revisión Bibliográfica. Rev. Ing. Transp.

OLIVEIRA, G.T. DE, SILVA, A.J. DE O. DA, NASSI, C.D., (2016). Detecção de padrões de mobilidade urbana em dia atípico a partir de sistema de bilhetagem eletrônica: análise das viagens na RMRJ durante o carnaval. J. Transp. Lit. 10, 20–24. doi:http://dx.doi.org/10.1590/2238-1031.jtl.v10n4a4

ORTEGA-TONG, M.A. (2013). Classification of London's Public Transport Users Using Smart Card Data. Massachusetts Institute of Technology.

PELLETIER, M.-P., TRÉPANIER, M., MORENCY, C. (2011). Smart card data use in public transit: A literature review. Transp. Res. Part C Emerg. Technol. 19, 557–568. doi:10.1016/j.trc.2010.12.003

SETRANS-RJ (2011). PDTU-RMRJ - Plano Diretor de Transporte Urbano da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. URL www.rj.gov.br/web/setrans/ (accessed 11.9.13).

TAO, S., CORCORAN, J., MATEO-BABIANO, I., ROHDE, D. (2014). Exploring Bus Rapid Transit passenger travel behaviour using big data. Appl. Geogr. 53, 90–104.

TRÉPANIER, M., TRANCHANT, N., CHAPLEAU, R. (2007). Individual Trip Destination Estimation in a Transit Smart Card Automated Fare Collection System. J. Intell. Transp. Syst. Technol. Planning, Oper. 11, 1–14. doi:10.1080/15472450601122256

WANG, W., ATTANUCCI, J.P., WILSON, N.H.M. (2011). Bus Passenger Origin-Destination Estimation and Related Analyses Using Automated Data Collection Systems. J. Public Transp. 14, 131–150.

ZHAO, J., (2004). The Planning and Analysis Implications of Automated Data Collection Systems : Rail Transit OD Matrix Inference and Path Choice Modeling Examples. Massachusetts Institute of Technology.

ZHAO, J., RAHBEE, A., WILSON, N.H.M. (2007). Estimating a rail passenger trip origin-destination matrix using automatic data collection systems. Comput. Civ. Infrastruct. Eng. 22, 376–387.

ZHONG, C., MANLEY, E., MÜLLER ARISONA, S., BATTY, M., SCHMITT, G. (2015). Measuring variability of mobility patterns from multiday smart-card data. J. Comput. Sci. 9, 125–130.

ESTRATÉGIAS DE INCENTIVO AO TRANSPORTE PÚBLICO EM VIAGENS A UNIVERSIDADES: O CASO DA UFERSA-MOSSORÓ/RN

Marinara Andrade do Nascimento
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Victor Hugo Gomes Albino
Universidade Federal do Rio de Janeiro

RESUMO
A crescente busca por meios de transportes sustentáveis tem se tornado foco de discussão nas Universidades, que se destacam por atraírem uma grande demanda de viagens. Este estudo propõe, através de um modelo para avaliação da Qualidade de Serviço por parte dos usuários, identificar os padrões de viagens, os potenciais usuários e as limitações que afetam as decisões de viagens em um estudo de caso proposto para a UFERSA - Campus Mossoró. Os resultados mostraram que os usuários do sistema, em geral, avaliam o Transporte Público, por ônibus, para a UFERSA como ruim ou péssimo. Os atributos Confiabilidade, Segurança e Acessibilidade do sistema destacaram-se por caracterizar importância para os usuários, ao mesmo tempo em que apresentaram piores avaliações. Estratégias como a melhoria no acesso ao sistema, na segurança pública, e no controle de horários foram sugeridas, para melhoria na Qualidade de Serviço dos ônibus, possibilitando, um maior incentivo ao uso destes.

ABSTRACT
The growing search for sustainable transportation modes has become discussion focus at cities and Universities as well, which have stand out for attracting a great travel demand. This study aims, through a model to evaluate the Quality of Service by the users, to identify trip patterns, potential users and limitations that affect public transportation travel decisions in a case study proposed for the UFERSA - Campus Mossoró. The results shows system users evaluate the public transportation service by bus to UFERSA as poor quality. The systems attributes Reliability, Security and Accessibility stood out for being important for the users, at the same time that presented worse evaluations. Strategies such as improving access to the system, public safety, and scheduling were suggested to improve the buses Quality of Service, allowing a greater incentive to their use.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento acentuado da maioria das cidades brasileiras, em virtude do desenvolvimento urbano, gerou inúmeros benefícios para os cidadãos, como maior acesso a trabalho, tecnologias e educação, por exemplo. Porém, as cidades vêm crescendo de forma desordenada, sem infraestrutura adequada para suportar o crescente volume do trânsito, dificultando o planejamento nos transportes públicos urbanos realizados por ônibus (Parra, 2006; Reis, 2011).

O Transporte Público (TP) por ônibus, por sua vez, desempenha um importante papel no espaço urbano. Dentre as vantagens que o TP pode oferecer à sociedade, pode-se citar a sustentabilidade, economia e, sobretudo, o fato de ser acessível e promover grandes deslocamentos que não seriam adequados através de outros modos que não o transporte individual motorizado (Nakamori *et al.*, 2015). Nesse contexto, as Universidades vêm desempenhando papel fundamental na dinâmica dos transportes, uma vez que essas, além de proporcionarem um aumento populacional em seu entorno, funcionam como Polos Geradores de Viagens (PGV), tendo forte influência na demanda por viagens nas regiões em que se encontram.

Com a constante evolução da Universidade Federal Rural do Semi-Árido-UFERSA e crescimento de sua comunidade acadêmica, surge a necessidade de uma mobilidade cada vez mais sustentável e acessível a seus usuários. Junto a isso, no intuito de solucionar as questões da demanda por

transportes na cidade e proporcionar melhoria na qualidade do serviço oferecido de modo a atrair mais usuários, inicia-se a busca por estratégias de incentivo ao uso do TP. Este estudo pretende analisar as necessidades da comunidade universitária da UFERSA-Campus Mossoró, buscando alternativas para elaboração de estratégias que estimulem a utilização do TP no atual cenário do campus.

2. MOBILIDADE EM UNIVERSIDADES

Conforme Nara *et al.* (2016), devido a rápida expansão dos centros urbanos e ao aumento do número de habitantes, a mobilidade hoje em uma cidade relaciona-se totalmente com a qualidade de vida de seus moradores. De forma similar, os campi universitários podem funcionar como uma microcidade, de acordo com as suas dimensões, e gerar grandes fluxos de viagens que podem ter significativas consequências no funcionamento do sistema de transportes do espaço urbano em que estão inseridos, e na qualidade de vida de sua comunidade acadêmica (Portugal, 2012; Meireles, 2014).

Esses problemas geralmente estão associados a um maior uso dos automóveis, frente a outras modalidades mais sustentáveis. O modelo de planejamento urbano focado no transporte individual motorizado, praticado há décadas na maioria dos países, tem se tornado saturado, tornando os congestionamentos inevitáveis devido ao crescente número de automóveis, aumentando também o número de acidentes, a poluição, o tempo perdido nos trajetos e o estresse, impactando negativamente na vida das pessoas (Nakamori *et al.*, 2015). Incentivos ao uso dos automóveis em viagens de acesso às Universidades, como estacionamento gratuito e acesso mais facilitado às salas de aulas, junto com a localização do campus e acessibilidade da rede viária, podem justificar a maior utilização do modo em determinadas Universidades, devendo se buscar alternativas que minimizem possíveis impactos na rede viária das cidades (Nara *et al.*, 2016).

Em relação a esses problemas, Sousa *et al.* (2009) destacam o surgimento de impactos nas vias do entorno de um PGV. Esses impactos podem ser negativos (congestionamentos, atrasos, aumento da poluição atmosférica) ou positivos (urbanização, valorização da região), mas em todo caso é necessário estudá-los com o intuito de diminuir os impactos negativos e maximizar os positivos. Da mesma forma, Goldner *et al.* (2012) discutem acerca dos impactos causados no sistema viário, que interferem diretamente na vida da população da vizinhança. Assim como outras pesquisas, o seu estudo de caso, mostra que o automóvel é o principal meio de transporte utilizado pela comunidade universitária, visto ainda em Nunes e Jacques (2005) e Pires (2013).

Ainda, diz-se que a responsabilidade social das Universidades é educar e formar cidadãos através do ensino e pesquisa. Nakamori *et al.* (2015) acreditam que por ser o berço de pesquisas socialmente responsáveis, as Universidades devem, através de pesquisas, buscar soluções para problemas da atualidade que ainda carecem de soluções sustentáveis, como é o caso da mobilidade urbana.

Considerando tais aspectos, as Universidades e toda sua comunidade carecem de uma mobilidade que garanta um meio mais inclusivo e favorável a todos que sofrem interferência dessas. Nesse sentido, o gerenciamento da mobilidade surge para aperfeiçoar os sistemas de mobilidade e certificar uma adequada gestão, beneficiando a todos e, especialmente, aos mais interessados.

Por essa razão, é cada vez mais necessário preocupar-se em garantir essa mobilidade de forma segura, eficiente, com acessibilidade universal e sustentável para todos. Nesse sentido, o conceito de Gerenciamento de Mobilidade (GM) é abordado por diversos autores, com a intenção de prover de forma elaborada soluções capazes de transformar o sistema de transportes no que diz respeito a rede viária e aos usuários e suas considerações. Ferreira e Balassiano (2012) ilustram o Gerenciamento da Mobilidade através de exemplos como compartilhamento de veículos, incentivo aos deslocamentos a pé ou por bicicleta, incentivo ao TP, melhoria de áreas urbanas, restrição de acesso dos carros a determinadas áreas, restrição de estacionamento, sistema de rodízio, mudança no hábito de viagens, dentre outras.

O estudo do GM, bem como suas aplicações nas Universidades, torna-se imprescindível para amparar as necessidades que estão surgindo recentemente. O planejamento, cada vez mais buscado e estudado, tende a trazer recursos para resolver ou minimizar de alguma forma os problemas supracitados. O objetivo desse planejamento é buscar um sistema de transportes cada vez mais justo e eficaz, a fim de facilitar a vida da comunidade em geral.

3. QUALIDADE DE SERVIÇO

Quando se trata do serviço do transporte público, um fator diretamente ligado à sua utilização é a qualidade oferecida pelo sistema ao usuário. O conceito de Qualidade do Serviço (QS) pode ser visto como uma medida do quanto é bom o nível do serviço entregue (Reis, 2011). Para entregar um serviço de qualidade é preciso compreender as expectativas do cliente. Para isso, é indispensável definir os atributos do serviço de modo a direcionar os usuários a avaliar de maneira simplificada e precisa a QS dos modos de transporte.

Existem diversos atributos para expressar a operação de um sistema. No entanto, de acordo com as características e particularidades de cada modalidade, a relevância de alguns atributos pode variar, assumindo uma natureza e importância diferente na determinação da QS. Na literatura os atributos estudados por diversos autores incluem: Acessibilidade, Conforto, Confiabilidade, Conveniência, Rapidez, Segurança, Privacidade, Oportunidade, Tempo, Custo, Modicidade, Relacionamento, Desempenho, Impacto Ambiental, Tratamento e Informação, Lotação, Características de Veículos, Higienização (Cardoso, 2006; Silva e Ponte, 2015).

Acessibilidade, Conforto, Confiabilidade, Conveniência, Rapidez, Segurança são considerados tradicionais por fazerem parte da literatura de maneira constante. A Acessibilidade está relacionada com o grau de facilidade para realizar um deslocamento. O Conforto é considerado muito subjetivo, sendo de difícil mensuração por estar ligado ao bem-estar pessoal. A Confiabilidade está relacionada à capacidade do sistema em realizar e manter seu funcionamento rotineiramente. Por outro lado, a Conveniência está diretamente ligada ao interesse do usuário perante as características do serviço. O atributo Rapidez pode ser entendido também como o Tempo de Deslocamento, incluindo os tempos de espera. Por fim, o atributo Segurança diz respeito à integridade do usuário, tanto em relação à segurança de tráfego, como a segurança pessoal (Cardoso, 2006; Neves, 2014). Em relação ao TP, estudar os atributos relacionados é o primeiro passo para entender as necessidades dos usuários. No estudo de caso realizado por Lanzoni *et al.* (2011), foi concluído que o sistema de transportes poderia tornar-se mais eficaz com o aumento da frota dos ônibus, o serviço de informações e a priorização de um serviço de qualidade para deficientes. Essas

informações, no entanto, só são possíveis de serem concluídas a partir da avaliação dos usuários sobre os atributos. Santos, P. (2010), por sua vez, pesquisou os atributos dos sistemas de TP que trariam maior satisfação aos potenciais clientes, avaliando o tempo de espera na parada, estética das paradas, custo da tarifa, estética dos veículos, conforto dos veículos e tempo total da vigem.

Para uma avaliação mais subjetiva de melhoria na qualidade do serviço é preciso avaliar ainda as variáveis presentes nos atributos que influenciam a opinião dos usuários. Existem diversas variáveis que tendem a definir os aspectos positivos ou negativos referentes à qualidade do TP.

Diante desse contexto, avaliar as variáveis dos atributos pode impactar na satisfação dos usuários do TP, à medida que o desenvolvimento da melhoria da QS trabalha intimamente as relações que interessam os usuários e direciona os prestadores do serviço a focar nas variáveis que influenciam a QS. Baseando-se na literatura considerada, este trabalho irá analisar os seguintes atributos para o estudo de caso: Acessibilidade, Confiabilidade, Conforto, Conveniência, Segurança e Tempo de Deslocamento. A tabela 1 ilustra os atributos definidos para o estudo e as variáveis trabalhadas.

Tabela 1: Atributos considerados no estudo e definição de suas variáveis

Acessibilidade	*Confiabilidade*	*Conforto*	*Conveniência*	*Segurança*	*Tempo de deslocamento*
- Distância das paradas de ônibus - Frequência de ônibus - Alcance das rotas	- Pontualidade nos horários - Regularidade na frequência das linhas	- Climatização - Lotação - Disponibilidade de assentos	- Horários dos ônibus - Sistema de cobrança - Necessidade de fazer integração	- Riscos de acidentes de trânsito - Riscos de Assaltos	- Velocidade dos ônibus - Tempo de transferências - Tempos de espera

4. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

A metodologia proposta baseia-se na literatura existente e na utilização de um questionário que visa coletar informações que determinem a realidade enfrentada pelos usuários de TP e definam quem são os potenciais usuários do sistema e suas respectivas necessidades. Nesse estudo, o questionário foi aplicado uma única vez, contudo foi feita uma seleção de perguntas que objetivassem entender da melhor maneira possível as necessidades dos usuários e quais contribuições seriam favoráveis a estes. A análise foi feita baseada principalmente na literatura existente, visando estabelecer comparações que permitissem aferir conclusões coerentes.

Baseado no trabalho proposto por Albino e Portugal (2016), este trabalho foi ajustado para a modalidade Transporte Público, e simplificado com a aplicação de apenas um questionário *online*, capaz de definir as características das viagens dos usuários da Universidade e analisar a avaliação do serviço oferecido para o modo TP, de acordo com a percepção da comunidade acadêmica a partir do conceito da Qualidade de Serviço.

O módulo I busca, a partir da aplicação de um questionário que contemple a análise da Origem-Destino (OD), caracterizar o PGV e seus usuários, além de conhecer a distribuição das viagens. O módulo II permite a análise da modalidade TP à luz do conceito da Qualidade de Serviço, através da opinião de quem utiliza ou está disposto a utilizar o serviço. A partir disto, é possível concluir quais são os atributos mais críticos do sistema e avaliar os potenciais usuários, qualificando

estratégias mais assertivas para o grupo de usuários. O módulo III, por fim, apresenta soluções estratégicas derivadas da percepção do usuário, avaliado segundo o questionário aplicado e literatura existente. A figura 1 ilustra o procedimento adotado para este trabalho.

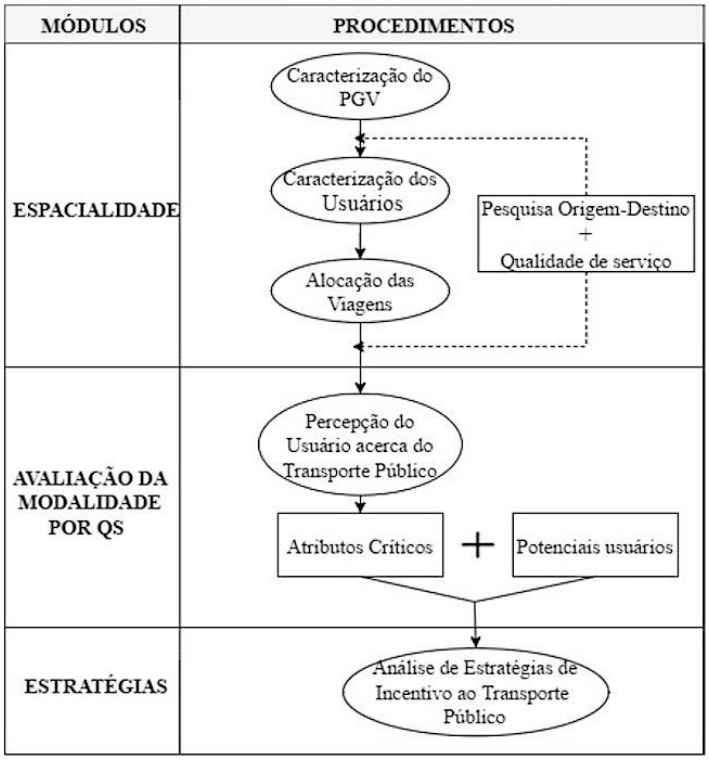


Figura 1: Fluxograma da Metodologia

5. ESTUDO DE CASO: UFERSA – CAMPUS: MOSSORÓ

5.1.Módulo I – Espacialidade

5.1.1. Caracterização do PGV

A cidade de Mossoró situa-se no Estado do Rio Grande do Norte, com uma população estimada em 291.937 pessoas (IBGE, 2016). O campus UFERSA-Mossoró agrega 6100 alunos de graduação, e cerca de 776 alunos de pós-graduação no campus em seus mais variados cursos. Além disso, o campus contém 829 servidores, dos quais 417 fazem parte do corpo docente do campus e 412 são servidores técnicos, de acordo com informações fornecidas por funcionários do Campus. A população acadêmica, portanto, foi de 7705 pessoas. O cálculo das amostras foi feito a partir de uma calculadora *online*, fornecida por Santos, G. (2017), o questionário foi formulado a partir do *Google Forms*, e enviado por meio da Pró Reitoria de Graduação (PROGRAD) a toda a população através de e-mail. Com isso, foi obtido um total de 666 respostas, com um erro de 3,63% e nível de confiança 95%. A aplicação do questionário foi iniciada no dia 26 de março de 2017.

5.1.2. Caracterização dos Usuários

Caracterizar os usuários é importante para compreender os fatores que podem interferir na mobilidade das pessoas. Nesse estudo os usuários foram caracterizados de acordo com Gênero, Renda, Função e Idade. Com relação ao Gênero, a amostra coletada neste estudo foi bem

balanceada (tabela 2). A análise da renda é importante, pois é comum acreditar que as pessoas com maior Renda, normalmente, esperam mais conforto. Os aspectos dessa análise revelam que a Renda está bem distribuída, não havendo variação marcante entre as faixas de valor estipulado, a não ser pelas pessoas que não possuíam Renda, representadas possivelmente por estudantes que moram sozinhos e dependem dos pais. As atividades desenvolvidas pelas pessoas representaram bem o universo, já que a maior parte da Universidade (79%) é composta por estudantes. O fator Idade, por sua vez, foi analisado por apresentar impacto direto na mobilidade, visto que a idade pode interferir na disposição dos indivíduos. Mais que metade da amostra estava na faixa entre 18 e 25 anos, o que já era de se esperar, já que os alunos são maioria, e geralmente, são pessoas mais jovens.

Tabela 2: Caracterização dos usuários

Gênero		Renda (salários mínimos)		Função		Idade	
Feminino	45%	Não possui Renda	1%	Aluno	79%	18 a 25 anos	57%
Masculino	55%	1,1	18%	Professor	12%	26 a 35 anos	27%
		1,1 a 2,1	22%	Servidor	8%	36 a 45 anos	10%
		2,1 a 3,2	16%			46 a 55 anos	4%
		3,2 a 5,3	15%			Mais de 55 anos	1%
		5,3 a 10,7	19%				
		Mais de 10	9%				

5.1.3. Caracterização das viagens

Caracterizar as viagens dos usuários ao campus é fundamental. Saber de onde vêm as pessoas que têm acesso ao campus, os horários onde se concentram o maior número de pessoas se deslocando pode auxiliar a analisar a demanda e a compatibilidade com a oferta. Através da distribuição modal dos usuários pode-se identificar os modos que devem ser analisados nas estratégias de mobilidade.

Com relação a origem dos usuários, as perguntas foram colocadas em diferentes categorias. Aproximadamente 87% da amostra foi representada por pessoas de Mossoró, o restante se dividiu nas cidades circunvizinhas. Para os bairros, a figura 2 ilustra um mapa de densidade das pessoas vindo de cada bairro. Essa análise contribui para a elaboração de estratégias, pois representa os bairros com mais número de pessoas com viagens à UFERSA, onde, o aumento de linhas de ônibus, por exemplo, poderia ser conveniente para o uso da modalidade por parte dos usuários do sistema.

Além disso, foi pesquisado a respeito do lugar de origem dos entrevistados. Essa informação é importante pois quando o usuário passa por mais de um lugar durante seu trajeto, ele está menos propenso a utilizar o ônibus. Neste caso, 93% dos usuários saem da própria residência para ir à UFERSA. Esta representatividade pode ser um fator positivo para a formulação de estratégias para o incentivo ao ônibus, já que para viagens menos flexíveis, como casa-trabalho, a modalidade pode ter um custo-benefício competitivo com outros modos de transporte, como o automóvel.

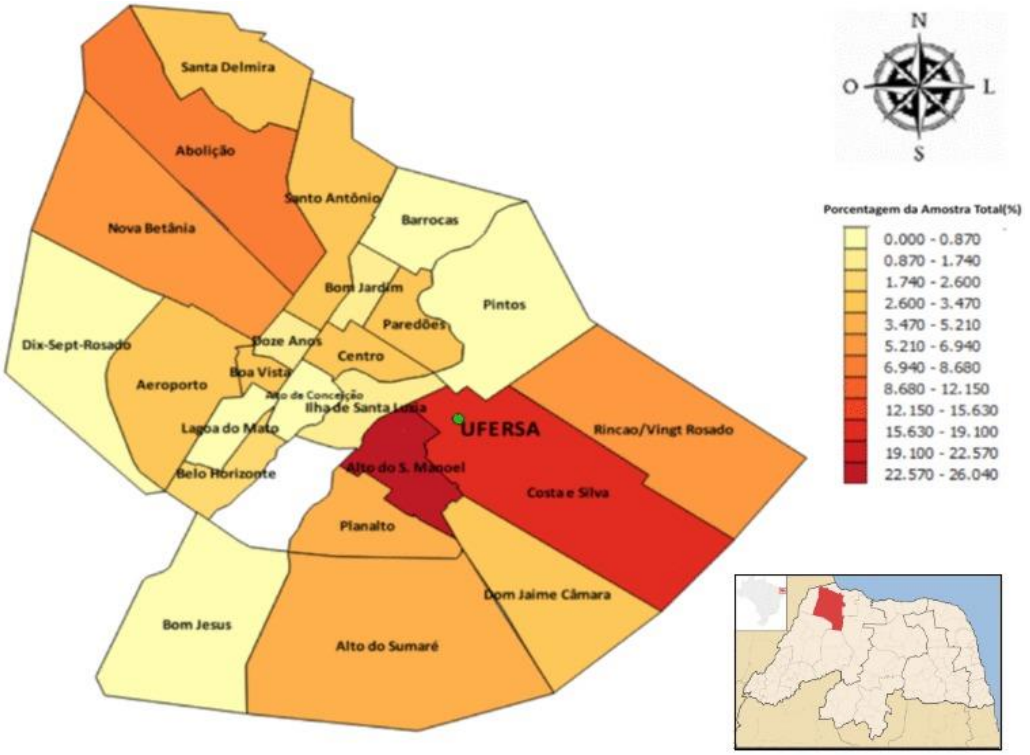


Figura 2: Mapa de densidade em relação ao bairro de origem das viagens

Quanto a escolha modal dos entrevistados, a modalidade que obteve maior percentual foi o automóvel (37%), como ilustra a Tabela 3, onde a porcentagem representada por Outros (10%) refere-se a táxi, moto-táxi, van e ônibus fretado. A baixa porcentagem representada por ônibus (13%) confirma a necessidade de se investir em políticas de incentivo ao uso desta modalidade, para garantir uma acessibilidade mais ampla à instituição e contribuir com uma mobilidade mais justa e sustentável.

Tabela 3 – Divisão Modal

Principal modo de transporte utilizado						
Automóvel	*Motocicleta*	*Carona*	*Caminhada*	*Bicicleta*	*Ônibus*	*Outros*
37%	17%	4%	15%	4%	13%	10%
TMI = 58%			TNM = 19%		TC = 23%	

TMI = Transporte Motorizado Individual | TNM = Transporte Não Motorizado | TC = Transporte Coletivo

De modo complementar, foram perguntados os horários de chegada e saída dos entrevistados. O horário entre 07:00h e 08:00h da manhã foi o mais respondido para as chegadas, e entre 16:00h e 18:00h ocorrem o maior número de saídas, sendo uma importante informação para provimento de linhas de TP.

5.2. Módulo II – Avaliação da Modalidade por QS

A pesquisa procurou identificar os usuários e os não usuários da modalidade ônibus para comparar e compreender as necessidades de cada grupo. Dentre as respostas encontradas, 17% (116 pessoas) das pessoas afirmou usar o TP, enquanto que o restante 83% (550 pessoas) confirmou o contrário.

Para conhecer as viagens dos usuários de TP foram feitas perguntas relacionadas ao tempo de viagem, atraso dos ônibus, e ao tempo de espera nas paradas. Como esperado, identificou-se um maior tempo de viagem, de maneira geral, para quem utiliza o TP, em relação a outras modalidades.

5.2.1. Percepção dos Usuários Acerca do Modo Transporte Público

O gráfico a seguir representa as médias ponderadas das notas de satisfação com o serviço oferecido, conferidas para cada atributo, tanto para usuários de ônibus quanto para os não usuários. É importante avaliar a opinião dos dois grupos pois os usuários do TP podem relatar os maiores problemas enfrentados diariamente, e os não usuários podem descrever as principais causas para não utilização do TP. Desta forma, as pessoas que utilizam o TP foram questionadas de modo a descrever a qualidade do serviço recebido e as que não utilizam fizeram uma análise mais subjetiva de acordo com suas opiniões e expectativas.

O questionário continha uma breve descrição dos atributos, a fim de auxiliar sua compreensão, para uma melhor avaliação. As notas foram distribuídas de 1 a 5 (figura 3), onde 1 representava um serviço péssimo e 5 um serviço excelente, de acordo com a escala de Likert (1932) de 5 níveis. Também, foi dada a opção "NS" para quem não soubesse responder, para minimizar as incertezas e tornar os dados menos imprecisos. Os usuários de TP pouco responderam NS, porém, os não usuários representaram uma média de aproximadamente 25% de respostas "NS".

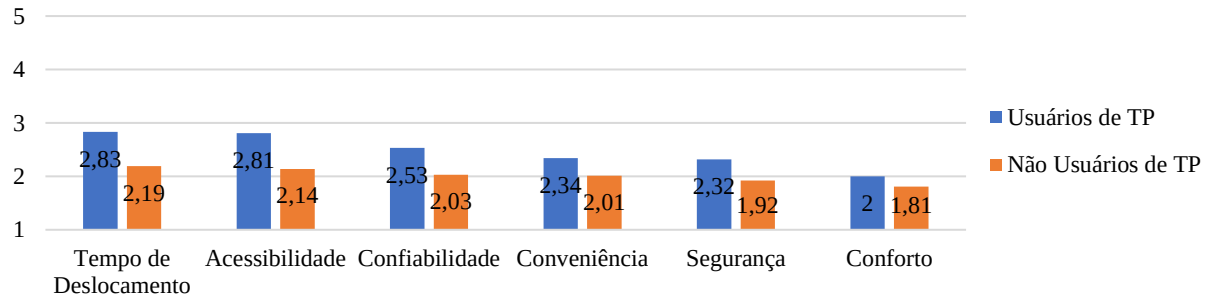


Figura 3: Média das notas atribuídas aos atributos

Para os usuários de TP, a média ponderada para todos os atributos ficou estabelecida em valores menores que 3, refletindo que a maioria das pessoas consideram o serviço oferecido pelo TP como regular ou péssimo. Os não usuários do TP tenderam a avaliar a satisfação com os atributos para a modalidade de forma mais rigorosa, demonstrando a importância em individualizar os dois grupos. A divergência de opiniões pode estar associada ao fato de que os não usuários de TP defendem o uso do transporte individual, ou mesmo por eles compreenderem melhor as possíveis barreiras que enfrentam para o seu uso.

Os usuários ainda puderam escolher o atributo que mais influencia no uso do TP, indicando a ordem de importância para os atributos, como mostra a figura 4. A Confiabilidade se mostrou como atributo mais importante para utilização do serviço, seguido pela Acessibilidade e Segurança. Tempo de Deslocamento, Conveniência e Conforto foram os menos escolhidos pelo público questionado. O resultado obtido favorece a elaboração de estratégias, pois confirma que os dois grupos expõem opiniões similares e que as mudanças podem atingir a ambos (figura 4).

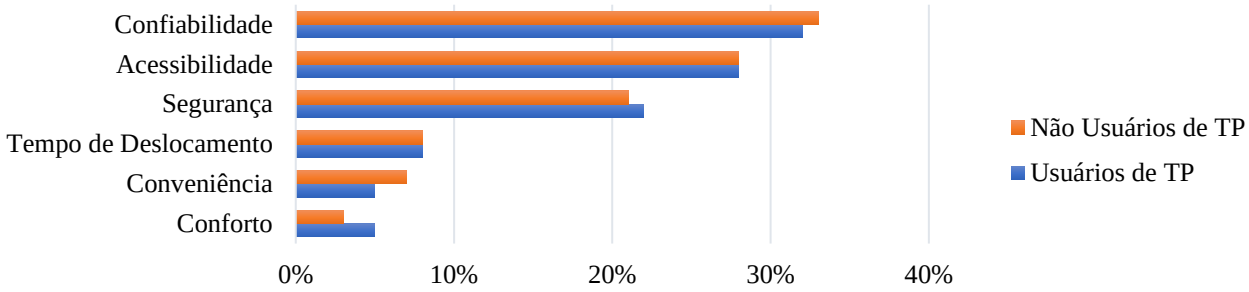


Figura 4: Importância dos Atributos

5.2.2. Atributos Críticos e Potenciais Usuários

Os atributos críticos correspondem a convergência entre aqueles piores avaliados e os analisados como mais importantes. Assim sendo, os atributos críticos deste estudo são Segurança, Confiabilidade e Acessibilidade pois, além de representarem maior importância para os usuários, obtiveram avaliação insuficiente em comparação com os outros atributos.

Para quem não utiliza o TP, foi questionado se em condições favoráveis haveria a possibilidade de utilizar o serviço. A maioria das pessoas afirmaram que sim (59%), ou talvez (27%), o que comprova que a melhoria da QS dos ônibus poderia ser um dos fatores que contribuiria para o aumento da quantidade de usuários do sistema. Os potenciais usuários representam uma parcela fundamental neste estudo, pois são eles os principais agentes que podem propiciar um aumento na quantidade de usuários de TP, beneficiando a mobilidade no campus da UFERSA.

5.3. Módulo III – Estratégias

A qualidade do serviço prestado é um dos fatores que mais influenciam na escolha entre os tipos de modalidade de transporte a serem utilizados. O estudo aqui proposto examinou as características do TP com o intuito de definir quais eram os atributos mais críticos do sistema. Sabendo que 86% (473 pessoas) dos que responderam ao questionário consideraram a mudança modal como uma alternativa, existe a necessidade da elaboração de estratégias que visem a melhoria da mobilidade em relação ao TP para o campus em estudo, especialmente em torno dos atributos críticos, que neste caso foram Confiabilidade, Segurança e Acessibilidade.

A Confiabilidade envolve essencialmente a confiança em relação ao sistema. Quando não existe, ou quando existe de forma imprevisível, afasta os usuários ou potenciais usuários a medida que gera atrasos no seu dia a dia. Para que haja Confiabilidade, é necessário, antes de tudo, que haja um sistema de informações que permita os usuários terem acesso aos horários de ônibus de maneira coerente e precisa, possibilitando a comparação correta entre outros modos. A Confiabilidade também depende das prestadoras de serviço, pois os horários devem ser respeitados pelos motoristas dos ônibus, devendo haver, desta forma, um controle mais rigoroso. Outro ponto que influencia é o tráfego local, pois o atraso muitas vezes se deve a congestionamentos, especialmente em horários de pico. O controle da velocidade dos ônibus, feito de maneira segura, poderia auxiliar neste contexto, permitindo que o Tempo de Deslocamento não variasse significativamente. O aumento da quantidade de pessoas utilizando o ônibus por si só também já beneficiaria este atributo, pois diminuiria a quantidade de transportes individuais, melhorando o fluxo do tráfego.

Por outro lado, a segurança pública exige mudanças por parte das repartições públicas, tornando-se uma medida mais difícil de ser alcançada. Além disso, a segurança oferecida muitas vezes não coincide com a segurança percebida. A melhora na Confiabilidade do sistema, poderia melhorar também a Segurança, visto que permite que o usuário vá ao ponto de ônibus no horário programado, ficando menos tempo exposto. O aumento de frequência de ônibus também possibilita menos exposição do usuário no ponto. A instalação de câmeras dentro dos ônibus seria outro ponto que promoveria o aumento da segurança do sistema, pois diminuiria o risco de assaltos nos ônibus. Em relação a segurança contra risco de acidentes, é de total responsabilidade da empresa, garantir a segurança aos usuários. Orientar os motoristas, portanto, é imprescindível para um desempenho satisfatório do serviço. O acesso a uma pesquisa de satisfação em relação ao comportamento do motorista poderia motivar os usuários a se sentirem mais seguros, desde que fossem feitas medidas de intervenções para propiciar segurança de acordo com as respostas obtidas.

Por fim, a Acessibilidade corresponde a avaliação referente ao acesso ao sistema. É um dos principais atributos, pois o acesso dificultado muitas vezes impede potenciais usuários de utilizarem o modo TP. Melhorar a distribuição das paradas de ônibus é um dos principais pontos estratégicos. O acesso ao sistema também depende da frequência dos ônibus, sendo este, novamente, um ponto a ser considerado. As respostas obtidas referentes ao horário de chegada e partida dos usuários ao campus, pode contribuir para estabelecer os horários que demandam maior frequência de linhas. Além disso, a Acessibilidade condiz respeito à forma de acesso a mobilidade reduzida. Nos ônibus da cidade, a forma de acesso para cadeirante é precária, sendo este outro ponto importantíssimo que deveria ser tratado.

A tabela 4 ilustra, em linhas gerais, a avaliação dos usuários e as principais estratégias possíveis de melhorar a QS dos ônibus da cidade de Mossoró, para incentivo do uso do TP, principalmente para a comunidade da UFERSA.

Tabela 4 – Resumo das Estratégias

Atributos do Estudo	*Avaliação Geral*	*Importância (média)*	*Principais Estratégias*
Confiabilidade	Péssimo à ruim	33%	▪ Acesso à informação ▪ Controle de Horários
Acessibilidade	Péssimo	28%	▪ Melhorar a distribuição de paradas e frequência de ônibus ▪ Melhorar acesso (PMR)
Segurança	Ruim	21%	▪ Melhorar a segurança pública ▪ Iluminação adequada nos pontos de ônibus
Tempo de Deslocamento	Ruim	8%	▪ Aumentar a quantidade de linhas, para melhorar os trajetos ▪ Aumentar a frequência das linhas
Conveniência	Ruim	6%	▪ Aumentar linhas de ônibus nos bairros com mais viagens à UFERSA ▪ Cartão de embarque possibilitado a não estudantes
Conforto	Péssimo	4%	▪ Refrigeração nos ônibus ▪ Aumentar a frequência das linhas, para diminuir lotações

6. CONCLUSÕES

As Universidades são, atualmente, um dos grandes enfoques a serem discutidos, quando o assunto é mobilidade. Por configurarem-se como PGVs, recebem diferentes tipos de viagens a todo momento, especialmente de automóveis, contribuindo para uma mobilidade cada vez menos sustentável. Este trabalho objetivou definir os atributos importantes segundo à perspectiva dos atuais e dos potenciais usuários para definição de estratégias que possibilitem a melhoria na mobilidade do Campus UFERSA-Mossoró através do transporte público coletivo por ônibus.

Os atributos analisados foram Acessibilidade, Confiabilidade, Conforto, Conveniência, Segurança e Tempo de Deslocamento. Através da aplicação de questionário, foi possível analisar as respostas conferidas pelos participantes da pesquisa e identificar os atributos críticos do sistema. Sendo neste caso Confiabilidade, Segurança e Acessibilidade, onde foram propostas estratégias de melhoria que pudessem permitir o incentivo ao uso do TP.

Os atributos, de maneira geral, obtiveram notas entre ruins e regulares, não sendo possível alcançar nenhum serviço com qualidade boa ou superior. Isto pode significar uma resistência de mudança de modalidade por parte dos usuários do transporte individual, caso não sejam consideradas melhorias nesses principais atributos. Assim, é recomendável que as necessidades do sistema sejam identificadas através das avaliações dos entrevistados (usuários acadêmicos), e que a busca por uma mobilidade sustentável parta dos problemas apontados.

As principais estratégias auxiliares para melhorar a mobilidade no campus podem ser derivadas daquelas já conhecidas na literatura: através de campanhas de conscientização do uso de modos alternativos, incluindo o TP; intervenção dos gestores do campus para diminuir o uso de transporte individual; implantação de circular dentro do campus para facilitar a acessibilidade; melhoria na infraestrutura para o TP local; e aumento das linhas e da frota de ônibus.

Por fim, o procedimento proposto para a avaliação da QS por parte dos usuários foi o principal ponto de apoio às análises, permitindo o melhor entendimento da dinâmica de TP para o campus e o desenvolvimento de estratégias que, se aplicadas, podem contribuir para melhorar sua mobilidade. A partir do exposto, espera-se que as estratégias aqui lançadas permitam desenvolver um gerenciamento de mobilidade adequado para a universidade por parte de seus decisores, devendo-se atentar para o controle do desempenho ao longo do tempo através de um sistema que confirme as conclusões estabelecidas neste trabalho. Recomenda-se para trabalhos futuros que o desenvolvimento e aplicação do questionário sejam realizados de maneira aderente à localidade, de forma a captar com mais precisão as necessidades e expectativas dos entrevistados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albino, V. H. G., e Portugal, L. S. (2016) *Procedimento Metodológico Para a Formulação de Estratégias de Incentivo ao Uso da Bicicleta em Universidades*. XXX ANPET - Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, Rio de Janeiro.

Cardoso, B. C. (2006) *Qualidade de Serviços no Setor de Transportes sob a Ótica da Teoria dos Topoï*. Dissertação - Mestrado em Engenharia - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Ferreira, A. F., e Balassiano, R. (2012) *Gerenciamento da Mobilidade em Pólos Geradores de Tráfego: o caso das Instituições de Ensino*. XXVI ANPET - Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes- Joinville/SC.

Goldner L.G.; Beppler. F.; Prim, J. (2012) *Análise da Mobilidade em um Campus Universitário*. In: PLURIS. Disponível em:<http://redpgv.coppe.ufrj.br/index.php/es/produccion/articuloscientificos/2012-1/712- analise-da-mobilidade-campus-universitario-pluris-2012/file. Acesso em: fevereiro de 2017.

IBGE. (2016) *População estimada 2016*. Disponível em: www.cidades.ibge.gov.br [23/05/2017]

Lanzoni, C. O., Scariot, C.A., Spinillo, C.G. (2011) *Sistema de Informação aos usuários do TP: Algumas Considerações sobre Demanda de Informação dos Usuários em Pontos de Parada de Ônibus*. InfoDesign. Vol. 8, n.1., São Paulo.

Likert, R. (1932), *A Technique for the Measurement of Attitudes*, *Archives of Psychology*, 140: pp. 1-55

Meireles, T. F. A. (2014) *Mobilidade sustentável no acesso a campi universitários - estudo de caso: Universidade do Minho*. Dissertação - Mestrado em Engenharia Civil - Universidade do Minho, Portugal.

Nakamori, S., Belotto, J. C. A., Junior, M. F. F., Oliveira, A. G. *A* (2015) *Contribuição da Academia para Mobilidade Urbana Sustentável por meio do Programa de Extensão Universitária da UFPR – Ciclovida*. Revista Políticas Públicas & Cidades, v.3, n.2, p. 145 – 163.

Nara, E. O. B., Sehn K. T., Silva A. L. E., Albert R. A., Schwingel, G. A. (2016) *Análise de Mobilidade do Sistema Viário do Campus Sede da Universidade de Santa Cruz do Sul*. Exacta – EP, São Paulo, v. 14, n. 2,p. 221-233.

Neves, J. M. de J. (2014). *Os Atributos da Qualidade de Serviço para Pedestres no Contexto de Megaeventos Esportivos: o Caso do Estádio do Maracanã.* Dissertação - Mestrado em Engenharia de Transportes – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

Nunes, J. L., e Jacques, M. A. P. (2005) *Caracterização dos Padrões de Viagens para Instituições de Ensino Superior.* XIX ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Recife.

Parra, M. C. (2006) *Gerenciamento da Mobilidade em Campi Universitários: problemas, dificuldades e possíveis soluções no caso ilha do fundão*. Dissertação - Mestrado em Engenharia de Transportes - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

Pires, L. S. (2013) *Mobilidade Sustentável em Campi Universitários: um Estudo de Caso na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – campus Seropédica,* Rio de Janeiro.

Portugal, L. da S. (2012) *Polos Geradores de Viagens orientados à qualidade de vida e ambiental: modelos e taxas de geração de viagens*. Rio de Janeiro: Interciência, 2012.

Reis, M. F. M. (2011) *Gestão da Mobilidade - Plano de Mobilidade da FEUP*. Dissertação - Mestrado em Engenharia Civil - FEUP, Porto.

Santos, G. E. O. (2017) Cálculo amostral: calculadora on-line. Disponível em: http://www.calculoamostral.vai.la. [23/05/2017]

Santos, P. M. (2010) *A Percepção da Importância dos Atributos do Transporte Coletivo*. 77 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Silva, A. F.; Ponte, E. M. (2015) *Análise da Qualidade do TP Urbano por Ônibus na Cidade de Juazeiro do Norte*. Universidade Federal do Cariri.

Sousa, L. A. P. de; Portugal, L. da S.; Ribero, P. C. M. (2009) *Estudo da Demanda em Polos Geradores de Viagens: o Caso dos Supermercados*. Anais do Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Vitória.

Marinara Andrade do Nascimento (marinara.anascimento@gmail.com)
Victor Hugo Gomes Albino (albino@pet.coppe.ufrj.br)

ALOCAÇÃO DE TRIPULAÇÕES E VEÍCULOS NO TRANSPORTE COLETIVO URBANO DE PORTO ALEGRE/RS

Miriam Karla Rocha
Michel José Anzanello
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

RESUMO
O problema de alocação de tripulações e veículos representa um desafio para as empresas de transporte coletivo urbano. Nesse sentido, pesquisas sobre modelos matemáticos podem proporcionar bons resultados nessa área, o que promoveria benefícios para as empresas, empregados e usuários. Assim, este trabalho objetiva verificar quais são as ferramentas e métodos utilizados para a alocação de tripulações e veículos nas empresas de ônibus urbanos na cidade de Porto Alegre/RS. Para tanto, o método de pesquisa foi desenvolvido em quatro etapas: definição das empresas; realização das entrevistas; análise das informações e esclarecimento de divergências; e, elaboração das conclusões. Como resultado, foi observado que a alocação era feita sem suporte computacional adequado, por exemplo, com o auxilio de planilhas eletrônicas. Ainda, foi apresentado o processo geral de construção de escalas e discutida a possível inferência desse estudo no âmbito brasileiro.

ABSTRACT
The problem of the allocation of crews and vehicles poses a challenge for urban transport companies.. In this sense, research on mathematical models can provide good results in this area, which would promote benefits for companies, employees and users. This paper aims to verify which are the tools and methods used for crew and vehicles scheduling in urban bus companies in the city of Porto Alegre / RS. Thus, the research method was developed in four stages: definition of the companies; conducting interviews; analysis of information and clarification of divergences; and preparation of the conclusions. As a result, we observed that the allocation was done without adequate computational support, for example, with the aid of spreadsheets. Also, we presented the general process of scheduling construction and discussed the possible inference of this study in the Brazilian scope.

1. INTRODUÇÃO

Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2011), no que concerne aos meios de transporte, 44,3% da população utilizam o transporte público Paralelamente, 19,6% das despesas das famílias brasileiras está relacionada com transporte (IBGE, 2010). Esses números confirmam a importância do transporte urbano para o Brasil, uma vez que sua população necessita, na maioria dos casos, deste modal para se deslocar de um ponto a outro.

Ainda sobre a área de transporte público, o problema de alocação de tripulações e veículos representa um desafio para as empresas de transporte coletivo urbano, uma vez que é difícil encontrar soluções que reflitam as preferências dos colaboradores e satisfaçam as diversas restrições técnicas e regulamentos trabalhistas. Ernest *et al*. (2004) corrobora com essa ideia, afirmando que os problemas referentes ao ambiente de trabalho são complexos e possuem restrições difíceis de serem compatibilizadas.

Tais aspectos revelam a necessidade de pesquisas sobre modelos matemáticos que proporcionem bons resultados na otimização de escalas aplicadas ao transporte público, o que poderia promover benefícios para as empresas, empregados e usuários. Para isto, é imprescindível conhecer mais sobre o funcionamento do transporte coletivo urbano.

As principais etapas que compõem o planejamento dos transportes públicos são (SOUSA *et al*., 2000; DIAS *et al*., 2001; CEDER, 2002): definição da rede de atendimento, definição da tabela de horários, escalonamento dos veículos às viagens e escalonamento das tripulações.

Weider (2007), por sua vez, divide o planejamento dos transportes públicos em duas grandes fases: o planejamento estratégico, que compreende o projeto da rede de atendimento, o planejamento das linhas e definição da tabela de horários; e o planejamento operacional que consiste na programação dos veículos, na alocação de serviços e no rodízio das tripulações (motoristas e cobradores).

O planejamento estratégico, geralmente, é de responsabilidade do poder público. Por este motivo, este artigo concentra-se no planejamento operacional, mais especificamente na alocação das tripulações e veículos aos serviços, tarefa que representa um desafio para as empresas de transporte público.

Desta forma, o objetivo geral deste trabalho é verificar quais são as ferramentas e métodos utilizados para a alocação de tripulações e veículos nas empresas de ônibus urbano na cidade Porto Alegre-RS. Associado a esse objetivo geral, os objetivos específicos são:

- Identificar os regulamentos trabalhistas vigentes, que constituem restrições a serem observadas na solução do problema;
- Descrever o processo de construção de escalas;
- Definir os pontos críticos e dificuldades existentes na elaboração das escalas de serviço.

Para tanto, este estudo inicia com contextualização do problema de pesquisa, objetivos e a estrutura do trabalho. A segunda seção apresentada uma breve revisão da literatura sobre alocação de tripulações e veículos. Na sequência, método de pesquisa é descrito, a quarta seção apresenta os resultados e discussões e, na quinta seção, o artigo é finalizado com as considerações finais.

2. ALOCAÇÃO DE TRIPULAÇÕES E VEÍCULOS – UMA BREVE REVISÃO DA LITERATURA

De forma ampla, esse problema é conhecido na literatura científica como Alocação de Pessoas (*Staff Schedule*) ou também por Escala de Serviço (*Rostering*) e pode se referir-se a quaisquer cenários que envolvam equipes e designação de escalas. Exemplos típicos de interesse envolvem hospitais, supermercados, farmácias, delegacias, entre outros. Referente a tripulações de ônibus, existe uma denominação mais específica que é o Problema de Programação de Tripulações (PPT) ou, em inglês, *Crew Scheduling Problem* (CSP).

Alocação de pessoas, ou escalas de serviços, é o processo de construção de horários para que os gestores possam satisfazer a demanda de bens ou serviços. O primeiro passo consiste no levantamento do o número de funcionários envolvidos no processo, com habilidades particulares, necessários para atender as demandas do serviço. Cada membro da equipe de trabalho é alocado de acordo com a competência profissional exigida, diferentes horários e seus deveres designados. Todos os regulamentos industriais e acordos trabalhistas devem ser observados durante a elaboração do modelo. (ERNST *et al*, 2004)

Martello e Toth (1986) classificam o Problema de Alocação de Pessoas e Escalas de Serviço como *NP-hard*, uma vez que para grandes instâncias o tempo computacional de resolução é altíssimo. Hadwan e Ayob (2010) também classificam o problema de programação de tripulações dessa forma. Por este motivo, é complicado encontrar soluções que minimizem custos, atendam preferências de empregados e satisfaçam as restrições do local de trabalho.

O Problema de Programação de Tripulações (PPT) consiste em alocar tripulações para o cumprimento de viagens em sistemas de transportes. Um caso particular do PPT é o problema de escalonamento de motoristas de ônibus (*Bus Driver Scheduling Problem*), onde é preciso estabelecer um conjunto viável de tarefas a serem efetuadas por uma equipe de trabalho (motorista e cobrador) em um dia de trabalho, de modo que as equipes disponíveis cubram as escalas previstas para o conjunto de veículos (ROSSEAU e WREN, 1995). Além disso, esta designação de trabalho deve ser realizada de maneira a minimizar os custos com mão-de-obra e, ao mesmo tempo, obedecer à legislação trabalhista e as regras operacionais sob as quais a empresa atua (SIMÕES, 2009).

Existe uma relação intrínseca entre o Problema de Programação de Tripulantes (PPT) e o Problema de Programação de Veículos (PPV), ainda mais quando se refere à área de transporte urbano. Segundo Freling *et al.* (1999), ambos possuem similaridades, no entanto, o PPT é mais complexo devido à gama de restrições envolvidas, geralmente relacionadas ao regime de trabalho do pessoal tripulante. De forma geral, tais restrições relacionam-se ao tempo das tarefas, à localização das atividades e ao tipo de serviços.

Normalmente o PPV e PPT são resolvidos de forma sequencial tradicional, isto é, primeiro é definido o modo de operação da frota (PPV) e, em seguida, as jornadas dos tripulantes (PPT). A desvantagem desta abordagem tradicional é que o PPT torna-se dependente da programação de veículos, apesar de, em muitas situações práticas, os gastos das empresas com tripulantes superam aqueles relativos aos veículos (SIMÕES, 2009).

Outra maneira é a alocar os tripulantes e veículos de forma simultânea, o que consiste no Problema de Programação Integrada de Veículos e Tripulações (PPVT) que integra PPT e PPV. Como esperado, o PPVT apresenta melhores resultados, em contrapartida, é mais complexo, uma vez que o nível de dificuldade é superior que as abordagens fragmentadas (PPT e PPV), assim, usando o raciocínio dedutivo, o PPVT também é classificado como NP-hard.

Um aprofundamento da literatura é importante para entender como esses problemas estão sendo estudados e resolvidos, assim, é possível nortear futuras pesquisas. A tabela 1 mostra vários estudos publicados nessa área entre 1968 até os dias atuais, perpassando por formulações exatas, heurísticas, inteiras, algoritmos híbridos, resoluções de instâncias reais, com múltiplos depósitos, janelas de tempos etc.

Apesar de ser um tema relativamente antigo, o interesse acadêmico sobre estudos sobre alocação de tripulações e veículos continua ativo. Isso pode demonstrar que esses problemas (PPV, PPT e PPVT) não foram completamente solucionados e que ainda há campo para melhoria e novas pesquisas.

Tabela 1: **PPV/PPT/PPVT na literatura**

Autor	Contribuição
Kirkman, 1968	Primeiro trabalho a tratar o PPV utilizando método exato.
Elias, 1964	Um dos precursores das pesquisas para resolução do PPT.
Saha, 1970; Wren, 1972	Primeiros trabalhos que tratavam o PPV utilizando procedimentos heurísticos.
Ball et al.,1983	Foram os primeiros a propor um método de resolução para PPVT. (Método heurístico).
Tosini e Vercellis, 1988; Patrikalakis e Xerocostas, 1992.	Apresentaram heurísticas similares a Ball *et al*.
Patrikalakis e Xerocostas, 1992.	Primeira formulação matemática para o PPVT. No entanto, este modelo era apenas para fins ilustrativos sendo computacionalmente intratável (Freling *et al*., 1999).
Freling *et al*., 1995.	Primeiros a propor uma formulação inteira para o PPVT.
Hasse e Friberg, 1999.	Primeira abordagem de solução exata para o PPVT.
Freling *et al*., 2003.	Apresentaram três metodologias para resolução do PPVT.
Boschetti *et al*., 2004.	Apresentaram uma algoritmo exato pra resolver o PPT com múltiplos depósitos simplificado.
Huisman e Wagelmans, 2006.	Compararam uma abordagem dinâmica com uma estática para solucionar o PPVT.
Desaulniers, 2007.	Utilizou geração de colunas para resolver o PPVT.
Groot e Huisman, 2008.	Compararam vários métodos para resolver grandes instâncias reais do PPVT.
Zhao e Shen, 2009; Mesquita *et al.*, 2009.	Apresentaram uma formulação com base na programação linear inteira para resolver PPVT com múltiplos depósitos.
Ceder, 2011.	Desenvolveu um algoritmo heurístico para resolver o PPV com múltiplos tipos de veículos.
Kliewer *et al*., 2012.	Utilizaram uma formulação agregada de rede tempo-espaço para resolver o PPVT com múltiplos veículos e janela de tempo.
Prata, 2015.	Descreveram um algoritmo híbrido genético e uma inovadora formulação matemática para resolver o PPVT.
Leung *et al.*, 2016.	Investigaram como as informações em tempo real podem ser utilizadas em combinação com dados históricos para melhorar as decisões de roteamento e agendamento dos controladores. Desta forma, propuseram modelos matemáticos relacionados ao PPVT.
Öztop *et al.*, 2017.	Mostraram uma aplicação de um modelo baseado na programação binária para resolver o PPT com restrições de elegibilidade e limitações de tempo.
Lopez-Irarragorri e Torres, 2017.	Desenvolveram um programa multiobjetivo baseado no método fuzzy para solucionar problemas relacionados ao planejamento do transporte urbano, incluindo os problemas de PPV e PPT.

3. MÉTODO DE PESQUISA

Com o objetivo de verificar quais são as ferramentas e métodos utilizados para a alocação de tripulações e veículos nas empresas de ônibus urbano na cidade de Porto Alegre-RS, esse estudo foi desenvolvido em quatro etapas: (i) definição das empresas; (ii) realização das entrevistas; (iii) análise das informações e esclarecimento de divergências; e, (iv) elaboração das conclusões.

3.1. Definição das empresas

Segundo a Empresa Pública de transporte urbano (EPTC, 2016), a cidade de Porto Alegre é composta por quatro zonas de atendimento de ônibus (Centro, Sul, Leste e Norte), sendo que essas zonas são operadas por quatro consórcios privados e uma empresa pública (figura 1).

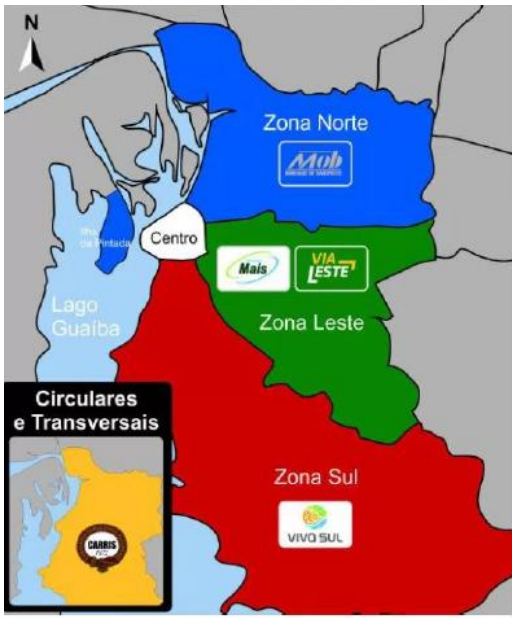


Figura 1: Zonas de atendimento de transporte público
Fonte: EPTC, 2016.

As zonas norte e sul são atendidas pelos consórcios Mob - Mobilidade de Transporte e Viva Sul, respectivamente. A zona leste por dois consórcios: Via leste e MAIS - Mobilidade da Área Integrada Sudeste; e, por fim, a empresa pública Carris opera as linhas transversais e circulares.

Com o intuito de obter informações pormenorizadas sobre o processo de elaboração de escalas de serviço, mais especificamente, relacionadas ao transporte público de ônibus, foram feitas quatro entrevistas em empresas pertencentes a diferentes consórcios, localizados nas zonas norte, leste e sul, e a empresa pública. Assim, foi possível reunir informações a operação dos ônibus no território porto-alegrense e fazer uma análise qualitativa das semelhanças e diferenças entre as empresas que operam na capital do Rio Grande Sul.

3.2. Realização das entrevistas

Em 2016, foram conduzidas as entrevistas de forma semi-estruturada. Para tanto, foi elaborado um roteiro, tendo como referência à estrutura sugerida por Ribeiro e Milan (2007), com o objetivo de assegurar que os principais pontos fossem abordados. Os pontos centrais levantados foram:

- Dados descritivos da empresa, tais como: número de funcionários, motoristas, cobradores, número de linhas, número de viagens médio, mínimo e máximo;
- Regulamentos trabalhistas da área de transporte urbano de Porto Alegre;
- Processo de construção de escalas;
- Se as escalas de tripulação e de veículos eram feitas de forma integrada;
- Colaboradores estão envolvidos nessa tarefa;
- *Software* (ERP, Excel, Algoritmo de otimização) utilizado neste processo e grau de customização;
- Preferências locais;
- Dificuldades encontradas na confecção das escalas;
- Principais problemas/erros observados durante e após a confecção das escalas;

- Possíveis melhorias que poderiam ser implementadas nesse processo;
- Alterações feitas na tabela de horários decorrentes a algum período específico;
- Grau de autonomia da empresa para determinar seus horários junto ao órgão regulador.

3.3. Análise das informações e esclarecimento de divergências

Após a segunda etapa, as entrevistas foram transcritas e o texto foi enviado para o(s) respondente(s) para conferência e retificação de alguma informação, caso fosse necessário. Se persistissem as dúvidas e divergências, os entrevistados eram contatados para verificação pontos conflitantes e esclarecimentos dúvidas.

3.4. Elaboração das conclusões

Depois da realização da coleta de dados, foi feita uma compilação de forma descritiva das informações colhidas *in loco*. Posteriormente, foram estabelecidas comparações relacionando as empresas e a criação de um fluxograma genérico que retrata o processo de construção de escalas de serviço visando identificar fatores chaves e lacunas. Por fim, a análise das informações foi aprofundada utilizando as técnicas abaixo (RIBEIRO e MILAN, 2007):

- Comparação interna: relacionar as semelhanças e diferenças entre as empresas entrevistadas;
- Comparação externa: fazer comparações entre o sistema porto-alegrense e a literatura;
- Ordenação de consenso: identificar elementos de consenso ou divergência entre as empresas;
- Ordenação de importância: verificar quais os pontos considerados mais importantes ou preocupantes para os entrevistados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O objetivo deste tópico é descrever e discutir os principais pontos observados nas entrevistas. Primeiramente, é importante detalhar as principais características operacionais da amostra estudada. Essas características estão apresentadas na Tabela 2. Observa-se que o número de tripulações (motoristas e cobradores) varia entre 250 e 710, enquanto a frota varia de 135 a 377 veículos, sendo composta por veículos padrão, articulados e automáticos. Sobre relação entre a tripulação

Tabela 2: Características operacionais

Empresa	Número de motoristas	Número de cobradores	Número de veículos	Tripulação total / número de veículos
A	710	710	377	3.77
B	250	250	135	3.70
C	300	315	170	3.62
D	314	306	170	3.65

Sobre a relação entre a tripulação total e o número de veículos, esse valor é próximo de 4 tripulantes para cada veículo em todas as empresas entrevistadas. Dando continuidade a análise, a seguir são apresentados os seguintes subtópicos: regulamentos trabalhistas vigentes; processo de construção de escalas, e, causas e consequências das escalas não otimizadas.

4.1. Regulamentos trabalhistas vigentes

Os regulamentos trabalhistas vigentes em Porto Alegre estão em coerência com as normas

estabelecidas pela Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) e os acordos previstos em dissídio entre a categoria dos trabalhadores rodoviários e as empresas de transporte urbano da cidade. As principais normas mencionadas estão descritas a seguir:

- Intervalo entre 1e 3 horas;
- Jornada diária de 7h10;
- Máximo de 2 horas extras diárias;
- Intervalo entre jornadas de no mínimo 11 horas;
- Jornada "corrida" de até 6 horas;
- Uma folga dominical por mês;
- Compensação semanal de horas

A partir do levantamento feito nesse estudo (entrevistas, conversa com especialista e pesquisa bibliográfica), pode-se concluir que essas normas não diferem, de forma geral, de outras cidades brasileiras, uma vez que, todos os acordos devem cumprir a CLT. Então, existem apenas diferenças pontuais como, por exemplo, a jornada diária é de 7h10 em Porto Alegre, mas em outras cidades pode chegar até 7h20 como mostrado no trabalho de Rocha (2012), que apresentou um estudo desenvolvido na região metropolitana de Natal-RN.

4.2. Processo de construção de escalas

Inicialmente, a EPTC, órgão regulador do sistema de transporte em Porto Alegre, determina o número de linhas, rotas e horários da região de estudo. Vale observar que as empresas têm a possibilidade de sugerir alterações de horários e rotas, mas não necessariamente essas sugestões serão incorporadas ao planejamento. A principal entrada (*input*) desta etapa é a demanda dos usuários das regiões, desta forma, é possível definir as necessidades em termos de transporte público nos diversos pontos da cidade.

A partir disso, os consórcios e a empresa pública elaboram as jornadas diárias das suas tripulações de ônibus (informalmente chamadas de "tabelas") tendo como objetivo minimizar o número de horas extras, que, em termos financeiros, corresponde a 1,5 da hora normal ou mais (Silva, 2012). Além disso, são repeitados os regulamentos trabalhistas previstos na CLT e os acordos previstos em dissídio entre a classe dos rodoviários e os empresários de transporte urbano de Porto Alegre. Isso está de acordo com Simões (2009), que relata que a distribuição de trabalho deve ser realizada de maneira a minimizar os custos com mão-de-obra e, ao mesmo tempo, obedecer à legislação trabalhista e as regras operacionais sob as quais a empresa atua.

Sobre pacotes computacionais utilizados para construção das jornadas, foi mencionado apenas o Excel® em uma empresa, outra relatou que é feita de forma "manual", ou seja, sem ajuda de um programa específico, as demais não souberam especificar como era feita essa elaboração, mas acreditam que essa tarefa seja feita com auxílio de algum software.

Diante dessa dúvida, foi novamente contatado para esclarecimento um entrevistado, com mais de vinte anos de experiência. Ele relatou as empresas de Porto Alegre, não tem conhecimento de algum programa computacional específico utilizado para a construção dessas jornadas de trabalho na área de estudo. Além disso, mencionou que foi testado um pacote computacional usado em tripulações de aviões para construir as jornadas das tripulações de ônibus na cidade.

No entanto, essa tentativa não surtiu efeitos positivos, pelo fato do pacote não cobrir questões inerentes ao transporte urbano. Desta forma, foi possível concluir que não é utilizado um programa específico para a construção das tabelas, no máximo, a tarefa apoia-se em planilhas eletrônicas. Essa informação está coerente com estudo feito por Rocha (2012), desenvolvido em uma empresa de transporte urbano na região metropolitana de Natal-RN, onde também foi observada a inexistência de um programa específico para a construção das escalas, sendo utilizado o Excel® como suporte para tal tarefa.

Ainda sobre pacotes computacionais, Ernst (2004) relata que existe um razoável número de softwares disponíveis para ajudar na confecção de escalas de serviço. Estes softwares podem ser divididos em dois grupos: (i) aqueles substancialmente customizados, que não são facilmente transferidos para outra indústria, e (ii) aqueles projetados para ser amplamente aplicáveis, mas esses geralmente se concentram em oferecer aos usuários funções de edições de manuais e relatórios extensos e têm suporte limitado para geração de escalas automáticas.

Dando continuidade a descrição do processo, após a geração das jornadas, as tripulações são designadas as "tabelas", construindo, desta forma uma escala de serviço "matriz" ou "mãe", que é modificada conforme as necessidades. Os motivos dessas alterações podem ser previsíveis como férias e remanejamentos das tripulações até questões que estão fora do controle dos planejadores como, por exemplo, afastamento por doença e demissão, entre outros. Em todas as empresas entrevistadas, essa tarefa é feita com auxílio de um programa computacional específico, relacionado à área de transporte, esses programas são apresentados na tabela 3.

Tabela 3: Relação de programas computacionais

Empresa	Programa computacional para operacionalização das escalas
A	DataFlex®.
B	NGSWin®
C	NGS®
D	SoftBus®

No setor operacional de cada empresa, um funcionário insere todas as informações necessárias (tripulações designadas, folga programada, férias programadas, atestados médicos etc.) manualmente no *software* utilizado. De modo geral, esses pacotes permitem designar as tripulações e verificar inconsistências e, além disso, integram informações dos diversos setores da empresa e, em alguns casos, é possível inserir informações da execução da operação (saída, chegada e intervalo), desta forma comparar o real com o previsto.

A alocação dos veículos é feita, principalmente, a partir dos dados de carregamento das linhas. No entanto, por exemplo, questões sobre o atendimento de deficientes físicos e inerentes ao terreno da via são levados em consideração para designar a opção mais adequada para as rotas. Vale salientar que, com exceção dos veículos articulados, que exigem uma categoria específica na CNH (Carteira Nacional Habilitação), os demais motoristas podem guiar qualquer ônibus.

Por fim, as escalas de serviço são implementadas na prática, objetivando um menor o número

de ajustes no momento da operação. Simultaneamente, é feito o monitoramento para controlar as diferenças entre o planejado e executado, desta forma,os erros podem ser corrigidos em tempo real e é possível rastrear a causa original para sanar o problema. As etapas descritas acima estão sintetizadas na figura 2, que apresenta o fluxo do processo de construção de escalas, bem como as principais características de cada etapa observada *in loco*.

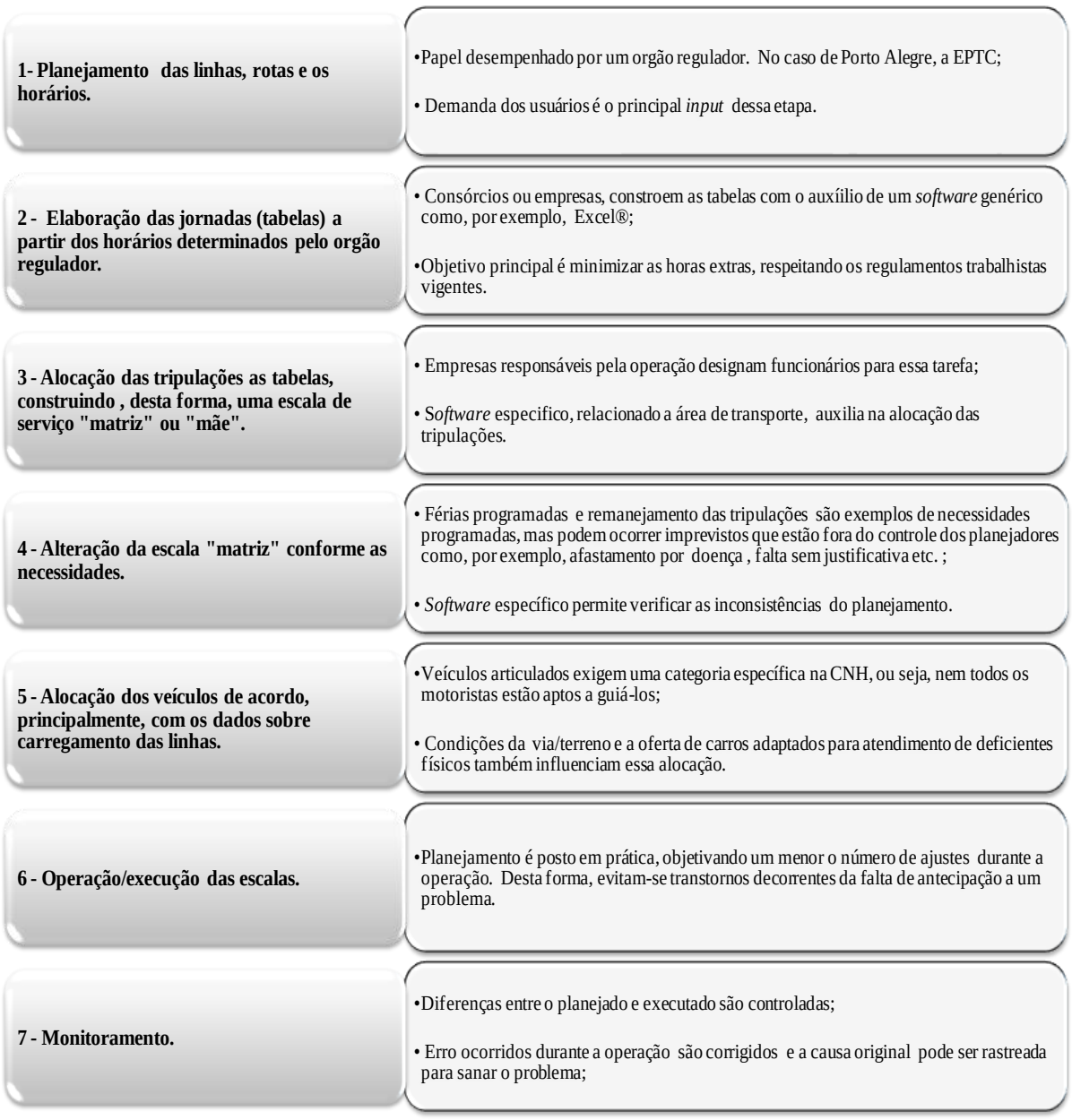


Figura 2: Processo de construção de escalas de serviço

É interessante destacar, mais especificamente, o processo de construção de escalas de serviço, contemplado na etapa 2. Essa tarefa é incumbida a planejadores não ligados diretamente ao setor operacional que, em alguns casos, estão fora da empresa demandante das jornadas de trabalho. Esses são auxiliados, de modo geral, por planilhas eletrônicas com limitado suporte para geração de escalas automáticas. Desta forma, percebe-se uma oportunidade para a criação de modelo de programação matemático que possibilite otimizar esse processo. Ainda,

vale salientar que isso é possível, pois não foram encontradas diferenças significativas entre os regulamentos trabalhistas vigentes (tópico 4.1).

4.3. Causas e consequências das escalas não otimizadas

Com mencionado anteriormente, o Problema de Programação de tripulações é mais complexo do que o Problema de Programação de veículos, devido à ampla gama de restrições envolvidas, geralmente relacionadas ao regime de trabalho do pessoal tripulante. Além disso, outros fatores podem influenciar a não otimização das escalas serviço, tais como: escassez de profissionais com conhecimento em programação matemática na área de transporte urbano, falta de percepção das vantagens que modelos/algoritmos matemáticos poderiam oferecer e, além disso.

Essa falta otimização gera uma série de dificuldades e problemas como, por exemplo, demora na construção de escalas, possibilidade de erros humanos, jornadas das tripulações com um número significativo de horas extras, tempo dos planejadores excessivamente gasto na construção das escalas, convergindo para elevação do custo operacional. Essas relações (causa e consequência) podem ser visualizadas no mapa cognitivo apresentado na figura 3. As escalas de serviço não otimizadas podem representar uma consequência (linhas pretas sólidas), causa (linhas pretas tracejadas) e, ainda, pode-se haver relacionamentos entre os demais fatores (linhas vermelhas pontilhadas).

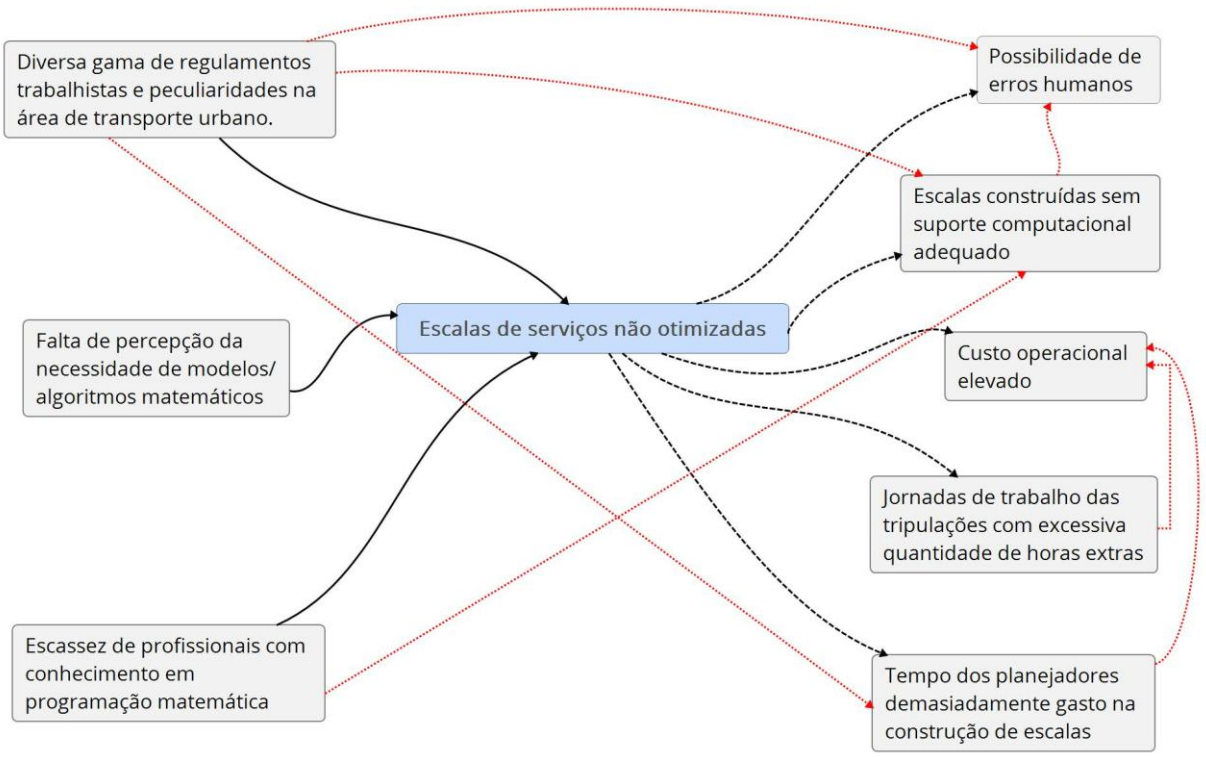


Figura 3: Causas e problemas gerados pelas escalas não otimizadas

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral deste trabalho foi analisar as ferramentas e métodos para a alocação de tripulações e veículos nas empresas de transporte urbano na cidade de Porto Alegre - RS. Neste sentido, foi observado que não eram utilizados programas computacionais

específicos/adequados para construção das jornadas de trabalho. Desta forma, alocação era feita manualmente, com apoio de planilhas eletrônicas.

Apenas foi relatada a existência de programas que tinham por objetivo operacionalizar o planejamento das escalas. Para isto, um funcionário, pertencente ao setor operacional das empresas, designava "manualmente" as tripulações e veículos as tabelas já confeccionadas. Com essa informação inserida previamente, esses *softwares* ajudavam no controle de possíveis descumprimentos dos regulamentos trabalhistas e auxiliavam no monitoramento. Por se tratar de um problema complexo, o ideal seria sistematizar a construção das jornadas das tripulações por meio de um programa computacional capaz de lidar com os recursos e restrições existentes. Desta forma, poderiam ser obtidas soluções com menor custo operacional referente a horas dedicadas à tarefa de alocação e hora extra de tripulantes, que oneram a folha de pagamento e refletem no preço da tarifa para o usuário final. Ademais, os profissionais dedicados a essa tarefa poderia ser alocados a outras áreas, e possíveis erros humanos seriam eliminados.

Sobre os regulamentos trabalhistas vigentes, foi percebido certo padrão, uma vez que, a CLT deve ser cumprida na íntegra. Sendo assim, não devem existir grandes divergências entre as normas trabalhistas vigentes dentro do território brasileiro, como foi confirmado neste estudo. Partindo desse pressuposto, poderia se sugerir para trabalhos futuros o desenvolvimento de um programa computacional para a construção de escalas de serviço relacionadas ao transporte urbano de ônibus para cidades brasileiras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ball, M. O., Bodin, L. D. e Dial, R (1983) A matching based heuristic for scheduling mass transit crew and vehicles. *Transportation Science*, v. 17, n. 1, :4–31.

Boschetti, M. A.; Mingozzi, A. e Ricciardelli, S. (2004) An exact algorithm for the simplified Multiple Depot Crew Scheduling Problem. *Annals of Operations Research*, v. 127, n.1, p. 177-201.

Ceder, A. (2002) Urban transit scheduling: framework, review and examples. *Journal of Urban Planning and Development*, v. 128, n. 4, p. 225 – 244.

Ceder, A. (2011) Optimal Multi-Vehicle Type Transit Timetabling and Vehicle Scheduling, Procedia - Social and Behavioral Sciences, v. 20 , p. 19-30,.

Desaulniers, G. (2007) Managing large fixed costs in vehicle routing and crew scheduling problems solved by column generation. *Computers & Operations Research*, v. 34, n.4, p. 1221-1239.

Dias, T. G.; Ferreira, J. V. e Cunha, J. F. E. (2001) Evaluating a DSS for Operational Planning in Public Transport Systems: TenYears of Experience witht he GIST System. In: Voss, S.; Daduna, J. R. (Eds.) Computer-aided Transit Scheduling, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, *Springer*, v. 505, p. 167–180.

Elias, S. E. (1964). *The use of digital computers in the economic scheduling for both man and machine in public transportation*. Manhattan, Kansas

EPTC (2016). *Novo Sistema de Transporte de Porto Alegre*. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/eptc/default.php?p_noticia=184734&NOVO+SISTEMA+DE+TRANSPORTE+DE+PORTO+ALEGRE> acessado em: 07.abr.2016

Ernst, A. T. Jiang, H., Krishnamoorthy, M., e Sier, D. (2004) Staff scheduling and rostering: A review of applications, methodos and models. *European Journal of Operational Research*, v. 153, n.1, p. 3-27.

Freling, R, Huisman, D. e. Wagelmans, A. P. M. (2003) Models and Algorithms for Integration of vehicle and Crew Scheduling. *Journal of Scheduling*, v. 6, n.1, p.63-85.

Freling, R.; Albert, P. M. e Paixão, J. M. P. (1999) An overview of models and techniques for integrating vehicle and crew scheduling. *Computer-Aided Transit Scheduling: Proceedings*, Cambridge, MA, USA, v. 471, p. 441.

Freling, R.; Boender, C. G. E. e Paixão, J. M. P. (1995) *An integrated approach to vehicle and crew scheduling.Technical Report* 9503/A. Econometric Institute, Erasmus University Rotterdam, Rotterdam.

1995.
Groot, S. W., & Huisman, D. (2008). Vehicle and crew scheduling: solving large real-world instances with an integrated approach. *Computer-aided Systems in Public Transport*, p. 43-56.
Haase, K. E e Friberg, C. (1999) An exact branch and cut algorithm for the vehicle and crew scheduling problem. Computer-Aided Transit Scheduling, pp. 63–80.
Hadwan, M., Ayob, M.A Constructive Shift Patterns Approach with Simulated Annealing for Nurse Rostering Problem. Proceedings 2010: International Symposium on information Technology – Visual informatics. Art. nº 5 561304, 2010.
Huisman, D. e. Wagelmans, A. P. M. (2006) A solution approach for dynamic vehicle and crew scheduling, *European Journal of Operational Research*, v. 172, n.2, 2006, p. 453-471.
IBGE (2010). Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Trabalho e Rendimento, Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009.
IPEA (2011). Sistema de indicadores de percepção social (SIPS). Organizador: Fábio Schiavinatto. 1ª Ed., Brasília .
Kirkman, F. (1968) *Problems of innovation in the transport industry: a bus scheduling program*. In: Proceedings of PTRC Public Transport Analysis Seminar, Planning and Transport Research and Computation Co. Ltd., London, v.1, p. 1-15.
Kliewer, N.; Amberg, B. e Amberg, B. (2012) Multiple depot vehicle and crew scheduling with time windows for scheduled trips. *Public Trans*, v.3, n. 3, p. 213-244.
L. Zhao and Y. Shen, (2009) An Integrated Model of Vehicle and Crew Scheduling with Multi-Depots. *International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering, Wuhan*. p. 1-4.
Leung, J.M.Y.; Lai, D.S.W.; Kuo, Y.-H. e Cheung, H.K.F. (2016) Real-time integrated re-scheduling for public transit. *Civil-Comp Proceedings*, v. 110.
Lopez-Irarragorri, F. e Avila-Torres, P. (2017) A fuzzy programming multiobjective model for Urban transport planning. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, p. 2501-2502.
Martello, S.;Toth, P. (1986) A heuristic approach to the bus driver scheduling problem. European Journal of the Operational Research Society, vol. 24, n. 1, p. 106–117, 1986.
Mesquita, M.; Paias, A. e Respício, A. (2009) Branching approaches for integrated vehicle and crew scheduling. *Public Transp*, v. 1, n.1, p. 21-37.
Öztop, H.; Eliiyi, U.; Eliiyi, D. T. e Kandiller, L. (2017) A Bus Crew Scheduling Problem with Eligibility Constraints and Time Limitations. *Transportation Research Procedia*, v. 22, 2017, p. 222-231.
Patrikalakis, I. e Xerocostas, D. (1992) A new decomposition scheme of the urban public transport scheduling problem. In: *Computer-Aided Transit Scheduling*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1992. p. 407-425.
Prata, B. D. A. (2015) A hybrid Genetic Algorithm for the vehicle and crew scheduling in mass transit systems. *IEEE Latin America Transactions*, v. 13, n.9, p. 3020-3025.
Ribeiro, J. L. D.; Milan, G. S. (2007) *Entrevistas individuais: teoria e aplicações*. FEEng, Porto Alegre - 2007.
Rocha, M. K. (2012) *Otimização de escalas de serviço de tripulações: um estudo de caso em uma empresa de transporte urbano na região metropolitana de Natal/RN*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
Rosseau, J. M. e Wren, A. (1995) *Bus Driver Scheduling – an Overview.*
Saha, J. L. (1970) An algorithm for bus scheduling problems.Operational Research Quarterly, vol. 21, p. 463-474.
Silva, J. A. R. D. O. (2012) Lei do motorista profissional:tempo de trabalho, tempos de descanso e tempo de direção. *Revista do Tribunal do Trabalho da 15ª Região*, n.41.
Simões, E. M. L. (2009) *Algoritmo para Programação Integrada de veículos e Tripulantes no Sistema de Transporte Público por Ônibus*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais.
Sousa, J. P; Falcão, J., Guimarães, R., Paixão, J., e Gist, M. (2000) Um Sistema de Apoio à Decisão para o Planejamento Operacional de Transportes Colectivos. In: Casos de Aplicação da Investigação Operacional, McGraw-Hill, p. 109 –130, 2000.
Tosini, E. Vercellis, C. (1988) An interactive system for extra-urban vehicle and crew scheduling problems. In *Computer-Aided Transit Scheduling* . Springer, Berlin, Heidelberg, p. 41–53.
Weider, S. (2007) *Integration of vehicle and duty scheduling in public transport.* Der. Rer. nat. Thesis. Technischen Universität Berlin, Berlin.
Wren, A. (1972) Bus scheduling: an interactive computer method. Transportation Planning and Technology, v.1, n.2, p.115-122.

IMPACTO DA IMPLANTAÇÃO DE "BUS RAPID TRANSIT" (BRT) NA EMISSÃO DE POLUENTES: ESTUDO DE CASO BRT SUL NO DISTRITO FEDERAL

Ana Cecília Parisi
Augusto Cesar de Mendonça Brasil
Camila Padovan da Silva
Eduardo da Silva Pereira
Fabiana Serra de Arruda
Universidade de Brasília
Programa de Pós-Graduação em Transportes

RESUMO
A poluição atmosférica é um dos grandes problemas da atualidade, devido ao crescimento da frota veicular. O dióxido de carbono - CO_2 é o principal gás causador do efeito estufa. Sistemas de BRT têm potencial para reduzir o CO_2 gerado no deslocamento de passageiros. Este artigo objetiva mensurar o impacto de um sistema de BRT Eixo Sul na cidade de Brasília – DF, na redução de GEE. Esse BRT liga as cidades satélites de Santa Maria e Gama ao Plano Piloto. A metodologia utilizada foi feita através do relatório de diretrizes do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). Foram comparadas as emissões de março de 2009 com as emissões de março de 2016. O BRT Eixo Sul apresentou redução das emissões de poluentes atmosféricos em torno de 28,07% de CO_2. Essa análise permitiu inferir que além dos ganhos associados à mobilidade urbana, o sistema BRT também é capaz de produzir benefícios ambientais significativos.

ABSTRACT
Nowadays, air pollution is one of the major problems, due to the growth of the fleet of vehicles. Carbon dioxide - CO_2 is the main gas causing the greenhouse effect. BRT systems have the potential to reduce CO_2 generated in passengers commuting**.** This paper aims to measure the impact of a BRT south axis system in the city of Brasília– DF in GHG reduction. This BRT connects the satellite towns of Santa Maria and Gamma to the Pilot Plan. The methodology used to calculate emissions of pollutants was from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) guidelines report. The emissions of March 2009 were compared with the emissions of March 2016. The South Axis BRT decreased emissions of air pollutants around 28% of CO_2. This analysis allowed us to infer that in addition to the gains associated with the urban mobility, the BRT system is also able to produce significant environmental benefits.

1. INTRODUÇÃO

Estima se que o setor de transporte consuma mais de 50% dos derivados de petróleo, sendo responsável por cerca de 11% das emissões de gases de efeito estufa (GEE) em termos nacionais (MMA: 2013). O Brasil é signatário do Protocolo de Kyoto/1977 e membro da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). Em dezembro de 2015, a Vigésima Primeira Conferência das Partes (COP-21) da UNFCCC decidiu adotar o Acordo de Paris. O Brasil por meio de sua indicação das Contribuições Nacionalmente Determinada (iNDC), apresentada à COP-21, informou a intenção de reduzir as emissões de GEE em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025 e como contribuição indicativa subsequente, reduzir as emissões de GEE em 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030 (MMA: 2017).

Em contrapartida ao compromisso nacional, nos últimos dez anos, a frota nacional de veículos cresceu 119%. Os sistemas de transportes correspondem a cerca de 25% do total de emissões globais em relação às emissões de dióxido de carbono (CO_2). É estimado que até 2050 a energia utilizada nos sistemas de transporte triplique, o que aumentaria ainda mais a emissão desses gases poluentes, caso ações de mitigação dessas emissões não sejam implantadas (IEA, 2009).

Na busca de reduzir as emissões de GEE e minimizar os impactos ambientais causados pelo uso de combustíveis fósseis o país tem adotado medidas como: Elaboração do Inventário de

Emissões de Gases de Efeito Estufa, reforço do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), implementação das diretrizes da Lei n. 12.587 (Lei de Mobilidade Urbana), implantação de sistemas de transportes coletivos de média e alta capacidade, como metrô, veículo leve sobre trilhos (VLT), corredores exclusivos de ônibus e o *Bus Rapid Transit* (BRT).

Segundo estudo feito no BRT Transoeste da cidade do Rio de Janeiro, esse meio de transporte se provou 14 vezes menos poluente que o carro ou 2 vezes menos que os ônibus convencionais, em termos de gCO_2/pass-km (Oliveira, 2014).

Neste contexto, o estudo constitui-se de uma introdução, onde há uma breve contextualização, definição do objetivo, apresentação da justificativa do tema em questão. Em seguida, foi feita uma análise do sistema de transporte do DF que mostra as possíveis metodologias que podem ser usadas em relação a emissão de CO_2 produzido. A partir daí apresenta-se a metodologia aplicada, os resultados obtidos, suas conclusões e considerações finais.

1.1. Objetivos geral e específicos

1.1.1. Objetivo geral

O Objetivo Geral do presente trabalho técnico é verificar o impacto da implantação de um sistema de transporte tipo *Bus Rapid Transit* (BRT) sob o enfoque ambiental.

1.1.2. Objetivos específicos

- Investigar o nível de emissão de poluentes de um sistema de transporte de passageiros do tipo *Bus Rapid Transit* (BRT), por intermédio da comparação dos cenários antes e depois da implantação do BRT Sul do Distrito Federal;
- Investigar as alterações do nível de emissão dos poluentes decorrentes da alteração do modelo operacional convencional de linhas diretas para sistema integrado no BRT Sul do DF;
- Investigar as alterações do nível de emissão dos poluentes decorrentes da utilização de veículos de maior capacidade de transporte de passageiros e de tecnologia mais eficiente.

1.2. Justificativas

O Distrito Federal, assim como várias cidades do mundo, enfrenta problemas com o crescimento urbano, com as altas taxas de motorização, superlotação de vias, sobretudo em horários de pico, que geram altos índices de poluentes emitidos pelo transporte motorizado, com participação significativa do automóvel particular.

De acordo com os dados mais recentes do Departamento de Trânsito do Distrito Federal (DETRAN/DF), o DF em agosto de 2016 apresentava uma frota de 1.654.557 veículos motorizados, dos quais 1.182.541 veículos, ou seja, 71,5% da frota correspondia a categoria dos automóveis, enquanto que apenas 12.246 veículos correspondiam aos ônibus e 5.377 veículos aos micro-ônibus, que juntos totalizavam 17.623 unidades, ou seja, apenas 1% da frota total do DF destinada a veículos de transporte coletivo de passageiros.

Aproximadamente 150 cidades em todo o mundo implementaram sistemas BRT servindo cerca de 25 milhões de passageiros diariamente (Deng e Nelson, 2011; BRT Center of Excellence, EMBARQ, IEA e SIBRT, 2012). No Brasil, esse sistema teve origem em 1974, quando o

arquiteto Jaime Lerner, na época prefeito da cidade de Curitiba, com o objetivo de proporcionar mobilidade urbana rápida e eficiente, implantou o sistema integrado de transporte coletivo (SIT), com os primeiros corredores exclusivos de ônibus por meio de uma infraestrutura segregada para os ônibus do tipo articulados e biarticulados, destinados à operação de linhas troncais.

No Distrito Federal ainda predomina a operação do transporte coletivo por ônibus no sistema operacional convencional de linhas diretas, com destino ao núcleo central (Plano Piloto) e linhas circulares em cada cidade do DF. Um dos primeiros estudos para implantação de um sistema tronco-alimentado e de tarifação integrada para o transporte coletivo por ônibus no DF foram iniciados em 2005 com o Programa de Transporte Urbano – PTU a ser implantado com recursos do Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID. Em 12 de setembro de 2007, foi publicada a Lei nº 4.011, que instituiu o SIT/DF, Sistema Integrado de Transporte no Distrito Federal, em seguida a Lei Distrital nº 4.566, aprovada em 04 de maio de 2011, instituiu o Plano Diretor de Transporte Urbano e Mobilidade do Distrito Federal – PDTU/DF, que é uma exigência do Estatuto das Cidades que determina que todas as cidades com mais de 500 mil habitantes tenham o seu Plano Diretor de Transportes.

O PDTU/DF determina a instituição de um sistema de gestão compartilhada do sistema de transporte integrado entre o Distrito Federal e municípios do entorno, e ainda, segundo o Art. 13, dispõe que a racionalização do sistema de transporte coletivo de passageiro será obtida por meio da integração física, operacional e tarifária, devendo ser estabelecida a partir do conjunto de procedimentos, tecnologias e infraestrutura que constitui o SIT/DF.

Apesar de todos os esforços do Governo do DF, o BRT Sul atualmente é o único corredor que está operando em sistema BRT. Foi inaugurado em junho de 2014 e está implantado parcialmente. Quando concebido teve um enfoque voltado para racionalização do sistema de transporte público de passageiros por intermédio da implantação de um sistema tronco-alimentado, visando a estruturação, a economicidade e a melhoria da qualidade dos serviços prestados com a redução dos tempos de viagens dos passageiros transportados. Foram ações que buscaram cativar a população no sentido de promover o uso do transporte coletivo, mas que não tiveram uma avaliação técnica diretamente relacionada aos impactos na emissão de poluentes.

Neste contexto o presente estudo pretende verificar o impacto da implantação do BRT Sul, na emissão de poluentes, somente pela comparação dos dados técnicos e operacionais do Eixo Sul nas situações antes e depois da implantação do sistema, servindo como um indicativo sobre em que medida a racionalização do sistema e a mudança de tecnologias, por si só, podem contribuir para a redução da emissão de CO_2.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Sistema de *Bus Rapid Transit* e emissões de gases poluentes pelo mundo

O BRT é um sistema de transporte público de passageiros operado por ônibus, com eficiência e alta qualidade, proporcionando capacidades e velocidades comparáveis com o sistema VLT. A sua inserção nos sistemas de transporte urbano é relativamente recente e, como resultado, continua a ser necessário introduzir o conceito em várias conferências a respeito desse assunto, em particular os decisores de transportes urbanos, para melhor compreender o seu custo, desempenho e impactos (Carrigan *et al.*, 2013).

O BRT contribuiu para uma transformação do transporte urbano na última década. Hoje, cerca de 205 cidades ao redor do mundo implementaram 5.600 quilômetros de trânsito rápido de ônibus ou corredores de ônibus de alta qualidade que fazem mais de 30 milhões de viagens diárias de passageiros. O crescimento global do BRT tem sido bastante acelerado nos últimos anos. No período entre 1991 a 2000, apenas 20 cidades implementaram novos BRT's ou ônibus, enquanto que a partir de 2001, 164 cidades implementaram BRT (BRTdata, 2017).

Os sistemas de BRT de alta qualidade podem afetar a qualidade de vida, a produtividade, a saúde e a segurança das pessoas que vivem nas cidades. Esses impactos foram explorados em profundidade variável em diversas pesquisas, como benefícios de tempo de viagem, impactos ambientais e benefícios de saúde pública e segurança.

2.2. Estudo de caso BRT Sul no Distrito Federal

Em 24 de maio de 2016 foi lançado pelo atual governo do Distrito Federal, o Circula Brasília - Programa de Mobilidade Urbana do Distrito Federal, que dá prioridade ao transporte não motorizado e a investimentos em transporte coletivo, onde são considerados sete corredores de ônibus com infraestrutura de BRT. Dos corredores apenas o Eixo Oeste está parcialmente implantado e não opera em sistema BRT, e o Eixo Sul está parcialmente implantado e operando em sistema BRT.

O PDTU/DF de 2010, propôs o Sistema de Transporte do Eixo Sul, que liga as regiões administrativas do Gama e Santa Maria ao Plano Piloto, através de tecnologia diferenciada para ônibus, proporcionando maior agilidade. O modelo operacional proposto corresponde a um corredor de transporte coletivo de alto desempenho, que corresponde ao BRT Sul, com serviço básico tronco alimentado e com integração físico-tarifária.

Existem dois terminais previstos no gama e um terminal previsto para Santa Maria, localizado a margem da BR-040, e diversas estações para embarque e desembarque de passageiros ao longo do corredor. No Plano Piloto o corredor se interliga a três terminais sendo um no final da Asa Norte, um no final da Asa Sul junto a Estação de Integração Asa Sul do Metrô/DF (Terminal Asa Sul – TAS) e na Rodoviária do Plano Piloto.

O Sistema BRT Sul foi implantado parcialmente com a construção dos terminais de Gama e de Santa Maria, e construção das pistas exclusivas para ônibus no trecho rodoviário até o início da Asa Sul, onde o sistema passa a operar em tráfego compartilhado, no percurso até a Rodoviária do Plano Piloto. Porém os terminais da Asa Sul (TAS) e o da Asa Norte (TAN) ainda não foram construídos.

2.3. Metodologias de avaliação de redução de emissões

Existem diferentes metodologias de cálculo de economias diretas de emissão de GEE para projetos de transporte público, elas se diferem pelos fatores que compõem seu cálculo e também pelo período de análise, antes ou depois da implantação do projeto.

A metodologia *Clean Development Mechanism* (CDM) foi proposta pelo Painel de Convenção de Mudanças Climáticas das Nações Unidas (UNFCCC), ela calcula a redução de emissões como a diferença entre as emissões produzidas pelo projeto e as emissões que os passageiros do projeto teriam produzido se eles tivessem utilizado outros modais, ou seja, a metodologia pressupõe que, no caso base, o mesmo número de passageiros que agora usam o BRT teriam

feito a mesma viagem, com a mesma distância através de outro modo de transporte.

A metodologia proposta pela *Global Environment Facility*, chamada de *Transportation Emissions Evaluation Model for Projects* – TEEMP, fornece uma estimativa ex-ante de impactos diretos de redução de GEE e tem foco em países emergentes, leva em consideração algumas características tecnológicas e ambientais para cada um dos modos de transporte existentes no sistema, como o tipo de motor, combustível utilizado, fator de consumo de combustível, a ocupação do modal, a sua velocidade média, fator de emissão de GEE e poluentes locais para cada tipo de combustível e motor (Oliveira et al., 2014).

Contudo, o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) é o principal organismo científico internacional de avaliação das mudanças climáticas. O relatório de diretrizes do IPCC para inventários de gases de efeito estufa fornece orientação aos países na compilação de inventários nacionais de GEE sendo estruturado de maneira que qualquer país seja capaz de produzir estimativas de emissões e remoções desses gases (IPCC, 2006). Esse método será explorado no estudo de caso apresentado neste trabalho.

As diretrizes do IPCC são adotadas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) na elaboração de metodologia referencial nacional para produção de inventários de fontes poluidoras do ar, por meio do Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR), instituído pela Resolução CONAMA nº 5 de 1989. Dentre estes inventários destaca se o 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos automotores rodoviários (MMA: 2011).

Há fatores que devem ser considerados na avaliação da frota de ônibus rodoviário, como: tecnologia do motor, porte e tipo de uso do veículo, idade do veículo, projeto e materiais do sistema de alimentação de combustível, tipo e qualidade do combustível (pressão de vapor), condições de manutenção e condução, além de fatores meteorológicos (pressão e temperatura ambientes) (MMA: 2011). Como parâmetro adotado pelo MMA (2011), a curva de sucateamento dos ônibus urbanos utilizados no transporte coletivo, destaca-se a média de 20 anos de uso dos mesmos. De acordo com o Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), em 2009 os ônibus coletivos, que se encontravam em operação, obedeciam a fase "P5" do PROCONVE.

Foi também considerado o documento do IPEA, Emissões Relativas de Poluentes do Transporte Motorizado de Passageiros nos Grandes Centros Urbanos, que apresenta uma metodologia de cálculo das emissões relativas de gases de efeito com base nas emissões unitárias médias dos veículos automotores e na matriz modal de deslocamentos, para determinação do índice CO_2 por passageiro por quilômetro.

3. METODOLOGIA

3.1. Cálculo de emissão de CO_2

Para a avaliação da emissão de CO_2 no BRT Eixo Sul, do Distrito Federal, utilizamos uma metodologia dividida em duas etapas: (1) Cálculo das emissões de CO_2 no Corredor Eixo Sul em março de 2009 (situação antes da implantação do BRT Eixo Sul) e (2) Cálculo de emissões de CO_2 pelo BRT Eixo Sul em março de 2016 (já implantado parcialmente). Cabe ressaltar que a metodologia aqui adotada não está levando em consideração outros gases poluentes além do CO_2 e emissões indiretas.

Para a avaliação nestes dois cenários utilizamos as diretrizes do IPCC, que de acordo como o relatório de Diretrizes para Inventários de Gases de Efeito Estufa, em seu volume 2, dedicado a Energia, no capítulo "Combustão Móvel" apresenta um método para a estimativa das emissões de GEE dos combustíveis usados no transporte rodoviário. As emissões podem ser estimadas pela distância percorrida pelos veículos ou por meio de qualquer combustível consumido. No presente estudo aplicamos o nível 2 do método IPCC que permite utilizar os dados específicos nacionais para fatores de emissão de acordo com os diferentes tipos de veículos por meio da Equação 1:

$$ConsumoComb = \sum i,j,t\ (Veículos\ i,j,t \times Distância\ i,j,t \times Consumo\ i,j,t) \quad (1)$$

em que ConsumoComb: consumo de combustível total estimado, a partir de dados de distância percorrida por veículos [L];
Veículos i,j, t: número de veículos do tipo i, com combustível tipo j em via tipo t;
Distância i,j,t: distância mensal percorrida por veículos do tipo i, com combustível tipo j em via, tipo i;
Consumo i,j,t: consumo médio de combustível por veículo tipo i, com combustível j em via tipo t [Km].
Onde, i:ônibus rodoviário urbano, j: diesel e t: tipo da via

Para determinação das emissões de CO_2, utilizamos o nível 1 do método IPCC, segundo Equação 2, que permite o uso do fator de emissões relacionado ao consumo de combustível calculado na Equação 1 para determinação do total de emissões:

$$Emissões = \sum a(ConsumoComb\ a \times FEa) \quad (2)$$

em que Emissões: emissões de CO_2 [kg];
ConsumoComb: consumo de combustível total estimado [L] ;
FEa: fator de emissão [kg/L] e a: tipo de combustível (diesel).

Para determinação das emissões por passageiro quilometro do modal, pela metodologia do IPEA, utilizamos a Equação 3:

$$Epkm = Ekm/Oc \quad (3)$$

em que: Epkm – emissões por passageiro quilometro do modal (kg de CO2 /pass.km);
Ekm- emissões quilométricas de carbono do modal (kg de CO2 /km);
Oc- Ocupação média do modal (passageiros).

3.2. Obtenção e tratamento de dados operacionais

Para avaliação do transporte coletivo no Eixo Sul, na situação antes da implantação do BRT Sul, foram utilizados os dados operacionais relativos ao mês de março/2009, do Relatório Técnico elaborado em junho/2009 pelo Grupo de Trabalho (Portaria Nº 35/2009 – ST), integrante do Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica do BRT Eixo Sul (GDF:2009), que foi desenvolvido com o objetivo de rever o quantitativo e a especificação técnica dos veículos a serem utilizados nos corredores de transporte urbano de serviços básicos do DF. A partir desse documento foram extraídos o volume total de passageiros transportados e a quilometragem total rodada para o mês de março/2009.

Para avaliação da situação depois da implantação do BRT Sul, foram obtidos diretamente da consulta ao DFTtrans, os dados operacionais do Eixo Sul para situação de março/2016, como frota, tipo de veículo, quilometragem rodada e passageiros transportados para as linhas do Gama e Santa Maria, separadas em linhas alimentadoras e distribuidoras, linhas do BRT (que operam no corredor exclusivo de ônibus) e linhas remanescentes que ainda não foram

seccionadas para atender ao novo modelo, uma vez que o BRT está parcialmente implantado.

