AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DOS PROCESSOS REFERENTES A GESTÃO DE DOAÇÕES EM CADEIAS DE SUPRIMENTOS HUMANITÁRIAS

Leonardo Varella
Mirian Buss Gonçalves
Universidade Federal de Santa Catarina
Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas

RESUMO
Doações são um dos componentes principais das cadeias de suprimentos humanitárias a eficiência dos processos logísticos referentes a movimentação de materiais não-regulares pode ser incrementada com a preparação das equipes e o mapeamento dos processos que estão ligados aos principais materiais doados. Este artigo busca apresentar os resultados de um estudo de caso sobre a gestão das doações em um evento de calamidade na cidade de Ponte Alta do Norte onde foram constatados problemas e deficiências nos processos – resultando numa remodelagem dos mesmos para aplicação em imediato em possíveis eventos futuros e o levantamento de indicadores de desempenho em processos correlatados. Por fim, tecemos as conclusões e sugestões de pesquisas futuras que circundam este tema.

ABSTRACT
Donations are one of the main components of humanitarian supply chains. The efficiency of logistics processes related to the flow of non-regular materials can be achieved by preparing the teams and mapping processes that are linked to the most common in-kind donations. This paper soughs to present the results of a case study focusing on the donations management in a disaster event in the city of Ponte Alta do Norte, wherein problems and deficiencies were found while handling and moving donations and its related processes - resulting in a new set of processes for immediate application in possible future events. Also we have highlighted some performance indicators for correlated processes. Finally, we make the conclusions and suggestions of future research.

1. INTRODUÇÃO

Os ambientes de ajuda humanitária se caracterizam pela diversidade de atores que buscam em conjunto atender as necessidades das vítimas dos desastres, que em muitos casos nada mais restam de bens ou recursos próprios para que possuam um mínimo de estrutura e conforto naquele momento. A utilização do conceito logístico pode contribuir imensamente para o sucesso de operações de ajuda, fornecendo suprimentos como água, alimentos, remédios, roupas, produtos de higiene, material de construção, móveis, etc. nos tempos e lugares que são necessários.

O ato espontâneo e generoso de doar provisões é documentado em praticamente todos os tipos de desastres (Fritz e Mathewson, 1957). Como benefício, as doações levam materiais necessários até as equipes de salvamento e atendimento às vítimas quanto as próprias –por vezes em tempos muito menores do que por caminhos tradicionais, principalmente itens de alta prioridade.

Infelizmente, este mesmo fenômeno pode levar a consequências negativas: o excesso de material ou de voluntários em uma região de desastre pode impactar nas operações logísticas – em especial quando se tratam de doações. A questão da convergência de materiais em eventos de desastre não é nova, mas é um problema pouco estudado e que implica em alto grau no desempenho das operações logísticas em situações de desastre (Holguín-Veras *et al.*, 2012a). Em muitos desastres há o registro de uma “enxurrada” de materiais que não são solicitados, e cujas quantidades indicam que a) geralmente excedem as necessidades e precisam ser descartados; b) dadas as quantidades excessivas, muito desse material é inadequado ou

impróprio para uso e também tem que ser descartado; c) requer uma quantidade de pessoal maior do que a planejada; d) geram problema de congestão de materiais nos locais de desastre, podendo afetar até mesmo sua economia (Fritz e Mathewson, 1957, Holguín-Veras *et al.*, 2012a, Wachtendorf *et al.*, 2015).

O escopo e a magnitude do fluxo de doações para um local de desastre estão ligados quanto ao tipo de desastre, seu tamanho e a população afetada, o momento (fase) do desastre e planejamento local para atender o evento. Para tanto, a organização dos atores envolvidos e o planejamento prévio são fatores que influenciam na eficiência e na coordenação de processos para evitar que esses problemas se propaguem se ampliem em cadeia. Para tanto, denomina-se que as operações e tarefas pertinentes ao recebimento, tratamento, gerenciamento, transporte e entrega das doações englobam-se como competências da Gestão de Doações.

A eficiência dos processos logísticos referentes a Gestão das Doações de materiais pode ser aferida pelo grau de antecipação e preparação das equipes e processos que estão ligados aos itens que com maior frequência chegam aos pontos de destino sem serem requisitados ou necessários, evitando assim gargalos logísticos ao invés de resolvê-los. Ozguven *et al.* (2015) apontam que o uso de recursos de transporte multimodais são vitais para o transporte de *commodities*, visto que o fluxo de materiais oriundos de doações é complexo graças a variabilidade dos tipos de suprimentos doados e de suas quantidades e que os impactos da convergência de materiais torna necessária a adoção de estruturas ou arquiteturas dos processos de movimentação destes materiais para a obtenção de resultados mais efetivos nos sistemas de transportes de suprimentos em situações de desastre.