As linhas que fazem ligação entre Gama e Santa Maria a outros núcleos do Distrito Federal, como Ceilândia, Taguatinga e Águas Claras não serão integradas ao sistema BRT Sul. Dessa forma todas as linhas que operavam em março/2009 foram comparadas com todas as linhas que operavam em março/2016 no Eixo Sul na situação antes e depois do BRT Sul implantado parcialmente.

4. RESULTADOS

Utilizando as equações fornecidas pelo IPCC, os parâmetros retirados do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA:2013) e os dados colhidos para os dois cenários em discussão (GDF:2009 e DFTrans:2016) e a metodologia do IPEA foram feitos:

- Cálculo das emissões de CO2 no Corredor Eixo Sul em março de 2009 (situação antes da implantação do BRT Eixo Sul) e
- Cálculo de emissões de CO_2 pelo BRT Eixo Sul em março de 2016 (implantado parcialmente).

4.1 - Emissões de CO_2 no Corredor Eixo Sul em março de 2009

Os dados públicos disponibilizados no Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica do BRT Eixo Sul (GDF:2009) contêm os quantitativos do volume de passageiros, frota de veículos, passageiros equivalentes mês, índice de passageiros por quilômetro (IPK) e quilometragem total para o mês de referência de março de 2009, como pode se observar na Tabela 1.

Tabela 1: Oferta e demanda no corredor Eixo Sul em março de 2009

	Linhas Alimentadoras e Distribuidoras	Troncal	Total Eixo Sul
Frota	140	264	404
Km Mês	1.568.948	1.448.134,00	3.017.082
PAX EQUI. Mês	1.508.558	1.558.360	3.066.918
IPK Equiv.	0,96	1,08	1,02
PAX Total Mês	1.704.670	1.760.947	3.465.617
PAX Dia	63.136	65.220	128.356
PAX Pico	13.158	13.592	26.750
Pax Hora Pico	19.736	20.388	40.124

Fonte: Governo do Distrito Federal,2009.

O veículo tipo de operação em março de 2009 é o ônibus rodoviário tipo convencional, com potência do motor de 215 c.v., duas portas a direita, piso normal, comprimento de 12 m, acessibilidade para uma cadeira de rodas, com capacidade de transporte de 80 passageiros, com 10% de assentos preferenciais, com motor dianteiro e vida útil de 84 meses (7 anos). O consumo de combustível desse veículo é de 0,33 L/km de óleo diesel, tendo como fator de emissão de CO_2 igual a 2,6 $KgCO_2/L$ (MMA: 2013). Nesse cenário partimos do princípio de que os dados operacionais relativos as linhas troncais representavam as linhas de ligação ainda operando com ônibus do tipo convencional e como resultado obtivemos os dados constantes na Tabela 2, a seguir:

Tabela 2: Geração de CO_2 no Corredor Eixo Sul em março de 2009

Consumo de Combustíveis no Troncal (L)	Consumo de Combustiveis nas A/ D (L)	Geração de CO_2 Troncal (Kg)	Geração de CO_2 A/D (Kg)	Geração de CO_2 Total (Kg)
482.228,62	522.459,68	1.253.794,42	1.358.395,18	2.612.189,60

Fonte: Elaborado a partir de GDF (2009) e MMA (2013) - A/D - Alimentadoras e Distribuidoras

A Tabela 3 traz a geração de CO_2 nas linhas Troncais do Eixo Sul e nas linhas alimentadoras e distribuidoras, pelos resultados obtidos verificamos, que neste horizonte de estudo a produção de CO_2 nas alimentadoras e distribuidoras foi maior que no troncal. Pode se atribuir esse resultado a uma maior quilometragem rodada produzida pelas linhas alimentadoras e distribuidoras, e consequentemente ao maior consumo de combustível em relação as linhas troncais. Ao relacionar a geração do CO_2 pelos passageiros transportados nas Linhas Troncais e nas Linhas Alimentadoras e Distribuidores pode se aferir o volume de CO_2 gerado por passageiro por quilometro, considerando a ocupação dos veículos, conforme equação 3, cujo resultado está expresso na Tabela 3, que traz a geração de CO_2 por passageiro por quilômetro:

Tabela 3: - Geração de CO_2 por passageiro por quilometro em março de 2009

Passageiros Transportados na Troncal	Passageiros Transportados nas A/D	Geração de CO_2 por Passageiro (Kg/ pass.km) Troncal	Geração de CO_2 por Passageiro (Kg / pass.km) A/D
1.760.947	1.704.670	0,011	0,011

Fonte: Elaborado a partir de GDF (2009), MMA (2013) e IPEA(2011) - A/D - Alimentadoras e Distribuidoras

A quantidade de CO_2 gerada por passageiro por km no Troncal e nas linhas alimentadoras e distribuidoras são iguais. Em virtude de serem considerados o mesmo tipo de veículo em operação e da proximidade da quilometragem rodada, no mês de março de 2009, nos dois ambientes de trafego.

4.2 - Emissões de CO_2 no BRT do Corredor Eixo Sul em março de 2016

Para cálculo da emissões de CO_2 na situação de março/2016 foram utilizados os dados operacionais obtidos por consulta direta ao DFTrans. Os dados relativos as linhas alimentadoras e distribuidoras incluem também os dados relativos as linhas convencionais que ainda não foram incorporadas ao BRT Sul, mas que estavam operando no Eixo Sul em março 2016, e as linhas relativas ao BRT, são aquelas operadas por ônibus articulados e pista exclusiva do BRT, representados na Tabela 4.

Tabela 4: Dados operacionais do Eixo Sul (BRT Sul) em março 2016

Quilometragem Rodada no mês (Km/Mês)		Passageiros Transportados no mês (Pass/Mês)	
A/ D (*)	BRT	A/ D	BRT
1.758.948,00	594.688,48	2.796.569,00	1.178.906,00

Fonte: DFTrans, consulta direta realizada em maio/2017 (*) A/ D - Alimentadoras e Distribuidoras

O veículo tipo de operação em março de 2016 para o BRT, é o ônibus rodoviário articulado com motor entre os eixos, movido a diesel, com potência do motor de 310 c.v., piso rebaixado, comprimento de 18,6 m, acessibilidade para uma cadeira de rodas, com capacidade de

transporte de 160 passageiros e com 10% de assentos preferenciais. O fator de consumo de combustível diesel para o veículo BRT é de 0,61 L/km e o fator de emissão de CO_2 é de 1,725 kg/km, estimado pelo PROCONVE na fase P7 e constante em UFRJ (2012).

Para as linhas alimentadoras e distribuidoras, o veículo tipo é o ônibus rodoviário Padron, com motor traseiro, movido a diesel, que atende aos limites de emissão PROCONVE P5, potência do motor de 230 c.v., duas portas a direita, piso rebaixado, comprimento de 12 m, acessibilidade para uma cadeira de rodas, com capacidade de transporte de 80 passageiros, com 10% de assentos preferenciais, com motor dianteiro e vida útil de 84 meses (7 anos). O consumo de combustível desse veículo é de 0,33 L/km de óleo diesel, tendo como fator de emissão de CO_2 igual a 2,6 kgCO_2/L (MMA: 2013). Com posse dos dados fornecidos pelo DFTrans e os parâmetros da frota no horizonte de março de 2016, obtivemos os resultados contantes na Tabela 5, a seguir.

Tabela 5: Geração de CO_2 no BRT Eixo Sul em março de 2016

Consumo de Combustíveis no BRT (L)	Consumo de Combustíveis nas A/D (L)	Geração de CO_2 BRT (Kg)	Geração de CO_2 A/D (Kg)	Total Geração de CO_2 (Kg)
360.417,26	585.729,68	621.719,77	1.522.897,18	2.144.616,95

Fonte: Elaborado a partir dos dados do DFTrans (2016) e MMA (2013) (*) A/ D - Alimentadoras e Distribuidoras

Destaca se neste cenário a redução da emissão de CO_2 no Eixo Sul, em relação ao gerado em março de 2009, constante na Tabela 1. Cabe ressaltar a diminuição da geração de CO_2 em março de 2016 nas linhas alimentadoras, em relação ao gerado em março de 2009, uma das hipóteses levantadas diz a respeito da reorganização e racionamento das linhas existentes antes da implantação do BRT Eixo Sul. Na divisão do total da geração do CO_2 pelo total de passageiros transportados por quilometro nas linhas do BRT e nas Linhas Alimentadoras e Distribuidores pode se aferir o volume médio de CO_2 gerado por passageiro transportados por quilometro conforme tabela 6:

Tabela 6: Geração de CO2 por passageiro no BRT Eixo Sul em março de 2016

Passageiros Transportados no BRT	Passageiros Transpotados nas A/D	Geração de CO_2 por Passageiro (kg de CO_2 /pass.km) BRT	Geração de CO_2 por Passageiro (kg de CO_2 /pass.km) A/D
1.178.906	2.796.569	0,007	0,011

Fonte: Elaborado a partir dos dados do DFTrans (2016), MMA (2013) e IPEA (2011)

Em contrapartida, verificamos na Tabela 6 a redução do fator CO_2/passageiro.km nas linhas do BRT e manutenção do mesmo fator nas alimentadoras e distribuidoras, se comparados aos dados de março/2009. Com os dados obitidos, elaboramos a Tabela 7 visando fazer um comparativo entre as situação de antes e depois da implantação do BRT Sul e em seguida a Figura 1, com os resultados da tabela final.

Tabela 7: Comparação da Geração de CO_2 no Eixo Sul em março de 2009 e março de 2016

Item	SITUAÇÃO MARÇO/2009			SITUAÇÃO MARÇO/2016			Variação	Variação %
	A/D	Troncal	TOTAL	A/D	BRT	TOTAL		
Km Mês	1.568.948	1.448.134	301.082	1.758.948	594.688	2.353.636	663.445,5	21,9%
Total Passageiros/Mês	1.704.670	1.760.947	3.465.617	2.796.569	1.178.906	3.975.475	509.858	14,7%
Consumo Combustível (L)	522.459,7	482.228,6	1.004.688,3	585.729,7	360.417,3	946.146,9	58.541,4	5,8%
Geração CO_2 (Kg)	1.358.395,2	1.253.794	2.612.189,2	1.522.897	621.720	2.144.617	467.572,6	17,9%
Geração CO_2 / Passageiro.km (Kg/pass.km)	0,011	0,011	--	0,011	0,007	--	--	--

Fonte: Elaborado a partir dos dados do DFTrans (2016), MMA (2013) e IPEA (2011)

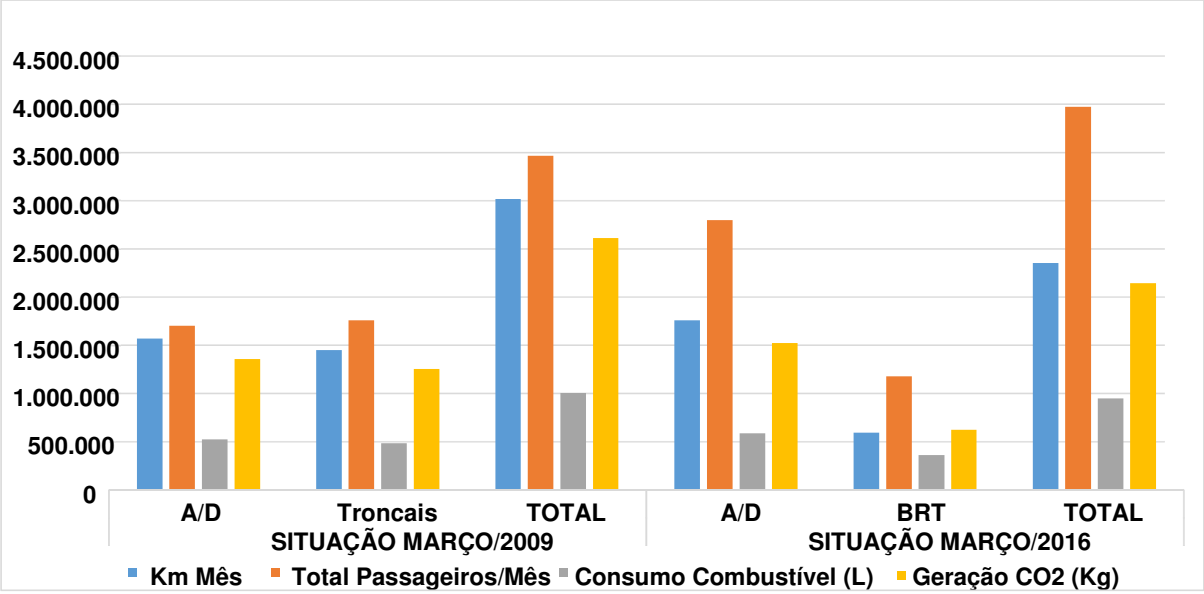


Figura 1: Comparação da Geração de CO_2 no Eixo Sul em março de 2009 e março de 2016

A partir da comparação dos resultados do cenário (1) referência março/2009, sem a implantação do BRT e cenário (2) referência março/2016, com implantação parcial do BRT Sul, constantes na Tabela 7 e a Figura 1, podemos fazer as seguintes inferências:

Com a implantação do BRT e racionalização das linhas que circulam no Eixo Sul, registra-se uma redução de 663.445,52 km mês (22%) da quilometragem total percorrida pelas linhas.

Com variação marcante no número de passageiros transportados, no período em estudo, verifica-se um aumento no total de passageiros transportados por mês da ordem de 14,7%. O que se alinha a tendência de crescimento verificada nos últimos anos, conforme IBGE (2017), em que se verifica um crescimento populacional do Distrito Federal no período entre os censos de 2010 e 2016 num percentual aproximado de 16%. A atratividade do sistema integrado, a operação em via segregada e preferencial, pelo menos no trecho entre as cidades satélites e o Plano Piloto, destaca-se como um fator de aumento dos passageiros transportados no transporte coletivo no Eixo Sul.

Comparando se o consumo de combustível entre março de 2009 e março de 2016 observou se uma variação negativa em termos gerais. Apesar do fator de consumo de combustível do veículo convencional ser menor (0,33 L/km de óleo diesel), se comparado ao fator de consumo de combustível diesel para o veículo BRT (ônibus articulado - 0,61 L/km). Isso decorre da redução da quilometragem percorrida, em razão do racionamento das linhas que trafegam no Eixo Sul.

Podemos acrescentar que, com a mudança tecnológica do equipamento rodante, ônibus articulados em conformidade com as especificações da Fase P7 do PRONCONVE, aumento da capacidade transportada de passageiros por veículo e menor fator de emissão de CO_2 por veículo, reflete na redução do consumo de combustível da ordem de quase 6%.

A redução de cerca de 18% na emissão total de CO_2 (kg), se deve, porque o veículo articulado apesar de consumir mais combustível (diesel), se comparado ao veículo convencional e ao Padron, emite menos CO_2 (kg/L) por litro de combustível e ainda transporta um número maior de passageiros. Tais fatos refletem na condição de mesmo com o aumento do número de passageiros transportados por mês houve uma redução de cerca de 28% de produção de CO_2 por passageiros transportados.

Por fim, o BRT Eixo Sul pôde reduzir cerca de 0,004 na geração de CO_2/passageiro.km, esse número pode parecer insignificante, porém quando se pensa na grande quantidade de passageiros que são transportados por ano e a redução de emissões que isso gera, esse número é bem significativo. Comparando com estudos anteriores, como o estudo do Ipea (2011) e Oliveira (2014), chegaram a valores de emissão de 0,0160 e 0,0193 Kg de Co_2/passageiro.km, respectivamente, conclui-se que os resultados encontrados no presente trabalho estão coerentes. Mesmo sabendo que diferentes premissas podem ter sido adotadas é importante ter valores de referência para comparação, principalmente no quesito ordem de grandeza.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A variável ambiental deve ser tomada como parâmetro no desenvolvimento e implantação de sistemas de transportes coletivos urbanos, pelos resultados apresentados verifica-se, um ganho relevante na redução de emissões de CO_2 de um sistema tronco alimentador em comparativo a um sistema convencional. A redução de cerca de 6% no consumo de combustível e de 18% nas emissões totais, entre março de 2009 e março de 2016, no sistema de transporte do Eixo Sul demonstra um ganho ambiental.

Outro ponto a se depreender dos resultados encontrados é como aumento da capacidade, melhoria da tecnologia dos motores do veículo de operação, resulta em uma maior adequação à demanda e na racionalização das linhas, significa que transportar mais passageiro em um menor número de linhas, do ponto de vista de redução de CO_2, apresenta vantagens.

A redução de CO_2 gerado por passageiro, no intervalo estudado, se alinha com esta premissa, o que significa que para efeitos contributivos à qualidade do ar e suas implicações para a saúde humana e bem estar, o sistema tronco alimentador apresenta-se como uma estratégia positiva do ponto de vista operacional e de infraestrutura do transporte público coletivo.

Como recomendação, com base neste estudo, projetamos que a implantação em totalidade do BRT Eixo Sul e sua priorização dentro do Plano Piloto tende a trazer maiores contribuições, no que concerne a redução de emissão de CO_2, como resultado da otimização e racionalização do

sistema. A solução encontrada de substituição de um modal de baixa por um de média capacidade, tem se mostrado como fator de melhoria para o sistema de transporte e para o meio ambiente do ponto de vista de redução das emissões de CO_2.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALKOKIN, P., e ERGUN, M. (2012). Istanbul Metrobüs: first intercontinental bus rapid transit. Journal of Transport Geography, Vol. 24, pp. 58-66.

Bocarejo, J.P., Portilla, I., & Pérez, M.A. (2012). Impact of Transmilenio on density, land use, and land value in Bogotá.

BRTdata (2017) Disponível em: <http://brtdata.org/> Acesso em junho de 2017.

CARRIGAN, A.; KING, R.; VELÁSQUEZ, J. M.; DUDUTA, N. e RAIFMAN, M. (2013) Social, Environmental and Economic Impacts of Bus Rapid Transit. World Resources Institute.

COPPE/UFRJ (2012) Alternativas tecnológicas para ônibus no Rio de Janeiro.

COSTA, M. A. O.; SPOSTO, R. M.; CALDAS, L. R. e OLIVEIRA, G. T. (2016) Estimativa da Redução de Emissões Atmosféricas com a Implantação do BRT: Estudo de caso para Brasília e Cidades Satélites. *Anais do XXX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Rio de Janeiro.

GDF (2009) Relatório final do estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental (EVTEA)

Hook, W., Kost, C., Navarro, U., Replogle, M., e Baranda, B. (2010) Carbon Dioxide Reduction Benefits of Bus Rapid Transit Systems. Transportation Research Record: *Journal of the Transportation Research Board*, 2193(-1), 9–16. doi:10.3141/2193-02

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017). Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/df/brasilia/panorama> acessado em: 20/06/2017

IEA *Transport, energy and CO2.* International Energy Agency. (2009). Disponível em <http://www.iea.org/publications/freepublications/ publication/transport2009.pdf> Acesso em junho/17.

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change, National Greenhouse Gas Inventories Programme. (2006) IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Japão: IGES, 2006.

IPEA Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2011) Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros.

Mano, M. K. (2011) Mobilidade Urbana- O carro ainda é prioridade. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada-IPEA. Edição 67. São Paulo.

MMA. (2013). Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários - v. 2013, ano -base 2012.

MMA. (2017) Acordo de Paris <http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris> acessado em 12/06/2017.

Motta, R. A. (2009) Benefícios Ambientais em Decorrência da Implantação de Sistemas de Transporte Rápido e de Alta Capacidade de Ônibus – O Caso do Transmilênio. COPPE/RJ. Rio de Janeiro.

OLIVEIRA, G. T.; ANDRADE, C. E. S.; LEAL, I. C. L.; NASSI, C. D. e LINKE, C. C. (2014) Redução de Emissões de Dióxido de Carbono com a Implementação do BRT Transoeste na cidade do Rio de Janeiro. *Anais do XXVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Curitiba.

PDTU/DF (2011) Plano Diretor de Transporte Urbano e Mobilidade do Distrito Federal – PDTU/DF - Lei Distrital nº 4.566, aprovada em 04 de maio de 2011

Turner, M.; Kooshian, C. e Winkelman, S. (2012) Case Study: Colombia's Bus Rapid Transit (BRT) Development and Expansion - *An Analysis of barriers and critical enablers of Colombia's BRT systems.*

VAZ, E. e VENTER, c. (2012) The effectiveness of bus rapid transit as part of a poverty-reduction strategy: some early impacts in Johannesburg.

Wöhrnschimmel, H.; Zuk, M.; Martínez-Villa, G.; Cerón, J.; Cárdenas, B.; Rojas-Bracho, L. e Fernández-Bremauntz, A., (2008). The impact of a Bus Rapid Transit system on commuters' exposure to Benzene, CO, PM2.5 and PM10 in Mexico City.

Ana Cecília Parisi (ana-parisi@uol.com.br)
Augusto Cesar de Mendonça Brasil (ambrasil@unb.br)
Camila Padovan da Silva (eng.camilapadovan@gmail.com)
Eduardo da Silva Pereira (edu_engenheiro@yahoo.com.br)
Fabiana Serra de Arruda (farruda@unb.br)
Programa de Pós-Graduação em Transportes, Anexo SG-12, 1° andar, Campus Universitário Darcy Ribeiro – Asa Norte, Universidade de Brasília, CEP:70910-900, Brasília, DF, Brasil

ATRIBUTOS PARA IMPLANTAÇÃO DE PEDÁGIO URBANO: UMA AVALIAÇÃO SOB A ÓTICA DE ESPECIALISTAS DA ÁREA DE TRANSPORTE

Leise Kelli de Oliveira
Sayonara Lopes de Souza
Leandro Cardoso
Caio Henriques de Oliveira Lobo Cordeiro
Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG
Renata Lúcia Magalhães de Oliveira
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG

RESUMO
Neste artigo é apresentado um estudo que elenca os atributos declarados como mais importantes para os especialistas em transportes do Brasil em relação a implementação do pedágio urbano. Os atributos foram construídos com base na literatura. Por meio de uma pesquisa direta, obtiveram-se as percepções desses especialistas sobre o instrumento de gestão da demanda em análise. Os dados foram obtidos por meio da aplicação de um questionário e analisados pela aplicação de técnicas de análise fatorial exploratória e pelo método dos intervalos sucessivos. Os resultados indicam que o pedágio urbano pode ser uma medida de gestão da demanda eficiente e bem aceita, desde que a receita arrecadada seja revertida em melhoria dos sistemas de transporte público por ônibus e trilhos e na infraestrutura para o transporte não-motorizado, com efetiva participação popular no processo decisório.

ABSTRACT
In this paper, we present a study that ranks the important attributes considered for urban toll implementation regarding the opinion of transportation experts. The attributes designed were based on the literature review. Through direct inquiry, we obtained the experts' perceptions of the effectiveness of urban toll areas as a travel demand management measure. The data was collected through a survey and analyzed using Exploratory Factor Analysis and using the Successive Intervals Scaling. The results indicate that urban toll areas may be an effective travel demand management tool and that it may also be well accepted if the charging fees are invested on the enhancement of public transportation (buses and rail) and of the infrastructure dedicated to non-motorized modes. The effective popular participation in decision making is also mandatory.

1. INTRODUÇÃO

O aumento da frota de automóveis e a ineficiência do transporte público estão entre os fatores que impactam a (i)mobilidade urbana, agravam os congestionamentos de trânsito e a degradação ambiental (Vasconcelos, 1996; 2000), geram impactos negativos sob aspectos sociais, econômicos e ambientais na qualidade de vida dos cidadãos (Gomide, 2003). Para Brinco (2006), o paradigma de um desenvolvimento centrado no automóvel incorpora um viés que atua em detrimento do transporte público coletivo. Adicionado a isso, os sistemas de transporte público não conseguem atrair os usuários cativos do automóvel devido à precariedade em relação à qualidade dos serviços ofertados. Apesar de alguns investimentos no setor considerando-se as principais capitais brasileiras, não houve inversão desse cenário. Tem-se como exemplo a recorrência de medidas ao estímulo, inclusive governamentais, direcionadas à aquisição e uso de veículos individuais (motorizados).

Assim, visando reduzir as externalidades negativas associadas ao excesso de veículos nas cidades, é necessária a elaboração e implementação de políticas para o desestímulo ao uso do transporte individual motorizado, dentre as quais encontram-se a gestão da circulação e de estacionamento, que têm se tornado cada vez mais usuais, sobretudo no cenário internacional. Destacam-se, como principais mecanismos de controle de circulação: a taxa de congestionamento ou pedágio urbano de regulação e a restrição regulamentar da circulação por placas de licenciamento ou rodízio de veículos. Em relação às medidas de controle de

estacionamento, as iniciativas mais observadas são de caráter físico (restrição da oferta de vagas), regulamentar (limitação de horário ou de estacionamento por determinados tipos de veículos ou usuários) e fiscal (cobrança pelo estacionamento) (Gomide e Morato, 2011).

Neste artigo é abordado o pedágio urbano como um mecanismo de controle de circulação e de gerenciamento da demanda, visto que a oferta de capacidade viária em áreas adensadas e com saturação do tráfego não pode ser considerada como solução viável e sustentável para as cidades (Goh, 2002). Segundo Goh (2002), o pedágio urbano é a melhor forma de reduzir as externalidades negativas relacionadas ao tráfego urbano, embora o seu funcionamento dependa da aceitabilidade da população, comprometimento do poder público, análise dos custos e benefícios da implantação, além da melhoria contínua do transporte público coletivo.

No contexto brasileiro, a Lei nº 12.587/2012 estabelece respaldo jurídico sobre a possibilidade legal de cobrança de tributos pela utilização da infraestrutura viária, abrindo a possibilidade de adoção do pedágio urbano nas cidades, como instrumentos de gestão do sistema de transporte e da mobilidade urbana (Brasil, 2012). Além disso, essa Lei determina que a aplicação das receitas arrecadadas sejam direcionadas a projetos de infraestrutura urbana focadas na oferta do transporte público coletivo e do não motorizado e também para o financiamento do subsídio da tarifa de transporte público (Brasil, 2012). Entretanto, pouco se conhece sobre a percepção de especialistas da área de transportes acerca da efetividade do pedágio urbano como instrumento de gestão da demanda. Assim, é objetivo deste trabalho analisar o posicionamento de especialistas em transportes quanto à adoção do pedágio urbano , identificando e classificando os atributos que contribuem para uma avaliação favorável dessa solução.

2. CONSIDERAÇÕES SOBRE A EFETIVIDADEDO PEDÁGIO URBANO

As aceitações pública e política são consideradas essenciais para garantir o sucesso da gestão de demanda por meio de pedágio urbano (Giuliano, 1992; Bartley, 1995; Schlag e Teubel, 1997; Schade e Schlag, 2003; Sikow-Magny, 2003; May *et al*., 2010, Rentziou *et al*., 2011; Eliasson e Jonsson, 2011; Grisolía *et al*., 2015). Essa medida não é facilmente implementada quando falta apoio público. Grande oposição pública e resistência de grupos ativos foram evidentes em alguns casos, tais como em Nova Iorque (Estados Unidos) (Schaller, 2010), Manchester (Inglaterra) e Edimburgo (Escócia) (Ryley e Gjersoe, 2006). Em Estocolmo, a taxa de congestionamento (outra denominação para pedágio urbano) foi aprovada em referendo popular com 51% de aceitação e em Milão, com 79%. Por outro lado, em Manchester e Edimburgo, por meio também de um referendo, a população mostrou oposta à implantação dessa taxação para acesso às áreas centrais das cidades (Ozer, 2012).

Schlag e Teubel (1997) ressaltam que a informação, a sensibilização, a efetividade percebida, os direitos e as reivindicações individuais, a alocação de receitas e a equidade como determinantes para a aceitação pública de medidas de tarifação viária. Segundo os autores, a aceitação pode ser transformada em intenções comportamentais, mas depende muito de cada situação em particular, da possibilidade de agir em conformidade com as próprias intenções, dos custos correspondentes e dos benefícios dessa realização. Essa decisão acontece primeiramente em nível individual e, posteriormente, em nível coletivo, influenciando e reforçando as normas sociais.

Assim, de acordo com Schlag e Teubel (1997), é possível definir os princípios básicos para a

aceitação pública do pedágio urbano, a saber: (i) os objetivos do regime de tarifação devem satisfazer as preocupações do público e devem incluir benefícios ecológicos e de redução dos congestionamento; (ii) a tarifação viária tem que ser vista como a solução mais efetiva dentre as possíveis medidas de gestão da demanda de viagens; (iii) as receitas arrecadadas devem ser dadas em garantia hipotecária e as alternativas para a população devem ser asseguradas; (iv) a estrutura de implementação precisa ser de fácil utilização e de entendimento simples, o funcionamento deve completo e confiável desde o início da operação, livre de fraude e evasão, tanto deliberada como intencional; (v) o sistema necessita garantir a equidade em relação ao custo-benefício pessoal, às comparações sociais entre os utilizadores das vias e sobre eventuais desvantagens entre cidades vizinhas; (vi) o processo de implementação precisa ser transparente e com participação da população para que as pessoas adquiram confiança na efetividade da medida, na utilização das receitas, na imparcialidade, no anonimato e na preservação da privacidade.

Entretanto, para atender aos requisitos listados acima, Schlag e Teubel (1997) consideram fundamental a criação de uma estratégia de *marketing* inteligente visando a divulgação do regime de tarifação, por meios de comunicação convincentes e credíveis, com foco na população, incluindo a transparência pública na gestão do sistema.

Os fatores identificados por Schalg e Teubel (1997) e Schade e Schlag (2000, 2003) forneceram subsídios para definição das variáveis que interferem na aceitabilidade do pedágio urbano no contexto brasileiro.

3. ABORDAGEM METODOLÓGICA

Neste artigo foi adotada uma abordagem metodológica composta por duas etapas: (i) identificação dos atributos mais relevantes para a implantação do pedágio urbano; e (ii) realização de pesquisa com especialistas em transportes visando hierarquizar esses atributos e identificar aqueles que representam parâmetros importantes para o posicionamento favorável quanto ao pedágio urbano. As etapas desta pesquisa estão detalhadas nas subseções a seguir.

3.1. Etapa 1: identificação das variáveis

A revisão da literatura permitiu a identificação de alguns atributos de avaliação da mobilidade urbana, especialmente no que diz respeito ao congestionamento do trânsito e aos possíveis instrumentos e investimentos para a realização da gestão da demanda por viagens. Esses atributos foram embasadas no modelo heurístico de Schlag e Teubel (1997) e Schade e Schlag (2003). Procurou-se também compatibilizá-los com os preceitos determinados na Lei nº 12.587/2012 (Brasil, 2012) e com o Caderno de Referência para Elaboração de Plano de Mobilidade Urbana (Brasil, 2015). Os atributos estão relacionados na Tabela 1.

3.2. Etapa 2: pesquisa com os especialistas

Os dados para avaliar a percepção dos especialistas foram obtidos por meio de pesquisa do tipo *survey*, cujo questionário apresenta três seções:

- perfil dos entrevistados;
- avaliação dos atributos relacionadas à gestão da demanda por viagens (Tabela 1);
- classificação da efetividade de instrumentos de gestão da demanda por viagens.

Para avaliação dos atributos relacionadas na Tabela 1, utilizou-se a escala psicométrica de Likert, considerando cinco pontos, a saber: discordo totalmente, discordo parcialmente,

indiferente ou neutro, concordo parcialmente e concordo totalmente. Para análise das variáveis, utilizou-se análise fatorial exploratória (AFE), que é uma técnica multivariada de interdependência, cuja finalidade é definir uma estrutura comum entre as variáveis examinadas, reduzindo o número de atributos a serem analisados (Hair Júnior *et al*., 2009). Os dados foram avaliados pelo critério de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e por meio do Teste de Esfericidade de Bartlett (BTS).

Tabela 1: Atributos relacionados à aceitabilidade do pedágio urbano.

Atributo	Descrição do atributo
01	A redução dos congestionamentos é um grande desafio para o poder público diante da mobilidade urbana.
02	A melhor solução para a redução dos congestionamentos é investir em obras estruturantes para aumento de capacidade viária.
03	A melhor solução para a redução dos congestionamentos é investir em política pública de desestímulo ao uso do automóvel.
04	A melhor solução para a redução dos congestionamentos é investir em melhorias dos serviços e da infraestrutura viária do transporte público por ônibus.
05	A melhor solução para a redução dos congestionamentos é investir na implantação de transportes por trilhos (tais como: veículo leve sobre trilhos –VLT, monotrilho ou metrô).
06	Os investimentos em mecanismos para a redução dos congestionamentos são importantes para a diminuição dos tempos de deslocamentos das pessoas, para a melhoria da qualidade ambiental e para a eficiência econômica das cidades.
07	A gestão da mobilidade urbana, centrada na melhoria da fluidez dos veículos, acarreta impactos socioambientais.
08	Os automóveis, dentre os modos de transportes, são os principais responsáveis pelos elevados níveis de emissão de poluentes de efeito estufa e poluentes locais.
09	As altas concentrações de poluentes na atmosfera provenientes dos automóveis estão entre as principais causas de problemas respiratórios e cardiovasculares.
10	O pedágio urbano é uma boa solução para a redução dos congestionamentos.
11	O pedágio urbano é uma boa solução para a redução de emissão da poluição causada pelos automóveis.
12	O pedágio urbano é uma medida favorável aos usuários de transporte coletivo por ônibus, visto que pode propiciar a redução dos tempos de deslocamentos por esse modo de transporte.
13	O pedágio urbano funciona como um sistema econômico de redistribuição positiva do espaço viário, em que os usuários dos automóveis pagam pela utilização das vias urbanas, com a possibilidade de reversão das receitas arrecadadas em benefícios para a mobilidade.
14	As receitas obtidas com o pedágio urbano devem ser investidas em melhorias dos serviços e infraestrutura do transporte coletivo por ônibus.
15	As receitas obtidas com o pedágio urbano devem ser investidas em melhorias do transporte não motorizado.
16	As receitas obtidas com o pedágio urbano devem ser investidas na implantação de transporte sobre trilhos.
17	A aceitabilidade pública de pedágio urbano depende do compromisso legal da aplicação das receitas arrecadadas.
18	A participação popular no processo decisório para a implementação de pedágio urbano é essencial para garantir o êxito desse instrumento.

O índice de KMO é um avaliação estatística que resulta na sugestão da proporção de variância dos dados, que pode ser explicada por um atributo latente (Lorenzo-Seva *et al*., 2011). Segundo Hair Júnior *et al*. (2009), o índice designa o quão apropriada é a aplicação da AFE para a matriz de dados, cujos limites são definidos por Kaiser (1974) e por Hutcheson e Sofroniou (1999). O teste de esfericidade de Bartlett também é uma avaliação estatística para verificar a adequação da aplicação da análise fatorial e identifica a presença de correlações

'não nulas' entre variáveis observadas e testa a hipótese de que a matriz de correlação é uma matriz identidade. Para tanto, o teste de Bartlett examina a significância geral de todas as correlações em uma matriz de dados. O valor do nível de significância é calculado pela aproximação do qui-quadrado, em que o $p_{valor} < 0{,}05$ indica que a matriz é passível de fatoração (Tabachnick e Fidell, 2007).

Além desta técnica estatística, utilizou-se o Método dos Intervalos Sucessivos (MIS) para interpretar as percepções dos especialistas. De acordo com Providelo e Sanches (2011), o método estima a importância relativa entre as características das opiniões individuais e permite demonstrar que a distância entre as categorias possui diferenças, sendo possível verificar a falta de exatidão na atribuição de valores originais (1 a 5) para categorias. O produto final do método é a escala de 0-1 que fornece a estimativa da importância relativa das características que descrevem as variáveis analisadas. Providelo e Sanches (2011) fornecem informações sobre o método e Cordeiro (2017) detalha sua aplicabilidade.

Para a classificação dos instrumentos de gestão da demanda por viagens, considerou-se aqueles que interferem no padrão de mobilidade das pessoas e incentivam a utilização do transporte público coletivo. As opções foram compatíveis com a Lei nº 12.587/2012 (Brasil, 2012), com o Caderno de Referência PlanMob (Brasil, 2015) e com alternativas adotadas nas grandes cidades do mundo para a redução da atração de automóveis nas áreas centrais congestionadas. São elas: vias ou faixas exclusivas para o transporte coletivo; restrição de controle da oferta de vagas para estacionamento; transformação das áreas de estacionamento de veículos nas vias públicas em infraestrutura para ciclistas; incremento da oferta de calçadas e/ou *parklets* (substituir as vagas de estacionamento de carros por estruturas para espaços de lazer e convívio); rodízio de veículos; e pedágio urbano com participação popular na definição da aplicação das receitas. Os instrumentos foram ordenados considerando a sua efetividade na melhoria da mobilidade urbana.

4. RESULTADOS

O questionário foi enviado via e-mail para cada especialista participante com o *link* da pesquisa, que ficou disponível em formulário eletrônico para resposta no período de 17/09/2015 a 17/12/2015. A taxa de retorno das respostas foi de aproximadamente 50%, com a participação de 348 especialistas que atuam na área de Engenharia de Transportes. Na Tabela 2 é apresentado o perfil dos especialistas. Foi possível verificar que 69% dos respondentes têm entre 30-59 anos, 54% têm pós-graduação, 40% têm residência em Minas Gerais e 68% utilizam o carro como principal modo de transporte nos deslocamentos diários.

Os respondentes, em geral, apresentam concordância em relação aos atributos analisados nesta pesquisa. Na Tabela 3 é apresentado o nível de concordância para todos os atributos. Dentre esses, destacam-se:

- discordância de que obras estruturantes reduzem o congestionamento;
- concordância relativa de que:
  - desestimular o uso do veículo privado e investir em transporte público reduz congestionamento;
  - o pedágio urbano reduz congestionamento e níveis de poluição, sendo uma medida favorável aos usuários do transporte público coletivo;
- concordância total de que:
  - o pedágio urbano funciona como um sistema econômico de redistribuição positiva do

espaço viário;
- as receitas provenientes com o pedágio urbano devem ser investidas na melhoria dos transportes público por ônibus e não-motorizado.

Tabela 2: Perfil dos especialistas respondentes.

Questão	Resposta	Percentual
Idade	29 anos ou menos	18%
	30-39 anos	25%
	40-49 anos	21%
	50-59 anos	23%
	60-69 anos	10%
	70 anos ou mais	1%
Escolaridade	Doutorado	17%
	Mestrado	35%
	Especialização	28%
	Graduação	15%
	Ensino Fundamental	3%
Unidade de Federação	Distrito Federal	9%
	Minas Gerais	40%
	Rio de Janeiro	13%
	São Paulo	17%
	Outros	18%
Principal modo de transporte	Carro ou Moto	68%
	Não motorizado	10%
	Transporte Público	19%

Tabela 3: Nível de concordância com as afirmativas (%), considerando todos os especialistas respondentes.

Atributo	DT	D	I	C	CT
1	1%	3%	0%	31%	65%
2	42%	38%	1%	18%	2%
3	5%	14%	1%	63%	16%
4	1%	4%	0%	58%	37%
5	0%	5%	3%	60%	31%
6	1%	3%	1%	21%	75%
7	9%	10%	4%	29%	48%
8	2%	8%	3%	46%	41%
9	1%	7%	11%	48%	33%
10	8%	11%	3%	59%	19%
11	9%	13%	7%	53%	18%
12	5%	9%	5%	47%	33%
13	5%	7%	4%	38%	46%
14	2%	6%	2%	44%	46%
15	4%	11%	2%	40%	43%
16	3%	6%	8%	45%	38%
17	2%	7%	4%	31%	56%
18	3%	8%	2%	34%	53%

Importa ressaltar que a pesquisa tem respaldo na Lei nº 12.587/2012, que define prioridade para os modos não motorizados e para o transporte público (artigo 6º, inciso III). A receita do pedágio urbano pode subsidiar o transporte público, conforme artigo 9º, § 1º e § 5 (grifo dos autores):

> § 1º A tarifa de remuneração da prestação do serviço de transporte público coletivo deverá ser constituída pelo preço público cobrado do usuário pelos serviços somado à **receita oriunda de outras fontes de custeio**, de forma a cobrir os reais custos do serviço prestado ao usuário por operador público ou privado, além da remuneração do prestador.
>
> §5 Caso o poder público opte pela adoção de subsídio tarifário, o déficit originado deverá ser coberto por **receitas extratarifárias**, **receitas alternativas**, subsídios orçamentários, subsídios cruzados intrassetoriais e intersetoriais provenientes de outras categorias de beneficiários dos serviços de transporte, dentre outras fontes, instituídos pelo poder público delegante.

A partir das respostas apresentadas na Tabela 3, procedeu-se a análise fatorial exploratória. Para os dados, obteve-se o valor de 0,80 para o índice de KMO, considerado aceitável valor acima de 0,5 (Hair Júnior *et al*., 2009). Em relação ao teste BTS, verificou-se que é improvável a matriz de correlação ser uma identidade, devido ao elevado índice gerado pelo teste BTS (1.889,32) cujo nível de significância é inferior a 0,05 (-294,81) (Tabachnick e Fidell, 2007). Para os cálculos da AFE foram mantidas seis variáveis latentes, que explicam 64,3% da variância total. Na Tabela 4 são apresentadas as cargas fatoriais e a comunalidade de cada atributo original, os autovalores e as variâncias individuais e acumuladas de cada

fator. As comunalidades indicam o poder de explicação do atributo pelo fator, cujos valores variam entre 0 e 1. Os valores mais próximos de 1 refletem uma maior parcela explicada pelos fatores comuns. Na Tabela 4 estão ainda destacadas as maiores cargas fatoriais de cada um dos seis fatores extraídos e suas respectivas comunalidades, isto é, os principais atributos do ponto de vista dos especialistas a partir da análise fatorial exploratória.

Tabela 4: Resultado das cargas fatoriais.

Atributo	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	Fator 6	Comunalidade
1				-0,822			0,701
2		0,480					0,364
3	-0,717						0,557
4					-0,740		0,690
5			0,815				0,737
6				-0,790			0,671
7		-0,531					0,498
8		-0,788					0,636
9		-0,757					0,634
10	-0,885						0,795
11	-0,830						0,750
12	-0,788						0,667
13	-0,805						0,690
14					-0,697		0,671
15					-0,627		0,672
16			0,780				0,703
17						-0,453	0,568
18						-0,713	0,569
Autovalor	3,732	1,873	1,552	1,582	1,574	1,262	>1,00
Variância individual	20,7%	10,4%	8,6%	8,8%	8,7%	7,0%	
Variância Acumulada	20,7%	31,1%	39,8%	48,5%	57,3%	64,3%	>60%

Tomando como base as respostas e o perfil dos especialistas, foram realizadas análises para classificar os atributos que devem ser priorizados na implementação de pedágio urbano aplicando o Método dos Intervalos Sucessivos (MIS), descrito na metodologia. Na Tabela 5 são apresentados os resultados dessa análise considerando o modo de transporte utilizado pelos especialistas (Tabela 2). Importante ressaltar que o MIS independe do tamanho da amostra e, por isso, foi possível estratificar a amostra. Os resultados indicam que devido à alta proporção de especialistas que utilizam veículos privados (68% dos entrevistados utilizam automóvel ou moto) como principal modo de deslocamentos, os especialistas acreditam que investir em obras estruturantes para aumento da capacidade é a pior solução para reduzir congestionamentos (como: túneis, viadutos, trincheiras), apesar de contraditório visto que são estes especialistas que demandam tais obras. Em contrapartida, existe um consenso de que a gestão da mobilidade urbana, centrada na melhoria da fluidez dos veículos, acarreta impactos socioambientais (como exemplo: o aumento nas emissões de gases de efeito estufa e da poluição atmosférica, sonora e visual).

Na Figura 1 é apresentada análise similar para cada Unidade de Federação (UF) de origem dos entrevistados. Destacam-se os melhores e piores o atributo: no Distrito Federal e no Rio de Janeiro, o atributo 6 (melhoria da fluidez para melhoria socioambiental), em Minas Gerais o atributo 5 (transporte sobre trilhos) e em São Paulo, o atributo 4 (investimento em infraestrutura para o transporte público por ônibus). Em contrapartida, são consideradas com

melhor desempenho o atributo 13 (pedágio urbano funciona como um sistema econômico de redistribuição positiva do espaço viário, em que os usuários dos automóveis pagam pela utilização das vias urbanas, com a possibilidade de reversão das receitas arrecadadas em benefícios para a mobilidade urbana) no Distrito Federal, o atributo 6 (melhoria da fluidez para melhoria socioambiental) em Minas Gerais, o atributo 18 (A participação popular no processo decisório para a implementação de pedágio urbano é essencial para garantir o êxito deste instrumento) no Rio de Janeiro e o atributo 16 (As receitas obtidas com o pedágio urbano devem ser investidas na implantação de transporte sobre trilhos) em São Paulo. Destaca-se neste resultado a divergência espacial entre visão e opinião dos especialistas que direcionam diferentes e divergentes políticas públicas.

Tabela 5: Valores dos atributos no intervalo 0-1, considerando o modo de transporte.

Atributo	Geral		Transporte Privado		Transporte Público		Transporte Não Motorizado	
	Média	Escala 0-1	Média	Escala 0-1	Média	Escala 0-1	Média	Escala 0-1
1	4,55	0,92	3,14	0,79	4,36	1,00	4,50	0,04
2	2,01	0,00	1,44	0,00	1,84	0,37	1,56	0,85
3	3,70	0,56	2,53	0,55	3,51	0,78	3,82	0,53
4	4,26	0,86	2,92	0,87	4,14	0,40	4,29	0,00
5	4,16	0,84	2,83	0,83	4,13	0,40	4,21	0,08
6	4,67	1,00	3,18	1,00	4,66	0,00	4,62	0,06
7	3,97	0,62	2,72	0,63	4,01	0,89	3,62	0,78
8	4,16	0,76	2,80	0,74	4,20	0,50	4,26	0,91
9	4,04	0,73	2,73	0,73	4,06	0,94	4,26	0,89
10	3,68	0,54	2,53	0,54	3,51	0,78	3,71	0,78
11	3,59	0,51	2,52	0,54	3,21	0,72	3,50	0,75
12	3,95	0,64	2,74	0,67	3,69	0,83	3,85	0,88
13	4,12	0,70	2,84	0,71	3,93	0,88	3,97	0,92
14	4,26	0,78	2,91	0,78	4,17	0,49	4,26	0,91
15	4,07	0,69	2,80	0,70	3,76	0,85	4,32	1,00
16	4,10	0,73	2,81	0,74	3,94	0,91	4,09	0,96
17	4,30	0,79	2,97	0,81	4,16	0,96	4,06	0,94
18	4,26	0,76	2,95	0,79	4,04	0,94	4,06	0,94

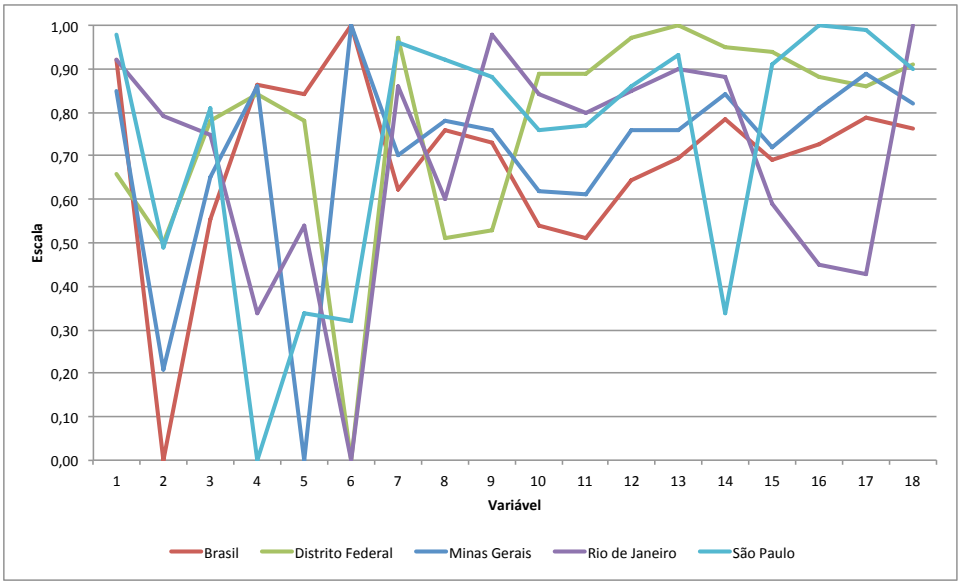


Figura 1: Comparação da avaliação entre as variáveis considerando a UF do especialista.

Na Tabela 6 é apresentada a comparação entre os métodos de análise fatorial exploratória e o método dos intervalos sucessivos, ambas aplicadas com foco na definição das variáveis mais relevantes e que melhor explicam o posicionamento favorável ao pedágio urbano pelos especialistas. Para ambos os métodos, o atributo 2 (investimento em obras estruturantes) obteve o pior desempenho. Apenas o atributo 1 (redução dos congestionamentos é um grande desafio para o poder público) foi avaliado entre as seis primeiras, sendo o quarta mais importante na AFE e o segunda no MIS.

Tabela 6: Comparação entre os atributos que definem o posicionamento favorável dos especialistas em relação ao pedágio urbano.

Ordenação	Análise Fatorial Exploratória	Método dos Intervalos Sucessivos
#1	10: O pedágio urbano é uma boa solução para a redução dos congestionamentos.	6: Os investimentos para a redução dos congestionamentos são importantes para a diminuição dos tempos de deslocamentos das pessoas, para a melhoria da qualidade ambiental e para a eficiência econômica das cidades.
#2	8: Os automóveis, dentre os modos de transportes, são os principais responsáveis pelos elevados níveis de emissão de poluentes de efeito estufa e poluentes locais.	1: A redução dos congestionamentos é um grande desafio para o poder público diante da mobilidade urbana.
#3	5: A melhor solução para a redução dos congestionamentos é investir na implantação de transporte por trilhos.	4: A melhor solução para a redução dos congestionamentos é investir em melhorias dos serviços e da infraestrutura viária do transporte público por ônibus.
#4	1: A redução dos congestionamentos é um grande desafio para o poder público diante da mobilidade urbana.	5: A melhor solução para a redução dos congestionamentos é investir na implantação de transporte por trilhos.
#5	4: A melhor solução para a redução dos congestionamentos é investir em melhorias dos serviços e da infraestrutura viária do transporte público por ônibus.	17: A aceitabilidade pública de pedágio urbano depende do compromisso legal da aplicação das receitas arrecadadas.
#6	18: A participação popular no processo decisório para a implementação de pedágio urbano é essencial para garantir o êxito deste instrumento.	14: As receitas obtidas com o pedágio urbano devem ser investidas em melhorias dos serviços e infraestrutura do transporte coletivo por ônibus.

Com a aplicação da análise fatorial exploratória obteve-se consenso que o pedágio urbano é solução para a redução dos congestionamentos, sendo os automóveis responsáveis pelos elevados níveis de poluição. Como solução para a melhoria da mobilidade urbana, está o investimento em sistemas de transporte por trilhos e ônibus, tornando imprescindível a participação popular no processo decisório para a implementação de pedágio urbano. Em relação ao método dos intervalos sucessivos, tem-se consenso da necessidade de investir para reduzir congestionamento, sendo este um grande desafio do poder público. Como solução para a melhoria da mobilidade urbana, tem-se investimentos em sistemas de transporte por ônibus e trilhos. A aceitabilidade do pedágio urbano depende do compromisso legal da aplicação das receitas arrecadadas, que devem ser investidas em melhorias dos serviços e da infraestrutura do transporte coletivo por ônibus. Em síntese, pode-se concluir que, independente do método aplicado, o pedágio urbano pode subsidiar um sistema de transporte público eficiente.

Por fim, os especialistas classificaram cinco instrumentos de gestão de demanda por viagens,

dada a sua efetividade como medida de desestímulo à circulação de automóveis nos grandes centros urbanos brasileiros, com objetivo de identificar se o pedágio urbano é visto como o principal instrumento de gestão da demanda por viagens. Na Tabela 7 é apresentado o percentual de representatividade de cada classificação da medida. Apesar das controvérsias diante da efetividade do pedágio urbano de regulação, a sua adoção com a participação popular quanto à definição de aplicação das receitas mostrou-se uma opção razoavelmente aceitável, uma vez de 18% consideram a opção mais efetiva para desestimular a circulação de automóveis nos centros urbanos congestionamentos. Além disso, destaca-se que 47% dos entrevistados consideram a implementação de vias ou faixas exclusivas para transporte público coletivo como a medida mais efetiva e 40% avaliaram o rodízio de veículos como o menos efetivo entre os cinco instrumentos.

Tabela 7: Classificação dos instrumentos de gestão da demanda.

Instrumento	Classificação de acordo com a efetividade (%)				
	#1	#2	#3	#4	#5
Faixas exclusivas para o transporte público	47%	15%	13%	10%	15%
Restrição e controle de vagas de estacionamento	12%	27%	30%	22%	9%
Transformação de área de estacionamento em infraestrutura para ciclistas, calçadas e *parklets*	13%	25%	26%	20%	16%
Rodízio de veículos (baseado no final da placa)	11%	12%	15%	22%	40%
Pedágio urbano ou taxa de congestionamento com participação popular na definição de aplicação das receitas	18%	21%	16%	25%	20%

Nesta pesquisa foi identificada uma rejeição maior ao rodízio de veículos do que ao pedágio urbano. Segundo Gomide e Morato (2011), o rodízio é uma medida típica de 'comando e controle', em que as pessoas buscam brechas na legislação na tentativa de escapar da proibição, seja por meio de fraudes, como a clonagem ou adulteração de placas, ou fuga da fiscalização. Outro fator agravante, mencionado na literatura, é a compra de um segundo veículo com final de placa diferente, geralmente mais antigo e, por conseguinte, mais poluidor, podendo aumentar as consequências do excesso de motorização (Litman, 2003, Toralles e Paulitsch, 2010, Gomide e Morato, 2011). Luiza Neto *et al*. (2012) apresentam uma outra visão do rodízio, que é o problema da exclusão social, uma vez que as pessoas mais favorecidas economicamente facilmente adquirem outro automóvel ou já até possuem mais de um. Cabe ressaltar, a existência de rodízio em outras localidades, como Atenas (Grécia), Cidade do México (México), Bogotá (Colômbia) e Santiago (Chile). Nessa última localidade, o rodízio funciona somente nos dias em que a cidade atinge determinados índices de poluição, para assim, tentar melhorar a qualidade do ar.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho foram identificadas as principais variáveis no que tange o posicionamento favorável de especialistas em transportes sobre o pedágio urbano. Dentre as principais conclusões, destaca-se o reconhecimento da importância em direcionar mais investimentos em mecanismos para minimizar os congestionamentos, diminuir os tempos de deslocamentos das pessoas e melhorar a qualidade ambiental e a eficiência econômica das cidades. Os especialistas se manifestaram desfavoráveis a investimentos em obras estruturantes (tais como: túneis, viadutos, trincheiras) para aumento de capacidade viária e concordaram que a gestão da mobilidade urbana, centrada na melhoria da fluidez dos veículos, acarreta impactos socioambientais. Em geral, pode-se dizer que o pedágio urbano é melhor solução para a redução dos congestionamentos do que para a redução de emissão da poluição causada pelos automóveis, na visão dos especialistas.

Os resultados ainda indicaram que a adoção de pedágio urbano pode ser uma medida favorável aos usuários de transporte coletivo por ônibus, visto que pode propiciar a redução do tempo de viagem e a melhoria na qualidade dos serviços prestados à sociedade. Assim, o pedágio urbano pode funcionar como um sistema econômico de redistribuição positiva do espaço viário, em que os usuários dos automóveis pagam pela utilização das vias urbanas, com a possibilidade de reversão das receitas arrecadadas em benefícios para a mobilidade urbana foi uma questão à qual os especialistas se mostraram bem favoráveis. Em relação às possibilidades de aplicação de receitas arrecadadas, os especialistas julgaram que os recursos obtidos com o pedágio urbano devem ser investidos em melhorias dos serviços e infraestrutura do transporte coletivo por ônibus (considerando MIS) e na implantação de transporte sobre trilhos (considerando AFE). O investimento em melhorias do transporte não motorizado é a melhor opção para especialistas usuários desse modo de transporte. Destaca-se também a diferença e divergência na opinião dos especialistas quando segmentados por unidade de federação, podendo acarretar políticas públicas tendenciosas sem amparo/respaldo técnico. Vale destacar que particularidades locais podem influenciar nas respostas, fato não explorado neste estudo.

Para a implementação de pedágio urbano visando a gestão da demanda por viagens, são imprescindíveis a transparência política e a participação da população no processo de implementação, bem como o 'compromisso legal do poder público perante a sociedade nas questões e decisões de aplicação das receitas'.

Nessa conjuntura, conclui-se que os instrumentos de gestão de demanda devem estar associados e que a implementação de pedágio urbano não pode ser uma solução isolada. Para garantir o bem-estar social deve-se investir em melhorias dos serviços e da infraestrutura do transporte público coletivo, em incentivos ao uso do transporte não motorizado e em uma política mais restritiva de estacionamento nas áreas centrais das cidades.

Agradecimentos
Os autores agradecem aos especialistas que responderam a pesquisa. Ainda, os autores agradecem ao CNPq pelo suporte a pesquisa e UFMG pelo auxílio para participação no evento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bartley, B. (1995) Mobility impacts, reactions and opinions: traffic demand management options in Europe: The MIRO Project. *Traffic engineering and control*, v. 36, n. 11, p. 596-602.

Brasil (2012) *Lei Nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012*. Brasília.

Brasil (2015) *Caderno de Referência para Elaboração de Plano de Mobilidade Urbana.* Brasília: Secretaria Nacional de Transporte e da Mobilidade Urbana (SeMob).

Brinco, R. (2006) *Transporte urbano e dependência do automóvel.* Porto Alegre: Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser.

Cordeiro, C. H. O. L. (2017) Estudo exploratório da relação entre o perfil de motociclistas que transitam em Belo Horizonte e a ocorrência de acidentes. Dissertação. UFMG, Belo Horizonte.

Eliasson, J. e L. Jonsson (2011) The unexpected "yes": Explanatory factors behind the positive attitudes to congestion charges in Stockholm. *Transport Policy*, v. 18, n. 4, p. 636-647. DOI 10.1016/j.tra.2008.11.014

Giuliano, G. (1992) An assessment of the political acceptability of congestion pricing. *Transportation*, v. 19, n. 4, p. 335-358. doi:10.1007/BF01098638

Goh, M. (2002) Congestion management and electronic road pricing in Singapore. *Journal of Transport Geography*, v. 10, n. 1, p. 29-38. http://doi.org/10.1016/S0966-6923(01)00036-9

Gomide, A. A. (2003) *Transporte urbano e inclusão social:* Elementos para políticas públicas. nº. 960. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.

Gomide, A. e R. Morato (2011) *Instrumentos de desestímulo ao uso do transporte individual motorizado*: lições e recomendações. São Paulo: Instituto de Energia e Meio Ambiente.

Grisolía, J. M.; F. López e J. Ortúzar (2015) Increasing the acceptability of a congestion charging scheme. *Transport Policy*, v. 39, p. 37-47. DOI 10.1016/j.tranpol.2015.01.003

Hair JR., J. F.; W. C. Black; B. J. Babin; R. E. Anderson e R. L Tatham (2009) *Análise multivariada de dados.* Porto Alegre: Bookman Editora.

Hutcheson, G. D. e N. Sofroniou (1999) *The multivariate social scientist: Introductory statistics using generalized linear models*. London: Sage Publication Ltd.

Kaiser, H. F. (1974) An index of factorial simplicity. *Psychometrika*, v. 39, n. 1, p. 31-36. DOI 10.1007/BF02291575

Litman, T. (2003) The Online TDM Encyclopedia: mobility management information gateway. *Transport Policy*, v. 10, n. 3, p. 245-249. doi http://doi.org/10.1016/S0967-070X(03)00025-8

Lorenzo-Seva, U.; M. E. Timmerman e H. A. L. Kiers, (2011) The hull method for selecting the number of common factors. *Multivariate Behavioral Research*, v. 46, n. 2, p. 340-364. DOI 10.1080/00273171.2011.564527

Luiza Neto, I.; Rogoski, B. N.; Günther, H.; Taco, P. W. G. (2012) Nível de aceitação do rodízio de automóveis: um estudo qualitativo no Distrito Federal. *Revista dos Transportes Públicos*, 35, p. 55-69.

May, A. D.; A. Koh; D. Blackledge e O. Fioretto (2010) Overcoming the barriers to implementing urban road user charging schemes. *European Transport Research Review*, v. 2, n. 1, p. 53-68. Doi 10.1007/s12544-010-0026-1

Ozer, G. (2012) *Do you accept mi? Acceptability of Milan's congestion charging in the light of London and Stockholm*. Master of Science in Urban Planning and Policy Design. Politecnico di Milano.

Providelo, J. K. e S. P. Sanches (2011) Roadway and traffic characteristics for bicycling. *Transportation*, v. 38, p. 765-777. DOI 10.1007/s11116-011-9353-x

Rentziou, A.; C. Milioti; K. Gkritza e M. G. Karlaftis (2011) Urban road pricing: Modeling public acceptance. *Journal of Urban Planning and Development*, v. 137, n. 1, p. 56-64. DOI http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000041#sthash.ogUxx1oS.dpuf

Ryley, T. e N. Gjersoe (2006) Newspaper response to the Edinburgh congestion charging proposals. *Transport Policy*, v. 13, n. 1, p. 66-73. DOI https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2005.08.004

Schade, J. e B. Schlag (2003) Acceptability of urban transport pricing strategies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, v. 6, n. 1, p. 45-61. DOI http://doi.org/10.1016/S1369-8478(02)00046-3

Schaller, B. (2010) New York City's congestion pricing experience and implications for road pricing acceptance in the United States. *Transport Policy*, v. 17, n. 4, p. 266-273. DOI http://doi.org/10.1016/j.tranpol.2010.01.013

Schlag, B. e U. Teubel (1997) Public acceptability of transport pricing. *IATSS research*, v. 21, p. 134-142. 1997. DOI 10.1108/9781786359506-001

Sikow-Magny, C. (2003) Efficient pricing in transport: overview of European Commission's Transport Research Programme. In: Schade, J., Schlag, B. (Ed.) *Acceptability of Transport Pricing Strategies*. Elsevier: Oxford, p. 13-26. DOI 10.1108/9781786359506-002

Tabachnick, B. G. e L. Fidell (2007) *Using Multivariate Statistics*. Boston: Allyn and Bacon.

Toralles, C. P. e N. S. Paulitsch (2010) *Restrição veicular e tributação: o pedágio urbano enquanto solução urbanística e espécie tributária.* Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 2, n. 2, p. 179-190.

Vasconcellos, E. A. (1996) *Transporte urbano nos países em desenvolvimento:* reflexões e propostas. São Paulo: Editoras Unidas.

Vasconcellos, E. A. (2000) A cidade e o transporte. In: Associação Nacional de Transportes Públicos. *Documentos Setoriais ANTP*: O Transporte Clandestino no Brasil. nº 1, p. 09-21.

Leise Kelli de Oliveira (leise@etg.ufmg.br)
Sayonara Lopes de Souza (sayonara-lopes@hotmail.com)
Leandro Cardoso (leandro@etg.ufmg.br)
Caio Henriques de Oliveira Lobo Cordeiro (caiohenriques@gmail.com)
Renata Lúcia Magalhães de Oliveira (renataoliveira@deii.cefetmg.br)

DINÂMICA DE SISTEMAS APLICADA AO TRANSPORTE DE CARGA: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA E SISTÊMICA

Wlisses Bonelá Fontoura
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia

RESUMO
A Dinâmica de Sistemas (DS) é um método eficiente para analisar sistemas com complexidade dinâmica e resistência política. Sendo assim, a abordagem holística da DS está bem adaptada aos atuais problemas do setor de transporte. Portanto, este artigo possui o objetivo de aplicar a técnica de análise bibliométrica e sistêmica para avaliar o uso da DS no Transporte de Carga, destacando as possíveis lacunas de pesquisa que poderão ser exploradas futuramente. Como resultado, observa-se que, apesar da China ser o país com o maior número de publicações, os EUA é o país que se destaca nas publicações sobre este tema. Além disso, nota-se que o modo rodoviário é o modo de transporte com o maior número de aplicações da DS.

ABSTRACT
System Dynamics (SD) is an efficient tool to analyze systems with dynamic complexity and political resistance. In addition, the holistic approach of SD is well suited to the transport sector's current problems. Therefore, this article aims to apply the technique of bibliometric and systemic analysis to evaluate the use of DS in Freight Transport, highlighting the possible research gaps that may be explored in the future. As a result, it was observed that, although China is the country with the highest number of publications, the USA is the country that stands out in the publications on this subject. In addition, it was observed that the road mode is the mode of transport with de highest number of applications of SD.

1. INTRODUÇÃO

A análise de sistemas de transportes é complexa, pois envolvem fatores econômicos, sociais, ambientais e políticos (Bachi Junior *et al.*, 2016). Segundo Dundovic (2009), os sistemas de transportes são dinâmicos e, por isso, exigem abordagens específicas para definir as operações envolvidas. Sendo assim, as abordagens tradicionais para simular e analisar sistemas se tornaram inadequadas para o setor de transportes e, por isso, devem ser substituídas por abordagens holísticas como, por exemplo, a Dinâmica de Sistemas (Wang *et al.*, 2008).

A Dinâmica de Sistemas (DS) é um método interdisciplinar e, por isso, pode ser aplicado a qualquer sistema dinâmico e em qualquer escala temporal ou espacial (Sterman, 2000). Portanto, este método permite que sistemas e políticas interajam no tempo e espaço, reproduzindo o comportamento do sistema ao longo do tempo e possibilitando a avaliação dos impactos de novas políticas na gestão do sistema (Chaim, 2009).

Segundo Sherperd (2014), a abordagem holística da DS está bem adaptada aos atuais problemas do setor de transporte. Este método emprega modelagem e simulação por meio de modelos quantitativos e qualitativos, os quais proporcionam uma visão global de todo o sistema para o planejamento de transportes (Dvornik *et al.*, 2006; Dundovic, 2009). Entretanto, segundo Cauchick Miguel (2012), antes de realizar a aplicação de um método é necessário compor uma fundamentação teórica baseada em trabalhos científicos. Esta fundamentação é importante para a aquisição do conhecimento sobre o tema de pesquisa e para justificar o uso do método utilizado. Além disso, após a elaboração da fundamentação teórica, é possível identificar

lacunas na literatura, avaliar a pertinência científica do trabalho e evitar sugestões de solução para um problema já resolvido (Afonso *et al.*, 2011).

Neste contexto, surge o interesse em verificar qual a atual situação das pesquisas científicas envolvendo DS e Transporte de Carga. Frente a este problema de pesquisa, este artigo tem por objetivo aplicar a técnica de análise bibliométrica e sistêmica para avaliar o uso da DS no Transporte de Carga, destacando as possíveis lacunas de pesquisa.

O restante do artigo está assim dividido: a Seção 2 apresenta a metodologia empregada neste trabalho e a Seção 3 apresenta uma revisão bibliométrica sobre a DS aplicada ao Transporte de Carga. Já a Seção 4 apresenta uma revisão sistêmica e por último são apresentadas as considerações finais na Seção 5.

2. METODOLOGIA

O termo bibliometria foi criado por Pritchard (1969), em substituição ao termo "bibliografia estatística" cunhado em 1922, e consiste na aplicação de métodos matemáticos e estatísticos para analisar e construir indicadores sobre a dinâmica e evolução científica sobre um determinado tema de pesquisa.

A bibliometria é realizada por meio de variáveis bibliográficas tais como autores, local e/ou data de publicação, palavras-chave e citações (Welsh, 2015). Com isso, a análise bibliométrica realiza uma análise quantitativa de um dado conjunto de artigos relacionados ao tema de pesquisa previamente definido, sem levar em consideração o conteúdo dos trabalhos (Yoshida, 2010). Por outro lado, a análise sistêmica, também conhecida como revisão sistêmica, consiste em avaliar o conteúdo do portfólio bibliográfico (Ensslin *et al.*, 2013).

Com isso, a metodologia empregada neste artigo é baseada no processo *Knowledge Development Process – Constructivist* (ProKnow-C), proposto por Ensslin e Ensslin (2007), por que utiliza as análises bibliométrica e sistêmica. Além disso, o ProKnow-C é um procedimento estruturado que já foi aplicado por diversos autores, tais como: Tasca *et al.* (2010), Afonso *et al.* (2011), Lacerda *et al.* (2012), Stefano *et al.* (2012), Ensslin *et al.* (2013) e Lizot *et al.* (2016), justificando a escolha deste método.

O ProKnow-C é composto de quatro etapas (Figura 1): (a) seleção de um portfólio de artigos sobre o tema da pesquisa; (b) análise bibliométrica; (c) análise sistêmica; e (d) definição da pergunta de pesquisa e objetivo de pesquisa. A primeira etapa consiste em selecionar o portfólio bibliográfico, ou seja, buscar artigos sobre o tema pesquisado. De acordo com Tasca *et al.* (2010), o primeiro passo desta etapa consiste em selecionar as bases de pesquisa de artigos. Em seguida, deve-se selecionar palavras-chave referentes ao tema de pesquisa para serem utilizadas na busca dos artigos. Os artigos encontrados devem ser listados de acordo com as suas variáveis bibliográficas e os artigos duplicados devem ser removidos. Posteriormente deve-se verificar o alinhamento dos trabalhos com o tema da pesquisa. Este procedimento é realizado a partir da leitura do título e do resumo dos artigos. Os artigos não alinhados também são excluídos. Em seguida, os artigos são submetidos à análise bibliométrica.

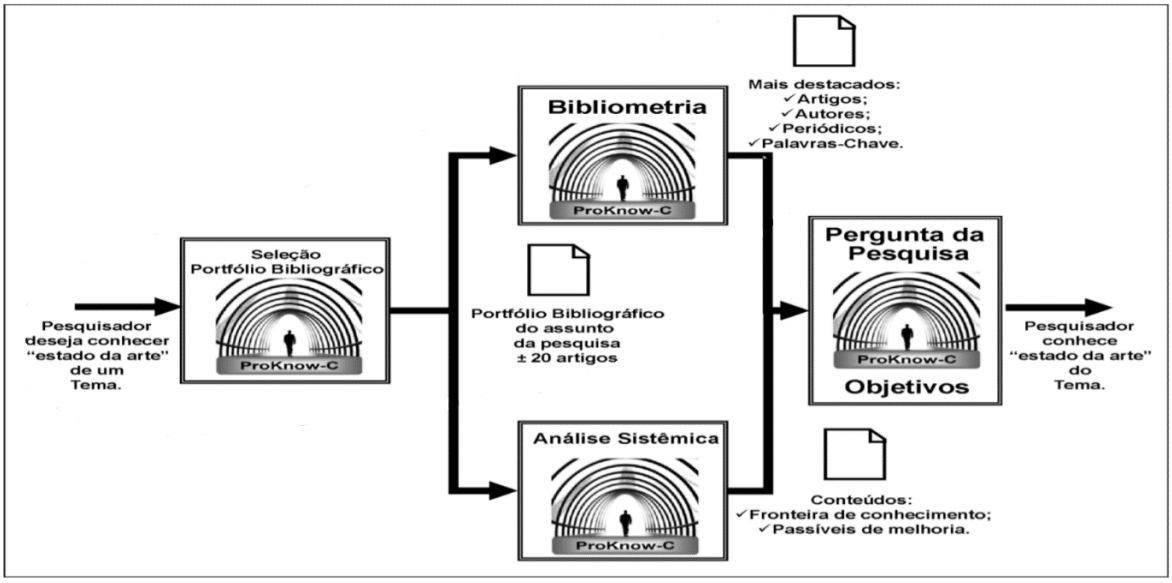


Figura 1: Etapas do ProKnow-C
Fonte: Ensslin *et al.* (2013).

Com o portfólio bibliográfico definido, inicia-se a segunda etapa que consiste na análise bibliométrica. A bibliometria objetiva quantificar as informações existentes e fornecer características do portfólio bibliográfico para a gestão da informação e do conhecimento científico sobre um determinado tema da pesquisa (Ensslin *et al.*, 2013). Em outras palavras, esta análise é focada na evidenciação de indicadores e parâmetros como, por exemplo, a quantidade de publicações de um periódico sobre um determinado tema.

A terceira etapa consiste em uma revisão sistêmica que é realizada a partir do conteúdo dos artigos selecionados na primeira etapa. Ela complementa a análise bibliométrica e é utilizada para descrever e interpretar o conteúdo dos trabalhos a partir de critérios de avaliação de desempenho definidos pelos autores (Della Bruna Junior *et al.*, 2012). Assim, esta análise permite identificar possíveis lacunas na literatura e, por isso, esta ferramenta é bastante útil para autores que buscam realizar um trabalho inédito e original (Ensslin *et al.*, 2013).

A última etapa é realizada a partir do resultado da análise bibliométrica e da análise sistêmica. Após conhecer a atual situação, o pesquisador estará apto a determinar o problema de pesquisa e os objetivos do seu trabalho (Tasca *et al.*, 2010). Este artigo apresentará apenas sugestões de pesquisas futuras, ou seja, não realizará a quarta etapa do ProKnow-C.

Optou-se por utilizar nesta pesquisa, para a seleção do portfólio bibliográfico, a base *Web of Science* (WoS). Essa escolha se deu devido à grande disponibilidade de trabalhos científicos e também por ser a base que dá origem ao fator de impacto dos periódicos (JCR - *Journal Citation Report*) (Lacerda *et al.*, 2012). Após a definição da base, as palavras-chave foram definidas e obteve-se 16 conjuntos de palavras-chave, os quais são apresentados no Quadro 1.

A busca dos artigos foi realizada no mês de abril de 2017. Optou-se por pesquisar apenas artigos publicados entre 1950 e 2017 e revisados por pares de modo a garantir a qualidade dos

trabalhos (Sherperd, 2014). Utilizando as palavras-chave apresentadas no Quadro 1 e, utilizando os critérios de refinamento (período e avaliação por pares), obteve-se um montante de 793 artigos. Os artigos foram listados e observou-se que 267 deles estavam duplicados e, por isso, foram removidos da lista. Posteriormente, foi realizada leitura dos títulos e dos resumos dos 526 trabalhos restantes para avaliar o alinhamento desses artigos com o tema da pesquisa. Sendo assim, foram encontrados 25 artigos alinhados ao tema.

Quadro 1: Conjunto de palavras-chave utilizadas na seleção do portfólio bibliográfico

Conjuntos de Palavras-Chave			
Nº	Palavra-Chave 1	Palavra-Chave 2	Palavra-Chave 3
1	System Dynamics	Modelling	Cargo Transportation
2			Freight Transportation
3			Air cargo
4			Port Cargo System
5			Pipeline Transportation
6			Rail Transportation
7			Road Transportation
8			Multimodal Transportation Systems
9	System Dynamics	Simulation	Cargo Transportation
10			Freight Transportation
11			Air cargo
12			Port Cargo System
13			Pipeline Transportation
14			Rail Transportation
15			Road Transportation
16			Multimodal Transportation Systems

Vale ressaltar que não foram encontrados artigos alinhados ao tema da pesquisa utilizando os conjuntos de palavras-chave 6 e 14. Além disso, todos os artigos alinhados ao tema resultantes da busca com os conjuntos de palavras-chave 1, 5, 8, 12 e 15 consistiam em artigos encontrados em outras buscas, ou seja, eram artigos duplicados.

Os dados dos artigos do portfólio bibliográfico foram padronizados e organizados com auxílio do aplicativo computacional Microsoft Excel. Também foi utilizado o CiteSpace, que permite visualizar padrões e tendências na literatura científica. Com base nos dados dos artigos, foi possível realizar a análise bibliométrica. Para a análise sistêmica, foi realizada a leitura dos 25 artigos. Posteriormente, foi realizada uma breve descrição e classificação dos mesmos de acordo com os cinco critérios apresentados no Quadro 2.

Quadro 2: Critérios de classificação utilizados na Análise Sistêmica

Tipo de abordagem	Procedimento Técnico	*Software* utilizado	Modo de Transporte	Nível de decisão
Qualitativa Quantitativa	Estudo de Caso Pesquisa Experimental	Dynamo Powersim Stella Vensim	Aeroviário Aquaviário Dutoviário Ferroviário Rodoviário Multimodal	Estratégico Operacional

3. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

O primeiro artigo sobre a DS aplicada ao Transporte de Carga foi publicado em 2002. Como pode ser visto na Figura 2, o número de publicações sobre este tema aumentou em 2009, sendo 2014 o ano com maior número de publicações. Além disso, até a data da seleção do portfólio bibliográfico, não houve incidência de artigos publicados sobre o tema no ano de 2017.

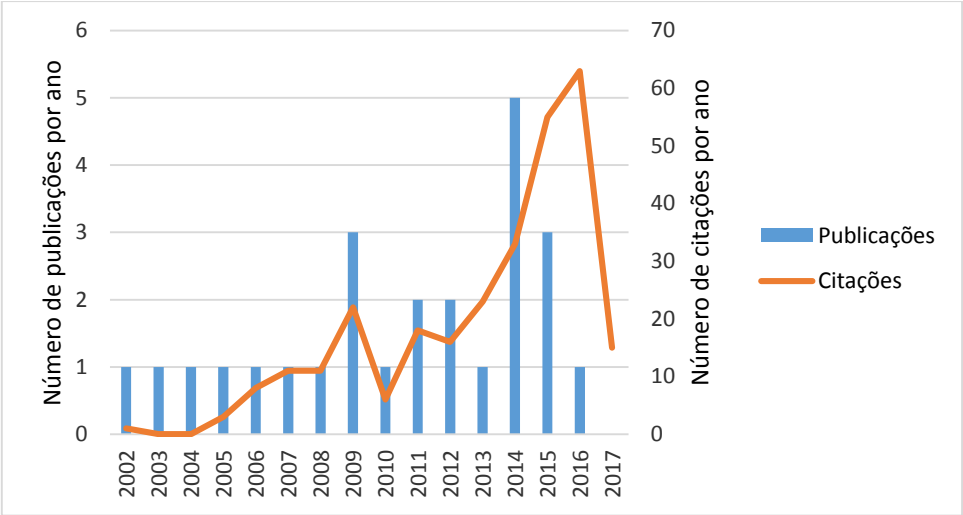


Figura 2: Número de publicações e de citações por ano

O artigo de Soares Filho *et al.* (2004) é um dos trabalhos mais relevantes do portfólio bibliográfico com um número total de 113 citações. Este trabalho é um dos responsáveis pelo aumento do número de citações por ano a partir de 2004, como pode ser visto na Figura 2. O artigo de Barisa *et al.* (2015) também é um dos trabalhos de destaque, pois, mesmo sendo um trabalho recente, possui 16 citações, ou seja, uma média de 5,33 citações por ano. Após a análise do número total de citações e da média de citações por ano, foram selecionados seis artigos de destaque, os quais são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Artigos do portfólio bibliográfico com o maior número de citações

Autores	Título	Ano	Número total de citações	Média de citações por ano
Soares *et al.*	*Simulating the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: the Santarem-Cuiaba corridor*	2004	113	8,07
Sgouridis *et al.*	*Air transportation in a carbon constrained world: Long-term dynamics of policies*	2011	47	6,71
Peng *et al.*	*Post-seismic supply chain risk management: A system dynamics disruption analysis approach for inventory and logistics planning*	2014	22	5,5
Barisa *et al.*	*Future biodiesel policy designs and consumption patterns in Latvia: a system dynamics model*	2015	16	5,33
Wang *et al.*	*Stability analysis of constrained inventory systems with transportation delay*	2012	14	2,33
Yeo *et al.*	*Analysis of dynamic effects on seaports adopting port security policy*	2013	12	2,40

Dos 86 autores listados, Ante Munitic e Josko Dvornik são os autores que possuem mais publicações. Esses autores possuem, respectivamente, duas e três publicações sobre o tema. Além disso, como pode ser visto na Tabela 2, dois periódicos e uma conferência se destacaram com o maior número de publicações sobre o tema.

Tabela 2: Periódicos de destaque no portfólio bibliográfico

Local de Publicação	Total de artigos publicados	Fator de Impacto
Transportation Research Part A-Policy and Practice	2	1.994
Interfaces	2	0.631
European Concurrent Engineering Conference	2	-

Verificou-se também as palavras-chave mais utilizadas. Foram identificadas e analisadas 92 palavras-chave nos artigos do portfólio bibliográfico. Desse total, observa-se que seis palavras-chave foram utilizadas duas ou mais vezes e, por isso, o portfólio apresenta 74 palavras-chave diferentes. Vale ressaltar que quatro artigos (16,0% da amostra) não apresentam palavras-chave no texto. Como pode ser visto na Tabela 3, a palavra-chave "System Dynamics" foi utilizada em 14 dos 21 artigos que apresentam palavras-chave.

Tabela 3: Palavras-chave com maior frequência no portfólio bibliográfico

Palavra-Chave	Frequência
Continuous and Discrete Simulation	2
Freight Transportation	2
Modelling	2
Policy Analysis	2
Scenario Analysis	2
System Dynamics	14

As palavras-chave não apresentadas na Tabela 3 foram utilizadas apenas uma vez. Entretanto, algumas palavras-chave são compostas por duas ou mais palavras. Sendo assim, foram identificados alguns termos de uso comum nas demais palavras-chave, tais como: *forecasting*, *inventory*, *logistics*, *overweight*, *supply chain*, *transport* e *transportation*. Observa-se um bom resultado do processo de seleção do portfólio bibliográfico, pois os termos utilizados nas palavras-chave estão condizentes com o tema da pesquisa. Além disso, observa-se uma média de 3,63 palavras-chave por artigo.

Por fim, buscou-se identificar os países com o maior número de publicações. A rede de autoria, apresentada na Figura 3, é composta por 20 países (nós). A densidade desta rede é de 0,0684, ou seja, 6,84% de todas conexões possíveis foram estabelecidas. Sendo assim, observa-se um total de 13 conexões, o que indica poucas parcerias ou interlocuções.

Os tamanhos dos nós representam o número de publicações. Como pode ser visto na Figura 3, a China é o país com o maior número de publicações sobre o tema, totalizando 21,15% dos artigos. Os EUA é o segundo país com o maior número de publicações com 11,54% dos artigos. A Índia e Croácia também se destacam com 9,61% e 7,69% das publicações, respectivamente. Já o Brasil é responsável por 5,77% dos artigos do portfólio bibliográfico.

Também foi analisado a centralidade dos países na rede de autoria. Segundo Marteleto (2001), "quanto mais central é um indivíduo, mais bem posicionado ele está em relação às trocas e à comunicação, o que aumenta seu poder na rede". Os EUA é o país com a maior centralidade (0,26), seguido pela Inglaterra com centralidade igual a 0,08. Os demais países apresentam centralidade zero. Sendo assim, observa-se que, apesar de ser o país com o maior número de publicações, a China (localizada no canto superior direito da Figura 3) está afastada do aglomerado principal e, por isso, possui uma baixa troca de informações. Portanto, os EUA é o país com o maior destaque, sendo reconhecido pelos outros países da rede.

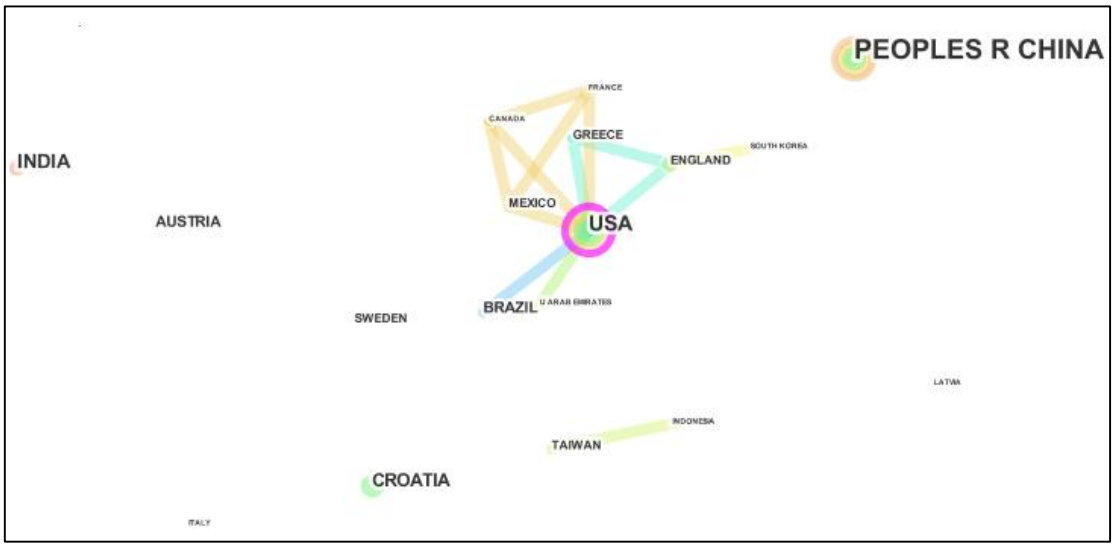


Figura 3: Rede de autoria por país

4. ANÁLISE SISTÊMICA

Após a análise bibliométrica, foi realizada a leitura dos artigos para a realização da análise sistêmica. Além de ser classificados e analisados de acordo com cinco categorias pré-determinadas, foi realizada uma breve descrição dos seis artigos de destaque (Tabela 1) que serão apresentadas a seguir.

Soares Filho *et al.* (2004) desenvolveram um modelo de DS para avaliar os efeitos da pavimentação de uma rodovia brasileira em uma região florestal. A partir da análise de diversos cenários, os autores concluem que o modelo desenvolvido pode ser usado na análise de futuras mudanças de cobertura terrestre, auxiliando o processo de tomada de decisão de governos. Sgouridis *et al.* (2011) examinam a influência de cinco políticas de redução da emissão de CO_2 na aviação comercial. Para isso, foram criados 34 cenários com diferentes níveis de aplicação das cinco políticas. Os resultados indicam que um conjunto de medidas e políticas abrangendo tecnologia, o uso de biocombustíveis e a demanda de viagens são necessárias para se obter um ponto de operação sustentável.

Peng *et al.* (2014) analisaram, por meio da DS, o comportamento da cadeia de suprimentos em situações de desastres sísmicos. Como resultado, os autores propõem uma árvore de decisão para auxiliar os tomadores de decisões a escolherem as melhores estratégias. Barisa *et al.* (2015) simulam o comportamento dinâmico do mercado de biodiesel na Letônia e

analisam do impacto das políticas de incentivo ao consumo de biocombustíveis. A partir dos resultados da simulação, os autores confirmam que promover o uso de biocombustíveis é a principal maneira de alcançar os objetivos da política nacional de transportes.

Wang *et al.* (2014) analisam por meio da DS os efeitos do atraso de transporte em um sistema de produção com inventário restrito. Os resultados mostram a importância de um *lead-time* apurado para eliminar a instabilidade do sistema. Yeo *et al.* (2013) propuseram um modelo de simulação para analisar a relação entre os níveis de segurança de portos marítimos e os volumes de *containers*. A partir da simulação, os autores analisaram o impacto no volume de *containers* para os níveis segurança previstos para os anos de 2015 e 2020.

O Quadro 3 apresenta um resumo dos 25 artigos do portfólio de acordo com quatro critérios de classificação: procedimento técnico, *software* utilizado, modo de transporte e nível de decisão. Todos os artigos do portfólio bibliográfico retrataram o modelo proposto pelas abordagens qualitativa e quantitativa. Entretanto, Spiegler e Naim (2014) e Wang *et al.* (2012) aplicaram apenas a abordagem qualitativa da DS, utilizando outros métodos para a abordagem quantitativa. O estudo de caso é o procedimento técnico predominante, sendo aplicado em 64% dos artigos. O restante dos artigos (36%) consiste em uma pesquisa experimental.

O modo rodoviário é o modo de transporte que mais possui aplicação da DS ao Transporte de Carga. Entretanto, conforme a Figura 4, não foi encontrado na literatura trabalhos que analisam somente o modo ferroviário por meio da DS. Porém, este modo é abordado em alguns trabalhos como o de Yu *et al.* (2014) que analisaram mais de um modo de transporte. Além disso, seis artigos (24% do portfólio bibliográfico) não abordavam apenas o transporte de carga. Esses artigos também consideravam o transporte de passageiros.

Quanto ao nível de decisão, a maior parte dos artigos (84%) apresentam um modelo que consiste em uma ferramenta para o planejamento em nível estratégico. Como pode ser visto na Figura 5, o Vensim e o Powersim foram os aplicativos computacionais mais utilizados. Vale ressaltar que oito dos 25 artigos do portfólio não citaram o *software* utilizado na simulação. Além disso, os dois trabalhos que aplicaram apenas a abordagem qualitativa da DS realizaram a simulação em outros tipos de *software*.

Dois artigos do portfólio bibliográfico apresentaram limitações, as quais serão apresentadas a seguir. Ao analisar as interdependências entre as estratégias de logística e de transporte de mercadorias, Aschauer *et al.* (2015) apontam o uso de parâmetros operacionais e estratégicos baseados na literatura como uma das limitações do artigo. Além disso, os autores citam como limitações do artigo a exclusão dos custos de inventário e de parâmetros de negócios (estratégias de marketing, aspecto financeiros, etc.).

Na avaliação do impacto das políticas sobre o peso dos caminhões no transporte de minério de ferro do porto de Caofeidian para Tangshan, China, Liu e Mu (2015) consideraram apenas um tipo de carga e um tipo de caminhão no modelo. Os autores sugerem como pesquisas futuras uma análise mais geral considerando vários tipos de cargas e de caminhões. Além disso,

o modelo proposto considera apenas o processo de transporte, negligenciando o processo de armazenamento no estaleiro. Os autores sugerem análises futuras incluindo este processo.

Quadro 3: Resumo das classificações dos artigos

Autores	Procedimento Técnico	*Software* utilizado	Modo de Transporte	Nível de decisão
Aschauer *et al.* (2015)	Pesquisa Experimental	Stella	Multimodal	Estratégico
Barisa *et al.* (2015)	Pesquisa Experimental	Powersim	Rodoviário	Estratégico
Cedillo-Campos *et al.* (2014)	Estudo de Caso	Stella	Multimodal	Estratégico
Dikos *et al.* (2006)	Estudo de Caso	Powersim	Aquaviário	Estratégico
Dundovic *et al.* (2009)	Estudo de Caso	Powersim	Aquaviário	Operacional
Feng e Qi (2008)	Estudo de Caso	N/A	Aquaviário	Estratégico
Hang e Li (2010)	Estudo de Caso	DYNAMO	Rodoviário	Estratégico
Hilletofth *et al.* (2011)	Estudo de Caso	N/A	Dutoviário	Estratégico
Liu e Mu (2015)	Estudo de Caso	Vensim	Rodoviário	Estratégico
Manohar *et al.* (2014)	Estudo de Caso	Vensim	Rodoviário	Estratégico
Munitic *et al.* (2003)	Estudo de Caso	Powersim	Aquaviário	Operacional
Munitic *et al.* (2009)	Estudo de Caso	Powersim	Aquaviário	Operacional
Ojha *et al.* (2016)	Pesquisa Experimental	Stella	Rodoviário	Estratégico
Peng *et al.* (2014)	Pesquisa Experimental	N/A	Rodoviário	Estratégico
Peterson *et al.* (2007)	Pesquisa Experimental	N/A	Aeroviário	Estratégico
Piattelli *et al.* (2002)	Estudo de Caso	N/A	Multimodal	Estratégico
Sgouridis *et al.* (2011)	Pesquisa Experimental	N/A	Aeroviário	Estratégico
Schade e Schade (2005)	Pesquisa Experimental	N/A	Multimodal	Estratégico
Soares Filho *et al.* (2004)	Estudo de Caso	Vensim e Dinamica	Rodoviário	Estratégico
Spiegler e Naim (2014)	Pesquisa Experimental	Outros	Multimodal	Estratégico
Suryani *et al.* (2012)	Estudo de Caso	N/A	Aeroviário	Operacional
Wang *et al.* (2012)	Estudo de Caso	Outros	Dutoviário	Estratégico
Yeo *et al.* (2013)	Estudo de Caso	Vensim	Aquaviário	Estratégico
Yu *et al.* (2014)	Pesquisa Experimental	Vensim	Multimodal	Estratégico
Zheng *et al.* (2009)	Estudo de Caso	Vensim	Aeroviário	Estratégico

*N/A = Não abordado.

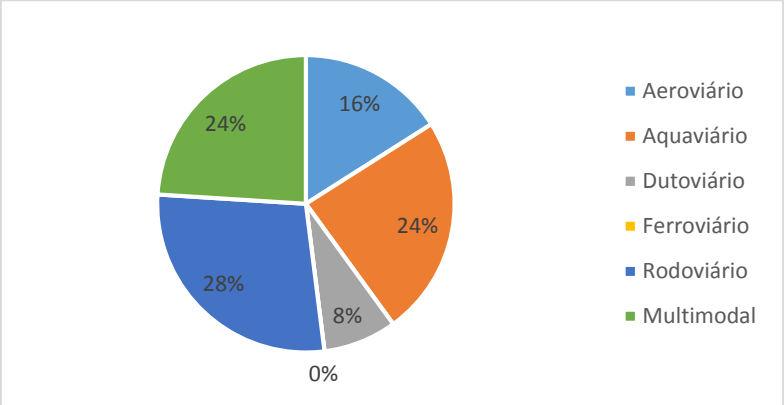


Figura 4: Modos de transportes abordados no portfólio bibliográfico

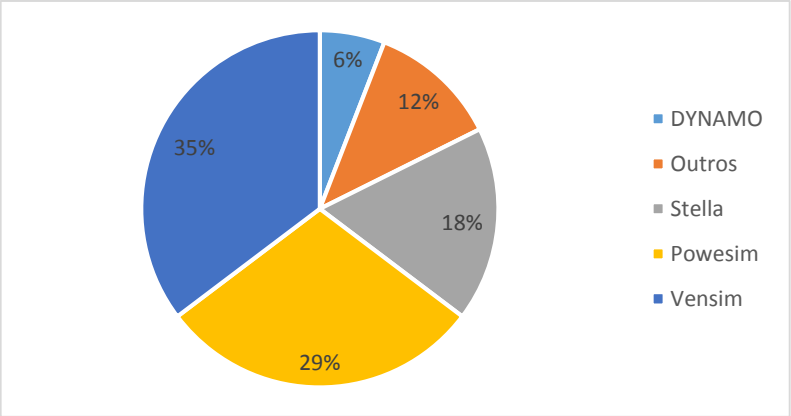


Figura 5: Aplicativos computacionais utilizados nos artigos do portfólio bibliográfico

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo buscou verificar a atual situação de desenvolvimento de pesquisa científica sobre DS aplicada ao transporte de carga. Para isso, foi utilizado a técnica da análise bibliométrica e sistêmica. Sendo assim, foi possível investigar a ocorrência e mapear os trabalhos sobre este tema. Além disso, foi analisado e identificado o comportamento da comunidade científica sobre o assunto.

A partir da análise bibliométrica, foram identificados os artigos, as palavras-chave e os autores de destaque sobre o tema analisado. Além disso, observa-se que a China é o país com o maior número de publicações sobre o tema. Entretanto, nota-se que os EUA é o país com maior destaque na rede de autoria por ser o mais centralizado e, consequentemente, possui uma maior comunicação e troca de informações com os outros nós da rede.

Os resultados da análise sistêmica apontam o modo rodoviário como o modo de transporte mais analisado pela comunidade científica por meio da aplicação da DS. Em contrapartida, não foi encontrado na literatura estudos que analisem apenas o modo ferroviário por meio deste método. Além disso, os aplicativos computacionais Vensim e Powersim foram os mais utilizados na simulação dos artigos do portfólio bibliográfico.

A partir dos resultados obtidos nesta pesquisa, sugere-se para pesquisas futuras a aplicação da DS para analisar o impacto de políticas que influenciem apenas o modo ferroviário. Além disso, sugere-se a continuação ou realização de melhorias nos artigos do portfólio bibliográfico com limitações. Vale ressaltar que este artigo utilizou apenas a base *Web of Science* e, por isso, podem existir trabalhos sobre o tema não presentes nesta base e, consequentemente, ausentes na análise. Por isso, sugere-se também a realização deste trabalho utilizando outras bases.

Observa-se a importância desse artigo devido a pequena quantidade de estudos sobre o Transporte de Carga utilizando a DS. Além disso, este trabalho contribuiu para evidenciar as lacunas existentes na literatura sobre o tema. Por isso, o problema de pesquisa e objetivos de novas pesquisas podem ser definidos a partir dos resultados obtidos neste trabalho, ou seja, a Etapa 4 do *ProKnow-C* pode ser realizada com base nos resultados apresentados.

Agradecimentos
Ao professor Glaydston Mattos Ribeiro pela orientação no desenvolvimento deste trabalho que, devido ao limite máximo de trabalhos publicados por autor, não pôde ter seu nome incluído na relação de autores deste artigo.

REFERÊNCIAS BIBILIOGRÁFICAS

Afonso, M. H. F.; J. V. Souza; S. R. Ensslin e L. Ensslin (2011) Como construir conhecimento sobre o tema de pesquisa? Aplicação do processo PROKNOW-C na busca de literatura sobre avaliação do desenvolvimento sustentável. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, v. 5, n. 2, p. 47-62.

Aschauer, G.; M. Gronalt e C. Mandl (2015) Modelling interrelationships between logistics and transportation operations – a system dynamics approach. *Management Research Review*, v.38, n.5, p. 505-539.

Bachi Junior, D.; G. L. Tiago Filho e M. R. R. Seydell (2016) Social, technical-economic, environmental and political assessment for evaluation of transport modes for petroleum products. *The Journal of Transport Literature*, v. 10, n. 1, p. 25-29.

Barisa, A.; F. Romagnoli; A. Blumberga e D. Blumberga (2015) Future biodiesel policy designs and consumption patterns in Latvia: a System Dynamics model. *Journal of Cleaner Production*, v. 88, [s.n.], p. 71-82.

Cedillo-Campos, M. G.; C. Sánchez-Ramírez; S. Vadali; J. C. Villa e M. B. C. Menezes (2014) Supply chain dynamics and the "cross-border effect": The U.S.-Mexican border's case. *Computer & Industrial Engineering*, v. 72, [s.n.], p. 261-273.

Cauchick Miguel, P. A. (organizador) (2012) *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações* (2a ed.). Elsevier, Rio de Janeiro.

Chaim, R. M. (2009) *Modelagem, Simulação e Dinâmica de Sistemas*. 1. ed. Brasília: UNB.

Della Bruna Junior, E.; L. Ensslin e S. R. Ensslin (2012) Seleção e análise de um portfólio de artigos sobre avaliação de desempenho na cadeia de suprimentos. *Gestão da Produção, Operação e Sistemas*, v. 7, n. 1, p. 113-125.

Dikos, G.; H. S. Marcus; M. P. Papadatos e V. Papakonstantinou (2006) Niver Lines: A System-Dynamic Approach Tanker Freight Modeling. *Interfaces*, v. 36, n. 4, p. 326-341.

Dundovic, C.; M. Bilic e J. Dvornik (2009) Contribution to the Development of a Simulation Model for a Seaport in Specfic Operating Conditions. *Promet – Traffic&Transportation*, v. 21, [s.n.], p. 331-340.

Dvornik, J.; A. Munitic e M. Bilic (2006) Simulation Modelling and Heuristics Optimization of Material Flow of the Port Cargo System. *Promet- Traffic&Transportation*, v. 18, [s.n.], p. 123-135.

Ensslin, L. e Ensslin, S. R. (2007). Orientações para elaboração dos artigos científicos do LabMCDA-C [Apostila da disciplina Avaliação de Desempenho do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina]. Florianópolis. UFSC.

Ensslin, L.; S. R. Ensslin e H. M. Pinto (2013) Processo de investigação e análise bibliométrica: avaliação da qualidade dos serviços bancários. *Revista de Administração Contemporânea*, v.17, n.3, p.325-349.

Feng, X. e X. Qi (2008) The Mechanism Research on the Harmonious Development of Regional Port and Economy Based on System Dynamics – The case study of Fujian Province. *Anais do X Chinese-German Joint Symposium on Hydraulic and Ocean Engineering,* Darmstadt, Germany, p. 297-301.

Hang, W. e X. Li (2010) Application of system dynamics for evaluating truck weight regulations. *Transport Policy*, v.17, [s.n.], p.240-250.

Hilletofth, P.; O. Hilmola e F. Claesson (2011) In-transit distribution strategy: solution for European factory competitiveness? *Industrial Management & Data Systems*, v.111, n. 1, p.20-40.

Lacerda, R. T. O.; L. Ensslin e S. R. Ensslin (2012) Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho. *Perspectivas em Ciência da Informação*, v.17, n.2, p.71-91.

Liu, P. e D. Mu (2015) Evaluating Sustainability of Truck Weight Regulations: A System Dynamics View. *Journal of Industrial Engineering and Management*, v.8, n.5, p. 1711-1730.

Lizot, M.; P. P. Andrade Júnior; C. S. Magacho; S. C. Bortoluzzi e A. Viero (2016) Avaliação de Desempenho na Gestão da Produção: análise bibliométrica e sistêmica da literatura internacional. *Revista Gestão Industrial*, v.12, n.3, p.65-82.

Manohar, G. V.; P. Devi. e S. Rao (2014) Evaluation of policies to reduce transportation pollution using System Dynamics. *Environment Protection Engineering,* v. 40, n. 4, p. 143-153.

Marteleto, R. M. (2001) Análise de redes sociais — aplicação nos estudos de transferência da informação. *Ciência da Informação*, Brasília, v. 30, n. 1, p. 71-81.

Munitic, A.; J. Dvornik e L. Milic (2003) System dynamics simulation modelling of the port manager planner. *Anais da X European Concurrent Engineering Conference*, Plymouth, Reino Unido, p. 51-53.

Munitic, A.; S. Simundic e J. Dvornik (2009) System Dynamics Modelling of Material Flow of the Port Cargo System. *Anais da XVI European Concurrent Engineering Conference*, Plymouth, Reino Unido, p. 24-31.

Ojha, R.; P. Vrat e N. Sharma (2016) Long-term Implications of Highway Quality and Length in the Growth of Indian Manufacturing: A System Dynamics Analysis. *Journal of Scientific & Industrial Research*, v. 75, [s.n.], p. 466-474.

Peng, M.; Y. Peng e H. Chen (2014) Post-seismic supply chain risk management: A system dynamics disruption analysis approach for inventory and logistics planning. Computers & Operations Research, v. 42, [s.n.], p. 14-24.

Peterson, R. M.; R. H. Bittel; C. A. Forgie e W. H. Lee (2007). Using USCAP's Analytical Models, the Transportation Security Administration Balances the Impacts of Aviation Security Policies on Passengers and Airlines. *Interfaces*, v. 37, n.1, p. 52–67.

Piattelli, M. L.; M. A. Cuneo; N. P. Bianchi e G. Soncin (2002) The control of goods transportation growth by modal share re-planning: the role of a carbon tax. *System Dynamics Review*, v. 18, n. 1, p. 47-69.

Pritchard, A. (1969). Statistical bibliography or bibliometrics? *Journal of Documentation*, v. 25, n.4, p. 348–349.

Schade, B. e W. Schade (2005) Evaluating Economic Feasibility and Technical Progresso f Environmentally Sustainable Transport Scenarios by a Backcasting Approach with ESCOT. *Transport Reviews*, v. 25, n. 6, p. 647-668.

Sgouridis, S.; P. A. Bonnefoy e R. J. Hansman (2011) Air transportation in a carbon constrained world: Longterm dynamics of policies and strategies for mitigating the carbon footprint of commercial aviation. Transportation Research Part A - Policy and Practice, v. 45, n. 10, p. 1077-1091.

Soares Filho, B.; A. Alencar; D. Nepstad; G. Cerqueira; M. D. C. V. Diaz; S. Rivero; L. Solórzanos e E. Voll (2004) Simulating the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: the Santarém-Cuiabá corridor, *Global Change Biology*, v. 10, [s. n.], p. 745-764.

Shepherd, S. P. (2014) A review of system dynamics models applied in transportation. *Transportmetrica B: Transport Dynamics*, v. 2, n. 2, p. 83-105.

Spiegler, V. L. M. e M. M. Naim (2014) The impact of freight transport capacity limitations on supply chain dynamics. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, v. 17, n. 1, p. 64-88.

Stefano, N. M.; M. da G. P. Lisbôa e N. Casarotto Filho (2012) Activity-Based Costing: Estado da arte proposta pelo pesquisador e revisão bibliométrica da literatura. *Iberoamerican Journal of Project Management*, v. 3, n. 1, p. 1-22.

Sterman, J. D. (2000) *Business Dynamics:* Systems Thinking and Modeling for a Complex World. McGraw-Hill, Boston.

Suryani, E.; S-Y. Chou e C-H. Chen (2012) Dynamic simulation model of air cargo demand forecast and terminal capacity planning. *Simulation Modelling Practice and Theory*, v. 28, [s.n.], p. 27-41.

Tasca, J. E.; L. Ensslin; S. R. Ensslin e M. B. M. Alves (2010) An approach for selecting a theoretical framework for the evaluation of training programs. *Journal of European Industrial Training*, v.34, n.7, p.631-655.

Wang, J.; H. Lu e H. Peng (2008) System Dynamics Model of Urban Transportation System and Its Application. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, v. 8, n. 3, p. 83-89.

Wang, X.; S. M. Disney e J. Wang (2012) Stability analysis of constrained inventory with transportation delay. *European Journal of Operation Research*, v. 223, [s.n.], p. 86-96.

Welsh, T. S. (2015) Bibliometrics and Scientometrics. *Qualitative and Quantitative Methods in Libraries (QQML)*, v. 1, n. 3, p. 1-3.

Yeo, G.; J. Pak e Z. Yang (2013) Analysis of dynamic effects on seaports adopting security policy. *Transportation Research Part A*, v. 49, [s. n.], p. 285-301.

Yoshida, N. D. (2010) Análise Bibliométrica: um estudo aplicado à previsão tecnológica. *Future Studies Research Journal*, v. 2, n. 1, p. 5284.

Yu, B.; C. Zhang; L. Kong; H. Bao; W. Wang; S. Ke e G. Ning (2014) System dynamics modeling for the land transportation system in a port city. *Simulation-Transactions of the Society for Modeling and Simulation International*, v. 90, n. 6, p. 1-11.

Zheng, C.; Z. Liu; C. Wang; X. Wang e B. Xu (2009) A System Dynamics Model of the Interactions of Aviation Logistics with Regional Economy Development in Guangxi Faced to CAFTA. *Anais da I International Conference on E-Business and Information System Security*, Wuhan, China, p. 450-454.

Wlisses Bonelá Fontoura (wlisses@pet.coppe.ufrj.br)
Programa de Engenharia de Transportes, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia, Bloco H, Sala 106, Cidade Universitária – Rio de Janeiro, RJ, Brasil

IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DE ATRIBUTOS QUE INFLUENCIAM A ESCOLHA DO VEÍCULO PARA O TRANSPORTE URBANO DE CARGAS NO BRASIL

Larissa Almeida Matias de Lima Batista
Bruno Vieira Bertoncini
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes
Universidade Federal do Ceará

RESUMO
A decisão de qual veículo utilizar em uma determinada entrega ou coleta de cargas em área urbana exige considerável esforço, principalmente devido ao aumento da complexidade do processo de movimentação de cargas, que é resultado da crise no modelo de mobilidade adotado nas grandes cidades brasileiras. Com isso, existem atributos que influenciam a escolha do veículo comercial pelos tomadores de decisão que estão relacionados a diferentes conjuntos de variáveis, como àquelas relacionadas ao veículo, à mercadoria, à área de entrega, às restrições decorrentes de políticas externas, dentre outros. Reconhecendo esse desafio, o objetivo geral deste trabalho é identificar e analisar os fatores chaves que afetam a tomada de decisão quanto à escolha do veículo comercial no transporte urbano de cargas no Brasil. Ao final do trabalho, pretende-se alcançar um modelo capaz de compreender os atributos relacionados à escolha do veículo comercial. Para isso, já existem alguns resultados parciais.

Larissa A. Matias de L. Batista (larissabatista@det.ufc.br)
Bruno Vieira Bertoncini (bruviber@det.ufc.br)
Departamento de Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará
Campus do Pici, S/N, Prédio 703 –Fortaleza, CE, Brasil

ANÁLISE SOBRE A PERCEPÇÃO DE ESPECIALISTAS E PROFISSIONAIS PARA CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO DO TRANSPORTE URBANO DE CARGA

Ricardo Pessoa de Carvalho
Bruno Vieira Bertoncini
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes
Universidade Federal do Ceará

RESUMO
O transporte de mercadorias ao mesmo tempo em que é fundamental para a economia e o desenvolvimento urbano, está associado a diversas externalidades. Com o objetivo de promover um ambiente urbano sustentável, o poder público vem adotando medidas para mitigar os problemas relacionados ao transporte urbano de mercadorias, porém, tais medidas são implantadas sem um acompanhamento apropriado, para verificar seus efeitos. Neste contexto, este artigo avalia a percepção de especialistas quanto a critérios para avaliação e monitoramento das principais soluções voltadas ao transporte urbano de cargas, com uso do modo rodoviário. Para tanto, utilizou-se a aplicação de um questionário para identificar e caracterizar a relevância de critérios de desempenho, dividido por áreas de sustentabilidade. Os resultados indicaram grande interesse em mitigar os impactos sociais, em especial o congestionamento urbano e, verificar que a adoção de poucos critérios viabiliza avaliar e monitorar as soluções de logísticas praticadas.

ABSTRACT
The freight transport at the same time that is crucial for the economy and urban development is associated with many externalities. In order to promote a sustainable urban environment, the government has taken solutions to mitigate problems, however, such measures are implemented without an appropriate monitoring, for their effects through performance indicators. This article evaluates the perception of experts regarding the criteria for evaluation and monitoring of the main solutions for the freight transport in urban areas, using the road mode. Therefore, we used the application of a survey to identify and characterize the relevance of the performance indicators for the solutions studied, divided by area of sustainability. The results indicated a great interest in alleviating the social impacts, particularly urban congestion and the possibility to adopt of few indicators enables to evaluate and monitor the studied logistics solutions.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Oliveira (2007; 2014), o crescimento das cidades geram problemas tais como congestionamento, poluição, barulho e vibrações que reduzem o bem estar, a acessibilidade e a atratividade das áreas urbanas. Lindholm e Blinge (2014) acrescentam que grande proporção de externalidades negativas nas zonas urbanas podem ser atribuídas ao Transporte Urbano de Carga (TUC).

Apesar das externalidades, o transporte urbano é fundamental para a qualidade de vida, trazendo relação direta nas atividades comerciais e industriais das cidades, favorecendo a economia e o desenvolvimento regional.

Visando reduzir as externalidades dos movimentos de veículos transportadores de mercadorias, surgiu o conceito de Logística Urbana (LU) que, segundo Taniguchi *et al.* (2013), tem como objetivo principal reduzir os impactos negativos gerados pelo movimento de veículos de transporte de mercadorias em condições de harmonia, principalmente em termos de congestionamento/mobilidade e impacto ambiental, sem penalizar as suas atividades sociais e econômicas e promover um sistema de transportes eficiente de forma sustentável.

Para entender o conceito de sustentabilidade relacionado com o transporte há que se conhecer

a relação entre o transporte e os impactos relacionados. Os principais impactos causados pelo transporte de mercadorias em áreas urbanas podem ser agrupados em três dimensões de sustentabilidade (Melo, 2011): i) sustentabilidade ambiental: que engloba poluição atmosférica, ruídos, consumo de combustíveis fósseis; ii) sustentabilidade social: busca avaliar a segurança viária e aumento do tráfego; iii) sustentabilidade econômica: relacionada com a jornada de trabalho, atrasos nas entregas, compra e manutenção de veículos.

Para promover um ambiente urbano sustentável, o planejamento do TUC e a implementação de soluções de LU tornam-se importantes para melhorar a qualidade de vida das pessoas. Entretanto, Muñuzuri *et al.* (2015) destacam que a implementação de qualquer solução ao TUC está relacionada à uma alteração do equilíbrio no desenvolvimento urbano, no espaço ou na economia, podendo ser percebido entre os grupos concorrentes: motoristas, moradores, donos de lojas, pedestres, operadores de redes de trânsito, os administradores locais etc.

Para Taniguchi *et al.* (2013) nas áreas urbanas existirem vários interesses conflitantes da sociedade quanto às soluções de mobilidade. Neste contexto, Taniguchi *et. al.* (2014) detaca que ao escolher soluções de LU, podem ocorrer, além dos efeitos esperados, aqueles secundários negativos, e que ambos efeitos devem ser cuidadosamente examinados, sob a ótica das partes interessadas, pois essa antecipação tende a minimizar os prejuízos e maximizar os benefícios.

Além disso, uma análise prévia com todas as partes interessadas evita resultados tendenciosos, ou subavaliados para algum dos envolvidos. Acrescenta-se, ainda, o fato de que tal avaliação é essencial para que os problemas sejam minimizados e os objetivos planejados fiquem sempre dentro dos limites aceitáveis pelas partes interessadas.

Oliveira e Gratz (2014) alertam que grande parte das soluções LU têm surgido como uma reação aos problemas, sem um estudo prévio minucioso dos seus possíveis efeitos no sistema como um todo, levando, na maioria das vezes, a práticas não coerentes com a realidade da cidade. Tal prática faz com que os efeitos desejados não ocorram, gerando insatisfação nas partes interessadas.

Diante o exposto, muitas vezes, medidas são adotadas sem seguir um adequado planejamento, sem considerar as partes interessadas e sem um acompanhamento apropriado através de critérios de desempenho previamente estabelecidos para verificar a efetividade das soluções dentro do cenário desejado.

Nesse contexto, esse trabalho apresenta as seguintes perguntas para representar a problemática: i) como avaliar a parcepção das partes interessadas para definição de critérios de avaliação e monitoramento de soluções de LU? Dessa forma, esse artigo tem como objetivo apresentar os resultados de uma pesquisa com especialistas e pesquisadores da área de transporte, que identificou a percepção de ambos os grupos quanto a critérios de desempenhos para soluções sustentáveis visando mitigar as externalidades do TUC. Os objetivos secundários são extrair, conforme resultado da pesquisa, quantos critérios de desempenho devem ser adotados para avaliar e monitorar algumas das soluções LU e detectar quais das dimensões de sustentabilidade e externalidades os especialistas e agentes públicos estão mais empenhados em mitigar.

2. INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE

Para a definição critérios de avaliação, PIARC (2012) e NCFRP (2015), destacam a necessidade de formar parcerias com as partes interessadas, ver Figura 1. Tais indivíduos e grupos irão definir objetivos, indicadores e metas a serem adotadas. O confronto das partes interessadas serve para que sistema de transporte seja avaliado sob todas as perspectivas, visando satisfazer o interesse coletivo e de modo sustentável.

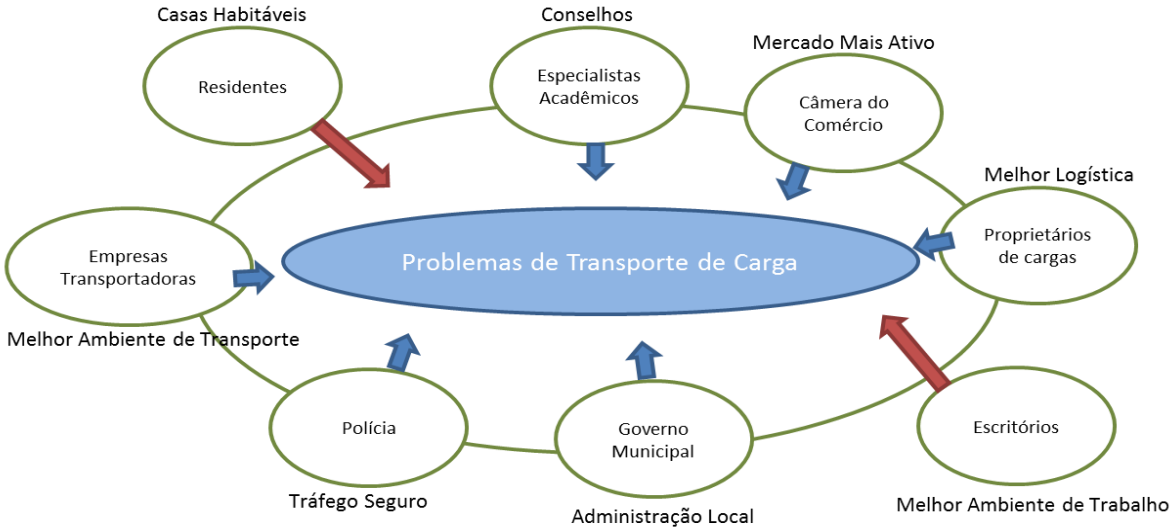


Figura 1 – Exemplo de Desenvolvimento de Parcerias (Adaptado de Taniguchi *et al*. 2014)

Segundo Mourelo (2002), para o desenvolvimento de estratégias que visam estabelecer padrões de mobilidade sustentáveis, é fundamental conhecer previamente a situação (*ex-ant*) e evolução do sistema de transportes sobre o qual se quer atuar (*ex-post*). Gudmundsson (2004) destaca que os processos de avaliação e monitoração são distintos. Enquanto a avaliação constitui tipicamente em um evento único, a atividade de monitoração constitui em um processo contínuo, provendo repetidos *feedbacks* para o processo de tomada de decisão.

Uma maneira de avaliar e monitorar as intervenções e o desenvolvimento sustentável é através da utilização de "indicadores" que refletem os objetivos das ações a serem implementadas. Para Gudmundsson (2004), os indicadores de mobilidade sustentável têm como desafio:

- Representar a situação presente (desenvolvimento) e cenários futuros (sustentabilidade);
- Considerar todas as dimensões (social, econômica, ambiental e institucional);
- Identificar a parcela de contribuição dos transportes para os problemas globais;
- Incluir critérios de sustentabilidade e metas para interpretação de performances;
- Ser desenvolvido com base em dados de qualidade e reproduzíveis;
- Incorporar a participação de diferentes atores no desenvolvimento dos indicadores;
- Adotar um número apropriado de indicadores; e
- Ser desenvolvido para máxima utilização e impacto.

Dos pontos supracitados por Gudmundsson (2004) merecem destaque para o desenvolvimento desse trabalho: incluir critérios de sustentabilidade sob todas dimensões e metas para interpretação de performances e adotar um número apropriado de indicadores.

Diversos estudos na área de desenvolvimento de indicadores de LU foram realizados, dentre

eles, Allen *et al.* (2000), Banister *et al.* (2000), Shoemaker *et al.* (2006) e PIARC (2012). Mediante revisão bibliográfica, foi elaborada uma tabela com base em experiências de planejamento de transporte urbano de carga, com critérios, indicadores e fonte de informação, que poderiam ser usados para avaliar intervenções específicas implantadas em um centro urbano ou região, ver Tabela 1.

Tabela 1 – Indicadores de Logística Urbana (Adaptado de PIARC, 2012)

Critérios	*Indicadores*	*Fonte da Informação*
Sociais (Qualidade de Vida)	- Acessibilidade / congestionamento urbano; - Proporção de veículos de carga envolvidos em acidentes; - Satisfação dos moradores; - Satisfação do Comércio; - Satisfação da Indústria;	- Estudos em campo; - Autoridades Locais / Polícia; - Estatísticas de acidentes da polícia; - Autoridades locais e associações;
Ambiental	- Ruído; - Emissões e qualidade do ar (CO_2, NO_x, CO);	- Estudo acústico de campo; - Estudo de campo;
Desenvolvimento Econômico	- O espaço Comercial; - Número de visitantes / montante das receitas gerado por hora / dia; - Rotação de lojas;	- Autoridades locais, registro de imóveis; - Escritórios, imóveis; - Promotores e gerentes de lojas;
Acessibilidade	- Número de veículo/km; - Número de veículo/km/tons; - Número de veículo; - O tempo de viagem; - Número de obstáculos em rota (pontes, lombadas, sinais etc.); - O congestionamento das áreas de entrega;	- Transportadoras; - Motoristas; - Estudo de campo; - Mapeamento; - Administradoras de rodovias, polícia;
Operacionais (Eficiência no transporte)	- Fator médio de utilização de veículos (ocupação); - O consumo de combustível por unidade de entrega;	- Operadores logísticos;

A "Acessibilidade", considerado na classificação social, por ser bastante abrangente e de fundamental importância, foi tratado também em uma classe específica para um tratamento mais detalhado.

Destaca-se que ao avaliar a quantidade de indicadores a serem adotados e o nível de acurácia das informações desejadas, é importante verificar os recursos humanos, tecnológicos e financeiros disponíveis. Com relação à quantidade de indicadores a serem adotados, o número deve ser suficientemente grande para se obter uma noção sistêmica do desempenho, e que não seja suficientemente pequeno para banalizar os indicadores a ponto de dispersar as ações ou obter um diagnóstico falso.

3. PROCEDIMENTOS METODOLOGICOS DA PESQUISA

Essa pesquisa utilizou método qualitativo como abordagem de pesquisa, com dados obtidos através de pesquisa com especialistas e agentes públicos que realizaram estudos na área de TUC ou tiveram experiências práticas com o problema pesquisado. A seguir será descrito todo o processo de concepção do questinário, denifição da amostra e planejamento da execução, aplicação do questionário e tabulação dos dados.

3.1. Concepção do Questionário

Para a construção do questionário foi realizado um estudo exploratório que se dividiu em três etapas: i) pesquisa e listagem de possíveis critérios de desempenho para avaliação e monitoramento do TUC; ii) identificação das principais soluções de LU, do modo rodoviário; iii) estabelecimento do método de aplicação do questionário.

3.1.1. Pesquisa e listagem de possíveis critérios de desempenho para avaliação e monitoramento do TUC

Nessa etapa foi realizada uma pesquisa bibliográfica, coforme exposto na Tabela 1, com o objetivo de identificar os principais critérios na temática. Deste modo os critérios selecionados para esse estudo, divididos em classes, foram:

- Sociais: congestionamento urbano, satisfação dos moradores, satisfação da indústria, satisfação do comércio, acidentes envolvendo veículos de carga;
- Ambientais: emissões de ruído e emissões de poluentes no ar;
- Econômicos: crescimento comercial, receita gerada;
- Operacional: ocupação dos veículos;
- Acessibilidade: número de veículos por quilometro, veículos transitados em áreas centrais, tempo de viagens, número de obstáculos em rota, áreas de estacionamento.

3.1.2. Identificação das principais soluções de LU do modo rodoviário e seus objetivos

Soluções de LU são "medidas" como uma ação específica a ser tomada para resolver problemas relacionados com o transporte de mercadorias. Tais soluções terão como objetivo tornar o movimento do veículo de transporte de mercadorias tanto eficiente como ambientalmente e socialmente correto.

Existe um grande número de soluções de LU que podem ser adotadas pelo poder público, NCFRP (2015), em estudo, identificou 54 soluções cujo objetivo é minimizar os efeitos causados pelo TUC. Nesse contexto, o Projeto Solution (2014), recomendou 10 soluções sustentáveis com potencial de exitos em áreas urbanas:

- Promover de entregas de mercadorias via bicicletas;
- Criação de zonas de baixa emissão de poluentes;
- Criação de fóruns, portais e programas de treinamento;
- Promover a entregas de mercadorias fora do horário de pico;
- Criação de pontos de coletas/entrega de carga;
- Aumento do uso de trens e barcos;
- Criação de Centros de Consolidação Urbano de Carga;
- Políticas de uso e ocupação do solo que levem em consideração o transporte de carga;
- Implantação de faixas exclusivas de transporte de carga;
- Criação de incentivos fiscais, taxação e pedágios.

Como as soluções destacadas pelo Projeto Solution foram consideradas promissoras e sustentáveis nas cidades foco do projeto, adotou-se algumas dessas soluções como objeto de estudo. Foram consideradas as soluções: "Criação de zonas de baixa emissão de poluentes", "Promover a entregas de mercadorias fora do horário de pico", "Criação de rede de pontos de coletas/entrega de carga", "Criação de Centros de Consolidação Urbano de Carga", "Implantação de faixas exclusivas de transporte de carga" e "Criação de incentivos fiscais, taxação e pedágios". A Tabela 2 tem como objetivo denifir cada uma das soluções destacadas,

voltadas exclusivamente para o modo rodoviário.

Tabela 2 – Soluções de Logística Urbana Proposta por Solution (2014)

Solução Logística	*Objetivos*	*Vantagens*
Criação de zonas de baixa emissão de poluentes	Proibir o acesso há uma determinada área (por exemplo, o centro da cidade) de veículos que não atendam a determinados critérios, tipicamente níveis de emissões poluentes.	Melhorar a saúde e a qualidade de vida de todos que visitam, trabalham ou que vivem no local
Promover a entregas de mercadorias fora do horário de pico	Transferir parte ou total da demanda por transporte de carga para horários de pouco fluxo	Reduzir o congestionamento, melhorar a segurança do tráfego,
Criação de pontos de coleta/entrega de carga	Criar pontos de coletas locais onde os clientes podem pegar os pacotes endereçados a eles	Reduzir os custos de distribuição
Criação de Centros de Consolidação de Carga Urbana	Realizar a consolidação e a transferência de mercadorias, em uma área-alvo, por meio de um operador neutro	Reduzir os custos de distribuição
Implantação de faixas exclusivas de transporte de carga	Introduzir faixas exclusivas para caminhões para determinadas seções de estrada em área urbana	Reduzir tráfego, melhorar a confiabilidade, proteger pavimentos de caminhões de grande porte
Criação de incentivos fiscais, taxação e pedágio	Favorecer incentivos monetários ou não por critérios estabelecidos. Taxação e pedágios: precificar e utilização de estradas, estacionamentos, etc.	Induzir práticas sustentáveis através de incentivos monetários ou não. Taxação e Pedágios: gerenciar a demanda e gerar receitas.

3.1.3. Estabelecimento do método de aplicação do questionário

Para captar o juízo de cada envolvido com relação a aplicação dos critérios de avaliação em soluções de LU, utilizou-se a aplicação de pesquisa do tipo *survey*. A escolha deu-se em virtude da tipologia da pesquisa ser qualitativa e com o objetivo de buscar a percepção de cada pessoa sobre o tema.

O *survey* foi desenvolvido contendo perguntas fechadas e utilizando o conceito de *likert* adaptado. Likert (1932) define a escala que teve seu nome devido à publicação de um relatório explicando seu uso, como uma escala de resposta psicométrica usada habitualmente em questionários, e é a escala mais usada em pesquisas de opinião. Um item *likert* é apenas uma afirmação à qual o sujeito pesquisado responde através de um critério que pode ser objetivo ou subjetivo. Normalmente, o que se deseja medir é o nível de concordância ou não concordância da afirmação. O formato típico de um item *likert* é: não concordo totalmente; não concordo parcialmente; indiferente; concordo parcialmente e; concordo totalmente.

Nesse caso específico pretendeu-se estabelecer o nível de concordância dos entrevistados em relação à relevância dos critérios de avaliações a cada uma das soluções de LU avaliadas, buscou-se adaptar a escala *likert* utilizando graus de importância. Deste modo, as assertivas propostas e a respectivas notas, foram: i) não sabe (0); ii) nada ou pouco relevante (1); iii) médio relevante (2); iv) muito relevante (3).

É importante destacar que, tradicionalmente não é comum colocar a opção "não sabe" em pesquisas likert, contudo considerou-se importante incluir essa opção caso algum respondente não seja familiarizado com algumas das soluções analisadas.

3.2. Definição da amostra e planejamento da execução

A amostra considerada nesse experimento é não-probabilística, pois não se têm conhecimento da população. Nesse caso, são enviados questionários para o maior número possível de pessoas selecionada, a fim de coletar o maior número de informações possíveis.

A seleção do público alvo ocorreu de três formas. A primeira foi a pesquisa de especialistas e pesquisadores cadastrados no banco de dados da ANPET (Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte). A segunda foi através de uma parceria com a *University of Paris-Est* (Universidade de Paris-Est), com divulgação do e-mail do questionário na versão em inglês. A terceira forma foi através da identificação de cidades brasileiras com a população igual ou superior a 300 mil habitantes, que com auxílio do DENATRAN (Departamento Nacional de Trânsito) foi possível identificar o e-mail dos órgãos municipais de trânsitos.

3.3. Aplicação do questionário

A pesquisa foi conduzida através de questionários *on-line* com especialistas e agentes públicos da área de transporte urbano de carga, conforme demonstrado na etapa anterior e utilizando o método de pesquisa *survey*, com a coleta de dados estruturada.

A pesquisa aplicada pode ser seccionada em duas partes. A primeira parte pretende identificar o perfil do entrevistado, como especialista ou agente público e a segunda parte pretende captar a percepção sobre cada critério de avaliação relacionado às soluções de LU analisadas. Todas as perguntas da segunda parte foram realizadas de acordo com a escala *likert*, explicitada anteriormente. O questionário foi disponibilizado para obtenção de respostas por aproximadamente 40 dias, de 25/01/2016 à 07/03/2016.

3.4. Tabulação dos resultados

Após a aplicação do questionário, as informações obtidas foram tabuladas com o auxílio de planilha eletrônica, através de duas tabelas. A primeira tabela apresentou os dados que caracteriza a amostra populacional e a segunda foi composta pela pesquisa de relevância de cada critério de avaliação para as soluções de LU estudadas.

Na primeira tabela foi realizado um estudo de frequência absoluta para caracterizar o perfil da população em estudo. Na segunda tabela foi realizado um cálculo da média ponderada do número de respostas para cada opção, obtendo-se uma "nota". Destaca-se que, nesse caso, as pessoas que marcaram a opção "não sabe avaliar" ou que por algum motivo não responderam, foram desconsideradas para efeito do cálculo média ponderada.

Deste modo, os valores na tabela variaram entre 01 e 03, sendo essa nota uma indicação do nível de relevância de cada critério de avaliação para cada solução. Quanto menor a nota (mais próximo de 01), menos indicado é o critério avaliado para a solução e, quanto maior a nota (mais próximo de 03), maior a relevância, isto é, mais indicado é a adoção do critério avaliado.

Em seguida, foi determinada a "faixa de percepção relativa" conforme formula exposta na Equação 1. Com posse desses dados, foi construído um Diagrama de Pareto para determinar dentro dessa faixa a importância de cada um dos critérios avaliados. O Diagrama de Pareto é uma ferramenta muito utilizada na área da qualidade, cujo objetivo é a priorização e a identificação de problema. O diagrama tem o formato de barras para análise de dado

individual e uma linha que demonstra relação cumulativa em termo percentual. Nesse caso o diagrama será utilizado para identificar os critérios mais representativos dentro de uma faixa de percepção relativa.

$$Percepção\ Relativa\ (\%) = \left(\frac{I}{\sum_{x=n}^{x=m}(x-n)}\right) \quad (1)$$

em que: I= nota atribuida
m= nota máxima
n=nota mínima

4. APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUÇÃO DOS RESULTADOS

Na presente seção são apresentados os resultados obtidos a partir da pesquisa, assim como a discussão dos resultados.

4.1. População

A primeira questão da pesquisa buscou informações sobre o perfil dos entrevistados. No total foram respondidos 77 questionários, em que 51 se consideraram especialistas, 09 profissionais do poder público e 17 ambos (especialista e profissional do poder público).

4.2. Análise dos Critérios de Avaliação por Soluções de LU

Na segunda parte do questionário, buscou-se obter a percepção de especialistas e agentes públicos quanto à relevância de cada critério previamente elencados para avaliar e monitorar as soluções de LU escolhidas para o estudo. Na Tabela 3 é possível observar as notas individuais dos critérios para cada solução de LU estudada, onde as linhas representam as soluções logísticas e as colunas representam os critérios de avaliação.

Tabela 3 – Tabela Geral de Relevância dos Critérios de Avaliação x Soluções de LU

	Congestionamento Urbano	Emissões de Ruído	Emissões de Poluentes	Satisfação dos Moradores	Satisfação da Indústria	Satisfação do Comércio	Acidentes Envolvendo Veículos de Carga	Crescimento Comercial	Receita Gerada no Comércio	Veículos por Quilômetro	Veículos Transitados em área central	Tempo de Viagens	Obstáculos em Rota (lombadas, sinais e etc)	Áreas de Estacionamento	Ocupação dos Veículos
Criação de um zona de baixa emissão de poluentes	2,67	2,72	2,96	2,68	1,89	1,97	2,10	2,04	1,93	2,35	2,75	2,37	2,08	2,35	2,19
Promover a entregas de mercadorias fora do horário de pico	2,89	2,50	2,28	2,49	2,16	2,23	2,38	2,03	1,91	2,33	2,57	2,72	1,93	2,46	2,10
Criação de pontos de coleta/entrega de carga	2,79	2,27	2,36	2,33	2,45	2,47	2,18	2,24	2,14	2,57	2,74	2,63	1,99	2,47	2,16
Criação de Centros de Consolidação de Carga Urbana	2,77	2,44	2,40	2,33	2,48	2,43	2,32	2,24	2,17	2,46	2,69	2,67	1,97	2,47	2,22
Implantação de faixas exclusivas de transporte de carga	2,57	2,21	2,24	2,15	2,30	2,33	2,44	2,15	2,02	2,34	2,47	2,75	2,12	2,19	2,06
Criação de incentivos fiscais, taxação e pedágio	2,62	2,32	2,36	2,08	2,15	2,18	1,93	2,09	2,00	2,15	2,59	2,20	1,79	2,28	2,11

No geral os critérios foram avaliados como representativos. A relevância máxima observada foi a de nota 2,954 referente ao objetivo de avaliar o nível de emissões de poluentes na solução de LU de criação de uma zona de baixa emissão de poluentes. A relevância mínima observada foi a de nota 1,787, para o acompanhamento de número de obstáculos em rota para a aplicação de pedágios, taxações e incentivos fiscais.

Através do Diagrama de Pareto, ainda considerando cada solução individualmente, é possível constatar que, dentro da faixa de percepção dos critérios avaliados, apenas quatros ou cinco critérios seriam responsáveis por quase 50% de toda relevância relativa, conforme pode ser visto na Figura 2.

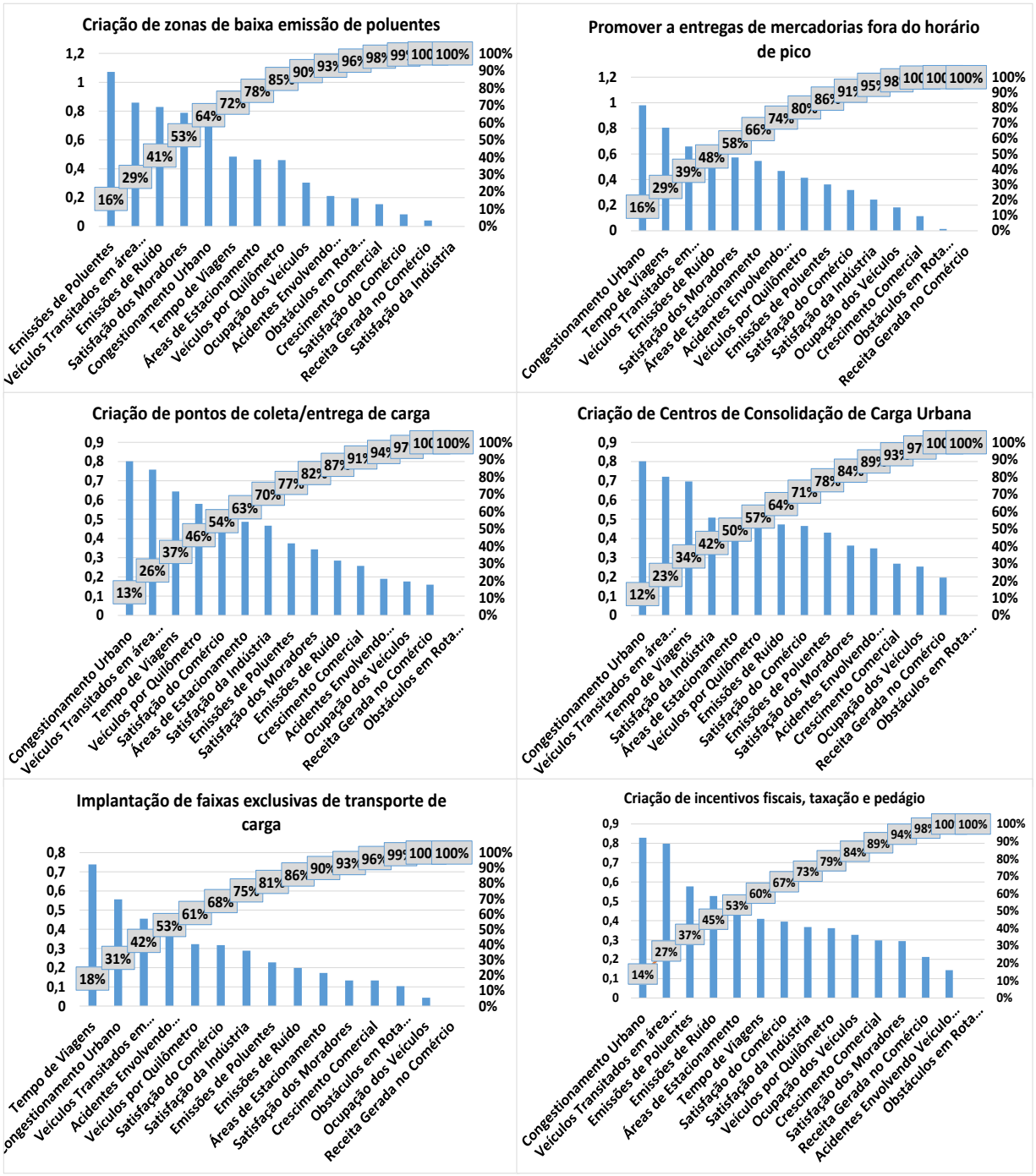


Figura 2: Diagrama de Pareto da Relevância Acumulada

Dos 15 critérios estudados, somente 4 ou 5 critérios de desempenho seriam mais representativos do que os 10 ou 11 critérios restantes para avaliar uma solução de LU. Tal fato, sugere que pode-se adotar um nível reduzido de critérios, podendo assim, gerar uma

economia de recursos humanos, físicos, financeiros e tecnológicos.

Além da necessidade de poucos critérios de desempenho, é possivel constatar, através de um Diagrama de Distribuição de Frequência, ver Figura 3, que dos 5 critérios mais representativos vários se repetem ao longo das 6 soluções estudas, principalmente: congestionamento urbano e veículos transitados em áreas centrais.

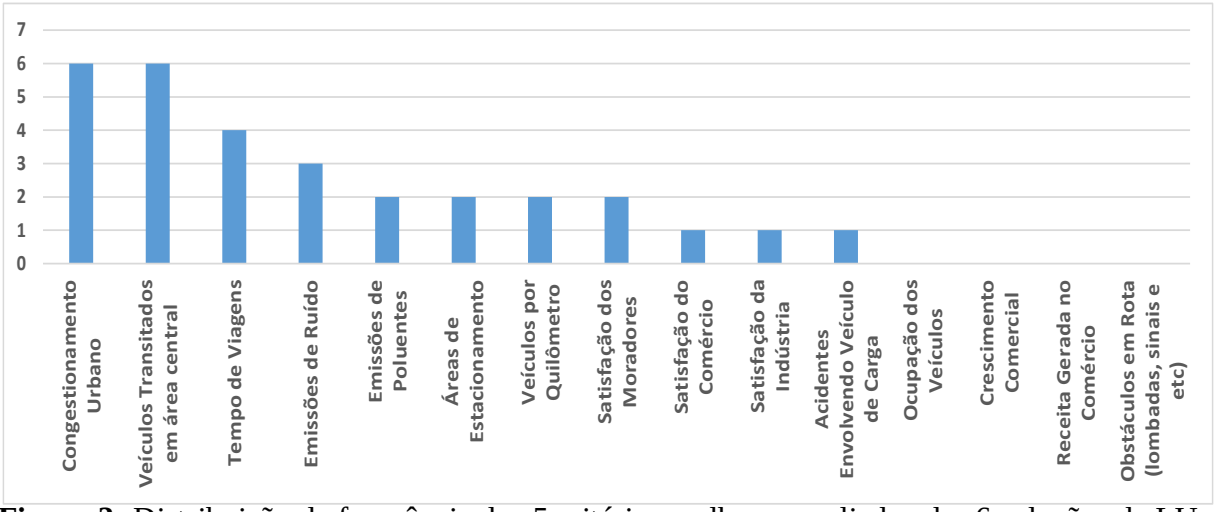


Figura 3: Distribuição de frequência dos 5 critérios melhores avaliados das 6 soluções de LU

Acrescenta-se que através da aplicação do método proposto também é possivel avaliar mais de um solução de LU por meio da simples soma das notas. Quanto maior o somatório, mais relevância tem o critério de avaliação. Desse modo, os critérios de avaliação que obtiveram as maiores notas são os que melhores representam o cenário a ser monitorado e avaliado.

Deste modo, analisando as seis soluções de LU em conjuntos, considerndo a média de todas as colunas da Tabela 3, os critérios que obtiveram maior relevância, segundo os especialistas e agentes públicos, foram: o congestionamento urbano (aberto por veículos transitados em áreas centrais e tempo de viagem), emissões de poluentes, emissões de ruídos e áreas para estacinamento.

A Figura 4 mostra que, para as seis soluções de LU, dividindo os critérios de avaliação por classe, os especialistas estão mais preocupados em monitorar e avaliar os critérios sociais, em especial o de acessibilidade.

Por outro lado, os critérios econômicos (crescimento comercial e receita gerada pelo comércio) e operacionais (ocupação dos veículos) foram os menos relevantes, ficando átras somente do números de obstáculos em rota. Diante de tal fato, contatou-se um baixa preocupação com o sistema econômico e logístico, o que sugere que os especialistas e agentes públicos estão empenhados em monitorar e minimizar as externalidades que o veículos de cargas causam no congestionamento urbano e suas consequências no transporte passageiros (individual ou coletiva) e na qualidade de vida da população.

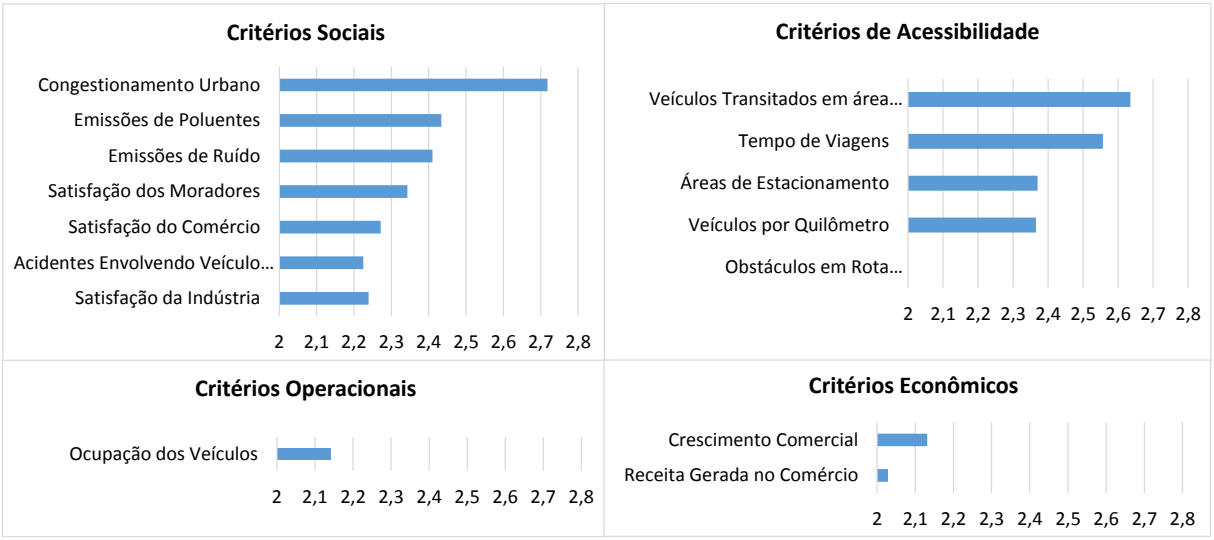


Figura 4: Relevância dos critérios de avaliação divididos por classe

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do estudo, foi possível constatar que a adoção de 4 ou 5 critérios seriam suficientes para avaliar e monitorar uma soluções LU, e quando analisadas em conjunto, muitos critérios de desempenhos são comuns, o que facilitaria na avaliação e monitoramento, além poder gerar uma economia de recursos humanos, físicos, financeiros e até tecnológicos.

Outro ponto observado foi que os respondentes (especialistas e agentes públicos), no geral, estão interessados em mitigar os critérios de sustentabilidade social, em especial o de acessibilidade, com um foco no congestionamento urbano e nos impactos que o transporte de carga geram no transporte de passageiros e na qualidade de vida da população.

É importante salientar que os resultados deste artigo foram limitados a percepção de especialistas e agentes público e que para uma melhor análise deve levar em consideração todas as partes interessadas como: moradores, comércio, operadores logisticos, dentre outros.

Como sugestão para novos estudos, recomenda-se a aplicação do questionário em outras partes interessadas, um aprofundamento nos critérios de avaliação e monitoramento detalhando os indicadores, dificuldades e tipos de análises para obtenção de dados. Por fim, sugere-se também a aplicação do questionário em outros países para fins comparativos da percepção das diversas partes interessadas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo suporte a pesquisa, bem como a professora Leise Kelli de Oliveira, da UFMG, pelo apoio ao desenvolvimento do trabalho, além de todos aqueles que responderam voluntariamente ao questionário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen, J.; Anderson, S.; Browne, M.; Jones, P. (2000) A framework for considering policies to encourage sustainable urban freight traffic and goods/service flows - Report 3: Making urban goods and service operations more sustainable: policy measures and company initiatives. London: University of Westminster.

Banister, D.; Stead D.; Steen, P.; Akerman, J.; Dreborg, K.; Nijikamp, P.; Tappeser R.S. (2000) Targets for Sustainability Mobility, European Transport Policy and Sustainable Mobility, cap.8 , pp119, Spon Press.

Costa, M. S. (2003) *Mobilidade Urbana Sustentável: Um Estudo Comparativo e as Bases de um Sistema de*

Gestão para o Brasil e Portugal. 43 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.

Dablanc, L. (2007) Goods Transport In Large European Cities: Difficult To Organize, Difficult To Modernize. *Transportation Research Part A*. Davis, v. 41, p. 280-285.

Gudmundsson, H. (2004). Sustainable Transport and Performance Indicators. *Issue in Environmental Science and Technology*, n.20, p. 35-63.

Lindholm, M.; Blinge, M. (2014) Assessing Knowledge and Awareness of the Sustainable Urban Freight Transport Among Swedish Local Authority Policy Planners. *Transport Policy*, vol. 32, p. 124-131

Likert, R. (1932) *A Technique for the Measurement of Attitudes. Archives of Psychology*. No. 140, p. 1-55.

Mello, C. (2013). Métodos quantitativos: pesquisa, levantamento ou survey. Apresentação - Aula 09 - Disciplina de metodologia de pesquisa UNIFEI, Itajubá, MG.

Melo, S. (2011) Evaluation of urban goods distribution initiatives: na empirical overview in the Portuguese context. IN: Macharis, Cathy; Melo, Sandra (Orgs.). City Distribution and Urban Freight Transport: Multiple Perspectives. NECTAR Series on Transportation and Communications Networks Research.

Mourelo, A. C. A. (2002) Un Sistema de Indicadores para Avanzar en la Movilidad Sostenible. In: *Congreso de Engeniería del Transporte*, Santander, Espanha.

NCFRP (2015) Report 33: Improving Freight System Performance in Metropolitan Areas: A Planning Guide. *National Cooperative Freight Research Program*, Washington, *D.C.*

Oliveira, L. K. (2007) Modelagem para avaliar a viabilidade da implantação de um sistema de distribuição de pequenas encomendas dentro dos conceitos de city logistics. Tese de Doutorado – PPGED, UFSC, Florianópolis, SC.

Oliveira, L. K. (2014) Diagnóstico das vagas de carga e descarga para a distribuição urbana de mercadorias: um estudo de caso em Belo Horizonte. *Journal of Transport Literature*. Vol. 8, n. 1, pp. 178-209, Jan. 2014

Oliveira, L. K.; GRATZ M. S. M. (2014) Impacts of truck ban to urban goods distribution: Na exploratory study in Belo Horizonte (Brazil). *Anais XVIII Congresso Panamericano de Engenharia de Transito e Transporte e Logistica*, PANAM, Santander, Espanha.

PIARC (2012) Public Sector Governance of Urban Freight Transport. *World Road Association*, PIARC, v.1, p. 70.

Schoemaker, J; Allen, J; Huschebeck, M; Monigl, J. (2006) Quantification of Urban Freight Transport Effects. BESTUFS.

SOLUTIONS (2014) Sharing opportunities for low carbon urban transportation. Working Paper on innovative solutions in cities around the world. Local não definido .Disponível em: <http://www.urban-mobility-solutions.eu/fileadmin/editor-content/Newsletter_photos/D1_1_working_paper_innovative_solutions_1.6_small.pdf>. Acesso em: 06/06/2016.

Taniguchi, E., Thompson, R.G., Yamada, T. (2013), Recent Trends and Innovation in Modelling City Logistics, Procedia Social and Behavioral Sciences, v. 125, p. 4-14.

Taniguchi, E.; Imanishi, Y.; Barber, R.; James, J; Debauche, W. (2014) Public Sector Governance to Implement Freight Vehicle Transport Management, *Procedia Social and Behavioral Sciences*, v.1, p. 125.

PROPOSTA DE MÉTODO PARA DETERMINAR A FROTA DE MATERIAL RODANTE DE UMA FERROVIA DE VIA SINGELA EM FASE DE PROJETO COM O AUXÍLIO DA SIMULAÇÃO DINÂMICA

Marco De Amicis
Bruno Vieira Bertoncini
Universidade Federal do Ceará[1]
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes

RESUMO
Determinar a frota de material rodante necessária para atender a demanda por transporte de uma ferrovia é um processo complexo, principalmente quando a mesma está em fase de projeto. Existem diversas variáveis que interferem no processo. O trabalho visa apresentar um método para esse dimensionamento, quando os únicos dados de entrada são o perfil da via, modelo de operação e a demanda futura, que avalie desde o trem tipo até a operação deles na malha ferroviária, incorporando os efeitos aleatórios pertinentes ao sistema. Ao final do trabalho, o método será aplicado para um sistema real, ou seja, usando os dados de uma ferrovia em fase de projeto.

Marco De Amicis (marcodeamicis@det.ufc.br)
Bruno Vieira Bertoncini (bruviber@det.ufc.br)
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará
Av. Humberto Monte, s/n, bloco 703, Centro de Tecnologia, Campus Pici - Fortaleza, CE, Brasil.

AVALIAÇÃO DOS FATORES DE RISCO EM EMPREENDIMENTOS FERROVIÁRIOS: UMA PERCEPÇÃO DOS ESPECIALISTAS DA ÁREA

Taíza Reis Dantas De Sordi
Pastor Willy Gonzales Taco
Programa de Pós-Graduação em Transportes
Universidade de Brasília

RESUMO
Este trabalho busca identificar e quantificar os fatores de risco dos empreendimentos contratados pela Diretoria de Infraestrutura Ferroviária (DIF) do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) no decorrer da execução. Para isso, com base na revisão da literatura, foram identificados os principais fatores de riscos presentes nos empreendimentos ferroviários e, utilizando a técnica *Brainstorming* com especialistas, foram elencados os principais fatores de risco dos projetos e obras da DIF/DNIT. Em seguida, foi quantificada a influência que cada fator de risco exerce nos empreendimentos com a aplicação do método AHP. Assim, um modelo foi aplicado para determinar o grau de risco total dos projetos e obras contratados pela DIF. Os resultados permitiram verificar que os empreendimentos geridos pela DIF/DNIT podem ser considerados de alto risco e que a maioria dos fatores de risco é considerada externa. Foram determinados, também, os fatores de risco com maior ocorrência e influência nos empreendimentos, os quais a diretoria deve dar maior importância com o intuito de mitigá-los.

ABSTRACT
This paper seeks to identify and quantify the risk factors faced by the Railway Infrastructure Board (DIF) of the National Department of Transport Infrastructure (DNIT) during the execution of its projects. Based on the literature review, the main risk factors present in the board's railway ventures were identified and, using the Brainstorming technique with specialists, the main risk factors of the DIF / DNIT projects and works were listed. Then, the influence that each risk factor exerts in the ventures was quantified with the application of the AHP method. Finally, a proposed model was applied in order to determine the overall risk level of the projects and works contracted by DIF. The results allowed to verify that the ventures managed by the DIF/DNIT can be considered high risk and that most of the risk factors are considered external. The risk factors with greater occurrence and influence in the ventures were also determined, which the board should give greater importance in order to mitigate them.

1. INTRODUÇÃO

O atual sistema ferroviário brasileiro possui 29.291 km de extensão, distribuídos entre 16 malhas ferroviárias. Das malhas existentes, 12 compõem os principais trechos do sistema ferroviário nacional, os quais, juntos, respondem por 28.176 km de linhas férreas, que atendem às Regiões Sul, Sudeste, Nordeste e, em menor proporção, Centro-Oeste e Norte do País (CNT, 2015).

O Governo Federal, buscando um maior equilíbrio da divisão modal, tem fomentado a expansão da malha por meio de planos e programas de investimentos, considerando a construção e a concessão de ferrovias. Nesse sentido, em 15 de agosto de 2012, foi lançado o Programa de Investimentos em Logística – PIL, com o objetivo de ampliar a escala dos investimentos públicos e privados em infraestrutura rodoviária, ferroviária, hidroviária, portuária e aeroportuária. No que concerne ao modo ferroviário, o programa busca, essencialmente, expandir a capacidade de transporte da malha ferroviária nacional, resgatar a ferrovia como alternativa logística e reduzir fretes (ANTT, 2015).

Estudos como o de Costa e Cassemiro (2015), que apresenta uma avaliação financeira, social e ambiental sobre a implantação da nova ferrovia EF-118, entre Rio de Janeiro e Vitória, que será

concedida pelo governo, e de Dores e D'Agosto (2015), que objetiva construir uma proposta preliminar de inserção do transporte ferroviário na movimentação de cargas fracionadas no Brasil, mostram a importância da crescente necessidade em se investir no modo ferroviário, com o intuito de desenvolver o país.

No Brasil, existem diferentes órgãos para tratar das questões que envolvem o transporte ferroviário, tais como a Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, a VALEC Engenharia, Construções e Ferrovias S.A e a EPL – Empresa de Planejamento e Logística S.A. Estas autarquias e empresas públicas estão vinculadas ao Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil, órgão com competência para atuar sobre a política nacional de transportes dos modos ferroviário, rodoviário e aquaviário.

Ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT cabe implementar a política de infraestrutura do Sistema Federal de Viação, compreendendo sua operação, manutenção, restauração ou reposição, adequação de capacidade e ampliação mediante construção de novas vias e terminais.

No âmbito da gestão ferroviária, conforme a Lei nº 10.233, de 5 de junho de 2001, são atribuições do DNIT "desenvolver estudos sobre transporte ferroviário ou multimodal envolvendo estradas de ferro" e "projetar, acompanhar e executar, direta ou indiretamente, obras relativas a transporte ferroviário ou multimodal (...)". Atribuições essas que são cumpridas pela Diretoria de Infraestrutura Ferroviária (DIF/DNIT).

Embora a DIF/DNIT tenha atribuições que lhe permitam expandir a malha ferroviária, na prática, isso não acontece. As políticas públicas do Governo Federal na área ferroviária têm atribuído ao DNIT a missão de executar obras ferroviárias em centros urbanos interceptados por ferrovias federais, sendo essas obras do tipo: transposições à via férrea, contornos e variantes ferroviárias (DNIT, 2014).

As adequações realizadas pelo Governo Federal na malha ferroviária, executadas pela DIF/DNIT, visam dirimir pontos de comprometimento do fluxo de trens em áreas urbanas e reduzir o risco de acidentes, aumentando o nível de serviço da ferrovia, sua capacidade de transporte e sua velocidade média comercial, além de promover a qualidade de vida no meio urbano.

Portanto, os desafios do DNIT quanto ao transporte ferroviário compreendem a contratação de projetos ferroviários com mais qualidade e a inicialização, retomada ou conclusão de várias obras ferroviárias, com o intuito de desafogar os principais conflitos existentes no Brasil, entre vias férreas e vias urbanas, e de dar maior conforto e segurança da população na transposição à ferrovia (DNIT, 2014).

A meta de resultado da Diretoria de Infraestrutura Ferroviária (DIF/DNIT) é concluir com eficiência, eficácia e efetividade todos os empreendimentos ferroviários no âmbito do DNIT. Porém, existem riscos enfrentados no decorrer da execução dos empreendimentos que impactam nas metas de resultado da DIF/DNIT. Dentre os riscos existentes podem ser citados: i) a não obtenção das Licenças Ambientais (Prévia, Instalação e Operação); ii) a judicialização dos processos de desapropriação e/ou reassentamentos; iii) as solicitações de estudos/pesquisas

complementares; iv) a revisão de projeto em fase de obras; v) as dificuldades de encontrar soluções para as interferências entre as vias férreas e urbanas (cabos óticos, redes de água e esgoto, entre outras); vi) a necessidade de análise de preços novos; vii) a indisponibilidade de limite orçamentário; e viii) o atraso na emissão da Ordem de Serviço, entre outros.

A possibilidade de ocorrência destes riscos pode resultar nas seguintes consequências para os empreendimentos: i) impedimento de iniciar o/a projeto/obra; ii) atrasos nos cronogramas físico e financeiro da obra; iii) rescisão contratual; iv) impossibilidade de liberação de frentes de serviço; v) impossibilidade de emissão da ordem de reinício dos serviços; vi) paralisação de contratos; vii) excesso de aditivos; e viii) desatualização de projetos, entre outros.

Nesse contexto, este estudo tem como objetivo identificar e quantificar os fatores de riscos presentes na execução dos empreendimentos da DIF/DNIT, a fim de subsidiar os gestores e fiscais na tomada de decisão de ações imediatas e no desenvolvimento de planos de ação para mitigação dos riscos.

Assim, o trabalho está dividido em seis itens. No segundo item, são apresentados os conceitos fundamentais associados às análises de riscos, além da definição dos riscos presentes em projetos e obras ferroviárias, resultado da revisão bibliográfica. No terceiro item, apresenta-se a proposta do método a ser empregado na mensuração dos fatores de riscos. O quarto item traz a aplicação e apresentação dos resultados alcançados e o quinto item a análise dos resultados. Já no último item, têm-se a conclusão do trabalho e as recomendações para aplicações práticas e pesquisas futuras.

2. RISCO

Na elaboração de um método de análise de riscos, torna-se necessário, inicialmente, definirem-se alguns conceitos fundamentais. Nessa seção, com base na revisão bibliográfica, são definidos os termos risco e perigo, além dos riscos presentes em empreendimentos ferroviários. Esses conceitos são relevantes para a definição do escopo e da estrutura do modelo proposto nesse estudo.

2.1. Definições de risco

Berger (1982) define risco como a medida da probabilidade e severidade de efeitos adversos e como função da probabilidade de um evento acontecer e a magnitude ou severidade causada por esse evento. Por sua vez, Suter (1993) define o risco em termos de uma probabilidade de um efeito danoso específico acontecer ou como a relação entre a magnitude do efeito e sua probabilidade de ocorrência. Já para Pelletier (2007), o risco corresponde à possibilidade de que um evento, esperado ou não esperado, torne-se realidade, ou seja, se algo pode vir a ocorrer existe um risco. Segundo Gray e Larson (2011), risco é a chance que um evento indesejável possa ocorrer e suas possíveis consequências.

Já para outros autores, o risco está associado ao perigo, como explicado a seguir. Andrews (1993) define perigo como uma situação física com potencial para provocar danos no homem, em bens, no meio ambiente ou ainda na combinação desses. Torreira (1999) considera que, se uma fonte de perigo é algo que pode provocar danos e se os perigos são os vários tipos de danos que podem por ela ser provocados, então os riscos seriam formas de avaliações quantitativas e qualitativas das possibilidades de uma fonte de perigo provocar danos.

Dentro do contexto de projetos, Kerzner (1998) define risco como a combinação da probabilidade e da consequência de não se atingir os objetivos propostos ou previstos no projeto. Para Alencar e Schmitz (2006), um fator de risco é qualquer evento que possa prejudicar, total ou parcialmente, as chances de sucesso do projeto, isto é, as chances de o projeto realizar o que foi proposto dentro do prazo e fluxo de caixa que foram estabelecidos.

2.2. Riscos em projetos e obras ferroviárias

O projeto, a construção e a operação dos sistemas ferroviários são os principais objetivos da engenharia ferroviária. Pode-se dizer que um empreendimento de infraestrutura ferroviária possui as seguintes características: exige alto investimento e avançada tecnologia; possui extensa fase de construção; é considerado de grande escala, podendo sua extensão ser de dezenas a milhares de quilômetros; sua área de construção pode cruzar cidades e municípios; depende das condições climáticas, geológicas e hidrológicas da região por onde passa; além do projeto ferroviário ser composto por diferentes tipos de projetos de engenharia, como projeto geométrico, de terraplenagem, de túneis, de pontes, de estações, de pátios ferroviários, de sinalização, de eletrificação, de drenagem, etc., o que aumenta a sua complexidade. Além dessas características, as obras podem ser executadas sob diversas circunstâncias e situações de incerteza, causadas por fatores desconhecidos, inesperados ou inevitáveis. Portanto, estes fatores tornam necessários a identificação e o gerenciamento eficiente dos riscos presentes na implantação de uma ferrovia.

A falta de monitoramento destes riscos pode levar à ocorrência de eventos indesejados sobre algum objetivo do projeto, como tempo, custo, escopo, qualidade, etc. E esses eventos podem gerar algumas consequências, tais como o aumento do custo, atrasos, revisões de projeto e redução da qualidade da obra.

A preocupação com os riscos envolvidos na construção de uma obra de engenharia pode ser observada em estudos tais como o de Zhao *et al*. (2011), o qual analisa a incerteza sobre o risco da construção de uma obra de engenharia a partir da perspectiva de um modelo de previsão de risco.

Outros estudos, como os de Suh (2000), Wang *et al*. (2011), Tang *et al*. (2011) e Xiangdong *et al*. (2013), tratam sobre a importância do gerenciamento de riscos em obras ferroviárias e propõem modelos capazes de identificar os riscos que devem ter maior atenção pelo executor do projeto ou da obra, a fim de evitar impactos ou efeitos indesejáveis desses riscos no empreendimento.

2.3. Tipos de riscos em obras ferroviárias

No Quadro 1 são apresentados os fatores de risco que podem afetar o desenvolvimento de empreendimentos ferroviários, extraídos da literatura sobre o assunto.

Os autores buscaram dividir os riscos, em um primeiro nível, em diferentes perspectivas, tais como riscos do governo, do mercado, políticos, financeiros, ambientais, contratuais, segurança, tecnologia, custo, sociedade, entre outros. Em seguida, em um segundo nível, foram detalhados os riscos derivados de cada risco do primeiro nível. Observa-se que riscos políticos, ambientais e financeiros/econômicos são citados por todos os autores. Com base nesses fatores de risco levantados na literatura e de acordo as funções que exerce a DIF/DNIT, foi desenvolvido o método apresentado a seguir.

Quadro 1: Fatores de risco em obras ferroviárias

Suh (2000)	Zhao *et al*. (2011)	Wang *et al*. (2011)	Xiangdong *et al*. (2013)	Tang *et al*. (2011)
Riscos na construção: normas, complexidade do projeto, integração dos sistemas, plenitude do projeto, normas de segurança, controle da qualidade, tipo do contrato, especificação, escopo e procedimento das aquisições.	Riscos derivados da empresa: risco de custo, risco da qualidade, risco da duração, risco do contrato e das informações, risco da segurança da construção, risco da tecnologia e do gerenciamento.	Perda de tempo: desenhos do projeto não são fornecidos a tempo; aquisições de terras e reassentamento não são concluídas dentro do cronograma; impacto climático, como inverno e chuva; fornecimento insuficiente ou recursos danificados; interferência administrativa local.	Riscos políticos: estabilidade política, orientação política.	Riscos políticos: riscos na autorização, riscos nas políticas públicas, riscos de nacionalização.
Riscos políticos e sociais: obtenção das licenças e permissões, mudança de tecnologia, viabilidade a longo prazo, restrições técnicas, situação política.	Riscos derivados do investidor: risco de preço, risco de sinistro, risco de pagamento, risco do projeto, risco de intervenção, risco legal.	Perda de qualidade: qualidade inferior de materiais de construção; implementação fraca e incapacidade do engenheiro de supervisão; falta de gestão técnica; más condições naturais e dificuldade de construção.	Riscos de mercado: macroeconomia, inflação, impacto social.	Riscos econômicos: riscos de mercado, riscos da taxa de juros, riscos cambiais, riscos da inflação.
Riscos financeiros: fonte de financiamento, inflação, precisão da estimativa de custo, taxa de câmbio, *joint venture* (empreendimento conjunto), superação do custo, custo do atraso.	Riscos derivados da sociedade e meio ambiente: risco político, risco natural, risco moral, risco da segurança.	Aumento do custo: custo superior ao previsto quanto à desapropriação; mudança de preço de pessoal e materiais; técnicas pobres de medição e gerenciamento da construção; inadequada aplicação do contrato.	Riscos da organização: condições da construção, gerenciamento da construção, eficiência, falta de controle.	Riscos da conclusão: riscos nas questões técnicas no projeto e na construção, organização e gerenciamento dos riscos na construção, riscos de capital.
		Perda de segurança: existências de construções e interferências não previstas; falta de medidas de segurança; falta de educação dos trabalhadores.	Risco da segurança: segurança do pessoal da construção, saúde ocupacional dos funcionários.	Riscos ambientais: riscos naturais, riscos ambientais econômicos, sociais e humanos.
		Outras perdas: medidas de proteção ambiental ruins e implementação fraca.	Riscos da tecnologia: projeto, processo de licitação.	Riscos contratuais: riscos legais, riscos contratuais.

3. MÉTODO PARA IDENTIFICAÇÃO DO FATOR DE RISCO EM PROJETOS E OBRAS FERROVIÁRIAS

Este método tem como objetivo determinar os graus de risco dos fatores de riscos identificados nos empreendimentos ferroviários para, posteriormente, priorizá-los em função de seus efeitos.

O desenvolvimento do método dividiu-se em três etapas: i) na primeira etapa, com base nos fatores de risco levantados na literatura (Quadro 1), foram identificados e estruturados os principais fatores de riscos presentes nos empreendimentos ferroviários na DIF. Para isso foi

utilizada a técnica *Brainstorming* com Analistas em Infraestrutura de Transportes, todos engenheiros civis, cuja função é fiscalizar e gerir os contratos dos empreendimentos da DIF; ii) na segunda etapa, o objetivo foi quantificar a influência que cada fator de risco exerce nos empreendimentos e, para isso, foi aplicado o método AHP (*Analitic Hierarchy Process*); e iii) na última etapa, o objetivo foi utilizar o modelo proposto por Wang *et al.* (2011) para determinar o grau de risco total dos projetos e obras contratados pela DIF para a redução dos conflitos entre via férrea e centros urbanos. A partir da aplicação do modelo, obtém-se a priorização dos fatores de risco.

4. APLICAÇÃO DO MÉTODO NA DIRETORIA DE INFRAESTRUTURA FERROVIÁRIA (DIF/DNIT)

Nessa seção são apresentados os resultados obtidos através da aplicação do método proposto.

4.1. Primeira Etapa - Identificação e estruturação dos fatores de risco

Através da técnica *Brainstorming*, realizada com 8 (oito) especialistas, foram identificados os principais fatores de risco enfrentados nos empreendimentos da diretoria. Em seguida, buscou-se dividir os fatores identificados em 4 (quatro) grupos de riscos principais (R_i): i) riscos de atraso para o início/conclusão do projeto/obra (R_1); ii) riscos de aumento do custo da obra (R_2); iii) riscos da perda de qualidade da obra (R_3); e iv) riscos de paralisação/rescisão contratual (R_4). Conforme apresentado na Figura 1, estes riscos estão no 2º nível de hierarquia da árvore hierárquica dos principais fatores de riscos. Já os fatores de risco do 3º nível (R_{ij}) são aqueles que, quando acontecem, levam à ocorrência dos riscos do 2º nível (Figura 1).

4.2. Segunda Etapa - Aplicação do método AHP

Nesta etapa, os fatores de risco foram avaliados dois a dois, visando determinar a importância relativa entre eles e seu peso relativo nos empreendimentos como um todo.

No 2º nível de hierarquia, os fatores de risco principais foram comparados entre si, levando-se em consideração a relevância do impacto da sua ocorrência nos empreendimentos da DIF/DNIT. Já os fatores de risco de cada grupo principal foram comparados entre si quanto ao impacto na ocorrência do risco principal do 2º nível. Para isso, utilizou-se a escala de comparação de pares do método AHP e os valores desta escala foram introduzidos em uma matriz.

As ponderações das comparações pareadas foram feitas por cada um dos 8 (oito) especialistas da DIF/DNIT. A partir das matrizes de preferências de cada um, utilizando-se as fórmulas sugeridas por Saaty (1990) para o AHP, obtiveram-se os valores dos pesos/influências de cada fator de risco. Os resultados são apresentados na Tabela 1.

É importante ressaltar-se que foi realizada uma análise de inconsistência nas matrizes de comparação do método AHP, com o intuito de avaliar-se a coerência do julgamento dos participantes, de modo a determinarem-se se os níveis de inconsistência estavam aceitáveis. As matrizes são consideradas consistentes se a Relação de Consistência (*Consistency Ratio*) for menor que 0,10.

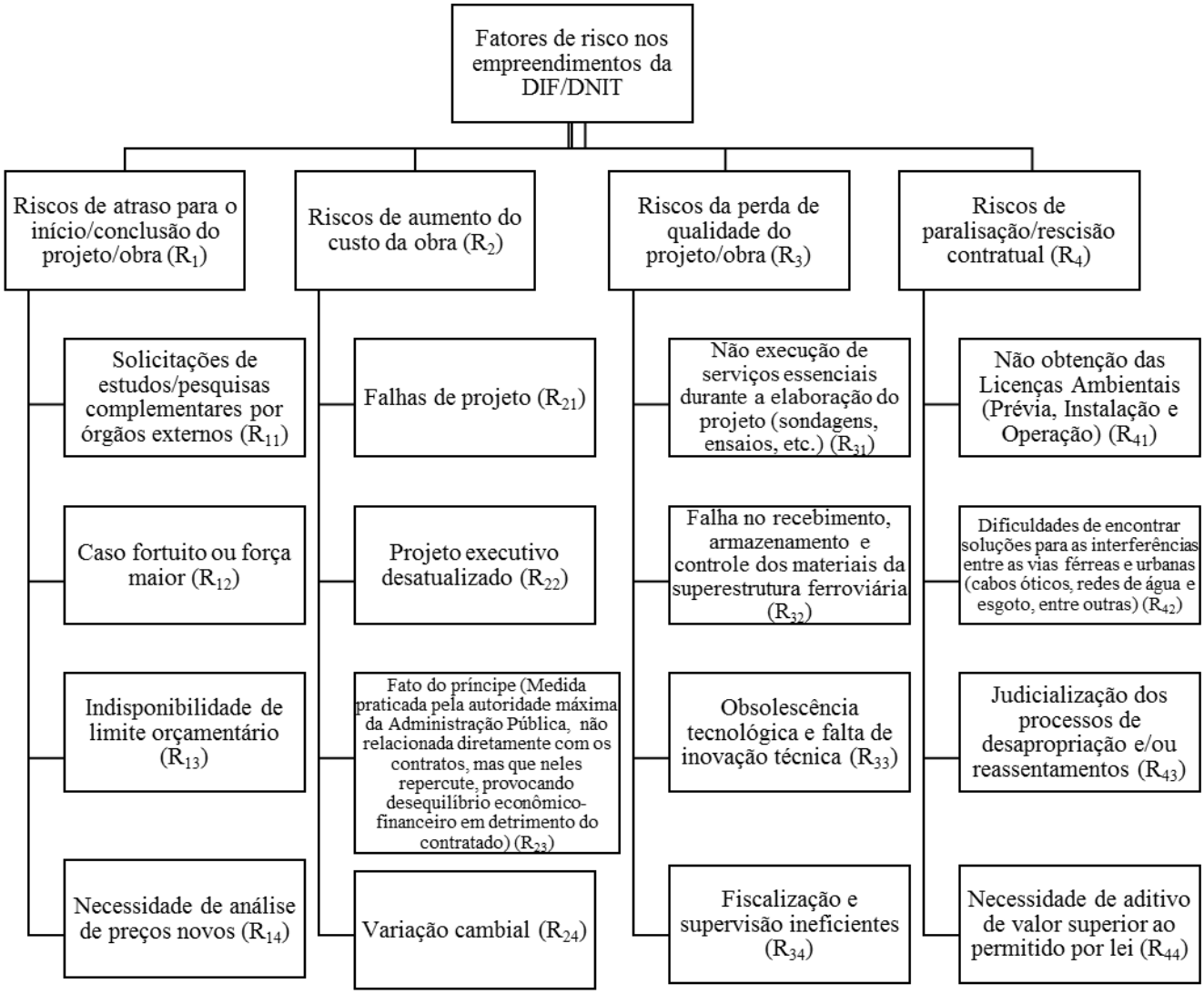


Figura 1: Hierarquia dos fatores de risco nos empreendimentos da DIF/DNIT

Tabela 1: Influências (I) obtidas pelo método AHP para os fatores de risco

Fatores de Risco (FR)		**Fatores de Risco (FR) por Grupo**							
Principais		**Atraso**		**Aumento do custo**		**Perda da qualidade**		**Paralisação/rescisão contratual**	
FR	**I**	**FR**	**I**	**FR**	**I**	**FR**	**I**	**FR**	**I**
R_1	0,116	R_{11}	0,369	R_{21}	0,436	R_{31}	0,438	R_{41}	0,396
R_2	0,292	R_{12}	0,325	R_{22}	0,397	R_{32}	0,188	R_{42}	0,100
R_3	0,331	R_{13}	0,178	R_{23}	0,083	R_{33}	0,111	R_{43}	0,196
R_4	0,260	R_{14}	0,128	R_{24}	0,084	R_{34}	0,262	R_{44}	0,307
RC	0,002	**RC**	0,022	**RC**	0,007	**RC**	0,004	**RC**	0,004

4.3. Terceira Etapa - Aplicação do modelo proposto

Para determinar-se o grau de risco de cada fator de risco nos empreendimentos da DIF/DNIT, foi utilizado o modelo proposto por Wang *et al.* (2011), o qual afirma que o grau de risco é resultante do produto entre a probabilidade de o risco acontecer e a influência desse risco em um empreendimento, conforme Equação 1.

$$\textit{Grau de risco} = P \times I \quad (1)$$

em que: *P*: probabilidade de o risco acontecer; e
I: influência do risco.

A probabilidade de cada fator de risco acontecer foi determinada pela média aritmética dos valores obtidos pela classificação realizada por cada especialista da DIF/DNIT, de acordo com seu conhecimento e experiência na diretoria. A Tabela 2 apresenta as notas que foram utilizadas para classificar a probabilidade de o fator de risco acontecer.

Tabela 2: Notas subjetivas de probabilidade para avaliação dos riscos.

Chances de o risco acontecer	Muito alta	Alta	Média	Pequena	Muito pequena
Incidência do risco	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2

Fonte: Wang *et al.* (2011).

Os valores das influências dos fatores de risco foram obtidos pela aplicação do método AHP. O grau de risco total dos empreendimentos da DIF/DNIT é calculado pelo somatório dos graus de todos os fatores de risco. Assim, o conjunto de empreendimentos gerenciados pela diretoria ferroviária do DNIT poderá ser classificado, quanto ao nível de risco, de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3: Tabela para avaliação dos riscos.

Faixa de Grau de Risco	Nível do Risco
0,0 ~ 0,4	Baixo risco
0,4 ~ 0,6	Médio risco
0,6 ~ 0,8	Alto risco
0,8 ~ 1,0	Altíssimo risco

Fonte: Wang *et al*. (2011).

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos para a probabilidade de ocorrência e a influência dos fatores de risco avaliados. Com a aplicação do modelo proposto, determinou-se o grau de risco de cada fator e, em seguida, com o somatório dos graus de risco, o grau de risco total dos empreendimentos da DIF/DNIT.

Tabela 4: Probabilidade de ocorrência e a influência dos fatores de risco

Riscos	Probabilidade (P)	Influência (I)	Grau de Risco
Solicitações de estudos/pesquisas complementares por órgãos externos (R_{11})	0,850	0,043	0,037
Caso fortuito ou força maior (R_{12})	0,400	0,038	0,015
Indisponibilidade de limite orçamentário (R_{13})	0,525	0,021	0,011
Necessidade de análise de preços novos (R_{14})	0,575	0,015	0,009
Falhas de projeto (R_{21})	0,800	0,127	0,102
Projeto executivo desatualizado (R_{22})	0,750	0,116	0,087
Fato do príncipe (R_{23})	0,375	0,024	0,009
Variação cambial (R_{24})	0,325	0,025	0,008
Não execução de serviços essenciais durante a elaboração do projeto (sondagens, ensaios, etc.) (R_{31})	0,825	0,145	0,120

Falha no recebimento e armazenamento dos materiais da superestrutura ferroviária (R_{32})	0,600	0,062	0,037
Obsolescência tecnológica e falta de inovação técnica (R_{33})	0,550	0,037	0,020
Fiscalização e supervisão ineficientes (R_{34})	0,575	0,087	0,050
Não obtenção das Licenças Ambientais (Prévia, Instalação e Operação) (R_{41})	0,725	0,103	0,075
Dificuldades de encontrar soluções para as interferências entre as vias férreas e urbanas (cabos óticos, redes de água e esgoto, entre outras) (R_{42})	0,525	0,026	0,014
Judicialização dos processos de desapropriação e/ou reassentamentos (R_{43})	0,75	0,051	0,038
Necessidade de aditivo de valor superior ao permitido por lei (R_{44})	0,525	0,080	0,042
Grau de risco total dos empreendimentos	$\sum P \times I = 0{,}674$		

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Quanto aos resultados apresentados na Tabela 4, verifica-se que o grau de risco total dos empreendimentos geridos pelo DIF/DNIT é de 0,674, o qual indica, conforme Tabela 3, que esses empreendimentos podem ser considerados de alto risco.

Com os resultados obtidos para os graus de risco, foi possível verificar-se quais são os fatores de risco que causam maiores impactos nos empreendimentos da DIF/DNIT, de acordo com as opiniões dos gestores e fiscais. Com o intuito de se fornecer uma visão geral dos níveis de riscos, foram hierarquizados os fatores de risco a partir do grau de risco e representados na Figura 2.

A partir da avaliação da Figura 2, constata-se que os fatores "Não execução de serviços essenciais durante a elaboração do projeto (sondagens, ensaios, etc.) – R_{31}", "Falhas de projeto – R_{21}", "Projeto executivo desatualizado – R_{22}" e "Não obtenção das Licenças Ambientais (Prévia, Instalação e Operação) – R_{41}" foram considerados os que mais causam impacto nos empreendimentos e que, por isso, podem afetar na conclusão dos objetos contratados pela diretoria, ou seja, projetos ou obras. Observa-se que os três fatores que apresentaram os maiores graus de risco estão relacionados com problemas existentes nos projetos das obras. O fator "Projeto executivo desatualizado" é recorrente na DIF/DNIT, pois muitos projetos foram doados e aprovados por Prefeituras e Secretarias de Estado anteriormente à criação da diretoria. Já os fatores "Não execução de serviços essenciais durante a elaboração do projeto (sondagens, ensaios, etc.)" e "Falhas de projeto" podem ser resultantes da baixa oferta de empresas especializadas em projetos ferroviários e da deficiência na análise de projetos técnicos. Quanto ao fator "Não obtenção das Licenças Ambientais (Prévia, Instalação e Operação)", uma das causas de sua ocorrência pode ser a dificuldade no atendimento das condicionantes apresentadas pelos órgãos responsáveis pela emissão da licença.

Além disso, fazendo uso de uma outra perspectiva de avaliação, os fatores de risco identificados pelos servidores da DIF/DNIT podem ser classificados em internos ou externos, dependendo do grau de controle que a diretoria tem sobre eles (Figura 3). Os fatores de risco internos são aqueles que podem ser controlados pela própria DIF/DNIT, sendo possível reduzi-los mediante ações diretas pelos próprios gestores e fiscais. Os fatores de risco externos podem ser considerados aqueles que fogem do controle da DIF/DNIT, os quais são difíceis de se evitarem,

pois são causados por fontes externas à diretoria, como outras diretorias do DNIT, órgãos externos, fatores previsíveis/imprevisíveis e empresa contratada.

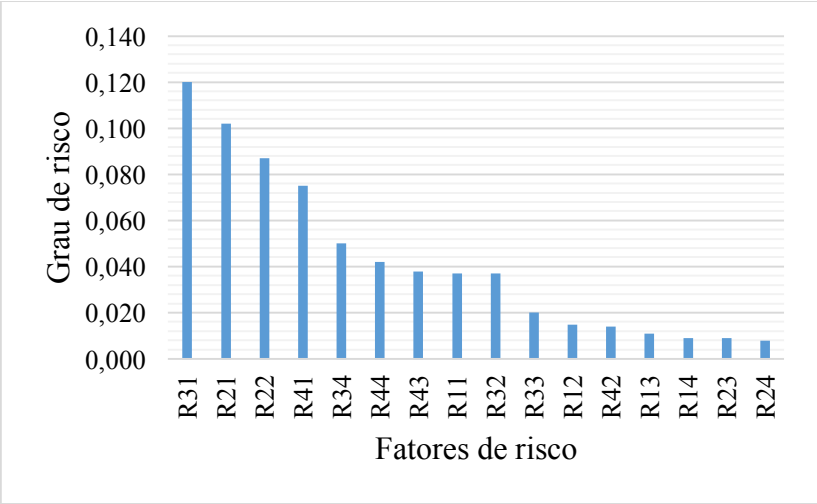


Figura 2: Hierarquização dos fatores de risco nos empreendimentos da DIF/DNIT a partir do grau de risco

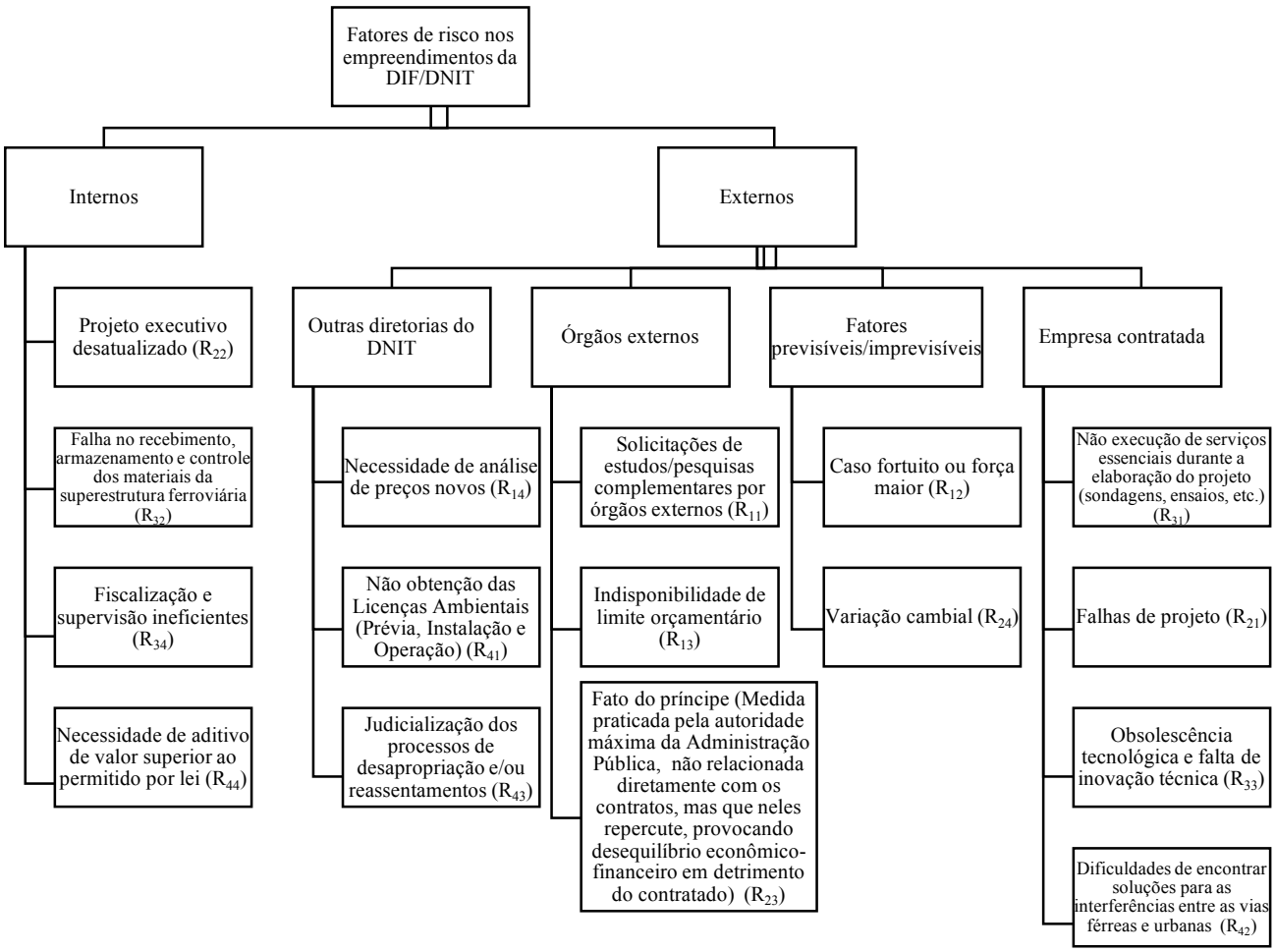


Figura 3: Fatores de risco internos e externos à DIF/DNIT

Observa-se na Figura 3 que a maioria dos fatores de risco é externa à DIF/DNIT, ou seja, são provenientes de influências externas à diretoria, mas que possuem poder para influenciar em seus empreendimentos. O fato de não se poder controlar os fatores de risco externos não significa que não se pode conhecê-los e monitorá-los com frequência. Portanto, é importante que a DIF/DNIT sempre busque realizar reuniões com as outras diretorias do DNIT e com os outros órgãos do Governo envolvidos nos empreendimentos, a fim de minimizar o impacto desses fatores.

Ao concentrar-se nos fatores de risco de alta prioridade, a DIF/DNIT poderá gerenciar os riscos de forma mais eficaz, o que poderá ajudar a decidir onde são necessárias ações imediatas e onde são necessários planos de ação para atividades futuras. Além disso, a hierarquização dos fatores de risco pode facilitar na alocação de recursos para dar suporte às ações tomadas pelos gestores e fiscais.

6. CONCLUSÕES

A gestão de riscos em empreendimentos do Governo Federal ainda é uma atividade pouco utilizada pela administração pública brasileira. Assim, este estudo busca incentivar a prática de identificação e gerenciamento dos riscos nos empreendimentos públicos.

O modelo proposto para quantificar os graus de risco de cada fator de risco enfrentado nos empreendimentos da DIF/DNIT mostrou-se versátil e flexível para entender quais são os fatores com maior ocorrência e influência nos empreendimentos e que, por isso, a diretoria deve dar maior importância com o intuito de mitigá-los. Com um simples e eficiente gerenciamento dos fatores de risco, é possível diminuir-se a probabilidade e o impacto dos eventos adversos aos empreendimentos ferroviários, melhorar-se o nível de gestão de riscos, reduzir-se os riscos, melhorar-se a qualidade de elaboração de um projeto e da construção da obra e controlar-se, com eficiência, o seu custo.

A técnica de avaliação paritária utilizada nesse estudo, com base nas opiniões dos especialistas participantes e com o auxílio do método AHP, mostrou-se adequada para quantificar as influências dos fatores de risco. A análise de consistência do método ficou dentro do padrão (abaixo de 0,10), o que mostrou que as informações obtidas foram precisas e consistentes, respeitando assim as propriedades básicas do método.

Mesmo que a amostra de participantes utilizada na pesquisa seja pequena, ela pode ser considerada representativa, na medida em que estão incluídos, no grupo estudado, os gestores e fiscais de contratos de projetos e obras e que são considerados tomadores de decisão.

Algumas sugestões para estudos futuros seriam: identificarem-se as consequências dos riscos nos empreendimentos ferroviários, avaliar-se o impacto econômico dos riscos nos contratos de projetos e obras, apurarem-se medidas para a mitigação dos riscos e propor-se um plano de gerenciamento de riscos.

Agradecimentos
Os autores agradecem a especial contribuição dos Analistas em Infraestrutura de Transportes da Diretoria de Infraestrutura Ferroviária (DIF/DNIT) no estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alencar, A. J. e Schmitz, E. A. (2006) *Análise de Risco em Gerência de Projetos*. Editora Brasport, Rio de Janeiro.

Andrews, J. D. & Moss, T. R. (1993) *Reliability and Risk Assessment*. Longman Scientifc & Technical.

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres. *Ferrovias – PIL*. Disponível em:<http://pilferrovias.antt.gov.br>. Acesso em: 26 de novembro de 2015.

Berger, I. S (1982) *Determination of Risk for Uncontrolled Hazardous Waste Sites. Proceedings of the National Conference on Management of Uncontrollod Hazardous Sites, Hazardous Materials Control Research Institute*. Silver Springs, Maryland.

CNT – Confederação Nacional do Transporte (2015) *Pesquisa CNT de Ferrovias 2015*. Disponível em: http://cms.cnt.org.br/Imagens%20CNT/Site%202015/Pesquisas%20PDF/Pesquisa_CNT_de_Ferrovias_2015.pdf. Acesso em: 13 de dezembro de 2016.

Costa, F. A. C. V. e Cassemiro, S. L. S. (2015) Avaliação Financeira e Ambiental do Projeto da Nova Ferrovia EF 118. *Anais do XXIX Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET*, Ouro Preto, p. 2117–2128.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. *Perguntas Frequentes*. Disponível em: http://www.dnit.gov.br/acesso-a-informacao/perguntas-frequentes. Acesso em: 26 de novembro de 2015.

DNIT (2014) *Relatório de Gestão Customizado do Exercício de 2014*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Ministérios dos Transportes, Brasília, DF.

DNIT (2014) *Relatório de Gestão Temático Ações 2014*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Ministérios dos Transportes, Brasília, DF.

Dores, A. M. B. e D'Agosto, M. A. (2015) Uma Proposta Preliminar de Inserção do Modo Ferroviário no Transporte de Cargas Fracionadas no Brasil. *Anais do XXIX Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET*, Ouro Preto, p. 2117–2128.

Gray, C.F. e Larson, E.W. (2011) *Project Management – The Managerial Process*. Fifth Edition. McGraw-Hill/Irwin.

Kerzner, H. (1998) *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling and Controlling*. 6th Edition. New York: John Wiley & Sons.

Pelletier, P. *Um Japão sem riscos?* In: Veyret, Y. (Org.) (2007) *Os Riscos: o Homem como agressor e vítima do meio ambiente*. Editora Contexto, São Paulo.

Saaty, T. L. (1990) *How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process*. European Journal of Operational Research, v. 48, p. 9-26.

Suh, S. D. (2000) *Risk Management in a Large-Scale New Railway Transport System Project– Evaluation of Korean High Speed Railway Experience*. IATSS Research Vol. 24 No. 2, p. 53–63.

Suter, G. W. (1993) *Ecological Risk Assesment*. Lewis Publishers. Chelsea, Michigan, USA.

Tang, W.; Zhang, F., Ye, Z. e Li, J. (2011) *Research on Risk Evaluation in Urban Rail Transit Project*. Procedia Engineering 15, p. 5094–5099.

Torreira, R. P. (1999) *Manual de Segurança Industrial*. Editora Margus Publicações. São Paulo, p. 1036.

Wang, L.; Li Y. e Wang, E. (2011) *Research on Risk Management of Railway Engineering Construction*. International Conference on Risk and Engineering Management (REM). Systems Engineering Procedia 1, p. 174–180.

Xiangdong, Z.; Xiang, X. e Chaoran, W. (2013) *A New Risk Assess Model For Urban Rail Transit Projects*. Advances in information Sciences and Service Sciences (AISS), Vol. 5, Number 1, p. 104–110.

Zhao, Y.; Liu, X. e Zhao Y. (2011) *Forecast for construction engineering risk based on fuzzy sets and systems theory*. International Conference on Risk and Engineering Management (REM). Systems Engineering Procedia 1, p. 156–161.

VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH SIMULTANEOUS PICKUP-DELIVERY, TIME WINDOWS, TIME DEPENDENT AND FAULT PROBABILITY: A CASE STUDY ON LIQUEFIED PETROLEUM GAS DISTRIBUTION

Leonardo dos Santos Lourenço Bastos
Iuri Martins Santos
Kamila Almeida dos Reis
Hugo Miguel Varela Repolho
Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro
Department of Industrial Engineering

RESUMO
A distribuição de GLP é um processo contínuo e importante em muitos países que ainda não fornecem gás em tubos. Trata-se de um problema de roteirização em que os veículos entregam vasilhames cheios e coletam vazios. Este tem como objetivo propor um modelo matemático de roteirização de veículos de entrega e coleta com frota heterogênea e janelas dependentes de tempo (HFTDVRPP&DTW) buscando minimizar os custos logísticos para uma empresa brasileira de distribuição de gás. A dependência do tempo considerou períodos diários com diferentes velocidades de transporte, uma abordagem nova no contexto do GLP. O modelo obteve a solução ótima em menos de 2 horas e soluções com GAP inferior a 1% com apenas 15 minutos, o que foi considerado razoável para o processo de roteamento manual de 24 horas. Os resultados mostraram que o modelo aloca os veículos nos períodos de menor custo, gerando flexibilidade para as decisões da empresa.

ABSTRACT
The distribution LPG is an ongoing and important process in many countries that still do not provide gas in pipes and it can be modelled as a routing problem where vehicles deliver full containers and pick-up empty ones. This study proposes a mathematical model of heterogeneous fleet, time-dependent vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery and time windows (HFTDVRPP&DTW) aiming to minimize logistical cost for a Brazilian gas distribution company. The time-dependency considered daily periods with different transport speeds values, a new approach in the literature, especially for the LPG distribution. The model obtained the optimal solution in less than 2 hours and solutions with GAP of less than 1% with only 15 minutes, which was considered reasonable compared to a manual routing process. The results showed that the model allocates the vehicles in the periods of least cost, allowing flexible decisions in the process.

1. INTRODUCTION

The goals of increasing service level and reducing extra costs have been encouraging companies to develop better approaches to improve efficiency. In a supply chain context, the use of techniques for optimizing flows when considering strategic, tactic or operational planning stages supports the players in theirs decisions (Ballou, 2006; Bowersox *et al.*, 2013). One of these main decisions is the distribution process, which mainly comprises the transportation cost. This activity is presented in an operational level, in which decisions must be made in a short-term horizon and affect the service level considerably. In addition, most operational/distribution decisions are considered *NP*-hard problems, due to its combinatorial nature as the size increases, which is also a motivation for the ongoing development of techniques.

The Vehicle Routing Problem (VRP) is a critical decision in this distribution process, and consists in determining optimal delivering routes with the goal ranging from minimizing costs (considering distance or travel time) to maximizing service level (Centin and Gencer, 2015; Brakerers *et al.*, 2016). The optimal routes' assignment may decrease costs substantially and results in time saving as well as it can allow a better responsiveness among the supply chain links (Centin and Gencer, 2015). From the classical VRP, several extensions have been developed as stated by Brakerers *et al.* (2016) such as time-windows (VRP-TW), heterogeneous fleet (HF-VRP), time dependence (VRP-TD) and pickup & delivery (VRP-P&D), which are

considered in this study, being the latter a growing approach nowadays due to the reverse logistics approach (Wassan and Naggy, 2014).

This research considered the context of a LGP gas distribution company in Belem-PA, Brazil, which has the objective of reducing costs and comparing its current outsourced distribution with the use of its own fleet. The LGP is one of the main products in people's life, especially for domestic purposes (Coelho and Goldemberg, 2013). According to BP Energy (2016), gas is the fastest growing fossil fuel with an increase of 1.8% per year. Although a large percentage of residences have changed the containers use for pipelines supply the world, there are countries whose part of population still need to use the former due the level of the product distribution process, as for example, Brazil, where over 150 million people use LGP (Lucon *et al.*, 2004; Coelho and Goldemberg, 2013).

The LGP distribution process has characteristics of a vehicle routing problem where the company must deliver containers to its costumer and pick up the empty ones, in a reverse logistics context (Ayadi and Benadada, 2010; Onut *et al.*, 2014). In this study, the capacity of each vehicle, the operating hours of the company and the customers were considered as well as the simultaneous delivery of full containers and pick-up of empty ones. As a new approach, the different travel times throughout the day are considered, since most costumers are in downtown, which presents a high traffic in certain hours, a context referred to time-dependent VRP - VRP-TD (Malandraki, 1989; Ichoua *et al*. 2003; Centin and Gencer, 2015). Products delivery is subjected to the condition that the cargo arranged to pick-up is available. Otherwise, the company analyzed does not make the deliver at that moment, returning to the spot later. These create a delivery risk, were clients have a certain fault probability.

Therefore, this study aims to provide lower costs routes for the company by means of an optimization model of VRP that joins the models of simultaneous P&D, TW and HF, with the time dependence and fault probability, naming it HF-VRP-PD-TW-TD-FP. This paper is structured as follow: Section 2 presents the literature review on the main VRP approaches considered; in Section 3, the input data is presented and the results are analyzed and discussed; Section 4 states the conclusion and, as last, there are the references.

2. THE VEHICLE ROUTING PROBLEM (VRP)

The Vehicle Routing Problem (VRP) corresponds to the design of optimal routes, with the lowest transportation costs, in which vehicles should attend the customers only as well as leave and return to a single depot (Breaekers *et al*., 2016). This optimization problem has been widely studied and extended throughout the years due to be proven a NP-hard problem and, thus, the algorithms are efficient only up to a small set of nodes (Breaekers *et al*., 2016). Hence, the challenge of obtaining better solutions has led researchers to develop heuristic algorithms, which provides lower execution times, alongside with exact formulations to determine optimal solutions. Furthermore, the VRP studies have been increased in several extensions and, according to Breaekers *et al*. (2016), the VRP literature has presented a growth rate of six percent up to 2009. Those authors also present the extensions of the problem as: capacitated, considers the capacity of the vehicles, that can be homogeneous or heterogeneous (Laporte, 2009); periodic, defines the routing to be assigned in one or multi periods (Campbel and Wilson, 2014); time-windows, each customer has a time interval for the service (Gendreau and Tarantilis, 2010); pick-up and delivery, special case in where the vehicle must hold products for delivery and pick-up in the nodes (Berbeglia *et al*., 2007). This study has focused on the

application of a VRP pick-up and delivery with the time-dependency. The former has been widely studied since its application is associated with the reverse logistics context, in which the company needs to deliver the new product and collects the used ones for appropriate disposal (Wassan and Nagy, 2014). Braekers *et al*. (2016) states that the latter has presented a small number of studies and its complexity comprised the definition of the time function, leading to nonlinear or dynamic approaches.

The VRP pickup and delivery problem is defined as a type of routing problem in which each node, except the depot, can either need or supply the vehicle (Wassan and Nagy, 2014). In this context, the design of the optimal routes must consider that all the pickup and delivery demands must be satisfied, both loads must not exceed the capacity of the vehicle, and no transshipments should be allowed (Wassan and Nagy, 2014). The VRP P&D has attracted many studies due to the reverse logistics approach it presents (Avci and Topaloglu, 2016). As the VRP P&D is an extension of the classic VRP, it is also considered a NP-hard problem. According to Wassan and Nagy (2014), these problems have been presented in three general categories: The VRP with backhauling - the pick-up is performed after the delivery; the VRP with mixed deliveries & pickups - the pickups and deliveries may be performed at any time in any node; and the simultaneous pickup & delivery - which for each node, the vehicle deliveries and collects products. Furthermore, approaches such as time-windows or time-dependency have been implemented.

In real distribution activities, traffic conditions may influence directly in vehicle speeds, which can result in delays due to changes in the travel time between customers (Sifa *et al*., 2011). One mean of considering this deterministic variation in of the times is represented by the time-dependent VRP. (TD-VRP), introduced by Malandraski and Raskin (1992). Figliozzi (2012) asserts that the TD-VRP has received little attention considered to other extensions of the VRP. The approaches among the TD-VRPs have been divided according to the time function definition, which can be discrete or continuous. The former was introduced in the first studies regarding the TD-VRPs, considering that a day is divided in smaller intervals, which are comprised of different vehicle speed or travel times. Hence, the travel time would be represented by a step function, which was criticized by later works in the continuous time. Hill and Beton (1992) presented an approach on the time speed values for each interval, which would minimize the effects of the step function between two intervals. The time discrete models have been criticized since the step function would let a vehicle stops at a customer when it should cross the boundary between two distinct intervals, not satisfying the FIFO property introduced in Ichoua *et al*. (2003). This property states that a vehicle that leaves node i to node j early will arrive at the latter before other equal vehicle at a different time (Ichoua *et al*., 2003). This property is considered important as it prevents inconsistency such as the waiting at the customer and allows time to be linear, helping heuristic models (Donati *et al*., 2008). Newer approaches on the continuous time function presented an association restriction of the arrival time with the routing variable. The travel times are estimated by the speed values of each interval, which transforms the step function in a distribution of travel times, as seen in Donati *et al*. (2008).

2.1. Vehicle Routing Problem in Liquefied Petroleum Gas Distribution

The liquefied petroleum gas (LPG) is an important primary energy, used most in daily life and domestic activities (Coelho and Goldemberg, 2013). LPG distribution companies frequently operate with heterogeneous fleets that allow to delivery several containers sizes and attend

multiple clients in different locations. Onut *et al*. (2014) proposed an optimization model using GAMS to solve a heterogeneous fleet vehicle routing problem for a Turkish company. The model was used in the daily planning routes and vehicle assignment. For the case study, the model presented was able to find optimal solution in a reasonable time of 15 minutes. Ayadi and Benadada (2010) presented a genetic algorithm for the heterogeneous fleet with multi-trip vehicle routing problem and tested the method in a LPG distribution company from Morocco. The proposed algorithm used an initial solution provided by a Clarke and Wright adaptation. The authors compared the algorithm performance with a mathematical model solved using CPLEX software. Later, Ayadi and Benadada (2013) proposed a memetic algorithm for a multi-objective vehicle routing problem with multiple trips to optimize maximum overtime and routing cost for LPG distribution. This memetic algorithm combined the genetic algorithm created previously by the authors with a local search procedure.

Liquefied petroleum gas distribution involve many constraints while modeling real conditions: customers usually operate in restricted time windows and transporters sometimes work in shifts. Also, demand can be concentrated in downtown areas, where traffic is frequently time dependent and subjected to uncertainty. It is important to have a model or algorithm able to fit in these diverse scenarios.

3. PROBLEM DESCRIPTION AND MATHEMATICAL MODEL

This section provides information about the problem and the proposed mathematical model of heterogeneous fleet time-dependent vehicle routing problem with pickup & delivery and time windows (HF-TD-VRP-P&D-TW). This research is settled in the distribution sector of a LPG company in Belém (Pará), Brazil, which is a branch of the national group of gas distribution. The company has several products, which range from domestic uses to industrial purposes, varying the size of the containers, and water containers, paints and home electronics. The P-13 LPG is the only product considered in this study since its distribution is both outsourced and done by own vehicles. In this context, the use of 3LP for transportation can be cost saving for many companies; however, the idleness of the fleet can also comprise extra costs. Therefore, the motivation of considering the use of the company's vehicles and comparing the gains and benefits is stated. In addition, the company presents a manual manner of performing its routing, which can incur in larger costs, and can be improved using an optimization model such as VRP. Considering those demands, the assumptions used for modelling and solving the problem are:

- The company has only one deposit which operates from 08:00 A.M. to 06:00 P.M., with a two-hour break at 12:00 PM. Then, the distribution is performed in the morning until the break time and starts again at 02:00 P.M, which separates two shifts;
- The product is delivered to 14 customers in the metropolitan region of the city, from which the demand in known in advance. Each customer demands from a certain number of full containers and must return the empty/used bottled in the moment of the service. The routes are created 24 hours in advance (planning horizon of one day);
- The company has four vehicles available, with different capacities, fixed and variable costs. Those values are estimated by using the vehicle indirect factors such as consumption, maintenance, and staff, which resulted in costs per distance, and fixed cost per vehicle used;
- In the same vehicle, there is a mix of picked up and delivery containers. There is no minimum volume for attending a customer;
- Customers may request a specific service time interval and must be attended within those limits;

- As the distribution occurs in an urban area, the different travel speeds throughout four different blocks of the day is considered;
- A probability for each node of not having the required number of items for pickup equals to the demand delivery was considered as a weight in the cost function;
- Finally, the pick-up & delivery approach was considered due to company's restrictions, although this is a special case, since delivery and pick-up quantities are similar.

Consequently, according to the cited assumptions, one can observe that the problem can be related to a vehicle routing problem (VRP) with heterogeneous fleet, time windows and time dependency. Those constraints can represent a more real approach of the problem and the possible solutions may assist the routing decisions more accurately with lower costs. The model consists in a graph $G = (V, A)$, whose set of nodes $i, j, p \in V$ from which there is the *depot* (node 0) and the customers c or cc, with the corresponding edges in A; the set of $k \in K$ vehicles; the shifts are in $s \in S$ and the daily periods are in $t, t', t'' \in T$. The parameters and decision variables are shown, respectively, in Table 1 and Table 2.

Table 1 – Descriptive table of model parameters.

Parameters	Description
$FixC_k$	Fixed cost per vehicle k a per shift [$]
$CDist_k$	Cost per distance of each vehicle k [$/Km]
$CTravel_k$	Cost per hour traveled of each vehicle k [$/ Hour]
$Dist_{ij}$	Distance from i to j [Km]
$Veloc\_Normal_{i,j}$	Average day velocity between node i and j [Km/h]
$Factor_t$	Factor that penalize traffic velocity in period t [*no unit*]
$Velocity_{i,j,t}$	Average day velocity between node i and j in period t [Km/h]
$Capac_k$	Total capacity of each vehicle k [Units]
$PickDemand_j$	Demand for pickup in each node i [Units]
$DelDemand_c$	Demand for delivery in costumer c [Units]
$DailyDemand_i$	Demand for delivery in node i [Units]
$TTime_{i,j,t}$	Travel time for going from i to j in period t [Hours]
$ServTime_i$	Travel time for going from i to j [Hours]
$UppTW_{t,s}$	Upper time window for period t in shift s [Hours]
$LowTW_{t,s}$	Lower time window for period t in shift s [Hours]
$CicleTime_{k,s}$	Total cycle time/working hours for each vehicle k in shift s [Hours]
$OpenDepot_s$	Depot opening time in shift s [Hours]
$CloseDepot_s$	Depot closing time in shift s [Hours]
$PeriodEnd_{i,s}$	Upper time window for node i in d t [Hours]
$PeriodStart_t$	Lower time window for node i in period t [Hours]
$MPS_{t,s}$	Matrix that indicates if a period t in a shift s [Binary]
$ShiftStart_s$	First period in shift s [*no unit*]
$ShirtEnd_s$	Last period in shift s [*no unit*]
$MPP_{t,t'}$	Matrix that indicates if a period t is in the same shift that period t' [Binary]
$FaultProb_{c,s}$	Probability that client c isn't available for pickup and delivery during shift s [0,1]
$ExtraCost_{c,k,s}$	Extra cost for returning to client c with vehicle k due to unavailability in shift s [R$/trip]

Table 2 – Descriptive table of model variables.

Variables	Description
$X_{i,j,k,s,t,t'}$	Assumes 1 if vehicle k goes from *i* to *j* in period *t* and shift *s*; 0, otherwise [Binary].
$Y_{i,j,k,s}$	Total units for pick-up in vehicle *k* when it moves from *i* to *j* in shift *s* [Non-negative].
$Z_{i,j,k,s}$	Total units for delivery in vehicle *k* when it moves from *i* to *j* in shift *s* [Non-negative].
$Time_{i,k,s,t}$	Computes the arrival time of vehicle *k* at node *i* in period *t* and shift *s* [Non-negative].
V_{ks}	States if vehicle *k* is used in shift *s* [Binary].

To solve the LPG distribution problem, a mathematical model for vehicle routing problem was formulated based on the constraints from Avci and Topaloglu (2016), for the simultaneous pickup and delivery context, and Kallehauge (2008) for the time-windows, as follows:

$$\text{Min } Z = \sum_k \sum_s FixC_k \cdot V_{k.s} + \sum_i \sum_{j|i\neq j} \sum_k \sum_s \sum_{t'|MPS_{t',s}} \sum_{t|t\leq t' \text{ and } MPP_{t,t'}} \left(CDist_k \cdot Dist_{i,j} + CTravel_k \cdot \frac{TTime_{ij,t}+TTime_{ij,t'}}{2}\right) \cdot X_{i,j,k,s,t,t'} + \sum_i \sum_{j|i\neq j} \sum_k \sum_s \sum_{t'|MPS_{t',s}} \sum_{t|t\leq t' \text{ and } MPP_{t,t'}} ExtraCost_{c,k,s} \cdot FaultProb_{c,s} \cdot X_{i,j,k,s,t,t'} \quad (1)$$

Subject to:

- One vehicle constraints:

$$\sum_{i|i\neq c} \sum_k \sum_s \sum_{t'|MPS_{t',s}} \sum_{t|t\leq t' \text{ and } MPP_{t,t'}} X_{i,c,k,s,t,t'} \leq 1, \ \forall c,s|DailyDemand_c \quad (2)$$

$$\sum_{i|i\neq c} \sum_k \sum_s \sum_{t|MPP_{t,t'} \text{and } t\leq t'} X_{i,c,k,s,t,t'} \leq 1, \ \forall c,s,t'|MPS_{t',s} \text{ and } DailyDemand_c \quad (3)$$

- Flow-balance constraints:

$$\sum_{i|i\neq p} \sum_{t'|MPS_{t',s}} \sum_{t|t\leq t' \text{ and } MPP_{t,t'}} X_{i,p,k,s,t,t'} - \sum_{j|j\neq p} \sum_{t'|MPS_{t',s}} \sum_{t|t\leq t' \text{ and } MPP_{t,t'}} X_{p,j,k,s,t,t'} = 0, \ \forall p,k,s \quad (4)$$

$$\sum_{t'|MPS_{t',s} \text{ and } t'\leq t"} \sum_{t|t\geq ShiftStart_s \text{ and } t\leq t' \text{ and } MPP_{t,t'}} \left(\sum_{i|i\neq c} X_{i,c,k,s,t,t'} - \sum_{j|j\neq c} X_{c,j,k,s,t,t'}\right) \geq 0, \ \forall c,k,s,t"|MPS_{t",s} \quad (5)$$

$$\sum_{t|t\geq ShiftStart_s \text{ and } t\leq t' \text{ and } MPP_{t,t'}} \left(\sum_{i|i\neq c} X_{i,c,k,s,t,t'} - \sum_{j|j\neq c} X_{c,j,k,s,t,t'}\right) \geq 0, \ \forall c,k,s,t'|MPS_{t',s} \quad (6)$$

$$\sum_{t'|MPP_{t',t"} \text{ and } t'\leq t"} \sum_{t|t\geq ShiftStart_s \text{ and } t\leq t' \text{ and } MPP_{t,t'}} \sum_c X_{0,c,k,s,t,t'} - X_{0,c,k,s,t,t'} \geq 0, \ \forall k,s,t"|MPS_{t",s} \quad (7)$$

- Vehicles assigned for a shift:

$$\sum_{t'|MPS_{t',s}} \sum_{t|t\geq ShiftStart_s \text{ and } t\leq t' \text{ and } MPP_{t,t'}} \sum_c X_{0,c,k,s,t,t'} = V_{k,s}, \ \forall k,s \quad (8)$$

$$\sum_{t'|MPS_{t',s}} \sum_{t|t\geq ShiftStart_s \text{ and } t\leq t' \text{ and } MPP_{t,t'}} \sum_c X_{c,0,k,s,t,t'} = V_{k,s}, \ \forall k,s \quad (9)$$

- Classical VRP pickup and delivery constraints:

$$\sum_{i|i\neq c} \sum_k Y_{c,i,k,s} - \sum_{i|i\neq c} \sum_k Y_{i,c,k,s} \leq PickDemand_c, \ \forall c,s \quad (10)$$

$$\sum_{i|i\neq c} \sum_k Z_{c,i,k,s} - \sum_{i|i\neq c} \sum_k Z_{i,c,k,s} \leq DelDemand_c, \ \forall c,s \quad (11)$$

$$\sum_{i|i\neq c} \sum_k \sum_s Y_{c,i,k,s} - \sum_{i|i\neq c} \sum_k \sum_s Y_{i,c,k,s} = PickDemand_c, \ \forall c \quad (12)$$

$$\sum_{i|i\neq c} \sum_k \sum_s Z_{c,i,k,s} - \sum_{i|i\neq c} \sum_k \sum_s Z_{i,c,k,s} = DelDemand_c, \ \forall c \quad (13)$$

$$\sum_c \sum_k \sum_s Y_{0,c,k,s} = \sum_c PickDemand_c \quad (14)$$

$$\sum_c \sum_k \sum_t Z_{c,0,k,t} = \sum_c DelDemand_c \quad (15)$$

$$Y_{i,j,k,s} + Z_{i,j,k,s} \leq Capac_k \cdot \sum_{t'|MPS_{t',s}} \sum_{t|t\leq t' \text{ and } MPP_{t,t'}} X_{i,j,k,s,t,t'}, \ \forall i,j \ | i \neq j \quad (16)$$

$$Y_{0,c,k,s} = 0, \ \forall c,k,s \quad (17)$$

$$Z_{c,0,k,s} = 0, \ \forall c,k,s \quad (18)$$

- Time dependence, time windows and multi-periods constraints:

$$TTime_{i,j,t} = \frac{Dist_{ij}}{Velocity_{i,j,t} \cdot Factor_t}, \ \forall i,j,t \quad (19)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_{t'|MPS_{t',s}} \sum_{t|t\leq t' \text{ and } MPP_{t,t'}} \left(\frac{TTime_{i,j,t}+TTime_{i,j,t'}}{2} + ServTime_i\right) X_{i,j,k,s,t,t'} \leq CicleTime_{k,s} V_{k,s}, \ \forall k,s \quad (20)$$

$$Time_{j,k,s,t'} \leq UppTW_{j,s} \sum_{i|i\neq j} \sum_{t|t\leq t' \text{ and } MPP_{t,t'}} X_{i,j,k,s,t,t'}, \ \forall j,k,s,t' | MPS_{t',s} \quad (21)$$

$$Time_{j,k,s,t'} \geq LowTW_{j,s} \sum_{i|i\neq j} \sum_{t|t\leq t' \text{ and } MPP_{t,t'}} X_{i,j,k,s,t,t'}, \ \forall j,k,s,t' | MPS_{t',s} \quad (22)$$

$$Time_{j,k,s,t'} \geq PeriodStart_t \ \sum_{i|i\neq j} \sum_{t|t\leq t' \text{ and } MPP_{t,t'}} X_{i,j,k,s,t,t'}, \ \forall j,k,s,t' | MPS_{t',s} \quad (23)$$

$$Time_{j,k,s,t'} \leq PeriodEnd_t \ \sum_{i|i\neq j} \sum_{t|t\leq t' \text{ and } MPP_{t,t'}} X_{i,j,k,s,t,t'}, \ \forall j,k,s,t' | MPS_{t',s} \quad (24)$$

- Indicators constraints for disjunctive programming:

$$\begin{bmatrix} X_{c,cc,k,s,t,t'} = 1 \\ Time_{cc,k,s,t'} = \frac{TTime_{c,cc,t} + TTime_{c,cc,t'}}{2} + ServTime_c + Time_{c,k,s,t} \end{bmatrix} \vee \begin{bmatrix} \neg X_{c,cc,k,s,t,t'} = 1 \\ Time_{cc,k,s,t'} \geq 0 \end{bmatrix}, \ \forall c,cc,k,s,t,t' | c \neq cc, t \leq t', MPS_{t',s} \text{ and } MPP_{t,t'} \quad (25)$$

$$\begin{bmatrix} X_{c,0,k,s,t,t'} = 1 \\ Time_{0,k,s,t'} = \frac{TTime_{c,0,t} + TTime_{c,0,t'}}{2} + ServTime_c + Time_{c,k,s,t} \end{bmatrix} \vee \begin{bmatrix} \neg X_{c,0,k,s,t,t'} = 1 \\ Time_{0,k,s,t'} \geq 0 \end{bmatrix}, \ \forall c,k,s,t,t' | t \leq t', MPS_{t',s} \text{ and } MPP_{t,t'} \quad (26)$$

$$\begin{bmatrix} X_{0,c,k,s,t,t'} = 1 \\ Time_{c,k,s,t'} = \frac{TTime_{0,c,t} + TTime_{0,c,t'}}{2} + PeriodStart_t \end{bmatrix} \vee \begin{bmatrix} \neg X_{0,c,k,s,t,t'} = 1 \\ Time_{c,k,s,t'} \geq 0 \end{bmatrix}, \ \forall c,k,s,t,t' | t \leq t', MPS_{t',s} \text{ and } MPP_{t,t'} \quad (27)$$

- Decisions variables domains:

$$X_{i,j,k,s,t,t'} = \{0,1\} \qquad \forall i,j,k,s,t,t' \quad (28)$$

$$Y_{i,j,k,s} \text{ and } Z_{i,j,k,s} \geq 0 \qquad \forall i,j,k,s \quad (29)$$

$$Time_{i,k,s,t} \geq 0 \qquad \forall (i,k,s,t) \quad (30)$$

The expression (1) is the objective function that minimizes the total cost comprised of the fixed cost per use of vehicle, the costs per distance traveled, costs per travel time and the extra costs for traveling again from *depot* because of client unavailability for pickup and delivery. Furthermore, the constraints can be divided in seven groups, representing the main areas of the problem: *One vehicle constraints*; *Flow-balance constraints*; *Vehicles assigned for a shift*; *Classical VRP P&D constraints*; *Time dependence, time windows and multi-periods constraints*; *Indicators constraints for disjunctive programming*, and; *Decisions variables domains*. Constraints (2) and (3) are *one vehicle constraints*. The first forces that each customer *c* can only be visited once by any vehicle *k* in each shifts *s*. The second restricts one vehicle per each customer in each period *t*. The flow-balance constraints – (4, 5, 6 and 7) – ensure that the flow is balanced in the shifts *s* (4), periods *t* (5, 6 and 7) and costumers *c* (5 and 6). To calculate the number of vehicles assigned in a shift, constraints (8) and (9) were used, guaranteeing that the variable $V_{k,s}$ was equal to the sum of trips leaving the depot (8) and arriving to it (9). *Classical VRP pickup and delivery* constraints were also used, such as: constraints to guarantee the volume picked up and delivered in costumers in total (12 and 13) or per shift (10 and 11); constraints to ensure that the volume that leaves (15) and arrives (14) at *depot* respect the pickup and delivery demand; constraints to restrict the volume transported according to vehicle capacities (16); and constraints that declare zero pickup and delivered in *depot* node (17 and 18). For the *Time dependence, time windows and multi-periods constraints*, a careful approach was needed to avoid that conflict between restrictions. Equation (19) calculate the travel time between nodes *i* and *j* in period *t* using factor that penalize velocity according to traffic in that period. Constraint (20) guarantees that sum of total traveled time and services times, *i. e.*, the total operational time, does not exceed the cycle time available for that client *c* in that shift *s*. Time windows constraints (21 and 22) were used to force that the arrival time of a vehicle *k* in a node *j* at period *t* in shift *s* respected, respectively, the nodes low and upper time windows. To ensure that arrivals times were in the correct period, restrictions (23) and (24) were added.

As mentioned earlier, most time dependence exact algorithms use a nonlinear approach to solve this problem. However, nonlinear models require more computational efforts and harder decomposition methods (Lee and Grossmann, 2003). Disjunctive programming was presented by Balas (1979) as an alternative representation of mixed-integer programming problems, where problems were represented with a subset of constraints as disjunctions (sets of constraints of which at least one had to be true). Later, Raman and Grossman (1994) and Grossman and Ruiz (2009) extend the technique and proposed the generalized disjunctive programming (GDP) as an alternative representation for both mixed integer linear and nonlinear models. Aiming to use mixed integer linear programing (MILP) tools, the authors took advantage of the generalized disjunctive programming (GDP), proposed by Raman and Grossmann (1994). As *CPLEX v 12.6.3* solver allows to use this kind of representation to treat nonlinear problems as linear problems, we propose indicators constraints (25, 26 and 27) to represent a discrete time dependence. Restriction (25) creates a constraint that calculate the arrival time in node *cc* by vehicle *k* in shift *s* and period *t'* according to the average travel time between both departure and arrival travel times, the service time and arrival time in the previously node *c* (visited in *t*), but only if the variable $X_{c,cc,k,s,t,t'}$ exists. Restrictions (26) are created if $X_{c,0,k,s,t,t'}$ and use the same calculation formula to determine the time that a vehicle returns to the *depot* node in shift s and period *t'*. The time that a vehicle arrives at the first node in period *t'* after leaving the depot node in period *t* is calculated by constraint (27) using the period start time and the travel time between the nodes.

Finally, constraints (28), (29) and (30) characterize the domains of the decision variables. The variable $X_{i,j,k,s,t,t'}$ that determines if vehicle *k* travels between node *i* and *j*, leaving the first in period *t* and arriving at period *t'*, is a binary, equal to one if true and zero if not. Last, $Y_{i,j,k,s}, Time_{i,k,s,t}$ and $Z_{i,j,k,s}$ are non-negative variables.

4. DATA

The data used to input the model was provided by the company and estimated using the information in the urban transportation directive plan (PDTU) of Belem metropolitan region (RMB) provided by JICA (2001) and the metropolitan transportation management institution (NGTM) study for the State of Pará government, which were available online. The parameters regarding the fleet and customers were obtain from the company in terms of LPG container units for demand and vehicle capacity. The company has total number of 14 different P-13 LPG's daily costumers and 1 depot. Customers presented the same time-window and the shift limits. Operation times of the depot were also used, being the opening time 08:00 and the closing time 18:00, and shifts considered the break interval to begin in 12:00 and end at 14:00. The vehicle capacities were divided in three groups by clustering the total capacity informed by the company: small, medium and large.

In addition, fixed costs and variable distance costs were provided by the company. The time costs were estimated from historical data of fuel costs of the company for each vehicle category. The distance matrix was obtained by using the *Google Maps API*. Thus, the travel times were obtaining by the dividing those distances by the average vehicle speed and a "traffic factor", which were obtained from the government plans mentioned, by associating the increase of traffic volumes with the average speed. The factor increases or decreases the speed in the four periods of the day considered. Finally, the fault chance or probability was estimated by considering the total amount of fault pickup demand that occurred for each customer using

historical data from the company. Then, the parameter of fault cost considered the average cost of one direct travel from the depot to each customer.

5. RESULTS AND ANALYSIS

In this section, the main results regarding the model performance and solutions are presented. The model was executed in *AIMMS 4.27.*, using *CPLEX 12.6.3.*, in a computer with Intel® Core™ i5-4440 CPU 3.10GHz processor and 8GB RAM. Three main tests were performed to assess the efficiency and the sensibility of the model regarding changing in parameters.

5.1. Execution and Solution Analysis

As the time-dependency presented certain complexity for modeling, this influenced the execution time of the model, although the arrival time calculation respected the transition between periods. For the first analysis, results were shown in Table 3.

Table 3 - Results with gaps, values and execution times

Execution Time (seconds)	FO (R$)	GAP
300	1925.75	2.13%
600	1921.28	1.04%
900	1910.74	0.45%
1800	1910.74	0.44%
6852.94	1910.74	0.00%

One can observe that the gap percentage did not show optimality within 30-min of execution. As mentioned, this represents the low efficiency of the formulation of the time-dependency as well as its complexity. However, optimality was achieved in less than 2 hours of execution, which can be considered a relatively long time for operational level decisions. In fact, the solutions proved that the company can attend to all customers, if they all present demands in a day. Plus, as the company performs its routing 24-h ahead, the execution of 15-min, for instance, already achieves a low gap of 0.45%, which can be plausible for the decision maker to avoid extra costs, and guarantee high service levels. All the executions resulted in routes attending customers in periods 2 and 4, which had the high travel speed values. This is expected as the model tries to minimize the cost per travel time. Even though the model permitted crossing two time intervals, it also considered choosing more than one vehicle per day for a unique time interval. In practice, the travels occur as soon as the depot opens, then the results may show that the company can choose to wait for a better traffic flow for faster travels and lower costs. Figure 1 shows the final solution routes and schedules.

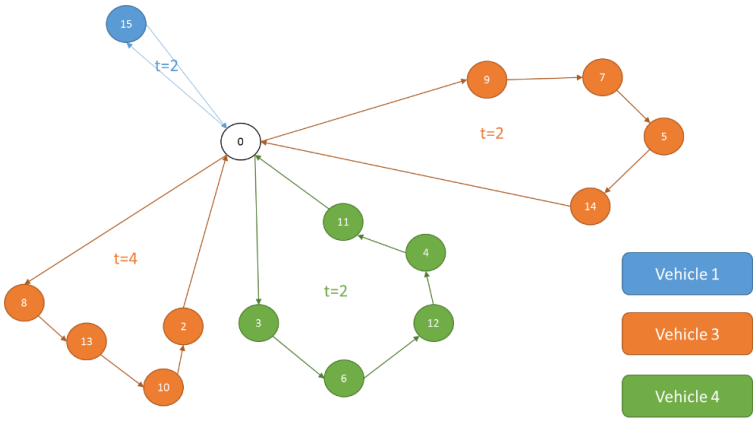


Figure 1 – Representation of Optimal Solution Route.

Analyzing Figure 1 and the models inputs and outputs, we notice that the model uses most vehicle 3 and 4 that have a higher capacity and most travels are realized in periods 2 and 4, that have lower travels times. Clients that have a higher fault probability (unavailability for pickup and delivery), such as customers 3 and 6, are preferred to be attended in shift 1, as the extra cost is lower than in shift 2. This results show that model seems to be respecting the constraint and objectives. However, it is necessary to test the model in others circumstances to confirm this pattern. In the next, we analyze the model behavior through several scenarios aiming to confirm its performance.

5.2. Scenarios and Performance Assessment

As the model could obtain the optimal solution for the company's current context and assumptions, a new analysis was performed with the variation of parameters, which created new scenarios for costs and travel times. Firstly, it was considered changes in the travel velocities of each shift, with a decrease of 20% in the traffic total speed for all periods in the same shift. Results are shown in Table 4.

Table 4 – Comparison between original and scenarios with 20% decrease in velocity

SCENARIO	FO (R$)	GAP (%)	TRIPS SHIFT 1	TRIPS SHIFT 2
ORIGINAL	1910.739	0.45	13	5
MORNING -20%VELOCITY	1925.31	0.99	8	11
AFTERNOON -20%VELOCITY	1925.211	1.03	12	6
BOTH -20%VELOCITY	1979.06	3.48	14	5

The decrease in velocity consequently increased the total cost, as expected, due to the increase in total travel time compared to the optimal result. However, when decreasing speed at shift 1 (morning), the routes are still performed in periods 2 and 4, in which the latter becomes the interval with the lowest travel times and the second did not present travel times high enough to be exchanged to 1 or 3. For the decreasing speed in shift 2 (afternoon), all routes are set to the morning, in intervals 1 and 2 and this approach can permit the re-routing of some customers to the afternoon, if all demand is attended in shift 1. This effect also repeats when decreasing the both speed, although the total cost is higher due to the greater travel times.

In a second analysis, the parameter of $ExtraCost_{c,k,s}$, corresponding to extra charges due to customer's chances of not having the necessary pickup demand, is varied. Most of the customers present a low $ExtraCost_{c,k,s}$, which may not totally affect the routes. Hence, the probability parameter of fault was increased for two randomly chosen customers with low values (customers 5 & 11) and increased in the two with high values (customers 2 and 6). Due to the higher value of $ExtraCost_{c,k,s}$, the total cost was also increased, as those customers were attended, as shown in Table 5.

Table 5 – Impact of Probability Fault Changes in Total Costs and Shifts

Scenario	FO (R$)	GAP(%)	Trips Shift		Shift Node			
			1	2	5	11	2	6
Original	1910.74	0.45	13	5	2	1	2	1
Prob = 1 in 5 and 11	1942.64	1.5	14	5	1	1	1	2
Prob = 0 in 2 and 6	1929.44	1.59	14	6	2	1	1	1

The increase in $ExtraCost_{c,k,s}$ did not necessarily selected those customers to the end of the routes, though they were still presented as the last nodes to visit. However, the decrease pulled the nodes with low fault chances, as it reduced the cost considerably and the travel time costs became null. As expected, the second observation had a lower cost compared to the first, since it decreases the time cost in the objective function.

The third analysis comprised of stressing a randomly chosen arc to check the model's behavior when a travel time is higher. The arc linking customers 3 and 9 was chosen its travel time value is doubled, to represent if, for instance, a punctual traffic congestion would strongly affect or not the routes. The cost results showed an increase, which would be expected due to the increase in a travel time and it might indicate changes in routes. The new routes did not comprise of the selected arc. In general, this change did not affect the whole system strongly as the number of arcs is high. It is expected that the model would selected an alternative route for vehicles.

Therefore, the model was highly affected when costs related to time were changed. In all tests, customers have been attended in periods 2 and 4, which present the highest speed values, thus, considering routes in certain time intervals can achieve saving in costs. In addition, as not all vehicles are used, the company can present an idleness rate that would provide certain flexibility. The model could successfully represent the company's context and provide information in a reasonable time for decision-making.

6. CONCLUSION

This study aimed to model a heterogeneous fleet time-dependent vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery and time windows (HF – TD – VRP – P&D –TW) for the distribution process of a LPG gas company in Brazil. The presented formulation was based on literature recent models for P&D, TW and the convergence of TD models following a time function approach. This formulation was not seen in literature, which brings a contribution to the VRP studies as well the LPG routing problems. The model was able to achieve an optimal result in less than two hours, due to its complexity. However, this time can be considered reasonable as the company designs the routes 24-h in advance, and the solution gap is less than 1% within 15min. Hence, tests were performed to ass the performance of the model.

In addition, the model only changed the routes and periods when all periods in Shift 2 had their costs increased, which may imply that morning time comprehends the best period of the day in terms of travel times. Considering new fault chances, the nodes with decreased chance were selected as the starting customers of the routes, while high fault chances customers did not necessarily were presented in the last. Finally, the changes in a specific arc did not alter the whole system, since the number of possible alternative routes is high. All those testes presented a high cost function compared to the optimal values.

The formulation presented in this study may contribute for new researchers to develop more efficient models to this problem. It is suggested that future studies apply the HF-TD-VRP-P&D-TW to other problems to increase the performance assessment of the model; to create heuristic algorithms to compare results with the exact solution; and to develop new models to the problem studied in this research.

REFERENCES

Avci, M. and S. Topaloglu (2016) Hybrid Metaheuristic Algorithm For Heterogeneous Vehicle Routing Problem With Simultaneous Pickup And Delivery. *Expert Systems with Applications*, v. 53, p. 160-171.

Balas, E. (1979) Disjunctive programming. *Annals of discrete mathematics*, v. 5, p. 3-51.

Ballou, R. H. (2009) *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos-: Logística Empresarial*. Bookman Editora.

Berbeglia, G.; J. F. Cordeau; I. Gribkovskaia and G. Laporte (2007) Static pickup and delivery problems: A classification scheme and survey. *TOP*, v. 15, n. 1, p. 1–31.

Bowersox, D. J.; D. J. Closs; M. B. Cooper and J. C. Bowersox (2013) *Gestão logística da cadeia de suprimentos*. AMGH Editora.

BP (2016) *BP Energy Outlook 2035*. British Petroleum.

Braekers, K.; K. Ramaekers and I. V. Nieuwenhuyse (2016) The vehicle routing problem: State of the art classification and review. *Computers & Industrial Engineering*, v. 99, p. 300-313.

Campbell, A. M. and J. H. Wilson (2014) Forty years of periodic vehicle routing. *Networks*, v. 63, n. 1, p. 2–15.

Donati, A. V.; R. Montemanni; N. Casagrande; A. E. Rizzoli and L. M. Gambardella (2008) Time dependent vehicle routing problem with a multi ant colony system. *European Journal of Operations Research*, v. 185, n. 3, p. 1174-1191.

Figliozzi, M. A. (2012) The time dependent vehicle routing problem with time windows: Benchmark problems, an efficient solution algorithm, and solution characteristics. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 48, n. 3, p. 616-636.

Gendreau, M. and C. D. Tarantilis (2010) *Solving large-scale vehicle routing problems with time windows: The state-of-the-art*. Montreal.

Grossmann, I. E. and J. P. Ruiz (2012) Generalized disjunctive programming: A framework for formulation and alternative algorithms for MINLP optimization. *Mixed Integer Nonlinear Programming*, p. 93-115.

Hill, A. V. and W. C. Benton (1992) Modeling Intra-City Time-Dependent Travel Speeds for Vehicle Scheduling Problems. *The Journal of the Operational Research Society*, v. 43, n. 4, p. 343-351.

Ichoua, S.; M. Gendreau and J. Y. Potvin (2003) Vehicle dispatching with time-dependent travel times. *European journal of operational research*, v. 144, n. 2, p. 379-396.

JICA (2001) *Urban Transportation Directive Plan (PDTU): Final Report*. Governo do Estado do Pará. Agência de Cooperação Internacional do Japão, Belém.

Kallehauge, B. (2008) Formulations and exact algorithms for the vehicle routing problem with time windows. *Computers & Operations Research*, v. 35, n. 7, p. 2307-2330.

Laporte, G. (2009) Fifty years of vehicle routing. *Transportation Science*, v. 43, n. 4, p. 408–416.

Lee, S. and I. E. Grossmann (2003) Global optimization of nonlinear generalized disjunctive programming with bilinear equality constraints: applications to process networks. *Computers & chemical engineering*, v. 27, n. 11, p. 1557-1575.

Lucon, O., S. T. Coelho and J. Goldemberg (2004) LPG in Brazil: lessons and challenges. *Energy for Sustainable Development*, v. 8, n. 3, p. 82-90.

Malandraki, C. and M. S. Daskin (1992) Time dependent vehicle routing problems: Formulations, properties and heuristic algorithms. *Transportation science*, v. 26, n. 3, p. 185-200.

Metropolitan Transportation Management Institution – NGTM (2006) *Estudo Preparatório para o Projeto de Sistema de Transporte de Ônibus da Região Metropolitana de Belém*.

Onut, S., M. R. Kamber and G. Altay (2014) A heterogeneous fleet vehicle routing model for solving the LPG distribution problem: A case study. *Journal of Physics: Conference Series*, v. 490, n. 1, p. 12-43.

Raman, R. and I. E. Grossmann (1994) Modelling and computational techniques for logic based integer programming. *Computers and Chemical Engineering*, v. 18, n. 7, p. 563-578.

Sifa, Z.; C. Jiandong; L. Xiaomin and L. Keqiang (2011) Urban pickup and delivery problem considering time-dependent fuzzy velocity. *Computers & Industrial Engineering*, v. 60, n. 4, p. 821-829.

Wassan, N. A. and N. Angy (2014) Vehicle Routing Problem with Deliveries and Pickups: Modeling Issues and Meta-heuristics Solution Approaches. *International Journal of Transportation*, v. 1, n. 2, p. 95-110.

Leonardo dos Santos Lourenço Bastos (lslbastos@aluno.puc-rio.br)
Iuri Martins Santos (iuri.santos@tecgraf.puc-rio.br)
Kamila Almeida dos Reis (kamiladosreis13@gmail.com)
Hugo Miguel Varela Repolho (hugorepolho@puc-rio.br)
Departamento de Engenharia Industrial, PUC-Rio
Rua Marquês de São Vicente, 255 – Gávea, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA SOBRE O PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO DE SENSORES DE TRÁFEGO EM REDES

Victor Hugo Souza de Abreu
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE)

RESUMO
O presente artigo tem como propósitos principais apresentar uma metodologia de Revisão Bibliográfica Sistemática aplicada ao problema de localização de sensores de tráfego em rede e, consequentemente, fornecer uma sólida fundamentação teórica sobre os modelos matemáticos existentes na literatura internacional para representar o problema em situações reais, tendo em vista a sua relevância para o planejamento e gerenciamento do sistema de transporte rodoviário. Os resultados, obtidos por meio da aplicação dos criteriosos filtros de qualidade e aplicabilidade dos estudos, demostram que importantes periódicos científicos como o *Transportation Research Part B*, o *Transportation Research Part C* e o *Journal of Transportation Engineering* possuem profundo interesse pelo problema e que países dos continentes Asiático e Norte-Americano são os que mais produzem artigos científicos sobre o assunto.

ABSTRACT
This paper aims to present a Systematic Literature Review applied to the network traffic sensor location problem and, consequently, provide a solid theoretical foundation about the mathematical models existing in the international literature to represent the problem in real situations, considering its relevance to the planning and management of the road transport system. The results, obtained through the application of judicious quality filters and applicability of the studies, show that important scientific journals such as the Transportation Research Part B, the Transportation Research Part C and the Journal of Transportation Engineering have a deep interest in the problem and that countries of the Asian and North American continents produce the most scientific articles on the subject.

1. INTRODUÇÃO

O transporte rodoviário é um dos mais complexos sistemas dinâmicos, pois está diretamente ligado as relações entre os seres humanos, o meio ambiente, os veículos e as vias. As interações, muitas vezes problemáticas, dos diferentes componentes de tráfego podem acarretar em problemas como congestionamentos, deterioração do pavimento, aumento da poluição ambiental (atmosférica, sonora e visual) e do número de acidentes, diminuição da qualidade de vida dos cidadãos, entre outros. Nesse sentido, é papel das agências de controle e gestão de tráfego monitorar constantemente os fluxos de veículos nas vias e planejar e implantar formas de redução das externalidades negativas causadas pela excessiva utilização do transporte motorizado.

Uma forma de monitorar as condições de tráfego, tanto em dias atípicos, como em dias normais, consiste na implantação de sensores de tráfego em pontos estratégicos da rede de transportes (Fei *et al.*, 2013). Um sensor de tráfego é um dispositivo que indica a presença ou passagem de veículos por um determinado ponto, durante um período de tempo especificado (Garber e Hoel, 1999), fornecendo dados ou informações para apoiar as aplicações de gestão de tráfego, tais como controle de sinais, controle de rampa, detecção de incidentes e coleta de dados do volume de veículos e sua classificação (Wang, 2013).

Por meio dos sensores de tráfego é possível suprir a necessidade de informações sobre o volume de veículos nas principais vias nacionais. Os dados obtidos por esses equipamentos fornecem informações essenciais sobre as características do tráfego, como o volume médio diário anual, quilômetros percorridos por veículo, composição do tráfego, volume de pico, etc. Além disso, podem ser eficientes no desenvolvimento das matrizes de Origem e Destino (OD), que representam a distribuição espacial das viagens entre as zonas de tráfego de uma

área de estudo. Assim, é possível realizar, por meio de estudos técnicos específicos, o planejamento e o gerenciamento necessários ao desenvolvimento do setor rodoviário de transportes, inclusive, a avaliação de investimentos e alocação de recursos para infraestrutura viária.

No entanto, para que exista confiabilidade nas informações a serem obtidas, tanto relativas à quantidade, quanto à qualidade, são necessários estudos específicos, uso de sistemas, modelos e eventos de campo com elevado grau de complexidade logística e operacional, principalmente, quando se considera a abrangência territorial e diversidade socioeconômica e de infraestrutura presente nas cinco regiões brasileiras. Sendo assim, uma atividade importante nos estudos de tráfego consiste na definição dos locais de instalação de sensores. Tais locais, além de serem posicionados em pontos estratégicos, com representativos volumes de tráfego, devem permitir a obtenção da maior quantidade de dados possíveis.

Atrelado a isto, as atividades de instalação, operação e manutenção dos sensores são custosas, necessitam de mão de obra específica e possuem orçamento reduzido, dessa forma, devem-se localizar os sensores na rede de transportes de maneira que os recursos disponíveis sejam bem aproveitados, tal que, os dados obtidos sejam significativos e úteis para determinar o volume de tráfego nos segmentos da rede da melhor forma possível. Assim, surge o Problema de Localização de Sensores em Rede (PLSR) que pode ser resolvido por técnicas de otimização.

Gentili e Mirchandani (2012) desenvolveram uma revisão detalhada sobre o PLSR e diferenciaram o problema de acordo com os seguintes critérios: (I) Tipos de sensores a serem localizados na rede; (II) Disponibilidade de informação prévia; e (III) Fluxos de interesse (por exemplo, fluxos de OD, fluxos de rota e fluxos de segmentos). Além disso, os autores classificaram o PLSR em dois subproblemas principais: (I) Problema de observação do fluxo (*Flow-Observability Problem*): identifica a localização ideal de sensores para observação completa ou parcial dos fluxos, sem a necessidade de realizar estimativas de fluxo; e (II) Problema de estimativa do fluxo (*Flow-Estimation Problem*): identifica a localização ótima de sensores para melhorar a qualidade das estimativas de fluxo (por exemplo, demandas entre pares OD e fluxos de segmento/rota).

O problema de observação do fluxo (*Flow-Observability Problem*) consiste em identificar o número mínimo de sensores e suas localizações ótimas, de modo que as medições coletadas permitam a determinação completa dos fluxos em todos os segmentos diretamente ou indiretamente observados (Castillo *et al.* 2013, 2015). Em problemas desse tipo, o objetivo é encontrar o conjunto mínimo de segmentos com fluxos (ou rota, ou OD) observados capazes de fornecer informações sobre os segmentos restantes não contemplados pelos sensores, tornando o sistema observável, enquanto que, ao mesmo tempo, os fluxos observados são linearmente independentes, ou seja, não há informações redundantes incluídas.

Entretanto, a análise empírica e os métodos analíticos mostraram que até 60-70% dos segmentos em uma rede teriam que ser observados para atingir a observação do sistema completo (Hu *et al.*, 2009; Ng, 2012; Castillo *et al.*, 2013), o que é economicamente inviável para qualquer rede de tamanho real. Dessa forma, foram desenvolvidos modelos matemáticos para o problema de estimativa do fluxo (*Flow-Estimation Problem*) que são mais adequados às limitações orçamentárias a que as agências de controle e gestão de tráfego são submetidas. Esses modelos foram desenvolvidos para resolver duas situações distintas: (I) Quando o

número de sensores é ilimitado, mas busca-se minimizar sua quantidade; ou (II) Quando o número total de sensores é limitado, devido às restrições orçamentárias, e busca-se maximizar alguma regra de cobertura (Gentili e Mirchandani, 2012). Essas regras, explicitamente, não melhoram uma função de estimativa, mas definem diretrizes na localização de sensores que são usadas para definir restrições e/ou objetivos nos modelos de localização.

O PLSR, centrado na estimativa de fluxo (entre pares OD, principalmente), tem sido objeto de crescente interesse nos últimos anos. A seleção de artigos que dão embasamento adequado à realização de pesquisas científicas sobre o assunto se tornou muito complexa, dada à abundância de informações disponíveis na literatura internacional, hoje em dia. Além disso, nem tudo o que é abordado na literatura é de igual rigor (Ngai e Wat, 2002), apenas, a literatura de qualidade estimula estudos adicionais de investigação e proporciona a validação da teoria original proposta pelo estudo (Barnes, 2005). Diante do exposto, identifica-se o seguinte problema de pesquisa: Como é possível encontrar material bibliográfico qualificado e diretamente aplicável ao PLSR, de modo a apresentar a evolução dos modelos matemáticos de localização de sensores ao longo dos anos?

Nesse sentido, o presente estudo foi planejado, detalhado e documentado em um protocolo de Revisão Biográfica Sistemática (RBS) criterioso, baseado em Conforto *et al.* (2011), que buscou reduzir o viés (erro tendencioso) existente na literatura, a respeito do assunto, e que descreve os objetivos da pesquisa, bem como a estratégia de busca, critérios de seleção (inclusão e qualificação), o processo de extração e a síntese de dados. Como limitações desse estudo, tem-se que os trabalhos científicos averiguados nesse artigo centram-se na estimativa de fluxo (*Sensor Location Flow-Estimation Problems*) de viagens entre pares OD com sensores de contagem de tráfego instalados nos segmentos da rede de transportes.

Além dessa seção introdutória, a descrição das fases de desenvolvimento da Revisão Bibliográfica Sistemática é feita na Seção 2, a caracterização dos artigos selecionados é realizada na Seção 3 e a apresentação e a discursão dos principais resultados da pesquisa, na Seção 4. Por fim, as considerações finais são apresentadas na Seção 5.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA

A RBS tem como objetivo identificar, avaliar e integrar todos os resultados de estudos individuais relevantes e de boa qualidade que abordam uma ou mais questões relacionadas ao estudo proposto. Durante a RBS devem ser utilizadas fontes que fundamentam a presença do problema sob investigação (Barnes, 2005). Essa atividade permite ao pesquisador fornecer um sólido argumento relacionado à necessidade do estudo, bem como o ponto onde a literatura se encaixa com o objetivo estipulado. Além disso, o uso da literatura deve fornecer os motivos de legitimação das questões estabelecidas, bem como validar a abordagem proposta no estudo (Levy e Ellis, 2006). Observa-se que, para a revisão da literatura, "qualidade significa amplitude e profundidade adequada, rigor e coerência, clareza e brevidade, e análise eficaz e síntese" (Hart, 1998). A construção de uma sólida fundamentação teórica baseada em recursos de qualidade permite aos pesquisadores aprimorar as explicações, bem como compreender os problemas e aplicar as soluções mais adequadas (Levy e Ellis, 2006).

A metodologia de RBS utilizada nesse artigo baseou-se em Conforto *et al.* (2011) que adaptou modelos, de diversas áreas do conhecimento, como o proposto por Levy e Ellis (2006) e Biolchini *et al.* (2007), para facilitar os estudos e obter resultados mais confiáveis

sobre as pesquisas relacionadas à área de gestão de operações. Salienta-se que embora o foco do presente artigo esteja em uma área distinta, as etapas desenvolvidas por Conforto *et al* (2011) serviram para realizar um estudo sólido a respeito do PLSR, objetivo desse estudo, dadas as devidas particularidades. Assim como estabelecido por Levy e Ellis (2006), Conforto *et al.* (2011) dividiu a RBS em: (I) Fase de Entrada; (II) Fase de Processamento; e (III) Fase de Saída.

As etapas de desenvolvimento da Fase de Entrada são:

- Identificação do Problema: Problema é uma dificuldade, teórica ou prática, no conhecimento de um assunto de real importância que necessita de solução (Silva e Menezes, 2005). Conforme já exposto anteriormente, o presente estudo busca investigar o problema de localização dos sensores em rede.
- Definição dos Objetivos: Os objetivos buscam sintetizar o que o pesquisador pretende alcançar com a pesquisa ou qual a contribuição que o estudo proporcionará efetivamente (Silva e Menezes, 2005). Nesse sentido, este projeto busca realizar uma RBS sobre os principais modelos matemáticos de localização que se centram na estimativa de fluxo de viagens entre pares OD com sensores de contagem de tráfego instalados em segmentos viários, apresentando sua evolução ao longo dos anos.
- Determinação das Fontes Primárias: São úteis para a definição de palavras-chaves e identificação dos principais autores. As fontes primárias utilizadas no presente estudo foram: Gentili e Mirchandani (2012) e Wang *et al.* (2012), ambas com excelente reputação entre pesquisadores da área e com um grande número de citações.
- Determinação das Palavras-Chaves: A definição das palavras-chaves se faz útil para obtenção de periódicos diretamente relacionados ao assunto estudado, evitando assim que o pesquisador desperdice tempo analisando artigos que não vão de encontro com os objetivos da pesquisa. Com o estudo das fontes primárias e os diversos testes realizados na base de dados foi possível determinar os seguintes termos em inglês "*Network Sensor Location Problem*" e "*Flow-Estimation Problem*", bem como possíveis combinações.
- Definição dos Critérios de Inclusão: Os critérios de inclusão são de grande importância para obtenção de estudos diretamente relacionados ao problema investigado, tornando a pesquisa mais rígida e eficaz. Os critérios de inclusão empregados são: (I) Enquadramento com o objetivo proposto; e (II) Fator de impacto da revista.
- Definição dos Critérios de Qualificação: Os critérios de qualificação estão ligados às características qualitativas dos estudos e só podem ser avaliados com a leitura minuciosa dos artigos. Sendo assim, os seguintes questionamentos foram aplicados como critérios de qualificação: (I) A pesquisa apresenta revisão bibliográfica bem fundamentada? (II) O estudo apresenta inovação técnica? (III) As contribuições são discutidas? (IV) As limitações são apresentadas explicitamente? (V) Foram realizados testes computacionais em redes reais ou fictícias que comprovem a validade do modelo de localização utilizado? (VI) Os resultados e conclusões foram condizentes com os objetivos pré- estabelecidos?
- Determinação dos Métodos e das Ferramentas: A determinação dos métodos de busca e das ferramentas envolve definir: as etapas para a condução das buscas e seus filtros de qualidade e aplicabilidade; a forma com que os resultados serão armazenados, etc. O método de busca aplicado neste artigo foi o iterativo, ou seja, contemplou ciclos que favoreceram o aprendizado, refinando a busca.

- Cronograma: É preciso estar atento quanto ao prazo máximo viável para a conclusão da RBS. Dependendo dos objetivos, a RBS pode ter uma duração distinta, desde o planejamento até a conclusão. Essa estimativa de prazo é importante e pode ser definida com base no registro do tempo gasto na pesquisa em cada artigo, bem como na leitura dos textos segundo os filtros de busca (Conforto *et al.*, 2011). Nesse sentido, o tempo disponível para a realização desta pesquisa limitou-se ao período de um ano, entre março de 2016 e março de 2017.

As definições de cada etapa da Fase de Processamento e as respectivas aplicações no estudo são:

- Condução das Buscas: Compreende a ação efetiva de buscar artigos, na base de dados escolhida para realização da pesquisa, por meio do método de busca e das ferramentas definidas na Fase de Entrada. Dessa forma, os 100 artigos mais relevantes na base de dados *Science Direct*, obtidos pelas palavras-chaves selecionadas, foram avaliados por quatro criteriosos filtros de qualidade e aplicabilidade. Posteriormente, a partir dos artigos selecionados optou-se por realizar uma busca cruzada, a fim de obter mais artigos relevantes ao estudo, tornando-o ainda mais explícito e maximizando os resultados obtidos durante a revisão da literatura. Enquanto que no primeiro tipo de busca o objetivo principal era obter artigos atuais sobre o assunto estudado, no segundo, o objetivo era estudar a evolução das pesquisas sobre o problema.
- Desenvolvimento dos Filtros: Na seleção dos artigos, dois aspectos precisam ser considerados: aplicabilidade e qualidade. Aplicabilidade refere-se ao enquadramento com o objetivo proposto e qualidade significa que o artigo responde adequadamente ao seu propósito. Sendo assim, os filtros escolhidos para o estudo encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1: Filtros aplicados para a seleção de artigos.

Filtro de Seleção	Descrição
F0 - Leitura do título e das palavras-chave	Parâmetro inicial para selecionar os artigos que seriam avaliados mais profundamente. Os 100 trabalhos mais relevantes da base de dados do Science Direct, obtidos pelas palavras-chaves, foram analisados.
F1 - Leitura do Resumo	Dois importantes aspectos foram considerados: tipo de estudo (aplicação ou revisão) e tema abordado no artigo. Aqueles artigos que não apresentavam uma proposta inovadora para resolução do problema investigado foram excluídos, assim como os que, apesar do título se encaixar com o tema proposto, não estavam diretamente relacionados ao assunto estudado.
F2 - Leitura da introdução e da conclusão	Verificou se os artigos selecionados apresentavam revisão bibliográfica bem fundamentada, objetivo compatível com o proposto pelo presente trabalho científico, e conclusão satisfatória e condizente com o objetivo estipulado pelos autores.
F3 - Leitura completa do documento	Foi realizada uma avaliação rigorosa a respeito da qualidade dos artigos (critérios de qualificação), como do modelo matemático utilizado, do desenvolvimento de testes experimentais em redes fictícias e reais que comprovem a validade do modelo proposto, do cumprimento dos objetivos, da discursão das contribuições e limitações e do surgimento de possíveis lacunas.

- Leitura dos Artigos: A leitura constitui-se em fator decisivo do estudo, pois propicia a ampliação de conhecimentos, a obtenção de informações básicas ou específicas, a sistematização do pensamento, o enriquecimento de vocabulário e o melhor entendimento do conteúdo das obras (Marconi e Lakatos, 2003). Dos 100 trabalhos

avaliados na pesquisa, apenas 10, descritos na Seção 4, foram considerados qualificados e aplicáveis diretamente ao problema investigado após sua leitura minuciosa.

- Análise dos Resultados: A análise de um texto refere-se ao processo de conhecimento de determinada realidade e implica no exame sistemático dos elementos (Marconi e Lakatos, 2003). Durante o processo de leitura observou-se um aprofundamento crítico cada vez maior sobre o próprio PLSR, aumentando assim o campo de conhecimento sobre o assunto.
- Documentação e Arquivamento: Essas atividades são importantes para refinar as buscas e posteriormente serão úteis para argumentação teórica e embasamento da síntese (Conforto *et al.*, 2011). Foi desenvolvido um formulário com os dados dos artigos incluídos na pesquisa, contendo informações como título do artigo, ano, tipo de estudo, objetivos, propostas inovadoras, entre outras. O conteúdo permitirá que outros pesquisadores possam fazer uso do material da forma mais adequada possível.

A última fase da RBS, denominada Fase de Saída, compreende as etapas de desenvolvimentos de alertas e cadastro dos artigos selecionados no Filtro F3 (Tabela 1).
As descrições das etapas e as aplicações no presente estudo são:

- Desenvolvimento de Alertas: Consiste no mecanismo realizado para o recebimento de e-mails com avisos a respeito de artigos publicados em futuras edições de revistas acadêmicas que tenham referência direta com o objetivo do estudo, com a finalidade de rastrear novos modelos matemáticos para atualizar o repertório da pesquisa.
- Cadastro: Os artigos selecionados no Filtro F3, depois de analisados e interpretados, foram incluídos no repositório da pesquisa.
- Síntese dos Resultados: A síntese do estudo busca concentrar resultados de vários trabalhos em um único documento e definir o atual status do conhecimento sobre um determinado problema de pesquisa (Figueiredo Filho *et al.*, 2014). O presente artigo científico constitui a síntese dos resultados.
- Modelos Teóricos: a construção de modelos teóricos e definição de hipóteses têm como embasamento os resultados da RBS e a síntese do tema estudado. Será especialmente útil para a continuação da pesquisa, na construção do método para realização de estudos de caso (Conforto *et al.*, 2011).

Com a aplicação dos quatro criteriosos filtros de qualidade e de aplicabilidade dos estudos, apresentados na Tabela 1, por meio da busca direta na Base de Dados, *Science Direct*, e em busca cruzada, foram obtidos importantes artigos científicos que apresentaram propostas inovadoras, na época em que foram desenvolvidos, e que representam a evolução das pesquisas sobre o assunto averiguado pelo mundo. Com o objetivo de obter o máximo proveito da RBS, os resultados da pesquisa foram divididos em: (I) Análise das características dos artigos científicos, como revista e país/continente de origem dos autores; e (II) Apresentação dos principais resultados de cada estudo, apresentando um passo a passo da evolução desses estudos ao longo dos anos, dividindo-os em modelos matemáticos de minimização e de maximização.

3. CARACTERIZAÇÃO DOS ARTIGOS CIENTÍFICOS

A análise das revistas de publicação dos artigos científicos norteia o pesquisador que deseja submeter um trabalho para avaliação, ao indica-lo quais são as revistas que mais se interessam diretamente pelo assunto estudado, enviando que ele perca tempo desnecessário com a

provável rejeição de seu estudo. Nesse sentido, a Figura 1 apresenta uma distribuição dos artigos selecionados pela RBS conforme as revistas científicas utilizadas.

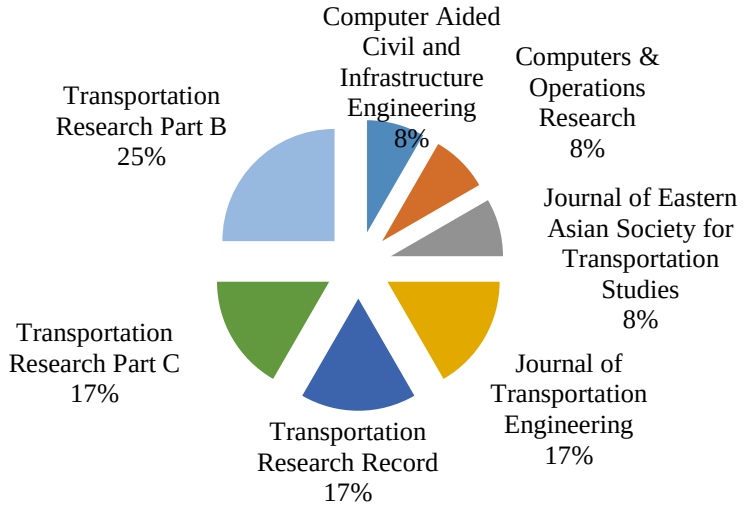


Figura 1: Distribuição dos artigos por revista de publicação.

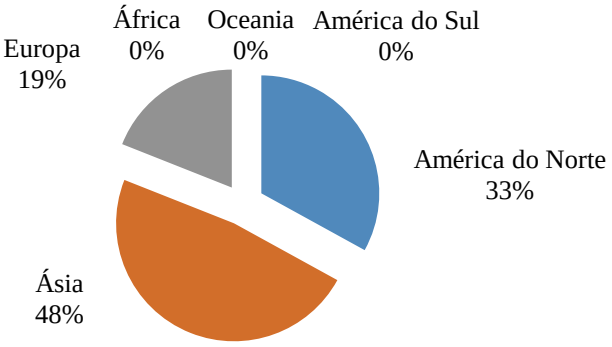


Figura 2: Distribuição por continente de origem dos Centros de Estudos.

Outra análise importante refere-se ao país e, consequentemente, continente de origem das Instituições de Ensino dos autores dos artigos científicos mais relevantes. Essa informação é importante para que novas parcerias de pesquisa sejam realizadas ou ainda para que evoluções de pesquisa sejam buscadas de maneira direcionada, dado que grupos consolidados de pesquisa possuem maior probabilidade de publicar avanços. Sendo assim, a Figura 2 apresenta a divisão dos artigos por continente.

Identifica-se, com a Figura 2, que as revistas que mais publicam artigos relevantes sobre o problema averiguado são: *Transportation Research Part B* (25%); *Transportation Research Part C* (17%); *Journal of Transportation Engineering* (17%); e *Transportation Research Record* (17%). Nota-se que revistas com alto de fator de impacto, para área de transportes, possuem interesse sobre o assunto. É o caso, por exemplo, da Transportation Research Part B: Methodological com Fator de Impacto de 3,769 e da Transportation Research Part C: Emerging Technologies com Fator de Impacto de 3,075.

Observa-se por meio da Figura 2 que, dos artigos mais relevantes selecionados na pesquisa, a Ásia (autores predominantemente filiados às instituições da República da China) é o continente que lidera em número de publicações, com cerca de 48%, seguida pela América do

Norte (autores predominantemente filiados às instituições dos Estados Unidos da América) com cerca de 33% e a Europa (autores predominantemente filiados às instituições da Itália) com os 19% restantes. Nenhum dos artigos apresentou autores de Universidades dos continentes: Africano, Sul-Americano ou da Oceania.

4. APRESENTAÇÃO DOS PRINCIPAIS RESULTADOS DOS ESTUDOS E DA EVOLUÇÃO DAS PESQUISAS

A presente seção tem o objetivo de descrever cada um dos trabalhos científicos obtidos por meio da RBS, de modo a orientar o pesquisador menos experiente sobre o que de sólido e eficaz já foi desenvolvido na literatura internacional, até o momento, a respeito dos modelos de localização de sensores de contagem de tráfego, instalados em segmentos viários, para estimar o fluxo entre pares origem e destino. Destaca-se que embora os artigos apresentados nas Seções 4.1 e 4.2 representem adequadamente a evolução das pesquisas sobre o assunto, esses artigos não excluem a existência de outros de igual importância que podem ter ficado de fora da revisão sistemática. Dessa forma, é papel dos pesquisadores interessados pelo assunto realizar uma constante busca por artigos aplicáveis ao problema e essa atividade pode ser realizada/aprimorada por meio do protocolo de revisão sistemática desenvolvido nesse artigo.

Os modelos matemáticos que se encaixam na categoria estudada, conforme já mencionado anteriormente, podem ser divididos em dois tipos principais: (I) Aqueles que buscam minimizar o número de sensores, considerando recurso ilimitado; e (II) Aqueles que buscam maximizar algum critério ou "regra" de localização, considerando recurso limitado de sensores.

4.1 Modelos de Minimização

Ao introduzir pela primeira vez uma medida de variabilidade, denominada Máximo Erro Relativo Possível, que analisa a confiabilidade de uma matriz Origem e Destino (OD), estimada a partir de contagens de tráfego, Yang *et al.* (1991) propuseram um modelo matemático de localização que minimiza o número de sensores implantados na rede e garante a seguinte regra de cobertura:

- Regra de Cobertura de OD: os sensores devem estar localizados em segmentos viários de modo que alguma fração positiva de viagens entre qualquer par OD seja observada (ou seja, cada par OD precisa ser coberto por pelo menos um sensor).

Yang *et al.* (2006) elaboraram outro modelo matemático que busca minimizar o número total de sensores implantados na rede, mas que diferente de Yang *et al.* (1991) e garante outra regra de cobertura definida como:

- Regra de Cobertura da Rota (ou Regra de Separação de OD): os sensores devem estar localizados em segmentos de modo que, para cada par de OD, todas as rotas devem ser cobertas.

Percebe-se que o modelo matemático de Yang *et al.* (2006) necessita da instalação de um número maior de sensores na rede, isso porque a restrição de implantação de pelo menos um sensor entre cada par OD, proposta por Yang *et al.* (1991), é ampliada para restrição de implantação de pelo menos um sensor entre cada rota de cada par OD. Destaca-se, ainda, que estes modelos necessitam que sejam conhecidos apenas os segmentos, os nós (de passagem e de origem e destino) e as relações entre eles (rotas) da rede em estudo, ou seja, nenhuma informação quando ao fluxo precisa ser obtida previamente.

Fei *et al.* (2007) inovaram ao propor um modelo matemático que busca minimizar o número total de sensores implantados na rede, em um determinado horizonte de planejamento, ou seja, leva em consideração a dimensão temporal para localização dos equipamentos eletrônicos. O modelo matemático desenvolvido garante a Regra de Cobertura de OD, proposta por Yang *et al.* (1991), em cada período de tempo considerado.

4.2 Modelos de Maximização

Diferente dos três trabalhos mencionados na Seção 4.1, diversos outros autores desenvolveram modelos matemáticos que buscam maximizar alguma "regra" de localização, dada uma restrição orçamentária. Esses modelos são mais adequados porque em redes reais, de médio e grande porte, com elevado número de segmentos, há necessidade de implantação de um grande número de sensores e as agências de controle e gestão de tráfego não possuem orçamento adequado para isso. Hu *et al.* (2009) apontam que a implantação de um grande número de sensores em uma rede urbana de tamanho médio ou grande pode envolver custos substanciais. Essa condições motiva a necessidade de abordar os problemas de otimização envolvendo locais e números de sensores, com um orçamento limitado.

Nesse sentido, Yim e Lam (1998) elaboraram um modelo matemático de localização, com restrição relativa ao número de sensores, que maximiza a seguinte regra:

- Regra de Máximo Fluxo de OD Capturado: os sensores devem estar localizados em segmentos de modo que, para um número de sensores, o melhor conjunto de localização é aquele que capta o maior número de viagens de OD.

Yang e Zhou (1998) criaram outro modelo matemático, dado um número restrito de sensores, que garante a Regra de Cobertura de OD e maximiza a seguinte regra:

- Regra de Máximo Fluxo de Rota Capturado: os sensores devem estar localizados em segmentos de modo que, para um dado número de sensores, o melhor conjunto de localização é aquele que capta os maiores fluxos de rotas de OD.

Nota-se que o modelo desenvolvido por Yang e Zhou (1998) pode ser considerado uma evolução dos modelos de minimização porque obedece a Regra de Cobertura de OD, proposta por Yang *et al.* (1991), e adapta a Regra de Cobertura da Rota (ou Regra de Separação de OD) de Yang *et al.* (2006) ao cobrir as rotas com maiores fluxos de veículos.

Larsson *et al.* (2009) desenvolveram um modelo matemático, também restrito à quantidade de sensores, mas que maximiza a seguinte regra:

- Regra de Máximo Fluxo Interceptado: os sensores devem estar localizados nos segmentos de modo que os fluxos observados sejam tanto quanto possíveis.

Os modelos propostos por Yim e Lam (1998), Yang e Zhou (1998) e Larsson *et al.* (2009) apresentam como desvantagem o fato de necessitarem de informações relativas ao fluxo de tráfego, obtidas previamente por meio de dados históricos, levantamentos iniciais ou modelos estáticos de atribuição de tráfego calibrados para fins de planejamento. Além disso, esses modelos não analisam a confiabilidade dos dados prévios, o que pode acarretar em informações errôneas sobre o fluxo de veículos na rede.

Dessa forma, Yang *et al.* (2003) desenvolveram um modelo matemático, restrito por determinado orçamento e horizonte de projeto, que busca maximizar a soma ponderada dos

pares OD cobertos, ou seja, busca maximizar a Regra de Cobertura de OD. Esse modelo depende apenas do conjunto de segmentos, nós e pares OD e das relações entre eles, não necessitando de dados prévios de fluxo de tráfego.

Assim como Yang *et al.* (2003), Yang *et al.* (2006) propuseram um modelo matemático que não depende de informações de fluxo obtidos previamente. O modelo em questão posiciona sensores em um dado número máximo de segmentos e maximiza a Regra de Cobertura da Rota (ou Regra de Separação de OD), ou seja, a escolha do segmento que receberá o sensor depende diretamente do número de pares OD a serem separados na rede e não do fluxo de veículos obtido previamente.

Ehlert *et al.* (2006) estenderam os conceitos do problema de localização ao adotarem uma regra de abrangência de OD para desenvolver a segunda melhor solução de localização. Os autores partiram do princípio de que, em alguns casos específicos, sensores já estão implantados na rede e, dessa forma, a melhor solução para localização de novos sensores precisa considerar a presença de sensores já fixados na rede. Caso nenhum sensor estivesse localizado na rede, a solução otimizada seria melhor que a solução para sensores já localizados na rede, dessa forma, esta seria a segunda melhor solução. O conteúdo de detecção e as informações existentes sobre a matriz OD histórica foram considerados na modelagem.

Por fim, para resolver a falta de confiabilidade dos dados de fluxo obtidos previamente, Wang *et al.* (2012) desenvolveram um modelo matemático inovador ao considerar explicitamente a minimização do erro da estimativa na decisão de localização de sensores, assumindo níveis de confiança para os dados de fluxos de rotas obtidos previamente. Em particular, o problema pode ser o de como localizar sensores em um subconjunto de segmentos para maximizar a redução de incertezas em estimativas de fluxo de rota.

4.3 Discussão dos Resultados

Os modelos matemáticos apresentados nas Seções 4.1 e 4.2 dependem de diversas fontes de informação que podem incluir a estrutura de rede e a sua atribuição (topologia, conjunto de segmentos e nós, etc.), valores médios dos fluxos de interesse e a confiabilidade dos dados.

Além disso, como já dito anteriormente, as agências de tráfego são submetidas às restrições orçamentárias que podem significar na instalação de uma quantidade de sensores menor que os determinados no modelo de cobertura total de par OD (Yang *et al.*,1991) ou de rota (Yang *et al.*, 2006), que não apresentam restrição de recurso, o que torna necessário a utilização de modelos que busquem maximizar alguma regra de localização para melhorar a qualidade e quantidade de fluxos observados. Salienta-se que esses modelos podem depender apenas das informações sobre segmentos, nós e das relações entre eles ou, inclusive, de dados de fluxo obtidos previamente e que a confiabilidade desses dados pode ou não ser testada.

Dessa forma, a escolha de um ou outro modelo matemático pelo planejador de transportes precisa ser minunciosamente analisada e todas as informações e peculiaridades da rede em estudo precisam ser verificadas, de modo a garantir que o modelo utilizado para representar o problema investigado seja o mais adequado possível para implantação dos sensores na rede viária.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo adaptou o modelo proposto por Conforto *et al.* (2011) para uma RBS com foco no PLSR. Nesse sentido, colabora para o desenvolvimento de pesquisas sobre o assunto, em especial para aquelas centradas na solução do problema de estimativa de fluxo (*Sensor Location Flow-Estimation Problems*) de viagens entre pares OD, com sensores instalados em segmentos viários.

Com a análise do material bibliográfico contatou-se que periódicos, com elevado fator de impacto, como *Transportation Research Part B*, *Transportation Research Part C* e *Transportation Research Record* possuem grande interesse pelo assunto e que existe predominância de pesquisas inovadoras desenvolvidas principalmente pela República de China e pelos Estados Unidos da América.

Além disso, este trabalho descreve a evolução de estudos relevantes sobre o assunto pelo mundo, distinguindo-o entre os modelos de maximização e os de minimização, de modo a apresentar uma sólida fundamentação teórica útil para orientar pesquisadores menos experientes sobre o que de efetivamente aplicável e qualificado foi desenvolvido ao longo dos anos sobre o problema estudado. Aponta-se que o desenvolvimento deste artigo não teve como objetivo apontar lacunas existentes nos modelos matemáticos analisados.

Assim, as principais contribuições para a teoria e prática são a sistematização do procedimento de revisão bibliográfica voltado especificamente para pesquisas na área localização de sensores em rede e a descrição evolutiva dos modelos matemáticos desenvolvidos ao longo dos anos.

Destaca-se que a aplicação do protocolo de RBS desenvolvido é contínua e, dessa forma, não deve parar com a produção do presente artigo porque novas pesquisas sobre o assunto continuam sendo desenvolvidas atualmente, dada a relevância do estudo, e até mesmo artigos desenvolvidos anteriormente podem não ter sido considerados na RBS.

Como sugestão para trabalhos futuros aconselha-se que sejam realizados estudos bibliográficos sobre o problema de localização de sensores para observar completamente volumes de fluxo na rede (*Sensor Location Flow-Observability Problems*), assunto não tratado no presente artigo. Além de realização de um estudo comparativo entre os principais modelos de localização apresentados nesse artigo por meio de suas aplicações em redes reais de médio e grande porte.

Agradecimentos

O autor agradece ao CAPES pelo apoio financeiro e ao professor Glaydston Mattos Ribeiro pelas valiosas sugestões que permitiram aprimorar o conteúdo deste artigo e eliminar diversas inconsistências.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barnes, S. J. (2005). Assessing the value of IS journals. *Communications of the ACM*, v. 48, n. 1, p. 110-112.

Biolchini, J. C.A.; Mian, P. G.; Natali, A. C. C.; Conte, T. U. e Travassos, G. H. (2007). Scientific Research Ontology to Support Systematic Review in Software Engineering. *Advanced Engineering Informatics*, v. 21, n. 2, p. 133–51.

Castillo, E., Grande, Z., Calviño, A, Szeto, W.Y. e Lo, H.K. (2015). A state-of-the-Art Review of the Sensor Location, Flow Observability, Estimation and Prediction Problems in Traffic Networks. *Journal of Sensors.* v. 2015.

Castillo, E., Nogal, M., Rivas, A. e Sánchez-Cambronero, S. (2013). Observability of Traffic Networks: Optimal

Location of Counting and Scanning Devices. *Transportmetrica B: Transport Dynamics*, v. 1, n. 1, p. 68–102.

Conforto, E. C.; Amaral, D. C. e Silva, S. L. (2011). Roteiro para Revisão Bibliográfica Sistemática: Aplicação no Desenvolvimento de Produtos e Gerenciamento de Projetos. *Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto – CBGDP*, p. 1–12.

Ehlert, A.; Bell, M. G. H. e Grosso, S. (2006). The Optimization of Traffic Count Locations in Road Networks. *Transportation Research Part B: Methodological*, v. 40, p. 460–479.

Fei, X.; Mahmassani, H.S. e Eisenman, S.M. (2007). Sensor Coverage and Location for Real-Time Traffic Prediction in Large-Scale Networks. *Transportation. Research Record*, v. 2039, p. 1–15.

Fei, X.; Mahmassani, H. S. e Murray-Tuite, P. (2013). Vehicular Network Sensor Placement Optimization under Uncertainty. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, v. 29, p. 14–31.

Figueiredo Filho, D. B.; Paranhos, R.; Silva Júnior, J. A.; Rocha, E. C. e Alves, D. P. (2014). O que é, para que serve e como se faz uma Meta-análise? *Teoria e Pesquisa*, p. 205–228.

Garber, N.J. e Hoel, L.A. (1999). *Traffic and Highway Engineering.* PWS Publishing Company, Boston, Massachusetts.

Gentili, M. e Mirchandani, P.B. (2012). Locating Sensors on Traffic Networks: Models, Challenges and Research Opportunities. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, v. 24, p. 227–255.

Hart, C. (1998). *Doing a Literature Review: Releasing the Social Science Research Imagination.* London, UK: Sage Publications.

Hu, S.R., Peeta, S. e Chu, C.H. (2009). Identification of Vehicle Sensor Locations for Segmento-based Network Traffic Applications. *Transportation Research Part B: Methodological*, v. 43; n. 8–9, p. 873–894.

Larsson, T.; Lundgren, J.T. e Peterson, A. (2009). Allocation of Link Flow Detectors for Origin-Destination Matrix Estimation – a Comparative Study. *Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering*, v. 00, p. 1–16.

Levy, Y. e Ellis, T. J. (2006). A Systems Approach to Conduct an Effective Literature Review in Support of Information Systems Research. *Informing Science: The International Journal of an Emerging Transdiscipline*, v. 9, p. 181–212.

Marconi, M. A. e Lakatos, E. M. (2003). *Fundamentos de Metodologia Científica.* Editora ATLAS S.A. 5 Edição. São Paulo.

Ng, M. (2012). Synergistic Sensor Location for Segmento Flow Inference Without Path Enumeration: a Node-based Approach. *Transportation Research Part B: Methodological*, v. 46, n. 6, p. 781–788.

Ngai, E. W. T. e Wat, F. K. T. (2002). A literature Review and Classification of Electronic Commerce Research. *Information e Management*, v. 39, n. 5, p. 415–429.

Rinaldi, M., Corman, F. e Viti, F. (2015). Assessing the Effect of Route Information on Network Observability Applied to Sensor Location Problems. *Transportation Research Procedia*, p. 3–12.

Silva, E. L. e Menezes, E. M. (2005). *Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação. 4a Edição.* Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

Wang, N. (2013). *Locating Counting Sensors in Traffic Network to Estimate Origin-Destination Volumes.* Arizona State University, USA.

Wang, N.; Gentili, M. e Mirchandani, P. (2012). A Model to Locate Sensors for Estimating Static OD Volumes given Prior Flow Information. *Transportation Research Record*, v. 2283, p. 67–73.

Yang, C.; Chootinan, P. e Chen, A. (2003). Traffic Counting Location Planning using Genetic Algorithm. *Journal of Eastern Asian Society for Transportation Studies*, v. 5, p. 898–913.

Yang, H.; Gan, L. e Tang, W.H. (2001). Determining Cordons and Screen Lines for Origin-Destination Trip Studies. *Proceedings of the 3rd Eastern Asia Society for Transportation Studies*, v. 3, n. 2, p 85-99.

Yang, H.; Lida, Y. e Sasaki, T. (1991). An Analysis of the Reliability of an Origin–Destination Trip Matrix Estimated from Traffic Counts. *Transportation Research Part B*, v. 25, n. 5, p. 351–363.

Yang, H. e Zhou, J. (1998). Optimal Traffic Counting Locations for Origin–Destination Matrix Estimation. *Transportation Research Part B*, v. 32, n.. 2, 1998, p. 109–126.

Yang, H.; Yang, C. e Gan, L. (2006). Models and algorithms for the screen line-based traffic-counting location problems. *Computers & Operations Research*, v. 33, n. 3, p. 836–858.

Yim, P.K.N. e Lam, W. H. K. (1998). Evaluation of Count Location Selection Methods for Estimation of O–D Matrices. *Journal of Transportation Engineering*, v. 124, p. 376–383.

Victor Hugo Souza de Abreu (victor@pet.coppe.ufrj.br)
Programa de Engenharia de Transportes, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro
Av. Horácio Macedo, 2030, 101 – Cidade Universitária – Rio de Janeiro, RJ, Brasil

FERRAMENTA MULTICRITÉRIO DE INSPEÇÃO DO NÍVEL DE SEGURANÇA DE CICLOFAIXAS: ESTUDO DO CASO DE PORTO ALEGRE

Alejandro Ruiz-Padillo[1,2]
André Luiz Dultra Nascimento da Silva[2]
Daniela Lichtler Cassel[2]
Richard Ortiz Menna[2]
Christine Tessele Nodari[2]
[1]Universidade Federal de Santa Maria - Campus Cachoeira do Sul
Laboratório de Mobilidade e Logística (LAMOT)
[2]Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Departamento de Engenharia de Produção e Transportes
Laboratório de Sistemas de Transportes (LASTRAN)

RESUMO
A promoção e o incentivo ao uso da bicicleta têm crescido consideravelmente nas cidades ao redor do mundo. No entanto a percepção da falta de segurança viária associada ao modo cicloviário ainda se constitui em uma das principais barreiras para o aumento do uso da bicicleta. A adoção de ciclofaixas surge como alternativa para a oferta de um ambiente seguro ao tráfego cicloviário e, assim, tem papel importante na opção pelo uso da bicicleta como meio de transporte. Nesse contexto, este artigo propõe uma ferramenta de inspeção do nível de segurança de ciclofaixas para servir de apoio na gestão de espaços viários mais seguros através da priorização das principais oportunidades de melhorias de segurança das ciclofaixas avaliadas. A ferramenta foi testada em três ciclofaixas de Porto Alegre e como principais resultados tem-se o ranqueamento das ciclofaixas avaliadas quanto ao seu nível de segurança e a identificação dos aspectos mais deficientes em cada uma das ciclofaixas.

ABSTRACT
The fostering of cycling habits has been growing in cities around the world. However, the perception of lack of road safety associated with cycling is still one of the main barriers to increase bicycle use. Cycle lanes implementation arises as an alternative for providing a safer environment for bicycle traffic, thus, being an important factor on the definition of whether people choose bicycle as a mean of transportation or not. In this context, this article proposes a cycle lane safety level inspection tool to support the management of safer road spaces through the prioritization of opportunities for safety improvements. The tool was tested in three cycle lanes in Porto Alegre and the main results are the ranking of the evaluated cycle lanes in terms of their safety level and the identification of the most deficient aspects in each cycle lane.

1. INTRODUÇÃO

Infraestruturas cicloviárias vêm sendo cada vez mais adotadas nas cidades ao redor do mundo por contribuírem na redução de emissões de gases efeito estufa, congestionamento, incentivo à atividade física, melhorias à saúde, redução de poluição sonora, maior humanização do ambiente urbano (Holm *et al.*, 2012, OECD, 2013; Götschi *et al.*, 2016) e, principalmente, na oferta de um ambiente seguro ao tráfego de bicicletas (Xu *et al.*, 2016; Madsen e Lahrmann, 2017). Assim, estas estruturas tem papel importante na opção pelo uso da bicicleta como meio de transporte, especialmente para usuários iniciantes que tendem a ter mais receio de trafegar em ambiente compartilhado, quando comparados aos ciclistas mais experientes.

Entre estas infraestruturas destacam-se as ciclofaixas, implantadas mediante o aproveitamento de parte do leito da via de tráfego que, através de elementos de demarcação e sinalização, fica destinada ao uso exclusivo de bicicletas (Pulugurta e Takhur, 2015; Madsen e Lahrmann, 2017). Os custos mais baixos das ciclofaixas e sua relativa facilidade de provisão, em comparação a estruturas mais robustas fisicamente separadas das faixas de tráfego motorizado, como as ciclovias, têm incentivado a sua adoção (Miranda *et al.*, 2009).

A segurança nas ciclofaixas pode variar bastante de acordo com a sua configuração.

Tradicionalmente posicionadas no bordo direito da pista, tornam ciclistas visíveis ao tráfego motorizado no mesmo sentido, porém é onde eles estão mais sujeitos a interações com pedestres e veículos pesados que trafegam nas faixas lentas à direita. Nos casos onde a ciclofaixa encontra-se entre a calçada e o estacionamento paralelo às faixas de rolamento, os ciclistas tornam-se vulneráveis ao fenômeno de *dooring*, que é quando podem ser atingidos devido à abertura das portas dos veículos estacionados (NACTO, 2014). Alguns desses conflitos podem ser evitados posicionando-se a ciclofaixa nos canteiros centrais, onde, de modo geral, ciclistas ficam sujeitos a menos interrupções e conflitos com outros modos de transporte (Miranda *et al.*, 2009; NACTO, 2014). Conquanto, o acesso à parte central deve ser bem planejado, não sendo recomendado para vias de alto volume de tráfego motorizado, situação na qual o ciclista estaria vulnerável. As ciclofaixas podem ser ainda uni ou bidirecionais, podem formar um binário em ambos os sentidos da via ou podem ser instaladas no contrafluxo de modo a conectar pontos de interesse dos ciclistas. Não há consenso sobre a configuração ideal de ciclofaixa com vistas à segurança viária; a solução mais adequada deve advir de estudos prévios que corroborem a decisão sobre a escolha de um dos tipos existentes.

É crescente o número de estudos sobre segurança cicloviária encontrados na literatura (Botma, 1995; Bacchieri, 2004; Monteiro e Campos, 2011; Segadilha e Sanches, 2014; Schackel e Parkin, 2014; Córdova Junior e Nodari, 2015; Pulugurta e Takhur, 2015; Xu *et al*., 2016; Madsen e Lahrmann, 2017). Tais estudos tratam de diversos fatores importantes relacionados com segurança em ciclovias e ciclofaixas, que devem ser levados em consideração nos projetos de desenvolvimento, manutenção e revitalização de infraestruturas dedicadas à bicicleta.

Nesse contexto de crescente incentivo ao uso da bicicleta e preocupação em prover ambientes seguros ao seu uso, este artigo propõe uma ferramenta de inspeção do nível de segurança de ciclofaixas. A ferramenta foi desenvolvida a partir da identificação de indicadores para os principais atributos importantes à segurança, e a criação de uma estrutura de inspeção. A ferramenta permite uma avaliação comparativa de ciclofaixas e pretende orientar os esforços de provisão e manutenção de ambientes cicloviários mais seguros.

O artigo está estruturado da seguinte forma: após esta introdução, o referencial teórico apresenta um breve histórico sobre avaliações de segurança cicloviária e principais aspectos neles avaliados. Na seção 3 são apresentados os procedimentos metodológicos do desenvolvimento da ferramenta de avaliação proposta. Na seção 4 são apresentados os resultados obtidos na construção da ferramenta e na seção 5 é apresentada o seu teste em três ciclovias de Porto Alegre. Por fim, a seção 6 apresentada as considerações finais em relação à pesquisa realizada.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Apesar da promoção e o incentivo ao uso da bicicleta notavelmente crescentes nas últimas décadas, a bicicleta ainda permanece como um fator marginal nas políticas de transporte, com poucas exceções. Isto pode ser decorrente de barreiras sócio-psicológicas, falta de priorização ou da baixa representatividade relativa de ciclistas entre os usuários do sistema de transportes (pedestres, ciclistas e motorizados) (Götschi *et al*., 2016). A baixa representatividade geralmente decorre da percepção da falta de segurança viária (Teschke *et al*., 2012; OECD, 2013; Götschi *et al*., 2016), o que resulta em um ciclo vicioso: a percepção de insegurança desincentiva o crescimento do modo cicloviário e resulta em baixa representatividade, que,

por sua vez, diminui a propensão de investimento em infraestrutura segura para ciclistas.

Os estudos sobre segurança viária – sobretudo aqueles com foco nos modos de transportes ativos – possibilitam identificar e obter um maior entendimento sobre os fatores que influenciam na segurança dos usuários e, por conseguinte, auxiliam na gestão dos projetos de mobilidade voltados aos modos não-motorizados. À medida que se compreende a segurança dos ciclistas em seus deslocamentos através das infraestruturas dedicadas à bicicleta como um serviço provido pelos órgãos gestores de trânsito, as ferramentas de avaliação de segurança tornam-se também valiosos instrumentos de planejamento e gestão do espaço cicloviário (Cândido, 2005; Córdova Junior e Nodari, 2015).

Nos últimos anos, a avaliação de segurança no trânsito passou a utilizar o conceito de "fatores contribuintes" em detrimento da ideia de uma única causa de acidentes. Este conceito busca explicar o acidente como resultado de uma combinação de fatores– relacionados com os três componentes do sistema de trânsito: o usuário, a via e o veículo – que contribuem para a ocorrência do acidente, o que torna o entendimento dos problemas de segurança bastante complexo (Castrillón e Candia, 2003; Naing *et al*., 2007; Chagas *et al*., 2012).

Sabendo dessa complexidade, avaliar a segurança não é tarefa fácil, principalmente em sistemas ou segmentos cicloviários. Nos últimos anos, diversos autores têm despendido esforços na intenção de modelar o risco real ao qual ciclistas estão suscetíveis. Neste contexto, o primeiro modelo desenvolvido foi o *Bicycle Safety Index Rating* (BSIR, ou, em português, Índice de Segurança para Bicicletas) (Davis, 1987). O modelo utilizava parâmetros como o volume de tráfego, limites de velocidade, condições de pavimentação, sinalização e uma série de outros fatores geométricos para avaliar a segurança cicloviária em segmentos viários e interseções. A despeito de não incorporar informações acerca de interações entre bicicletas e veículos motorizados ou outros tipos de conflitos, o modelo obteve relativo sucesso e estimulou o surgimento de outros métodos de avaliação e estimação de riscos para ciclistas.

Desde então, avaliações de segurança cicloviária passaram a ser incorporadas no planejamento das vias, através de diferentes métodos e parâmetros. Uma variação do BSIR, o *Roadway Condition Index* (RCI, ou, em português, Índice de Condição de Rodovia), alterou o peso relativo ao indicador da velocidade máxima permitida para veículos automotores e o peso relativo aos volumes de tráfego (Epperson, 1994). Posteriormente, o RCI serviu como base para criação de outros modelos, como o IHS (*Intersection Hazard Scores*, ou, em português, Pontuações de Perigo de Interseções), o qual incorporou fatores como o número de faixas de rolamento como um dos elementos determinantes para percepção de risco dos ciclistas (Landis, 1994). O desenvolvimento de um modelo para determinar o *Bicycle Level of Service* (BLOS, ou, em português, Nível de Serviço de Bicicletas) foi possível ao incorporar às variáveis do IHS indicadores de condição do pavimento e informações acerca do uso do solo adjacente às vias cicláveis, criando uma escala de avaliação do conforto e segurança para ciclistas que variava de A até F (Landis *et al.*, 1997).

Pesquisadores seguem desenvolvendo novos métodos de avaliação da segurança para ciclistas e aprimorando os modelos a partir da incorporação das mais diversas variáveis, como interações entre ciclistas e motorizados (Hunter *et al.*, 1999), comportamento dos ciclistas (Lawson *et al.*, 2013), características das faixas adjacentes às ciclofaixas (Pulughurta e

Thakor, 2015) e geometria das ciclofaixas (Madsen e Lahrmann, 2017). Observa-se ainda a utilização de diferentes meios de obtenção de dados, como através de bancos de dados (Davis, 1987; Epperson, 1994), contagens (Madsen e Lahrmann, 2015; Xu *et al.*, 2015) ou através de entrevistas (Harkey *et al.*, 1998; Landis *et al.*, 2003; Noël *et al.*, 2003). Metodologias como estas inspiraram o desenvolvimento de diversos guias práticos de auditoria de segurança cicloviária, como os guias propostos por Norwegian Public Roads Administration (2004), Nabors *et al.*, (2012), Vicroads (2012) e University of California (2014).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O desenvolvimento da ferramenta proposta de avaliação de segurança cicloviária foi discriminado em 10 etapas, conforme apresentado na Figura 1.

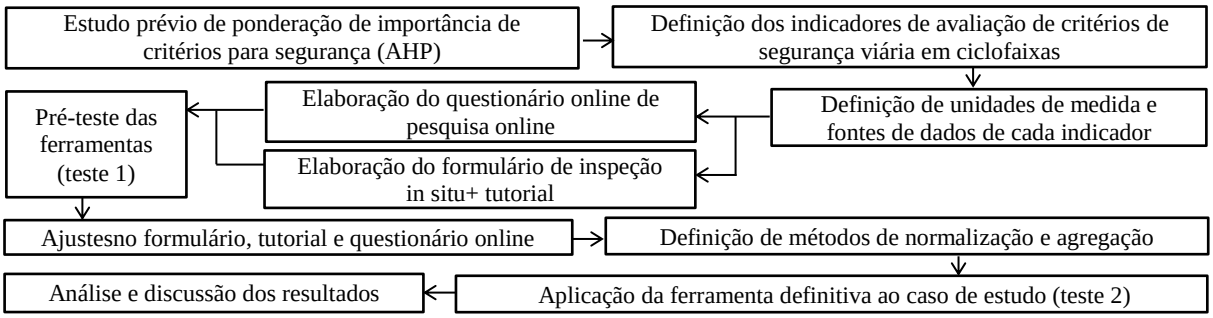


Figura 1: Etapas do estudo

Os aspectos de segurança avaliados pela ferramenta foram determinados a partir de um estudo anterior, que identificou e ponderou a importância dos principais aspectos que influenciam a segurança de ciclistas em ciclofaixas em um contexto brasileiro (Ruiz-Padillo *et al*., 2016). Os pesos de cada atributo, estruturados em uma hierarquia de critérios e subcritérios, foram definidos através de uma análise multicriterial, mediante o AHP (*Analytic Hierarchy Process*, ou, em português, Processo Analítico Hierárquico), na qual foram consideradas as opiniões de um painel de especialistas que incluiu técnicos, pesquisadores e ciclistas. Esta avaliação quantitativa através de pesos permite medir o desempenho em termos de segurança dos ciclistas nas ciclofaixas, bem como comparar diferentes infraestruturas, facilitando a priorização das medidas a serem tomadas para melhorar a segurança dos ciclistas.

O passo seguinte foi identificar para cada subcritério um indicador, especificando a unidade de medida e a fonte dos dados. A definição dos indicadores buscou traduzir os aspectos mais importantes dos subcritérios, evitando indicadores de difícil obtenção, porém sem prejuízo para a consistência da ferramenta. Também foi tomado o cuidado para que as fontes de dados fossem acessíveis e que as unidades de medida possibilitassem o tratamento numérico dos dados obtidos, para posterior normalização de índices e realização da comparação de resultados.

Em sequência, foram definidos os procedimentos de obtenção dos dados primários (coletados diretamente através de formulários de campo ou pesquisas) além da identificação dos dados secundários (dados já coletados por atores externos) a serem solicitados aos órgãos e agências públicas. Priorizou-se a praticidade na aquisição dos dados secundários, através do acesso aos bancos de dados públicos ou da utilização de ferramentas digitais como o *Google Maps* e *Google Earth*. Nos casos em que a aquisição dos dados secundários fosse dificultada ou apresentasse inconsistências, optou-se pela obtenção de dados primários *in situ* ou através da

aplicação de questionário *online*. Para o formulário de coleta de dados em campo, elaborou-se também um tutorial de aplicação para orientar e instruir o avaliador no preenchimento correto do formulário.

Decidiu-se trabalhar com valores normalizados para possibilitar a agregação dos dados com diferentes unidades de medida e permitir a comparação entre as ciclofaixas consideradas na avaliação. Assim, na etapa seguinte, elegeu-se como método de normalização dos dados o procedimento linear que apresenta cada valor como uma percentagem do máximo, levando em conta o carácter do critério (de benefício ou de custo), como apresentado na equação 1.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{ij}^{máx}} \times 100 \quad (1)$$

onde *i* são as ciclovias analisadas, *j* são os subcritérios analisados, r_{ij} são os valores dos indicadores de cada subcritério normalizados (em notação percentual), x_{ij} são os valores obtidos diretamente da avaliação dos indicadores e $x_{ij}^{máx}$ são os valores máximos.

Como técnica de agregação das avaliações de critérios e subcritérios ponderados, foi escolhido o método da soma ponderada. Este método agrega os valores dos diferentes critérios (com seus pesos) em uma única função de utilidade global (Barba-Romero e Pomerol, 2000), a qual pode adquirir um modelo aditivo linear, apresentado na equação 2.

$$y_i = w_{i1} * r_{i1} + w_{i2} * r_{i2} + \ldots + w_{in} * r_{in} \quad (2)$$

em que *i* são as ciclovias analisadas, *j* são os subcritérios analisados, r_{ij} são os valores dos indicadores de cada subcritério normalizados e w_{ij} os valores dos pesos dos critérios, com *n* o número de critérios do problema analisado. Ordenando as alternativas (neste caso, as ciclofaixas avaliadas) pelos valores de *y*, é possível estabelecer um ranking delas e, portanto, uma ordenação em relação à sua segurança.

O último estágio do estudo foi testar a ferramenta proposta. O primeiro teste foi feito por um grupo de controle de avaliadores e ciclistas, externos aos autores do trabalho, com o objetivo de identificar problemas de aplicação das ferramentas e dificuldades de compreensão. A partir do retorno deste teste, o formulário de inspeção em campo, o tutorial de aplicação e o questionário *online* foram aprimorados e adaptados para sua aplicação definitiva. Para teste da versão final, com a finalidade de verificar sua aplicabilidade, aplicou-se a ferramenta em um estudo de caso de três ciclofaixas em operação na cidade de Porto Alegre – RS.

4. RESULTADOS DA ELABORAÇÃO DA FERRAMENTA PROPOSTA

A Tabela 1 sintetiza os resultados da elaboração da ferramenta proposta para avaliação de ciclofaixas, apresentando os indicadores selecionados, suas respectivas unidades de medida e fonte, bem como os pesos obtidos mediante a técnica AHP em Ruiz-Padillo *et al.* (2016).

Em relação à obtenção dos dados primários, os mesmos são coletados a partir de duas ferramentas principais: o formulário de avaliação de campo e o questionário *online*. O formulário é constituído por uma planilha de avaliação (Figura 2) e um tutorial para utilização da planilha (Figura 3). Na planilha de avaliação constam informações de auxílio ao avaliador, como um croqui da ciclofaixa a ser avaliada –onde devem ser indicados, através de legendas, os trechos que subdividem a ciclofaixa–, breves instruções acerca do preenchimento das colunas – as quais representam os subcritérios avaliados –, dados da avaliação realizada – como data, horário de início e fim da inspeção e condições do tempo no momento da avaliação – e espaço para observações dos avaliadores.

Tabela 1: Indicadores utilizados na ferramenta, fonte de coleta e ponderação relativa**.**

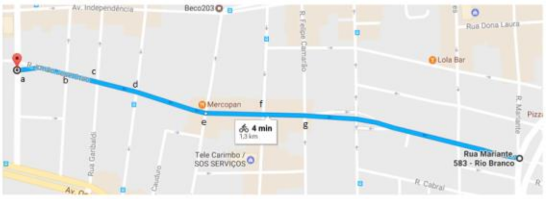
Aspecto	Critério	Subcritério	Indicador e Unidade de medida	Fonte dos dados	Pesos w_{ij} (%)
Viário-ambientais	Projeto da ciclofaixa	Geometria	Módulo da declividade média ponderada da ciclofaixa	Bases municipais	11,05
		Pavimentação	Tipo de pavimento (1 para materiais ideais e 0 para materiais não recomendados)	Formulário de campo	7,26
		Sinalização	Porcentagem de trechos de ciclofaixa com elementos adequados de sinalização (vertical, horizontal e auxiliar)	Formulário de campo	4,34
		Entorno	Número de elementos fixos no entorno da ciclofaixa que dificultem visibilidade ou gerem conflitos identificados por quilômetro	Formulário de campo	2,84
	Manutenção da via	Estado da superfície	Nota média para o estado da ciclofaixa (com parâmetros definidos no tutorial), ponderada pela extensão dos trechos avaliados	Formulário de campo	6,53
		Obstáculos	Número de elementos temporários na ciclofaixa que dificultem visibilidade ou gerar conflitos identificados por quilômetro	Formulário de campo	7,34
		Iluminação	Postes inadequados por quilômetro de ciclofaixa	Formulário de campo	2,78
		Drenagem	Número de poças identificadas por quilômetro de ciclofaixa	Formulário de campo	2,36
	Operação da via	Tráfego de motorizados	Volume de veículos motorizados observados nos 15min de fluxo mais intenso dentro da hora-pico	Registros oficiais e Formulário de campo	2,59
		Velocidades relativas	Diferença entre a velocidade limite da via, definida na sinalização existente ou pela hierarquia da via (no caso de não haver sinalização) e a velocidade dos ciclistas	Registros oficiais e Formulário de campo	8,35
		Veículos pesados	Volume de veículos pesados observados nos 15min de fluxo mais intenso dentro da hora-pico	Registros oficiais e Formulário de campo	2,27
		Risco de conflitos	Número de pontos de conflitos entre usuários da via identificados por quilômetro de ciclofaixa	Formulário de campo	4,77
Veículo	Características da bicicleta	Manutenção da bicicleta	Porcentagem de ciclistas que faz manutenção pelo menos 1 vez por ano	Questionário *online*	3,10
		Elementos de percepção	Porcentagem de ciclistas que utiliza pelo menos 2 elementos de percepção	Questionário *online*	2,10
		Acessórios de auxílio	Porcentagem de ciclistas que utiliza pelo menos 2 acessórios	Questionário *online*	0,92
Usuários	Comportamento dos usuários	Comunicação entre usuários	Porcentagem de ciclistas que diz executar procedimentos de comunicação na maioria das vezes	Questionário *online*	5,43
		EPIs do ciclista	Porcentagem de ciclistas usando capacete em relação ao volume total de ciclistas observados	Questionário *online* e Formulário de campo	2,92
		Experiência do ciclista	Porcentagem de ciclistas que utiliza a ciclofaixa pelo menos 2 vezes por semana	Questionário *online*	3,96
		Atitudes dos usuários	Número de multas ao longo da rua da ciclofaixa por quilômetro de ciclofaixa	Registros oficiais	12,05
		Estado psicofísico	Número de estabelecimentos que comercializam bebidas alcóolicas no entorno por quilômetro de ciclofaixa	Formulário de campo	7,01

O tutorial é composto por uma série de recomendações e parâmetros acerca do modo como a avaliação das ciclofaixas deve ser realizada. Como exemplo, a Figura 3 ilustra situações que

servem de parâmetro na caracterização do estado de manutenção da ciclofaixa, atributo avaliado pelo subcritério *Estado da Superfície*. Busca-se, através de tal recurso, reduzir a variabilidade interpretativa inerente a critérios com certo grau de subjetividade como este.

CICLOFAIXA	Vasco da Gama	DATA	20/05/2017	TEMPO	Nublado e chuvoso, porém com sol aparecendo ao longo da avaliação
AVALIADOR	André e Daniela	INÍCIO/FIM	13:17:00 até as 15:25	BI OU UNIDIRECIONAL	Bidirecional

CROQUI



DICAS IMPORTANTES

1) Não hesite em anotar (no espaço reservado **no fim da página**) qualquer observação fora do comum ou imprevista no formulário.

2) Para os itens que requerem **contagem**, utilizar marcação do tipo quadrado cortado (exemplo ao lado), onde **cada traço corresponde a uma observação.** ☒

3) Nos casos em que o atributo não se aplicar ao trecho percorrido, marcar "N.A.".

4) Contar cada ciclista transitando no trecho, discriminando aqueles com e sem capacete no espaço abaixo:

com capacete:	sem capacete:
1	15

LEGENDAS	
Estado da superfície	Marcar com um valor de 1 a 5 (1 mais Íntegro e 5 mais falho), considerando presença de areia e grama
Pavimento	1 - Asfalto/concreto 2 - Intertravado/ paralelepípedo/ pedra portuguesa
Sinalização	Para cada quadra, verificar todos os atributos, um a um, marcando com "ok" em caso de situação satisfatória ou um "X" caso falha ou inexistente.
Velocidade	Anotar a velocidade indicada nas placas da quadra. Marcar "N.A." caso não exista no trecho.
Obstáculos	Contar nº de obstruções **permanentes** e de obstruções de **temporárias**. *Ex.: árvores, placas, contêiners (permanentes), carros estacionados na ciclofaixa, galhos (temporário), etc.*
Drenagem	Contar número de poças no trecho da ciclofaixa.
Pontos de conflito	Contar pontos de conflito com outros usuários na ciclofaixa ao longo de cada quadra, **desconsiderando** início e fim das quadras ou conflitos com semafóro específico. *Ex.: saídas de garagem, movimento permitido de veículos, faixas de pedestres, paradas de ônibus, interseção com outras ciclofaixas, acesso a posto de gasolina, etc.*
Estado psicofísico	Contar nº de estabelecimentos onde existe **consumo** de bebidas alcóolicas na quadra (com fachada **de frente** para ciclofaixa).

QUADRA	Inicio / Fim / Letras	ESTADO DA SUPERFÍCIE Indicar legenda (1/2/3/4/5)	PAVIMENTO Indicar legenda (1/2)	SINALIZAÇÃO Pintura	Tachão	Sinalização horizontal na interseção	Sinalização vertical na interseção	Sinalização de parada de ônibus	VELOCIDADE NA VIA (km/h nas placas)	OBSTACULOS PERMANENTES	TEMPORÁRIOS	DRENAGEM (nº de poças) *(poças no meio da ciclofaixa, poças significativas rentes ao meio-fio)*	CONFLITO	ESTADO PSICOFÍSICO
1	a-b	3	1	OK	OK	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	1	0	1	5	0
2	b-c	3	1	OK	OK	OK	OK	N.A.	N.A.	2	0	2	1	0
3	c-d	3	1	OK	OK	OK	OK	N.A.	N.A.	3	2	0	6	0
4	d-e	3	1	OK	OK	OK	OK	N.A.	N.A.	1	1	1	12	0
5	e-f	2	1	OK	OK	OK	OK	N.A.	N.A.	1	1	4	11	3
6	f-g	2	1	OK	OK	OK	OK	N.A.	N.A.	3	0	4	4	0

Figura 2: Recorte da planilha de avaliação.



Figura 3: Exemplo de instrução do tutorial, que exemplifica os parâmetros de avaliação.

Outro mecanismo utilizado para aquisição dos dados primários para ferramenta de inspeção é o questionário *online*. No questionário, os respondentes são confrontados com perguntas sobre experiência e hábitos no tráfego cicloviário, como uso de dispositivos auxiliares, realização de manutenção periódica, afinidade com equipamentos de proteção individual e frequência de uso das ciclofaixas a serem avaliadas.

Após a coleta de todos os dados necessários, é possível avaliaras ciclofaixas, bastando inseri-los na planilha de cálculo que irá normalizar, ponderar e agregar os indicadores mediante o método da soma ponderada, produzindo os índices de segurança comparativos entre as ciclofaixas avaliadas. O resultado final da avaliação é uma pontuação, para cada ciclofaixa, que reflete o seu grau de segurança relativo às outras ciclofaixas avaliadas, dentro de uma escala que varia de 0 a 100. Essa pontuação traduz a adequação geral da respectiva ciclofaixa às melhores condições de segurança identificadas em cada indicador dentre todas as ciclofaixas inspecionadas.

Assim, a ferramenta agrega todos os componentes do sistema de trânsito (usuário, via e

veículo) e abrange diversas fontes de dados, sem comprometer a obtenção e confiabilidade dos resultados. A percepção de segurança dos ciclistas é considerada de maneira indireta, visto que a ponderação de cada atributo –feita no estudo prévio– levou em conta a percepção do painel de especialistas, enquanto os dados sobre os hábitos dos usuários que utilizam as ciclofaixas avaliadas são coletados em questionário *online*. Excepcionalmente, optou-se por não incluir registros históricos nas análises, visto que, no contexto cicloviário, ocorre em grande grau o subregistro de acidentes ou infrações (AUSTROADS**,** 2009), o que poderia criar distorções nos resultados.

5. RESULTADOS DA APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO PROPOSTA AO CASO DE ESTUDO EM PORTO ALEGRE

Com o objetivo de verificar a aplicabilidade da ferramenta proposta, foram escolhidas três ciclofaixas de características diferentes na cidade de Porto Alegre - RS, para as quais, sem uma análise profunda e objetiva, seria difícil estabelecer uma ordenação segundo sua segurança. A Tabela 2 e a Figura 4 apresentam a as três infraestruturas analisadas.

Tabela 2: Ciclofaixas selecionadas para o estudo de caso de teste da ferramenta

Ciclofaixa	Extensão	Características locais	Características da ciclofaixa
José do Patrocínio	0,90km	Bairro boêmio próximo ao centro, com grande quantidade de bares e serviços e condições médias de fluxo de tráfego. Rua de sentido único.	Localizada entre calçada esquerda e faixa de estacionamento paralelo, que cria barreira entre ciclistas e automóveis em circulação.
Vasco da Gama	1,27 km	Bairro residencial próximo ao centro com comércios diversificados e volume de tráfego elevado. A rua tem trechos de duas ou três faixas de tráfego em um único sentido.	Localização alterna entre lado esquerdo e direito, com alguns trechos de estacionamento paralelo junto à calçada direita.
Adda Mascarenhas de Moraes	1,25 km	Região de tráfego relativamente tranquilo, mas próxima a avenidas de grande movimentação. Rua com duas faixas por sentido separadas por canteiro central.	Localizada em canteiro central com sentidos separados.

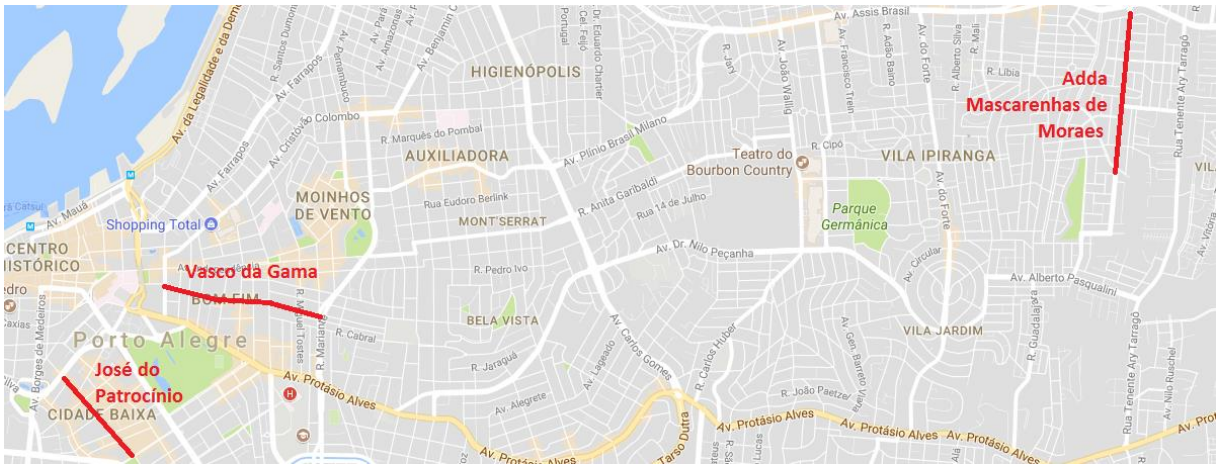


Figura 4: Localização das três ciclofaixas analisadas no estudo em Porto Alegre

A aplicação da ferramenta de inspeção proposta foi realizada nas três ciclofaixas no mês de maio de 2017 com um tempo máximo de preenchimento da planilha de inspeção de campo de duas horas, embora tenha sido necessária mais de uma visita a campo em diferentes situações (de dia, à noite e após período de chuva). Com relação ao questionário *online*, foram

totalizadas 201 respostas válidas ao longo de duas semanas do mês de junho de 2017. Dos respondentes, 32 utilizam a ciclofaixa da Adda Mascarenhas de Moraes, 155 utilizam a ciclofaixa da Vasco da Gama e 176 utilizam a ciclofaixa da José do Patrocínio.

A Tabela 3 contém os dados coletados necessários para a avaliação da ciclofaixas e os valores já normalizados e ponderados de acordo com a metodologia apresentada. Assim, ela permite a comparação das três infraestruturas analisadas desde o ponto de vista da segurança dos ciclistas, para cada subcritério, de cada critério e em geral (através da soma ponderada).

Tabela 3: Dados coletados e normalizados e ponderados dos indicadores no caso de estudo

Aspecto	Critério	Subcritério	Valores coletados			Valores normalizados e ponderados (Eq. 2) (%)								
			José do Patr.	Vasco da Gama	Adda Masc.	José do Patrocínio			Vasco da Gama			Adda Masc.		
Viário-ambientais	Projeto da ciclofaixa	Geometria	0,00471	0,01785	0,02018	11,05	25,49	52,47	2,92	15,19	35,26	2,58	14,93	51,82
		Pavimentação	Asfalto	Asfalto	Asfalto	7,26			7,26			7,26		
		Sinalização	100,00%	100,00%	90,14%	4,34			4,34			3,91		
		Entorno	3,333	14,173	8,000	2,84			0,67			1,18		
	Manutenção da via	Estado da superfície	2,056	2,343	2,396	6,53	14,82		7,44	9,81		7,61	20,09	
		Obstáculos	1,111	4,724	0,000	6,61			1,55			7,34		
		Iluminação	4,444	3,937	0,000	0,62			0,71			2,78		
		Drenagem	2,222	22,047	0,000	1,06			0,11			2,36		
	Operação da via	Tráfego de motorizados	277	422	256	2,40	12,16		1,57	10,26		2,59	16,80	
		Velocidades relativas	25	25	21,88	7,31			7,31			8,35		
		Veículos pesados	11	19	23	2,27			1,31			1,09		
		Risco de conflitos	26,667	72,000	0,000	0,18			0,07			4,77		
Veículo	Características da bicicleta	Manutenção da bicicleta	81,25%	84,52%	96,88%	2,60	5,11		2,71	5,29		3,10	5,91	
		Elementos de percepção	43,75%	45,16%	40,63%	2,03			2,10			1,89		
		Acessórios de auxílio	22,73%	22,58%	43,75%	0,48			0,48			0,92		
Usuários	Comportamento dos usuários	Comunicação entre usuários	65,34%	64,52%	71,88%	4,94	11,67		4,87	14,92		5,43	29,07	
		EPIs do ciclista	59,09%	60,65%	75,00%	2,30			2,36			2,92		
		Experiência do ciclista	59,66%	47,10%	25,00%	3,96			3,13			1,66		
		Atitudes dos usuários	875,556	71,654	22,400	0,31			3,77			12,05		
		Estado psicofísico	35,556	7,087	0,800	0,16			0,79			7,01		
SOMA PONDERADA			-	-	-	69,25			53,76			84,81		

É possível observar que a ciclofaixa mais segura, com uma pontuação total de 84,81 de acordo com a ferramenta proposta, é a da rua Adda Mascarenhas. Seu melhor desempenho deu-se especialmente no critério *Comportamento dos usuários*, que acumula boa parte do peso total. Destaca-se, dentro deste critério, a pontuação obtida para o subcritério *Estado Psicofísico* (7,01) em comparação às pontuações da José do Patrocínio e Vasco da Gama (0,16 e 0,79, respectivamente), estas últimas ciclofaixas situadas em bairros mais boêmios da cidade. Esta ciclofaixa resultou também com melhor avaliação de segurança relacionada às

características das bicicletas dos ciclistas que transitam por ela. Finalmente, com relação ao aspecto viário-ambiental, resultou como melhor avaliada a ciclofaixa da rua José do Patrocínio, embora a ciclofaixa da Adda Mascarenhas tenha ficado em segunda posição, pois, ao nível de critérios, foi melhor avaliada nos atributos de *Manutenção da via* e *Operação da via*, enquanto a José do Patrocínio foi melhor no *Projeto da ciclofaixa*.

Dos 20 subcritérios avaliados, a ciclofaixa da Adda Mascarenhas só não foi a melhor avaliada em apenas 6 deles, dos quais 3 (*Geometria*, *Sinalização* e *Entorno*) estão relacionados ao critério de *Projeto da Ciclofaixa*, evidenciando a necessidade de conferir atenção especial a este item nos casos de ciclofaixas próximas ao canteiro central. Outro indicador mal avaliado nesta ciclofaixa foi o de *Veículos pesados*, devido a esta ser, dentre as três ciclofaixas avaliadas, a única que apresenta volume de tráfego significativo deste tipo de veículo. Já a condição de tráfego mais fluido para ciclistas próximos ao canteiro central é evidenciada pela maior pontuação obtida por esta ciclofaixa no indicador de *Risco de conflitos*.

A ciclofaixa considerada menos segura, com uma pontuação geral de 53,76 foi a situada na rua Vasco da Gama, sobretudo devido às suas piores condições de manutenção e de operação da infraestrutura, mas também porque apenas obteve a melhor avaliação em relação às outras duas ciclofaixas nos subcritérios de *Elementos de percepção da bicicleta*, *Pavimentação e Sinalização*. A terceira ciclofaixa avaliada, da rua José de Patrocínio, ficou situada em posição intermédia (pontuação total de 69,25) e contou com a melhor avaliação nos subcritérios de *Projeto da ciclofaixa*, bem como nos relativos aos subcritérios de *Veículos pesados* e *Experiência dos ciclistas*.

Desta forma, mediante a aplicação da ferramenta proposta, constata-se que foi possível fazer uma avaliação ampla e objetiva das condições de segurança viária de ciclofaixas bastante diferentes quanto a sua localização e características físicas e operacionais dentro da cidade de Porto Alegre. Sem tal ferramenta torna-se difícil estabelecer, *a priori*, uma ordenação das mesmas segundo o nível de segurança percebido.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Frente ao desafio de incentivar o uso da bicicleta, e reconhecendo a falta de segurança viária como uma das principais barreiras para a adoção desse modo de transporte, este artigo teve por objetivo a proposição de uma ferramenta de inspeção do nível de segurança de ciclofaixas. Acredita-se que, ao fomentar a provisão de ciclofaixas com elevado nível de segurança é possível atrair mais usuários para o modo cicloviário. Assim pode-se estimular um ciclo virtuoso onde o aumento da segurança das ciclofaixas conduza ao aumento da representatividade do modo cicloviário no sistema de transportes o que poderá acelerar a promoção de mais infraestrutura segura para ciclistas.

Além disso, ao proporcionar maior entendimento sobre o peso dos fatores que influenciam na segurança cicloviária através de índices que consideraram a opinião de ciclistas, gestores e especialistas da área, a ferramenta de inspeção contribui para a redução da disparidade na percepção de segurança entre gestores e usuários e facilita o desenvolvimento e gerenciamento de projetos de infraestrutura destinada à circulação de bicicletas.

A ferramenta proposta foi desenvolvida a partir da seleção de atributos importantes à segurança e de análises multivariadas para priorização dos mesmos. Após identificar

indicadores, suas unidades de medida e as fontes de dados para cada atributo estudado foram definidas as formas de coleta: (i) dados secundários obtidos em mapas e junto ao órgão gestor; (ii) inspeção de campo e (iii) pesquisa com ciclistas através de questionários *online*. As últimas etapas envolveram a definição dos métodos de normalização, ponderação e agregação dos dados e testes da ferramenta.

Os resultados da aplicação da ferramenta proposta a um caso de estudo em Porto Alegre permitiram a avaliação comparativa de três ciclofaixas selecionadas. Foi possível ranquear as ciclofaixas quanto ao nível de segurança ofertado e identificar, para cada ciclofaixa, quais as principais deficiências quanto à segurança. Esta análise ajuda na orientação dos esforços para a melhoria das ciclofaixas estudadas. Considerando que o registro de acidentes cicloviários é limitado, a ferramenta tem como vantagem não depender desses registros para a identificação das deficiências e priorização das intervenções nas ciclofaixas.

Entre os principais resultados, destaca-se o papel determinante dos atributos relativos à atitude e estado psicofísico dos usuários na priorização da ciclofaixa da rua Adda Mascarenhas como a mais segura entre as avaliadas nesse estudo, assim como suas melhores condições de manutenção da infraestrutura e em relação a risco de conflitos entre usuários. As ciclofaixas da rua José do Patrocínio e Vasco da Gama, com estrutura bidirecional, foram pior avaliadas em relação à segurança.

A ferramenta de inspeção proposta mostrou-se viável de ser usada. De modo geral, os dados a serem coletados referentes aos 20 indicadores são de fácil obtenção, embora exijam esforços de coleta que incluem inspeção durante o período com luz do dia, à noite e também após um período de chuvas. Finalmente, as notas parciais por conjunto de atributos mostrou bom potencial para priorização de intervenções de melhoria, na medida em que as avaliações resultantes de alguns conjuntos de atributos, chamados de critérios, se destacaram nas avaliações. Assim torna-se possível perceber em que critérios concentram-se as deficiências. Futuros trabalhos de inclusão de novos fatores nos indicadores propostos, análise das ciclofaixas por trechos, assim como maiores testes da sua aplicação em casos reais e análise dos resultados com ajuda de outras técnicas permitirão o aperfeiçoamento da ferramenta como instrumento de proposta de intervenções e implantação de infraestruturas cicloviárias seguras.

Agradecimentos
Os autores agradecem à EPTC pela atenção dada a pesquisa e pelos dados fornecidos; ao grupo de especialistas que participaram desse estudo e ao CNPq pelo apoio financeiro.

BIBLIOGRAFIA

AUSTROADS (2009). *Guide to road safety. Part 6: Road Safety Audit*. Austroads National Office, Australia.

Bacchieri, G. (2004) *Determinantes e padrões de utilização da bicicleta e acidentes de trânsito sofridos por ciclistas trabalhadores da cidade de Pelotas*. Tese de doutorado, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Barba-Romero, S. e J. C. Pomerol (2000) *Multicriterion Decision in Management: principles and practice*. Kluwer Academic Publishers, Boston.

Botma, H. (1995). Method to Determine Level of Service for Bicycle Paths and Pedestrian-Bicycle Paths. *Transportation Research Record*, No. 1502, Transportation Research Board, Washington, DC, United States.

Cândido, C. J. F. (2005) Service quality strategy implementation: A model and the case of the Algarve hotel industry. *Total Quality Management & Business Excellence*, v. 16, n. 1, p. 3-14.

Castrillón, A. D. e J. S. Candia (2003) *Guía para realizar una auditoria de seguridadvial*. Comisión Nacional de Seguridad de Transito, Santiago, Chile.

Chagas, D. M.; C. T.Nodarie L. A. Lindau (2012) Lista de fatores contribuintes de acidentes de trânsito para pesquisa no Brasil. *XXVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Joinville.

Córdova Junior, R. S. e C. T. Nodari (2015). Avaliação do desempenho de ciclofaixas em relação a segurança. *XXIX Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes*, ANPET, Ouro Preto.

Davis, S.; D. Robertson; E. King; R. Mingo e J. Washington (1987) *Measuring Pedestrian Volumes and Conflicts, Volume II: Accident Prediction Model*. Relatório n. FHWA-RD-88-307, Federal Highway Administration, Washington, DC, EstadosUnidos.

Epperson, B. (1994). *Evaluating suitability of roadways for bicycle use: Toward a cycling level-of-service standard* (No. HS-042 007).

Götschi, T.; J. Garrard e B. Giles-Corti (2016) Cycling as a part of daily life: A review of health perspectives. *Transport Reviews*, v. 36, n. 1, p. 45-71.

Harkey, D. L.; D. W. Reinfurt; M. Knuiman; J. R. Stewart e A.Sorton(1998) *Development of the Bicycle Compability Index: A Level of Service Concept*. Relatório n. FHWA-RD-98-072, Federal Highway Administration, Washington, DC, EstadosUnidos.

Holm, A. L.; C. Glümer e F. Diderichsen (2012) Health Impact Assessment of increased cycling to place of work or education in Copenhagen. *BMJ Open*, v. 2, n. 4, e001135.

Hunter, W. W.; J. R. Stewarte J. C. Stutts (1999) Study of Bicycle Lanes Versus Wide Curb Lanes. Transportation Research Record 1674. Transportation Research Board, Washington, DC, EstadosUnidos.

Landis, B. W. (1994). Bicycle interaction hazard score: a theoretical model (No. HS-042 006).

Landis, B. W.;V. R.Vattikuti,;R. M.Ottenberg,;T. A.Petritsch; M.GuttenplaneL. B. Crider (2003) *Safety and human performance*. Transportation Research Board Natl Research Council, Washington.

Landis, B.;V. VattikutieM. Brannick (1997) Real-time human perceptions: toward a bicycle level of service. Transportation Research Record: *Journal of the Transportation Research Board*, (1578), 119-126.

Lawson, A. R.; V. Pakrashi; B. Ghosh eW. Y. Szeto (2013) *Perceptions of safety of cyclists in Dublin city*. Accident Analysis and Prevention, n. 50, p. 499-511.

Madsen, T. K. O. e H. Lahrmann (2017)Comparison of five bicycle facility designs in signalized intersections using traffic conflict studies. *TransportationResearchPart F* 46 (2017): 438-450.

Miranda, A. C.; L. L. B. Citadin e E. V. Alves (2009) A importância das ciclofaixas na reinserção da bicicleta no trânsito urbano das grandes cidades. *In 17º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito*. Associação Nacional de Transportes Públicos – ANTP, Curitiba.

Monteiro, F. B. e V B. G. Campos, (2011). Métodos de avaliação da qualidade dos espaços para cilistas. *XXV Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes*, ANPET, Belo Horizonte.

Nabors, D.; E. Goughnor; L. Thomas; W. DeSantis e M. Sawyer (2012) *Bicycle road safety audit guidelines and prompt lists*. FHWA-SA-12-018, Washington, DC. United States.

NACTO (2014) *Urban Bikeway Design Guide*. 2nd edition. National Association of City Transportation Officials, Washington, DC, EstadosUnidos.

Naing, C.; S. Bayer; P. Van Elslande e K. Fouquet (2007) *Which Factors and Situations for Human Functional Failures? Developing Grids for Accident Causation Analysis*. Traffic Accident Causation in Europe Project.

Nöel; Nathalie; C. Leclerc e M. Lee-Gosselin (2003) *CRC Index: Compability of Roads for Cyclists in Rural and Urban Fringe Areas*. 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC, EstadosUnidos.

Norwegian Public Roads Administration (2004) Cycle path inspections: road safety, accessibility and experience of travel. Norway.

OECD (2013) *Cycling, Health and Safety*. Organization for Economic Co-operation and Development, Paris.

Pulugurta, S. S. e V. Thakur (2015). Evaluating the effectiveness of on-street bicycle lane and assessing risk to bicyclists in Charlotte, North Carolina. *AccidentAnalysis&Prevention* 76 (2015): 34-41.

Ruiz-Padillo, A.; A. L. D. N.Da Silva; D. LCassel;C. T. Nodari (2016) Análise da segurança em ciclofaixas com base na técnica AHP. *XXX Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes*, ANPET, Rio de Janeiro.

Segadilha, A. B. P. e S. P. Sanches (2014) Fatores que influenciam na escolha das rotas pelos ciclistas. *Revista dos TransportesPúblicos*, v. 36, p. 43-36, 2014.

Shackel, S. C. e J. Parkin (2014), Influence of road markings, lane widths and driver behaviour on proximity and speed of vehicles overtakingaccident cyclists. *Accident Analysis & Prevention* 73 (2014): 100-108.

Teschke, K.; M. A. Harris;C. C. O. Reynolds; M. Winters; S. Babul; M. Chipman; Cusimano; J. R.Brubacher; G. Hunte; S. M. Friedman; M. Monro; H. Shen; L. Vernich e P. A.Cripton (2012) Route infrastructure and the risk of injuries to bicyclists: A case-crossover study. *American Journal of Public Health*, v. 102, n.12, p. 2336–2343.

University of California (2014) *A technical guide for conducting bicycle safety assessments for California communities*. University of California, Institute of Transportation Studies, Technology Transfer Program. Berkeley

Vicroads (2012) *Shared path audit guidelines*. Road Corporation, Australia.

Xu, C.; Yang, Y.; Jin, S.; Qu, Z.; e Hou, L. (2016). Potential risk and its influencing factors for separated bicycle paths. *Accident Analysis & Prevention* 87 (2016): 59-67.

Alejandro Ruiz-Padillo (alejandro.ruiz-padillo@ufsm.br)
André Luiz Dultra Nascimento da Silva (andre.dultra@ufrgs.com)
Daniela Lichtler Cassel (daniela.cassel@gmail.com)
Richard Ortiz Menna (richardomenna@gmail.com)
Christine Tessele Nodari (piti@producao.ufrgs.br)
Laboratório de Sistemas de Transportes, Departamento de Engenharia de Produçao e Transportes, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Av. Osvaldo Aranha, 99 – Porto Alegre, RS, Brasil

FATORES QUE INFLUENCIAM A SEGURANÇA CICLOVIÁRIA EM VIAS COMPARTILHADAS: UMA ABORDAGEM QUALITATIVA

Ramiro Sebastião Córdova Junior
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia de Produção e Transportes - DEPROT
Laboratório de Sistemas de Transportes - LASTRAN

RESUMO
Este artigo apresenta uma pesquisa qualitativa com o objetivo de identificar fatores que influenciam na segurança cicloviária no ponto de vista de ciclistas e motoristas. Para realização desta pesquisa foram realizadas entrevistas semiestruturadas que permitiram coletar opiniões e percepções de diferentes perfis de entrevistados que foram selecionados por 3 variáveis de estratificação: tipo de condutor, sexo e faixa etária. Foram identificados nas entrevistas 18 fatores que influenciam na segurança cicloviária em vias compartilhadas, esses fatores foram agrupados em 3 dimensões: infraestrutura, comportamento e bicicleta + EPIs. Os resultados da pesquisa sugerem que os aspectos comportamentais merecem maior atenção nos estudos de segurança cicloviária.

ABSTRACT
This paper presents a qualitative research with the objective of identifying factors that influence cycling safety from the point of view of cyclists and drivers. To carry out this research were conducted semi-structured interviews that allowed to collect opinions and perceptions of different profiles of respondents who were selected by 3 stratification variables: type of driver, gender and age group. In the interviews were identified 18 factors that influence cycling safety in shared roads, these factors were grouped in 3 dimensions: infrastructure, behavior and bicycle + IPEs. The results of the research suggest that behavioral aspects deserve greater attention in cycling safety studies.

1. INTRODUÇÃO

Na última década, muitos países têm intensificado suas políticas de encorajamento do transporte ativo nas cidades, com o objetivo de reduzir a utilização de modos de transporte não sustentáveis, promovendo assim a eficiência da mobilidade urbana, a saúde pública e o bem estar da população (OECD/INTERNATIONAL TRANSPORT FORUM, 2013). No Brasil, a bicicleta assume um papel importante como modo de transporte ativo e sustentável em áreas urbanas. Porém, a segurança cicloviária se apresenta como uma das barreiras a ser transpostas no que tange a promoção da bicicleta como modo de transporte (CHAPADEIRO; ANTUNES, 2012; TRANSPORTE ATIVO, 2015).

Devido ao fato do desenho urbano em grandes cidades brasileiras já estar consolidado com foco na provisão de espaço viário para automóveis, a concepção dos projetos de mobilidade por bicicleta se torna um desafio para os órgãos gestores de mobilidade (CÓRDOVA JUNIOR, 2016). As restrições orçamentárias, a experiência técnica dos órgãos gestores ainda incipiente frente a nova realidade da inserção de modos não motorizados e as pequenas malhas cicloviárias das grandes cidades fazem com que os deslocamentos por bicicleta muitas vezes sejam realizados em vias onde o espaço é compartilhado com veículos motorizados e pedestres. A relação entre motoristas e ciclistas em vias compartilhadas é um desafio do ponto de vista de segurança viária e tem reflexo direto na diferença entre os índice de mobilidade sustentável dos países desenvolvidos em relação ao Brasil (MOTTA *et al.*, 2012).

Uma pesquisa realizada na Austrália com 1000 adultos descobriu que as condições de tráfego rodoviário e as questões de segurança eram os principais impedimentos para utilização da

bicicleta em vias compartilhadas com motorizados (CYCLING PROMOTION FUND, 2011). Segundo (WINTERS et al., 2011), o risco percebido no tráfego de ciclistas em vias compartilhadas com motorizados provoca uma relutância na utilização da bicicleta para deslocamentos. Foi observado nessa pesquisa que as preocupações com a segurança nas interações entre ciclistas e motoristas era um dos principais fatores apontados para não utilização da bicicleta. Na região metropolitana de Portland os ciclistas apontaram que o fluxo elevado de veículos muito próximos a bicicleta são uma ameaça a segurança dos ciclistas (DILL e VOROS, 2007).

Tendo em vista que o trânsito é um importante indicador de desenvolvimento das cidades, torna-se importante a realização de estudos detalhados sobre os aspectos de segurança cicloviária em vias compartilhadas que influenciam na utilização da bicicleta como meio de transporte. Para tanto, é necessário realizar um levantamento focado na realidade brasileira sobre os fatores a serem estudados.

Diante deste contexto, o objetivo deste artigo é realizar uma investigação sobre os fatores que influenciam na segurança cicloviária em vias compartilhadas, e que merecem ser aprofundados em pesquisas com o objetivo de promover a mobilidade urbana por bicicleta. O artigo está estruturado da seguinte forma: após esta introdução, o referencial teórico aborda segurança cicloviária. Na seção 3 é apresentada a metodologia que foi utilizada na pesquisa. Na seção 4 é detalhada a etapa de descrição das entrevistas, seguida da seção 5 que apresenta as análises realizadas na pesquisa. Por fim, na seção 6 são apresentadas as considerações finais em relação à pesquisa realizada.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Para uma boa compreensão da pesquisa aqui realizada é apresentado um referencial teórico que aborda a segurança cicloviária. No referencial teórico apresentado a seguir é possível entender o contexto geral relacionado a segurança cicloviária.

2.1. Segurança Cicloviária

Os acidentes de trânsito podem afetar a economia da sociedade moderna além de representarem um problema social no que diz respeito a saúde pública. Grande parte dos acidentes envolvendo ciclistas e motoristas ou pedestres ocorre por que uma das partes envolvidas no acidente não percebeu a presença da outra, ou interpretou de maneira errada sua próxima manobra (ANDERSEN, 2012).

Atualmente, o conceito de “causa de acidentes” foi substituído pelo de “fatores contribuintes de acidentes”. Seguindo o raciocínio em que os acidentes são resultado de vários fatores encadeados, acredita-se que não é possível detectar causas para sua ocorrência e sim fatores que, juntos contribuem para a ocorrência do acidente. Do ponto de vista da segurança cicloviária, os estudos devem abranger os três componentes do Sistema de Trânsito: a via, o veículo e o homem (CASTRILLÓN E CANDIA, 2003).

A falta de segurança é um problema sério para ciclistas. Segundo Gondim (2010), os acidentes com ciclistas ocorrem tanto nas ciclovias quanto nas vias não segregadas (vias compartilhadas), principalmente nos cruzamentos. Andar junto com veículos que geralmente estão viajando a velocidades substancialmente maiores que a da bicicleta é um problema significativo de segurança cicloviária. A velocidade do tráfego tem uma série de efeitos sobre

a segurança cicloviária, como na probabilidade de fatalidades em acidentes envolvendo automóveis e bicicletas, na relação entre a distância mínima para frenagem segura e na percepção de tamanho da bicicleta. A redução da velocidade no trânsito pode diminuir a gravidade dos acidentes (DEKOSTER; SCHOLLAERT, 1999).

A segurança cicloviária é um dos fatores que pode inviabilizar a escolha da bicicleta como modo de transporte. Infelizmente, usuários de bicicleta sofrem um risco relativamente alto de sofrer algum tipo de acidente, que variam desde lesões mais leves até casos mais graves como danos cerebrais. Os ciclistas podem se envolver em acidentes com veículos motorizados de alta velocidade, assim como perder o controle da bicicleta, sofrer quedas, principalmente se o usuário é inexperiente ou obrigado a vencer obstáculos no seu trajeto (WEGMAN; ZHANG; DIJKSTRA, 2012).

O espaço dedicado ao tráfego dos ciclistas tem relação com a segurança cicloviária. Espaços pequenos tendem a gerar conflitos entre os ciclistas e os veículos motorizados possibilitando que um invada o espaço do outro. Existem cinco medidas que podem elevar a qualidade da infraestrutura para ciclistas promovendo a segurança cicloviária: *(i)* redução do volume de tráfego de automóveis; *(ii)* redução das velocidades de circulação dos veículos motorizados; *(iii)* gestão de tráfego e controle de interseções; *(iv)* redistribuição do espaço da via, inserindo, por exemplo, ciclofaixas; e *(v)* instalação de estruturas cicloviárias segregadas, incluindo ciclovias (TURNER *et al.*, 2009). As vias com tráfego compartilhado entre ciclistas e motorizados devem possuir a largura da faixa suficientemente grande para permitir a ultrapassagem segura na própria faixa, ou seja, evitando conflitos com veículos da faixa ao lado (SHACKEL; PARKIN, 2014).

Os Equipamentos de Proteção Individuais (EPIs) também podem influenciar na segurança cicloviária. No que diz respeito à legislação, é estabelecido que os EPIs para bicicletas cujo tamanho do aro seja vinte ou superior, são (CONTRAN, 1998):

- Espelho retrovisor do lado esquerdo, acoplado ao guidom e sem haste de sustentação;
- Campainha, entendido como tal o dispositivo sonoro mecânico, eletromecânico, elétrico, ou pneumático, capaz de identificar uma bicicleta em movimento;
- Sinalização noturna, composta de retrorefletores, na dianteira da bicicleta (nas cores branca ou amarela), na traseira (cor vermelha), nas laterais e nos pedais (qualquer cor).

Cidades que adotam a bicicleta como modal presente na mobilidade possuem risco muito menor de ocorrência de acidentes fatais ou graves, comparadas a cidades onde a bicicleta não é tão presente. Isto reflete na redução da velocidade dos veículos motorizados e na diminuição da ocorrência de colisões, diminuindo também o número de fatalidades e lesões graves. Grandes áreas de moderação de tráfego reduzem consideravelmente a exposição dos ciclistas à veículos motorizados de alta velocidade. Isso acaba afastando veículos motorizados de locais de alta circulação de ciclistas (MARSHALL; GARRICK, 2011; SCHEPERS *et al.*, 2017).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa foi realizada utilizando métodos qualitativos baseados em entrevistas semiestruturadas, conforme a abordagem de Ribeiro e Milan (2007). Como trata-se de uma pesquisa qualitativa não é necessário reunir um número entrevistados que seja

estatisticamente representativo da população. A seleção dos entrevistados levou em consideração 3 variáveis de estratificação: *(i)* tipo de condutor; *(ii)* sexo; e *(iii)* faixa etária. A seleção dos participantes foi planejada conforme o quadro 1. Em relação a faixa etária, é importante ressaltar que os entrevistados foram selecionados estabelecendo uma lacuna entre as idades para verificar se existem diferenças entre as percepções, e esta lacuna garante duas faixas etárias bem distintas.

Quadro 1: Perfis da amostra

Tipo de condutor	Sexo	Faixa etária	Quantidade
Ciclista	Masculino	> 40 anos	2
		< 30 anos	2
	Feminino	> 40 anos	2
		< 30 anos	2
Motorista	Masculino	> 40 anos	2
		< 30 anos	2
	Feminino	> 40 anos	2
		< 30 anos	2

As entrevistas foram agendadas com os entrevistados via telefone, email ou contato direto com os entrevistados. No total 6 entrevistas foram presenciais e 10 entrevistas foram realizadas via internet através do software *Skype*. Todas as entrevistas tiveram o áudio gravado em formato digital para facilitar a transcrição das falas condizentes com o objetivo desta pesquisa, e facilitar as análises posteriores.

Nesta pesquisa optou-se pela realização de entrevistas semiestruturadas, para garantir que os tópicos de interesse seriam abordados. Porém, mesmo com a existência de um roteiro não foi adotada uma estrutura rígida e o entrevistador procurou complementar sempre que necessário com perguntas motivadas pelas respostas dos entrevistados. O roteiro semiestruturado para guiar as entrevistas foi composto por 6 questões, que são apresentadas no quadro 2 juntamente com o objetivo de cada questão.

Quadro 2: Roteiro semiestruturado

Questão	Objetivo
1- Você acredita que um ciclista que trafega em vias compartilhadas está se colocando em risco? Fale a respeito.	Quebrar o gelo com o entrevistado e introduzir o tema da pesquisa.
2- Como você considera a sua relação com os (ciclistas/motoristas) do ponto de vista de segurança cicloviária?	Verificar, de modo geral, a percepção dos respondentes sobre a relação entre os dois tipos de condutores no trânsito.
3- Quais os problemas de segurança cicloviária que você observa no seu dia a dia como (motorista/ciclista), do ponto de vista de Infraestrutura?	Extrair fatores relacionados a infraestrutura que podem influenciar na segurança cicloviária.
4- Quais os problemas de segurança cicloviária que você observa no seu dia a dia como (motorista/ciclista), relacionado ao comportamento de ciclistas e motoristas?	Extrair fatores relacionados ao comportamento de ciclistas e motoristas que podem influenciar na segurança cicloviária.
5- Quais os problemas de segurança cicloviária que você observa no seu dia a dia como (motorista/ciclista), relacionado com a bicicleta e os EPIs de ciclistas.	Extrair fatores relacionados à bicicleta e EPIs dos ciclistas que podem influenciar na segurança cicloviária.
6- Você consegue destacar algum dos problemas citados nas questões 3, 4 e 5 como sendo o principal	Verificar se na percepção dos condutores existe ponderação em relação aos fatores de segurança

problema de segurança cicloviária, ou mais de um que gostaria de destacar como muito importantes?	cicloviária.

A realização das entrevistas foi antecedida por uma explicação referente ao objetivo da pesquisa e esclarecendo a importância da participação do entrevistado com relatos condizentes com as suas percepções e experiências. . Foi esclarecido aos entrevistados que a entrevista seria gravada para facilitar a transcrição e todos consentiram a gravação. Ao final de cada entrevista foi disponibilizado um espaço para manifestação livre dos entrevistados referente ao tema da pesquisa.

Nesta pesquisa foram realizadas análises de comparação interna. Este tipo de análise permite a comparação dos comentários e percepções entre os perfis selecionados para serem entrevistados (RIBEIRO e MILAN, 2007). As entrevistas foram transcritas e os fatores extraídos das falas dos entrevistados foram lançados em uma planilha. Nesta planilha era realizada uma marcação no perfil de entrevistado que citou o fator e a partir daí, foram realizadas análises de percepção entre os diferentes perfis.

4. DESCRIÇÃO DAS ENTREVISTAS

Os entrevistados se mostraram dispostos a responder as perguntas, e em especial os ciclistas que demonstraram um contentamento com o tema da pesquisa Para as respostas foi utilizada uma linguagem coloquial, sendo que alguns eram mais tímidos e tinham que ser mais instigados a expor o seu ponto de vista e outros eram mais desinibidos e falantes. As perguntas do roteiro serviram de base para condução da entrevista e em alguns casos tiveram que ser adaptadas para permitir o correto entendimento por parte dos entrevistados.

Em resposta à primeira questão do roteiro, quando os entrevistados foram instigados a responder se consideram que os ciclistas se colocam em situação de risco ao trafegar em vias compartilhadas, houve uma divisão bem clara entre os ciclistas e motoristas. Os ciclistas homens com mais de 40 anos consideram que não estão se colocando em risco devido às suas habilidades na condução da bicicleta, que iniciou na infância. Os demais entrevistados (ciclistas e motoristas) consideram que os ciclistas se colocam em risco ao trafegar em vias compartilhadas. Os ciclistas complementaram as respostas da primeira questão com comentários referentes a imprudência de alguns motoristas e ciclistas no trânsito. Alguns ciclistas também comentaram que quando sentem que o risco é elevado optam por trafegar na calçada. Uma motorista mulher disse que nunca cogitou utilizar a bicicleta como meio de transporte por achar muito inseguro para os ciclistas.

Os entrevistados demonstraram ter conhecimento sobre os benefícios da bicicleta para sociedade como um todo. Os motoristas declararam que quando podem andam de bicicleta em parques ou ciclovias, mas tem receio em utilizá-la em deslocamentos onde é necessário utilizar vias compartilhadas. Alguns ciclistas com mais de 40 anos comentaram que a iniciação no ciclismo deve se dar em vias segregadas como ciclovias ou ciclofaixas e aos poucos, conforme a sensação de destreza com a bicicleta vai aumentando eles devem utilizar gradativamente as vias compartilhadas.

O comportamento dos ciclistas foi citado pelos motoristas, que disseram que os ciclistas não sabem respeitar as regras do trânsito e isso os expõe mais ao risco. Um dos motoristas comentou que os ciclistas só definem a bicicleta como um veículo no trânsito quando lhes é

conveniente, e quando podem tiram vantagem da mobilidade proporcionada pela bicicleta. Esse tipo de comportamento não ajuda os ciclistas do ponto de vista de segurança, segundo alguns motoristas.

A segunda pergunta do roteiro tinha como objetivo verificar as percepções referentes a relação entre os ciclistas e motoristas no trânsito. Os ciclistas mais experientes consideram uma relação tranquila na maioria dos casos e com poucas situações de desrespeito ou de alguma manobra maldosa que coloque o ciclista em risco. Os demais ciclistas e motoristas consideram uma relação tensa e nada amistosa. Os motoristas do sexo masculino com mais de 40 anos se sentem incomodados ao dividir as vias com ciclistas e consideram que as bicicletas devem compartilhar o espaço com os pedestres nas calçadas. Já as mulheres entendem que os ciclistas estão ocupando mais espaços nas vias e tentam se adaptar, porém como não possuem experiência como ciclistas sentem dificuldades em saber se estão agindo de maneira adequada na relação com os ciclistas.

Os ciclistas comentam que ao longo dos anos essa relação vem evoluindo e hoje em dia é bem mais amistosa que a uma década atrás, por exemplo, mas também reconhecem que há muito a evoluir. Alguns relataram que estatisticamente parece que não existem muitos problemas, porém basta uma ocorrência de acidente (ou quase acidente) para que essa percepção se modifique. Os motoristas se mostraram incomodados com os ciclistas, principalmente devido a velocidade das bicicletas que são menores que as dos veículos e podem causar um certo atraso para ultrapassagem. Os motoristas com menos de 30 anos já se percebem mais pacientes nessas situações e os motoristas acima de 40 anos do sexo masculino consideram os ciclistas um incômodo para o trânsito.

Alguns entrevistados comentaram que a nossa cultura é muito voltada para o automóvel, e que tem uma geração que herdou essa cultura, mas nas próximas gerações essa relação tende evoluir, pois a bicicleta está se inserindo no contexto de trânsito como uma solução de mobilidade para as cidades. Também houve comentários sobre a relação entre a educação nas escolas desde a primeira infância esclarecendo que a bicicleta é um veículo que pode ser utilizado para deslocamentos cotidianos e não simplesmente para o lazer.Isso é uma medida que pode colaborar com essa mudança cultural nas relações ente ciclistas e motoristas no trânsito.

Na terceira pergunta do roteiro pré-estabelecido, foi solicitado aos entrevistados que elencassem fatores relacionados a infraestrutura viária que podem influenciar na segurança dos cicloviária. De modo geral, os motoristas responderam que notam avanços em infraestrutura apenas nas ciclovias e ciclofaixas. Os fatores citados pelos motoristas e ciclistas foram os seguintes: *(i)* falta de priorização na arrancada dos ciclistas em interseções semaforizadas; *(ii)* vias locais cuja largura não permite a ultrapassagem; *(iii)* baixa qualidade do pavimento; *(iv)* velocidade máxima das vias muito elevada; e *(v)* sinalização (horizontal e vertical) com foco nos motorizados.

A questão 4 refere-se ao fatores relacionados ao comportamento de motoristas e ciclistas que podem afetar a segurança cicloviária. Os entrevistados foram motivados a elencar fatores ou situações onde o comportamento é preponderante para segurança cicloviária. Os fatores elencados foram os seguintes: *(i)* Desrespeito a distância regulamentar de 1,5 metros por parte dos motoristas; *(ii)* velocidade elevada nas ultrapassagens por parte dos motoristas; (iii) falta

de formação dos ciclistas; (iv) falta de sinalização corporal das manobras realizadas pelos ciclistas; *(v)* tráfego na contramão por parte dos ciclistas; *(vi)* falta de paciência dos motoristas quando tem que ficar um tempo atrás dos ciclistas; *(vii)* desrespeito ao sinal vermelho por parte dos ciclistas; *(viii)* utilização do celular por parte dos motoristas; e *(ix)* utilização de fones de ouvido por parte dos ciclistas.

O objetivo da questão 5 do roteiro foi elencar fatores relacionados a segurança cicloviária que estejam relacionados com a bicicleta e os Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), que são de responsabilidade dos ciclistas. Os fatores citados pelos entrevistados foram os seguintes: *(i)* a importância da utilização do capacete pelos ciclistas; *(ii)* a iluminação da bicicleta*; (iii)* manutenção da bicicleta; e *(iv)* utilização de luvas por parte dos ciclistas.

Nessa questão foi possível perceber certo desinteresse dos motoristas em relação aos EPIs dos ciclistas, o que resultou em respostas mais diretas e sem comentários adicionais. Alguns motoristas comentaram que os únicos EPIs de ciclistas que tinham em mente eram o capacete e a iluminação da bicicleta.

A última questão do roteiro tinha como objetivo elencar dentre os fatores citados nas questões anteriores os que são mais importantes para a segurança cicloviária que trafegam em vias compartilhadas. Os ciclistas comentaram que somente com fiscalização será possível o respeito a distância regulamentar de 1,5 metros. Motoristas e ciclistas comentaram que acreditam ser esse o fator de segurança que mais inibe a utilização da bicicleta em vias compartilhadas. A velocidade dos automóveis também é um dos fatores mais importantes na opinião dos ciclistas. Os motoristas comentaram que em algumas situações se deram conta que havia uma bicicleta na via quando estavam bem perto do ciclista e consideraram essa situação perigosa para os ciclistas.

No final da entrevista foi aberto um espaço para os entrevistados realizarem alguma colocação referente ao tema da pesquisa que pudesse não ter sido contemplada nas questões do roteiro. Apenas ciclistas homens utilizaram esse espaço e comentaram que é necessária uma qualificação do corpo técnico da empresa gestora do trânsito de Porto Alegre para implantar melhorias relacionadas a segurança cicloviária. Foi comentada também a importância da infraestrutura dedicada (ciclovias e ciclofaixas) para os ciclistas iniciantes.

5. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

A transcrição das entrevistas permitiu o a elaboração de uma relação contendo 18 fatores que influenciam na segurança dos ciclistas que trafegam em vias compartilhadas. A partir da identificação destes fatores foi possível agrupá-los em 3 dimensões: *(i)* infraestrutura; *(ii)* comportamento; e *(iii)* bicicleta + EPIs. Os fatores relacionados a infraestrutura se referem as características de sinalização vertical, sinalização horizontal, semaforização e pavimento das vias compartilhadas. As características referentes às atitudes de ciclistas e motoristas trafegando em vias compartilhadas foram agrupadas na dimensão comportamento. Os fatores referentes a características da bicicleta e do conjunto de EPIs utilizados por ciclistas foram agrupados na dimensão bicicleta + EPIs. O quadro 3 apresenta os fatores extraídos das entrevistas classificados conforme a 3 dimensões definidas. Estes fatores estão relacionados com o perfil dos entrevistados que os citaram.

Com base nas informações apresentadas no quadro 3, é possível perceber que a dimensão

Comportamento é a que possui mais fatores citados pelos entrevistados. No total foram extraídos das entrevistas 9 fatores relacionados a essa dimensão, o que pode significar que os fatores comportamentais possuem mais variáveis influentes na segurança cicloviária.

Foram analisadas possíveis diferenças entre os entrevistados homens e mulheres, e a única diferença observada é em relação ao fator "iluminação da bicicleta" onde somente as mulheres motoristas não citaram este fator como influente na segurança dos ciclistas. É possível notar em relação as mulheres motoristas, que, no que diz respeito a dimensão *"bicicleta + EPIs"*, foi citado apenas a utilização do capacete como sendo importante para segurança dos ciclistas. Em um segundo momento foram realizadas análises levando em consideração as faixas etárias, e de modo geral não foram encontradas diferenças significativas entre os entrevistados com mais de 40 anos e os entrevistados com menos de 30 anos.

Quadro 3: Lista de fatores agrupados em dimensões

Dimensão	Fator	Ciclistas				Motoristas			
		Homens		Mulheres		Homens		Mulheres	
		>40 anos	<30 anos	>40 anos	<30 anos	>40 anos	<30 anos	>40 anos	<30 anos
Infraestrutura	Priorização no semáforo (bike boxe)	x		x	x				
	Largura adequada das vias	x	x						
	Qualidade do Pavimento	x	x	x	x	x	x	x	x
	Limite de velocidade adequado				x		x		
	Sinalização voltada para ciclistas	x	x	x	x				
Comportamento	Distância regulamentar (1,5 metros)	x	x	x	x				x
	Velocidade adequada nas ultrapassagens	x	x	x	x	x			
	Formação dos ciclistas		x						
	Sinalização corporal dos ciclistas		x	x		x			x
	Paciência dos motoristas com os ciclistas	x			x		x		x
	Respeito ao semáforo por parte dos ciclistas					x	x	x	x
	Tráfego de ciclistas somente no sentido da via			x					
	Não utilização do celular por parte dos motoristas		x						
	Não utilização de fones de ouvido pelos ciclistas					x			
Bicicleta + EPIs	Utilização do capacete	x	x	x	x	x	x	x	x
	Iluminação da bicicleta	x	x	x	x	x	x		
	Manutenção da bicicleta	x	x	x					
	Utilização de luvas	x	x						

Na comparação realizada entre homens ciclistas e motoristas com mais de 40 anos, é possível

notar que, dos fatores citados na dimensão infraestrutura, os motoristas com mais de 40 anos concordam apenas com o fator “qualidade do pavimento”, que foi o único citado por eles. Isto sugere uma dificuldade dos motoristas com mais de 40 em entenderem as necessidades relacionadas a infraestrutura por parte dos ciclistas. Já na comparação entre homens ciclistas e motoristas com menos de 30 anos, é possível perceber dois fatores, que foram citados. Estes fatores são a “Paciência dos motoristas com os ciclistas” e o “Respeito ao semáforo por parte dos ciclistas”. Chama a atenção nessa análise que estes dois fatores não foram considerados importantes pelos ciclistas homens com menos de 30 anos.

Analisando a participação das mulheres motoristas e ciclistas com mais de 40 anos é possível perceber que as mulheres motoristas tiveram mais dificuldades em citar fatores que influenciam na segurança cicloviária em relação às ciclistas com mais de 40 anos. Isto pode ser explicado pelo fato do tema da pesquisa ser mais impactante para os ciclistas do que para os motoristas.

A comparação entre os fatores citados por ciclistas e motoristas, de modo geral, permitem análises mais ricas, pois é possível identificar alguns padrões entre os perfis de entrevistados. Por exemplo, analisando os dados do quadro 3 fácil é possível observar que ciclistas e motoristas consideram os fatores “qualidade do pavimento” e “utilização do capacete” como sendo importantes para segurança cicloviária. Também é possível notar que os motoristas não percebem os fatores “Distância regulamentar” e “Velocidade adequada nas ultrapassagens” como sendo tão importante. Em todos os perfis de ciclistas esses dois fatores foram citados. Isso sugere que os motoristas não percebem que estão colocando os ciclistas em risco quando passam a uma distância menor que 1,5 metros dos ciclistas.

O fator “Iluminação da bicicleta” foi citado por todos os perfis de entrevistados, exceto as motoristas mulheres. Isto reforça o que já foi comentado anteriormente em relação a dificuldade das motoristas mulheres em perceber os EPIs utilizados pelos ciclistas, exceto o capacete. Também em relação aos EPIs, é possível observar que os ciclistas homens consideram importantes todos os 4 fatores da dimensão Bicicleta + EPIs e a diferença mais significativa em relação as mulheres ciclistas e aos motoristas é em relação ao fator “Utilização de Luvas”, que só foi considerado importante pelos ciclistas homens.

Outra discrepância significativa que pode ser notada é em relação ao *fator* “Respeito ao semáforo por parte dos ciclistas”, pois os motoristas consideraram o fator como importante e nenhum ciclista citou o fator durante as entrevistas. Essa diferença pode sugerir que os ciclistas não consideram o desrespeito ao semáforo como sendo um fator que influencia na segurança cicloviária, ou veem o ganho de tempo com essa atitude como sendo um compensador em prol da segurança dos ciclistas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresenta uma pesquisa qualitativa com o objetivo de identificar fatores que influenciam na segurança cicloviária em vias compartilhadas. Os resultados obtidos com as entrevistas realizadas permitiram identificar 18 fatores que influenciam na segurança cicloviária. Esses fatores foram agrupados em três dimensões de acordo com sua natureza: infraestrutura, comportamento e bicicleta + EPIs. Dentre os 18 fatores identificados, dois foram citados por todos perfis de entrevistados: “Qualidade do Pavimento” e “Utilização do capacete”. Além desses, o fator “Iluminação da bicicleta” também merece destaque, pois

apenas as motoristas mulheres acima de 40 anos não citaram esse fator.

Do ponto de vista de infraestrutura viária, foi possível observar que os motoristas de modo geral só conseguem identificar o fator “Qualidade do Pavimento” como sendo importante para segurança cicloviária. Pelo desenrolar das entrevistas ficou evidenciada essa percepção devido ao fato dos motoristas também sofrerem com os problemas relacionados ao pavimento. Os demais fatores identificados na pesquisa relacionados a infraestrutura, foram em sua quase totalidade citados por ciclistas, o que sugere uma certa dificuldade dos motoristas em se colocar no lugar dos ciclistas e, consequentemente entenderem as suas necessidades do ponto de vista de segurança cicloviária.

Quanto aos fatores relacionados a bicicleta e ao conjunto de EPIs utilizados pelos ciclistas, as análises sugerem uma preocupação maior dos entrevistados homens em relação a utilização de EPIs como capacete, bicicleta e luvas. O fator “Utilização do capacete” foi colocado como importante para segurança cicloviária por todos perfis de entrevistados, mas nem todos concordam com a obrigatoriedade de uso. Isto sugere que existe uma percepção por parte de ciclistas e motoristas de que o uso do capacete pode atenuar problemas relacionados a traumas causados em acidentes, assim como nos estudos de Lapparent (2005), Loo e Tsui (2010) e Marshall e Garrick (2011).

A análise dos fatores citados pelos entrevistados, evidenciou que os fatores relacionados ao comportamento dos condutores em vias compartilhadas é o que mais impacta na segurança cicloviária, assim como no estudo de Fishman et al. (2012) realizado na Austrália. No estudo australiano os ciclistas colocam que atitudes comportamentais são a principal barreira para utilização da bicicleta em vias compartilhadas. A quantidade de fatores relacionados a aspectos comportamentais sugerem que essa dimensão merece maior atenção em pesquisas de segurança cicloviária.

Tendo em vista os desafios relacionados a estudos comportamentais referentes a relação entre ciclistas e motoristas em vias compartilhadas, sugere-se que em trabalhos futuros sejam utilizados recursos de simulação de cenários realísticos com o objetivo de comprovar a influência dos fatores identificados neste estudo. Estudos de simulação de cenários também podem contribuir nos testes de possíveis soluções para as dificuldades relacionadas a segurança cicloviária em vias compartilhadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSEN, T. (2012). Collection of cycle concepts 2012. Cycling Embassy of Denmark.

CASTRILLÓN, A. D.; CANDIA, J. S. (2003) Guía para realizar una auditoria de seguridad vial.Chile: Comisión Nacional de Seguridad de Trânsito.

CHAPADEIRO, F. C.; ANTUNES, L. L. (2012). A Inserção Da Bicicleta Como Modo De Transporte Nas Cidades. Revista UFRGS, 2012. n. 12, p. 35–42.

CONTRAN (1998). Conselho Nacional de Transito. Resolução nº 46 de 1998.

CÓRDOVA JUNIOR, R. S.; NODARI, C. T. (2016). Gestão de Atributos de Segurança Cicloviária : Avaliação das Ciclofaixas de Porto Alegre.

CYCLING PROMOTION FUND (2011). Riding a bike for transportation. 2011.

DEKOSTER, J.; SCHOLLAERT, U. (1999) Cycling: the way ahead for towns and cities. European Community, Luxembourg.

DILL, J., & VOROS, K. (2007). Factors affecting bicycling demand: initial survey findings from the Portland,

Oregon, region. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (2031), 9-17.

FISHMAN, E., WASHINGTON, S., & HAWORTH, N. (2012). Barriers and facilitators to public bicycle scheme use: A qualitative approach. Transportation research part F: traffic psychology and behaviour, 15(6), 686-698.

GONDIM, M. F. (2010) Cadernos de Desenho: ciclovias. Rio de Janeiro: Editora da COPPE/UFRJ, 2010.

LAPPARENT, M. (2005). Individual cyclists' probability distributions of severe/fatal crashes in large french urban areas. Accident Analysis & Prevention, 37(6), 1086-1092.

LOO, B. P., TSUI, K. L. (2010). Bicycle crash casualties in a highly motorized city. Accident Analysis & Prevention, 42(6), 1902-1907.

MARSHALL, W. E., & GARRICK, N. W. (2011). Evidence on why bike-friendly cities are safer for all road users. Environmental Practice, 13(1), 16-27.

MOTTA, R. A., & DA SILVA, P. C. M. (2012). Desafios da mobilidade sustentável no Brasil. Revista dos Transportes Públicos-ANTP-Ano, 34, 2º.

OECD/INTERNATIONAL TRANSPORT FORUM (2013), Cycling, Health and Safety, OECD Publishing/ITF.

RIBEIRO, J. L. D., & MILAN, G. S. (2004). Planejando e conduzindo entrevistas individuais. Entrevistas individuais: teoria e aplicações. Porto Alegre: FEEng/UFRGS, 9-22.

SCHEPERS, P., TWISK, D., FISHMAN, E., FYHRI, A., & JENSEN, A. (2017). The Dutch road to a high level of cycling safety. Safety science, 92, 264-273.

SHACKEL, S. C., & PARKIN, J. (2014). Influence of road markings, lane widths and driver behaviour on proximity and speed of vehicles overtaking cyclists. Accident Analysis & Prevention, 73, 100-108.

TRANSPORTE ATIVO (2005). Pesquisa Nacional pela Mobilidade por Bicicleta: Pesquisa Perfil do Ciclista. 2015. p. 100.

TURNER, S., BINDER, S., & ROOZENBURG, A. (2009). Cycle Safety: Reducing the Crash Risk October 2009. New Zealand transport agency research report, 389.

WEGMAN, F., ZHANG, F., & DIJKSTRA, A. (2012). How to make more cycling good for road safety?. Accident Analysis & Prevention, 44(1), 19-29.

WINTERS, M., DAVIDSON, G., KAO, D., & TESCHKE, K. (2011). Motivators and deterrents of bicycling: comparing influences on decisions to ride. Transportation, 38(1), 153-168.

SEGURANÇA VIÁRIA E BICICLETAS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Ramiro Sebastião Córdova Junior
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia de Produção e Transportes - DEPROT
Laboratório de Sistemas de Transportes - LASTRAN

RESUMO
Este estudo apresenta o resultado de uma revisão sistemática da literatura que objetivou investigar quais as discussões que relacionam os temas segurança viária e bicicleta como meio de transporte em áreas urbanas que são tratadas nas publicações científicas internacionais, fornecendo assim uma visão mais ampla sobre o tema. A pesquisa foi realizada a partir da seleção de bases de dados de periódicos relevantes e coerentes com o tema deste estudo. As palavras-chave utilizadas para pesquisa foram "bicycle" e "road safety", e a busca inicial resultou em 171 publicações. Após um processo de filtragem das publicações de acordo com o objetivo da pesquisa foram revisadas integralmente 33 publicações. Os resultados desta revisão sistemática estão organizados da seguinte forma: (i) aspectos bibliométricos dos artigos selecionados, e (ii) o conteúdo dos artigos em relação a questão de pesquisa deste estudo.

ABSTRACT
This paper presents the results of a systematic literature review aimed to investigate which discussions relating themes road safety and bicycle as form of transport in urban areas that are addressed in the international scientific publications, thereby providing a wider view on the issue. The survey was conducted from the selection of relevant journal databases and coherent with the theme of this study. The keywords used for research were "bicycle" and "road safety", and the initial search resulted in 171 publications. After a filtering process of the publications accordance with the research objectives were fully 33 reviewed publications. The results of this systematic review are organized as follows: (i) bibliometric aspects of selected papers, and (ii) the content of the papers regarding the research question of this study.

1. INTRODUÇÃO

O uso da bicicleta como meio de transporte em áreas urbanas nas cidades brasileiras tem crescido nos últimos anos. Isso se dá como uma resposta às dificuldades relacionadas a mobilidade urbana. Dessa forma, a bicicleta se apresenta como uma alternativa eficiente para a locomoção, pois o custo é baixo quando comparado aos meios motorizados, e permite que os usuários não fiquem presos nos congestionamentos. Dados divulgados pela ANTP indicam que 4% das viagens realizadas em áreas urbanas são realizadas de bicicleta, e destaca um aumento de 1,4% no número de viagens realizadas por bicicleta entre 2003 e 2013 (ANTP, 2015a, p.7). A utilização da bicicleta como meio de transporte também é considerado ambientalmente sustentável, com benefícios associados a saúde pública (HEINEN et al., 2011 e DE HARTOG et al., 2010).

Entretanto, as questões relacionadas a segurança viária podem representar um importante argumento para a promoção do ciclismo, uma vez que a possibilidade de lesões associadas aos acidentes envolvendo ciclistas é maior, se comparada aos usuários de automóveis (ELVIK, 2009). A pesquisa realizada pela ONG Transporte Ativo em 10 capitais brasileiras aponta que a segurança no trânsito é considerada o principal problema no uso da bicicleta como meio de transporte por 22,7% dos entrevistados. Além disso, 19,9% dos entrevistados relataram algum envolvimento em acidentes de trânsito nos últimos 3 anos (TRANSPORTE ATIVO, 2015).

As questões de segurança viária devem ser incorporadas com destaque nas políticas de transporte urbano segundo Costa (2008). Já para Ewing (1999), o foco principal das iniciativas relacionadas a segurança viária durante o planejamento urbano deve ser o pedestre, para que seja possível a convivência harmônica entre os atores do sistema de trânsito nos

espaços urbanos. O *Working Group on Sustainable Urban Transport* (WGSUT), formado por um grupo de pesquisadores da comunidade europeia que realiza pesquisas sobre transporte urbano sustentável apresenta medidas de segurança viária como *traffic calming*, sinalização adequada em interseções e prevenção de conflitos em espaços compartilhados, como uma das características significativas da mobilidade sustentável e pode ser um dos fatores que limita a realização de viagens a pé ou de bicicleta (WGSUT, 2004).

O objetivo deste estudo é investigar quais as discussões que relacionam os temas segurança viária e bicicleta como meio de transporte em áreas urbanas que são tratadas nas publicações científicas internacionais, fornecendo assim uma visão mais ampla sobre o tema. Este estudo está estruturado em três partes. Inicialmente é apresentada a metodologia de pesquisa, esclarecendo a sistemática adotada para revisão da literatura. No tópico seguinte são apresentados os resultados da revisão, apresentando as discussões relacionadas com Segurança Viária e as bicicletas em áreas urbanas. A última parte do estudo é dedicada às conclusões.

2. METODOLOGIA DE PESQUISA

Neste estudo foi adotada a metodologia de revisão sistemática da literatura, pois permite a revisão da literatura através de um processo estruturado abrangendo a execução e análise das informações pesquisadas (Soni e Kodali, 2011; Santos Júnior et al. 2011). A realização da pesquisa ocorreu no período de agosto a dezembro de 2015. O Quadro 1 apresenta a estrutura das etapas e das fases da realização desta pesquisa.

Quadro 1: Etapas de realização da pesquisa

Etapas	Detalhamento das etapas
1. Planejamento da pesquisa	**Fase 1.1 –** Definição clara e concisa da questão de pesquisa que direciona a revisão da literatura; **Fase 1.2 -** Definição da estratégia de pesquisa, selecionando as bases de dados e os períodos a serem pesquisados; **Fase 1.3 -** Definição dos critérios de busca dos trabalhos a serem analisados, com as palavras-chave adequadas ao propósito desta revisão da literatura;
2. Análise dos trabalhos publicados	**Fase 2.1 -** Seleção preliminar dos trabalhos de acordo com a estratégia de pesquisa definida na fase 1.2 e utilização dos critérios de busca definidos na fase 1.3. **Fase 2.2 -** Análise profunda dos trabalhos selecionados na fase 2.1 a fim de encontrar respostas para a questão definida na fase 1.1;
3. Execução da pesquisa	Demonstrar os resultados finais da análise, apresentando os aspectos bibliométricos e características dos trabalhos que contribuíram para a questão de pesquisa.

Fonte: Adaptado de Silva et al., 2014.

2.1. Etapa de Planejamento

O planejamento desta revisão foi definido a partir de um protocolo de pesquisa que permitisse contemplar o objetivo desta revisão sistemática. Segue o detalhamento das 3 fases que compõem esta etapa de planejamento da revisão sistemática:

- Fase 1.1: A questão de pesquisa que norteia essa revisão é: Na literatura científica internacional, quais as discussões que relacionam Segurança Viária e Bicicleta?
- Fase 1.2: As bases de periódicos de publicações a serem pesquisadas devem congregar periódicos renomados e que sejam referência na área temática do estudo, sendo assim

são variáveis extremamente relevantes para execução da revisão sistemática. Nesta pesquisa foram realizadas buscas na base de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES utilizando a busca avançada por assunto. As 8 bases de periódicos consultadas no portal da CAPES foram: Academic Search Premier - ASP (EBSCO), Directory of Open Access Journals (DOAJ), Emerald Fulltext (Emerald), Journal of Sustainable Development, OneFile (GALE), Oxford Journals (Oxford University Press), Science Direct e SpringerLink.

- Fase 1.3: Foram definidos os seguintes termos como palavras-chave para realização das buscas: "*bicycle*" e "*road safety*". Os termos foram definidos para o idioma inglês, por serem universalmente aceitos para publicação de trabalhos científicos e a busca levou em consideração o título, resumo, palavras chave e o corpo das publicações. Nos campos para delimitação de datas para busca não foram inseridas restrições, pois a intenção foi de realizar uma revisão ampla e sem restrições.

2.2 Etapa de Análise

A etapa de análise consiste em avaliar dentre o conjunto de estudos selecionados quais os que colaboram para responder a questão de pesquisa que norteia essa revisão. Seguem as 2 fases que compõem essa etapa:

- Fase 2.1: Inicialmente foi realizada uma triagem com o intuito avaliar o potencial de contribuição dos trabalhos para esta pesquisa. Foram analisados o título e o resumo dos estudos selecionados para filtrar os trabalhos que contextualizavam características de segurança viária dentro do contexto de transporte por bicicletas em áreas urbanas, independente do tipo de metodologia de pesquisa adotada. Estudos que não apresentavam estas características foram excluídos.
- Fase 2.2: Nesta fase foi realizada uma análise mais profunda dos estudos selecionados. Os resultados observados nas diferentes bases de periódicos foram, em seguida, combinados para eliminar artigos duplicados. Na busca da compreensão do tema investigado foram realizadas leituras dos trabalhos selecionados procurando por considerações que pudessem responder a questão proposta nessa pesquisa.

2.3 Etapa de Execução

Com o objetivo de sistematizar o conteúdo pesquisa, nesta etapa foram extraídas informações dos trabalhos selecionados que pudessem contribuir com as análises que esse estudo se propõe a realizar. Foram tabuladas em uma planilha as seguintes informações referentes aos trabalhos: *(i)* título do estudo; *(ii)* periódico publicado; *(iii)* ano de publicação; *(iv)* país onde o estudo foi realizado; *(v)* foco principal do estudo; e *(vi)* considerações acerca da questão desta pesquisa.

3. RESULTADOS

Após a definição da metodologia que estruturou a execução da pesquisa, foi realizada a etapa 2 definida na seção referente a metodologia da pesquisa. Nesta etapa incialmente foi realizada a busca dos trabalhos e aplicado um filtro, conforme descrito nas fases 2.1 e 2.2 da seção de metodologia desta pesquisa. A figura 1 ilustra os resultados após as aplicações dos filtros.

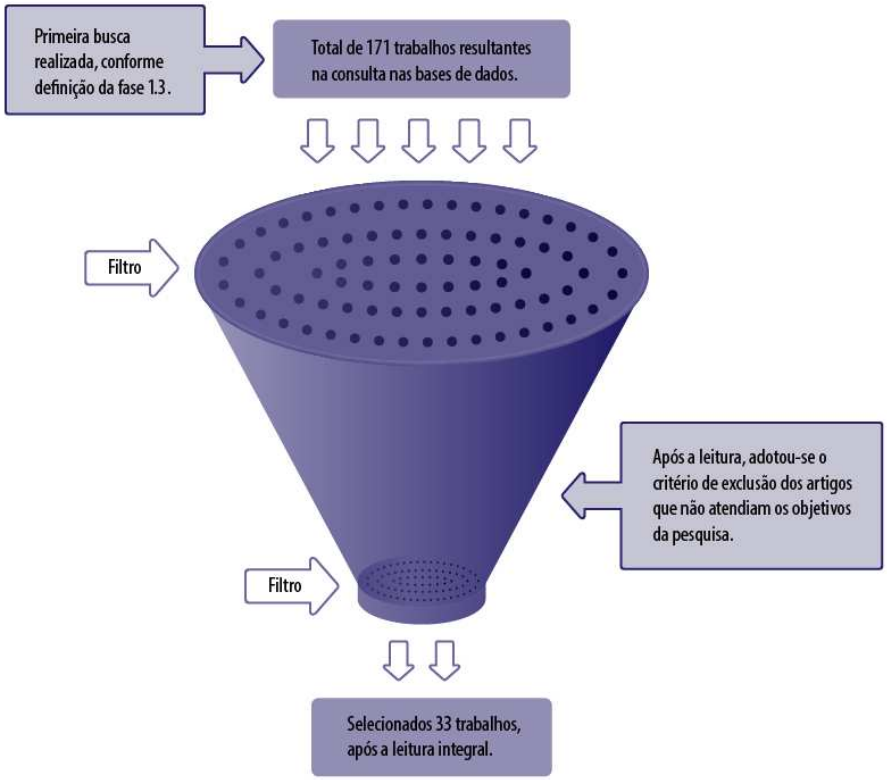


Figura 1: Filtragem das publicações
Fonte: Adaptado de Silva et al., 2014.

3.1 Aspectos Bibliométricos

Em relação aos aspectos bibliométricos, ao analisar as 33 publicações selecionadas, pode ser observado na figura 2 a concentração maior de publicações no ano de 2013 (13 publicações) entre os estudos revisados. Já em relação aos países onde os estudos foram realizados pode-se notar que a Holanda possui uma concentração maior de publicações, conforme é apresentado na tabela 1. Também destacam-se a Austrália e os Estados Unidos (com 6 e 5 publicações respectivamente).

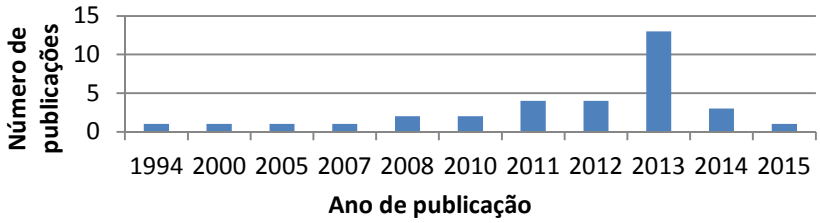


Figura 2: Quantidade de publicações selecionadas por ano

Tabela 1: Distribuição das publicações selecionadas por país

País	Quantidade de Publicações	Publicações
Holanda	8	Wegman et. al (2012); Schepers (2013); Schepers & Heinen (2013); Schepers et al. (2015); Schepers et al.

		(2014); Twisk & Reurings (2013); Schepers et al. (2011); Schepers et al. (2013)
Estados Unidos	6	Dill et al. (2010); Edwards & Mason (2014); Marshall & Garrick (2011); Loskorn, et al. (2013); Stimpson et al. (2013); Pucher & Buehler (2008);
Australia	5	Olivier et al. (2013); Lacherez et al. (2013); Fishman et al. (2012); Robinson (2007); Chataway et al. (2014)
China	3	Du et al. (2013); Bai et al. (2013); Loo & Tsui, (2010)
India	2	Dandona et al. (2011); Kumar (2013)
Belgica	1	Wei & Lovegrove (2011)
Canada	1	de Geus et. al (2012)
Dinamarca	1	Madsen et al.(2013)
Espanha	1	Roldán et al. (2012)
França	1	de Lapparent (2005)
Japão	1	Mori & Mizohata (1994)
Noruega	1	Wanvik (2008)
Nova Zelandia	1	Scuffham et al. (2000)
Reino Unido	1	Sinha & Lander (2013)

Uma perspectiva interessante de análise da quantidade de publicações selecionadas por países também pode ser realizada por continente, conforme apresentado na figura 3. Nota-se que há uma maior concentração de estudos no continente europeu e uma distribuição uniforme entre América do Norte (7 publicações), Ásia e Oceania (6 publicações cada).

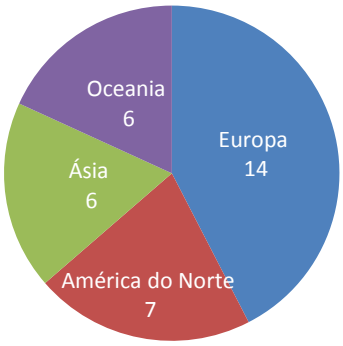


Figura 3: Distribuição das publicações selecionadas por continente

Em relação aos periódicos utilizados para a publicação dos estudos, a tabela 2 apresenta a quantidade de estudos selecionados por periódico. Das 33 publicações selecionadas, 17 foram publicadas no periódico Accident Analysis & Prevention.

Tabela 2: Distribuição das publicações selecionadas por periódico

Periódico	**Quantidade**
Accident Analysis & Prevention	17
Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour	3
Environmental Practice	1
IETE Technical Review	1
Injury	1
Journal of Neurosciences in Rural Practice	1
Journal of transportation engineering	1
Preventive Medicine	1

Public Health Reports	1
Safety and Mobility of Vulnerable Road Usears: Pedestrians, Bicyclists, and Motorcyclists	1
Safety Science	1
Securitas Vialis	1
Surgery (Oxford)	1
Transport Reviews	1
Transportation Research Part D: Transport and Environment	1

A partir da seleção dos 33 artigos, realizou-se uma análise dos dados encontrados com objetivo de identificar as principais discussões que relacionam segurança viária e bicicleta. Este levantamento possibilita identificar quais as diferentes temáticas referentes a questão desta pesquisa que já foram abordadas em outros estudos. A tabela 3 apresenta a quantidade de publicações categorizadas conforme o foco central dos estudos selecionados.

Tabela 3: Distribuição das publicações selecionadas categorizadas pelo foco do estudo

Foco central do estudo	Quantidade de publicações
Mobilidade Urbana	9
Infraestrutura viária	7
Gravidade de acidentes	6
Utilização de EPIs por parte dos ciclistas	5
Segurança de ciclistas crianças ou idosos	3
Segurança de e-bikers	3

3.2 Discussões acerca do tema desta pesquisa

No que diz respeito às discussões referentes a questão de pesquisa que norteia essa revisão sistemática da literatura, as mesmas foram categorizadas a partir do foco central dos estudos selecionados conforme a tabela 3 e são apresentados a seguir.

3.2.1 Mobilidade Urbana

Países como Holanda, Dinamarca e Alemanha adotam políticas com o intuito de tornar caro a utilização de veículos motorizados, essa é uma maneira de incentivar o transporte ativo. Cidades centrais desses países cobram impostos elevados e impõem restrições sobre a propriedade de automóveis (PUCHER & BUEHLER, 2008). Fatores de segurança viária são considerados pré requisitos para escolha da bicicleta como meio de transporte, influenciando diretamente na popularização da utilização das bicicletas. Medidas como a moderação de tráfego e provisão de infraestrutura dedicada à ciclistas como ciclovias e ciclofaixas encorajam a utilização da bicicleta em áreas urbanas (KUMAR, 2013; SCHEPERS, 2013).

Constata-se que, de modo geral, os ciclistas ficam vulneráveis nas vias, pois as mesmas foram desenhadas para os veículos motorizados. A presença de carros e, principalmente, de ônibus compartilhando o espaço nas vias aumenta a sensação de insegurança por parte dos ciclistas (FISHMAN et al.,2012). Em estudo realizado por Schepers e Heinen (2013) fica evidenciada a vulnerabilidade dos ciclistas. Neste estudo constatou-se que embora a troca de modal do automóvel para a bicicleta em viagens menores que 7,5 quilômetros tenha um efeito neutro sobre o número de vítimas fatais, resulta em um aumento do número de acidentes graves.

3.2.2 Infraestrutura Viária

Poucas pesquisas foram publicadas sobre as consequências nos níveis de segurança viária

decorrentes de políticas ou estratégias que visem promover infraestruturas seguras para bicicletas. Essas políticas devem ser muito bem delineadas, a fim de evitar um agravamento da segurança em função do aumento na circulação de ciclistas nas vias. Os trabalhos revisados indicam que o foco principal dos projetos de infraestrutura deve ser a provisão de instalações seguras para bicicletas, de preferência, de forma sistemática. Na prática isto pode ocorrer de duas formas: (i) evitando o conflito entre ciclistas e tráfego motorizado, dando a cada grupo de usuários da via a sua própria rede; e (ii) reduzindo a velocidade do tráfego motorizado (WEGMAN et. al, 2012). A estratégia da Holanda ao longo dos últimos 30 anos para promoção da segurança viária para ciclistas passa pelo estabelecimento de uma rede hierárquica de vias com grandes áreas de redução de velocidade, além disso o tratamento de interseções e a instalação de ciclovias colaboraram na diminuição de acidentes (SCHEPERS et al., 2015). O estudo de Chataway et al. (2014) também reforça a importância de uma rede cicloviária altamente conectada para o aumento da segurança percebida pelos ciclistas, o que os estimula na utilização da bicicleta.

O estudo realizado por (SCHEPERS et al., 2011) sugere que a provisão de ciclovias elevadas e outras medidas de redução de velocidade em interseções são eficazes na redução de acidentes com ciclistas. O mesmo estudo sugere também que a distância ideal entre a faixa da esquerda de uma ciclovia bidirecional e a faixa de rodagem seja entre 2 e 5 metros, pois proporciona mais segurança aos ciclistas na medida que oferece aos motoristas um tempo adicional para perceber os ciclistas durante as conversões.

Em interseções semaforizadas, a adoção de um espaço a frente da faixa de contenção dos motorizados específico para bicicletas, chamado de *bike box* é avaliada de maneira positiva pelos ciclistas. O ponto negativo levantado pelos ciclistas é a invasão por parte dos veículos motorizados nos movimentos de conversões a direita (DILL et al., 2010). A existência de bike boxes em interseções semaforizados encoraja os ciclistas a ocuparem uma posição mais visível a frente dos veículos motorizados. A instalação de *bike boxes* é recomendada nas interseções onde o volume de ciclistas é alto e o movimento do veículo principal da aproximação não é a conversão à direita (LOSKORN et al., 2013).

3.2.3 Gravidade de Acidentes em áreas urbanas

Estudos indicam que cidades que apresentam um número maior de ciclistas têm menor risco de acidentes fatais ou graves para todos usuários das vias, e não somente para os ciclistas (DE LAPPARENT, 2005; MARSHALL e GARRICK, 2011; LOO & TSUI, 2010). A educação no trânsito e a fiscalização em relação ao uso do capacete e ao comportamento perigoso dos condutores foram relatadas em estudos como uma medida com potencial de mitigação da gravidade de acidentes em áreas urbanas e deve ter seu enfoque em todos os condutores (SCHEPERS et al., 2015; DE GEUS et. al, 2012; DE LAPPARENT, 2005).

O subregistro de acidentes envolvendo ciclistas em áreas urbanas também é um dos desafios encontrados na promoção da segurança viária. Os estudos envolvendo acidentes de ciclistas não podem ser confiáveis quando baseados apenas em estatísticas policiais (SCHEPERS, 2013). O estudo de Geus et al.(2012) sugere que a taxa de subregistro de acidentes envolvendo ciclistas tende a diminuir conforme aumenta a gravidade dos acidentes .

Acredita-se que os ciclistas jovens são mais expostos a acidentes graves devido a distração no trânsito em áreas urbanas na França (DE LAPPARENT, 2005). Foi encontrada uma

tendência de aumento na taxa de mortes de ciclistas vitímas de acidentes ocasionados por condução distraída nos Estados Unidos entre os anos de 2005 e 2010 (STIMPSON et. al, 2013).

3.2.4 Utilização de EPIs por parte dos ciclistas

Em relação à utilização de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) utilizados por ciclistas foram encontrados estudos que abordam a utilização de capacete por parte dos ciclistas, bem como os estudos que avaliam a iluminação dianteira e traseira utilizada nas bicicletas sob o ponto de vista de segurança viária. Sobre a utilização de capacete os estudos analisam o impacto na segurança viária e o efeito da legislação através de estudos de caso (OLIVIER et al., 2013; ROBINSON, 2007; SCUFFHAM et al., 2000). Sobre a iluminação, o foco dos estudos revisados foi analisar o impacto da utilização de iluminação da bicicleta independente da hora do dia na segurança viária.

Em estudo realizado na Austrália foi identificado que a maioria dos acidentes com lesão na cabeça é causado por veículos motorizados (ROBINSON, 2007). O aumento na utilização de capacete por parte dos ciclistas na Nova Zelândia devido a legislação resultou em reduções significativas nas estatísticas de lesões na cabeça para ciclistas. A lei do capacete na Nova Zelândia foi uma estratégia eficaz de segurança viária em todos os grupos etários pesquisados (SCHUFFHAM et al., 2000). Em um estudo mais recente realizado na Austrália foi constatado uma diminuição na taxa de acidentes com lesões na cabeça a partir de 1991, ano que foi promulgada a lei de obrigatoriedade do uso do capacete, até o ano de 2006, ano em que iniciou uma forte política de investimentos em infraestrutura para ciclistas (OLIVIER et al., 2013).

O estudo realizado na Dinamarca por Madsen et al.(2013) incluindo 3845 ciclistas em um período de 12 meses, com o objetivo de medir o impacto na segurança viária da utilização da iluminação em bicicletas durante o dia resultou numa taxa de acidentes 19% menor dos ciclistas que utilizavam a iluminação diurna em relação ao conjunto de ciclistas que não utilizavam, o que sugere que a iluminação em bicicletas é uma medida de segurança viária eficaz. Em contraponto, um estudo baseado na aplicação de um questionário a ciclistas na Austrália envolvidos em colisão com motorizados sobre os fatores de visibilidade de ciclistas envolvidos nos acidentes, mostrou que um terço dos acidentes ocorreu em níveis de iluminação ambiente baixo (ao amanhecer, ao entardecer ou a noite), desses 19% relataram não utilizar luzes na bicicleta no momento do acidente (LACHEREZ et al., 2013). O estudo de Twisk & Reurings (2013) que relaciona o risco do de andar de bicicleta no escuro com a percepção visual dos ciclistas também constatou que o risco de acidentes com ciclistas em áreas urbanas é mais elevado a noite entre os ciclistas que fizeram uso de álcool, que é um componente adicional de risco.

3.2.5 Segurança de ciclistas crianças ou idosos

Dandona et al., (2011) realizaram um estudo na Índia com 2809 crianças com idade entre 5 e 14 anos em um período de 3 meses, e verificaram que 5,8% das crianças da amostra se envolveram em acidentes não fatais andando de bicicleta. Outro resultado interessante deste estudo é relacionado com o sexo das crianças, pois o número de meninos ciclistas envolvidos em acidentes não fatais foi 3 vezes maior do que o número de meninas. Estes resultados reafirmam as conclusões do estudo realizado por Acton et al. (1995) que concluiu que os passeios de bicicleta realizados por crianças são uma causa comum de lesão, principalmente

entre os meninos.

Estudos relatam uma ocorrência significativa de acidentes envolvendo idosos (RICHTER et al., 2005; SCHEIMAN et al., 2010). O estudo realizado na Holanda com o objetivo de analisar possíveis impactos na mudança de modal motorizado para bicicleta aponta um aumento no número de mortes para usuários acima dos 65 anos, bem como uma diminuição no grupo de usuários entre 18 e 64 anos (SCHEPERS & HEINEN, 2013).

3.2.6 Segurança de E-bikers

Um estudo de caso realizado na Holanda mostrou que o uso de bicicletas assistidas eletricamente que atingem uma velocidade máxima de 25 km/h vem aumentando rapidamente nos Países Baixos. Neste estudo foi constatado que o uso de bicicletas elétricas está associado ao aumento do risco de acidentes em comparação com as bicicletas convencionais (SCHEPERS et al., 2014). A travessia de interseções com o sinal vermelho é o principal comportamento de risco assumido pelos ciclistas que utilizam bicicletas elétricas (BAI et al., 2013). Outro estudo também realizado na China aponta que os ciclistas do sexo masculino que utilizam bicicleta elétrica são mais propensos a assumir o risco na travessia de interseções (DU et al., 2013). Aparentemente a capacidade de atingir uma velocidade mais elevada que as bicicletas convencionais na arrancada encorajam os e-bikers a completar a travessia quando o sinal vermelho está fechado para o movimento dos ciclistas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste estudo foi investigar quais as principais discussões relacionadas à segurança viária envolvendo o uso de bicicleta como meio de transporte em áreas urbanas que são tratadas nas publicações científicas. A revisão bibliográfica foi realizada utilizando a metodologia de revisão sistemática da literatura.

No que diz respeito aos aspectos bibliométricos, os resultados deste estudo indicam que as discussões que relacionam bicicleta e segurança viária se acentuaram nos anos de 2012 e 2013 em termos quantitativos. Este aumento no número de publicações pode ser explicado pela necessidade de remodelar o sistema de transportes incentivando a utilização de modos sustentáveis de transporte e nesse contexto a segurança viária para ciclistas tem um papel de destaque (da SILVEIRA, 2010).

Analisando a distribuição da quantidade de publicações por países é possível verificar que a Holanda é o país com o maior número de estudos relacionados com o tema. Isto pode ser explicado pelo fato da Holanda, desde a década de 70 adotar uma política nacional para promoção do uso de bicicleta, que veio acompanhada da adoção de medidas de segurança viária (PUCHER E BUEHLER, 2008). A Austrália e Estados Unidos também se destacam na quantidade de publicações o que pode indicar uma relação com as mudanças no ambiente construído dessas cidades, como criação de ciclovias, ciclofaixas e paraciclos promovendo a utilização da bicicleta (MOUDON et al, 2005). Além disso, o fomento a programas informativos que promovem o uso da bicicleta através de cursos de ciclismo, passeios de bicicleta e distribuição de mapas da rede cicloviária está se tornando comum nos dois países (RISSEL et al., 2010).

A distribuição de publicações por continente dá indícios de que a segurança viária para ciclistas é tratada com mais importância no continente europeu. O estudo de Pucher e Buehler

(2008) constatou que a promoção da segurança viária para ciclistas é maior no continente europeu em relação à América do Norte. Chama a atenção que na seleção de estudos desta pesquisa a América do Sul não tem representatividade.

O periódico *Accident Analysis and Prevention* foi o periódico que publicou a maioria dos estudos selecionados nessa revisão. Isto pode ser explicado devido ao fato de se tratar de um periódico que tem como foco principal a segurança viária nos mais diferentes subtemas, como o estudo de lesões, acidentes, aspectos médicos, aspectos jurídicos, educacionais e comportamentais (ACCIDENT ANALYSIS & PREVENTION, 2015).

As discussões encontradas nessa pesquisa referentes à segurança viária envolvendo o uso da bicicleta passam por uma série de áreas de estudo. Foram encontradas referências aos três eixos essenciais para promoção da segurança viária: engenharia, educação e fiscalização (MELLO FILHO, 2014). Sobre fiscalização e educação chama atenção a utilização do capacete por parte dos ciclistas, cujos resultados em países em que a legislação obrigou a sua utilização foram analisados. Outro ponto que deve ser analisado com atenção em pesquisas são as estatísticas de acidentes, que apresentam um alto índice de subregistro impedindo a realização de uma estimativa real de acidentes envolvendo ciclistas.

A distração no trânsito entre os ciclistas também foi encontrado nessa revisão sistemática como um problema relevante na segurança viária. A utilização de aparelhos eletrônicos como celulares e fones de ouvido contribuem para distração no trânsito e podem colaborar com a ocorrência de acidentes de trânsito, principalmente entre jovens (STIMPSON, 2013; CHATAWAY et al., 2014). Isto é confirmado nos estudos de Hosking et. al (2009) e Jacobson & Gostin, (2010).

A infraestrutura cicloviária é considerada essencial pelos ciclistas para sua segurança e conforto nos deslocamentos (SENER et al., 2008a; MENGHINI et al., 2010; LI et al., 2012). As principais discussões a respeito de infraestrutura encontradas nos estudos selecionados nessa pesquisa são a influência da iluminação das vias nos acidentes, a segurança em interseções e os efeitos dos *bike boxes* na segurança dos ciclistas.

Nos estudos cujo foco principal é a mobilidade urbana, a infraestrutura cicloviária também é debatida, tendo em vista que a segurança proporcionada por estas infraestruturas exerce influência na escolha da bicicleta como modo de transporte. Assim, fica evidenciada uma correlação entre infraestrutura cicloviária e mobilidade urbana. Percebe-se também, a partir dos resultados dessa pesquisa, que existe uma preocupação dos pesquisadores em realizar estudos que permitam um maior entendimento dos acidentes envolvendo ciclistas que utilizam bicicletas elétricas e dos acidentes que envolvem ciclistas jovens e idosos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIDENT ANALYSIS AND PREVENTION (2015) Disponível em: < http://www.journals.elsevier.com/accident-analysis-and-prevention/> Acessado em: 2015.

ACTON, C. H., THOMAS, S., NIXON, J. W., CLARK, R., PITT, W. R., BATTISTUTTA, D. (1995). Children and bicycles: what is really happening? Studies of fatal and non-fatal bicycle injury. Injury prevention, 1(2), 86-91.

ANTP (2015a) Sistema de Informações da Mobilidade Urbana – Relatório Corporativo 2003-2013. Associação Nacional de Transportes Públicos, São Paulo.

BAI, L., LIU, P., CHEN, Y., ZHANG, X., WANG, W. (2013). Comparative analysis of the safety effects of electric bikes at signalized intersections. Transportation research part D: transport and environment, 20,

48-54.
CHATAWAY, E. S., KAPLAN, S., NIELSEN, T. A. S., & PRATO, C. G. (2014). Safety perceptions and reported behavior related to cycling in mixed traffic: A comparison between Brisbane and Copenhagen. Transportation research part F: traffic psychology and behaviour, 23, 32-43.
DA SILVEIRA, M. O. (2010). Mobilidade Sustentável: A bicicleta como um meio de transporte integrado (Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro).
DANDONA, R., KUMAR, G. A., AMERATUNGA, S., DANDONA, L. (2011). Road use pattern and risk factors for non-fatal road traffic injuries among children in urban India. Injury, 42(1), 97-103.
DE GEUS, B., VANDENBULCKE, G., PANIS, L. I., THOMAS, I., DEGRAEUWE, B., CUMPS, E., MEEUSEN, R. (2012). A prospective cohort study on minor accidents involving commuter cyclists in Belgium. Accident Analysis & Prevention, 45, 683-693.
DE HARTOG, J. J., BOOGAARD, H., NIJLAND, H., & HOEK, G. (2010). Do the health benefits of cycling outweigh the risks?. Environmental health perspectives, 1109-1116.
DE LAPPARENT, M. (2005). Individual cyclists' probability distributions of severe/fatal crashes in large french urban areas. Accident Analysis & Prevention, 37(6), 1086-1092.
DU, W., YANG, J., POWIS, B., ZHENG, X., OZANNE-SMITH, J., BILSTON, L., WU, M. (2013). Understanding on-road practices of electric bike riders: an observational study in a developed city of China. Accident Analysis & Prevention, 59, 319-326.
EDWARDS, R. D., MASON, C. N. (2014). Spinning the wheels and rolling the dice: Life-cycle risks and benefits of bicycle commuting in the US. Preventive medicine, 64, 8-13.
ELVIK, R. (2009). The non-linearity of risk and the promotion of environmentally sustainable transport. Accident Analysis & Prevention, 41(4), 849-855.
EWING, R. H. (1999). Pedestrian-and transit-friendly design: a primer for smart growth. Washington, DC: Smart Growth Network, 1999.
FISHMAN, E., WASHINGTON, S., HAWORTH, N. (2012). Barriers and facilitators to public bicycle scheme use: A qualitative approach. Transportation research part F: traffic psychology and behaviour, 15(6), 686-698.
HEINEN, E; MAAT, K.; VAN WEE, B. (2011) Day-to-day choice to commute or not by bicycle. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 2230 (2011): 9-18..
HOSKING, S. G., YOUNG, K. L., REGAN, M. A. (2009). The effects of text messaging on young drivers. Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 51(4), 582-592.
JACOBSON, P. D., GOSTIN, L. O. (2010). Reducing distracted driving: regulation and education to avert traffic injuries and fatalities. JAMA, 303(14), 1419-1420.
KUMAR, M. J. (2013). Editorial: Back to Basics: Why Every Student and Professor Should Ride a Bicycle on a University Campus?. IETE Technical Review, 30(3), 165-167.
LACHEREZ, P., WOOD, J. M., MARSZALEK, R. P., KING, M. J. (2013). Visibility-related characteristics of crashes involving bicyclists and motor vehicles–Responses from an online questionnaire study. Transportation research part F: traffic psychology and behaviour, 20, 52-58.
LI, Z., WANG, W., LIU, P., RAGLAND, D. R. (2012). Physical environments influencing bicyclists' perception of comfort on separated and on-street bicycle facilities. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 17(3), 256-261.
LOO, B. P., TSUI, K. L. (2010). Bicycle crash casualties in a highly motorized city. Accident Analysis & Prevention, 42(6), 1902-1907.
LOSKORN, J., MILLS, A. F., BRADY, J. F., DUTHIE, J. C., MACHEMEHL, R. B. (2013). Effects of bicycle boxes on bicyclist and motorist behavior at intersections in Austin, Texas. Journal of Transportation Engineering, 139(10), 1039-1046.
MADSEN, J. C. O., ANDERSEN, T., LAHRMANN, H. S. (2013). Safety effects of permanent running lights for bicycles: A controlled experiment. Accident Analysis & Prevention, 50, 820-829.
MARSHALL, W. E., GARRICK, N. W. (2011). Evidence on why bike-friendly cities are safer for all road users. Environmental Practice, 13(01), 16-27.
MELLO FILHO, L. V. F. (2014). O ponto doce da sustentabilidade na mobilidade urbana da cidade de São Paulo. In: Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva, São Paulo: Simea 2014, 2014. p. 1 - 17.
MENGHINI, G., CARRASCO, N., SCHÜSSLER, N., AXHAUSEN, K. W. (2010). Route choice of cyclists in Zurich. Transportation research part A: policy and practice, 44(9), 754-765.
MORI, Y., MIZOHATA, M. (1995). Characteristics of older road users and their effect on road safety. Accident Analysis & Prevention, 27(3), 391-404.
MOUDON, A. V., LEE, C., CHEADLE, A. D., COLLIER, C. W., JOHNSON, D., SCHMID, T. L., WEATHER, R. D. (2005). Cycling and the built environment, a US perspective. Transportation Research

Part D: Transport and Environment, 10(3), 245-261.
OLIVIER, J., WALTER, S. R., GRZEBIETA, R. H. (2013). Long term bicycle related head injury trends for New South Wales, Australia following mandatory helmet legislation. Accident Analysis & Prevention, 50, 1128-1134.
PUCHER, J., BUEHLER R. (2008). Making cycling irresistible: lessons from the Netherlands, Denmark and Germany. Transport reviews 28.4 (2008): 495-528.
RICHTER, M., PAPE, H. C., OTTE, D., KRETTEK, C. (2005). The current status of road user injuries among the elderly in Germany: a medical and technical accident analysis. Journal of Trauma and Acute Care Surgery, 58(3), 591-595.
RISSEL, C. E., NEW, C., WEN, L. M., MEROM, D., BAUMAN, A. E., GARRARD, J. (2010). The effectiveness of community-based cycling promotion: findings from the Cycling Connecting Communities project in Sydney, Australia. Int J Behav Nutr Phys Act, 7(1), 8.
ROBINSON, D. L. (2007). Bicycle helmet legislation: Can we reach a consensus?. Accident Analysis & Prevention, 39(1), 86-93.
ROLDÁN, O. M. G., DÍAZ, J. R. A., MELLADO, J. J. N. (2012). Cycling mobility accidentability in Spain. Securitas Vialis, 4(3), 97-104.
SANTOS JÚNIOR, J. B. S., LIMA JÚNIOR, O. F., NOVAES, A. G., SCHOLZ-REITER, B. (2011). A comparative analysis of supply network risk management techniques based on systematic literature review. In Anais do XXV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET.
SCHEPERS, J. P., HEINEN, E. (2013). How does a modal shift from short car trips to cycling affect road safety?. Accident Analysis & Prevention, 50, 1118-1127.
SCHEPERS, J. P., FISHMAN, E., DEN HERTOG, P., WOLT, K. K., SCHWAB, A. L. (2014). The safety of electrically assisted bicycles compared to classic bicycles. Accident Analysis & Prevention, 73, 174-180.
SCHEPERS, P., TWISK, D., FISHMAN, E., FYHRI, A., JENSEN, A. (2015). The Dutch road to a high level of cycling safety. Safety Science.
SCUFFHAM, P., ALSOP, J., CRYER, C., LANGLEY, J. D. (2000). Head injuries to bicyclists and the New Zealand bicycle helmet law. Accident Analysis & Prevention, 32(4), 565-573.
SENER, I.; ELURU, N; BHAT, C. (2008) An analysis of bicycle route choice preferences using a web-based survey to examine bicycle facilities. Report to Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering. The University of Texas at Austin, 2008a
SILVA, R. M. D., SENNA, E. T. P., SENNA, L. A. D. S., LIMA JÚNIOR, O. F. (2014). Plataformas Logísticas: uma abordagem sobre as tipologias e características através de uma revisão sistemática. Journal of Transport Literature.
SINHA, C. K., & LANDER, A. (2013). Trauma in children: abdomen and thorax. Surgery (Oxford), 31(3), 123-129.
SONI, G., KODALI, R. (2011). A critical analysis of supply chain management content in empirical research. Business Process Management Journal, 17(2), 238-266.
STIMPSON, J. P., WILSON, F. A., MUELLEMAN, R. L. (2013). Fatalities of Pedestrians, Bicycle Riders, and Motorists Due to Distracted Driving Motor Vehicle Crashes in the US, 2005—2010. Public Health Reports, 436-442.
TRANSPORTE ATIVO (2015) Perfil do ciclista brasileiro – Parceria nacional pela mobilidade por bicicleta. Disponível em: http://ta.org.br/perfil/perfil.pdf
TWISK, D. A. M., REURINGS, M. (2013). An epidemiological study of the risk of cycling in the dark: The role of visual perception, conspicuity and alcohol use. Accident Analysis & Prevention, 60, 134-140.
WANVIK, P. O. (2008). Effects of road lighting: an analysis based on Dutch accident statistics 1987–2006. Accident Analysis & Prevention, 41(1), 123-128.
WEI, F., LOVEGROVE, G. (2011). An empirical tool to evaluate the safety of cyclists: Community based, macro-level collision prediction models using negative binomial regression. Accident Analysis & Prevention, 61, 129-137.
WEGMAN, F., ZHANG, F., DIJKSTRA, A. (2012). How to make more cycling good for road safety?. Accident Analysis & Prevention, 44(1), 19-29.

CARACTERÍSTICAS DE VULNERABILIDADE EM IDOSOS E OBESOS NAS TRAVESSIAS DE PEDESTRE

Frederico Gualberto
Janaína Amorim Dias
Heloísa Maria Barbosa
Marcelo Franco Porto
Marconi Gomes da Silva
Departamento de Geotecnia e Transportes – UFMG
SPORTIF – Clínica do exercício e do Esporte

RESUMO
O objetivo principal deste artigo é ponderar e compreender as características dos pedestres em travessias de vias urbanas e ressaltar as diferenças entre os pedestres obesos e idosos, frente aos demais pedestres. A partir da análise de vídeos coletados, 902 pedestres foram observados e resultam em 1,28 m/s como velocidade média da amostra. Para os idosos e obesos, essa velocidade foi de 1,07 e 1,20 m/s respectivamente. Foram apresentadas as diferenças destes grupos (idosos e obesos) em função de outras características como sexo, idade e largura da via. Com os dados de velocidade de pedestres, foi possível utilizar um modelo de previsão de velocidades para criar três cenários (2017/2022/2030) com o envelhecimento estimado da população (IBGE), bem como o aumento projetado do número de obesos (Ministério da Saúde). As velocidades preditas foram comparadas, indicando pequena variação (0,01 m/s de 2017 para 2022 e 0,02 m/s de 2017 para 2030).

ABSTRACT
This article's main objective is to deliberate and understand the characteristics of pedestrians at urban roads crossings and to highlight the differences between obese and elderly pedestrians, compared to other pedestrians. Based on an analysis of collected videos, 902 pedestrians were observed indicating 1.28 m/s as average walking speed of the sample. For the elderly and obese of the sample, this average speed was 1.07 and 1.20 m/s respectively. Differences of these groups (elderly and obese) were presented according to other characteristics such as sex, age and extension of the crossing. With the pedestrian speed data, it was possible to use a speed forecasting model to create three scenarios (2017/2022/2030) with the estimated population aging (IBGE), as well as the projected increase in the number of obese people (Ministry of Health). The predicted speeds were compared, indicating small variation (0.01 m/s from 2017 to 2022 and 0.02 m/s from 2017 to 2030).

1. INTRODUÇÃO

Os pedestres obesos e idosos possuem um maior nível de vulnerabilidade em situações cotidianas, entre elas, o atravessamento de ruas. A OMS (Organização Mundial da Saúde) indica que anualmente mais de 270.000 pedestres morrem nas vias públicas de todo o mundo. Esses constituem 22% de todas as mortes no trânsito e, em alguns países, essa proporção chega a 66% (WHO, 2013). De acordo com a Pesquisa Nacional de Saúde, de 2013, as projeções populacionais do Brasil apontam o avanço do envelhecimento da população. Um dos indicadores que mostram esse fenômeno é a esperança de vida ao nascer, que era 71,2 anos em 2003 e passou para 74,9 anos em 2013 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA, 2013). No Brasil, de acordo com o IBGE (2015), a partir de dados publicados em Agosto de 2015, o total de obesos corresponde a 20,8% da população. Esse número, quando analisado em conjunto com outros fatores, como o envelhecimento da população, torna ainda mais alarmante a situação dos considerados mais propensos a acidentes viários. Aliado a esses dados, nota-se o aumento do uso do automóvel no Brasil nos últimos anos. Segundo o Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), o número de emplacamentos mensais cresceu no País entre 2000 e 2013. No fim do ano 2000, a média mensal de emplacamentos era de aproximadamente 100.000 veículos e em 2013, essa média era de cerca de 300.000 veículos. Entre as razões para a falta de segurança em uma travessia, destacam-se a sinalização estatigráfica (vertical e horizontal) inadequada ou insuficiente, a

alta velocidade praticada pelos veículos e a programação semafórica, que muitas vezes promove um tempo pequeno para a travessia adequada dos pedestres, priorizando o fluxo de veículos, em detrimento da segurança àquele que caminha. Além disso, observa-se que a deterioração de calçadas e travessias também contribuem para a redução da segurança do pedestre. Todos esses fatores de falta de seguridade são notados e agem de forma distinta nas pessoas diferentes.

O trabalho tem como objetivo ponderar e compreender as características dos pedestres em travessias de vias urbanas, por meio da identificação dos fatores que afetam o seu comportamento referente à velocidade desenvolvida durante o cruzamento de uma via, bem como a avaliação da relevância desses fatores. Além disso, pretende analisar de forma mais incisiva os pedestres idosos e obesos, ressaltando as diferenças destes para os demais pedestres, determinando os pontos principais onde esses são mais afetados pelos fatores de insegurança. Para esse fim, buscou-se realizar pesquisa de campo coletando velocidades de pedestres em travessias (filmagens); examinar os diversos tipos de comportamento observáveis (antes, durante e após a travessia) e associá-los com as características dos pedestres: idade, sexo, mobilidade, gravidez, obesidade, carregamento de peso. Acredita-se que a velocidade desenvolvida pelo pedestre pode demonstrar como os pedestres agem em cada tipo de situação de atravessamento, a partir de suas características pessoais, esclarecendo pontos importantes a respeito da diferença dos caminhantes. Por fim, a partir de estudos anteriores de estimativa de velocidade dos pedestres, foi possível demonstrar, através de simulações, a maior vulnerabilidade dos idosos e obesos frente ao atravessamento de vias.

2. FATORES DE VULNERABILIDADE EM TRAVESSIAS DE VIAS URBANAS

O conceito de obesidade está relacionado a um conjunto de fatores, dentre eles, destacam-se os fatores genéticos, ambientais, psicológicos, emocionais, o sedentarismo, a mudança de hábitos alimentares influenciados pela situação social, econômica e cultural. Essa multiplicidade de fatores talvez seja o principal determinante da grande dificuldade encontrada para o controle desse problema de saúde pública. Dados do Ministério da Saúde demonstram que, pela primeira vez, o percentual de pessoas com excesso de peso supera mais da metade da população brasileira. A pesquisa VIGITEL 2014 (Vigilância de Fatores de Risco e Proteção para Doenças Crônicas por Inquérito Telefônico) mostra que 52,5% da população (acima de 18 anos) está acima do peso ideal, e destes, 17,9% são obesos. Dados do VIGITEL ainda mais recentes, de 2016, mostram que 53,8% da população brasileira está acima do peso e 18,9% estão obesas. Em 2006, o índice que representava o excesso de peso era de 43% e de obesidade, cerca de 11,8%. Nos dados VIGITEL de 2014, constatou-se que 49% da população brasileira está insuficientemente ativa e 15% foi considerada inativa. Ou seja, 64% da população brasileira não realizava exercícios físicos na intensidade e volume recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS). Em 2016 esse número mostrou uma discreta queda, passando para 62,4%. Ou seja, mesmo apresentando uma pequena melhora no percentual da população que se exercita em seu tempo livre, ainda assim notam-se níveis crescentes de obesidade e excesso de peso na população brasileira. Trata-se de uma condição que vem se repetindo em muitos outros países.

O índice de massa corporal, mais conhecido pela sigla IMC, é um índice adotado pela OMS que vem sendo usado para o diagnóstico do sobrepeso e da obesidade. Embora seja um método que pode apresentar algumas distorções, tendo em vista que a massa de gordura

(massa gorda) é contabilizada juntamente com a massa muscular (massa magra), o IMC pode ser facilmente calculado a partir de dois simples dados: peso e altura.

$$IMC = p \div h^2 \text{ (metros)} \quad (1)$$

Onde: p é a massa (comumente conhecida por peso) da pessoa avaliada, em quilos (kg)
h é a altura da pessoa avaliada, em metros (m)

Os resultados indicarão:
Peso normal = entre 18,50 e 24,99 kg/m²
Sobrepeso = entre 25 e 29,99 kg/m²
Obesidade grau I = entre 30 e 34,99 kg/m²
Obesidade grau II = entre 35 e 39,99 kg/m²
Obesidade grau III (obesidade mórbida) = maior que 40 kg/m²

O IMC é um indicador indireto do estado de saúde. De acordo com Carneiro, Silva e Vieira (2009), a obesidade é um problema de saúde pública cada vez mais impactante nas sociedades modernas, sobretudo ocidentais, com relevantes implicações na qualidade de vida e no desenvolvimento de comorbidades, provocando distúrbios no aparelho locomotor, com implicações na velocidade de caminhada. O excesso de peso provoca uma menor amplitude dos movimentos, falta de ar, fadiga precoce, diminuição da absorção dos impactos e degradação da condição das articulações (FAINTUCH *et al.* 2005). Todos esses fatores acabam por limitar a biomecânica da deambulação. Dessa maneira, a obesidade, ao comprometer a velocidade da marcha, o equilíbrio e a capacidade de reação, torna-se um fator predisponente a uma maior vulnerabilidade do pedestre nessa condição.

Os dados do IBGE (2015) indicam que entre 2005 e 2015, a proporção de pessoas com 60 anos ou mais, na população do país, passou de 9,8% para 14,3%. Dentre as consequências mais graves do envelhecimento, destacam-se os seus efeitos sobre o sistema neuromusculoesquelético (RYALL, SCHERTZER & LYNCH, 2008). Lauretani *et al.* (2005) apontam que na velhice observa-se diminuição progressiva da massa e da força muscular o que afeta diretamente a mobilidade física e pode desencadear um processo de incapacidade funcional. A incapacidade funcional pode ser definida como a dificuldade de realizar tarefas que fazem parte do cotidiano do ser humano e que são indispensáveis para uma vida independente na comunidade (YANG e GEORGE, 2005).

O comprometimento da capacidade funcional do idoso tem implicações importantes para a família, a comunidade, o sistema de saúde e a vida do próprio idoso, uma vez que a incapacidade ocasiona maior vulnerabilidade e dependência, contribuindo para a diminuição do bem estar e da qualidade de vida (ALVES e RODRIGUES, 2005; VERAS, 2009). A perda muscular, também denominada sarcopenia, é um dos elementos da definição da síndrome de fragilidade do idoso e está associada a risco para quedas, fraturas, incapacidade, dependência, hospitalização recorrente e morte (FRIED *et al.*, 2001). Cruz *et al.* (2010) indicam que entre os critérios de diagnóstico dessa doença está o baixo desempenho físico, diminuindo a velocidade de marcha (caminhada). A correlação entre idade e velocidade de marcha é bem estabelecida, com redução progressiva ao longo das décadas. Esse comportamento está relacionado às alterações da senescência, como a maior tendência à inatividade, redução da massa muscular, redução do número e função das unidades motoras e aumento da latência de execução das contrações fásicas da musculatura dos membros inferiores e do tempo de reação

(OBERG *et al.*, 1993; BOHANNON *et al.*, 1996). O estudo de Novaes *et al.* (2011) mostrou, utilizando metodologia simples e de baixo custo, que a velocidade de marcha (VM) em teste de 10 metros declina com a idade e que indivíduos com idade igual ou superior a 70 anos apresentam reduções significativas da velocidade quando comparados aos indivíduos com idades entre 40 e 59 anos, independente do gênero. Entretanto, não foi encontrada diferença significativa na velocidade de marcha entre as faixas etárias de 60-69 anos e maior ou igual a 70 anos em ambos os gêneros. Segundo os dados desse estudo, os indivíduos com idade acima de 70 anos apresentaram VM significativamente inferior aos indivíduos entre 40 e 49 anos e entre 50 e 59 anos tanto nos homens (1,09±0,18 m/s, 1,35±0,11 m/s e 1,34±0,22 m/s, respectivamente) quanto nas mulheres (1,02±0,10 m/s, 1,27±0,20 m/s e 1,27±0,15 m/s, respectivamente). Esse declínio na VM, associado ao aumento da idade, já foi observado em estudos prévios que utilizaram análise computadorizada de imagens. (GUALBERTO *et al.*, 2013; MURRAY *et al.*, 1969; ELBLE *et al.*, 1991). A VM tem sido considerada a variável cinemática da marcha clinicamente mais relevante e uma boa preditora do desempenho funcional, condição de saúde cardiovascular e capacidade para realizar atividades de vida diária em indivíduos idosos (HARDY *et al.*, 2007; HOLLMAN *et al.* 2008; ASHER, L. *et al.*, 2012).

O *Highway Capacity Manual* (HCM) TRB (2000) define pedestre como "um indivíduo movimentando-se a pé" e a OMS define o pedestre como qualquer pessoa andando a pé em pelo menos parte da sua jornada. A segurança nas vias é uma preocupação que o Brasil vem enfrentando, principalmente onde há conflito de veículo e pedestre. Esse último é considerado o mais vulnerável no trânsito, e deve receber uma atenção especial, como prevê o Código de Trânsito Brasileiro *"os veículos de maior porte serão sempre responsáveis pela segurança dos menores, os motorizados pelos não motorizados e, juntos, pela incolumidade dos pedestres"* (Brasil, 1997). O HCM também recomenda que a velocidade esperada para pedestres seja de 1,2 m/s (TRB, 2000), assim como FHWA (2003) e Austroads (1988). De acordo com TRB (2000), a velocidade de circulação dos pedestres é fortemente dependente da porcentagem de idosos (≥ 65 anos) existentes na população pedestre. Assim, se essa porcentagem se situar entre os 0 e os 20%, a velocidade de circulação média mantém-se em 1,2 m/s, diminuindo para 1 m/s no caso da porcentagem de pedestres idosos ser superior a 20% (TRB, 2000). Knoblauch *et al.* (1996) mostram que, para os idosos, a velocidade ideal a ser considerada é 0,91 m/s e os fatores que podem influenciar a velocidade de travessia são muito diversos. A velocidade adotada para pedestres nos cálculos de programação semafórica por parte dos principais manuais de tráfego mundiais é de 1,22 m/s, como citado anteriormente, porém muitas vezes essa velocidade pode ser questionada, principalmente quando são analisadas mais profundamente as travessias de pedestres com maior vulnerabilidade, como exemplo os obesos e idosos, objeto de estudo desse artigo.

3. METODOLOGIA

O artigo busca atingir seus objetivos através de um estudo de caso realizado na cidade de Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais, no Brasil. A metodologia elaborada para a condução deste estudo compreende sete etapas: (i) definição da área de pesquisa; (ii) seleção de travessias; (iii) levantamento cadastral de locais; (iv) definição dos métodos de obtenção de dados; (v) pesquisa de campo para coleta de dados de velocidade de pedestres; (vi) tabulação dos dados e informações coletadas; e (vii) análise de dados. Algumas dessas etapas serão comentadas a seguir.

3.1. Seleção de travessias

Este estudo aborda o comportamento de pedestres enquanto atravessam vias urbanas, bem como sua interação com os veículos e com o ambiente em seu entorno de maneira geral. A área de pesquisa compreende a região central de Belo Horizonte e o entorno de um Polo Gerador de Viagens fora da região central, próximo à Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Treze travessias sinalizadas com faixa de pedestres foram escolhidas. Elas possuem diferentes configurações geométricas, estruturais e fluxos, sendo 12 dessas na região central da cidade. Seis atributos viários foram observados: função da via, tipo de circulação, número de faixas de tráfego, existência de canteiro central, largura da pista de rolamento e existência de sinalização semafórica, apresentados juntamente com suas respectivas características na **Figura 1**.

3.2. Método de coleta e tabulação de dados

O método definido para a obtenção da variável velocidade foi a filmagem dos deslocamentos dos pedestres nos locais selecionados. O processo de filmagem no campo deveria ser inconspícuo para os usuários de forma a não afetar o comportamento dos sujeitos pesquisados. Recentemente, métodos similares foram utilizados por Papadimitriou (2009); Lee e Lam (2008); Silva *et al.* (2014); Marisamynathan e Perumal (2014), e serviram de contribuição e base para o desenvolvimento do método adotado neste trabalho.

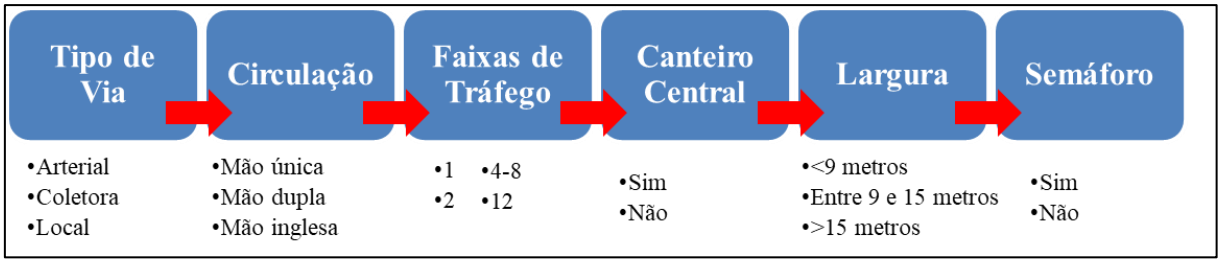


Figura 1: Atributos e respectivas características viárias consideradas (GUALBERTO, 2016)

Os dados foram coletados em boas condições de tempo e clima, sem precipitação e com o pavimento seco, evitando assim a inclusão de novas variáveis indesejadas para esse estudo. As filmagens foram realizadas nos meses de Abril de 2013 e entre Agosto e Novembro de 2014. O período escolhido para essa aquisição de informações foi entre 12:00 e 14:00, uma vez que neste horário existe um grande movimento de pedestres com diferentes características devido ao período de almoço. Cada travessia teve um tempo de gravação específico, com uma câmera CANON EOS 5D *Mark* II em qualidade *full* HD, gerando arquivos no formato *.mov*.

Todas as gravações foram analisadas cuidadosamente por uma equipe de no mínimo duas pessoas, a partir de critérios previamente estabelecidos, com o objetivo de garantir uma boa qualidade na medição. Os principais critérios de seleção da amostra de pedestres foram: realizar a travessia sem se deslocar muito na diagonal; (ii) atravessar no semáforo aberto para si; (iii) não correr durante a travessia. A medição da velocidade das pessoas adotou os seguintes critérios: começo da contagem do tempo a partir do momento que o pedestre saía da calçada em direção à rua e término do tempo quando alcançava a calçada e utilização de cronômetro para a marcação do tempo, a fim de se comparar com o tempo transcorrido no vídeo. Os pedestres cadastrados e tabulados foram 902, escolhidos aleatoriamente entre aqueles que atravessavam as ruas selecionadas. Os locais selecionados podem ser verificados em Gualberto (2016).

Na tabulação dos dados dos vídeos, o processo consistiu em escolher aleatoriamente pedestres filmados, que realizavam a travessia e atendessem aos critérios descritos na metodologia. Uma vez escolhido um pedestre, o vídeo era pausado no exato momento em que esse começava a travessia e reiniciado para medição do tempo, contando com o auxílio de um cronômetro. O tempo de travessia foi medido tanto pelo cronômetro, quanto pela barra de tempo do vídeo e depois comparadas às medições. O valor apontado pelo cronômetro foi o utilizado na tabulação, pois o dado possuía duas casas decimais. O valor medido pelo vídeo, sem qualquer casa decimal, serviu apenas como comparação. Caso os valores fossem discrepantes, a medida era realizada de novo. Uma vez que as travessias já haviam sido medidas, os valores das larguras foram inseridos em uma planilha que contava com o tempo de cada pedestre para atravessar a via. A partir da divisão da largura de cada travessia, em metros, pelo tempo de atravessamento, em segundos, obteve-se a velocidade de marcha de cada pedestre (m/s). O tamanho da amostra final foi de 902 casos.

3.3. Variáveis e características de pedestres

Conforme antecipado na introdução, a velocidade de caminhada durante a travessia das vias foi a principal variável definida para caracterizar o comportamento do pedestre, associada às características físicas como idade, sexo, obesidade e deficiência e outras características momentâneas, como o carregamento de peso e a travessia individualmente ou em dupla/grupo. A partir dos fatores/características extraídos, das análises dos vídeos e das configurações das vias selecionadas foi possível dividi-los em dois grupos: os fatores relativos às características dos pedestres e os fatores relacionados às características viárias.

A análise visual dos vídeos permitiu identificar os pedestres segundo as características sugeridas. Esta atividade foi executada pelos revisores dos vídeos, que estimaram a idade e classificaram as pessoas de acordo com o sexo, carregamento de peso, deficiência aparente, gravidez, obesidade e caminhar em grupo ou individualmente. A qualidade das filmagens digitais permitiu uma boa visualização da imagem de cada individuo da amostra, ainda assim, pode haver algum erro em relação à estimativa de idade. Foram consideradas grávidas somente as mulheres que claramente aparentavam estar esperando bebê. Quanto à obesidade, característica detalhada nesse estudo em relação às publicações anteriores (GUALBERTO e BARBOSA, 2016), a observação também foi realizada de maneira apenas visual, sendo considerada obesa a pessoa que possuía visível sobrepeso e muito obesa aquela que claramente estava obesa. A OMS, como indicado na revisão bibliográfica, classifica as pessoas em sobrepeso e obesas, de acordo com o IMC (Índice de Massa Corporal). Devido às limitações de dados e método de coleta deste trabalho, foram consideradas três categorias: não obeso, obeso e muito obeso. Este trabalho também relacionou as características de idade e obesidade, apontando a influência de um fator associado ao outro.

4. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA E ANÁLISE DE RESULTADOS

Esse estudo pretende explorar a vulnerabilidade dos idosos e obesos em relação aos demais pedestres presentes nas ruas. Assim sendo, verifica-se a necessidade de dados gerais permitindo uma análise comparativa. A amostra coletada nos vídeos foi selecionada a partir da população que passava nos locais de estudo. Foram escolhidos aleatoriamente os pedestres para a composição da amostra. Sendo assim, as características físicas dos pedestres seguem o padrão da população do local pesquisado (que circulava na região no momento das gravações). Com a amostra de 902 pessoas para este estudo, garantiu-se um intervalo de confiança de mais de 99% e margem de erro de 5%. Dessa forma, a amostra é adequada para

representar a população de pedestres das regiões analisadas. A Tabela 1 apresenta as estatísticas básicas para a velocidade de pedestres (média, desvio padrão, percentil 15, percentil 85, valores máximo e mínimo) de acordo com as variáveis adotadas no presente estudo: sexo, idade, extensão da travessia, mobilidade reduzida, semáforos, obesidade, carregamento de peso e gravidez aparente. A Tabela 1 também aponta 206 casos de obesidade (23%) e 49 pessoas idosas (5,5%). Os idosos são considerados os pedestres que foram classificados com faixa etária acima de 65 anos. A velocidade média dos pedestres obesos é mais baixa quando comparada à velocidade média de todo grupo estudado (1,20 x 1,28 m/s). As velocidades do grupo obeso que representam o percentil 85 e 15, são respectivamente, 1,46 m/s e 0,93 m/s. Dessa maneira, considerando 1,22m/s como a velocidade adotada para cálculo de programação semafórica, estima-se que mais de 50% dos obesos estão caminhando em uma velocidade abaixo do valor estipulado para uma travessia, uma vez que a velocidade no percentil 50 do grupo obeso foi de 1,17 m/s.

No caso da população idosa, as velocidades que representam o percentil 85 e o percentil 15 foram estimadas em 1,22 m/s e 0,82 m/s, respectivamente. Ou seja, considerando percentil 85 da amostra, apenas 15% dos pedestres idosos terão velocidades acima desse valor, sendo justamente essa a velocidade normalmente instituída na programação semafórica. Ou seja, 85% da população idosa da amostra estudada encontra-se em nítida situação de vulnerabilidade ao atravessar um via de trânsito por andarem mais lentamente que a velocidade adotada nos principais manuais de tráfego mundiais.

Tabela 1: Velocidades de pedestres de acordo com as variáveis adotadas

Variável		**N**	$V_{média}$ (m/s)	σ (m/s)	V_{15} (m/s)	V_{85} (m/s)	V_{min} (m/s)	V_{max} (m/s)
Sexo	Feminino	**496** (55%)	1,25	0,27	0,99	1,53	0,43	2,22
	Masculino	**406** (45%)	1,31	0,25	1,07	1,55	0,52	2,37
Idade	< 15	**13** (1,44%)	1,28	0,28	1,07	1,48	0,89	1,98
	15 – 18	**24** (2,66%)	1,31	0,19	1,08	1,51	0,99	1,65
	18 – 30	**363** (40,24%)	1,34	0,25	1,11	1,59	0,82	2,37
	30 – 45	**273** (30,27%)	1,27	0,25	1,01	1,52	0,43	2,06
	45 – 65	**180** (19,96%)	1,22	0,28	0,96	1,49	0,43	2,15
	> 65	**49** (5,43%)	1,07	0,23	0,82	1,22	0,47	1,84
Extensão da travessia	≤ 10 m	**294** (32,59%)	1,26	0,24	1,00	1,52	0,69	2,20
	10 – 12 m	**476** (52,77%)	1,30	0,28	1,06	1,55	0,43	2,37
	≥ 12 m	**132** (14,64%)	1,22	0,25	0,95	1,48	0,75	1,89
Mobilidade reduzida	Sim	**27** (3%)	0,93	0,32	0,65	1,22	0,43	1,82
	Não	**875** (97%)	1,29	0,25	1,04	1,54	0,43	2,37
Semáforo	Sim	**661** (73,28%)	1,28	0,26	1,04	1,53	0,43	2,37
	Não	**241** (26,72%)	1,26	0,26	0,99	1,56	0,69	2,20
Obesidade	Sim	**206** (22,84%)	1,20	0,28	0,93	1,46	0,43	2,03
	Não	**696** (77,16%)	1,30	0,25	1,05	1,55	0,52	2,37
Carregamento de peso	Sim	**141** (15,63%)	1,24	0,26	1,00	1,51	0,47	2,37
	Não	**761** (84,37%)	1,28	0,26	1,02	1,55	0,43	2,22
Gravidez		**4** (0,44%)	1,15	0,19	0,99	1,29	0,90	1,29
Fatores redutivos	Sim	**103** (11,42%)	0,99	0,16	0,85	1,18	0,52	1,55
	Não	**799** (88,58%)	1,31	0,25	1,08	1,56	0,43	2,37
Fatores aditivos	Sim	**93** (10,31%)	1,49	0,31	1,14	1,80	0,87	2,37
	Não	**809** (89,69%)	1,25	0,25	1,00	1,50	0,43	2,22
	Total	**902** (100%)	**1,28**	**0,26**	**1,01**	**1,54**	**0,43**	**2,37**

FONTE: (GUALBERTO e BARBOSA, 2016)

A obesidade é um fator pessoal relevante na velocidade de travessia das pessoas. Muitos pedestres com sobrepeso possuem mais dificuldade em realizar uma travessia, especialmente se estes são "pressionados" a desenvolver velocidades maiores para completar o percurso em segurança. No Brasil, de acordo com o IBGE (2015), com base nos dados publicados em Agosto de 2015, o total de obesos corresponde a 20,8% da população. A Figura 2 apresenta os valores observados em relação à obesidade dos pedestres que realizavam a travessia dos locais selecionados.

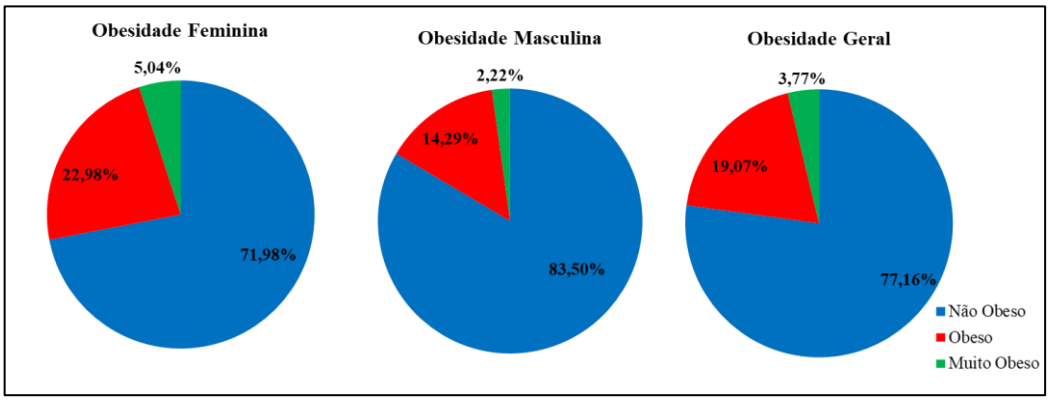


Figura 2 – Obesidade dos pedestres na amostra

Comparando-se os dados da Figura 2 com a Tabela 2, que resume os dados coletados por este órgão, verifica-se que a amostra resultante se aproxima bastante dos dados fornecidos pelo IBGE. Os dados apresentados na Figura 2 deste trabalho apontam que 23% da amostra possui obesidade ou muita obesidade, e os dados do IBGE apontam para a população brasileira um valor de 20,8%. Para os valores femininos e masculinos, a observação indica 28% e 16,5% respectivamente, resultados similares aos mensurados pelo IBGE, de 24,4% e 16,8%. Essa análise indica que a amostra desta pesquisa segue a tendência dos padrões da população brasileira. Considerando a classificação dos indivíduos da amostra em função da variável obesidade, verifica-se que a velocidade praticada por obesos tende a ser menor, de acordo com os valores médios expostos na Tabela 1.

Tabela 2 – Dados de obesidade da população brasileira fornecidos pelo IBGE

Grupos de Idade	Obesidade Total	Obesidade Masculina	Obesidade Feminina
Total	**20,8%**	**16,8%**	**24,4%**
18 – 24	10,3%	8,6%	12,0%
25 – 29	15,5%	13,6%	17,5%
30 – 34	18,4%	16,7%	20,0%
35 – 44	23,5%	18,8%	27,6%
45 – 54	25,3%	20,2%	29,9%
55 – 64	28,0%	23,0%	32,2%
65 – 74	24,2%	18,9%	28,5%
> 74	18,7%	11,7%	23,8%

Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Trabalho e Rendimento, Pesquisa Nacional de Saúde 2013.

Quanto maior a obesidade observada, menor a velocidade média medida. Isso indica, conforme mencionado anteriormente, que a obesidade leva a uma diminuição do ritmo de

caminhada. Entre as pessoas consideradas obesas e muito obesas (206 pessoas = 23%), a velocidade média de caminhada está abaixo do padrão (1,22 m/s) estabelecido pelos manuais de tráfego no mundo (MUTCD, 2003; ITE, 2013).

A obesidade também é um fator que pode ser associado às faixas de idade dos pedestres observados. Na Tabela 4, pode-se notar que em todas as faixas etárias, os obesos e muito obesos andam mais devagar do que os considerados não obesos.

Tabela 3 – Veloc. médias e percentual de pedestres não obesos, obesos e muito obesos por faixa etária

Descrição	Percentual	Velocidade média (m/s)
Não obeso		**1,30**
<15	1,87%	1,28
15 – 18	3,16%	1,32
18 – 30	43,68%	1,36
30 – 45	28,30%	1,28
45 – 65	17,82%	1,23
> 65	5,17%	1,11
Obeso		**1,21**
15 – 18	1,16%	1,23
18 – 30	30,23%	1,24
30 – 45	38,37%	1,24
45 – 65	24,42%	1,18
> 65	5,81%	0,94
Muito obeso		**1,15**
18 – 30	20,59%	1,10
30 – 45	29,41%	1,19
45 – 65	41,18%	1,20
> 65	8,82%	0,95
Total Geral		**1,28**

A partir do exposto, nota-se que os idosos da amostra, percentualmente, têm uma maior propensão à obesidade e ao mesmo tempo são os mais afetados quando se compara a velocidade média dos idosos não obesos com os idosos obesos. Enquanto um idoso não obeso anda a 1,11 m/s, aqueles obesos andam a 0,94 m/s, ou seja, uma diferença de 0,17 m/s. Por outro lado, para os adultos (30-45 anos), essa mesma diferença é de 0,10 m/s. Isso significa que, de maneira geral, o aumento do peso nos idosos tem uma influência maior do que nos adultos. A obesidade, como indicado previamente, tem maior incidência sob a população feminina. Em todas as faixas etárias da amostra, as mulheres estão com percentuais de obesidade superiores aos dos homens. Isso aumenta a vulnerabilidade das mesmas, uma vez que esse trabalho infere que a obesidade é um fator de risco nas travessias de vias urbanas.

5. UTILIZAÇÃO DO MODELO DE PREVISÃO DE VELOCIDADES

Com base no modelo de previsão de velocidades criado por Gualberto (2016) é possível predizer a velocidade média de caminhada dos pedestres, de acordo com os dados de entrada de suas características. Para esse artigo foi criado um cenário atual com base nos dados populacionais observados pelo IBGE (2015) e Ministério da Saúde (2016). Esses órgãos apontaram a porcentagem de cidadãos por faixa etária e a proporção de obesos no contexto experimental. As demais características (dos pedestres e da via) foram escolhidas a partir da

ocorrência das mesmas na coleta de dados apresentada na Tabela 1. Essas características foram mantidas nas projeções futuras, evitando-se inserir variáveis diferentes na comparação.

Utilizando-se dos dados do IBGE (2015) e da pesquisa do Ministério da Saúde (2016), realizada pela VIGITEL, foi-se projetado cenários populacionais futuros para os anos de 2022 e 2030. A escolha de 5 anos para o primeiro cenário foi determinada pelos autores, visando uma atuação mais prática e recente de planejamento urbano. O ano de 2030 foi escolhido com base nas informações do IBGE, que garante um grau de confiança alto em suas projeções até esse ano (>90%). Com essas informações, foi possível realizar uma comparação das velocidades de travessia de pedestres entre o cenário atual e esses cenários futuros. Os dados dessa comparação são apresentados na Tabela 5.

Tabela 4: Velocidades preditas de pedestres nos cenários criados

Variável \ Ano	2017	2022	2030
Idade	< 15 = 8,5% 15 – 18 = 13% 18 – 30 = 23,5% 30 – 45 = 26% 45 – 65 = 21% > 65 = 8%	< 15 = 7% 15 – 18 = 13% 18 – 30 = 22% 30 – 45 = 27% 45 – 65 = 21% > 65 = 10%	< 15 = 5% 15 – 18 = 13% 18 – 30 = 22% 30 – 45 = 26% 45 – 65 = 20% > 65 = 14%
Obesidade	19%	23%	26%
Velocidade Média	**1,3226 m/s** **4,76 km/h**	**1,3157 m/s** **4,74 km/h**	**1,3053 m/s** **4,70 km/h**

Os dados para gravidez, deficiência, travessia em grupo, carregamento de peso e sexo foram mantidos inalterados nos três cenários. A extensão da travessia foi de 8 metros, por ser considerada uma largura média entre os tipos possíveis. Além disso, a travessia possui semáforo em todas as situações. Preservando-se as características dos locais analisados, foi possível ter uma ideia correta da influência somente do aumento da obesidade e do envelhecimento da população sobre a velocidade média dos pedestres.

Os resultados indicam uma pequena variação na velocidade. De 2017 para 2022 haveria uma redução de 0,01 m/s (0,02 km/h) e de 2017 para 2030, redução de 0,02 m/s (0,06 km/h). Apesar de aparentemente a redução de velocidade global ser considerada pequena, análises mais aprofundadas podem sugerir que determinados grupos etários sejam mais afetados pelo aumento da obesidade, conforme já mencionado anteriormente nesse trabalho.

6. CONCLUSÕES

O artigo teve como principal objetivo ponderar e compreender as características dos pedestres em travessias de vias urbanas. Os idosos e obesos foram destacados em uma análise particular perante aos demais pedestres. A revisão bibliográfica contou com diversos artigos da área de saúde, demonstrando a grande influência e relação do setor médico com a engenharia de tráfego. Um dos tratamentos para a obesidade é a caminhada. Caso os ambientes urbanos não sejam adequados para as pessoas com sobrepeso e obesas se locomoverem, eles estarão sujeitos a um ciclo que pode levar à morbidez como estilo de vida. As análises dos dados indicaram uma velocidade média da amostra de 1,28 m/s e uma distribuição normal dos dados. No entanto, a velocidade média de 1,07 m/s e 1,20 m/s obtidos para pedestres idosos e obesos, respectivamente, são menores, até mesmo, que o valor da velocidade de 1,22 m/s,

usada como uma base para a temporização do sinal de tráfego em muitas cidades de todo o mundo.

Com os dados de velocidade de pedestres, foi possível utilizar um modelo de previsão de velocidades para criar três cenários (2017/2022/2030) com o envelhecimento estimado da população (IBGE), bem como o aumento projetado do número de obesos (Ministério da Saúde). As velocidades preditas foram comparadas, indicando pequena variação (0,01 m/s de 2017 para 2022 e 0,02 m/s de 2017 para 2030). Essa pequena variação pode se tornar um grande problema de tráfego ao se inserir esses valores nas bases de programação semafórica.

As limitações encontradas durante o desenvolvimento do estudo foram, conforme apontado na metodologia, a observação realizada de maneira apenas visual, acarretando uma limitação de dados, sendo considerada obesa a pessoa que possuía visível sobrepeso e muito obesa aquela que claramente estava obesa. A OMS, como indicado na revisão bibliográfica, classifica as pessoas em sobrepeso e obesas, de acordo com o IMC (Índice de massa corporal). Nesse mesmo sentido, a análise da idade dos pedestres também era feita exclusivamente de maneira visual, podendo conter alguns dados não correspondentes com a realidade. Essas limitações indicam um caminho a seguir para o desenvolvimento de trabalhos futuros. Podem-se realizar entrevistas em conjunto com a coleta de dados de velocidade, permitindo maior credibilidade às informações de IMC e de idade. Os dados médicos, tais como a incidência de sarcopenia na população, também podem ser utilizados para aumentar os parâmetros de criação de cenários de previsão de velocidade. Outro fator a ser considerado em trabalhos futuros é a programação semafórica, que pode ser modificada e afetada por cenários onde a proporção de idosos e obesos é maior que o padrão/proporção considerado atualmente. Os cenários criados, em conjunto com dados de classificação da população de determinados locais ou travessias, servem de subsídio para estipulação de programações semafóricas mais adequadas à circulação de idosos e obesos, dependendo da proporção destes no local analisado, garantindo maior conforto e segurança para todas as pessoas que realizam travessias urbanas.

Agradecimentos
Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolv. Científico e Tecnológico – CNPq e à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG pela concessão de auxílio para realização dessa pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves LS, Rodrigues RN (2005). Determinantes da autopercepção de saúde entre idosos do município de São Paulo, Brasil. *Rev Panam Salud Publica*; 17(5-6):333-341.

Asher, L. *et al* (2012). Most older pedestrians are unable to cross the road in time: A cross-sectional study. *Age and Ageing*, v. 41, n. 5, p. 690–694.

AUSTROADS (1995). Guide to Traffic Engineering Practice. *Part 13 – Pedest.* Sidney: Standards Australia.

Bohannon RW, Andrews AW, Thomas MW (1996). Walking speed: reference values and correlates for older adults. *J Orthop Sports Phys Ther*. 24(2):86-90.

Brasil (1997) Lei nº 9.503 de 23 de setembro de 1997. Institui o Código de Trânsito Brasileiro (CTB). *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 24 de setembro de 1997, p. 21201.

Brasil (2010). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Censo demográfico 2010: população estimada 2015. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=310620>.

Carneiro J. A., Silva, M.S., & Vieira, M. F (2009). Efeitos do Método Pilates e do Treinamento com pesos na cinemática da marcha de mulheres obesas. *Brazilian Journal of Biomechanics*, 18, 33-43.

Cruz-Jentoft AJ, Landi F, Topinková E, Michel JP (2010). Understanding sarcopenia as a geriatric syndrome. *Curr Opin Clin Metab Care*; 13(1):1-7.

Dalton *et al.* (2003). Waist circumference, waist-rip ratio and body mass index and their correlation with cardiovascular disease risk factors in Australian adults. *Journal of Internal Medicine*, 254, 555-563.

Elble RJ, *et al.* (1991). Stride-dependent changes in gait of older people. *J Neurol*. 238(1):1-5.

Faintuch, S, A., *et al.* (2005). Gait Cinematic Analysis in Morbidly Obese Patients. *Obesity Surg*, 15, 1238-1242.
FHWA (2003) Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways. Federal Highway. Edição 2003. Washington: Federal Highway Administration.
Fried LP, Tangen CM, Walston J, Newman AB, Hirsch C, Gottdiener J, Seeman T, Tracy R, Kop WJ, Burke G, McBurnie MA (2001). Frailty in older adults: Evidence for Phenotype. *J Gerontol*; 56(3):164-156
Gualberto, F.; Barbosa, H. M.; Amorin, J. A.; Thebit, M (2013) Velocidade de pedestres em área hospitalar – um estudo exploratório. *Anais do XXVII Congresso de Pesq. e Ensino em Transp.,* ANPET, Belém; v.1 p. 12.
Gualberto, F (2016). Estudo dos fatores que influenciam o comportamento de pedestres em travessias de vias urbanas. 2016. 162 f. Dissertação (Mest. em Eng. de Transportes) – Esc. de Eng, UFMG, Belo Horizonte.
Gualberto, F.; Barbosa, H. M. (2016) Estudo dos fatores que influenciam o comportamento de pedestres em travessias de vias urbanas. *Anais do XXX Cong. de Pesq. e Ens. em Transp.,* ANPET, R. de Jan; v.1 p. 12.
Hardy SE, Perera S, Roumani YF, Chandler JM, Studenski SA (2007). Improvement in usual gait speed predicts better survival in older adults. *J Am Geriatr Soc.* 55(11):1727-34.
Hollman JH, *et al.* (2008). Minimum detectable change in gait velocity during acute rehabilitation following hip fracture. *J Geriatr Phys Ther*. 31(2):53-6.
INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA (2015). Pesq. Nac. De Saúde 2013: Ciclos De Vida. Brasil e grandes regiões / IBGE, Coord. de Trabalho e Rend. - Rio de Janeiro : IBGE, 2015. 92 p.
International Association for the Study of Obesity – IASO (2012); *About Obesity*. Disponivel em: http://www.worldobesity.org/data/
Knoblauch, R. L.; M. T. Pietrucha e M. Nitzburg (1996) Field Studies of Pedestrian Walking Speed and Start-Up Time. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n.1538, p. 27–38.
Lauretani R, Jorge MHPM, Gotlieb SLD (2005). Perfil epidemiológico da morbi-mortalidade masculina. *Cien Saude Colet*; 10(1):35-46.
Lee, J. Y. S.; Lam, W. H. K (2008). Simulating pedestrian movements at signalized crosswalks in Hong Kong. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 42, n. 10, p. 1314–1325.
Marisamynathan; Perumal, V (2014) Study on pedestrian crossing behavior at signalized intersections. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, v. 1, n. 2, p. 103–110.
Ministério da Saúde (2016). Vigitel Brasil 2016. Saúde Suplementar: vigilância de fatores de risco e proteção para doenças crônicas por inquérito telefônico. Brasília, 2016.
Murray MP, Kory RC, Clarkson BH (1969). Walking patterns in healthy old men. *J Gerontol*. 24(2):169-78.
Novaes, RD, Miranda, AS, Dourado, VZ (2011). Rev Bras Fisioter; 15(2):117-22.
Oberg T, Karsznia A, Oberg K (1993). Basic gait parameters: reference data for normal subjects,10-79 years of age. *J Rehabil Res Dev*. 30(2):210-23.
Papadimitriou, E.; Yannis, G.; Golias, J (2009) A critical assessment of pedestrian behaviour models. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, v. 12, n. 3, p. 242–255.
Ryall JG, Schertzer JD, Lynch GS (2008). Cellular and molecular mechanisms underlying age-related skeletal muscle wasting and weakness. *Biogerontology*; 9(4):213-228.
Silva, A. M. C. B.; Da Cunha, J. R. R.; Da Silva, J. P. C (2014) Estimation of pedestrian walking speeds on footways. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Municipal engineer*, v. 167, n. 1, p. 32-43.
TRB (2000) Highway Capacity Manual – *Transportation Research Board.* National Research Council. Washington, D.C: The National Academies.
WHO (2013) World Healthy Organization. Pedestrian safety: a road safety manual for decision-makers and practitioners. Genebra, Suíça: World Health Organization.
Yang Y, George, LK (2005). Functional disability, disability transitions, and depressive symptoms in late life. *Aging Health*; 17(3):263-292.
Veras R (2009). Envelhecimento populacional contemporâneo: demandas, desafios e inovações. *Rev Saude Publica*; 43(3):548-554.

Frederico Gualberto (fredgualberto@gmail.com)
Janaína Amorim Dias (janaina.mobilidade@gmail.com)
Heloisa Maria Barbosa (helobarb55@gmail.com)
Marcelo Franco Porto (marcelo@etg.ufmg.br)
Escola de Engenharia da UFMG
Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia: Núcleo de Transportes – NUCLETRANS
Marconi Gomes da Silva (sportifmarconi@gmail.com)
SPORTIF – Clínica do exercício e do Esporte / Diretor da Sociedade Mineira de Medicina do Exercício e do Esporte / Membro do Comitê de Cardiologia do Esporte da Sociedade Mineira de Cardiologia

ANÁLISE E MODELAGEM DO COMPORTAMENTO DE PEDESTRES EM TRAVESSIAS

Francisco Edson Macedo FIlho
Mário Angelo Nunes de Azevedo Filho
Universidade Federal do Ceará
Departamento de Engenharia de Transportes

RESUMO
As travessias irregulares são a causa principal dos acidentes envolvendo pedestres. A existência de infraestruturas que possibilitem as travessias é de grande importância para a garantia da acessibilidade, mas não servem de forma completa ao propósito em que são implementadas, já que parte dos pedestres opta por não utilizá-las ou seguir a sinalização vigente. Diante disso, essa dissertação de mestrado objetiva avaliar em que medida os aspectos do ambiente urbano e do pedestres influenciam as escolhas dos mesmos durante as travessias. Os resultados obtidos fornecerão subsídios para investigar condutas de risco e aprimorar simulações de pedestres no sentido de avaliar de forma dinâmica o desempenho operacional e de segurança viária de entidades urbanas, assim como amparar decisões referentes ao projeto geométrico e operacional de áreas de conflito entre pedestres e outros modais.

Francisco Edson Macedo Filho (macedo@det.ufc.br)
Mário Angelo Nunes de Azevedo Filho (azevedo@det.ufc.br)
Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará
Av. Mister Hull, s/n - Pici, Fortaleza - CE, 60455-760

VALORAÇÃO DOS FATORES QUE INFLUENCIAM O USO DE BICICLETAS NAS VIAGENS DE ESTUDO: PESQUISA EXPERIMENTAL NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Mariana Moreira Sonaglia
Shanna Trichês Lucchesi
Ana Margarita Larranaga. Uriarte
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia de Produção e Transportes

RESUMO
Este trabalho tem como objetivo identificar as características que influenciam o uso de bicicleta na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Para tal, foi conduzida uma pesquisa de preferência declarada com estudantes de um dos campi da universidade. O instrumento de pesquisa foi elaborado utilizando técnicas de projeto de experimentos e alternando cenários com elementos da infraestrutura cicloviária reconhecidos na literatura como influentes para uso do modal. Um modelo logit ordenado foi utilizado para identificar a importância de cada elemento e calcular as probabilidades de usos com as infraestruturas testadas. O elemento mais valorizado foram as ciclovias seguidas pelo sistema de empréstimo de bicicletas. A união desses dois elementos com adição de vestiários e bicicletário, pode dobrar o número de usuários da situação atual, sem nenhum tipo de infraestrutura.

ABSTRACT
This study aims to identify the influence characteristics of bicycle use in Universidade Federal do Rio Grande do Sul. A stated preference survey was conducted with students from one of the university campuses. The survey instrument was elaborated using experimental design techniques, alternating scenarios with cycling infrastructure elements recognized as influential for modal use in literature. An ordered logit model was used to identify the importance of each element and to calculate the probabilities of uses with the infrastructures tested. The most valued element was the bike paths followed by the share bicycle systems. Adding locker rooms and bicycle park, these two elements can double the number of users of the current situation, without any infrastructure.

1. INTRODUÇÃO

A participação do transporte não motorizado na divisão modal das cidades brasileiras, ainda está muito abaixo do necessário para torna-las saudáveis e sustentáveis. Comuns em cidades de pequeno porte, o número de pessoas que se deslocam a pé ou por bicicleta reduz conforme aumenta a dimensão do município (ANTP, 2014). Essa redução ocorre devido ao acréscimo nas distâncias a serem percorridas e a consequente migração para modos motorizados de transporte, especialmente automóveis individuais. Estes fatos ressaltam a importância de políticas de mobilidade urbana que incentivem a utilização de modos não motorizados de transporte que sejam compatíveis com as dimensões das cidades.

Tentando reverter os processos de migração para modos menos sustentáveis de transporte, os governos buscam investir em infraestrutura e tecnologias que tornem atrativo o uso da bicicleta ou da caminhada. A cidade de Porto Alegre, seguindo a tendência do país, também vem direcionando seus investimentos, tanto do setor público como através de parcerias com o setor privado, em implantação de ciclovias, ciclofaixas e sistemas de compartilhamento de bicicletas. Entretanto, grandes polos geradores de viagens como empresas e instituições de ensino, podem implantar medidas que estimulem seus colaboradores, estudantes, clientes e visitantes ao uso de modais não motorizados sem depender de investimentos públicos. Ações de mobilidade corporativa localizadas podem complementar e potencializar medidas a nível de cidade.

Diversos estudos na literatura analisaram o transporte de bicicleta tanto no exterior (Aultman-Hall, 1996; Braun *et al.*, 2016; Buehler, 2012; Cairns *et al.*, 2010; Damant-Sirois e El-Geneidy, 2015; Dill e Carr, 2003; Hunt e Abraham, 2007; Menghini *et al.*, 2009; Pucher e Dijkstra, 2003; Stinson e Bhat, 2004; Vandenbulcke *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2015; Wardman *et al.*, 1997) quanto no Brasil (Albino e Portugal, 2015; Córdova e Nodari, 2015; Providelo e Sanches, 2010; Rodrigues, 2017; Segadilha e Sanches, 2014; Taco *et al.*, 2010). Muitas destas pesquisas analisaram, principalmente, os fatores que influenciam a escolha da rota do ciclista e a frequência do uso da bicicleta, usando experiências de escolhas declaradas como um instrumento para coletar informações dos próprios ciclistas. Esta informação é útil para determinar políticas e medidas favoráveis aos ciclistas, mas não para angariar novos usuários que não fazem uso da bicicleta regularmente (Twaddle, 2011). As preferências dos ciclistas não podem ser extrapoladas para o resto da população, visto que estes já a aderem ao modo. Adicionalmente, as universidades apresentam características diferenciadas em relação a outras instituições/empresas (Albino e Portugal, 2015; Barata *et al.*, 2011) e são menos exploradas na literatura, principalmente na literatura internacional. O impacto de políticas de transporte provavelmente também difere do obtido em outros ambientes. Percebe-se, ainda, que os jovens universitários, entre 16 e 29 anos, são um público muito receptivo ao modo cicloviário. Este estudo contribui neste contexto, analisando o potencial das universidades de promover ações com impactos efetivos no aumento do uso do modal.

O objetivo deste trabalho é identificar quais as facilidades mais valorizadas pelos potenciais usuários de bicicleta que podem ser implementadas pelas universidades e avaliar o impacto na demanda destas facilidades. Para isto, foi realizado um estudo de preferência declarada na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). A técnica adotada permite analisar a escolha de alternativas não disponíveis, como características da infraestrutura não existentes atualmente, e quantificar o impacto da implantação destas medidas. Modelos logit ordenados foram utilizados para estimar o uso da bicicleta e analisar a probabilidade de uso em diferentes cenários. A seção 2 descreve os fatores que incentivam o uso de bicicleta, a seção 3 o método utilizado, a seção 4 os resultados dos modelos estimados e a seção 5 apresenta as considerações finais do estudo.

2. FATORES QUE INCENTIVAM O USO DE BICILETAS

Apesar dos conhecidos benefícios do uso da bicicleta, o número de usuários nas grandes cidades brasileiras é pequeno. Estima-se que no Brasil, o percentual de uso do modal chega a 4,1% (ANTP, 2014). Pesquisas anteriores (Albino e Portugal, 2015; Braun *et al.*, 2016; Buehler, 2012; Damant-Sirois e El-Geneidy, 2015; Pucher e Dijkstra, 2003; Rodrigues, 2017; Vandenbulcke *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2015), assim como o Plano de Mobilidade por Bicicletas nas Cidades brasileiras (Brasil, 2007) identificam alguns fatores que estimulam e inibem o uso de bicicletas. Como estimuladores é possível citar o baixo custo de aquisição e manutenção, a eficiência energética do modal, a baixa perturbação ambiental, a contribuição à saúde do usuário, a facilidade de uso por qualquer pessoa independente da condição física, e a flexibilidade de horários e percursos. A análise das características inibidoras oportuniza a identificação de melhorias e, assim, o estímulo desse modo de transporte. Características que inibem o uso podem ser categorizadas como o raio de ação limitado, que está vinculado a características físicas do indivíduo como capacidade e o condicionamento físico; e das características da cidade, como a topografia local, a exposição às intempéries, a poluição e a falta de segurança seja segurança viária ou segurança pessoal.
Em Porto Alegre, uma pesquisa de demanda manifesta, realizada em 2006, divulgada no

Plano Diretor Cicloviário Integrado de Porto Alegre, constatou que os principais motivos que inibem o uso de bicicletas são o medo de acidentes e a falta de lugar seguro para deixar a bicicleta. A pesquisa também abordou fatores que incentivam o uso e as respostas demonstram que seria fonte de estímulo a instalação de ciclovias, bicicletários, chuveiros e integração com os demais modais (Porto Alegre, 2008). Os fatores apontados na pesquisa referem-se a elementos construídos como potencializadores do uso do modo e concordam com outras pesquisas que indicam que melhorias da infraestrutura são os maiores desejos de potenciais usuários que ainda não utilizam o modal (Albino e Portugal, 2015; Oliveira, 2012).

2.1. Elementos da infraestrutura que incentivam o uso de bicicleta

2.2.1 Bicicletários/ Paraciclos

O uso de bicicletas como meio de transporte demanda criação de lugares para estacionar por um curto ou longo período. Estes locais denominados de bicicletários e paraciclos já aparecem citados na legislação nacional desde o Código de Transito Brasileiro (Brasil, 1997). As infraestruturas para estacionar bicicletas podem ser de inúmeros tipos, desde espaços fechados cobertos na superfície da rua ou no subsolo com alto grau de segurança e proteção até pequenas e simples estruturas destinadas apenas a prender as bicicletas com um cadeado.

Os paraciclos são caracterizados como estacionamentos de curta ou média duração (até 2h, em qualquer período do dia), com até 25 vagas (correspondente à área de duas vagas de automóveis), de uso público e sem qualquer controle de acesso. A facilidade de acesso constitui uma das principais características dos paraciclos. Em virtude dessa condição, devem se situar o mais próximo possível do local de destino dos ciclistas, e também do sistema viário ou do sistema cicloviário. Dentre os fatores fundamentais à garantia da maior sensação de conforto dos ciclistas, citam-se como essenciais os seguintes: visibilidade, sinalização, elementos de projeto do paraciclo e adequação em número de vagas (CET-SP, 2015).

Os bicicletários devem ser, preferencialmente, cobertos, vigiados e dotados de alguns equipamentos como, por exemplo: bombas de ar comprimido, borracheiro e, eventualmente banheiros e telefones públicos (UCB, 2017). Devido aos custos, somente viabilizam-se no caso de utilização intensa por grande número de ciclistas. Já os paraciclos caracterizam se por serem gratuitos e pulverizados nos espaços urbanos. Em 2010, o arquiteto inglês Anthony Lau idealizou para uma corrida de bicicletas que ocorreria no Festival de Arquitetura de Londres a silhueta de um automóvel que na verdade seria um paraciclos. Transmitindo a mensagem de "onde cabe um carro cabem dez bicicletas". Essas instalações ficaram conhecidas como Car Bike Port e podem ser vistas em países como Suécia, Irlanda, Portugal e Luxemburgo.

A implantação de bicicletários foi incluída em alguns estudos sobre transporte cicloviário. Pesquisas realizadas por Porto Alegre (2008), Hunt e Abraham (2007), Rodrigues (2017) e Wardman *et al.* (1997), por exemplo, analisaram esta característica e observaram que a implantação favorece o uso do modal.

2.2.3 Empréstimo de bicicletas

O primeiro sistema de aluguel de bicicletas surgiu na Holanda em 1965 chamado como *Witte Fietsen* (bicicletas brancas) e consistia em bicicletas simples que o usuário poderia utilizar de forma gratuita para realizar um deslocamento e deixar em qualquer ponto da cidade para o próximo usuário. Esse modelo foi seguido em outras cidades europeias como na França e

Inglaterra. O sistema entrou em decadência pelos roubos e vandalismo (Melo e Maia, 2013).

O empréstimo de bicicletas já existe na cidade de Porto Alegre. Trata-se de um serviço de bicicletas púbicas chamado BikePoa , que disponibiliza através de uma mensalidade de valor reduzido o uso das bicicletas. Seus pontos de empréstimos estão espalhados em 40 localidades da cidade e conta com 400 bicicletas (Kohl *et al.*, 2015). Outra opção existente na cidade é o *Loop Bike Sharing*, uma *startup* (empresa jovem, inovadora e com um alto potencial de crescimento) que promove o compartilhamento de bicicletas de pessoas para pessoas, com acesso rápido, prático e flexível, as bicicletas através de uma plataforma colaborativa.

Pesquisas realizadas em diversas cidades analisaram o empréstimo de bicicletas e uso do modal. Por exemplo, os estudos realizados por Braun *et al.* (2016), Porto Alegre (2008), Damant-Sirois e El-Geneidy (2015), Pucher e Dijkstra (2003), Rodrigues (2017) e Vandenbulcke *et al.* (2011).

3.9.3 Vestiários

A presença de vestiários foi analisada em vários estudos (Cairns *et al.*, 2010; Hunt e Abraham, 2007; Porto Alegre, 2008; Rodrigues, 2017; Wang *et al.*, 2015). Esta medida foi identificada como um elemento importante para que os usuários possam realizar os deslocamentos de bicicleta. Wang *et al.* (2015), por exemplo, conduziram um estudo na Universidade de Ohio, Estados Unidos, sobre os hábitos de transporte de estudantes e funcionários e os fatores que influenciam suas decisões de viagem. Tanto os funcionários quanto os estudantes identificaram a presença de vestiário com chuveiro como um elemento importante, mas maior importância foi elencada pelos funcionários do que pelos estudantes.

3.9.4 Ciclovias

A existência de ciclovias separadas do fluxo de veículos mostrou ser um elemento importante em vários estudos (Buehler, 2012; Damant-Sirois e El-Geneidy, 2015; Porto Alegre, 2008; Rodrigues, 2017; Wang *et al.*, 2015). A ciclovia segregada apresenta maior impacto do que estruturas com barreiras físicas (ciclofaixas) implantadas em vias locais em áreas residenciais (Wardman *et al.*, 1997; Winters *et al.*, 2011).

2.1. Programas Relacionados ao uso de bicicletas em universidades

São encontrados na literatura alguns estudos e/ou instituições universitárias que estabeleceram programas para incentivar que seus alunos e colaboradores desloquem-se de bicicleta para ir à universidade. Alguns estudos nesta linha foram realizados por Rybarczyk e Gallagher (2014) na Universidade de Flint (Michigan, Estados Unidos), Bonham e Koth (2010) na Universidade de Adelaide (Adelaide, Austrália), Franco (2011) na Pontifícia Universidade Católica do Paraná (Brasil). Estes estudos apontam que a provisão de infraestrutura adequada estimula a adoção do modal cicliviário. Albino e Portugal (2015) realizaram uma revisão bibliográfica neste sentido, analisaram os fatores que influenciam no uso da bicicleta como modo de transporte em viagens às universidades. Os autores identificaram que a falta de estrutura cicloviária adequada e de políticas incentivadores para a prática do ciclismo contribuem diretamente para uma repulsão a este modo de transporte.

Em Curitiba, a Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR), desenvolveu em 2009 um Plano de Mobilidade para seus alunos e funcionários. Entre as ações previstas estão a aumentar o número de vagas do bicicletário e criar algumas vagas cobertas em ambiente

fechado. Metas como a redução do uso de carro de 51% para 41% entre os alunos e o aumento do uso de bicicletas de 1% para 5% foram estabelecidas visando melhorar a condição de mobilidade da universidade (PUCPR, 2009). Em Brasília, estudos foram conduzidos na Universidade Federal de Brasília (UNB) (Taco *et al.*, 2010). A UFRGS possui um comitê para discutir ações que incentivem o uso do modal, o Pedala UFRGS, mas embora nenhuma ação ainda esteja reportada na literatura (JUNIOR *et al.*, 2015), as primeiras ações recentemente tiverem início.

3. METODOLOGIA

Modelos de escolha discreta foram estimados para analisar a utilização de bicicleta frente a características de infraestrutura apresentadas. Os modelos de escolha discreta analisam escolha de uma alternativa, realizada por um indivíduo, dentre um conjunto finito de alternativas mutuamente exclusivas e coletivamente exaustivas (Ortúzar e Willumsen, 2011). Estes modelos estão fundamentados na teoria da utilidade aleatória (Ben-Akiva e Lerman, 1985; McFadden, 1973; Ortúzar e Willumsen, 2011) e são baseados no princípio da maximização da utilidade, no qual o tomador de decisão é modelado selecionando a alternativa de maior utilidade dentre aquelas disponíveis no momento da escolha. Estes modelos podem ser classificados em dois grandes grupos: (i) modelos com dados não ordenados (modelos probit/logit multinomial, logit hierárquico, condicional e logit misto); (ii) modelos com dados ordenados – probit e logit ordenados. Esta classificação se refere a como a variável endógena (resposta) é medida, dependendo se as alternativas que representa a variável endógena apresentam uma ordem entre elas (modelos com dados ordenados) ou não (modelos com dados não ordenados) (Greene e Hensher, 2008). Quando a variável dependente é discreta, mas seus valores indicam uma ordem, não é correto realizar a estimação através de modelos não ordenados, pois a ordem das alternativas de resposta aporta informação adicional para a especificação do modelo.

Neste estudo, modelos logit ordenados foram utilizados no processo de modelagem. As respostas obtidas da pesquisa de preferência declarada foram mensuradas numa escala semântica com 5 níveis: certamente sim; provavelmente sim; talvez; provavelmente não e certamente não. Esta escala representa uma ordem de preferência entre as respostas apresentadas, sendo adequado um modelo que considere esta informação. O modelo logit ordenado, ao invés de representar a probabilidade de escolha de cada alternativa (assim como o logit multinomial, por exemplo), apresenta uma distribuição de probabilidade de escolha entre as 5 categorias apresentadas, representando sua escala de preferência. As categorias de probabilidades são separadas por 4 limiares (pontes de corte), definidos como μ_j, sendo que j varia de 1 até 4, para a escala utilizada na pesquisa (Greene e Hensher, 2008).

A Utilidade calculada para cada indivíduo U_q = β'xq +ε, onde ε apresenta distribuição logística, representa a preferência do entrevistado no assunto da pesquisa, é comparada com os limiares estabelecidos no modelo. Sendo 1, se $U_n < \mu_1$; 2, se $\mu_1 < U_n < \mu_2$; 3, se $\mu_2 < U_n < \mu_3$; 4, se $\mu_3 < U_n < \mu_4$ e 5, se $U_n > \mu_4$, onde μ_1, μ_2, μ_3 e μ_4 são números reais. Assim, a probabilidade de cada resposta estar em determinada categoria *j* é dada por:(Equação 1):

$$\Pr ob(y = j) = L(\mu_j - \beta' x) - L(\mu_{j-1} - \beta' x) \quad (1)$$

onde *L* representa a distribuição logística acumulada (Equação 2) e os μ_s são os pontos de corte.

$$L(\beta' x) = \frac{e^{\beta' x}}{1 + e^{\beta' x}} \quad (2)$$

A estimação do modelo é realizada pelo método de máxima verossimilhança. Os coeficientes refletem os efeitos marginais das variáveis independentes sobre as chances de estar numa categoria superior (Greene e Hensher, 2008).

As alternativas consideradas nos modelos foram $V_{\text{uso de bicicleta:com infraestrutura}}$, representando variações na infraestrutura oferecida, e $V_{\text{uso de bicicleta:sem infraestrutura}}$, que representou a situação atual, sem infraestrutura adequada para o modal. Esta última adotou o valor 0, pois todas as características apresentadas estão ausentes na situação atual (adotando o valor 0 para cada atributo). Embora existam bicicletários em alguns lugares específicos no *campus*, entende-se que estes precisam ser adaptados e melhorados. Em ambas as alternativas foram consideradas funções de utilidade lineares nos parâmetros. Como empréstimo de bicicleta nesse estudo entende-se o sistema já existente em Porto Alegre, comum em outras cidades brasileiras, para facilitar o entendimento dos entrevistados quanto ao questionamento.

4.COLETA DE DADOS

4.1. Projeto do experimento.

O experimento de preferência declarada considerou 4 atributos, com 2 níveis cada um. Os atributos foram definidos a partir de uma revisão bibliográfica da literatura internacional e nacional, incluindo dois estudos realizados na cidade de Porto Alegre (Porto Alegre, 2008; Rodrigues, 2017). Os atributos selecionados foram: (i) presença de vestiários (Cairns *et al.*, 2010; Hunt e Abraham, 2007; Porto Alegre, 2008; Rodrigues, 2017) (ii) bicicletário (Hunt e Abraham, 2007; Porto Alegre, 2008; Rodrigues, 2017; Wardman *et al.*, 1997); (iii) empréstimo de bicicletas (Braun *et al.*, 2016; Damant-Sirois e El-Geneidy, 2015; Porto Alegre, 2008; Pucher e Dijkstra, 2003; Rodrigues, 2017; Vandenbulcke *et al.*, 2011); ciclovia (Buehler, 2011; Damant-Sirois e El-Geneidy, 2015; Porto Alegre, 2008; Rodrigues, 2017; Wang *et al.*, 2015). A Tabela 1 apresenta os atributos e níveis utilizados no projeto experimental.

Tabela 1: Descrição de atributos e níveis

Atributo	Nº níveis	Descrição do nível
Vestiários	2	Presença (1) ou ausência (0)
Bicicletário	2	Presença (1) ou ausência (0)
Empréstimo	2	Presença (1) ou ausência (0)
Ciclovias	2	Presença (1) ou ausência (0)

(Fonte: elaborado pelo autor)

O projeto experimental foi elaborado utilizando Projetos Eficientes (Rose e Bliemer, 2009) implementado no software NGene (Choice Metrics, 2014). O desenho eficiente foi utilizado para gerar estimativas de parâmetros com erros padrão tão pequenos quanto possível, utilizando o D-erro como medida de eficiência. Esta média de eficiência é minimizada buscando obter um design D-ótimo (com o menor D-erro) (Rose e Bliemer, 2009). Os projetos eficientes requerem valores iniciais para parâmetros da função utilidade. Assim, foram utilizados os resultados obtidos por Rodrigues (2017) para cidade de Porto Alegre. O projeto experimental resultou em 12 situações de escolha para serem apresentadas aos entrevistados (tabela 2). O D-erro foi de 0,25, valor aceitável para este tipo de desenhos (Choice Metrics, 2014).

Tabela 2: Projeto Experimental

Situação de escolha	Vestiário	Bicicletário	Empréstimo	Ciclovia
1	1	0	0	1
2	0	0	1	1
3	1	1	0	0
4	0	1	0	0
5	1	1	1	0
6	0	0	0	1
7	1	0	1	0
8	1	0	0	0
9	0	1	1	1
10	0	1	0	1
11	1	1	1	1
12	0	0	1	0

(Fonte: elaborado pelo autor)

4.2. Estrutura do questionário

O questionário foi estruturado em duas seções: (1) características dos indivíduos; (2) experimento de preferência declarada. A primeira seção envolveu perguntas relativas à idade, gênero, renda familiar, bairro de residência, vínculo com a UFRGS (*campus* centro), frequência de deslocamentos para o *campus* dos respondentes. A segunda seção apresentava as 12 situações de escolha aos entrevistados. A figura 1 traz um exemplo de apresentação das alternativas. Propôs-se que o entrevistado imaginasse seus deslocamentos de acesso ao campus da universidade e respondesse à pergunta apresentada utilizando uma escala probabilística: (1) certamente sim; (2) provavelmente sim; (3) talvez; (4) provavelmente não e (5) certamente não. Para facilitar a compreensão da pergunta foram utilizadas imagens ilustrando as situações de escolha. O questionário foi elaborado e disponibilizado via *Google Docs*.



Figura 1 – Exemplo de situação de escolha utilizada

4.3. Características da amostra

O estudo foi realizado no *campus* Centro da Universidade Federal do Rio Grande do Sul com alunos dos cursos de graduação e pós-graduação da universidade que estudam neste *campus*. Os dados foram coletados entre abril e maio de 2017, utilizando um questionário *on-line produzido pelos autores*. O link para acesso a pesquisa foi encaminhado ao público alvo, através de redes sociais e e-mail.

Um total de 209 entrevistados respondeu à pesquisa, sendo que 20 destes já utilizavam bicicleta como único meio de deslocamento até o *campus*. Estes entrevistados não foram considerados no experimento de preferência declarada, visto que são indivíduos cativos do modal analisado. Sendo, assim os modelos foram testados utilizando as respostas dos 189 respondentes restantes. Ainda, mais 47 alunos usam bicicletas complementando suas viagens com outros modos, totalizando 32%. A tabela 3 apresenta o resultado dos dados socioeconômicos investigados. Na tabela é possível observar a caracterização dos entrevistados quanto a gênero, faixa etária, renda e grau de instrução. A tabela mostra que a maioria dos respondentes (92%) possui entre 21 a 30 anos, e 60% dos respondentes são do gênero masculino. A grande maioria dos alunos respondentes cursa graduação (88%) e possuem renda média familiar entre R$ 2.000,00 a R$5.000,00.

Tabela 3: Relação de bairros e distâncias inclusos na pesquisa

Pergunta	Resultado
Gênero	60% homens e 40% mulheres
Idade	6% de 15 a 20 anos, 91% de 21 a 30 anos e 3% de 31 a 40 anos
Grau de instrução	88% alunos da graduação e 12 % da pós-graduação
Renda familiar	14,29% até R$2.000,00, 23,28% de R$ 2.000,00 a R$5.000,00, 20.63% de R$5.000,00 a R$8.000,00, 20.63% de R8.000,00 a R$12.000,00, 8,99% de R$12.000,00 a R$15.000,00, 11,64% acima de R$15.000,00 e 0,53% não responderam

(Fonte: elaborado pelo autor)

Cabe ressaltar, ainda, que a grande maioria dos alunos informou ir ao campus cinco dias da semana. Para identificar a distância percorrida pelos alunos foi questionado qual o seu bairro de origem. Os bairros foram agrupados de acordo com a distância do seu centro até o campus em estudo. O grupo de bairros presente em cada alternativa (A, B, C, D, E e F) estão apresentados na Tabela 4. O grupo 'outros' inclui bairros a uma distância maior que a distância usualmente ciclável (Kuhnimhof *et al.*, 2010).

Tabela 4: Relação de bairros e distâncias inclusos na pesquisa

Alternativas	Bairro	Distâncias média (km)	% de respostas
A	Centro Histórico, Bom Fim, Independência, Cidade Baixa e Farroupilha	1,3	33
B	Floresta, Rio Branco, Moinhos de Vento, Santana, Azenha, Praia de Belas e Menino Deus	2,8	16
C	Auxiliadora, Mon't Serra, Bela Vista e Petrópolis	4,2	9
D	Jardim Botânico, Partenon e Higienópolis	5,3	11
E	Três Figueiras e Teresópolis	6,8	3
F	Outros	-	28

(Fonte: elaborado pelo autor)

5. RESULTADOS DA MODELAGEM

Os resultados dos modelos estimados são apresentados na Tabela 5. O ajuste do modelo, indicado pelo Pseudo-R^2, foi baixo mas aceitável (as variáveis consideradas nos modelos apresentam poder explicativo para a escolha de uso de bicicleta), considerando que valores acima de 0,4 são considerados ótimos ajustes para esses tipos de modelos (Ortúzar e Willumsen, 2011). Provavelmente, a inclusão de outras características que poderiam influenciar a escolha melhoraria esse ajuste, como por exemplo, a condição climática, atitudes dos usuários e características urbanas do entorno. As variáveis do modelo foram estatisticamente significativas para um nível de confiança de 95% (valores-p menores que 0,05). Os sinais positivos dos parâmetros estimados para as características de infraestrutura

(*Vestiários, Bicicletário, Empréstimo* e *Ciclovias*) mostram que a presença de vestiários, bicicletários, empréstimo de bicicletas dentro do *campus* e a presença de ciclovias para o acesso ao *campus* estimulam a utilização de bicicleta para as viagens de acesso. O sinal positivo da variável *Masculino* indica que os homens são mais propensos à utilização de bicicleta do que as mulheres. As variáveis relativas ao bairro de residência mostram que a proximidade do bairro estimula o uso de bicicleta. Os valores obtidos para *Bairro A*, *Bairro B*, *Bairro C* são positivos e decrescentes, indicando que moradores destes bairros são mais propensos ao uso de bicicleta do que residentes de outros bairros.

Tabela 5: Resultados dos modelos Logit Ordenados

Variável	Parâmetros Estimados	Valor-p
Vestiários (1,0)	0.40	0.00
Bicicletário (1,0)	0.48	0.00
Empréstimo (1,0)	0.53	0.00
Ciclovias (1,0)	1.08	0.00
Masculino (1,0)	0.31	0.00
Bairro A (1, 0)	0.96	0.00
Bairro B (1,0)	0.82	0.00
Bairro C (1,0)	0.70	0.00
μ_1	-0.47	0.00
μ_2	0.94	0.00
μ_3	1.95	0.00
μ_4	2.98	0.00
Nº Observações	2268	
Log verossimilhança	-3376.78	
Pseudo-R^2	0.10	

* A constante específica para modelos logit ordenados estimados com Biogeme é igual à zero, pois o software não normaliza a escala dos limiares (μ)

(Fonte: elaborado pelo autor)

A função de utilidade que representa a utilização de bicicleta pode ser expressa como (equação 3):

$$V_{Uso\ de\ bicicleta} = 0{,}4 * Vestiários + 0{,}48 * Bicicletário + 0{,}53 * Empréstimo + 1{,}08 * Ciclovia + 0{,}31 * Masculino + 0{,}96 * Bairro\ A + 0{,}82 * Bairro\ B + 0{,}70 * Bairro\ C \quad (3)$$

Todas as variáveis foram definidas com a mesma escala, sendo possível a comparação direta entre valores dos coeficientes. Estes valores mostram que os indivíduos integrantes da amostra pesquisada atribuem maior importância, à implantação de ciclovias, empréstimo de bicicletas, instalação de bicicletários adequados e vestiários com chuveiros. A característica mais valorizada foi à presença de ciclovias (*Ciclovias*) que está fora dos limites de atuação da universidade, depende exclusivamente do poder público. As outras características incluídas na pesquisa podem ser implantadas e/ou melhoradas no *campus* para estimular as viagens de acesso de bicicleta. Dentre elas, o empréstimo de bicicletas e a instalação de bicicletários adequados foram as características de maior impacto.

As funções de utilidade obtidas foram utilizadas para o cálculo das probabilidades agregadas aplicando o modelo Logit Ordenado (Equação 1, seção 3). O cálculo agregado foi realizado computando a função utilidade em diferentes cenários. Cada cenário foi representado por diferentes características de infraestrutura a serem instalados no *campus*. Desta forma, foi possível identificar a proporção de usuários que utilizariam a bicicleta (conforme a escala utilizada para as respostas, estes usuários correspondem aos que provavelmente e certamente

utilizariam bicicleta) em diferentes cenários nos quais a universidade teria poder de atuação e implantação.

No cenário atual, sem infraestrutura adequada, a proporção de usuários obtida do modelo corresponderia a 39%, valor similar ao obtido na pesquisa de 32% (20 utilizavam a bicicleta como modo exclusivo e 67 combinando com outros modos). A pequena diferença existente na previsão do modelo pode ser devida a dois elementos: (i) ajuste do modelo; (ii) viés de política. Em relação ao ajuste, embora aceitável, o valor obtido foi baixo, podendo significar que alguns elementos importantes na escolha do modal podem não ter sido abordados conforme comentado anteriormente. Em relação ao viés de política, as pesquisas de preferência declarada sofrem esse viés quando o entrevistado responde deliberadamente de forma viesada para influenciar nas decisões ou políticas que entende que serão propostas a partir dos resultados da pesquisa. Neste caso, mostra que os respondentes são favoráveis a instalação de infraestrutura cicloviária, embora não utilizem o modal.

Analisando e combinando as opções de infraestrutura que são de âmbito da universidade implementar e propor melhorias, foram determinadas as probabilidades de uso de bicicleta, apresentadas a seguir (Tabela 6). A combinação de vestiários com bicicletas para empréstimo foi a opção que apresentou a maior probabilidade de uso, com 55,3%, um incremento de 15,5% da situação atual.

Tabela 6- Probabilidade de uso de bicicleta para ações da universidade

Situação atual	Vestiário	Vestiário + empréstimo	Bicicletário	Bicicletário + Vestiário
39,3%	46,3%	55,3%	47,7%	54,8%

(Fonte: elaborado pelo autor)

É possível observar que a probabilidade de uso de bicicletas entre alunos aumenta em 7% quando oferecido o vestiário. A instalação de vestiário e empréstimo de bicicletas aumentaria em 16% a probabilidade de escolha, proporção maior que a anterior. Em relação à instalação de bicicletários, a probabilidade de uso da bicicleta aumenta 8,4% quando oferecido aos estudantes bicicletários seguros pelo *campus*.

Combinando ações da universidade e do poder público, chegaram-se as combinações apresentadas na tabela 7. Neste caso, foram inseridas as condições com infraestrutura cicloviária na rota de deslocamento.

Tabela 7- Probabilidade de uso de bicicleta para ações da universidade e do poder público

Situação atual	Ciclovia	Ciclovia + empréstimo	Bicicletário+ Vestiário + Empréstimo	Bicicletário + Vestiário + Empréstimo + Ciclovia
39,3%	57,6%	66,1%	63,5%	78,5%

(Fonte: elaborado pelo autor)

A disponibilidade de ciclovias para acessar ao *campus*, representaria um acréscimo de 18% na intenção de uso da bicicleta. Quando combinadas com o empréstimo de bicicletas oferecido pela universidade, o acréscimo corresponde a 27%. As probabilidades obtidas ao se oferecer as quatro opções demostram um aumento de 39,2% da possibilidade de aderir ao uso da bicicleta, dobrando a o número de viagens da situação atual.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste estudo foi determinar a valorização das características de infraestrutura que

influenciam o uso de bicicletas para viagens de acesso ao campus Centro da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Nas análises foram identificadas as variáveis sobre as quais a universidade poderia intervir (*Vestiários*, *Bicicletário* e *Empréstimo*) e variáveis que necessitavam de ações por parte do poder público (*Ciclovias*). No modelo ainda foram inseridas características dos respondentes (*Masculino*) e variáveis explicativas das distâncias de deslocamento (*Bairro A*, *Bairro B* e *Bairro C*).

Os resultados descritivos da amostra, demostram que 32% dos respondentes utilizam bicicletas para suas viagens até a universidade. Os resultados dos modelos evidenciam que a disponibilidade de ciclovias adequadas é a característica mais importante para estimular o uso de bicicleta para novos usuários nas viagens de acesso ao campus. Entretanto, esta medida depende de ações do poder público, estando fora do alcance da universidade a sua implantação. Analisando as características internas ao campus, o empréstimo de bicicletas resultou na característica mais importante. Este serviço pode ser implantado sendo um serviço próprio da universidade similar ao existente ou apoiando o programa de empréstimo da cidade de Porto Alegre. O elemento menos valorizado foi os vestiários. Este resultado pode ter sido influenciado pelas características da amostra, uma vez que grande parte dos respondentes mora nos bairros próximos ao campus. Analisando as probabilidades agregadas de uso de bicicleta em diferentes cenários, os resultados mostram que a implantação de todas as características apresentadas incrementaria o uso de bicicleta em 39,2%. Considerando aquelas possíveis de serem implantadas por iniciativa exclusiva da universidade, o incremento no uso seria de 24,2%.

Os resultados desta pesquisa demonstram o poder de influência das universidades na alteração da escolha modal dos seus alunos. Inseridas em contextos urbanos complexos e responsáveis pela geração de viagens pendulares, as instituições de ensino precisam engajar-se em ações que estimulem o uso de modos sustentáveis de transportes. O diagnóstico de necessidades e a proposição de ações de melhorias da infraestrutura para ciclistas, além do envolvimento em negociações com o poder público local para criação de infraestrutura cicloviária são exemplos de ações que comitês gestores da mobilidade universitária, podem envolver-se para melhorara condição de circulação dos seus campi e de sua cidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albino, V. H. G., e Portugal, L. da S. (2015) Fatores De Influência No Uso Da Bicicleta Em Viagens a Universidades. *XIII Rio de transportes*.

ANTP. (2014) Sistema de Informações da Mobilidade Urbana: Relatório Geral 2014. *ANTP - Associação Nacional de Transportes Públicos*, 96. Obtido de http://files.antp.org.br/2016/9/3/sistemasinformacao-mobilidade--geral_2014.pdf

Aultman-Hall. (1996) *Commuter Bicycle Route Choice: Analysis of Major Determinants and Safety Implications*.

Barata, E., Cruz, L., e Ferreira, J. P. (2011) Parking at the UC campus: Problems and solutions. *Cities*, *28*(5), 406–413. doi:10.1016/j.cities.2011.04.001

Ben-Akiva, M., e Lerman, S. R. (1985) *Discrete Choise Analysis. Theory and Application to Travel Demand*.

Bonham, J., e Koth, B. (2010) Universities and the cycling culture. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *15*(2), 94–102. doi:10.1016/j.trd.2009.09.006

Brasil. (1997) Código de Trânsito Brasileiro.

Brasil. (2007) *Plano de Mobilidade por Bicicleta nas Cidades* (No. 1). Brasília.

Braun, L. M., Rodriguez, D. A., Cole-Hunter, T., Ambros, A., Donaire-Gonzalez, D., Jerrett, M., Mendez, M. A., Nieuwenhuijsen, M. J., e de Nazelle, A. (2016) Short-term planning and policy interventions to promote cycling in urban centers: Findings from a commute mode choice analysis in Barcelona, Spain. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *89*, 164–183. doi:10.1016/j.tra.2016.05.007

Buehler, R. (2011) Determinants of transport mode choice: a comparison of Germany and the USA. *Journal of*

Transport Geography, *19*(4), 644–657. doi:10.1016/j.jtrangeo.2010.07.005

Buehler, R. (2012) Determinants of bicycle commuting in the Washington, DC region: The role of bicycle parking, cyclist showers, and free car parking at work. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *17*(7), 525–531. doi:10.1016/j.trd.2012.06.003

Cairns, S., Newson, C., e Davis, A. (2010) Understanding successful workplace travel initiatives in the UK. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *44*(7), 473–494. doi:10.1016/j.tra.2010.03.010

CET-SP. (2015) *Manual para instalação de paraciclos na cidade de São Paulo*. São Paulo.

Choice Metrics. (2014) Ngene 1.1.2 User Manual & Reference Giude., 248.

Córdova, R. S., e Nodari, C. T. (2015) AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE CICLOFAIXAS EM RELAÇÃO A SEGURANÇA C. *XXIX CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA EM TRANSPORTE DA ANPET* (p. 2093–2104). OURO PRETO.

Damant-Sirois, G., e El-Geneidy, A. M. (2015) Who cycles more? Determining cycling frequency through a segmentation approach in Montreal, Canada. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *77*, 113–125. doi:10.1016/j.tra.2015.03.028

Dill, J., e Carr, T. (2003) Bicycle Commuting and Facilities in Major U.S. Cities: If You Build Them, Commuters Will Use Them. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *1828*, 116–123. doi:10.3141/1828-14

Franco, C. M. A. (2011) Incentivos e empecilhos para a inclusão da bicicleta entre universitários., 107.

Greene, W. H., e Hensher, D. A. (2008) Modeling Ordered Choices: A Primer and Recent Developments. *SSRN Electronic Journal*. doi:10.2139/ssrn.1213093

Hunt, J. D., e Abraham, J. E. (2007) Influences on bicycle use. *Transportation*, *34*(4), 453–470. doi:10.1007/s11116-006-9109-1

JUNIOR, R. S. C., TONIOLI, R. M., MAGALHÃES, R. F. DE, NODARI, C. T., e PAIVA, C. R. E. (2015) Projeto Pedala UFRGS. *Salão UFRGS 2015: II SALÃO EDUFRGS* (p. 3). Porto Alegre.

Kohl, C. E., Larrañaga, A. M., Steigleder, C. N., Rocha, F. S., e Weber, F. D. (2015) Bicicletas compartilhadas em Porto Alegre: caracterização de sua utilização e abrangência. *XXIX ANPET Congresso NAcional de Pesquisa e Ensino em Transportes*, (2014), 2707–2717.

Kuhnimhof, T., Chlond, B., e Huang, P.-C. (2010) Multimodal Travel Choices of Bicyclists. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *2190*, 19–27. doi:10.3141/2190-03

McFadden, D. (1973) Conditional logit analysis of qualitative choice behavior. *Frontiers in Econometrics*. doi:10.1108/eb028592

Melo, M. F. S. de, e Maia, M. L. A. (2013) Sistema de bicicletas públicas: um balanço de sua evolução e sua integração na rede de transporte público. *Anais do XXVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte*, *1*, 11.

Menghini, G., Carrasco, N., Schüssler, N., e Axhausen, K. W. (2009) *Route choice of cyclists in Zurich GPS-based discrete motion models*. Zurich. doi:10.3929/ethz-a-010782581

Oliveira, J. M. de. (2012) *Identificação de fatores que contribuem para o uso da bicileta como transporte urbano*. Universidade Federal de Santa Catarina —.

Ortúzar, J. D. D., e Willumsen, L. G. (2011) *Modelling Transport*. *Modelling Transport*. doi:10.1002/9781119993308

Porto Alegre. (2008) *Plano Diretor Cicloviário Integrado de Porto Alegre*.

Providelo, J. K., e Sanches, P. (2010) Percepções de indivíduos acerca do uso da bicicleta como modo de transporte. *Transportes*, *18*(2), 53–61. doi:10.14295/transportes.v18i2.424

Pucher, J., e Dijkstra, L. (2003) Promoting Safe Walking and Cycling to Improve Public Health: Lessons from The Netherlands and Germany. *American Journal of Public Health*, *93*(9), 1509–1516. doi:10.1016/j.ypmed.2009.07.028

PUCPR. (2009) *Cartilha com os novos procedimentos de acesso ao estacionamento.* Curitiba. Obtido de http://www.pucpr.br/eventos/2009/planmob/cartilha.pdf

Rodrigues, F. S. P. (2017) *IMPACTO DE MEDIDAS PARA ESTÍMULO AO USO DA BICICLETA EM VIAGENS AO TRABALHO: ESTUDO DE CASO ENVOLVENDO FUNCIONÁRIOS DA COMPANHIA RIOGRANDENSE DE SANEAMENTO*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Rose, J. M., e Bliemer, M. C. J. (2009) Constructing Efficient Stated Choice Experimental Designs. *Transport Reviews*, *29*(5), 587–617. doi:10.1080/01441640902827623

Rybarczyk, G., e Gallagher, L. (2014) Measuring the potential for bicycling and walking at a metropolitan commuter university. *Journal of Transport Geography*, *39*(July 2014), 1–10. doi:10.1016/j.jtrangeo.2014.06.009

Segadilha, A. B. P., e Sanches, S. da P. (2014) Identification of Factors that Influence Cyclistś Route Choice. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *160*(Cit), 372–380. doi:10.1016/j.sbspro.2014.12.149

Stinson, M., e Bhat, C. (2004) Frequency of Bicycle Commuting: Internet-Based Survey Analysis. *Transportation Research Record*, *1878*(1), 122–130. doi:10.3141/1878-15

Taco, P. W. G., Dafico, C. C. F., e Seabra, L. O. (2010) Transporte e circulação dos usuários do campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília: elementos para uma política da mobilidade sustentável. *Universidade para o século XXI: Educação e gestão ambiental na Universidade de Brasília* (p. 211–226). Brasília : Cidade Gráfica e Editora, Brasília.

Twaddle, H. A. (2011) Stated preference survey design and pre-test for valuing influencing factors for bicycle use., 169. Obtido de http://mediatum.ub.tum.de/doc/1130707/1130707.pdf

UCB. (2017) GUIA DE BOAS PRÁTICAS PARA INSTALAÇÃO DE ESTACIONAMENTOS DE BICICLETAS : PARACICLOS E BICICLETÁRIOS. UCB, Balneario Camboriu.

Vandenbulcke, G., Dujardin, C., Thomas, I., Geus, B. de, Degraeuwe, B., Meeusen, R., e Panis, L. I. (2011) Cycle commuting in Belgium: Spatial determinants and "re-cycling" strategies. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *45*(2), 118–137. doi:10.1016/j.tra.2010.11.004

Wang, C. H., Akar, G., e Guldmann, J. M. (2015) Do your neighbors affect your bicycling choice? A spatial probit model for bicycling to The Ohio State University. *Journal of Transport Geography*, *42*, 122–130. doi:10.1016/j.jtrangeo.2014.12.003

Wardman, M., Hatfield, R., e Page, M. (1997) The UK national cycling strategy: can improved facilities meet the targets? *Transport Policy*, *4*(2), 123–133. doi:10.1016/S0967-070X(97)00011-5

Winters, M., Davidson, G., Kao, D., e Teschke, K. (2011) Motivators and deterrents of bicycling: Comparing influences on decisions to ride. *Transportation*, *38*(1), 153–168. doi:10.1007/s11116-010-9284-y

SEGURANÇA, PERCEPÇÃO DE SEGURANÇA E ESCOLHA MODAL PARA ACESSO AO CAMPUS DA USP SÃO CARLOS

Denise Capasso da Silva
Antônio Nélson Rodrigues da Silva
Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos

RESUMO
Existe uma percepção generalizada de que a sensação de segurança pessoal e o uso de modos sustentáveis de transporte estão diretamente relacionados. O objetivo desse trabalho é identificar como a violência e a sensação de segurança se relacionam com a escolha modal no entorno de um campus universitário. Essa relação foi explorada a partir de características do indivíduo, e também características da rota até o campus da USP São Carlos, como por exemplo densidade de crimes e relatos de insegurança. Para isso foi realizada uma pesquisa *online* a respeito da percepção de segurança do respondente e do acesso ao campus. As relações foram exploradas usando mineração de dados com a ferramenta de árvore de decisões. A principal conclusão foi que a maior participação de modos não motorizados acontece em rotas percebidas como inseguras e com alta incidência de violência.
Palavras-chave: percepção de segurança; transporte sustentável; árvores de decisão.

ABSTRACT
There is a general perception that the sense of personal security is directly related with the use of sustainable modes of transportation. The goal of this paper is to identify how violence and sense of security are related to mode choice. This relationship was explored through aspects from the respondent, such as previous victimization or declared security perception, and aspects of the routes to the University of São Paulo campus at São Carlos, such as density of violence occurrences and reports of insecurity. An online survey on the respondents' security perception and the way they access the campus was conducted. The target relationships were explored by Decision Tree algorithms. The main conclusion is that the highest participation of non-motorized modes occurred on routes perceived as insecure, as well as on routes with high incidence of violence.
Keywords: security perception; sustainable transport; decision trees.

1. INTRODUÇÃO

A questão da segurança pessoal e sua relação com o sistema de transporte é uma constante no dia-a-dia do brasileiro, e um tema de crescente projeção na literatura. A Universidade de São Paulo está inserida nesse contexto e o presente trabalho visa contribuir para a caracterização do problema e promoção de um espaço público mais seguro, bem como o uso de modos de transporte mais sustentáveis. No que diz respeito ao Campus da USP São Carlos, onde essa pesquisa foi realizada, a participação dos modos não motorizados no acesso à sua área principal chega a 51,8% (Oliveira, 2015). Um levantamento em 2014 mostrou que 58,0% dos alunos de graduação haviam presenciado ato de violência no entorno do Campus (Oliveira, 2015). É importante ressaltar que a medida da percepção de segurança é subjetiva e não pode ser claramente mensurada. Esse parâmetro é considerado relevante no planejamento de espaços urbanos, porém raramente é incluído nas suas avaliações. Ao contrário da ocorrência de violência, o sentimento de insegurança não pode ser caracterizado facilmente.

Nesse sentido, o objetivo do trabalho é identificar como a violência e a percepção de segurança dos frequentadores de um campus universitário se relacionam com a escolha modal. Em especial, o estudo visa verificar se os usuários de modos não motorizados se sentem menos seguros que os usuários de modos motorizados. Essa relação, se clara, permite o desenvolvimento de políticas mais eficientes na promoção de escolhas modais mais sustentáveis, uma vez que segurança pessoal é um atributo que deve ser levado em consideração nesse planejamento (Violato *et al.*, 2011).

O presente artigo explora as relações entre violência, percepção de segurança e escolha modal através da caracterização espacial da violência e da mineração de dados com uso de árvores de decisão, ferramenta de análise multivariada de dados. O próximo item desse artigo aborda brevemente alguns dos conteúdos disponíveis na literatura a respeito dos temas abordados, bem como do uso da ferramenta escolhida. No terceiro item está detalhada a metodologia utilizada para coleta e tratamento dos dados. O item quatro apresenta os resultados. O quinto e último item traz, antes das referências bibliográficas, as considerações finais.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Pessoas que temem ser vítimas de violência se envolvem menos em atividades sociais e saem menos de suas casas (Piscitelli e Perrella, 2017), indicando que a relação entre violência e os modos de transporte, principalmente a pé, existe e é relevante (Foster *et al.*, 2014). Mais ainda, a segurança pessoal e a percepção de seguridade precisam ser incluídas na análise da caminhabilidade (Nanya, 2016), reforçando a relação entre o modo e as variáveis relacionadas à segurança. Além disso, a promoção de boa percepção de segurança foi relacionada com políticas de promoção de transportes sustentáveis (Violato *et al.*, 2011). Montgomery e Roberts (2008) também reconheceram a importância da seguridade para o transporte a pé, principalmente durante a noite e entre as mulheres, crianças e idosos. A percepção de segurança e o modo como ela se relaciona com o gênero é bastante presente na literatura. Miesenberger (2016) abordou o tema ressaltando que, em São Paulo, metade das mulheres que usam o transporte coletivo relataram ter sofrido assédio dentro do ônibus ou do metrô, e que, no Rio de Janeiro, 77% das mulheres sentem medo ao esperar o ônibus.

A questão da percepção de segurança e sua influência no sistema de transportes tem sido abordada em diversos lugares do mundo. No Reino Unido, Cox *et al.* (2011) fizeram uma avaliação usando o conceito de resiliência econômica. Na Suécia, Börjesson (2012) utilizou estudos com grupos focais. Nos Estados Unidos (Washington, DC), Roman e Chalfin (2008) avaliaram o impacto, em pedestres, causado por crimes e violência, usando regressão Logit. Ferrell e Mathur (2012) exploraram a hipótese que os usuários de modos motorizados se sentem menos expostos à violência que aqueles que andam a pé. Na Austrália, Delbosc e Currie (2012), identificaram que a sensação de segurança é importante, mas em se tratando da escolha modal ela é menos importante que o acesso a veículos motorizados individuais. Já na Índia, Verma *et al.* (2016), usaram regressão logística e modelos Logit binários para explorar a relação da migração para modos motorizados individuais por mulheres que se sentem inseguras. Esses são alguns dos exemplos de análises que podem ser encontradas na literatura. Estudos relacionando ocorrência de crimes e modos não motorizados também foram realizados. Lachapelle e Noland (2012) relacionaram a ocorrência de violência com o medo de andar durante a noite e também identificaram que a ocorrência de crimes era mais frequente em regiões com alta densidade e baixa renda, onde a participação dos modos não motorizados é usualmente mais expressiva. Singleton e Wang (2014) e Halat *et al.* (2015) identificaram que altas taxas de violência no local de destino desencorajam viagens a pé, enquanto crimes no local de origem parecem estar associados com forte utilização de modos não motorizados.

No Brasil a questão também foi explorada, com exemplos de que essa relação existe e é consistente com os estudos realizados em outros países. Em Recife, Santos *et al.* (2016) avaliaram o impacto da seguridade nos deslocamentos a pé através de questionários *online*.

Em Salvador, Paes-Machado e Levenstein (2002), contribuíram para a questão estudando qualitativamente as implicações de um transporte coletivo violento. Ainda na mesma cidade, Sousa (2016) avaliou os roubos no transporte coletivo usando técnicas de geoestatística e avaliação de densidade *kernel*. Vargas *et al.* (2016) estudaram essa relação no Rio Grande do Sul, através de pesquisas com questões abertas e decisão a partir de pares de imagens, concluindo, como Delbosc e Currie (2012), que a sensação de segurança é importante, mas não decisiva na escolha modal. Ainda para a cidade de Porto Alegre, RS, Larrañaga *et al.* (2016), identificaram que indivíduos com maior renda e acesso ao carro tendem a ter suas percepções de seguranças melhoradas quando comparadas com pessoas de baixa renda.

Para estudar viagens a um campus universitário, é importante ressaltar que os padrões de viagens dos estudantes diferem da população em geral, com maior participação de modos não motorizados (Stein e Rodrigues da Silva, 2014). A percepção de segurança e sua relação com os campi universitários foram abordadas por Waters (2006), que identificou os fatores mais relevantes para a sensação de inseguridade na universidade: má iluminação, insuficiência de equipamentos de segurança, problemas no acesso ao campus a partir de comunidades vizinhas, além da falta de controle no acesso. Abrangendo a população universitária, Currie *et al.* (2013) estudaram fatores que se relacionam com a percepção de segurança no transporte público entre jovens adultos, e constatou que a variável de maior influência é o desconforto na presença de desconhecidos. Morta e Castro (2010) analisaram o impacto do uso do solo e a ocorrência de crimes em universidades a partir de uma avaliação de densidade *kernel*.

Na universidade aqui estudada, é possível identificar que a preocupação existe. Stein e Rodrigues da Silva (2016) identificaram, no mesmo campus, que a falta de segurança é a quarta maior barreira para a utilização de modos não motorizados (as três maiores são: exposição ao clima, possuir um veículo e distância até o campus). Recentemente foi lançado o aplicativo para dispositivos móveis *Campus USP* (USP, 2016), que permite ao usuário registrar ocorrências de violência dentro do campus. Além de acessar o mapa colaborativo com os dados dos últimos 90 dias, é possível colocar o aparelho em modo de alerta e acionar rapidamente a guarda universitária. Assim, o presente trabalho, não só está alinhado com as iniciativas mostradas até aqui, mas também complementa os interesses acadêmicos e institucionais ao avaliar a relação entre segurança e escolha modal, além de caracterizar a sua percepção através de caracterização espacial e mineração de dados usando a ferramenta *Árvore de Decisão*.

As árvores de decisão constituem um método de análise multivariada para mineração de dados que divide o banco de dados sucessivamente, de forma a encontrar as variáveis independentes de maior relevância e proporcionar a máxima segregação entre os "nós" da árvore. A ferramenta já foi anteriormente utilizada em estudos para o planejamento de transportes (Pitombo *et al.*, 2011; Linder *et al.*, 2017; Guerreiro *et al.*, 2017).

3. METODOLOGIA

Para caracterizar a percepção da violência e sua relação com a escolha modal, a primeira etapa da pesquisa foi um questionário *online* realizado em abril de 2016, em um esforço coordenado entre os gestores do Campus da USP de São Carlos naquele momento e outros setores da administração pública na cidade. O objetivo era obter informações, tanto de alunos como de funcionários docentes e não docentes, que pudessem ajudar a identificar ações capazes de reduzir ocorrências relacionadas à segurança no entorno do Campus. Constituída

de 15 perguntas, a pesquisa compreende três aspectos de quem responde: características pessoais, como idade, gênero e vinculação com a USP; características do acesso ao campus, como horários, portarias de acesso e modo de transporte utilizado. Por fim, aqueles que relataram terem sido vítima de violência foram solicitados que respondessem a respeito das ocorrências sofridas. A descrição das perguntas feitas e as variáveis associadas às mesmas estão na Tabela 1, sendo que as mais relevantes para essa análise estão destacadas em cinza.

Foram registradas 1.238 respostas, dentre as quais 244 foram consideradas válidas para o propósito desse estudo. Uma resposta válida deveria obrigatoriamente conter as seguintes informações: origem do deslocamento (georreferenciado), modo de transporte até o campus, percepção de segurança e se o respondente havia sido ou não vítima de violência. Entre todas as respostas, 259 respondentes declararam já terem sido vítimas de violência e detalharam 242 ocorrências de violência.

Por se tratar de um banco de dados com múltiplas dimensões, os estudos possíveis são inúmeros. As seguintes análises, apesar de não tratadas aqui, podem ser exploradas: relação entre localização da insegurança e localização das ocorrências de violência; relação entre modo do acesso e portaria de destino; análise do comportamento dos que relataram ocorrência em função da natureza da ofensa, forma de coerção, etc; distribuição das ocorrências ao longo do dia e entre os dias da semana; entre outros. Para esse trabalho, foram escolhidas as variáveis que se relacionam com a segurança e sua percepção, bem como a distribuição desses eventos nas rotas até o campus, para caracterizar a escolha entre modos motorizados individuais e os modos não motorizados ou coletivos.

O questionário oferecia, para a pergunta referente a variável *Modo* (de transporte), sete opções: *A pé*; *Bicicleta*; *Carro - Motorista*; *Carro - Passageiro*; *Motocicleta*; *Ônibus da USP*; e *Ônibus Urbano*. Era possível responder mais de uma vez, caso mais de um modo fosse utilizado. Nos resultados foram observadas 19 combinações de respostas em grupos de 1, 2 ou 3 modos para o mesmo usuário. A fim de permitir a análise proposta foi necessário agrupar essas combinações em 2 grupos. O primeiro, *Não motorizados*, reúne os respondentes que declararam utilizar exclusivamente modos não motorizados (*A pé* e *Bicicleta*), ou coletivos (*Ônibus da USP* e *Ônibus Urbano*), incluindo qualquer combinação desses. Já o segundo, *Motorizados individuais*, reúne os que relataram usar, em pelo menos uma ocasião, algum dos modos motorizados individuais (*Carro - Motorista*; *Carro - Passageiro* e *Motocicleta*), qualquer combinação entre eles, ou com modos não motorizados.

Por fim, a análise principal desse artigo trata da mineração de dados. Foi utilizado o *software* minerador de dados *IBM SPSS Statistics*, e a sua ferramenta de árvores de decisão. Neste trabalho foi utilizado o algoritmo CART (Breiman *et al.*, 1984). Para isso o estudo considerou dois tipos de variáveis: a primeira caracteriza a rota até o campus através da sobreposição dos dados das ocorrências de violência e dos relatos de insegurança. O primeiro passo para caracterização das rotas foi o georreferenciamento dos pontos descritos nas questões 6, 9 e 12 da Tabela 1. A partir dos pontos declarados como origem dos deslocamentos, foram traçadas as rotas até a portaria mais próxima, pelo algoritmo do caminho mínimo do SIG TransCAD. Com as rotas traçadas, as densidades de relatos de insegurança e ocorrência de violência (variáveis que descrevem o caminho até o campus) foram calculadas dividindo o número de ocorrências/relatos ao longo da rota pelo seu comprimento. Já o segundo conjunto de variáveis caracteriza o indivíduo, a partir das variáveis *Percepção* (de segurança), *Vítima* (de

violência ou não), *Vinculação* (com a Universidade) e *Gênero*. Dessa forma, duas árvores foram criadas, de acordo com as especificações e algoritmos de crescimento mostrados na Tabela 2. Os resultados estão mostrados no item 4.

Tabela 1: Questões da pesquisa realizada, em 2016, com usuários do campus da USP São Carlos, e variáveis utilizadas na análise

#	Questão	Variável
1	Gênero (*Feminino* ou *Masculino*)	*Gênero*
2	Idade (*menos de 18 anos*; *de 18 a 24 anos*; *de 25 a 30 anos*; *de 31 a 39 anos*; *de 40 a 49 anos*; *de 50 a 59 anos*; ou *60 anos ou mais*)	*Idade*
3	Vinculação com a USP (*Aluno de graduação*; *Aluno de pós-graduação*; *Servidor docente*; *Servidor técnico administrativo*; ou *Outro/visitante*)	*Vinculação*
4	Desde que ano você frequenta regularmente o campus da USP em São Carlos?	*Ano*
5	Você inicia seus deslocamentos DIÁRIOS para o campus na própria cidade de São Carlos?	*SãoCarlos*
6	Por favor, informe a LOCAL DE INÍCIO mais frequente de seus deslocamentos diários para o campus (pode ser a residência, local de trabalho, etc.)	*Origem*
7	Você já foi vítima de algum tipo de violência em seus deslocamentos para acessar o campus da USP (roubo, agressão, assédio sexual, etc.)?	*Vítima*
8*	Informar:	
	8.1* Dia da semana	*OcDia*
	8.2* Horário aproximado	*OcHorario*
	8.3* Estava a caminho do/da	*OcDestino*
	8.4* Objetos roubados/ Natureza da ocorrência	*OcNatureza*
	8.5* Número de pessoas em sua companhia	*OcCompanhia*
	8.6* Número de assaltantes	*OcAssaltantes*
	8.7* Forma de coerção	*OcCoercao*
9*	Se possível, informe detalhes das ocorrências relatadas acima (principalmente quando e onde ocorreram), utilizando o espaço disponível no questionário.	*OcLocal*
10*	A(s) ocorrência(s) foi(foram) comunicada(s) à Polícia?	*BO*
11	Qual a sua percepção de segurança DENTRO do campus? (*Seguro*; *Relativamente seguro*; *Inseguro* ou *Totalmente inseguro*)	*Percepção*
12	Informe, no espaço disponível no questionário, se existem locais no ENTORNO do campus onde você se sente inseguro.	*LocalInseg*
13	Ao longo da semana, você entra e sai do campus todos os dias aproximadamente no mesmo horário e pela mesma portaria?	*Acesso*
14**	Informar:	
	14.1** Horário de entrada	*EntHorario*
	14.2** Modo de transporte	*Modo*
	14.3** Portaria/ portão de entrada	*EntPort*
	14.4** Horário de saída	*SaiHorario*
	14.5** Portaria/ portão de saída	*SaiPort*
15	Obrigado por sua colaboração. Se tiver alguma sugestão ou crítica que deseje compartilhar conosco, por favor, utilize o espaço disponível no questionário para fazê-lo.	*Aberto*

*As perguntas 8, 9 e 10 foram mostradas apenas aos respondentes que declararam "Sim" na pergunta número 7.
**Para os que responderam "Sim" à pergunta 14, era necessário responder a questão 14 apenas uma vez. Aos que responderam "Não" à pergunta 13, a questão 14 poderia ser preenchida mais de uma vez.

Tabela 2: Resumo das especificações e resultados para as árvores de decisão consideradas

		Escolha modal e Percepção de segurança (Figura 4)	**Escolha modal e Ocorrência de violência (Figura 5)**
Especificações	Algoritmo da árvore	CART	CART
	Variável dependente	*Modo*	*Modo*
	Variáveis independentes	*Distância, InseguraçaKM, OcorrênciasKM*	*Distância, InseguraçaKM, OcorrênciasKM, Vinculação, Gênero, Vítima, Percepção*
	Máxima profundidade	2	2
	Mínimo de casos no nó pai	50	50
	Mínimo de casos no nó filho	25	25
	Critério de separação e parada	Aprimoramento mínimo 0,0001	Aprimoramento mínimo 0,0001
Resultados	Variáveis independentes incluídas	*InseguraçaKM, Distância, OcorrênciasKM*	*Vinculação, InseguraçaKM*
	Número de nós	7	5
	Número de nós terminais	4	3
	Profundidade (níveis)	2	2

4. RESULTADOS

A Figura 1 mostra as origens de deslocamento declaradas pelos respondentes e os modos utilizados para acesso ao campus. É possível observar que a utilização de modos motorizados se torna mais frequente em regiões mais distantes das portarias de acesso. A Figura 2 detalha a localização das ocorrências de violência detalhadas na pesquisa, sendo que as maiores concentrações de violência foram reportadas nas proximidades dos portões B e E. A Figura 3 mostra os locais onde o sentimento de insegurança foi reportado. Os locais onde havia grande incidência de violência também foram identificados como pontos de insegurança, entretanto pontos com menor ocorrência de crime também foram percebidos como inseguros (por exemplo a portaria A). As origens mostradas na Figura 1 foram associadas à portaria mais próxima, e o menor caminho foi determinado utilizando o pacote de SIG TransCAD. As características da rota foram calculadas fazendo a sobreposição dos caminhos gerados a partir da Figura 1, com as informações disponíveis nas Figuras 2 e 3.

A Figura 4 mostra a árvore de decisão que detalha a escolha modal para diferentes características da rota do usuário até a área principal do campus da USP-São Carlos. O primeiro nível (nós 1 e 2) separa os usuários que percorriam rotas com baixa percepção de insegurança (nó 1) e os que passavam por rotas percebidas como altamente inseguras (nó 2). É possível observar que a participação de modos não motorizados foi maior nas rotas percebidas como inseguras (90% no nó 2 vs. 47% no nó 1). O segundo nível (nós 3 a 6) mostra que para rotas com baixa sensação de insegurança (nó 1) a variável mais relevante para a escolha modal foi a distância até a universidade. Já para rotas com alta insegurança (nó 2), o algoritmo CART identificou como variável mais relevante a densidade de ocorrências no caminho. Assim, a primeira observação que pôde ser feita no segundo nível foi a maior presença de modos motorizados em rotas mais longas (nó 4), conforme era esperado. Além disso, os nós 5 e 6 mostram que, nas rotas onde casos de violência foram mais densamente reportados, a presença de pedestres e ciclistas era maior.

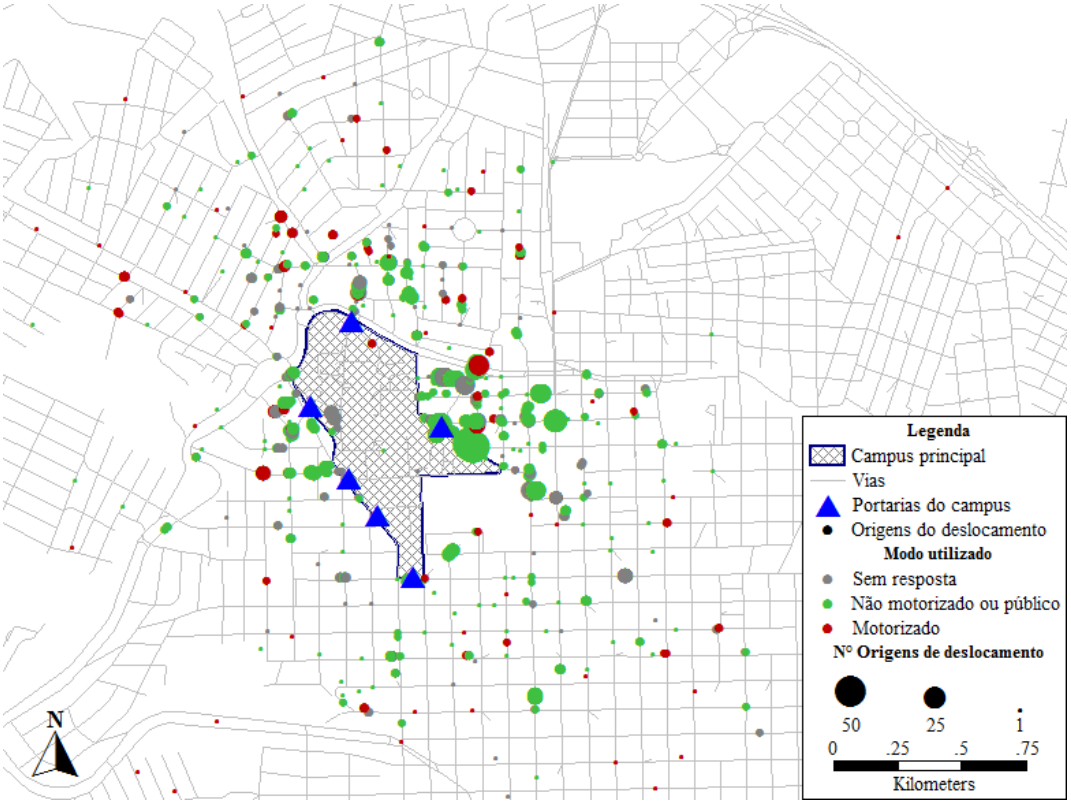


Figura 1: Distribuição das origens do deslocamento, com respectiva escolha modal nas viagens até a área principal do campus da USP-São Carlos (2016)

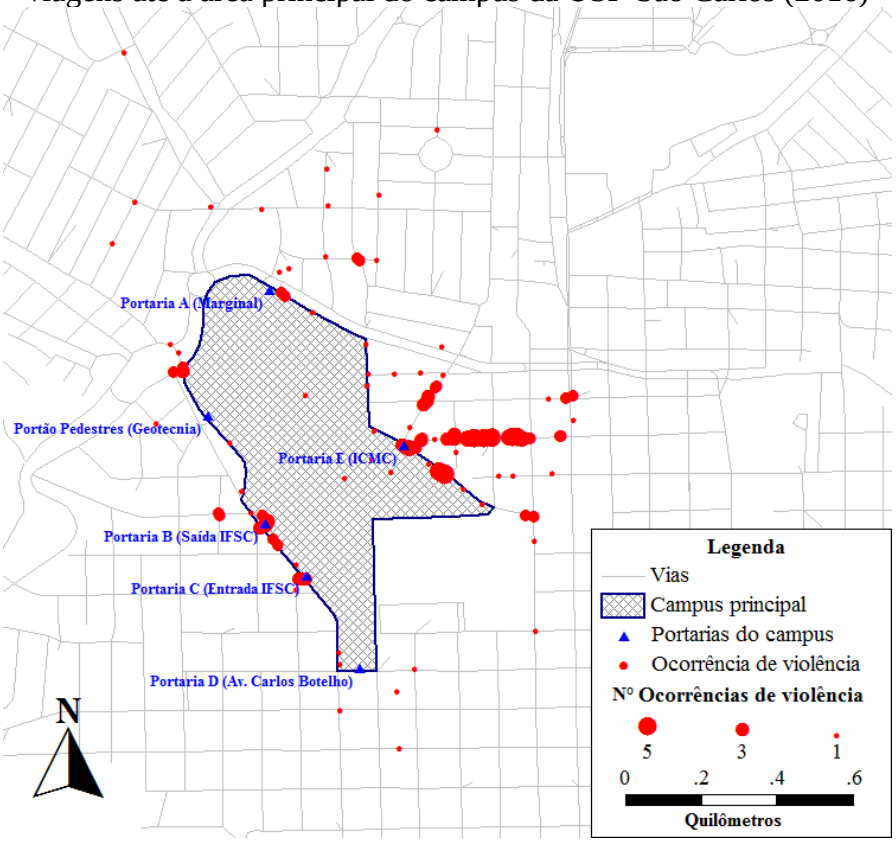


Figura 2: Distribuição das ocorrências de violência reportadas no entorno da área principal do campus da USP-São Carlos (2016)

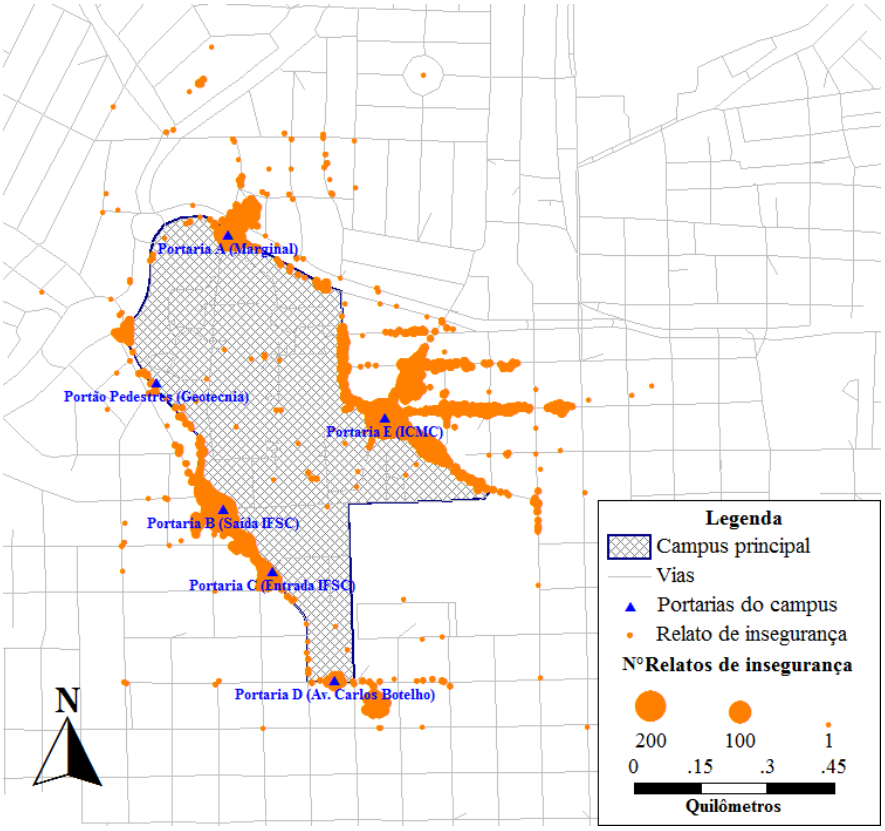


Figura 3: Distribuição dos relatos de insegurança reportados no entorno da área principal do campus da USP-São Carlos (2016)

A Figura 5 mostra uma segunda árvore de decisão que, conforme especificado na Tabela 2, considerou simultaneamente as variáveis relacionadas ao indivíduo, e à sua rota mais curta até o campus. O nó raiz é idêntico ao da Figura 4, por se tratar da mesma amostra. Assim, a árvore mostrada na Figura 5 coloca como variável mais relevante para a escolha modal a vinculação do respondente com a universidade, que separa o primeiro nível em dois nós (1 e 2). O nó 1 mostra que a participação de modos motorizados era predominante (94%) entre os servidores docentes e técnico-administrativos. Em contrapartida, entre os alunos de graduação, pós-graduação e outros usuários do campus, os modos motorizados representavam apenas 19% das respostas. O segundo nível detalha, para os estudantes (nó 2), como a escolha modal se comporta para diferentes densidades de relatos de insegurança na rota. O nó 3 mostra que, entre os estudantes cujas rotas até a universidade apresentam baixa percepção de insegurança, 68% dos respondentes declararam usar modos não motorizados. No entanto, o nó 4 mostra que, entre aqueles cujas rotas possuem alta densidade de relatos de insegurança, o uso de modos não motorizados é ainda maior (93%).

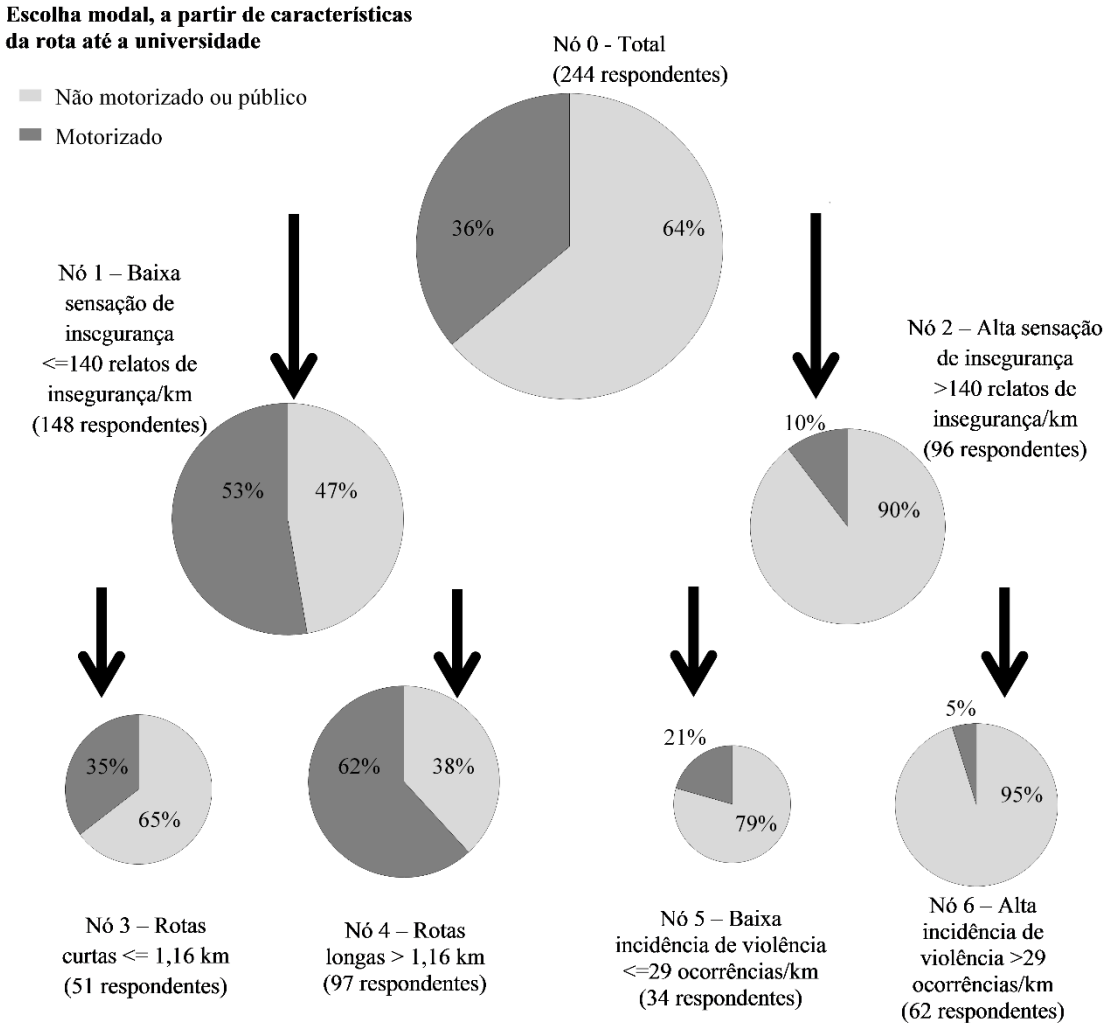


Figura 4: Árvore de decisão para a variável *Modo* (de transporte), a partir de características da rota, como densidade de violência ou relatos de insegurança no caminho até o campus principal da USP-São Carlos

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao analisar os resultados mostrados neste artigo, a principal observação, em relação às rotas até a universidade, é que a escolha modal se mostrou mais sensível à densidade dos relatos de insegurança que à distância a ser percorrida. Em um segundo nível, o algoritmo CART mostrou que o comprimento da rota era relevante para escolha modal quando a percepção de insegurança era pequena. Entretanto, nas rotas percebidas como inseguras, a densidade de casos reportados de violência era mais relevante para a escolha do modo. Analisando essa distribuição foi possível observar que os modos não motorizados estavam mais presentes em rotas percebidas como mais inseguras; mais próximas do campus e também nas rotas onde haviam sido reportados mais casos de violência.

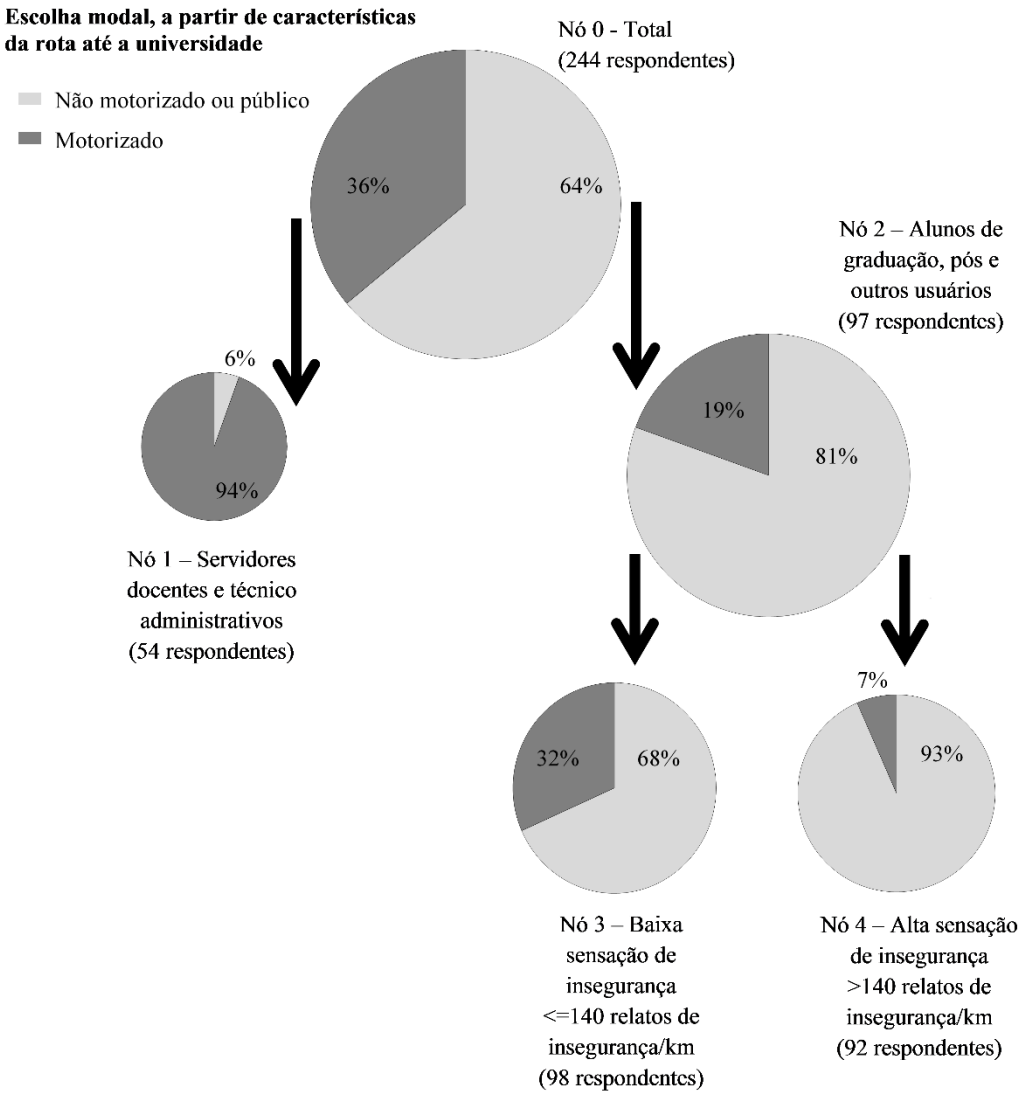


Figura 5: Árvore de decisão para a variável *Modo* (de transporte), a partir das variáveis *Vinculação com a universidade e densidade de insegurança* no caminho até o campus principal da USP-São Carlos

Indo além, ao analisar a amostra comparando dados do indivíduo (gênero, vinculação com a universidade, percepção de segurança e se o respondente havia sido vítima ou não de violência), com as características da rota, a única resposta do usuário que se mostrou relevante foi a vinculação com a universidade. Foi observado que a participação de modos motorizados entre servidores docentes e técnico administrativos era de 94%, enquanto apenas 19% dos alunos de graduação e pós-graduação declararam usar modos motorizados. Esse resultado pode ser reflexo do acesso ao veículo motorizado individual, que, em geral, não é tão comum entre estudantes quanto é entre servidores. Feita essa consideração, a segunda variável mais relevante para a escolha modal foi a densidade de relatos de insegurança na rota. Os modos não motorizados estavam mais presentes nas rotas percebidas como inseguras.

Uma vez que não faz sentido supor que alta incidência de violência seja a causa para viagens a pé, só se pode assumir o contrário, o que corrobora a hipótese inicial de que os usuários de

modos não motorizados se sentem e estão mais expostos à possíveis ocorrências de violência. Sendo assim, é possível que os usuários, por se sentirem inseguros, migrem para modos motorizados assim que tenham acesso ao carro. Essa mudança, além de agravar a o nível de exposição para os usuários remanescentes de modos não motorizados, implicará em outras complicações, como por exemplo, aumento da demanda, já elevada, por estacionamento dentro do campus. Dessa forma, é necessário melhorar a percepção de segurança na região estudada, através de vigilância ostensiva, melhoria na iluminação das vias, e outras iniciativas, a fim de assegurar maior conforto aos pedestres e prevenir mudanças desnecessárias para os modos motorizados.

Agradecimentos
Os autores agradecem o financiamento da pesquisa pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Börjesson, M. (2012) Valuing perceived insecurity associated with use of and access to public transport. *Transport Policy*, v. 22, p. 1 - 10. DOI: 10.1016/j.tranpol.2012.04.004.

Breiman, L.; J. H. Friedman; R. Olshen e C. J. Stone (1984) *Classification and regression trees.* Wadsworth International Group, Califórnia.

Cox, A.; F. Prager e A. Rose (2011) Transportation security and the role of resilience: A foundation for operational metrics. *Transport Policy*, v. 18, p. 307-317. DOI: 10.1016/j.tranpol.2010.09.004.

Currie, G.; A. Delbosc e S. Mahmoud (2013) Factors influencing young peoples' perceptions of personal safety on public transport. *Journal of Public Transportation*, v. 16, n. 1. DOI: 10.5038/2375-0901.16.1.1.

Delbosc, A. e G. Currie (2012) Modeling the causes and impacts of personal safety perceptions on public transport ridership. *Transport Policy*, v. 24, p. 302-309. DOI: 10.1016/j.tranpol.2012.09.009.

Ferrell, C. E. e S. Mathur (2012) The influences of neighborhood crime on mode choice. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, v. 2320, p. 55-63. DOI: 10.3141/2320-07.

Foster, S.; M. Knuiman; P. Hooper; H. Christian e B. Giles-Corti (2014) Do changes in residents' fear of crime impact their walking? Longitudinal results from RESIDE. *Preventive Medicine*, v. 62, p. 161-166. DOI: 10.1016/j.ypmed.2014.02.011.

Guerreiro, T. C. M.; J. K. Providelo; C. S. Pitombo; R. A. R. Ramos e A. N. Rodrigues da Silva (2017) Data-mining, GIS and multicriteria analysis in a comprehensive method for bicycle network planning and design. *International Journal of Sustainable Transportation*, (no prelo). DOI:10.1080/15568318.2017.1342156.

Halat, H.; M. Saberi; C. A. Frei; A. R. Frei e H. S. Mahmassani (2015) Crime statistics impact on travel mode choice: case study of the city of Chicago. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, v. 2537, p. 81-87. DOI: 10.3141/2537-09.

Larrañaga A. N.; L. I. Rizzi; J. Arellana; O. Strambi e H. B. B. Cybis (2016) The influence of built environment and travel attitudes on walking: A case study of Porto Alegre, Brazil, *International Journal of Sustainable Transportation*, v. 10, n. 4, p. 332-342. DOI: 10.1080/15568318.2014.933986.

Lachapelle, U. e R. B. Noland (2012) Inconsistencies in associations between crime and walking: a reflection of poverty and density. *International Journal of Sustainable Transportation*, v. 9, n. 2, p. 103-115. DOI: 10.1080/15568318.2012.742947.

Lindner, A.; C. S. Pitombo e A. L. Cunha (2017) Estimating motorized travel mode choice using classifiers: An application for high-dimensional multicollinear data. *Travel Behaviour and Society*, v. 6, p. 100-109. DOI: 10.1016/j.tbs.2016.08.003.

Miesenberger, C. (2016) Segurança pública, mobilidade urbana e gênero no Brasil. *Mobilidade urbana no Brasil: Desafios e alternativas*. Fundação Heinrich Böll Stiftung Brasil, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, p. 99-104.

Montgomery, B. e P. Roberts (2008) Walk urban: demand, constraints, and measurement of the urban pedestrian environment. *Transport paper series*, n. TP-18. World Bank, Washington, DC. Acessado de https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17421, em 2016-11-21.

Morta, A. R. T. e J. T. Castro (2010) The impact of land use features and transport accessibility in the occurrence of crime in a university campus. *World Conference on Transport Research - WCTR 2010 Lisboa*. 11 a 15 de julho 2010.

Nanya, L. M. (2016) Desenvolvimento de um instrumento para auditoria da caminhabilidade em áreas escolares. *Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal de São Carlos*, São Carlos, SP.

Oliveira, A. M. (2015) Um índice para o planejamento de mobilidade com foco em grandes Polos Geradores de Viagens: desenvolvimento e aplicação em um campus universitário. *Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos*, São Carlos, SP. Acessado de http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18144/tde-23022016-143827/, em 2016-11-23.

Paes-Machado, E. e C. Levenstein (2002) Assaltantes a bordo: violência, insegurança e saúde no trabalho em transporte coletivo de Salvador, Bahia, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, v.18, n. 5, p. 1215-1227.

Piscitelli, A. e A. Perrella (2017) Fear of crime and participation in associational life. *The Social Science Journal*, v. 54, n. 2, p. 179-190. DOI: 10.1016/j.soscij.2017.01.001.

Pitombo, C. S.; E. Kawamoto e A. J. Sousa (2011) An exploratory analysis of relationships between socioeconomic, land use, activity participation variables and travel patterns. *Transport Policy (Oxford)*, v. 18, p. 347-357. DOI: 10.1016/j.tranpol.2010.10.010.

Roman, C. G. e A. Chalfin (2008) Fear of walking outdoors. A multilevel ecologic analysis of crime and disorder. *American Journal of Preventive Medicine*, v. 34, p. 306-312. DOI: 10.1016/j.amepre.2008.01.017

Santos, P. R. G.; T. T. B. Andurand; L. H. Meira e M. L. A. Maia (2016) A influência da segurança pública nos deslocamentos a pé: estudo de caso da Região Metropolitana do Recife. *Anais do 7° Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável*. Maceió, AL.

Singleton, P. A. e L. Wang (2014) Safety and security in discretionary travel decision-making: a focus on active travel mode and destination choice. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, v. 2430, p. 47-58. DOI: 10.3141/2430-06.

Sousa, D. C. B. (2016) Avaliação espacial de ocorrências de roubo em transporte coletivo urbano por ônibus. *Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Bahia*, Salvador, BA.

Stein, P. P. e Rodrigues da Silva, A. N. (2014) Influência de perfis e localizações dos usuários nas taxas de geração de viagens de estabelecimentos de ensino superior. *Journal of Transport Literature*, v. 8, n. 3, p. 89-106.

Stein, P. P. e A. N. Rodrigues da Silva (2016) Barriers, motivators and strategies for sustainable mobility in the campus of USP at São Carlos. *World Conference on Transport Research - WCTR 2016 Xangai*. 10 a 15 de Julho, 2016.

USP (2016) USP lança aplicativo para monitoramento de segurança dos campi. *Universidade de São Paulo*. Acessado de http://www.usp.br/imprensa/?p=60031, em 2016-12-01.

Vargas, J. C. B.; A. N. L. Uriarte e H. B. B. Cybis (2016) Explorando as viagens a pé: estrutura urbana e sensação de segurança. *Anais do XXX ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, Rio de Janeiro, RJ.

Verma, M.; M. Manoj; N. Rodeja e A. Verma (2016) Service gap analysis of public buses in Bangalore with respect to woman safety. *World Conference on Transport Research - WCTR 2016 Xangai*. 10 a 15 de julho 2016.

Violato, R. R.; V. L. Monteiro e M. L. Galves (2011) Incentivo às viagens pelo modo a pé: aplicação da metodologia de auxílio multicritério à decisão. *Revista dos Transportes Públicos - ANTP*, Ano 33, 2° quadrimestre, p. 15-34.

Waters, J. (2006) Perceptions of personal safety on university campuses. *Tese de Doutorado apresentada à University of Glamorgan*, Glamorgan, Reino Unido.

Denise Capasso da Silva (denise.capasso.silva@usp.br)
Antônio Nélson Rodrigues da Silva (anelson@sc.usp.br)
Departamento de Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo
Av. Trabalhador São-carlense, 400 - São Carlos, SP, Brasil

ANÁLISE DE DUAS ALTERNATIVAS DE TRANSPORTE POR MEIO DO PLANEJAMENTO PARTICIPATIVO

Mariana Grade Ricieri
Caio Fernandes Machado
Vitor Hugo Gomes
Heliana Barbosa Fontenele
Carlos Alberto Prado da Silva Junior
Universidade Estadual de Londrina
Departamento de Construção Civil

RESUMO
O processo de planejamento de transportes participativo surge como forma de levar em consideração as reais necessidades de deslocamento dos usuários provendo alternativas sustentáveis. O objetivo desta pesquisa é analisar duas alternativas de intervenção em sistemas de transportes visando à sustentabilidade, por meio de uma ferramenta de integração da opinião dos usuários ao planejamento de transportes. Para isso foram realizadas análises duas alternativas, sendo essas: *bike racks* em ônibus e bicicletário. Com isso, foi realizado uma análise para saber qual das duas alternativas deveria ser priorizada. Levou em consideração a relevância das alternativas pela amostra, os entrevistados que se declararam potenciais usuários das alternativas a implementação de infraestrutura complementar e o custo de cada alternativa. Os resultados mostraram que, apesar do bicicletário apresentar uma ligeira preferência pelos entrevistados, a alternativa *bike rack* se mostrou mais promissora, com menores custos e maior potencial de utilização quando há existência de infraestrutura adequada.

ABSTRACT
The participative process of transportation planning emerges to consider the real needs of the users' trips, providing sustainable alternatives. The aim of this research is to analyze two alternatives of intervention on transport systems considering sustainability aspects. A community consultation tool to integrate the opinions of the users to the transportation planning was used in this study. Moreover, two alternatives were analyzed: bicycle racks in buses and bike shelters. Furthermore, an analysis was made to evaluate which of the two alternatives should be prioritized. The analysis considered the relevance of the alternatives, the interviewees who declared themselves potential users of alternatives to the implementation of complementary infrastructure and the cost of each alternative. The results showed that, even though bicycle shelter shown more preference by the interviewees, the bike rack alternative was more promising, with lower costs and greater potential for use when adequate infrastructure was available.

1. INTRODUÇÃO

O processo de planejamento de sistemas de transportes no Brasil acaba muitas vezes negligenciando as reais necessidades de deslocamento dos usuários. Uma das maneiras de levar em consideração essa necessidade de deslocamento pode ser por meio do planejamento participativo.

O planejamento participativo de sistemas de transportes pode ser realizado por meio da inclusão da opinião da sociedade nas tomadas de decisão. Uma forma de incluir a participação da sociedade é por meio dos chamados projetos conceituais. Os projetos conceituais são ferramentas que podem auxiliar os planejadores de transportes na tomada de decisão com base na opinião dos usuários, conforme Participate Melbourne - Streetscape Improvements Program (2017). Com base nessa ferramenta, o *feedback* da sociedade é levado em consideração para definir quais alternativas de transportes que deverão ser implementadas. A finalidade disso é de melhorar a qualidade de determinadas alternativas de transportes, visando à sustentabilidade.

Ao se deparar com a opinião da sociedade em relação à determinadas alternativas de transportes propostas, os planejadores devem avaliar qual alternativa deverá ser priorizada. Isso pode ser realizado com base nos *feedbacks* e em diversos fatores. Esse processo pode evitar tomadas de

decisões errôneas, que podem gerar altos custos para a sociedade e propor alternativas que podem ser subutilizadas.

O objetivo desse trabalho é analisar duas alternativas de intervenção em sistemas de transportes, com base na opinião de uma amostra obtida por meio de uma ferramenta de integração da opinião dos usuários ao planejamento de transportes. As alternativas de intervenção utilizadas neste trabalho foram: implementação de *bike racks* em uma linha de ônibus que atende ao campus UEL e implementação de um bicicletário no centro de estudos CTU (Centro de Tecnologia e Urbanismo) do campus. Além da opinião dos usuários, foi levado em consideração a implementação de infraestrutura complementar como forma de incentivar o uso das alternativas propostas. Outro fator utilizado nesse trabalho foi o custo de cada alternativa.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O planejamento tradicional de transportes acaba, por muitas vezes, negligenciando as reais necessidades de deslocamento de determinada parte da população bem como os modos de transportes mais sustentáveis. Com isso o planejamento participativo pode ser utilizado como forma de suprir as necessidades de deslocamento dos usuários priorizando modos mais sustentáveis.

2.1 O planejamento participativo

De acordo com o PlanMob - Ministério das Cidades (2015), a participação da sociedade no planejamento tem como objetivo garantir que as políticas públicas sejam implementadas de modo a atender as necessidades da comunidade. Os objetivos do planejamento participativo são: *i)* informar a sociedade sobre mudanças e melhorias nos seus deslocamentos, *ii)* consultar o público para saber sua opinião sobre determinada mudança e melhoria a ser implementada, *iii)* envolver o público por meio de um processo de planejamento mais democrático e *iv)* fazer com que a sociedade possa colaborar com o processo de planejamento de transportes de forma efetiva.

Pode-se inferir que o planejamento participativo surge como uma forma de explorar modos de transportes alternativos voltados à sustentabilidade. Entretanto, Chapadeiro (2011) destaca que o processo de planejamento participativo brasileiro atual pode ser entendido como pseudoparticipativo. As atuais consultas à sociedade não envolvem efetivamente todas as etapas do processo, como deveria ser. Muitas vezes somente o modo automóvel é levado em consideração, sendo classificado por grande parte do público como símbolo de *status* (Ricieri et al., 2017). Entretanto, somente uma determinada parcela da população têm acesso a este modo de transporte. Isso faz com que grande parte da população que não possui condições de posse de um veículo acabe sendo negligenciada, afetando diretamente seus deslocamentos diários. Além disso, o uso excessivo de modos individuais motorizados causam grandes problemas sociais, econômicos e ambientais (Barczak e Duarte, 2012).

A cidade de Melbourne, na Austrália, utiliza uma ferramenta chamada de projeto conceitual, que faz parte do programa Participate Melbourne – Streetscape Improvements Program. Mediante um *website*, a população do local que será afetada pela implementação ou melhoria de determinada alternativa pode dar sua opinião, por meio de um questionário de *feedback*. Esses questionários são analisados e seus resultados são levados em consideração pelo governo, nas tomadas de decisão (Participate Melbourne - Streetscape Improvements Program, 2017). Por meio dos projetos conceituais, pode-se criar novas soluções e também melhorar alternativas

de transportes já existentes para que a comunidade possa realizar suas viagens diárias de forma mais sustentável, minimizando os problemas gerados pelo uso excessivo dos automóveis.

Os modos de transporte por ônibus e bicicleta se destacam no cenário da mobilidade urbana por apresentarem características menos impactantes, gerando menores problemas à sociedade. Os gastos com energia, emissões de gases estufa e uso do solo desses dois modos de transportes são muito menores quando comparados com o modo automóvel (Barczak e Duarte, 2012). Em relação à bicicleta, o uso deste modo de transporte para deslocamentos diários depende de diversas circunstâncias. De acordo com Ricieri et al. (2017), os cidadãos de uma cidade de médio porte indicaram aceitação ao uso do modo bicicleta. Entretanto uma parcela de entrevistados indicou que só utilizariam o ciclismo como modo de transporte caso fossem implementadas medidas de incentivo como investimentos em infraestrutura cicloviária. Além do uso da bicicleta como forma de transporte habitual, o Ministério das Cidades (2007) destaca a importância da integração entre a bicicleta com o transporte coletivo urbano, tendo como objetivo direto a inclusão da bicicleta como modo de transporte em viagens de média e grande distância em cidades de médio e grande porte. Com isso, é importante avaliar alternativas que englobam a bicicleta e a integração entre essa e o transporte coletivo. Dentre as diversas alternativas, existem os *bike racks* e os bicicletários como forma de incentivo à utilização desses sistemas.

2.2. A alternativa *bike rack*

Os *bike racks* são alternativas de baixo custo de instalação, fáceis de operar e não ocupam espaço dentro dos veículos, por se localizarem na frente dos ônibus (Transportation Research Board, 2005). Muitas cidades dos Estados Unidos promovem a integração entre sistemas de transporte coletivo por ônibus com a bicicleta por meio de *bike racks*. Hagelin e Datz (2005) apontam que na cidade de Portland, as bicicletas são aceitas em todos os ônibus do sistema de transporte público urbano. Isso é realizado por meio *bike racks* que suportam até duas bicicletas na frente dos ônibus, que podem ser automatizados ou acionados manualmente pelo motorista. Outro exemplo é a cidade de São Francisco. De acordo com Pucher e Buehler (2009) a cidade conta com 400 suportes de *bike racks* no exterior dos ônibus, em que o usuário pode transportar sua bicicleta sem custo adicional na passagem. Os autores ainda destacam que os sistemas de transporte coletivo urbano dos Estados Unidos e Canadá que contam com *bike racks* eliminaram por completo as taxas de uso dessa alternativa, como forma de encorajar o uso integrado entre os sistemas ônibus e bicicleta. Além disso, a associação norte-americana American Public Transport Association (2017) mostra que nos Estados Unidos, a porcentagem de ônibus que contam com a alternativa *bike rack* foi de 27% no ano 2000, 71% em 2008 e subiu para 79% em 2016. Somente na cidade de Nova Iorque, 54,6% das viagens pendulares são realizadas por meio da integração entre ônibus e bicicleta.

2.3. A alternativa bicicletário

De acordo com Harris, Katz e Salomon (2014) há três tipos de bicicletários: *i)* de tempo rápido de uso, que são os paraciclos; *ii*) de médio tempo de uso, que são os bicicletários cobertos com espaços destinados para trancar bicicletas e *iii*) de tempo longo de uso, que são os bicicletários que contam com cobertura e infraestrutura de segurança (geralmente controle de acesso e câmeras) e facilidades (armários e chuveiros).

As cidades australianas consideram bicicletários como intervenções de baixo custo para incentivar o ciclismo como modo de transporte. De acordo com Harris, Katz e Salomon (2014)

a instalação de bicicletários em estações de trens aumentaram o uso do transporte público nas cidades australianas e impulsionaram o governo local a instalarem mais bicicletários de tempo longo de uso para suprir a crescente demanda. Já nos Estados Unidos, a cidade de São Francisco tem incentivado o uso do modo bicicleta de forma expressiva. Segundo Pucher e Buehler (2009) no ano de 2009 a cidade já contava com bicicletários em todas as 32 estações de trem, com um total de 1.100 espaços para guardar bicicletas. Kaplan (2015) em seu estudo sobre transporte sustentável em um campus universitário no estado de Ohio, nos Estados Unidos apresenta que 14% da amostra de entrevistados indicaram que a falta de bicicletário é um dos motivos para não utilizar a bicicleta como modo de transporte em viagens ao campus.

3. MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no Centro de Tecnologia e Urbanismo (CTU) da Universidade Estadual de Londrina (UEL), localizada em Londrina – Paraná. Os cursos de graduação do CTU utilizados nesse trabalho foram: Arquitetura e Urbanismo, Engenharia Civil e Engenharia Elétrica, com população igual a 907 estudantes. Foi realizado um dimensionamento amostral com critérios de erro máximo de 4% e intervalo de confiança de 95%, obtendo tamanho mínimo amostral de 231 respondentes.

As análises presentes neste artigo foram realizadas utilizando as respostas obtidas por meio de dois projetos conceituais: *i*) projeto conceitual referente à implementação de *bike racks* em uma linha de ônibus que atende o campus UEL; e *ii*) projeto conceitual de implementação de um bicicletário no CTU. Estes projetos conceituais possuíam informações sobre a proposta de implementação das alternativas (em forma de texto e com detalhamento visual) e um questionário de *feedback*.

Neste estudo, foram utilizadas duas questões do formulário que foram respondidas por meio de uma escala ordinal (escala *Likert*): uma referente à relevância das alternativas propostas e outra referente aos potenciais usuários dessas alternativas. Essas questões foram analisadas com a finalidade de entender a relação entre a relevância das alternativas apresentadas e a quantidade de entrevistados que se consideraram potenciais usuários. Além disso, foi analisada uma questão de múltipla escolha presente no formulário. Essa questão abordava quais infraestruturas complementares poderiam ser realizadas como forma de atrair os entrevistados para uma das alternativas apresentadas nos projetos conceituais. Por fim, foi realizado uma análise de custo de cada alternativa, correlacionando com a quantidade de entrevistados que se consideraram potenciais usuários do bicicletário e do *bike rack*.

Para a alternativa *bike rack*, foi considerado um suporte com capacidade para duas bicicletas em cada ônibus da linha 305, que conecta o Terminal Urbano Central ao campus universitário. Foram considerados três veículos circulantes nessa linha, sendo, portanto, três *bike racks*. O custo de cada *bike rack* incluía o custo da estrutura mais o custo com mão de obra e manutenção. O valor total dos três suportes é apresentado conforme Tabela 1.

Em relação ao bicicletário, foi considerado a construção de um bicicletário de tempo longo de uso no CTU. Além dos custos com a estrutura do bicicletário mais mão de obra e manutenção, o bicicletário proposto continha um sistema de segurança além dos bicicletários (vertical e horizontal), armários e chuveiros. O custo total do bicicletário é apresentado conforme Tabela 1.

Tabela 1. Valores dos itens referentes à instalação das alternativas (em dólar americano).

Item	**Preço (US$)**[1]	
	Bicicletário[(2)]	***Bike Rack***[(3)]
Estrutura	9.220	2.250
Bicicletários, armários e chuveiros	3.075	-
Segurança	1.230	-
Mão de obra e manutenção	1.540	1.125
Total	**13.955**	**3.375**

[1] Conversão Real para Dólar em 02/06/2017 (1 dólar igual a 3,254 reais) - Banco Central do Brasil.
[2] Valor de um bicicletário que será instalado no CTU. Disponível em: http://transporteativo.org.br/wp/2010/12/14/quanto-custa-um-bicicletario/.
[3] Valor de três *bike racks*, que serão instalados nos três ônibus que atendem a linha 305 Campus – UEL. Disponível em: http://www.sportworks.com/product/apex-2.

Por meio dos resultados obtidos nas três questões, baseadas na opinião dos entrevistados e dos valores de custo de cada alternativa, foi realizada uma análise custo benefício. Essa análise teve como objetivo definir qual alternativa proposta deveria ser priorizada.

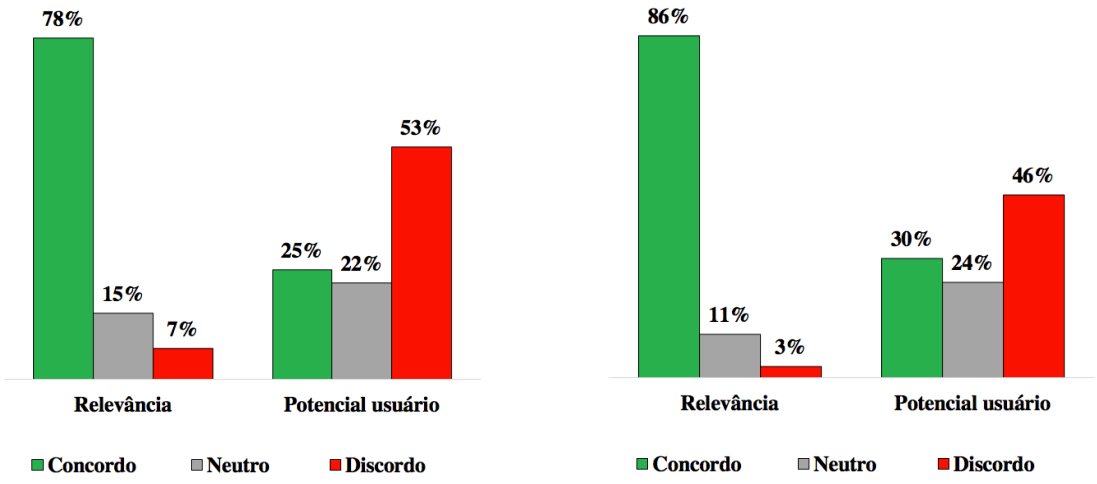
4. RESULTADOS

Foram obtidas 251 respostas aos projetos conceituais, sendo que 126 eram referentes à implantação de *bike racks* e 125 referentes à implantação de um bicicletário no CTU. Isso representa 27,7% da população de estudantes do centro de estudos, o que garantiu representatividade amostral nesse estudo. A proporção de estudantes de graduação entrevistados por curso foi de 20,7% de estudante do curso de Arquitetura e Urbanismo, 56,5% do curso de Engenharia Civil e 22,8% de Engenharia Elétrica. Em relação ao sexo dos entrevistados, 41,5% são do sexo feminino e 58,5% do sexo masculino.

Os questionários de *feedback* foram validados por meio do coeficiente alfa de Cronbach. Para as questões específicas de cada projeto, as questões referentes ao bloco do *bike rack* obteve um alfa de 0,665 e para o bicicletário o alfa foi de 0,750, ambos maiores que 0,6, que foi o valor mínimo de aceitabilidade para este estudo. Sendo assim, os valores do alfa de Cronbach obtidos garantiram confiabilidade a esta pesquisa.

4.1. Análise da relevância das alternativas apresentadas

Como forma de avaliar a relevância das alternativas *bike rack* e bicicletário, foram analisadas duas questões dos formulários de *feedback*: uma referente à relevância das alternativas apresentadas nos projetos conceituais e a outra referente aos entrevistados que se consideraram ou não potenciais usuários dessas alternativas, caso fossem implementadas. Os histogramas de respostas referentes as duas questões são apresentados na Figura 1.



(a) *Bike rack* (b) bicicletário

Figura 1. Histograma de respostas das questões referentes à relevância e potenciais usuários das alternativas propostas: *bike rack* (a) e bicicletário (b).

Em relação a relevância das alternativas apresentadas, 78% dos entrevistados declararam que a alternativa *bike rack* é relevante. Para o bicicletário, a porcentagem de concordantes foi de 86%. Portanto pode-se afirmar que, nesse caso, o bicicletário foi considerado de maior relevância para a amostra, quando comparado ao *bike rack*.

Já em relação aos potenciais usuários das alternativas, 25% da amostra de entrevistados se declararam potenciais usuários do *bike rack* caso a alternativa fosse implementada, e 30% dos entrevistados declararam potenciais usuários do bicicletário. A análise das porcentagens de usuários que se consideraram potenciais usuários mostrou diferença pouco significativa. Entretanto, o bicicletário mostrou maiores porcentagens de respostas concordantes.

4.2. Implementação de infraestrutura complementar como forma de incentivo do uso das alternativas apresentadas

Com relação aos entrevistados que se consideraram potenciais usuários das alternativas apresentadas, foi incluída uma questão de múltipla escolha no formulário de *feedback*. Nesta questão, foi perguntado sobre quais investimentos complementares deveriam ser realizados para que os entrevistados pudessem se considerar potenciais usuários das alternativas. Para a alternativa *bike rack* e bicicletário, as porcentagens de entrevistados que declarou que trocaria de modo foram de 34,1% e 33,6%, respectivamente, conforme Figura 2 e 3.

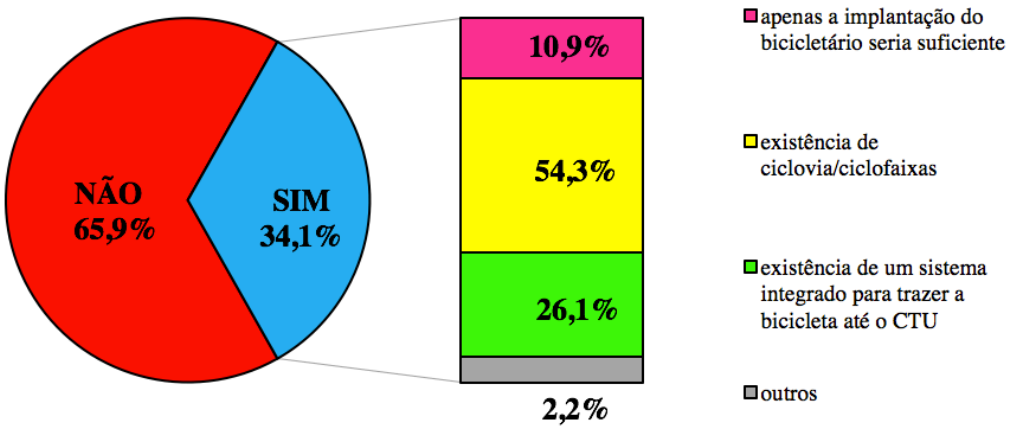


Figura 2. Porcentagem de entrevistados que utilizariam o *bike rack* caso fossem realizados investimentos complementares

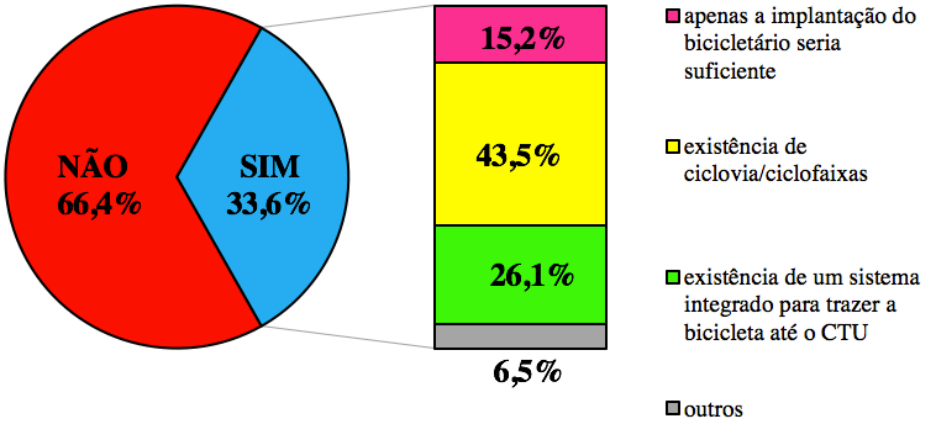


Figura 3. Porcentagem de entrevistados que utilizariam o bicicletário caso fossem realizados investimentos complementares

Considerando as respostas obtidas, observa-se que apesar da grande adesão às alternativas propostas, é necessária implementação de infraestrutura complementar das alternativas *bike rack* e bicicletário. Essas alternativas quando combinadas com outros investimentos (ciclovias, ciclofaixa, integração ônibus bicicleta) podem maximizar o número de potenciais usuários. Nesse caso, somente 10,9% dos potenciais usuários do *bike rack* indicaram que apenas as alternativas apresentadas seriam suficientes. No caso dos potenciais usuários do bicicletário, esse valor foi de 15,2%. A porção majoritária da amostra de entrevistados declarou necessária a implementação de ciclovias e ciclofaixas como complemento ao uso das alternativas propostas nos projetos, com valores de 54,3% para o *bike rack* e 43,5% para o bicicletário. Mediante isso, pode-se afirmar que somente as alternativas implementadas separadamente não seriam suficientes para atrair novos usuários para o modo de transporte bicicleta. Entretanto, ao comparar os valores de potenciais usuários da seção 4.1 com o obtido na questão de múltipla

escolha, pode-se perceber que ao se providenciar infraestrutura adequada por meio de ciclovias e ciclofaixas, os valores dos potenciais usuários aumentaram de 25% para 34,1% para a alternativa *bike rack*. Para o bicicletário, esses valores aumentaram de 30% para 33,6%. Com isso, pode-se notar que o *bike rack* mostra-se promissor quando há infraestrutura adequada. Já o bicicletário não mostrou aumento significativo de usuários quando há existência de infraestrutura.

4.3. Análise da alternativa a ser priorizada

Para o caso específico deste estudo, as alternativas propostas nos projetos conceituais (*bike rack* e bicicletário) indicaram que há potencial para atração de um número significativo de novos usuários para os sistemas propostos. Ao utilizar a técnica de estatística inferencial, pode-se extrapolar o valor da amostra para a população do centro de estudos. A população do CTU é de 907 estudantes de graduação. Foram então obtidos os valores de 230 possíveis usuários do *bike rack* e 268 possíveis usuários da alternativa bicicletário, considerando as porcentagens apresentadas na seção 4.1 (25 e 30%, respectivamente).

Com estes valores, não é possível obter nenhuma conclusão sólida em relação a qual alternativa deve ser priorizada. É necessário verificar outros parâmetros para tirar conclusões mais precisas. Um parâmetro que é priorizado em planejamento de sistemas de transporte é o custo. Para verificar a efetividade do custo das alternativas, pode-se utilizar o custo estimado de cada alternativa e relacionar com a quantidade de possíveis usuários, obtendo um valor de custo por usuário. Os valores estimados de cada alternativa estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Comparação do custo e potenciais usuários das alternativas de estudo

Alternativa	Custo (US$)	Quantidade	Custo total (US$)	Potenciais usuários (população)	Custo por usuário (US$/usuário)
Bike rack	1.125	3	3.375	230	15
Bicicletário	13.955	1	13.955	268	52

A razão entre os valores estimados de cada alternativa e os possíveis usuários de cada sistema dão o custo estimado por usuário. Nesse caso, os valores foram de US$ 52 por usuário para o bicicletário e de US$ 15 por usuário para o *bike rack*.

Mediante os valores custo estimado por usuário de cada alternativa, pode-se afirmar que o *bike rack* pode ser considerada a alternativa a ser priorizada. Mesmo com valores de concordantes inferiores quando comparado com a alternativa bicicletário, o custo se sobressaltou, sendo o valor de implementação do *bike rack* igual a 29% do valor total de implementação do bicicletário. Além disso, caso haja investimentos complementares em infraestrutura, o *bike rack* demonstrou maior potencial na atração de novos usuários para o modo de transporte bicicleta. Entretanto é importante ressaltar a relevância das duas alternativas apresentadas nesse trabalho. Ambas são de extrema importância para garantir uma mobilidade urbana mais sustentável.

5. CONCLUSÕES

Com base nas respostas ao questionário de *feedback*, pode-se considerar que as duas alternativas de projeto conceitual foram consideradas relevantes pelos respondentes. Além disso, as duas alternativas apresentaram valores significativos de potenciais usuários. Entretanto, o bicicletário apresentou uma ligeira preferência pelos entrevistados, pois estes

declararam maior relevância e potenciais usuários desta alternativa. Pode-se presumir que, no caso desse estudo, o *bike rack* se mostrou de menor relevância por não ser tão conhecido. O uso desses suportes para transporte de bicicletas em ônibus ainda é mais utilizado em outros países.

Em relação à implementação de infraestrutura complementar como forma de incentivo ao uso de bicicletário e *bike rack*, pode-se afirmar que estas alternativas quando combinadas com outros investimentos (ciclovias, ciclofaixa, integração ônibus bicicleta) podem maximizar o número de potenciais usuários. Caso fossem realizados investimentos em ciclovias e ciclofaixas, os potenciais usuários da alternativa *bike rack* aumentariam 9%. Já em comparação a instalação de um bicicletário, essa alternativa não mostrou aumento significativo de usuários quando há existência de outros investimentos (aumentaria apenas em 3% o número de potenciais usuários).

Por meio dos resultados indicados nos itens 4.1 e 4.2 não foi possível definir qual a alternativa (*bike rack* ou bicicletário) se mostrou mais promissora. Com isso, foi realizada uma análise de custo, que indicou que a alternativa *bike rack* apresentou menor custo total de implementação e também menor custo por usuário quando comparado ao bicicletário. Entretanto vale ressaltar que além da implantação de *bike racks*, investimentos para incentivar o uso de modos de transportes não motorizados são de grande importância para uma mobilidade urbana mais sustentável.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de estudos concedida e a Universidade Estadual de Londrina pelo apoio à realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

American Public Transportation Association (2017) *2016 Public Transportation Fact Book*. 67. ed. Washington DC: APTA.

Barczak, R. e F. Duarte (2012) Impactos ambientais da mobilidade urbana: cinco categorias de medidas mitigadoras. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 4, n. 1, p. 13-32, 2012.

Chapadeiro, F. C. (2011) *Limites e potencialidades do planejamento cicloviário:um estudo sobre a participação cidadã*. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília, 2011.

Hagelin, C. e A. Datz (2005) *A return on investment analysis of bikes-on-bus programs final report*. National Center for Transit Research, University of South Florida, Florida, USA.

Harris, M.; R. Katz e W. Salomon (2014) *Low cost interventions to encourage cycling: selected case studies*. Austroads, Sydney, Australia.

Kaplan, D. H. (2015) Transportation sustainability on a university campus. *Transportation Sustainability*, v. 16, n. 2, p. 15, 2015.

Ministério das Cidades (2007) *Coleção Bicicleta Brasil - Programa Brasileiro de Mobilidade por Bicicleta*. Secretaria Nacional de Transporte e Mobilidade Urbana, Brasília, BR.

Ministério das Cidades (2015) *PlanMob - Caderno de Referência para Elaboração de Plano de Mobilidade Urbana*. Secretaria Nacional de Transporte e Mobilidade Urbana, Brasília, BR.

Pucher, J. e R. Buehler (2009) Integrating Bicycling and Public Transport in North America. *Journal of Public Transportation*, v. 12, n. 3, p. 26, 2009.

Ricieri, M. G.; H. B. Fontenele e C. A. P. da Silva Junior (2017) Percepção de cidadãos de uma cidade de médio porte em relação ao uso da bicicleta como modo de transporte. *REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil,* v. 13, n. 1, 29 mar. 2017.

Participate Melbourne : Streetscape Improvements Program (2017) Disponível em: <http://participate.melbourne.vic.gov.au/streetscapes>. Acesso em: 04 abr. 2017.

Transportation Research Board (2005). *Integration of bicycles and transit*. Federal Transit Administration. Washington DC, USA.

Mariana Grade Ricieri (marianagricieri@gmail.com)
Caio Fernandes Machado (caio.machadof96@gmail.com)
Vitor Hugo Gomes (vitorh@live.co.uk)
Heliana Barbosa Fontenele (heliana@uel.br)
Carlos Alberto Prado da Silva Junior (cprado@uel.br)
Departamento de Construção Civil, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Universidade Estadual de Londrina
Rodovia Celso Garcia Cid, Campus Universitário, Cx. Postal 10.011 – CEP 86.057-970 Londrina – PR.

O USO COTIDIANO DA BICICLETA E O DIREITO À CIDADE: O FATOR COMPORTAMENTO NA LITERATURA RECENTE

Mariana Oliveira da Silveira
Observatório das Metrópoles – núcleo Recife
Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Urbano
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Maria Leonor Alves Maia
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

RESUMO
É indiscutível que a bicicleta é um dos modos mais importantes para se acessar e ter direito à cidade. No entanto, diversas variáveis interferem para que isto não aconteça. Entre essas variáveis destacam-se às relacionadas aos comportamentos das pessoas. O objetivo do artigo é mostrar a importância do fator comportamento na consolidação da bicicleta como um modo de transporte para deslocamentos do cotidiano e indicar a relevância de se trabalhar a variável comportamento em políticas e/ou projetos que visem o uso frequente da bicicleta e o direito à cidade através deste uso. Para isto, serão apresentadas pesquisas no âmbito nacional e internacional que versam sobre o uso cotidiano da bicicleta atrelado a aspectos comportamentais. Para o Brasil, conclui-se que, mesmo o país estando em fase de amadurecimento no uso da bicicleta, as condições para seu uso cotidiano ainda estão distantes do ideal, e os problemas de comportamento entre motoristas e ciclistas no trânsito estão entre os que mais desestimulam este uso. No exterior, outros comportamentos aparecem de forma pulverizada e incidindo sobre o uso da bicicleta em diversas formas. Por fim, para se ter direito à cidade através do uso cotidiano da bicicleta, é necessário que a sociedade civil e o poder público atuem em fatores comportamentais no desenho e implementação de políticas públicas.

Palavras-chave: Bicicleta. Comportamento. Direito à cidade.

ABSTRACT
It is unquestionable that the bicycle is one of the most important ways to access and have the right to the city. However, several variables interfere so this does not happen. These variables include those related to people's behavior. The objective of the article is to present the importance of the behavior factor in the consolidation of the bicycle as a mode of transportation for daily journeys and indicate the relevance of working the variable behavior in policies and / or projects that aim at frequent use of the bicycle and the right to the city through this use. For this, national and international research on the use of the bicycle will be presented, linked to behavioral aspects. For Brazil, it is concluded that, even when the country is in the stage of maturing in the use of the bicycle, the conditions for its daily use are still far from ideal, and the behavioral problems between drivers and cyclists in traffic are among the most discourage this use. Abroad, other behaviors appear pulverized and focusing on the use of the bicycle in various forms. Finally, in order to have the right to the city through the daily use of the bicycle, it is necessary that civil society and the government act on behavioral factors in the design and implementation of public policies.

Keywords: Bicycle. Behavior. Right to the city.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Lefebvre (2006), o direito à cidade é o direito à vida urbana, à centralidade renovada, aos locais de encontro e de trocas, aos ritmos da vida e empregos no tempo que permitam o uso pleno e inteiro desses momentos e locais. A mobilidade urbana vem ganhando cada vez mais relevância nesse contexto, pois os debates relacionados à como se deslocam as pessoas e os materiais estão diretamente ligados à como acessamos nossas

cidades. No entanto, de acordo com Rodrigues (2016) o triunfo dado ao automóvel a partir da década de 1990 no Brasil e os aumentos abusivos nos preços das passagens dos transportes públicos que, em muitas vezes, extrapolam os índices utilizados para medir a inflação, tornam limitados os direitos de se acessar a cidade pela maioria das pessoas.

Rodrigues (ibid) frisa que os custos de deslocamentos estão diretamente ligados à garantia do direito que toda pessoa tem de um padrão de vida capaz de assegurar a si e a família, saúde e bem estar. Sendo assim, é preciso lembrar que os gastos com transporte no Brasil vêm aumentando gradativamente nas últimas décadas. Segundo a Pesquisa de Orçamentos Familiares do IBGE (2011) - anos base 2008-2009 - o percentual de despesas com transportes das famílias brasileiras chegou a 19,6% de suas rendas, se igualando praticamente aos gastos com alimentação que representavam 19,8% no mesmo período considerado. Além disso, a política para a mobilidade no Brasil parece caminhar para a manutenção do modelo rodoviarista que indica a força inexorável do setor automobilístico. Ao privilegiar alguns projetos, mostra a persistência de um modelo orientado pelos interesses das empreiteiras, responsáveis pelos grandes projetos de infraestrutura no país custeados com recursos públicos, cuja lógica é historicamente promotora de desigualdades urbanas.

Littman (2013) aponta que o planejamento de transportes convencional tinha como objetivo principal a maximização da velocidade e, consequentemente, da distância percorrida, era um modelo que se baseava, sobretudo, no deslocamento em si. No entanto, no geral, o objetivo principal dos deslocamentos diários e pendulares dos ambientes urbanos está relacionado à acessibilidade, e não a mobilidade como um fim, mas sim a capacidade das pessoas em acessar os serviços e atividades desejadas, e é nesse sentido que os atuais esforços do planejamento territorial parecem caminhar (NETO, BUENO e MATTOS, 2016).

É nesse contexto que se vê a importância de se usar a bicicleta para se acessar a cidade, pois, diante da crise da mobilidade em diversos aglomerados urbanos, principalmente com o excesso de congestionamentos e a não priorização da mobilidade sustentável, vêm surgindo movimentos em prol do ciclismo utilitário, que consiste no uso da bicicleta para ir ao trabalho e/ou escola, ou seja, o uso da bicicleta não apenas para lazer ou turismo. Neste uso frequente, ou utilitário, a bicicleta aparece como modo essencial no planejamento de transportes, tanto do ponto de vista territorial quanto social (SILVEIRA e ROCHA, 2017).

Rosa e Schroeder (2014) frisam que a bicicleta configura-se como elemento potencial a contribuir para a inclusão social não apenas por permitir acesso às funções da cidade (serviços básicos, cultura, melhores oportunidades de emprego) de forma autônoma e sem custo, mas também por favorecer o desenvolvimento do percurso. O ato de caminhar e pedalar pela cidade reforça as trocas sociais, o contato com cidadãos entre si e com a cidade, desenvolve o comércio de bairro e instiga a distribuição das facilidades de forma mais equitativa.

No campo das pesquisas que trabalham o fator comportamento, vem-se observando na literatura acadêmica recente que diversos aspectos vêm sendo explorados para se entender e consolidar a bicicleta como um modo de transporte do cotidiano. Este entendimento da importância de se analisar o comportamento das pessoas no planejamento de transportes já vem sendo discutido desde 1945, quando Liepmann argumenta que questões estudadas no comportamento de viagem são amplas e estão muito relacionadas com as análises das atividades e estudos do tempo de deslocamento. Diversos aspectos são questionados em pesquisas sobre comportamento de viagem, principalmente as escolhas dos indivíduos em

relação ao seu processo de deslocamento, ou seja, para onde ir, quando ir, como ir, com quem ir, seleção de destino, rota, horário e modo de transporte; e quais os fatores que o levam a tomar uma decisão, ou seja, por que realizou a viagem para aquele local, naquele horário, com aquela pessoa, com aquele modo, entre outros.

Seguindo a mesma linha de pensamento de Liepmann (1945), Takano (2010) diz que pesquisas sobre comportamento de viagem procuram determinar as razões, fatores e variáveis que definem o processo de tomada de decisão de um indivíduo perante a realização de uma viagem. Considerando ainda a natureza derivada do deslocamento, devem-se buscar variáveis que definam as escolhas dos usuários quanto à sua participação em atividades.

Diante da importância de se analisar o comportamento das pessoas relacionado com as variáveis motivacionais e os obstáculos que interferem no uso da bicicleta para consolidar este modo como sendo do cotidiano, este artigo apresenta a relevância deste campo de pesquisa no âmbito nacional e internacional.

O objetivo do artigo é mostrar a importância do fator comportamento na consolidação da bicicleta como um modo de transporte para deslocamentos do cotidiano e indicar a relevância de se trabalhar a variável comportamento em políticas e/ou projetos que visem o uso frequente da bicicleta e o direito à cidade através deste uso. Nesse contexto, além de um levantamento nacional recente sobre o fator comportamento relacionado ao uso da bicicleta, serão apresentadas pesquisas dos últimos cinco anos do periódico Transportation Research Part F, o qual é específico em pesquisas que relacionam comportamento e transportes.

2. O FATOR COMPORTAMENTO E O USO COTIDIANO DA BICICLETA NO BRASIL

O fator comportamento em pesquisas que abordam o modo bicicleta no Brasil vem sendo indicado principalmente na variável '**comportamento no trânsito entre motoristas e ciclistas'**. No levantamento apresentado neste tópico, apenas este tipo de comportamento, atrelado ao fator educação no trânsito, foi verificado. No país, este comportamento está ligado a um dos maiores obstáculos para se usar a bicicleta, pois, principalmente nos maiores aglomerados urbanos, a falta de respeito entre os usuários dos diversos modos de transporte junto à falta de educação inibem novos e antigos usuários da bicicleta.

Num levantamento nacional feito em artigos de anais de congressos e de periódicos, em dissertações, teses e livros, iniciado por Silveira (2016) no intervalo de 2000 a 2013 e atualizado por Silveira e Rocha (2017) com a inclusão dos anos 2014 ao 2016, viu-se que em pesquisas que abordam diversas variáveis relacionadas ao uso da bicicleta que a variável relativa ao 'comportamento no trânsito entre ciclistas e motoristas' aparece em 17 pesquisas de 33 levantadas. Algumas dessas pesquisas serão abordadas a seguir e uma tabela resumo com indicação das principais variáveis comportamentais analisadas no país e no exterior será apresentada ao final do tópico 3 deste artigo.

Campos, Tampieri e Amaral (2016), em pesquisa realizada na cidade de Belo Horizonte, observaram que a falta de infraestrutura, o comportamento dos motoristas e insegurança no trânsito são os principais problemas relacionados ao não uso cotidiano da bicicleta na cidade. A falta de respeito dos condutores dos motorizados aparece em 29,8% de uma amostra de 376

pessoas como um dos maiores problemas enfrentados entre os que já pedalam. Os autores frisam que a falta de respeito dos motoristas está ligada à falta ou precariedade da infraestrutura cicloviária.

Florentino e Bertucci (2016), em pesquisa realizada em Brasília, viram que a falta de respeito dos motoristas com os ciclistas aparece em 22,7% de uma amostra de 422 pessoas como um dos maiores empecilhos ao uso cotidiano da bicicleta. Os autores frisam que a descontinuidade da infraestrutura cicloviária e a inexistência de um planejamento por meio de indicadores de segurança e de demanda ao longo da história das políticas cicloviárias da cidade pode ser uma das explicações de Brasília ter um índice pequeno de pessoas que desejam continuar pedalando (36,5%).

Apesar da inexistência de uma malha cicloviária e de outras medidas de estímulo ao uso da bicicleta como modo de transporte, Aragão e Souza (2016) observaram na cidade de Manaus que há um ciclismo ativo nas ruas. Nesta pesquisa os autores viram que o comportamento dos motoristas com os ciclistas é o principal problema enfrentado entre 300 ciclistas abordados na pesquisa, este problema foi indicado por 46,6% da amostra. A falta de segurança no trânsito e a falta de infraestrutura cicloviária adequada foram os outros maiores empecilhos ao uso cotidiano da bicicleta entre 28,5% e 20,2% da amostra respectivamente. Como acontece em Manaus, na cidade do Porto Alegre o comportamento dos motoristas com os ciclistas também é o maior problema enfrentando entre 223 ciclistas abordados na pesquisa de Machado, Prolo e Santos (2016), onde 33,5% desses ciclistas indicaram este empecilho no uso cotidiano da bicicleta.

Na cidade do Recife, Silveira e Maia (2016) numa análise de intenção de uso cotidiano da bicicleta a partir de fundamentos da Teoria do Comportamento Planejado, viram que quando a variável relativa ao comportamento dos motoristas com os ciclistas era inserida ao modelo da pesquisa, que as intenções de uso da bicicleta eram influenciadas negativamente em 31,37% de uma amostra de 102 pessoas do CESAR (empresa privada do ramo tecnológico) e em 54,52% de uma amostra de 398 pessoas da Universidade Federal de Pernambuco.

Rodrigues, Andrade e Marino (2016) apontam que além dos problemas da malha cicloviária e da falta de possibilidade de integração intermodal, o quadro geral da política cicloviária do Rio de Janeiro contém outros elementos negativos para aqueles que desejam utilizar a bicicleta em viagens do cotidiano. A falta de infraestrutura adequada divide com a falta de respeito dos condutores dos motorizados a percepção sobre o principal problema para se usar a bicicleta na cidade. A falta de respeito dos motoristas foi citada por 28,8% de uma amostra de 967 ciclistas.

Na cidade de São Paulo, Guth (2016) aponta entre os dados relativos aos principais problemas enfrentados por ciclistas no trânsito, bem como os motivos que os fariam pedalar ainda mais na cidade, que a falta de respeito entre os condutores e a falta de segurança no trânsito são citados por 56% dos entrevistados de uma amostra de 1800 ciclistas. Nesta pesquisa apenas 24% destacaram, como principal problema enfrentado, a ausência de infraestrutura adequada, como ciclovias, ciclofaixas e bicicletários.

Percebe-se entre as pesquisas citadas acima que variáveis não podem ser trabalhadas isoladamente. Para se ter direito à cidade através do uso cotidiano da bicicleta é imprescindível que se trabalhe, principalmente, as variáveis que mais se destacam na

interferência deste uso, que no Brasil são: infraestrutura cicloviária, comportamento dos motoristas com os ciclistas e segurança no trânsito.

Um dos caminhos para se trabalhar essas variáveis que mais interferem no uso cotidiano da bicicleta são as parcerias entre o poder público e a sociedade civil, por exemplo. De acordo com a Associação de Ciclistas Urbanos de Fortaleza (Ciclovida), a política de mobilidade por bicicleta nesta cidade começou após pressão da sociedade, com protestos em 2013, e vem sendo mantida com a expansão da malha ciclável ano após ano. Vale frisar que a rede ciclável de Fortaleza, em sua maioria, atravessa a cidade inteira e tem conexão entre si. Fortaleza está entre os melhores exemplos de cidade que vem conseguindo ser acessada através do uso da bicicleta, pois nos últimos três anos sua rede cicloviária, além de ser em maior parte contínua, passou de 68 km para 209 km no início de 2017, sendo considerada a quarta cidade que possui maior malha ciclável entre as capitais do Brasil, ficando atrás de São Paulo (498 km), Rio de Janeiro (441 km) e de Brasília (420 km) (De Olho no Trânsito, 2017).

3. O FATOR COMPORTAMENTO E O USO COTIDIANO DA BICICLETA NO EXTERIOR

Diante de um levantamento feito no periódico **Transportation Research Part F**, o qual é específico em publicações que versam sobre o comportamento no campo dos transportes, viu-se que nos últimos cinco anos (de 2012 a 2016) 31 pesquisas trabalharam comportamentos relacionados ao uso da bicicleta. Dessas 31 pesquisas 9 trabalharam fatores que influenciam no uso cotidiano da bicicleta. Essas 9 pesquisas serão detalhadas neste tópico. Os objetivos, locais de estudo e principais fatores avaliados nessas 9 pesquisas estão apresentados no tópico 3.1 a seguir. Como em pesquisas levantadas do Brasil, o comportamento entre ciclistas e motoristas também aparece nas pesquisas do exterior, no entanto, neste tópico também aparecerem outros comportamentos como: de satisfação dos ciclistas, de uso do capacete de bicicleta, de risco, de transição do automóvel para a bicicleta, comportamento social e político e entre pedestres e ciclistas.

3.1. Principais resultados das 9 pesquisas internacionais selecionadas

Na pesquisa realizada por Fishman, Washington e Haworth (2012), sobre o uso do sistema de aluguel de bicicletas na cidade de Brisbane (Austrália), viu-se que a obrigatoriedade do capacete reduz o uso espontâneo das bicicletas de aluguel; a atitude dos motoristas influencia negativamente nos ciclistas que usam as bicicletas do sistema de aluguel e o horário do sistema poderia ser maior para atender e acolher mais pessoas.

O uso da bicicleta em Brisbane acontece em apenas 1,6% das viagens da cidade e a maior parte dessas viagens é feita pelo sistema de aluguel de bicicletas. Os autores sugerem que haja expansão da rede para a periferia da cidade e que tenha uma melhor integração com o sistema de transporte público. Além disso, pesquisas adicionais são necessárias para investigar as atitudes dos motoristas para melhorar a compreensão da mudança de comportamento destes com os usuários do sistema de aluguel de bicicletas.

Willis, Manaugh e El-Geneidy (2013), em pesquisa realizada na cidade de Montreal (Canadá), avaliaram motivações e satisfações dos ciclistas desta cidade. Viram que os únicos elementos do ambiente da cidade que parecem afetar a satisfação dos ciclistas são a declividade e a densidade populacional. Não observaram efeito do uso do solo, das conectividades e dos

diferentes tipos de ruas. A descoberta da interferência da declividade foi surpresa, já que os ciclistas mais satisfeitos são os que experimentam uma maior inclinação. Além disso, os autores observaram que embora alguns grupos tenham maior probabilidade de se deslocar (homens jovens, por exemplo), que eles não são necessariamente os que estão mais satisfeitos.

Willis, Manaugh e El-Geneidy (2013) também observaram que ciclistas estão mais satisfeitos em suas viagens que usuários de outros modos de transporte e que ciclistas esporádicos estão mais satisfeitos que os ciclistas que pedalam o ano todo. Por fim, frisam a importância de se avaliar o ambiente construído e as características das viagens para se entender a satisfação dos ciclistas.

Complementando a pesquisa de Willis, Manaugh e El-Geneidy (2013), St-Louis *et. al.* (2014) viram que fatores externos e internos influenciam na satisfação das viagens entre os usuários dos diferentes modos de transporte da cidade de Montreal; que variáveis pessoais, sociais e de atitudes devem ser consideradas além das características objetivas da viagem e que pedestres, usuários de trens e ciclistas estão consideravelmente mais satisfeitos que usuários de automóveis, de ônibus e de metrô.

Tanto na pesquisa de Willis, Manaugh e El-Geneidy (2013) como na de St-Louis *et. al.* (2014) destaca-se a satisfação dos ciclistas em suas viagens em comparação com outros usuários do trânsito. É importante observar que usar o modo bicicleta, se o ambiente permitir, normalmente trás mais satisfação que os outros modos diante de tantas situações de prazer que este modo pode proporcionar: viver a cidade, ter mais interação com as pessoas durante a viagem, praticidade de uso, entre outros.

Spotswood *et. al.* (2015) pesquisaram a representação do ciclismo no Reino Unido e viram que a Teoria da Prática Social pode ser uma ferramenta para compreender a dinâmica complexa do ciclismo utilitário, permitindo que ele seja considerado como uma questão social em vez da análise se concentrar exclusivamente no comportamento individual. De acordo com os autores, esta teoria ainda não foi desenvolvida para gerenciar a mudança de comportamento, mas, pode explicar, em parte, através de sua natureza abstrata, a lenta aceitação do ciclismo no nível político.

Lee, Underwood e Handy (2015) avaliaram atitudes em relação ao ciclismo na cidade de Davis (Califórnia) e viram que quanto maior as lesões associadas a acidentes com ciclistas, maior a probabilidade da falta de desejo em andar de bicicleta; que quando acidentes com ciclistas ocorrem na juventude esses têm pouco efeito sobre as atitudes com relação ao ciclismo quando adultos e que incidentes envolvendo motoristas e falhas na pavimentação foram especialmente prejudiciais na atitude dos ciclistas, principalmente entre os que não usam a bicicleta frequentemente.

Lois, Moriano e Rondinella (2015) avaliaram atitudes em relação ao ciclismo em Vitoria-Gasteiz (Espanha) e viram que existe uma forte ligação entre identificar uma pessoa como ciclista e sua auto eficácia percebida com relação ao respeito ao ciclismo. Os autores apontam que uma medida mais específica de percepção da auto eficácia, visando comportamentos concretos, pode ser usada no desenvolvimento de iniciativas de promoção do ciclismo urbano. Por fim, frisam que variáveis psicossociais incluídas no modelo trabalhado na pesquisa previram que 32% dos usuários de automóveis podem começar a utilizar a bicicleta.

Hatfield e Prabhakharan (2016) avaliaram o comportamento entre pedestres e ciclistas em vias compartilhadas na cidade de Sidney (Austrália) e observaram que em vias com marcação central (sinalização horizontal) há a tendência dos ciclistas pegarem o lado esquerdo da via e pedestres o lado direito; que ciclistas quando induzidos a viajaram a 10km/h, normalmente não cumprem este limite em viagem mais longas e que ciclistas geralmente aderem à sua responsabilidade de dar lugar aos pedestres, mas na pesquisa muitas vezes isso não acontecia, possibilitando situações de risco. Os autores frisam que os problemas de percepção da propriedade do espaço entre ciclistas e pedestres são inúmeros, e diante disto, é necessário iniciativas para melhorar a segurança dos caminhos compartilhados, principalmente com campanhas de educação.

Riggs (2016), em análise sobre o potencial de uso da bicicleta de carga nos EUA, viu que 68,9% dos compradores deste tipo de bicicleta abordados (foi enviado email para 2500 compradores) alteraram o comportamento de viagem após aquisição desta bicicleta. As duas principais razões de mudança de comportamento foram a possibilidade de levar crianças na bicicleta e de levar algumas bagagens. O autor frisa que a mudança de comportamento de transição de uso do modo automóvel para a bicicleta de carga estimula hábitos saudáveis para as crianças e que embora cerca de 30% das viagens feitas com bicicletas de carga sejam de pessoas que já eram ciclistas, os resultados indicam que muitas pessoas se afastaram do modo automóvel (40,7% da amostra).

Høye, Fyhri e Bjørnskau (2016) avaliaram o comportamento de ciclistas e motoristas diante de sinalização vertical em uma autoestrada próximo à Oslo (Noruega) e viram que 2/3 dos participantes da pesquisa notaram a placa que induzia respeito entre motoristas e ciclistas. A maioria gostou e concordou com a mensagem da placa e os ciclistas mais frequentes notaram que os motoristas estavam mais positivos em relação à sinalização. Os autores frisam que depois da instalação da placa o comportamento no trânsito melhorou especialmente em situações de ultrapassagem.

Apesar da pesquisa de Høye, Fyhri e Bjørnskau (2016) ser realizada em área de autoestrada, a importância da sinalização que induz o respeito entre motoristas e ciclistas é crucial para o comportamento destes em qualquer tipo de via. O resultado demonstrado nesta pesquisa mostra que a sinalização pode ajudar a diminuir os riscos do ciclista.

Segue abaixo Tabela 1, com resumo dos principais fatores comportamentais abordados no levantamento no Brasil e no exterior e suas respectivas pesquisas.

Tabela1: Principais fatores comportamentais abordados em pesquisas no Brasil e no exterior que relacionam o modo bicicleta para deslocamentos do cotidiano.

	AUTORES	LOCAIS DAS PESQUISAS	PRINCIPAIS FATORES COMPORTAMENTAIS ANALISADOS							
			Comportamento dos motoristas com os ciclistas	Educação no trânsito	Comportamento de uso do capacete de bicicleta	Comportamento de satisfação dos ciclistas	Comportamento de risco	Comportamento de transição do automóvel para a bicicleta	Comportamento entre pedestres e ciclistas	Comportamento social e político
PESQUISAS NO BRASIL	Miranda (2003)	Florianópolis - SC, Lorena -SP, Santo André - SP, Piracicaba - SP	•	•						
	Delabrida (2004)	Taguatinga - DF	•							
	Maia e Moreira (2010)	Fortaleza - CE		•						
	Providelo e Sanches (2010)	São Carlos - SP, Rio Claro - SP	•							
	Castañon (2011)	Juiz de Fora - MG	•	•						
	Franco (2011)	Curitiba - PR	•							
	Camargo (2012)	Curitiba - PR	•							
	Souza, Sanches e Ferreira (2013)	São José do Rio Preto - SP	•							
	Córdova Jr. e Nodari (2014)	Porto Alegre - RS	•	•						
	Campos, Tampieri e Amaral (2016)	Belo Horizonte - MG	•							
	DeCastro, Saldanha e Edra (2016)	Niterói - RJ	•							
	Rodrigues, Andrade e Marino (2016)	Rio de Janeiro - RJ	•	•						
	Guth (2016)	São Paulo - SP	•							
	Machado, Prolo e Santos (2016)	Porto Alegre - RS	•							
	Florentino e Bertucci (2016)	Brasília - DF	•	•						
	Silveira e Maia (2016)	Recife - PE	•							
	Andrade, Parente e Costa (2016)	Fortaleza - CE	•							
	Pereira (2016)	Salvador - BA		•						
	Aragão e Souza (2016)	Manaus - AM	•							
PESQUISAS NO EXTERIOR	Fishman, Washington e Narelle Haworth (2012)	Brisbane - Austrália	•	•	•					
	Willis, Manaugh e El-Geneidy (2013)	Montreal - Canadá				•				
	St-Louis *et. al.* (2014)	Montreal - Canadá				•				
	Spotswood *et. al.* (2015)	Reino Unido								•
	Lee, Underwood e Handy (2015)	Davis - Califórnia - EUA					•			
	Lois, Moriano e Rondinella (2015)	Vitoria-Gasteiz - Espanha								•
	Hatfield e Prabhakharan (2016)	Sidney - Austrália							•	
	Riggs (2016)	EUA						•		
	Høye, Fyhri e Bjørnskau (2016)	Oslo - Noruega	•	•			•			

4. CONCLUSÕES

Para Lefebvre (2006) o direito à cidade está ligado não só ao direito a um melhor acesso a serviços básicos, mas principalmente à possibilidade da apropriação autônoma do espaço da cidade por seus moradores. De acordo com Carvalho (2017), dada a centralidade da ideia do encontro como parte fundamental da vida plena no ambiente urbano, não é exagero propor que a mobilidade urbana seja fundamental para a promoção do direito à cidade. Não há um conceito único de mobilidade urbana, mas parece intrínseca aí a ideia de deslocar-se e a possibilidade de acessar diferentes partes do tecido da cidade.

Associar mobilidade e direito à cidade implica pensar para além de uma política de transporte urbano, implica em pensar a acessibilidade e mobilidade urbana. Há que se pensar as possibilidades de acessar os diferentes espaços da cidade com facilidade e segurança. Há que se garantir que as vias não sejam pensadas só como formas de ligar pontos da cidade, mas que elas sejam também passíveis de ocupação. Melhorar a mobilidade é diminuir a exclusão e as desigualdades, um passo fundamental para a equidade de oportunidades (CARVALHO, 2017). Nesse contexto a bicicleta é um modo essencial para se acessar a cidade, pois: é prática para se usar, é de baixo custo o que facilita a inclusão social, é fácil de estacionar, ocupa pouco espaço na cidade, pode ser porta a porta, não polui o meio ambiente, com ela podemos interagir com a cidade e com as pessoas, entre outros diversos benefícios. Entretanto, é preciso que haja no Brasil uma gestão política parceira da sociedade civil (a qual inclui ativistas do modo bicicleta e pesquisadores do tema) e, mais do que isso, é preciso vontade política para enfrentar o domínio do carro e a indústria que ele move, para que seja mais fácil a consolidação da bicicleta como modo de transporte cotidiano nas grandes cidades.

Apesar do Brasil estar vivendo um momento de amadurecimento do uso utilitário da bicicleta, o convite para se usar este modo ainda está longe de ser convincente, principalmente para os que têm facilidade de acessar os modos individuais motorizados num cenário onde a falta de infraestrutura cicloviária, a insegurança no trânsito, a insegurança pública e o desrespeito do motorista com o ciclista estão entre as variáveis que mais desestimulam o uso cotidiano da bicicleta. Neste artigo, as variáveis de comportamento foram exploradas em pesquisas nacionais e internacionais com intuito de apontar como essas variáveis interferem sobre o uso da bicicleta apresentando a importância de se entender e avaliar o comportamento das pessoas para a consolidação da bicicleta como um modo viável para se acessar e ter direito à cidade.

Em pesquisas nacionais que abordam o uso da bicicleta viu-se que a avaliação do comportamento normalmente está atrelada a convivência entre ciclistas e motoristas no trânsito, a qual vem atrapalhando de forma relevante na consolidação da bicicleta em deslocamentos cotidianos nas cidades do Brasil. Em 33 pesquisas levantadas, este comportamento aparece como empecilho em 17.

Já entre as pesquisas internacionais levantadas, viu-se que o comportamento dos motoristas com os ciclistas foi apontado em 2 das 9 pesquisas selecionadas para este artigo. Na de Fishman, Washington e Haworth (2012), realizada na cidade de Brisbane (Austrália), onde os autores apontaram que este comportamento influencia negativamente sobre o uso das bicicletas de aluguel na cidade, e em Høye, Fyhri e Bjørnskau (2016), realizada em autoestrada próxima à Oslo (Noruega), onde os autores observaram que o comportamento dos motoristas com os ciclistas melhorou especialmente em situações de ultrapassagem, depois da instalação de uma sinalização que induzia respeito entre estes.

Nas pesquisas internacionais, diversos aspectos comportamentais foram observados: a utilização de sinalizações de trânsito pode melhorar consideravelmente o comportamento entre os usuários do trânsito e em específico o uso da bicicleta; o nível de satisfação dos ciclistas em suas viagens normalmente é maior que em usuários de outros modos, principalmente quando a cidade favorece ao uso da bicicleta; a obrigatoriedade do uso do capacete pode influenciar negativamente no comportamento de uso da bicicleta e há efeito negativo sobre o uso cotidiano da bicicleta diante das diversas situações de risco e de acidentes.

O efeito negativo sobre o uso cotidiano da bicicleta desencadeado por comportamentos de risco de motoristas, ciclistas e outros usuários do trânsito, os quais causam acidentes e outros incidentes críticos, aponta a importância de políticas para reduzir a probabilidade desses eventos acontecerem. No Brasil, estes comportamentos de risco devem ser observados e vigiados de forma criteriosa, principalmente diante de tantos acidentes fatais que ocorrem com ciclistas no país. A insegurança no trânsito, inclusive, de acordo com Silveira e Rocha (2017) e com Silveira (2016), é um dos fatores que mais interfere sobre o uso da bicicleta no Brasil. Esta questão da interferência de comportamentos de risco sobre o uso da bicicleta foi citada na pesquisa realizada por Lee, Underwood e Handy (2015) na cidade de Davis, na Califórnia e na pesquisa realizada por Høye, Fyhri e Bjørnskau (2016) em autoestrada próxima à Oslo, na Noruega; mas este tipo de análise de comportamento de risco não vendo sendo feita no Brasil, o que indica a urgência de avaliação desses comportamentos.

Destaca-se neste artigo a importância do levantamento de variáveis relacionadas ao comportamento das pessoas e ao uso cotidiano da bicicleta, pois nele há indicação de elementos chave que políticas públicas que visam à mobilidade sustentável não podem ignorar.

Frisa-se, neste trabalho, a importância de se explorar o fator comportamento entre os usuários de trânsito, seja ele um comportamento de convivência, de satisfação, de uso de equipamentos de bicicleta, de risco, entre outros. Tanto nas cidades do Brasil como em outras cidades, é imprescindível a análise desses comportamentos para se entender e viabilizar a bicicleta como um modo de transporte do cotidiano, e, nesse contexto de análise, ficará mais fácil inserir este modo para se acessar as cidades. Por fim, para se ter direito à cidade através do uso cotidiano da bicicleta, é necessário que a sociedade civil e o poder público atuem em fatores comportamentais no desenho e implementação de políticas públicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, B.R.; PARENTE, G.P.L.; COSTA, T.B. **Bicicletar: Caracterização do Sistema de Bicicletas compartilhadas de Fortaleza**. XXX Congresso Nacional de Pesquisa em Transportes da ANPET. Modelos e Técnicas de Planejamento de Transportes – Pôster, Rio de Janeiro, RJ, p. 1887-1895, 2016.

ARAGÃO, L.A.; SOUZA, G.A. **Bicicletas em Manaus, AM: Produção, usos e contradições**. In: Mobilidade por Bicicleta no Brasil. Prourb, UFRJ. p. 77-98. Rio de Janeiro, 2016.

CAMARGO, E.M. **Barreiras e facilitadores para o uso da bicicleta em adultos na cidade de Curitiba – Um estudo com grupos focais**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Educação Física. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

CAMPOS, C.E.; TAMPIERI, G.L.C.; AMARAL, M.C. **Perfil e desafios das ciclistas e dos ciclistas de Belo Horizonte**. In: Mobilidade por Bicicleta no Brasil. Prourb, UFRJ. p. 21-50. Rio de Janeiro, 2016.

CARVALHO, A.P.S. **A Lei Nacional da Mobilidade e as Novas Possibilidades de Promoção do Direito à Cidade no Brasil**. In: Políticas Públicas e Direito à Cidade. Programa interdisciplinar de formação de agentes sociais. Organização: Santos Junior et. al. Rio de Janeiro. Letra Capital.142 p. 2017.

CASTAÑON, U.N. **Uma proposta de mobilidade sustentável: o uso da bicicleta na cidade de Juiz de Fora**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro – RJ, 2011.

CÓRDOVA Jr., R.S. e NODARI, C.T. **Investigação dos fatores que influenciam na segurança cicloviária em áreas urbanas**. XXVIII Congresso Nacional de Pesquisa em Transportes da ANPET. Curitiba, PR, 2014.

DeCASTRO, J.; SALDANHA, L.; EDRA, F.P.M. **Mobilidade cicloviária: a convergência entre o urbano e o turístico**. In: Mobilidade por Bicicleta no Brasil. Prourb, UFRJ. p. 99-117. Rio de Janeiro, 2016.

DELABRIDA, Z.N.C. **A imagem e o uso da bicicleta: um estudo entre moradores de Taguatinga**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Psicologia. Universidade de Brasília. Brasília, DF, 2004.

De Olho no Trânsito. **O exemplo que vem de Fortaleza**. Disponível em: http://jc.ne10.uol.com.br/blogs/deolhonotransito/2017/05/21/o-exemplo-que-vem-de-fortaleza/, acesso em maio de 2017, 2017.

FISHMAN, E. ; WASHINGTON, S.; HAWORTH, N.Barriers and facilitators to public bicycle scheme use: A qualitative approach. *Transportation Research Part F*. 15, 686–698. 2012.

FLORENTINO, R.; BERTUCCI, J. **Os caminhos dos ciclistas em Brasília/DF**. In: Mobilidade por Bicicleta no Brasil. Prourb, UFRJ. p. 51-75. Rio de Janeiro, 2016.

FRANCO, C.M.A. **Incentivos e empecilhos para a inclusão da bicicleta entre universitários**. Dissertação de mestrado em Psicologia. Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2011.

GUTH, D. **Migração modal: por que estamos perdendo ciclistas diariamente**. In: Mobilidade por Bicicleta no Brasil. Prourb, UFRJ. p. 239-264. Rio de Janeiro, 2016.

HATFIELD, J.; PRABHAKHARAN, P. An investigation of behaviour and attitudes relevant to the user safety of pedestrian/cyclist shared paths. *Transportation Research Part F*, 40, 35–47, 2016.

HØYE,A.; FYHRI,A.; BJØRNSKAU, T. Shared road is double happiness: Evaluation of a ‘‘Share the road” sign. *Transportation Research Part F*, 42, 500–508, 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009. Rio de Janeiro, 2011.

LEE,A.E.; UNDERWOOD,S.; HANDY, S. Crashes and other safety-related incidents in the formation of attitudes toward bicycling. *Transportation Research Part F*, 28, 14–24, 2015.

LEFEBVRE, H. **O Direito à Cidade**. São Paulo,Centauro, 2006.

LIEPMANN, K.K. **The Journey to work**. Nem York, Oxford University Press, 1945.

LITTMAN, T. **Smart Congestion Relief – Comprehensive Analysis of Traffic Congestion Costs and Congestion Reduction Benefits**. Victoria: Victoria Transport Policy Institute, 2013.

LOIS,D.; MORIANO,J.A.; RONDINELLA, G. Cycle commuting intention: A model based on theory of planned behaviour and social identity. *Transportation Research Part F*, 32, 101–113, 2015.

MACHADO, L.; PROLO, F.; SANTOS, C.L. **Políticas cicloviárias, ativismo e perfil do ciclista de Porto Alegre**. In: Mobilidade por Bicicleta no Brasil. Prourb, UFRJ. p. 119-144. Rio de Janeiro, 2016.

MAIA, C.A.; MOREIRA, M.E.P. **Caracterização dos deslocamentos de ciclistas e fatores que influenciam suas viagens em Fortaleza – CE**. XXIV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, 2010.

MIRANDA, A.C.M. **Comparativos de demandas cicloviárias**. 14º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito. Associação Nacional dos Transportes Públicos – ANTP, Vitória – ES, 2003.

NETO, A.C.; BUENO, R.; MATTOS, R.R. **A colaboração dos ciclistas para a construção da territorialidade**. In: Mobilidade por Bicicleta no Brasil. Prourb, UFRJ. p. 191-209. Rio de Janeiro, 2016.

PEREIRA, M.G.B.G.S. **Mobilidade por bicicleta em Salvador/Bahia: liberdade e liberação**. In: Mobilidade por Bicicleta no Brasil. Prourb, UFRJ. p. 211-237. Rio de Janeiro, 2016.

PROVIDELO, J.K.; SANCHES, S.P. Percepções de indivíduos acerca do uso da bicicleta como modo de transporte. *Transportes*. v. XVIII, p. 53-61, 2010.

RIGGS, W. Cargo bikes as a growth area for bicycle vs. auto trips: Exploring the potential for mode substitution behavior. *Transportation Research Part F*, 43, 48–55,2016.

RODRIGUES, J.M. **Qual o estado da mobilidade urbana no Brasil ?**. In: Mobilidade Urbana no Brasil: Desafios e Alternativas. Heinrich Böll Stiftung, 2016.

RODRIGUES, J. M.; ANDRADE, V.; MARINO, F. **Mobilidade por bicicleta no Rio de Janeiro: quem são os ciclistas, porque e como pedalam**. In: Mobilidade por Bicicleta no Brasil. Prourb, UFRJ. p. 169-189. Rio de Janeiro, 2016.

ROSA, E.S.; SCHROEDER, T. **Bicicleta como objeto promotor da inclusão social**. XXVIII Congresso Nacional de Pesquisa em Transportes da ANPET. Curitiba, PR, 2014.

SILVEIRA, M.O. (2016) **O uso da bicicleta sob os fundamentos da Teoria do Comportamento Planejado**. Tese de Doutorado. Recife, PE, UFPE.

SILVEIRA, M.O. e MAIA, M.L.A. **O potencial de uso frequente da bicicleta entre não ciclistas e potenciais ciclistas da cidade do Recife**. XXX Congresso Nacional de Pesquisa em Transportes da ANPET. Modelos e Técnicas de Planejamento de Transportes – Transporte não motorizado II, Rio de Janeiro, RJ, p. 1812-1823, 2016.

SILVEIRA, M.O. e ROCHA, D.M. **O uso frequente da bicicleta e o Direito à Cidade**. Encontro Nacional do INCT Observatório das Metrópoles. Natal, RN. Março de 2017.

SOUZA, A.A.; SANCHES, S.P.; FERREIRA, M.A.G. **Atitudes com relação ao uso da bicicleta – um estudo piloto**. XXVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET. Belém, PA, 2013.

SPOTSWOOD,F.; CHATTERTON,T.; TAPP,A.; WILLIAMS, D. Analysing cycling as a social practice: An empirical grounding for behaviour change. *Transportation Research Part F*, 29, 22–33, 2015.

St-LOUIS, E.; MANAUGH,K.; LIEROP,D.van; EL-GENEIDY,A. The happy commuter: A comparison of commuter satisfaction across modes. *Transportation Research Part F*, 26, 160–170, 2014.

TAKANO, M.S.M. **Análise da influência da forma urbana no comportamento de viagens encadeadas com base em padrões de atividades**. Dissertação de Mestrado em Transportes. Faculdade de Tecnologia. Universidade de Brasília. Brasília, DF, 2010.

WILLIS, D.P.; MANAUGH,K.; El-Geneidy, A. Uniquely satisfied: Exploring cyclist satisfaction. *Transportation Research Part F*, 18, 136–147, 2013.

Mariana Oliveira da Silveira (maridasilveira@gmail.com)
Maria Leonor Alves Maia (nonamaia@gmail.com)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Rua Acadêmico Hélio Ramos, S/N, Cidade Universitária, 50670-90, Recife - PE, Brasil.

A CIDADE CONVIDA PARA CAMINHAR? UM ESTUDO SOBRE A PERCEPÇÃO DE CAMINHABILIDADE NO DISTRITO FEDERAL

Caroline Machado Silva
Lucas Heiki Matsunaga
Hartmut Günther
Universidade de Brasília - UnB
Ingrid Luiza Neto
Centro Universitário do Distrito Federal - UDF

RESUMO
Este trabalho investigou a percepção de caminhabilidade entre moradores do Distrito Federal. Para tanto, foi utilizada a versão abreviada da *Neighborhood Environment Walkability Scale*, comparando-se as regiões do Conjunto Urbano de Brasília (CUB) com as demais regiões administrativas do Distrito Federal. 126 moradores participaram do estudo, sendo 55% do CUB. O instrumento de medida foi submetido a um preteste e a procedimentos de análise fatorial confirmatória, apresentando qualidades psicométricas satisfatórias e indicando que os dados do Distrito Federal se adequam à estrutura fatorial proposta pelo instrumento original. Maior caminhabilidade foi percebida pelos moradores do CUB do que das regiões mais periféricas, indicando que estes sentem que têm mais acesso a lojas, facilidades, serviços e locais para caminhar. Discute-se a importância de desenvolver ações de incentivo às caminhadas e de investigar possíveis restrições ambientais percebidas pelos residentes das regiões pesquisadas.

ABSTRACT
This study investigated the perception of walkability among residents of the Federal District. We used the abbreviated version of the Neighborhood Environment Walkability Scale, comparing the regions of the Brasília Urban Center (BUC) with the other regions of the Federal District. 126 residents participated in the study, being 55% of the BUC region. The measurement instrument was submitted to a pretest and to confirmatory factorial analysis procedures, presenting satisfactory psychometric qualities and indicating that the data of the Federal District fit to the factorial structure proposed by the original instrument. Greater walkability was perceived by the BUC' inhabitants than by the residents of more peripheral regions, indicating more access to stores, facilities, services and places to walk at the BUC area. We discuss the importance of developing actions to encourage walks and to investigate possible environmental restrictions perceived by residents of the surveyed regions.

1. INTRODUÇÃO

O uso excessivo do automóvel nas grandes cidades tem trazido inúmeras consequências negativas para a vida urbana, como congestionamentos, acidentes, danos à saúde e à qualidade de vida, barulho e poluição, além do uso indevido de energia e do solo (Gärling *et al.,* 2002; Gifford e Steg, 2007).

Essas consequências negativas, por sua vez, têm sido fonte de crescentes preocupações e incitado o planejamento de medidas para encorajar uma mudança de comportamento (Staats *et al.,* 2004) e a utilização de modos de transportes mais sustentáveis (Litman, 2003; Gehl, 2010).

Um dos modos de transporte considerados mais sustentáveis é o caminhar. Além de contribuir com a redução dos impactos do uso do automóvel (i.e., congestionamento, poluição, uso indevido da energia e do solo), caminhar contribui para a redução da incidência de problemas epidemiológicos, como a obesidade e problemas cardiovasculares (Peters *et al.,* 2002). Há também um aumento da sociabilidade, pois caminhar estimula a convivência e as relações sociais no espaço urbano, bem como o desenvolvimento de uma percepção estética do mundo, que permite que os indivíduos observem e transformem simbolicamente o espaço que os cerca

(Magalhães *et al.*, 2004). Litman (2005) indica ainda que, quando existe um sistema de corredor público que oferece uma variedade de serviços, comércio e transporte público para os pedestres, é possível promover o turismo e até mesmo a valorização imobiliária da região.

Assim, é importante identificar os fatores que influenciam os indivíduos a caminhar no ambiente urbano. Por que algumas pessoas utilizam a caminhada como principal modo de transporte, mesmo tendo acesso ao automóvel ou ao transporte público? Por outro lado, por quais motivos algumas pessoas preferem utilizar o automóvel, mesmo que só precisem percorrer um curto trajeto, que poderia ser facilmente realizado a pé? Responder a essas questões constitui um desafio, uma vez que o comportamento de viagem (que inclui o comportamento de caminhar) pode ser influenciado por diferentes fatores: a) sócio demográficos (e.g., sexo, idade); b) ambientais (e.g., densidade, forma urbana) e; c) psicossociais (e.g., percepção de que é simples desempenhar o comportamento, atitude favorável a determinado modo de transporte) (Neto *et al*., no prelo).

O presente trabalho visa a investigar a percepção dos moradores sobre a caminhabilidade na cidade, comparando-se a região chamada Conjunto Urbanístico de Brasília com as demais Regiões Administrativas do Distrito Federal. Como objetivo secundário, serão verificadas as características psicométricas de um instrumento de medida de caminhabilidade ainda não utilizado no contexto brasileiro - a versão abreviada da *Neighborhood Environment Walkability Scale* - NEWS-A.

2. O CONTEXTO DO DISTRITO FEDERAL

O Distrito Federal (DF) é uma Unidade Federativa que foi implantada na região Centro-Oeste do país em 1950. Atualmente é constituído por trinta e uma Regiões Administrativas (RAs), totalizando 2.570.160 habitantes. O Índice de Desenvolvimento Humano da região é de 0.824, um dos mais altos em todo o Brasil (IBGE, 2010).

O território do DF é organizado de acordo com suas atividades econômicas, tendo como centro econômico e político a cidade de Brasília (Caiado, 2013). Dessa maneira, existe um polo atrativo central que gera um movimento pendular diário até o chamado Conjunto Urbanístico de Brasília (CUB), cujos serviços encontram-se setorizados. O CUB, região formada pelos bairros Asa Sul, Asa Norte, Vila Planalto, Vila Telebrasília, Setor Militar Urbano, Cruzeiro, Sudoeste, Noroeste e Octogonal. Esta região, embora venha gradativamente diminuindo a concentração de serviços e de comércio, ainda abrange 46,33% dos empregos do DF (Governo do Distrito Federal, 2015).

As demais RAs, antigamente chamadas de "cidades satélites", possuem características de cidades dormitórios, onde os movimentos pendulares são frequentes no início e fim do dia. Grande parte das RAs situa-se à uma distância considerável do Plano Piloto (Ojima *et al.,* 2010). Essa distância acarreta na realização de longos deslocamentos por parte dos moradores, deslocamentos estes que muitas vezes são perigosos e pouco amigáveis para quem anda a pé ou de bicicleta. Além disso, o transporte público sobre trilhos não abrange todo o DF e o sistema de ônibus apresenta custos elevados, é superdimensionado e ausente (Paviani, 1987).

Tratando-se da morfologia urbana, alguns bairros presentes no CUB possuem características como edifícios sob pilotis, com até seis pavimentos para uso residencial, média densidade

populacional, existência de comércio local nas proximidades dos edifícios, sistema hierarquizado de vias com eixos viários bem estruturados e elevada taxa de arborização, quando comparado às demais RAs do DF. Estas, por sua vez, em sua maioria, são fruto de uma morfologia de ocupação de cidade horizontal (Paviani, 1987). Ainda que algumas delas tenham sido planejadas, possuem grandes áreas vazias, com falta de arborização, infraestrutura urbana, calçamento e acessibilidade. Por vezes, não possuem sequer uma escola de ensino médio, ou um centro clínico (Paviani, 1999). Com isto, os moradores precisam percorrer grandes distâncias para ter acesso a áreas de comércio e serviços em geral, constituindo um ambiente urbano que pode não encorajar os usuários a caminhar (Southworth, 2005).

Assim, o DF seguiu um modelo urbanístico de expansão periférica, marcado por desigualdades sociais. Parte da população foi "expulsa" das áreas mais centrais da cidade, passando a viver na periferia e a utilizar as áreas centrais como centros de emprego. Esse movimento periférico, gera a necessidade de ampliação do sistema de transporte, para que possa atender às necessidades diárias de deslocamento da população (Ghidini, 2010).

3. MENSURANDO A CAMINHABILIDADE NO ESPAÇO URBANO

A caminhabilidade, conceito traduzido do inglês *walkability*, é definida como a extensão em que o ambiente construído apoia e encoraja as pessoas a caminhar (Southworth, 2005). Para mensurar o quão "caminhável" é uma cidade ou um bairro, medidas objetivas ou subjetivas podem ser utilizadas (Adams *et al*., 2009).

3.1. Medidas Objetivas de Avaliação da Caminhabilidade

Objetivamente, é possível estudar o plano geográfico, fazendo uma análise morfológica e física das características de um determinado ambiente urbano. Nessa abordagem, avalia-se indicadores físicos, como a presença/ausência de calçadas e outros tipos de passagens para pedestres, as condições de tráfego, a acessibilidade, a segurança e a presença de serviços lindeiros às vias. A presença de uma rede de caminhos interconectados, por exemplo, também é um indicador de caminhabilidade, pois oportuniza um maior acesso aos lugares atrativos. A presença de árvores e elementos da paisagem, a proximidade dos edifícios em relação às vias, bem como a presença de portas ao longo da calçada também sinalizam que um bairro é mais caminhável (Abley, 2005; Gehl, 2010). O acesso ao transporte público, calçadas de qualidade, estética dos edifícios, boa qualidade do ar, sombra/sol em épocas apropriadas, mobiliário urbano de qualidade, densidade das edificações, diversidade de usos e acessibilidade também constituem indicadores de caminhabilidade (Ramirez *et al*., 2006).

Alguns instrumentos são utilizados para medir o índice de caminhabilidade de um determinado ambiente, utilizando indicadores físicos. O *Pedestrian Environment Review System* - PERS é um software que permite uma avaliação econômica das condições da rede de transporte para os pedestres em determinadas regiões da cidade. O intuito do software é oferecer subsídios para o desenvolvimento de redes de pedestres acessíveis e inclusivas (TRL, 2003).

Outra ferramenta que mede o índice de caminhabilidade na cidade é o site *WalkScore*. Este indicador analisa a malha urbana do bairro e atribui um escore de caminhabilidade que varia de 0 a 100, considerando a distância e a disponibilidade de serviços, de comércios e da rede de transportes disponível ao pedestre (Davies e Clark, 2009).

3.2. Medidas Subjetivas de Avaliação da Caminhabilidade

No âmbito subjetivo, por sua vez, a caminhabilidade pode ser mensurada perguntando aos indivíduos, por meio de questionários e entrevistas, como é a relação de sua mobilidade com o ambiente em que vivem. Nesse contexto, o pesquisador lança mão de medidas psicossociais, utilizando como foco não as características físicas do ambiente, mas a percepção subjetiva do usuário e os sentimentos em relação aos diferentes modos de transporte (Koppelman e Lyon, 1981).

Um exemplo dessa medida é o site *RateMyStreet,* que é uma ferramenta complementar ao PERS que coleta a opinião dos usuários sobre a qualidade das ruas, encorajando a participação popular na avaliação e no planejamento de ruas mais caminháveis (TRL, 2010). Nesse site, que utiliza os mapas do *Google* e do *Google Streetview*, os usuários classificam as ruas, usando um sistema de até cinco estrelas, considerando oito categorias: largura das calçadas, perigos durante o trajeto, condições de travessia, segurança viária, segurança urbana, orientação no meio urbano, limpeza/atratividade e acessibilidade para pessoas com deficiências.

Aplicativos para dispositivos móveis também têm sido desenvolvidos para medir a caminhabilidade, utilizando-se da tecnologia dos *smartphones*. Um exemplo de aplicativo é o *WALKability App,* em que as avaliações das ruas, feitas pelos usuários, são mapeadas via GPS e enviadas aos gestores públicos, com o intuito de contribuir para melhorar o sistema (WalkabilityAsia, 2012).

Essas medidas, embora sejam muito interessantes e inovadoras, do ponto de vista tecnológico, trazem algumas limitações práticas. Uma delas refere-se ao fato de que somente as pessoas que têm acesso à internet podem avaliar o sistema de transportes disponível ao pedestre, o que torna a ferramenta pouco democrática. Além disso, como qualquer pessoa pode avaliar a rua, não se tem um controle maior sobre o tipo de respondente: quem está ranqueando realmente é um usuário daquela rua ou é apenas alguém que quer avaliar as ruas da cidade?

Para minimizar essas limitações, o uso de questionários ou entrevistas pode ser eficiente, pois possibilita a participação de usuários que não tenham acesso à internet e que realmente utiliza a rua ou o bairro de interesse, uma vez que pode ser abordado no próprio ambiente de investigação. No presente estudo, foi utilizada uma medida subjetiva do tipo questionário para avaliar a caminhabilidade do Distrito Federal, segundo a percepção de residentes de diferentes bairros. O instrumento utilizado será detalhado na seção a seguir.

3.2.1. Neighborhood Environment Walkability Scale - NEWS

Desenvolvida por Saelens, *et al.* (2003) nos Estados Unidos, a *Neighborhood Environment Walkability Scale* - NEWS mensura o quanto uma determinada vizinhança encoraja um indivíduo a caminhar e a pedalar. A partir do relato do indivíduo, são avaliadas as seguintes características: acessibilidade e proximidade dos serviços, segurança, estética das residências e do ambiente comunitário, satisfação com a vizinhança, conectividade entre as ruas, densidade residencial e demais infraestruturas para caminhar e pedalar.

A escala original é composta por 83 itens e já foi aplicada em diferentes culturas: África (Oyeyemi *et al*., 2013; Oyeyemi *et al*., 2016), Alemanha (Rottmann e Mielck, 2014),

Austrália (Cerin, *et al.*, 2008), China (Cerin *et al.*, 2010), Índia (Adlakha *et al*., 2016), Europa (Spittaels *et al.*, 2009), entre outros. Uma justificativa para a ampla utilização deste instrumento em diferentes culturas é que seus resultados podem subsidiar o desenvolvimento de políticas públicas de saúde, planejamento urbano, mobilidade e transporte. No que tange à mobilidade urbana, especificamente, os resultados das pesquisas utilizando o NEWS podem apresentar indicadores importantes sobre o uso de modos de transporte mais sustentáveis em determinado bairro ou cidade, e os consequentes impactos deste comportamento no sistema de transportes.

A versão em português do instrumento foi apresentada por Malavasi *et al.* (2007), que aplicaram a escala em uma amostra composta por 75 pessoas na cidade de Florianópolis. Posteriormente, inúmeros estudos utilizando o NEWS foram realizados no contexto brasileiro, realizando as devidas adaptações culturais (Amorim *et al.*, 2010; César *et al.*, 2013; Florindo *et al.*, 2011; Giehl *et al.*, 2017; Parra *et al*., 2011; Rech *et al*., 2012; Salvador *et al.*, 2010).

Há também uma versão abreviada, denominada NEWS-A, que apresenta um número menor de itens e tem demonstrado características psicométricas satisfatórias (Cerin *et al.*, 2006; Cerin *et al.*, 2009). Contudo, ainda não se tem conhecimento de estudos realizados no contexto brasileiro utilizando a NEWS-A. A estrutura da escala NEWS e da versão abreviada NEWS-A, pode ser visualizada na Tabela 1.

Tabela 1: Estrutura das versões em português e abreviada do NEWS

Subescala	Quantidade de itens	
	NEWS (em português)	NEWS-A (em inglês)
A- Tipos de residência em seu bairro	6	6
B- Lojas, facilidades e outros serviços em seu bairro	23	23
C- Acesso a serviços	7	4
D- Ruas do meu bairro	5	5
E- Lugares para caminhar e andar de bicicleta	5	6
F- Arredores do bairro	6	4
G- Segurança no trânsito	8	3
H- Segurança contra crimes	6	3
I- Nível de satisfação com o bairro	17	-
Total	83	54

Cerin, *et al.* (2006); Cerin, *et al.* (2009); Malavasi, *et al.* (2007).

Conforme exposto na Tabela 1, a diferença entre a versão completa do NEWS e a versão abreviada está apenas na quantidade de itens, que é reduzida na versão abreviada. Como, até o momento, não são conhecidos estudos brasileiros usando a versão abreviada do NEWS, optou-se por utilizar este instrumento no presente estudo. Dessa maneira, além de indicar

como os moradores do CUB e das demais regiões do DF percebem a caminhabilidade em seus bairros, esse estudo também visa a apresentar as características psicométricas do NEWS-A, aplicado em uma amostra brasileira.

Assim, não se pretende apresentar evidências de validade da versão completa do NEWS, pois este instrumento já foi amplamente utilizado na cultura brasileira. Entretanto, serão apresentadas as qualidades psicométricas da versão abreviada do instrumento - NEWS-A, ainda não utilizado no Brasil.

4. METODOLOGIA

4.1. Preteste do Instrumento

Antes da aplicação do instrumento propriamente dito, a versão do NEWS-A foi submetida a um preteste. Como o objetivo deste estudo é analisar a caminhabilidade do bairro, foram excluídos os itens que fazem menção ao comportamento de pedalar, mantendo-se apenas os itens referentes à possibilidade de caminhar no bairro. Também foram excluídos os itens da subescala I- *Satisfação com o bairro*, uma vez que, em estudo realizado no DF, não foi evidenciada relação entre satisfação com o bairro e caminhabilidade (Silva e Günther, 2017).

O instrumento foi, então, aplicado em uma amostra de 34 estudantes universitários, selecionada por conveniência, residentes de diferentes RAs do DF. Os participantes foram abordados nos corredores da Universidade e solicitados a participar da pesquisa. Os interessados foram orientados a ouvir a leitura dos itens, feita pelo pesquisador, e a indicar se os itens estavam claros, apresentando sugestões e críticas. O entrevistador, por sua vez, registrava as perguntas realizadas pelos participantes, bem como qualquer sinalização de incompreensão do item (reações verbais e não verbais). Esses registros foram analisados por dois pesquisadores, por meio da técnica de análise de conteúdo (Bardin, 2010).

Os participantes da fase do preteste indicaram dificuldades para compreender alguns itens da escala, especialmente quanto ao comando ou conteúdo da questão. Diante dos resultados do preteste, decidiu- se pela exclusão dos 6 itens da subescala A- *tipos de residência em seu bairro* e de um item da subescala D- *ruas do meu bairro*. Finalizada a fase de preteste, o instrumento contendo as adaptações foi aplicado em uma amostra de moradores no Distrito Federal, conforme indicações a seguir.

4.2. Participantes

Participaram do estudo 126 pessoas, selecionadas por conveniência, moradores de 22 regiões administrativas do DF, com idade variando de 16 a 74 anos (M=35,89; DP=14,26). 69% da amostra era do sexo feminino. A maioria morava na região do CUB (55%) e os demais moravam na outras RAs (45%).

4.3. Instrumento

Como não foi encontrada uma versão em português da NEWS-A, foram utilizados apenas os itens traduzidos para o português por Malavasi, *et al.* (2007) que compõem o NEWS-A. Como mencionado anteriormente, dos 54 itens que compõem a NEWS-A, foram excluídos 6 itens da subescala A- *tipos de residência em seu bairro* e um item da subescala D- *ruas do meu bairro*, totalizando 47 itens.

4.4. Procedimento

4.4.1. Coleta de Dados

Os participantes, selecionados por conveniência, foram abordados pelos pesquisadores na rua em diferentes bairros da cidade, onde foram convidados a participar de uma entrevista, com a duração média de 20 minutos. Os participantes foram informados que não receberiam benefício algum por participar da pesquisa, e que sua identidade seria mantida em anonimato.

4.4.2. Análise de Dados

Inicialmente, o instrumento foi submetido a procedimentos de análise fatorial confirmatória, utilizando o software AMOS, versão 24, a fim de verificar se os dados coletados no Distrito Federal se ajustam ao modelo do NEWS-A anteriormente proposto, já que não foram encontrados estudos anteriores utilizando o NEWS-A no contexto brasileiro. Essa análise foi realizada em seis subescalas do instrumento (subescalas C a H, na Tabela 1), que utilizavam a mesma escala de resposta (i.e., escala do tipo Likert de concordância, variando de 1 a 4 - discordo, discordo em parte, concordo em parte e concordo). Em psicologia, esse tipo de escala é considerado intervalar, por trazer maior flexibilidade para ser tratado estatisticamente (Cohen *et al*., 2014). Na subescala B, não foi realizada a análise fatorial, pois o formato não é apropriado para a realização dessa técnica (Cerin, *et al.*, 2006). Nesta subescala, foi computada a média das respostas apresentadas pelos respondentes aos 23 itens, calculando-se a proximidade a lojas, facilidades e outros serviços, segundo a percepção de moradores do Plano Piloto e das demais RAs. As subescalas A e I foram excluídas na fase do preteste do instrumento.

Em seguida, foram computados testes *t* independentes para as subescalas C a H, para comparar a percepção de caminhabilidade dos moradores da região do CUB e das demais RAs do Distrito Federal.

5. RESULTADOS

5.1. Análise Fatorial Confirmatória

Os dados da Tabela 2 revelam índices de ajuste dos dados coletados no DF ao modelo do NEWS, obtidos por meio da análise fatorial confirmatória.

Tabela 2: Índices de ajuste do modelo à amostra do DF.

Índices de ajuste		Valores de referência
χ^2(p)	137,881(<0,01)	Não há valor de referência, pois dependem do tamanho da amostra e da quantidade de parâmetros estimados no modelo
Gl	122	
χ^2/gl	1,13	≤ 3
CFI	0,96	Em torno de 0,95
GFI	0,90	> 0,90
RMSEA (90%IC)	0,0320 (0,000-0,057)	< 0,05

χ^2 = qui-quadrado; gl = graus de liberdade; χ^2/gl = qui quadrado padronizado; CFI = índice de ajuste comparativo; GFI = índice de qualidade de ajuste; RMSEA = raiz de erro quadrático médio de aproximação; IC = intervalo de confiança.

Considerando as indicações de Byrne (2009), Hair *et al*. (2009) e Kline (2011), verifica-se que todos os valores de referência foram alcançados, sugerindo que os dados empíricos se ajustam ao modelo de medida postulado. Contudo, para que os dados se ajustassem ao modelo, foi necessária a exclusão de seis itens que apresentaram características psicométricas insatisfatórias, procedimento comumente adotado neste tipo de análise (Byrne, 2009). Assim, a versão final do instrumento, utilizada para se comparar a percepção dos moradores ficou com 42 itens.

5.2. Análise das Subescalas

Após a confirmação de que os dados coletados no Distrito Federal se ajustaram ao modelo postulado pelo NEWS, e que, portanto, o instrumento apresentou características psicométricas satisfatórias, foram analisadas as diferenças entre a percepção de caminhabilidade dos moradores do CUB e das demais RAs. Os resultados obtidos por meio do teste *t* independente, para cada uma das subescalas, é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Percepção de caminhabilidade dos moradores do Distrito Federal

Subescala	CUB		Demais regiões		t(gl)*
	Média	Erro Padrão	Média	Erro Padrão	
B- Lojas, facilidades e outros serviços em seu bairro	2,16	0,82	1,72	0,45	4,55 (124)
C- Acesso a serviços	3,74	0,54	3,05	0,12	-5,51(124)
E- Lugares para caminhar	3,22	0,05	2,76	0,09	-4,38(124)

**p<0,05*

Os resultados da Tabela 4 indicam que os moradores da região do CUB percebem que seus bairros possuem mais lojas, facilidades e serviços, bem como mais locais para caminhar do que os moradores das demais RAs. Não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os moradores do CUB e das demais RAs em relação às subescalas D- *Ruas do meu bairro*, F- *Arredores do bairro*, G- *Segurança no trânsito* e H- *Segurança contra crimes*.

6. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Para reduzir os impactos negativos causados pelo uso excessivo do automóvel nas grandes cidades, mudanças comportamentais têm sido encorajadas, a fim de incentivar o uso de transportes mais sustentáveis. Nesse contexto, o modo de transporte a pé, considerado como um dos mais sustentáveis, pode ser incentivado por meio da adoção de medidas físicas, como a construção de calçadas, a inclusão de árvores ou o aumento do acesso ao transporte público. Além disso, estudos utilizando medidas psicossociais têm sido desenvolvidos, visando investigar como o indivíduo percebe e se sente diante de diferentes modos de transporte disponíveis em determinado ambiente. No presente estudo, foi utilizada a versão abreviada do NEWS, instrumento amplamente utilizado no mundo, para investigar como os moradores do Distrito Federal percebem a caminhabilidade em seu bairro.

No que tange o instrumento de pesquisa, identificou-se que o NEWS-A demonstrou alguns problemas referentes à clareza dos itens, dificultando a compreensão por parte dos respondentes. Por essa razão, é importante a realização do preteste antes de iniciar a coleta propriamente dita. É nessa fase que é possível ao pesquisador testar o instrumento em situação semelhante à da coleta de dados, bem como identificar a necessidade de possíveis alterações.

Os resultados da análise fatorial confirmatória foram satisfatórios, indicando que a caminhabilidade pode ser mensurada por meio das seis subáreas dispostas no NEWS-A (aqui chamadas de subescalas), a saber: acesso a serviços, ruas do meu bairro, lugares para caminhar, arredores do bairro, segurança no trânsito e segurança contra crimes. Apesar da avaliação psicométrica do instrumento não ser o objetivo principal deste estudo, esse dado é importante, pois indica que uma mesma estrutura fatorial foi encontrada em diferentes países, cidades ou regiões, demonstrando a solidez psicométrica do instrumento e tornando a comparação entre diferentes culturas mais robusta. Ressalta-se ainda a importância deste resultado, uma vez que não foram encontrados outros estudos brasileiros utilizando a versão abreviada do NEWS. Assim, os resultados do presente estudo corroboram os achados de Cerin, *et al.* (2006; 2009), indicando que o NEWS-A possui características psicométricas satisfatórias.

Quanto aos resultados referentes à caminhabilidade no DF, objetivo principal do presente estudo, de maneira geral, os moradores de regiões mais centrais do DF revelaram maior percepção de caminhabilidade do que os moradores das demais RAs. Esse dado indica que a proximidade de lojas, facilidades, e serviços, bem como a presença de locais para caminhar faz com que os moradores se sintam mais encorajados a caminhar do que em cidades que não tem essa infraestrutura. Este dado pode estar relacionado ao fato da região do CUB concentrar grande parte (46,33%) dos empregos do DF, indicando que bairros mais sustentáveis (e.g., onde as residências são mais próximas dos locais de trabalho) são percebidos como mais caminháveis. Assim, pode ser interessante desenvolver ações de incentivo à caminhada entre os moradores da região do CUB, tendo em vista que já têm uma percepção positiva do ambiente, em termos de *affordances* ao comportamento de caminhar.

Quanto às demais regiões do DF, optou-se por analisá-las conjuntamente, por serem todas distantes das regiões centrais da cidade, onde as atividades de emprego estão mais concentradas. Como resultado, verificou-se que os moradores de regiões mais periféricas tendem a perceber seus bairros como menos caminháveis. Cabe ressaltar, contudo, que seria interessante, em estudos futuros, investigar separadamente as restrições ao ato de caminhar apontadas pelos moradores de cada RA, por serem muito heterogêneas, em termos de características urbanas.

Assim, os resultados encontrados neste estudo podem impulsionar o desenvolvimento de novos estudos de investigação da caminhabilidade em diferentes regiões do Distrito Federal, bem como de ações e políticas voltadas para um planejamento de cidades mais sustentáveis e que considerem a importância dos fatores psicossociais na escolha por diferentes formas de se deslocar na cidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abley, M. (2005) *Spoken Here: Travels Among Threatened Languages*. Random House, Canadá.

Adams, M.A.; Ryan, S.; Kerr, J.; Sallis, J.F.; Patrick, K.; Frank, L.D.; e Norman, G. J. (2009) Validation of the Neighborhood Environment Walkability Scale (NEWS) Items Using Geographic Information Systems. *Journal of physical activity e health*, v. *6,* n. 1, p. 113-123.

Adlakha, D.; Hipp, J.A.,; e Brownson, R. C. (2016) Adaptation and Evaluation of the Neighborhood Environment Walkability Scale in India (NEWS-India) *Int. J. Environ. Res. Public Health*, v. 13, n. 4, p. 401.

Amorim, T.C.; Hallal, P.C.; e Azevedo, M.R. (2010) Physical Activity levels According to Physical and Social Environmental Factors in a Sample of Adults Living in South Brazil. *J Phys Act Health*, v. 7, p. 204-212.

Bardin, L. (2010) *Análise de conteúdo*. Edições 70, Portugal.

Byrne, B. (2009) *Structural Equation Modeling with AMOS. Basic Concepts,Aapplications, and Programming*. Routledge, New York.

Caiado, M.C.S. (2013) Estruturação Intra-Urbana na Região do Distrito Federal e Entorno: A Mobilidade e a Segregação Socioespacial da População. *Revista Brasileira de Estudos de População*, v. 22*,* n. 1, p. 55-88.

Cerin, E., Saelens, B. E., Sallis, J. F., & Frank, L. D. (2006) Neighborhood Environment Walkability Scale: Validity and Development of a Short Form. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, v. 38, n. 9, p. 1682-1691.

Cerin, E., Leslie, E., Owen, N., & Bauman, A. (2008) An Australian Version of the Neighborhood Environment Walkability Scale: Validity Evidence. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, v. 12, n. 1, p. 31-51.

Cerin, E., Conway, T. L., Saelens, B. E., Frank, L. D., & Sallis, J. F. (2009) Cross-Validation of the Factorial Structure of the Neighborhood Environment Walkability Scale (NEWS) and its Abbreviated Form (NEWS-A). *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, v. 6, n. 1, p. 32.

Cerin, E., Sit, C.H.P; Cheung, M.; Ho, S.; Lee, L.J.; Chan, W. (2010) Reliable and Valid NEWS for Chinese Seniors: Measuring Perceived Neighborhood Attributes Related to Walking. *Int J Bevah Nutr Phys Act*, v. 7, p. 84.

César, F.; Reis, R.S.; Hallal, P.C.; e Farias Júnior, J.C. (2013) Perceived Environment and Public Open Space Use: A Study with Adults from Curitiba, Brazil*. International Journal of Behavioral Nutrition e Physical Activity*, v. 10, p. 35-44.

Cohen, R. J., Swerdlik, M. E., & Sturman, E. D. (2014) *Testagem e Avaliação Psicológica: Introdução a Testes e Medidas*. AMGH Editora, São Paulo.

Davies, A.; e Clark, S. (2009) Identifying and Prioritising Walking Investment Through the PERS Audit Tool. *TRL STAFF PAPERS*, (030).

Governo do Distrito Federal (2015) Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios (PDAD). SEPLAN/CODEPLAN.

Florindo, A.A.; Salvador, E.P.; Reis, R.S.; e Guimarães, V.V. (2011) Perception of the Environment and Practice of Physical Activity by Adults in a Low Socioeconomic Area. *Revista de Saúde Pública*, v. 45, p. 302-310.

Gärling, T., Gärling, A., e Loukopoulos, P. (2002) Forecasting Psychological Consequences of Car- Use Reduction: A Challenge to an Environmental Psychology of Transportation. *Applied Psychology: An International Review,* v. 51, p. 90-106.

Gehl, Jan. 2010 *Cities for people*. Island press.

Ghidini, R. (2010) *A Caminhabilidade: Medida Urbana Sustentável*. Retirado de <http://www.mobilize.org.br/midias/pesquisas/a-caminhabilidade-medida-urbana-sustentavel.pdf.>. Acesso em 08/07/2017.

Giehl, M.W.C.; Hallal, P.C.; Brownson, R.C.; e d'Orsi, E. (2017) Exploring Associations Between Perceived Measures of the Environment and Walking Among Brazilian Older Adults. *Journal of Aging and Health*. v. 29, n. 1, p. 45-67.

Gifford, R.; e Steg, L. (2007) The Impact of Automobile Traffic on Quality of Life. In T. Gärling e L. Steg (Eds.), *Threats from Car Traffic to the Quality of UrbanLlife: Problems, Causes, and Solutions*. Elsevier, Oxford.

Hair, J.F.; Black, W.C.; Babin, B.J.; Anderson, R.E.; e Tatham, R.L. (2009) *Análise Multivariada de Dados* (5a edição). Bookman, Porto Alegre.

IBGE (2010) *Censo 2010.* Retirado de <*www. ibge. gov. br/censo2010*>. *Acesso* em 08/06/2017.

Kline, R.B. (2011) *Principles and Practice of Structural Equation Modeling*. The Guilford Press, Nova Iorque.

Koppelman, F.S.; e Lyon, P.K. (1981) Attitudinal Analysis of Work/School Travel. *Transportation Science*, v. 15, p. 233–254.

Litman, T.A. (2003) The online TDM Encyclopedia: Mobility Management Information Gateway. *Transport Policy*, v. 10, p. 245-249.

Litman, T.A. (2005) *Land Use Impacts on Transport: How Land Use Factors Affect TravelTbehavior*. Retirado de < http://www.vtpi.org/landtravel.pdf>. Acesso em 08/06/2017.

Magalhães, M.T.Q.; Rios, M.F.; e Yamashita, Y. (2004) Identificação de Padrões de Posicionamento Determinantes do Comportamento dos Pedestres. In: Anais do XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, p. 999-1010.

Malavasi, L.M.; Duarte, M.D.F.S.; Both, J.; e Reis, R.S. (2007) Escala De Mobilidade Ativa No Ambiente Comunitário – News Brasil: Retradução e Reprodutibilidade. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano,* v. 9*,* n. 4, p. 339-350.

Neto, I.; Souza, L.S.; Takano, M.; e Gonzales-Taco, P.W. (no prelo) Comportamento de Viagem: Aspectos Teóricos e Novas Perspectivas. In P. W. Gonzalez-Taco; I. Neto; L. S. Souza; M. Takano e Z.O. Feitosa (eds) *Comportamento em transportes: Uma coletânea de estudos acadêmicos.*

Ojima, R.; Marandola, J.E.; Pereira, R.H.M.; e Silva, R.B. (2010) O Estigma de Morar Longe da Cidade: Repensando o Consenso Sobre as "Cidades-Dormitório" no Brasil. *Cadernos Metrópole,* v. 12, p. 395-415.

Oyeyemi, A.L.; Sallis, J.F.; Deforche, B.; Oyeyemi, A.Y.; De Bourdeaudhuij, I.; e Van Dyck, D. (2013) Evaluation of the Neighborhood Environment Walkability Scale in Nigeria. *International Journal of Health Geographics*, v. 12, p. 16.

Oyeyemi, AL.; Kasoma, S.S.; Onywera, V.O.; Assah, F.; Adedoyin, R.A.; Conway, T.L.; Moss, S.J.; Ocansey, R.; Kolbe-Alexander, T.L.; Akinroye, K.K.; Prista, A.; Larouche, R.; Gavand, K.A.; Cain, K.L.; Lambert, E.V.; Aryeetey, R.; Bartels, C.; Tremblay, M.S; e Sallis, J.F. (2016) NEWS for Africa: Adaptation and Reliability of a Built Environment Questionnaire for Physical Activity in Seven African Countries. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, v. 13, p. 33.

Paviani, A. (1987) *Urbanização e Metropolização: A Gestão dos Conflitos em Brasília*. Editora Universidade de Brasília, Brasília.

Paviani, A. (1999) *Brasília–Gestão Urbana: Conflitos e Cidadania.* Editora Universidade de Brasília, Brasília.

Parra D.C.; Hoehner C.M.; Hallal P.C.; Ribeiro I.C.; Reis R.S.; Brownson R.C.; Pratt M.; e Simoes E.J. (2011) Perceived Environmental Correlates of Physical Activity for Leisure and Transportation in Curitiba, Brazil. *Preventive medicine*, v. 52, p. 234-238.

Peters, J.C.; Wyatt, H.R.; Donahoo, W.T.; e Hill, J.O. (2002) From Instinct to Intellect: The Challenge of Maintaining Healthy Weight in the Modern World. *Obesity Reviews*, v. 3, p. 69-74.

Ramirez, L.K.B.; Hoehner, C.M.; Brownson, R.C.; Cook, R.; Orleans, C.T.; Hollander, M.; e Petersmarck, K. (2006) Indicators of Activity-Friendly Communities: An Evidence-Based Consensus Process. *American journal of preventive medicine*, v. 31, n. 6, p. 515-524.

Rech, C.R.; Reis, R.S.; Hino, A.A.F.; Rodriguez-Añez, C.R.; Fermino, R.C.; Gonçalves, P.B.; e Hallal, P.C. (2012) Neighborhood Safety and Physical Inactivity in Adults from Curitiba, Brazil. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, v. 9, p. 72.

Rottmann, M.; e Mielck, A. (2014) „Walkability" und körperliche Aktivität – Stand der Empirischen Forschung auf Basis der, Neighbourhood Environment Walkability Scale (NEWS)". *Gesundheitswesen,* v. 76, n. 02, p. 108-115.

Saelens, B.E.; Sallis, J. F.; Black, J. B.; e Chen, D. (2003) Neighborhood-Based Differences in Physical Activity: An Environment Scale Evaluation. *American Journal of Public Health*, v. 93, p. 1552-1558.

Salvador, E.P.; Reis, R.S.; e Florindo, A.A. (2010) Practice of Walking and Its Association With Perceived Environment Among Elderly Brazilians Living in a Region of Low Socioeconomic Level. *Int J Bev Nutrit Phys Activity,* v. 7, p. 2-7.

Silva, C. M.; e Günther, H. (2017) *Mobilidade Ativa e a Satisfação dos Moradores com a Vila Planalto-DF*. Trabalho de Iniciação Científica Não Publicado.

Southworth, M. (2005) Designing the Walkable City. *Journal of Urban Planning and Development*, *Brasília:* v. 131, n. 4, p. 246-257.

Spittaels, H.; Foster, C.; Oppert, J.; Rutter, H.; Oja, P.; Sjöström, M.; e De Bourdeaudhuij, I. (2009) Assessment of Environmental Correlates of Physical Activity: Development of a European Questionnaire. *Int J Bevah Nutr Phys Act*, v. 6, p. 39-10.

Staats, H.; Harland, P.; e Wilke, H. (2004) Effecting Durable Change: A Team Approach to Improve Environmental Behavior in the Household. *Environment and Behavior*, v. 36, n. 3, p. 341-367.

TRL, 2003. TRL Launches Pedestrian Review Software at Traffex. Retirado de <https://trl.co.uk/news/prev/3741>. Acesso em 06/06/2017.

TRL (2010) Ratemystreet is Launched: How Walking Friendly is Your Street? Retirado de <https://trl.co.uk/news/prev/4057>. Acesso em 06/07/2017.
WalkabilityAsia (2012) Walkability Mobile App. Disponível em: <https://walkabilityasia.org/2012/10/03/walkability-mobile-app/>. Acesso em 05/06/2017

Caroline Machado da Silva (caroline.machado@unb.abea.arq.br)
Lucas Heiki Matsunaga (lucas.matsunaga@gmail.com)
Hartmut Günther (hartmut.gunther@me.com)
Instituto de Psicologia, Laboratório de Psicologia Ambiental, Universidade de Brasília
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília – DF, 70910-900.

Ingrid Luiza Neto (ingridluizaneto@gmail.com)
Centro Universitário do Distrito Federal, Laboratório de Psicologia do Trânsito

AS CARACTERÍSTICAS DA ESTRUTURA URBANA E SUA INFLUÊNCIA NAS VIAGENS A PÉ

Alex Heriberto Rojas Alvarado
Fabiana Serra de Arruda
Universidade de Brasília
Programa de Pós-graduação em Transportes

RESUMO
O estimulo dado recentemente aos meios de transporte não motorizados, tem causado um impacto significativo na forma de analisar a previsão da demanda gerada por este tipo de meios de transporte. Assim, fatores subjetivos que afetam o comportamentos dos indivíduos como as atitudes e percepções foram introduzidos em modelos mais robustos como o modelo de Múltiplas Causas e Múltiplos Indicadores (MIMIC). Este modelo permite verificar quais são os fatores relacionados com a estrutura urbana ou com as atitudes e percepções individuais que acabam influenciando ou estimulando as viagens não motorizadas. Nesse sentido, a presente pesquisa será realizado no Distrito Federal e direciona o seu foco para avaliar a influência das características da estrutura urbana e características observáveis e não observáveis dos indivíduos na escolha do modo a pé.

Alex Heriberto Rojas Alvarado (alessi1985@hotmail.com)
Fabiana Serra de Arruda(farruda@unb.br)
Programa de Pós Graduação em Transportes
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Brasília, Universidade de Brasília
Campus Universitário Darcy Ribeiro – Asa Norte, Anexo SG-12, 1º andar, Brasília - DF, Brasil

COMO OS MORADORES PERCEBEM A QUALIDADE DE SEUS BAIRROS PARA CAMINHADA EM UM MUNICÍPIO DE PEQUENO PORTE

Juliana Bevilacqua Jacob
Suely da Penha Sanches
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana
Universidade Federal de São Carlos

RESUMO
A caminhada pode se tornar uma atividade agradável se o espaço público apresentar características que facilitam o indivíduo a andar pé pelo seu bairro. Instrumentos para avaliação de um ambiente de caminhada foram desenvolvidos por pesquisadores para avaliar o que o pedestre pensa a respeito da qualidade de seu bairro para caminhar. Este trabalho apresenta a aplicação de um desses instrumentos (NEWS - *Neighborhood Environment Walkability Scale*) em uma cidade de pequeno porte. O objetivo foi identificar se há diferença na percepção da qualidade para caminhada em diferentes bairros da cidade e verificar se o modo de transporte mais utilizado pelos indivíduos influencia em sua percepção sobre a qualidade para caminhada. O resultado da pesquisa mostrou que existe diferença de percepção entre os bairros. Entretanto, uma análise mais detalhada dos itens considerados na pesquisa revelou algumas contradições em relação ao esperado e também ao encontrado na literatura sobre o assunto.

ABSTRACT
Walking can be a pleasant activity if the public space presents features that make it easy for the individual to walk around his neighborhood. Instruments for evaluating a walking environment were developed by researchers to evaluate the perception of pedestrian about the quality of their neighborhood to walk. This paper presents the application of one of these instruments (NEWS - Neighborhood Environment Walkability Scale) in a small city. The objective was to identify the differences in the perception of quality for walking in different neighborhoods of the city and to verify if the most used mode of transportation influences the perception about quality for walking. The research results showed that there´s a difference of perception among the neighborhoods. However, a more detailed analysis of the items considered in the research revealed some contradictions in relation to the expected and also found in the literature on the subject.

1. INTRODUÇÃO

A caminhada é a forma mais primária de transportes. É um modo de transporte não motorizado que caracteriza-se como independente (pois não depende de elementos que induzam a locomoção) e ao mesmo tempo desempenha a função de um elo de integração entre os demais modais. A caminhabilidade é uma qualidade do lugar e permite que o pedestre acesse diversas regiões da cidade, independentemente da faixa etária do indivíduo, garantindo o acesso a todos (GHIDINI, 2010).

O ambiente construído pode ser um fator facilitador ou agravante para que o indivíduo seja fisicamente ativo. Brownson et al. (2004) destacam que a percepção do ambiente construído é importante para que o indivíduo caminha, tanto para a prática da atividade física, para lazer e como um modo de transporte.

A prática de andar a pé torna-se uma atividade agradável se o espaço público apresenta características que facilitem e ao mesmo tempo motivem o indivíduo a andar a pé pelo seu bairro. Jacobs (2011) enfatiza que as ruas das cidades apresentam finalidades diversas além de servir de apoio ao tráfego de veículos e, as calçadas revelam muitas finalidades além de passagens de pedestres. Ambas são órgãos vitais de uma cidade.

Neste contexto, o objetivo desse artigo é identificar se há diferença na percepção da qualidade para caminhada em diferentes bairros de uma cidade de pequeno porte e também verificar se o

modo de transporte mais utilizado pelos indivíduos influencia em sua percepção sobre a qualidade para caminhada. Para isso será utilizado um instrumento que permite avaliar objetivamente a percepção sobre o ambiente, conforme descrito a seguir.

2. INSTRUMENTO PARA AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO SOBRE O AMBIENTE

Instrumentos para avaliação da percepção sobre um ambiente de caminhada servem para mensurar o que o pedestre considera a respeito da qualidade do espaço urbano em uma determinada área da cidade.

A revisão da literatura permitiu encontrar diversos instrumentos de avaliação da percepção do pedestre sobre a qualidade do ambiente para caminhada. O instrumento de caminhabilidade mais frequentemente encontrado na literatura científica é o NEWS (*Neighborhood Environment Walkability Scale*). O instrumento foi desenvolvido em 2002, na Universidade da Califórnia em San Diego - EUA, para avaliar como a percepção dos pedestres em relação ao ambiente de caminhada influencia na prática de atividade física (Saelens e Sallis, 2002).

O instrumento original, composto de 98 questões, tem sido traduzido e adaptado a diversos países de acordo com o perfil sociocultural e ambiental da região onde é aplicado (Brownson et al., 2004; Saelens e Sallis, 2002; Cerin et al., 2013). O instrumento apresenta várias versões de acordo com sua aplicabilidade para região e público. Como exemplo cita-se o NEWS-A, na sua forma abreviada com 54 questões, o NEWS –Y, voltado a jovens e adolescentes e o NEWS – África, adaptado às características regionais da África.

No Brasil o NEWS teve sua versão traduzida, adaptada e validada por Malavasi (2006). Schützer (2011) utilizou o instrumento para avaliar a percepção de pedestres em uma cidade brasileira de porte médio.

Para esta pesquisa, o instrumento NEWS, validado por Malavasi (2006) foi adaptado para utilização em uma cidade de pequeno porte, de forma a adequá-lo às características regionais da mesma. Foram escolhidas 35 questões do instrumento original das quais mais se aproximavam das características socioculturais da localidade em questão. Foram excluídas algumas questões das quais não se adequavam ao porte da cidade e aos bairros de aplicação como: tipologias residenciais acima de 6 pavimentos, alguns tipos de comércio do bairro, algumas características das calçadas, existência de ruas sem saídas, caminhos cortados por ferrovias e rios)

O questionário é formado de nove blocos de questões que abordam os aspectos descritos a seguir e foi fielmente transcrito do instrumento validado por Malavasi (2006) não alterando o teor nem mesmo a maneira de questionamento das perguntas. É necessário ressaltar que, para a maior parte dos aspectos, a avaliação é feita utilizando-se uma escala ordinal. Os autores originais do instrumento NEWS recomendam que, para a estimativa final da percepção dos respondentes sobre um determinado aspecto, seja considerada a média dos valores atribuídos a cada um dos itens que compõem o aspecto (Saelens e Sallis, 2002). No entanto existe uma controvérsia sobre a adequabilidade de se utilizar estatísticas paramétricas (média e desvio padrão) para analisar itens avaliados através de escalas ordinais (Boone e Boone, 2012; Norman, 2010). Nesta pesquisa, embora tenha-se consciência da controvérsia existente, utilizou-se o procedimento recomendado pelos autores do instrumento.

(1) Densidade residencial

A percepção dos respondentes sobre a densidade residencial no bairro onde moram foi avaliada através da resposta a uma questão: "No meu bairro a maior parte das residências são". As opções de resposta eram as seguintes: (1) Casas térreas ou sobrados, (10) Edifícios baixos de até quatro andares e (20) Edifícios altos com mais de quatro andares. Os números entre parênteses correspondem aos escores atribuídos às respostas e são baseados na densidade aproximada (em residências por unidade de área) em relação às casas térreas ou sobrados (Saelens e Sallis, 2002). Os escores referentes à densidade residencial foram normalizados para se adequar à escala utilizada para os outros itens, com o valor 20 (maior densidade) correspondendo a 4.

(2) Mistura de usos do solo

Para a avaliação da percepção dos respondentes sobre a mistura de usos do solo no bairro onde moram, a pergunta feita se refere ao tempo que as pessoas levam para chegar caminhando a 13 tipos de estabelecimentos: supermercado, mercadinho, padaria, escola fundamental, outras escolas, lanchonete, banco, restaurante, farmácia/drogaria, salão de beleza, ponto de ônibus e praça. As opções de resposta foram codificadas em uma escala ordinal, variando entre 1 (mais de 30 minutos) e 4 (menos de 10 minutos). Para estimativa do escore final atribuído pelo entrevistado à mistura de usos em seu bairro, utilizou-se a média dos itens (SAELENS e SALLIS, 2002).

(3) Facilidade de acesso ao comércio e ao transporte coletivo

A percepção dos respondentes sobre a facilidade de acesso ao comércio e ao transporte coletivo no bairro onde moram foi avaliada através de duas afirmações: "O comércio está a poucas quadras de distância da minha casa" e "É fácil caminhar da minha casa até um ponto de ônibus". As respostas foram codificadas em uma escala de Likert de 4 pontos, variando entre (1) Discordo totalmente e (4) Concordo totalmente. Para estimativa do escore final atribuído pelo entrevistado à facilidade de acesso ao comércio e ao transporte coletivo em seu bairro, utilizou-se a média dos itens (SAELENS e SALLIS, 2002).

(4) Conectividade do sistema viário

A percepção dos respondentes sobre a conectividade do sistema viário no bairro onde moram foi avaliada através de duas afirmações: "As quadras do meu bairro são geralmente curtas (menos de 100 metros de comprimento)" e "Existem vários caminhos alternativos que eu posso fazer para ir de um lugar para outro no meu bairro. (Não tenho que ir sempre pelo mesmo caminho)". As respostas foram codificadas em uma escala de Likert de 4 pontos, variando entre (1) Discordo totalmente e (4) Concordo totalmente. Para estimativa do escore final atribuído pelo entrevistado à conectividade do sistema viário em seu bairro, utilizou-se a média dos itens (SAELENS e SALLIS, 2002).

(5) Infraestrutura para pedestres

A percepção dos respondentes sobre a infraestrutura para pedestres no bairro onde moram foi avaliada através de quatro afirmações: "Existem calçadas na maioria das ruas do meu bairro", "As ruas do meu bairro são bem iluminadas a noite", "Quando ando no meu bairro as pessoas podem me ver de dentro de suas casas" e "Há faixas e semáforos para pedestre nos cruzamentos de ruas movimentadas em meu bairro". As respostas foram codificadas em uma escala de Likert de 4 pontos, variando entre (1) Discordo totalmente e (4) Concordo totalmente. Para estimativa do escore final atribuído pelo entrevistado à infraestrutura para pedestres em seu bairro, utilizou-se a média dos itens (SAELENS e SALLIS, 2002).

(6) Estética do ambiente

A percepção dos respondentes sobre a estética do ambiente no bairro onde moram foi avaliada através de quatro afirmações: "Existem árvores ao longo das ruas do meu bairro", "Existem várias coisas interessantes para se olhar enquanto se caminha no meu bairro", "Existem muitos atrativos naturais no meu bairro" e "Existem várias construções/casas atrativas no meu bairro". As respostas foram codificadas em uma escala de Likert de 4 pontos, variando entre (1) Discordo totalmente e (4) Concordo totalmente. Para estimativa do escore final atribuído pelo entrevistado à infraestrutura para pedestres em seu bairro, utilizou-se a média dos itens (SAELENS e SALLIS, 2002).

(7) Segurança no trânsito

A percepção dos respondentes sobre a segurança no trânsito no bairro onde moram foi avaliada através de duas afirmações: "Há muito tráfego nas ruas do meu bairro" e "A maioria dos motoristas dirige em alta velocidade nas ruas de meu bairro". As respostas foram codificadas em uma escala de Likert de 4 pontos, variando entre (4) Discordo totalmente e (1) Concordo totalmente. Note-se que, para este aspecto, a codificação foi invertida em relação aos aspectos anteriores. Isto porque a discordância com a afirmação indica maior percepção de segurança. Para estimativa do escore final atribuído pelo entrevistado à infraestrutura para pedestres em seu bairro, utilizou-se a média dos itens (SAELENS e SALLIS, 2002).

(8) Segurança pessoal

A percepção dos respondentes sobre a segurança pessoal (criminalidade) no bairro onde moram foi avaliada através de três afirmações: "Existe um alto índice de criminalidade no meu bairro", "A criminalidade faz com que não seja seguro caminhar durante o dia no meu bairro" e "A criminalidade faz com que não seja seguro caminhar à noite no meu bairro". As respostas foram codificadas em uma escala de Likert de 4 pontos, variando entre (4) Discordo totalmente e (1) Concordo totalmente. Para este aspecto, a codificação também foi invertida porque a discordância com a afirmação indica maior percepção de segurança pessoal. Para estimativa do escore final atribuído pelo entrevistado à segurança pessoal em seu bairro, utilizou-se a média dos itens (SAELENS e SALLIS, 2002).

(9) Itens complementares (outras características do bairro)

A percepção dos respondentes sobre outros aspectos no bairro onde moram foi avaliada através de duas afirmações: "É difícil estacionar no meu bairro" e "Existem muitas ladeiras em meu bairro que dificultam a caminhada". As respostas foram codificadas em uma escala de Likert de 4 pontos, variando entre (4) Discordo totalmente e (1) Concordo totalmente. Para este aspecto, a codificação também foi invertida porque a discordância com a afirmação indica maior percepção de qualidade no bairro. Cada um desses itens foi analisado individualmente, não havendo um escore geral para estas características.

Além desses nove blocos, existe ainda um conjunto de questões que abordam dados pessoais do respondente e uma pergunta final sobre o que o pedestre avalia a qualidade geral do seu bairro para caminhar. As respostas sobre a qualidade do bairro foram codificadas em uma escala ordinal de 5 pontos, sendo: (1) péssimo, (2) ruim, (3) regular, (4) bom e 5 (ótimo).

3. A PESQUISA

A pesquisa foi realizada no município de Taquaritinga, interior do Estado de São Paulo distante

da capital cerca de 330km. Taquaritinga é uma cidade de pequeno porte com aproximadamente 57 mil habitantes (IBGE, 2016).

O sistema de transporte coletivo do município é composto por duas linhas que atendem toda a cidade (PMT, 2015). A frota de veículos motorizados inclui 25 mil automóveis e 7,5 mil ciclomotores (incluindo motos e motonetas) (DENATRAN/MCidades, 2016).

A Figura 1 mostra os setores censitários definidos pelo IBEG, com destaque para as três áreas utilizadas na pesquisa: Região Central e bairros Laranjeiras e Santo Antônio.

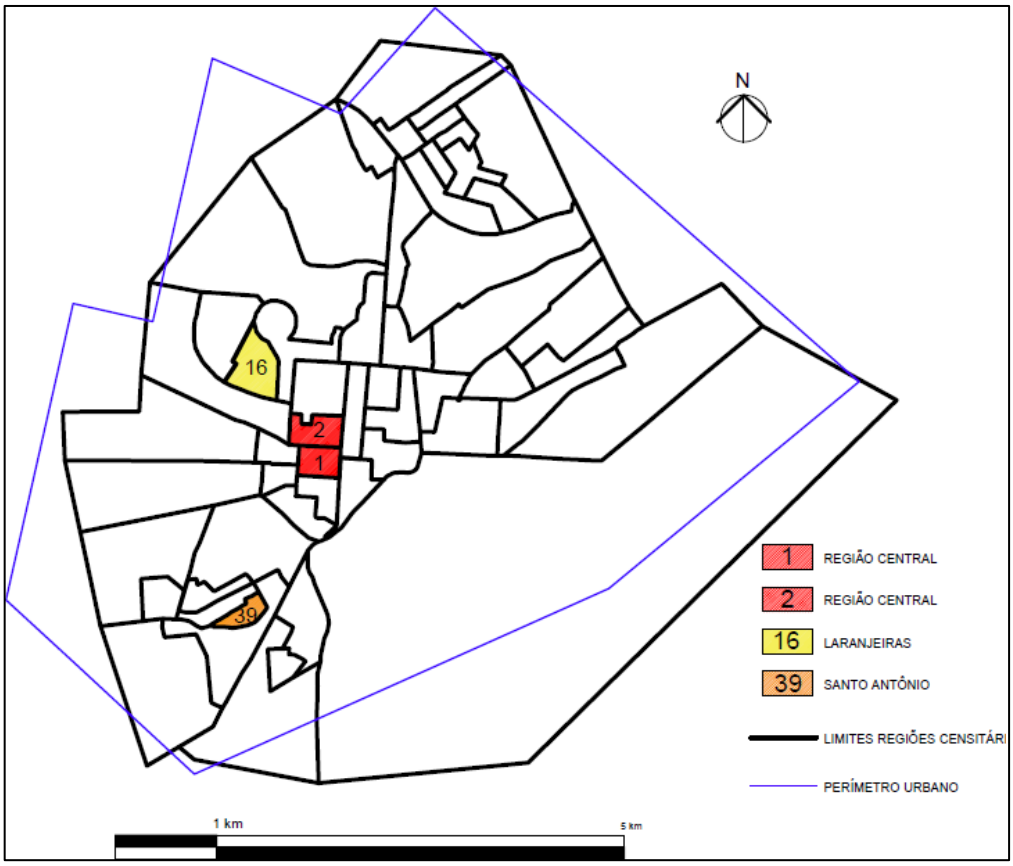


Figura 1: Cidade de Taquaritinga – Regiões censitárias IBGE 2010

Fonte: Adaptado de regiões dos estratos censitários – Censo 2010 IBGE. Disponível em < http://www.ibge.gov.br>. Extraída em 07 de dezembro de 2016.

Foram escolhidas três áreas que se diferenciam pela renda média da população, densidade de ocupação e traçado viário:

- Região Central: Tem uso do solo misto com predominância de comércio e prestação de serviços, apresentando de uma maneira geral edifícios baixos de até dois pavimentos sendo unifamiliares e multifamiliares. É um bairro de população de renda média. Compreende uma área de cerca de 26ha, com aproximadamente 1.100 habitantes e 460 domicílios (IBGE, 2010)
- Bairro Laranjeiras: É estritamente residencial, apresentando edifícios baixos de até dois pavimentos unifamiliares, com uma população de renda alta. Compreende uma área de

23 ha, com aproximadamente 800 habitantes e 260 domicílios (IBGE, 2010).

- Bairro Santo Antônio: Tem uso do solo misto com alguns comércios nas principais ruas e algumas prestações de serviços junto às residências. Apresenta edifícios baixos de até dois pavimentos, e população de baixa renda. Compreende uma área de 8,88 ha, com aproximadamente 1.000 habitantes e 310 domicílios (IBGE, 2010).

Os participantes da pesquisa foram 251 moradores escolhidos aleatoriamente nas 3 áreas pesquisadas sendo 100 na Região Central, 71 no bairro Laranjeiras e 80 no bairro Santo Antônio. Para fazer parte da pesquisa, os participantes deveriam ser moradores dos bairros (sem distinção de grupos sociais ou econômicos), não apresentar problemas físicos que dificultassem a locomoção a pé e ter a capacidade de compreender as questões. A escolha dos respondentes foi feita por conveniência, sendo que o pesquisador abordava as pessoas em seus domicílios para responderem ao questionário. A pesquisa foi realizada em janeiro de 2017, no período diurno. Para a estimativa do tamanho das amostras foi adotada uma margem de erro de 5%, com nível de confiança de 95 %.

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos com a pesquisa realizada são descritos a seguir.

4.1. Percepção geral da qualidade do bairro para caminhadas

A Tabela 1 mostra uma análise das diferenças referente às médias das respostas sobre a percepção da qualidade geral do bairro para caminhada. As respostas foram codificadas em uma escala ordinal de 5 pontos sendo que valores mais altos indicam melhor qualidade do bairro (1: péssimo, 2: ruim, 3: regular, 4: bom e 5: ótimo). O resultado do teste estatístico ANOVA mostra que mesmo os respondentes avaliando seus bairros como bom (de acordo com as médias apresentadas variando entre 3-4), verifica-se que há diferenças entre a percepção da qualidade do bairro para caminhar entre os bairros.

Tabela 1: Percepção geral da qualidade do bairro para caminhadas

Bairro	Percepção da qualidade (média)	Desvio Padrão	p*
Santo Antônio	4,6	0,65	
Centro	3,8	0,96	0,000
Laranjeiras	4,0	0,70	

* significância do teste (p<0,05 indica que os valores são diferentes)

Esperava-se que a região central tivesse a melhor avaliação. As características, apresentadas anteriormente e apontadas na literatura versus mundo real, mostram diferenças nas percepções como as mais importantes para que se tenha uma boa qualidade de espaço para caminhada (maior densidade, maior mistura de usos do solo, etc.).

3.2. Percepção das características do ambiente para caminhada em cada um dos bairros

A Tabela 2 mostra a percepção das características do ambiente para caminhada em cada um dos bairros e uma análise das diferenças entre eles, realizada com o teste estatístico ANOVA. Conforme descrito no item 2 (Descrição do instrumento para avaliação da percepção), os valores atribuídos pelos respondentes variam entre 1 (pior qualidade) e 4 (melhor qualidade).

Tabela 2: Percepção das características do ambiente para caminhada

Características	Bairros (média das respostas)			
	Centro	Laranjeiras	Santo Antônio	p*
Densidade residencial	1,20	1,00	1,00	0,000
Mistura de usos do solo	3,77	3,69	3,19	0,000
Facilidade de acesso ao comércio e ao transporte público	3,42	2,11	3,20	0,000
Conectividade viária	3,12	1,92	2,60	0,000
Infraestrutura para pedestres	2,55	2,44	2,56	0,237
Estética do ambiente	2,22	2,12	2,02	0,047
Segurança no trânsito	1,65	1,90	1,34	0,000
Segurança pessoal	2,86	2,34	2,43	0,000
Facilidade para estacionamento	2,03	2,34	2,24	0,000
Ladeiras	2,54	2,94	2,33	0,000

* significância do teste ($p<0,05$ indica que os valores são diferentes)

Verifica-se que, de maneira geral, existe diferença de percepção sobre as características do ambiente para caminhada nos três bairros (a exceção é a infraestrutura para pedestres).

Chama atenção, no entanto, os baixos valores de qualidade atribuídos à maior parte das características. Isto vai contra a avaliação de que os bairros, de forma geral, têm boa qualidade para caminhadas (como mostrado na Tabela 1).

3.2. Percepção das características do ambiente para caminhada em função do modo de transporte utilizado

A Tabela 3 mostra o modo de transporte mais utilizado pelos respondentes em seus deslocamentos em cada um dos bairros. A última coluna à direita apresenta a divisão modal encontrada para a amostra como um todo, sem distinção de bairro.

Tabela 3: Modos de transporte utilizados

Modo de transporte	Bairro			
	Centro	Laranjeiras	Santo Antônio	Geral
Automóvel	68,7%	91,5%	51,3%	64,5%
Ônibus	8,7%	0,0%	22,5%	12,8%
A pé	16,3%	2,8%	10,0%	13,5%
Moto	3,8%	5,6%	12,5%	8,4%
Bicicleta	2,5%	0,0%	3,7%	0,8%

A pergunta colocada para os entrevistados referia-se ao modo de transporte mais utilizado para seus deslocamentos pelo bairro onde moram. Os resultados obtidos levam a crer que a pergunta

não foi bem compreendida pois o modo que aparece com destaque, nos três bairros, é o automóvel. Acredita-se que os respondentes se referiram ao modo de transporte que usam com maior frequência. Esta hipótese fica ainda mais justificável quando se observa os resultados dos bairros individualmente. No Laranjeira (bairro de alta renda e relativamente distante do centro) os entrevistados usam, majoritariamente, o automóvel. No Santo Antônio (bairro de renda mais baixa e igualmente distante do centro), embora o automóvel também aparece com destaque na opção modal, o ônibus aparece como segunda opção.

A Tabela 4 mostra a percepção das características do ambiente para caminhada de acordo com o modo de transporte mais utilizado pelos respondentes. As maiores notas (na maioria das características) aparecem para os respondentes que utilizam o modo de transporte a pé, o que demonstra que os indivíduos que frequentemente caminham pelo bairro têm condições de observar melhor as características que influenciam a qualidade da caminhada. Verifica-se que, com o teste estatístico ANOVA, para nenhuma das características existe diferença em função dos modos de transporte (todos os valores de p são superiores a 0,05).

Tabela 4: Percepção das características do ambiente para caminhada em função do modo de transporte usado pelo entrevistado

Características	Modo de transporte utilizado Bairros (média das respostas)					
	Auto	Ônibus	A pé	Moto	Bicicleta	p*
Densidade residencial	1,4	1,7	1,8	1,0	1,0	0,718
Mistura de usos do solo	3,6	3,7	3,6	3,4	3,8	0,425
Facilidade de acesso ao comércio e ao transporte público	2,9	3,2	3,2	3,1	2,8	0,309
Conectividade viária	2,6	2,6	2,8	2,5	2,9	0,557
Infraestrutura para pedestres	2,5	2,4	2,6	2,5	2,5	0,402
Estética do ambiente	2,2	2,0	2,2	2,2	1,9	0,227
Segurança no trânsito	1,7	1,5	1,5	1,4	1,7	0,307
Segurança pessoal	2,6	2,3	2,8	2,6	3,0	0,248
Facilidade para estacionamento	2,6	2,2	2,3	2,3	2,2	0,222
Ladeiras	2,6	2,4	2,5	2,6	2,6	0,623

* significância do teste ($p<0,05$ indica que os valores são diferentes)

3.3. Relacionamento entre a percepção das características do bairro e a qualidade geral do bairro para caminhada

Neste item analisa-se qual o relacionamento existente entre as percepções das características do bairro e a opinião do entrevistado sobre a qualidade geral do bairro para caminhadas (Tabela 4). O objetivo neste caso, era identificar quais as características que tinham maior influência na opinião geral sobre a qualidade.

Como foi anteriormente explicado (no item que descreve o instrumento de pesquisa), a qualidade geral do bairro foi avaliada pelos entrevistados utilizando uma escala ordinal de 5 pontos em que valores mais altos indicam melhor qualidade. Assim sendo, para analisar o

relacionamento entre as características e a qualidade geral, foi utilizado o coeficiente de correlação de postos de Kendall (tau de Kendall), que verifica a semelhança entre as ordens dos dados quando classificados por cada uma das variáveis.

A correlação de Kendall entre duas variáveis será elevada se as observações tiverem uma classificação semelhante (ou idêntica no caso de correlação igual a 1), comparadas as duas variáveis. A correlação de Kendall será inversa quando as observações tiverem uma classificação diferente (ou completamente diferente no caso de correlação igual a -1) comparadas as duas variáveis. Não haverá correlação quando as observações forem nulas. A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 5: Relacionamento entre cada uma das características do ambiente e a percepção geral do bairro para caminhadas

Característica	Correlação com a qualidade geral (tau de Kendall)	p*
Densidade residencial	-0,22	0,00
Mistura de usos do solo	0,09	0,07
Facilidade de acesso ao comércio e ao transporte público	0,14	0,01
Conectividade viária	0,01	0,80
Infraestrutura para pedestres	0,17	0,00
Estética do ambiente	0,00	0,99
Segurança no trânsito	-0,19	0,00
Segurança pessoal	0,09	0,07
Facilidade para estacionamento	-0,04	0,44
Ladeiras	-0,16	0,01

* significância do teste (p<0,05 indica que o resultado é significativo)

Os resultados mostrados na Tabela 5 chamam a atenção por estarem em quase sua totalidade, contrário ao que era esperado (o que foi verificado na revisão bibliográfica). Diversos autores tratam das características do ambiente construído que tornam o espaço mais agradável para o pedestre e podem incentivar as viagens a pé (Frank et al., 2010; Cervero, 2013; Ewing e Clemente, 2013; Eom e Cho, 2015; Larrañaga et al., 2015; Grieco, 2015). As características utilizadas nesta pesquisa para descrever o ambiente de caminhada são basicamente as mesmas que aparecem nos trabalhos desses autores.

Assim, esperava-se que todas as características do ambiente tivessem relação com a qualidade geral percebida pelos respondentes. Isto, no entanto, não aconteceu. Embora para algumas características o tau de Kendall tenha sido significativo (<0,05), os valores obtidos indicam uma correlação fraca ou muito fraca. Mais surpreendente é que, para algumas características, a correlação foi negativa e em algumas foi nula, sem correlação.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo da pesquisa realizada foi identificar se há diferença na percepção da qualidade para

caminhada em diferentes bairros de uma cidade e também verificar se o modo de transporte mais utilizado pelos indivíduos influencia em sua percepção sobre a qualidade para caminhada. Para tanto, foi utilizado o instrumento para avaliação da percepção da caminhabilidade mais frequentemente encontrado na literatura científica e que tem sido muito empregado em diversos países (NEWS - *Neighborhood Environment Walkability Scale*).

O resultado da pesquisa mostrou que realmente existe diferença de percepção entre os bairros, mas, no entanto, uma análise mais detalhada dos itens considerados na pesquisa revelou algumas contradições em relação ao que se esperava e ao que se encontra na literatura sobre o assunto.

Com relação ao modo de transporte mais utilizado pelos respondentes, verificou-se que não influencia na percepção da qualidade. Porém, é preciso considerar que a maioria dos entrevistados afirmou utilizar com maior frequência o automóvel. Embora a pergunta colocada para os entrevistados tenha se referido ao modo de transporte mais utilizado para seus deslocamentos pelo bairro, o resultado leva a crer que os entrevistados informaram o modo de transporte que usam com mais frequência (o automóvel). Por outro lado, se o automóvel for, realmente, o modo mais utilizado nos bairros, os resultados ficam mais compreensíveis porque quando o indivíduo se desloca em velocidades mais altas que a caminhada, menos chances de percepção do ambiente ao redor ele possui (Gehl, 2015).

O resultado da análise do relacionamento entre a percepção das características do bairro e a qualidade geral do bairro para caminhada também foi inesperado. Esperava-se, pelo que indica a literatura, que todas as características do ambiente tivessem relação com a qualidade geral percebida pelos respondentes. Isto, no entanto, não aconteceu. Todas as correlações foram fracas ou muito fracas e, mais surpreendente, algumas correlações foram negativas.

Não é possível afirmar com certeza a razão dessas incongruências. Será que, ao avaliar o bairro como um todo, o respondente considerou características que não foram incluídas no instrumento de pesquisa? Ou será que as pessoas realmente não dedicam a devida atenção para responder um questionário. Outro questionamento pode ser levado em consideração que os respondentes não entenderam a delimitação da escala bairro, respondendo as questões como um todo e não específico dentro da região do bairro que habitam.

Estas dúvidas finais indicam que são necessários estudos mais aprofundados em duas vertentes: a adequabilidade do instrumento NEWS para as condições das cidades brasileiras e a validade dos resultados de pesquisas de percepção, de maneira geral.

Agradecimentos
A primeira autora agradece à CAPES pela bolsa de estudo recebida, que está permitindo o desenvolvimento desta pesquisa

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Boone, H. N. e D. A. Boone (2012) *Analyzing Likert Data. Journal of Extension. EUA.* Disponível em: <https://www.joe.org/joe/2012april/tt2.php>. Acesso em: 25 jun. 2017.

Brownson, R. C.; J. J. Chang; A. A. Eyler; B. E. Ainsworth; K. A. Kirtland; B. E. Saelens e J. F. Sallis (2004) *Measuring the Environment for Friendliness toward Physical Activity: A Comparison of the Reliability of 3 Questionnaires. American Journal of Public Health, American Public Health Association*. v. 94, n. 3, p. 473-483. http://dx.doi.org/10.2105/ajph.94.3.473.

Cerin, E.; T. L. Conway; K. L. Cain; J. Kerr; I. Bourdeaudhuij; N. Owen; R. S. Reis; O. L. Sarmiento; E. A.

Hinckson; D. Salvo; L. B Christiansen; D. J. MacFarlane; R. Davey , J. Mitáš; Ines Aguinaga-Ontoso e J. F. Sallis (2013) *Sharing good NEWS across the world: developing comparable scores across 12 countries for the neighborhood environment walkability scale (NEWS). Bmc Public Health, Springer Nature.* v. 13, n.1, p. 1-14. http://dx.doi.org/10.1186/1471-2458-13-309.

Cervero, R. (2013) *Linking urban transport and land use in developing countries. The Journal of Transport and Land Use*, v. 6, p. 7-24.

Eom, H. e G. Cho (2015) *Exploring thresholds of built environment characteristics for walkable communities: empirical evidence from the Seoul metropolitan area. Transportation Research Part D*, v. 40, p. 76-86.

Ewing, R. e O. Clemente (2013) *Measuring Urban Design: Metrics for Livable Places*, Island Press. DOI: 10.5822/978-1-61091-209-9.

Frank, L.D.; J.F. Sallis; B.E. Saelens; L. Leary; L. Cain; T. L. Conway e P. M. Hess (2010) *The development of a walkability index: Application to the neighborhood quality of life study, British Journal of Sports Medicine*, v. 44, n.13, p. 924-933.

Gehl, J. (2015) *Cidades para pessoas*. (3ª ed). Perspectiva. São Paulo.

Ghidini, R. (2010) A *caminhabilidade: medida urbana sustentável. Revista dos Transportes Públicos* - ANTP - Ano 33 - 2011 - 1º quadrimestre.

Grieco, E. (2015) *Índice do ambiente construído orientado à mobilidade sustentável.* [Dissertação de Mestrado]. Rio de Janeiro: PEU/UFRJ, p. 154.

IBGE (Org.). (2011) *Base de informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por setor censitário: Documentação do Arquivo*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html>. Acesso em: 26 dez. 2016.

JACOBS, J. (2011). *Morte e vida nas grandes cidades*. (3ª ed). Wmf Martins Fontes. São Paulo. Tradução de: Carlos S. Mendes Rosa.

Larrañaga, A. M.; H. C. B. Cybis; J. Arellana; L. I. Rizzi e O. Strambi (2016) *Estimando a importância de características do ambiente construído para estimular bairros caminháveis usando best-worst scaling. Transportes*, v. 24, n. 2. ISSN: 2237-1346. (on-line). DOI:10.4237/transportes.v24i2.1091.

Malavasi, L. M. (2006) *Escala de mobilidade ativa em ambiente comunitário (NEWS - versão brasileira): validade e fidedignidade*. [Dissertação de Mestrado] - Curso de Educação Física, Centro de Desportos Programa de Pós-graduação em Educação Física, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 101 f. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/88839>. Acesso em: 23 de setembro de 2016.

Norman, G. (2010) *Likert scales, levels of measurement and the "laws" of statistics*. *Advances In Health Sciences Education*. *Springer Nature*, v. 15, n. 5, p. 625-632. http://dx.doi.org/10.1007/s10459-010-9222-y.

Saelens, B. E. e J. F. Sallis (2002) *Neighborhood Environment Walkability Survey (NEWS) & Neighborhood Environment Walkability Survey – Abbreviated (NEWS-A).* Disponível em: <http://activelivingresearch.org/neighborhood-environment-walkability-survey-news-neighborhood-environment-walkability-survey-%E2%80%93>. Acesso em: 10 de setembro de 2016.

Schützer, K. (2011) *A Percepção do Pedestre Sobre a Qualidade da Paisagem Urbana.* 2010. [Dissertação Mestrado] - Curso de Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 75 f.

POTENCIALIDADES DO USO DA BICICLETA EM VIAGENS DE ACESSO A UNIVERSIDADES: UM ESTUDO DE CASO NA UFRN

Victor Hugo Gomes Albino
Licinio da Silva Portugal
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Programa de Engenharia de Transportes – PET – COPPE

RESUMO
O trabalho objetivou caracterizar as viagens de acesso dos alunos, professores e servidores técnicos do *campus* Natal da UFRN, a fim de conhecer a potencialidade da realização das viagens por bicicleta, de acordo com as condições espaciais de acessibilidade. Das 1.631 respostas obtidas, 43,6% utilizam o automóvel para ir à UFRN (condutor ou carona), 49,0% utilizam um ou dois ônibus e apenas 3,4% vão para a UFRN a pé ou de bicicleta. A partir da análise espacial, proposta pela metodologia adotada, foi possível estabelecer que 32% dos usuários que dirigem o automóvel estão dentro da área de influência para a modalidade bicicleta, tratada no estudo como competitiva a uma distância de até 4 quilômetros do *campus*, o que representaria 12% das viagens totais de acesso ao campus, podendo se considerar que a universidade possui razoável potencial para aumentar a participação modal por bicicletas.

ABSTRACT
The objective of this paper was to characterize the access trips of students, professors and technical staff of the UFRN – Campus Natal, to recognize the trips potential by bicycle, according to the spatial conditions of accessibility. Of 1,631 answers obtained, 43,6% used a car to go to university (driver or rideshare), 49,0% used one or two buses, and only 3.4% walking or by bicycle. By spatial analysis, proposed by the adopted methodology, it was possible to state 32% of automobile users are within the area of influence of bicycle mode, treated in this study as competitive within a distance of up to 4 kilometers from the campus, which would represent 12% of total campus access travel, would may assigned the university has reasonable potential to increase modal participation by bicycles.

1. INTRODUÇÃO

A falta de mobilidade causada pelo corrente aumento do espaço viário para os automóveis, em detrimento do destinado às pessoas e aos meios de transporte sustentáveis, como os coletivos e os não motorizados, é claramente percebida nos grandes centros urbanos. Tal fato acarreta em prejuízos ambientais e urbanos, bem como congestionamento para seus usuários, tendendo a aumentar o tempo de viagem e, como consequência, a poluição ambiental e o risco de acidentes de trânsito (Pezzuto, 2002; González Villada, 2016).

Ainda neste contexto, segundo Rodrigues *et al.* (2005), um *campus* universitário pode ser analisado como sendo um espaço urbano, uma vez que a vivência nestes espaços é semelhante à que se pode observar numa pequena cidade, sendo afetada e gerida de acordo com as condições ambientais, de mobilidade e acessibilidade aos serviços e locais de trabalho. Assim, torna-se fundamental analisar a forma de mobilidade dos espaços acadêmicos e os possíveis impactos que ela pode cometer na sustentabilidade do local.

Um *campus* universitário sustentável, para Alshuwaikhat e Abubakar (2008), deve ter um ambiente saudável, com uma economia próspera através da conservação de energia e de recursos, redução de resíduos e uma gestão ambiental eficiente, de modo a promover a equidade e a justiça social. Tais políticas e respectivos valores devem ser estendidos para a comunidade acadêmica e também para os usuários externos ao *campus*. Os resultados encontrados em pesquisa feita por Limanond *et al.* (2011) demonstram a importância do *design* sustentável para

os *campi* universitários: se o projeto do *campus* não promover o transporte sustentável, há, então, um maior incentivo para os usuários utilizarem o automóvel nas suas viagens.

Para promover uma mobilidade sustentável, tanto para as viagens de acesso (externas) como para as viagens internas nas universidade, as medidas a serem tomadas devem se basear na oferta de incentivos para caminhadas, andar de bicicleta e caronas, desencorajar o uso de automóveis individuais, onerando os custos para estacionamento, e atrelando o planejamento de transportes ao planejamento de uso do solo (Balsas, 2003).

As universidades, como geradoras de tráfego e fontes de inovação, estão em uma posição perfeita para testar novas abordagens para a contenção do uso do automóvel (Barata *et al.*, 2011). A implementação de políticas sustentáveis de transporte nas universidades pode resultar em um ambiente universitário mais atraente e pode ter um forte potencial para aumentar a vida ativa da população em seus arredores.

Neste sentido, este trabalho objetivou avaliar o potencial que uma universidade pública inserida em centro urbano – o *campus* da UFRN, na cidade de Natal/RN – possui em atrair viagens de acesso por bicicleta, a partir das condições espaciais de acessibilidade.

2. MOBILIDADE EM UNIVERSIDADES

Os *campi* universitários, segundo Portugal e Goldner (2003), podem ser considerados Polos Geradores de Viagens (PGVs) por serem empreendimentos com potencialidade de atrair uma grande demanda de pessoas (professores, funcionários, alunos, visitantes, prestadores de serviços, etc.), pelos diferentes meios de transportes usados, e eles podem causar impactos significativos nos sistemas viários internos e externos aos *campi*, já que esses PGVs influenciam e são influenciados pelas condições da cidade em que se insere (Parra, 2006).

Com o mesmo anseio das cidades, as universidades de todo o mundo estão se tornando cada vez mais preocupadas com os efeitos nocivos do automóvel, ao mesmo tempo em que se esforçam para criar um ambiente de seus *campi* sustentável (Páez e Whalen, 2010). As universidades oferecem um cenário altamente atrativo para aumentar o uso das bicicletas, bem como outras modalidades sustentáveis, pois elas são, essencialmente, propagadoras de inovações em todas as áreas. Segundo Balsas (2003), os *campi* universitários podem se comportar como um laboratório para testar e implementar várias estratégias alternativas de transportes, reduzindo os custos de infraestrutura e minimizando seus impactos sobre as áreas vizinhas.

Alguns trabalhos se destacaram na revisão realizada, e contemplam estudos em universidades brasileiras e portuguesas. Parra (2006) e Carvalho (2016) realizaram estudos para a mobilidade do *campus* do Fundão no Rio de Janeiro da UFRJ, a fim de caracterizar os padrões de viagens de acesso dos usuários da universidade. Pires (2013) estudou a mobilidade de um *campus* da UFRRJ em uma cidade do interior do Rio de Janeiro, Seropédica, e definiu estratégias para a mobilidade do *campus* baseadas nas intenções dos próprios usuários, sem avaliar suas disposições espaciais. Já Stein (2013) avaliou a mobilidade da USP, em São Carlos/SP e traçou estratégias baseadas na condição espacial e avaliação dos modos pelos usuários. Ferreira (2011) e Reis (2011), nas Universidades de Aveiro e do Porto, respectivamente, e Meireles (2014), na Universidade do Minho, são contribuições de estudos de mobilidade em universidades portuguesas, que elaboraram medidas para a mobilidade sustentável nos referidos campi.

Todos estes trabalhos estudaram a mobilidade em *campi* universitários, embora tivessem objetivos e metodologias minimamente diferentes. Eles compreendem, de formas e intensidades distintas, elementos chaves contemplados nos Planos de Mobilidade e que envolvem a elaboração de estratégias para a mobilidade sustentável: a mobilidade, a acessibilidade e a consulta aos usuários.

Quanto às condições de acessibilidade, Meireles (2014) contribui no sentido de analisar a distribuição espacial dos usuários, e correlacioná-la com possíveis mudanças modais por parte deles, partindo da premissa de que menores distâncias favorecem o uso de modos não motorizados, como a bicicleta, orientando, assim, as estratégias a serem definidas no Plano de Mobilidade elaborado. Embora uma proporção maior de viagens de curta distância realizadas por automóvel possa indicar possibilidades de uso alternativo de modalidades não motorizadas, como sugere Meireles (2014), alerta-se para barreiras impostas pelo ambiente construído e a presença de equipamentos viários que não possuem espaço destinado a pedestres e ciclistas, como túneis e viadutos, podendo ser considerados como espaços agressivos a esse grupo de usuários, e inibirem o uso desses modos. Assim, o reconhecimento das condições de acessibilidade do local de estudo também deve ser considerado, ressaltando-se que elas poderiam ser utilizadas para indicar a potencialidade de uso da bicicleta nas viagens externas destinadas a campi Universitários.

3. ESTRATÉGIAS PARA INCENTIVAR O USO DA BICICLETA

Ao tratar de estratégias específicas para incentivar o uso da bicicleta, Rybarczyk e Gallagher (2014) atribuíram sua formulação ao planejamento realizado pelo processo de Gerenciamento da Demanda de Viagens (TDM – *Travel Demand Management*), que mostrou ser potencialmente amplificador da quantidade de viagens por bicicleta e a pé, para grupos acadêmicos da Universidade de UM-Mint, Estados Unidos. A análise indica que os grupos usariam mais a bicicleta se houvesse rotas mais seguras e melhor iluminação, além de um possível aumento no custo de utilização dos automóveis. Aumentar a segurança, com iluminação e patrulha da polícia, já é, por si só, um fator que aumentaria a demanda de viagens não motorizadas. Os resultados apresentados na pesquisa de Rybarczyk e Gallagher (2014) têm implicações importantes de caráter de decisão. Políticas universitárias voltadas a onerar os custos de estacionamento para automóveis podem promover o aumento do uso da bicicleta entre os grupos acadêmicos (estudantes e funcionários), e tornar outras formas de transporte mais atraentes para esses grupos.

Ressalta-se que a adoção de estratégias para promover o uso da bicicleta está dependente do fator “decisão” do usuário, que frequentemente é motivado a partir da ação dos cidadãos (ação coletiva) e do setor privado na proposição de medidas que favoreçam a utilização da bicicleta (Ferreira, 2011).

Existem vários fatores que afetam a escolha da bicicleta como modo de transporte. Os fatores inerentes à escolha das bicicletas pelos usuários, de uma forma geral, podem interferir direta ou indiretamente na decisão pelo uso das bicicletas. Uma clara compreensão desses fatores é um requisito essencial para a concepção de decisões que visem aumentar a demanda por viagens de modos não motorizados (FHWA, 1992). A FHWA (1992), ainda, considera esses fatores como úteis para análise de decisões para eliminar possíveis obstáculos às viagens por modalidades ativas de transporte.

A atitude do usuário em utilizar a bicicleta como meio de transporte pode ser caracterizada como um produto desses fatores, que se organizam em diferentes naturezas. Em Handy *et al.*

(2010), listam-se os fatores individuais, fatores de aspecto social e fatores de aspecto físico na explicação do comportamento do usuário. Os fatores individuais incluem atitudes, preferências e crenças, além das características sociodemográficas e de autoconfiança em andar de bicicleta. Os fatores de aspecto social (também entendido como contexto social) compreendem os padrões culturais da comunidade, evidenciado pelos comportamentos coletivos daqueles usuários que compõe a comunidade. Já os fatores de aspecto físico, neste caso, são aqueles que envolvem o ato de pedalar, como a infraestrutura de transportes e os padrões de uso do solo oferecidos pelas cidades.

4. METODOLOGIA

Este trabalho seguiu o procedimento metodológico sugerido por Albino e Portugal (2016), definindo a potencialidade de viagens por bicicletas de acordo com o Módulo I proposto pelos autores (figura 1), que considera a caracterização da Universidade como Polo Gerador de Viagem, definindo o seu tipo (se universidade privada ou pública), porte (se pequeno, médio ou grande, a depender do tamanho da comunidade acadêmica e da área destinada à instituição, que influenciam na quantidade de viagens geradas) e sua localização (se inserida no meio urbano, ou localizada em área rural ou desconectada dos núcleos residenciais), características que podem interferir na forma de mobilidade do *campus*. O levantamento desses fatores pode ser realizado concomitantemente com a aplicação de um questionário *online* entre todas as categorias de usuários da universidade - alunos, professores e servidores técnicos, a fim de se conhecer a mobilidade atual do *campus*.

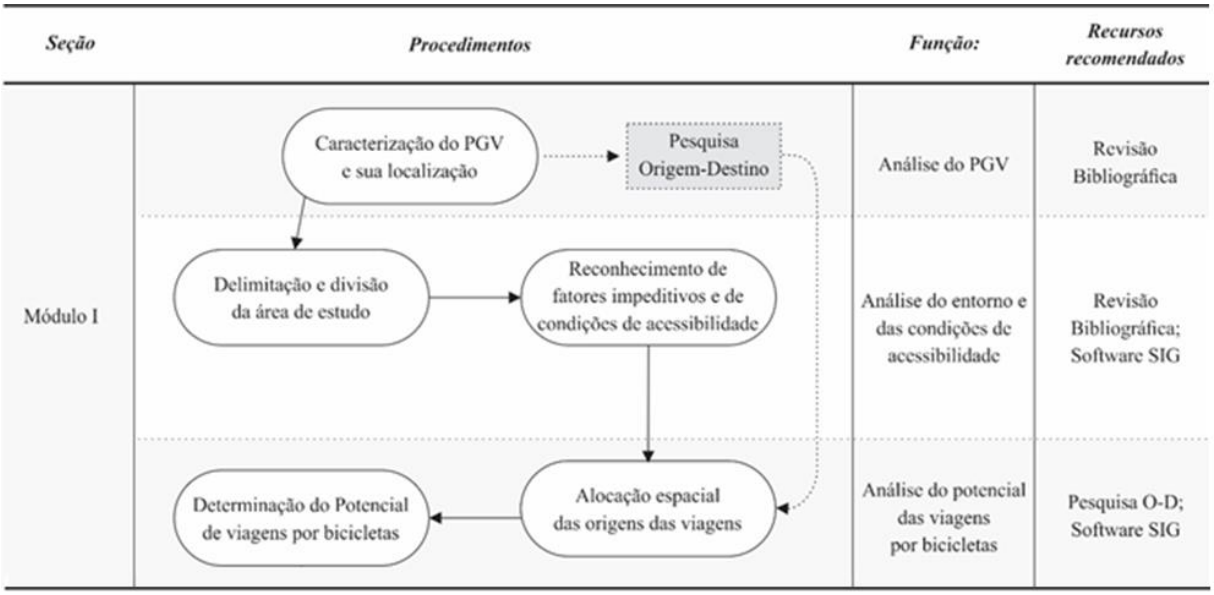


Figura 1. Metodologia utilizada no estudo. Adaptado de Albino e Portugal (2016)

A partir do levantamento da divisão modal e das demais informações sobre o padrão de viagens de acesso à universidade, consegue-se determinar em que situação se encontra a mobilidade atual quanto a seu compromisso com a sustentabilidade que, além da divisão modal, ainda inclui aspectos como o tempo de viagem e a taxa de ocupação de automóvel.

Embora seja difícil de determinar um nível ideal para a mobilidade sustentável, devido as características específicas de cada universidade, é razoável buscar estabelecer uma meta que possa ser estimada a partir de observações de Planos de outras universidades. Em relação à

divisão modal, alguns estudos brasileiros em universidades obtiveram porcentagens diferentes para o uso das modalidades de transporte em viagens de acesso, conforme mostrado na tabela 1.

Tabela 1. Porcentagens de uso dos modos de transporte em viagens à universidades no Brasil

Publicação	*Universidade*	*Porcentagem de uso dos modos*						
		Carro - Condutor	*Carro - Carona*	*Moto*	*Ônibus*	*A pé*	*Bici-cleta*	*Outros*
Nunes e Jacques (2005)	UNB, Brasília/DF	84,9%	3,5%	-	5,2%	5,2%	-	1,2%
(Goldner *et al.*, 2011)	UFSC – Florianópolis/SC	48,0%	8,0%	1,7%	23,2%	17,2%	1,7%	0,2%
Ferreira e Sanches (2013)	UFSCar – São Carlos/SP	29,3%	10,9%	5,9%	35,4%	11,7%	6,8%	-
(Pires, 2013)	UFRRJ – Seropédica/RJ	5,8%	2,6%	0,0%	47,6%	5,3%	20,5%	18,2%

Da tabela 1, verificam-se valores variados para o uso modal, que pode ser explicado pelas condições específicas de cada cidade que a universidade em estudo está inserida bem como da sua localização. Entretanto, as condições de acessibilidade para cada universidade são determinantes para os padrões modais, bem como as características socioeconômicas dos usuários. Em Nunes e Jacques (2005), na Universidade de Brasília (UnB), é visto que o modo automóvel (condutor) obteve um número muito expressivo, responsável por 84,9% das viagens dos usuários, enquanto o modo bicicleta nem sequer foi contemplado no questionário como um modo, supostamente respondido como *Outros* (1,2%). Já no trabalho de Pires (2013), na UFRJ – *Campus* Seropédica, vê-se valores baixos para o modo carro (condutor) (5,8%), enquanto o modo bicicleta representa 20,5% das viagens. Logo, embora ambas sejam universidades públicas, certamente têm usuários com características diferentes, bem como condições de acessibilidades distintas.

Dessa forma, para se determinar uma meta de divisão modal, a fim de alcançar uma mobilidade sustentável, é recomendável, primeiramente, realizar uma análise espacial do PGV, estabelecendo-se as condições de acessibilidades e o número de usuários contemplados nas áreas de influências de modos não motorizados.

5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O *Campus* Central da UFRN, situado em Natal/RN e objeto do estudo, possui uma área de 123 hectares. A figura 2 ilustra a disposição da cidade e do *campus* da UFRN, composto por 6 (seis) zonas. Os setores de aula, os quais são os mais atrativos de viagens em dias normais, estão compreendidos nas zonas de cor verde, azul e roxa. As demais zonas compreendem outros equipamentos da universidade, entre eles Reitoria, Refeitório, Anfiteatro, Ginásio e Campo de Futebol.

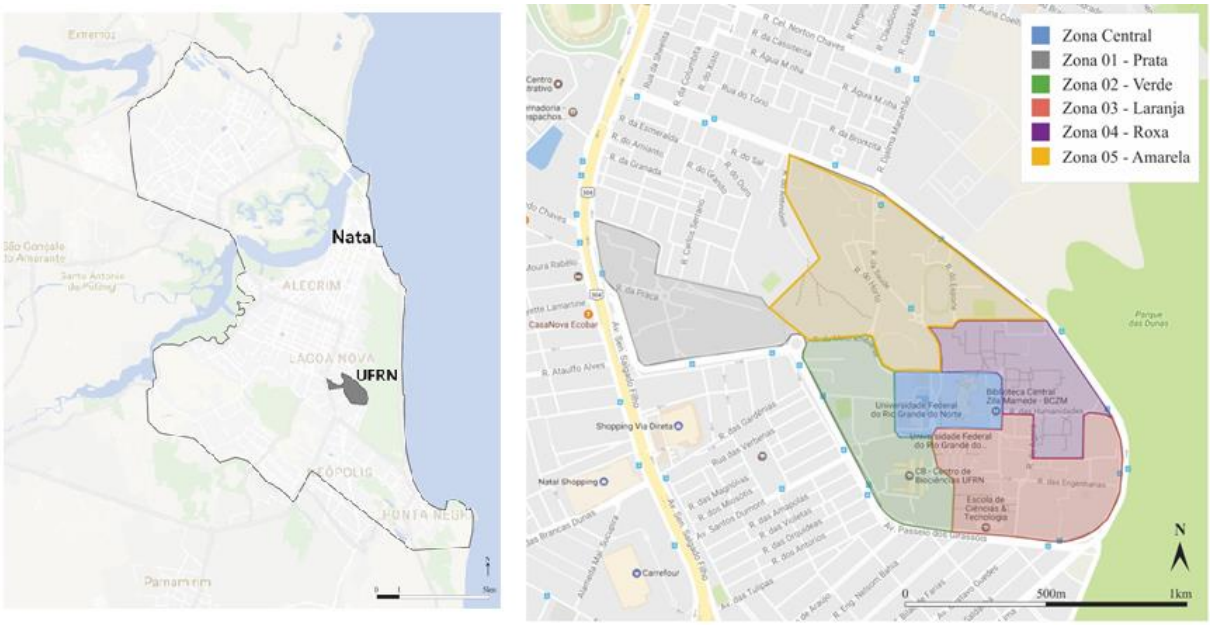


Figura 2. Zonas setoriais do *Campus* e pontos de acesso externo

O *campus*, que possui uma comunidade de aproximadamente 40 mil pessoas, é um dos principais empreendimentos que atraem viagens na cidade. Por ser um PGV do tipo universidade, vários estudos recomendam atenção para a mobilidade e proposição de medidas mitigadoras dos impactos viários, advindos de uma falta de sustentabilidade das viagens de acesso ao empreendimento.

Em uma pesquisa realizada de forma *online*, disseminada via e-mail, com alunos, professores e servidores técnicos da instituição, foram obtidas 1.631 respostas, o que representa cerca de 4,2% da população acadêmica. Os usuários responderam a principal modalidade de transporte utilizada ao longo da semana para ir ao *campus* da UFRN. Para 49,0% dos usuários, as viagens são realizadas pelo modo Ônibus, seja um ou dois o número de ônibus tomados. A segunda opção de transporte mais respondida foi o Automóvel com 43,6%, um número que pode ser considerado alto, sendo 35,9% como condutor e o resto (7,7%) como carona. O modo Carona representa as opções onde o carro estaciona dentro do *campus* ou realiza o desembarque do usuário e continua viagem.

O destaque negativo é a baixa utilização dos modos ativos de transporte: apenas 2,0% de caminhada e 1,4% por bicicleta. Esses baixos números, quando analisados de forma espacial no subitem 5.1, pode mostrar um ambiente muito agressivo para essas duas modalidades, fazendo com que os usuários se sintam incentivados a utilizarem modalidades motorizados, diminuindo o nível de mobilidade sustentável para o *campus*. A proporção de viagens de acordo com cada modo de transporte é ilustrada na Tabela 2.

Tabela 2 - Divisão modal das viagens de acesso à UFRN

	Porcentagem de uso dos modos							
Quantidade de respostas	*Carro - Condutor*	*Carro - Carona*	*Ônibus*	*Moto*	*A pé*	*Bicicleta*	*Outros*	*Total*
1.631	**35,9%**	**7,7%**	49,0%	3,2%	2,0%	1,4%	0,8%	100,0%

Analisando as viagens geradas, pelos usuários do *campus*, dentro do município de Natal, obtém-se a figura 3.

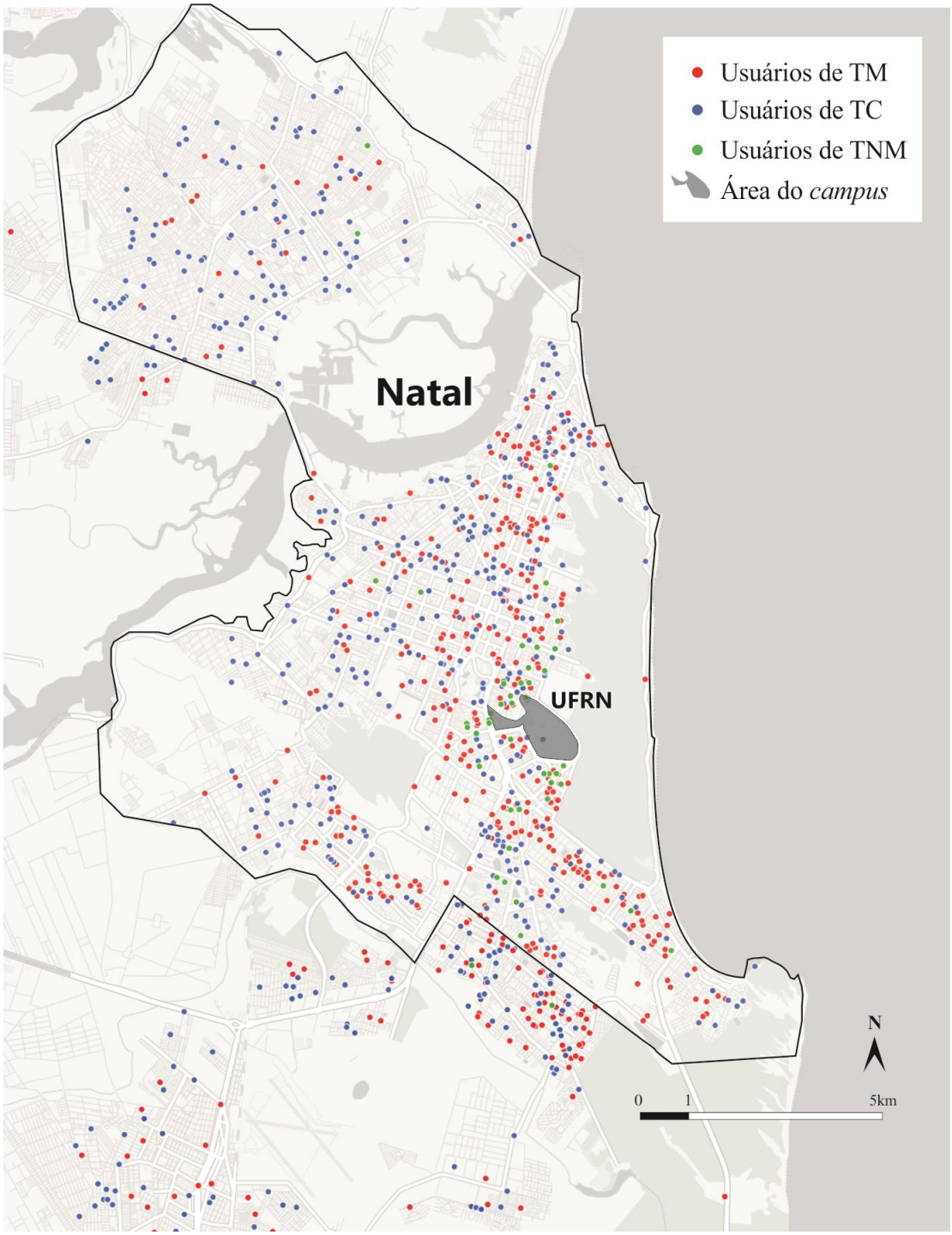


Figura 3. Origens das viagens para UFRN, por tipo de modalidade

Sendo:
TM – Transporte Motorizado, que inclui automóvel (condutor), automóvel (carona) e motocicletas;
TC – Transporte Coletivo (Ônibus) e
TNM – Transporte Não Motorizado, que são as modalidades ativas a pé e por bicicleta;

5.1. Potencial para bicicletas

A acessibilidade, apesar de ser um conceito reconhecidamente complexo, neste trabalho é vista como elemento espacial, associado às distâncias cicláveis e definidoras da área de influência para a bicicleta de uma universidade. O comprimento da viagem, apesar de mensurável, é de caráter subjetivo, pois varia com a percepção de cada usuário de avaliar seus limites de esforço. Tal fator é um dos que mais apresentam disparidades com as pesquisas realizadas com universitários. Para a pesquisa feita por Rybarczyk e Gallagher (2014), em uma universidade de Flint (Michigan, EUA), as *zonas cicláveis*, ou seja, aquelas que estão ao alcance razoável dos usuários ciclistas, correspondem a um raio de 8 quilômetros. Já para a pesquisa realizada por Bonham e Koth (2010), em uma universidade de Adelaide (AUS), as zonas cicláveis são aquelas até 15 quilômetros. Para a pesquisa de Franco (2011), realizada em várias universidades de Curitiba (BRA), a distância ciclável mais respondida foi entre 4 e 6 quilômetros.

As diferentes distâncias cicláveis podem ser justificadas pelas características de infraestrutura e ambientais, de acordo com as peculiaridades de cada universidade. A estrutura e segurança oferecida pelas ciclovias, bem como a topografia ao longo do trajeto, aliada ao clima que incide nos *campi* e no ambiente urbano, são determinantes à sensibilidade dos usuários, podendo variar a distância aceitável a uma viagem por bicicleta.

A distância da viagem razoável para o ciclismo tem relações diretas com a velocidade média que pode ser desenvolvida pelo usuário, ao pedalar. Embora algumas publicações tratem a velocidade média do ciclismo urbano como 15-16 km/h (Shephard, 2008; Franco, 2011; Ana *et al.*, 2014), ao calcular a velocidade média dos ciclistas de um programa de compartilhamento de bicicleta, em Lyon (FRA), Borgnat *et al.* (2011) concluíram que a velocidade média para as viagens realizadas por eles foi entre 12-14 km/h. No Brasil, o estudo de Providelo (2011) determinou a média das velocidades por bicicletas em quatorze trechos como 12 km/h.

Considerando a velocidade de 12km/h como acessível para um maior grupo de usuários, nas características locais para a cidade do Natal/RN, foi atribuído para este trabalho uma distância ciclável de até 4 quilômetros, que pelo tempo de viagem (de aproximadamente 20 minutos) estaria competindo com outros tipos de modalidade motorizados, como o automóvel. A figura 4 ilustra a disposição das viagens dos usuários de automóveis da comunidade acadêmica da UFRN.



Figura 4. Usuários de automóveis (condutor) dentro e fora da área de influência bicicleta.

A distribuição espacial das viagens mostra que aproximadamente um terço (32%) daqueles usuários que utilizam o modo carro (condutor) para ir à UFRN está inserido na área de influência para o modo bicicleta, o que representaria quase 12% do total de viagens. Esse número pode mostrar um ambiente pouco atraente para a bicicleta, como também impedâncias menores para o modo automóvel, fatores que geram preferência pelo carro. A literatura mostra os alertas para os impactos negativos à vida universitária e do ambiente urbano decorrentes do alto número de automóveis no *campus*.

Neste caso, percebe-se, ainda na figura 4, a presença de usuários de transporte motorizado individual (TMI) dentro da área de influência da bicicleta. É de se esperar que esses usuários contemplados por essas envoltórias estarão muito mais dispostos a mudar o modo de transporte, de motorizado para não motorizado, a fim de realizar sua viagem, o que indicaria um potencial de transferência. Entretanto, para estabelecer a propensão à mudança e as condições desejadas para que isto ocorra, torna-se necessário conhecer melhor as características dos usuários, da acessibilidade do local de origem da viagem, e da avaliação que eles fazem das modalidades disponíveis, conforme sugerem Albino e Portugal (2016).

5.2. Alocação das viagens

Com a pesquisa Origem-Destino realizada, foi possível definir os setores do *campus* que mais atraem viagens. Este é um ótimo indicador para o planejamento da mobilidade, para indicar os setores que contribuem com maior demanda por vagas de estacionamento de automóveis e que possuem maior demanda por linhas de ônibus (externas e internas), como ilustra a figura 5.

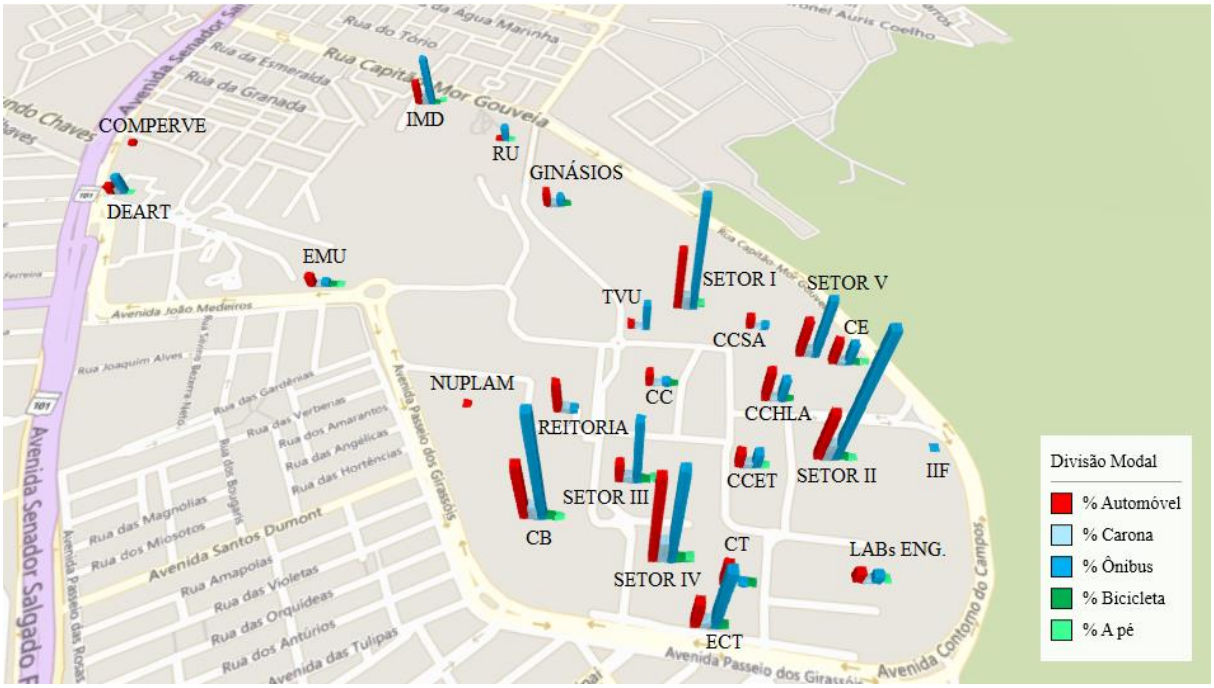


Figura 5. Atração de viagens por modalidade

Os setores de aulas IV, I e II, além do CB - Centro de Biociências, são os setores que mais atraem viagens por automóveis (condutores) no *campus*, como também são os que mais atraem viagens pelo modo Ônibus. Somando-se a porcentagem de viagens por condutores de automóvel com a modalidade carona, observa-se que o setor IV atrai mais viagens por automóvel do que por ônibus. Isso tem grande impacto na circulação viária do *campus*, e, sobretudo, na demanda por vagas de estacionamento.

A proximidade entre os setores que mais atraem viagens pode gerar um alto impacto na circulação viária do *campus*, bem como nas condições de conforto para modos coletivos, como subdimensionamento das paradas de ônibus. A análise da demanda de viagens de acesso por setores pode auxiliar as estratégias que configurarão o Plano de Mobilidade para o *campus*, com a melhor distribuição das vagas de estacionamento, da largura de calçadas e ciclovias, de lugares para bicicletários e instalações de apoio para bicicletas, e de abrigos para as paradas de ônibus.

Portanto, estratégias que deverão ser adotadas para uma mobilidade mais sustentável nas viagens ao *campus*, deverão ser baseadas nas condições atuais de acessibilidade, definida como a espacialidade das origens das viagens e dos empecilhos que sejam observados no contexto urbano/viário, e na avaliação das modalidades disponíveis e na propensão de mudança modal, apontadas pelos usuários da comunidade acadêmica, como sugerem Meireles (2014) e Albino e Portugal (2016).

6. CONCLUSÕES

As universidades do Brasil, e de outros países da latino-américa, apresentam condições favoráveis para a aplicação de um procedimento que valorize mobilidades mais sustentáveis, pois, em sua maioria, estão situadas em centro urbanizados, e, sobretudo, sofrem com os problemas decorrentes do alto índice de uso do automóvel. Uma gestão que adote visões sustentáveis, isto é, que prezem pela mobilidade sustentável e pela sustentabilidade do ambiente dos *campi*, favorecendo o transporte ativo, é de fundamental importância para aumentar a demanda por uso de modos não motorizados. Pois, devido ao uso intenso do automóvel, surge uma preocupação cada vez mais crescente em promover uma mobilidade sustentável, o que tem justificado a realização, com maior frequência, de estudos de impactos viários e Planos de Mobilidade em Universidades. A prática comum é utilizar medidas que foram bem-sucedidas em outras universidades.

No entanto, um planejamento carente que não levante as condições locais, e que não busque a resposta dos usuários sobre a propensão de mudança modal, pode resultar em projetos que não satisfaçam o nível de mobilidade sustentável desejada. É fundamental que se levante as experiências disponíveis na literatura, entretanto deve-se atentar a garantir a compatibilidade destas com as especificidades locais, bem como se as condições de acessibilidade proporcionam potencial quanto ao uso de modalidades sustentáveis, como a bicicleta, e propensão de transferência para estas modalidades.

É de se esperar que as medidas utilizadas pela universidade em estudo, possivelmente contempladas em um Plano de Mobilidade para o *campus*, sejam definidas e ajustadas aos motivos de não utilização, por parte dos usuários, de modos mais sustentáveis, e que estas estratégias levem em consideração a percepção das modalidades sustentáveis por parte de usuários. Espera-se que essas medidas, derivadas da avaliação e predisposição dos usuários favoráveis a modos mais sustentáveis, consigam gerar maior atração às modalidades coletivas e não motorizadas, diminuindo o impacto no sistema viário interno e externo ao *campus*.

Agradecimentos

Os autores são gratos aos apoios da CAPES, do CNPq e da Rede Ibero-Americana de Estudo em Polos Geradores de Viagens (RedPGV –ver: *http://redpgv.coppe.ufrj.br*) por promoverem a interação entre pesquisas que visem o desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albino, V., e Portugal, L. da S. (2016) Procedimento metodológico para a formulação de estratégias de incentivo ao uso da bicicleta em universidades. (p. 1763–1774). XXX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET, Rio de Janeiro.

Alshuwaikhat, H. M., e Abubakar, I. (2008) An integrated approach to achieving campus sustainability: assessment of the current campus environmental management practices. *Journal of Cleaner Production*, *16*(16), 1777–1785.

Ana, S., Pinto, I., Ribeiro, D., e Delgado, J. (2014) Multicriteria Analysis for Evaluation of Bike Lane Routes Integrated to Public Transportation. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *162* (PANAM), 388–397.

Balsas, C. J. . (2003) Sustainable transportation planning on college campuses. *Transport Policy*, *10*(1), 35–49.

Barata, E., Cruz, L., e Ferreira, J. (2011) Parking at the UC campus: Problems and solutions. *Cities*, *28*(5), 406–413.

Bonham, J., e Koth, B. (2010) Universities and the cycling culture. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *15*(2), 94–102.

Borgnat, P., Abry, P., Flandrin, P., Roberdet, C., Rouquier, J.-B., e Fleury, E. (2011) Shared Bicycles in a City: a Signal Processing and Data Analysis Perspective. *Advances in Complex Systems*, *14*(3), 415–438.

Carvalho, G. S. D. de. (2016) *Caracterização e Análise da Demanda por Transporte em um Campus Universitário: O caso da UFRJ*. Dissertação – Mestrado em Engenharia de Transportes – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

Ferreira, D. I. R. (2011) *A cultura da mobilidade sustentável no Instituto Politécnico de Leiria*. Dissertação -

Mestrado em Planeamento Regional e Urbano - Universidade de Aveiro, Portugal.
Ferreira, M., e Sanches, S. (2013) Mobilidade cicloviária em Campus Universitário. (Vol. 2011, p. 1–9). 19º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito - Brasilia/DF.
FHWA. (1992) Reasons Why Bicycling and Walking Are and Are Not Being Used More Extensively As Travel Modes. *Publication No. FHWA-PD-92-041*, (1). Obtido de http://safety.fhwa.dot.gov/ped_bike/docs/case1.pdf%5Cnhttps://www.fhwa.dot.gov/
Franco, C. M. A. (2011) *Incentivos e empecilhos para a inclusão da bicicleta entre universitários*. Dissertação – Mestrado em Psicologia, UFPR, Curitiba.
Goldner, L. G., Beppler, F., e Prim, J. (2011) *Análise da mobilidade em um campus universitário*. Anais do PLURIS 2012.
González Villada, C. A. P. (2016) *Procedimento metodológico para a aplicação do TOD em países em desenvolvimento*. Dissertação – Mestrado em Engenharia de Transportes – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
Handy, S. L. ., Xing, Y., e Buehler, T. J. (2010) Factors associated with bicycle ownership and use: a study of six small U.S. cities. *Transportation*, *37*, 967–985.
Limanond, T., Butsingkorn, T., e Chermkhunthod, C. (2011) Travel behavior of university students who live on campus: A case study of a rural university in Asia. *Transport Policy*, *18*(1), 163–171.
Meireles, T. F. A. (2014) *Mobilidade Sustentável no acesso a Campi Universitários - Estudo de caso: Universidade do Minho*. Dissertação - Mestrado em Engenharia Civil - Universidade do Minho, Portugal.
Nunes, J. L., e Jacques, M. A. P. (2005) *Caracterização dos padrões de viagens para instituições de ensino superior*. XIX ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Recife.
Páez, A., e Whalen, K. (2010) Enjoyment of commute: A comparison of different transportation modes. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *44*(7), 537–549.
Parra, M. C. (2006) *Gerenciamento da Mobilidade em Campi Universitários: Problemas, dificuldades e possíveis soluções no caso Ilha do Fundão - UFRJ*. Dissertação – Mestrado em Engenharia de Transportes – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
Pezzuto, C. C. (2002) *Fatores que influenciam o uso de bicicleta*. Dissertação - Mestrado em Engenharia Urbana – Centro de Ciências Exatas, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
Pires, L. S. (2013) *Mobilidade Sustentável em Campi Universitários: um estudo de caso na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – Campus Seropédica*. Dissertação – Mestrado em Engenharia de Transportes – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
Portugal, L. da S., e Goldner, L. G. (2003) *Estudo de Pólos Geradores de Tráfego e de seus Impactos nos Sistemas Viários e de Transportes*. Edgard Blücher Ltda, Rio de Janeiro.
Providelo, J. K. (2011) *Nível de Serviço para bicicletas: um Estudo de Caso nas cidades de São Carlos e Rio Claro*. Tese - Doutorado em Engenharia Urbana – UFSCar, São Carlos.
Reis, M. F. M. (2011) *Gestão da Mobilidade: Plano de Mobilidade da FEUP*. Dissertação - Mestrado em Engenharia Civil – FEUP, Porto, Portugal.
Rodrigues, D. S., Ramos, R. A. R., e Mendes, J. F. G. (2005) Modelo de Avaliação da Qualidade de Vida Aplicado a Campi Universitários. Anais do PLURIS 2005 : actas do Congresso Luso Brasileiro para o Plajenamento Urbano Regional Integrado Sustentável, 1, São Carlos, SP, Brasil, 2005, Braga.
Rybarczyk, G., e Gallagher, L. (2014) Measuring the potential for bicycling and walking at a metropolitan commuter university. *Journal of Transport Geography*, *39*, 1–10.
Shephard, R. J. (2008) Is active commuting the answer to population health? *Sports Medicine*, *38*(9), 751–758.
Stein, P. P. (2013) *Barreiras, motivações e estratégias para mobilidade sustentável no campus São Carlos da USP*. Dissertação - Mestrado em Engenharia de Transportes, USP, São Carlos.

Victor Hugo Gomes Albino (albino@pet.coppe.ufrj.br)
Licinio da Silva Portugal (licinio@pet.coppe.ufrj.br)