Para tanto, as doações de materiais se apresentam como um recurso de grande importância para o atendimento às vítimas de desastres e calamidades. Quando não gerenciados os processos tangentes a este fluxo de materiais situações como o fornecimento de suprimentos inadequados, utilização de veículos de transporte nos tempos e nas quantidades não ótimas, mobilização de pessoal e recursos de forma equivocada geram gargalos que impactam as operações. Este artigo apresenta, via Estudo de Caso, uma análise e remodelagem dos processos logísticos referentes a operação de gestão de doações (materiais não-regulares), bem como faz um levantamento de indicadores de desempenho úteis para a minimização e mitigação do fenômeno de convergência de materiais não-solicitados. Fez-se a pesquisa em município de pequeno porte brasileiro, analisando os processos dentro de uma cadeia de suprimentos responsiva.

2. METODOLOGIA E ESTUDO DE CASO

Este trabalho é constituído de uma pesquisa de descritiva e exploratória acerca de do tema gestão de doações em uma situação de desastre acontecido no município de Ponte Alta do Norte – Santa Catarina em 2016, e posterior análise com pesquisadores e embasada na literatura sobre o assunto para levantamento dos indicadores de desempenho. (Schultz, 2009; Destro e Holguín-Veras, 2010; Lu *et al.*, 2015; Santarelli *et al.*, 2015). Para levantamento dos processos a serem analisados, utilizou-se o modelo esquemático de do mecanismo de controle de ações logísticas referentes ao problema de convergência e idealizado por Jaller (2011) e usado por Varella e Gonçalves (2016), apresentado na Figura 1:

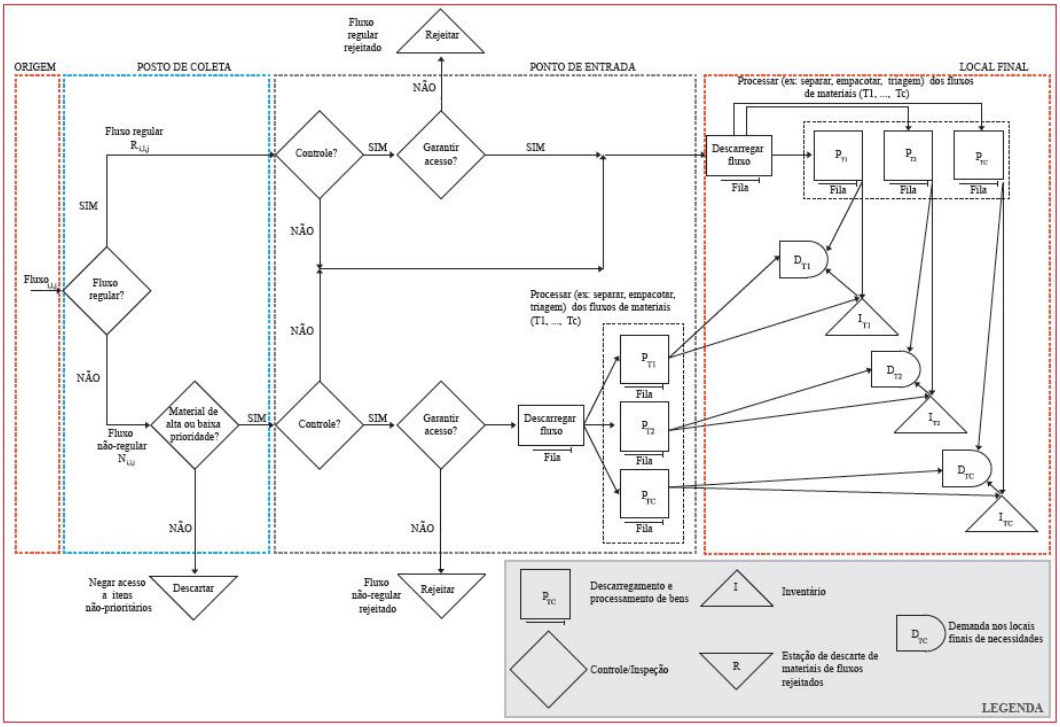


Figura 1: Modelo esquemático de um mecanismo de controle de materiais em situação de desastre
Fonte: Varella e Gonçalves (2016)

2.1. A gestão das doações na resposta ao evento das microexplosões em Ponte Alta do Norte: o Estudo de Caso

O Estado de Santa Catarina é composto atualmente por 295 municipalidades, totalizando mais de 6.910.553 milhões de habitantes dispostos numa área de mais de 95.737,954 km², em uma densidade demográfica de 65 habitantes por km² (IBGE, 2016). O município de Ponte Alta do Norte, com 3.405 habitantes em uma área de 400km² localizada na região serrana do Estado de Santa Catarina, foi duramente atingido no dia 15 de maio de 2016 por um fenômeno natural conhecido como microexplosões - um tipo de fenômeno climático composto por nuvens carregadas de ar, água, granizo e acompanhada de intensos ventos que atinge subitamente a superfície, causando grandes danos ao longo do seu raio de atuação e de seu trajeto de deslocamento em solo. Segundo dados oficiais, foram atingidas mais de 61 residências, sendo 12 delas destruídas completamente. Mais de 251 pessoas ficaram desalojadas, 20 pessoas precisaram de hospitalização e 3 óbitos foram registrados. A pesquisa foi aplicada com os gestores municipais (prefeito, secretário de saúde e secretário de obras) responsáveis pelo atendimento às vítimas do evento cerca de 30 dias após a ocorrência do mesmo. O protocolo de pesquisa está disposto no Quadro 1:

Quadro 1: Protocolo de pesquisa

Etapa	Atividade
1	Levantamento de dados sobre o evento e seu impacto socioeconômico em fontes secundárias
2	Elaboração do roteiro de pesquisa
3 (a)	Entrevista com as pessoas envolvidas no processo de recepção e triagem de materiais (operacional)

3 (b)	Entrevista com o gestor municipal, secretário de saúde, secretário de obras e o coordenador municipal (estratégico)
4	Observação direta dos locais de recepção, armazenagem, distribuição equipamentos e material não-utilizado
5	Transcrição e análise dos dados
6	Modelagem dos processos
6 (b)	Identificação de gargalos e problemas
7	Remodelagem dos processos
7 (a)	Levantamento de Indicadores de Desempenho
8	Resultados e conclusões

Para poder aferir uma análise da gestão de doações, foram mapeados os processos logísticos referentes ao fluxo de materiais não-regulares (doações, entregas e aquisições não documentadas) através de entrevistas e análise de dados e transcrições de registros fotográficos e vídeos. Este fluxo logístico se caracterizou pela ausência de inspeção dos materiais nos pontos de – a inspeção do material recebido era feita no Ponto de Entrada. Os processos de triagem, empacotamento, distribuição e consolidação de doações eram realizados em locais distintos, com múltiplas viagens para atender um único pedido. O fluxograma esquemático que apresenta a movimentação de materiais baseada nas observações e dados coletados foi descrito por Varella e Gonçalves (2016) e representados graficamente na Figura 2:

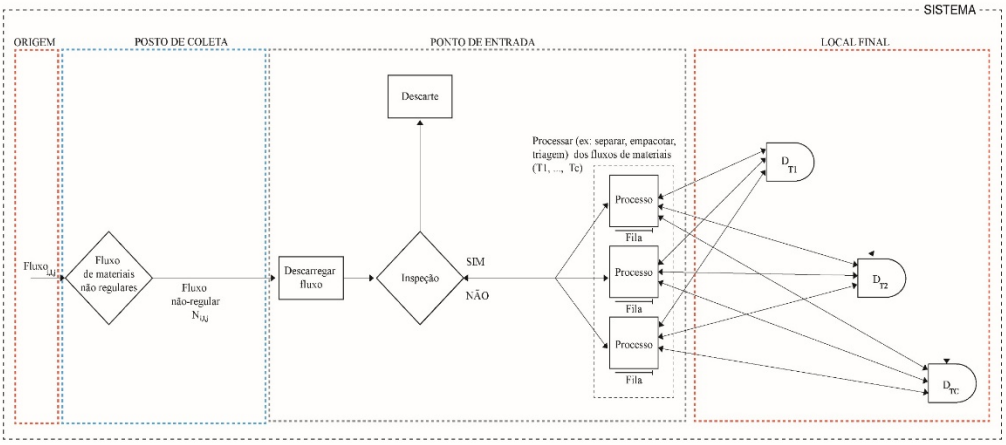


Figura 2: Modelo esquemático fluxo de materiais no evento de microexplosões em Ponte Alta do Norte em 2016
Fonte: o autor (adaptado de Varella e Gonçalves, 2016)

2.2. Problemas observados

Ao longo da resposta ao evento e também no pós-desastre, os aspectos tangentes ao gerenciamento dos materiais oriundos de doações foram coordenados pela Prefeitura do Município de Ponte Alta do Norte. Entretanto, conforme apresentado, não havia planejamento prévio quanto as responsabilidades e tarefas atribuídas as pessoas, controle de pessoal e operações, definição de pontos de coleta, de veículos, armazenagem e tampouco sabia-se o que realmente era necessário e estava em falta – competência básica ao qual incumbem as doações

de resolverem o problema. Destacam-se estes como alguns dos problemas encontrados na análise do caso:

2.3.1 Falta de controle dos estoques

Todas as doações recebidas eram encaminhadas para o Ponto de Entrada sem controle documental com informações como o tipo de material que foi doado, sua quantidade, sua origem, validade ou tamanho. As doações eram dispostas em salas administrativas e sociais do complexo esportivo que abrigava também alguns dos desabrigados pelo evento. Utensílios como fogões, geladeiras e mesas eram separados de roupas e comida, porém o controle era inexistente.

2.3.2 Desperdícios

O desperdício de doações pode ser melhor evidenciado no pós-desastre: foram descartados alimentos recebidos de doações pois como o número de famílias atingidas não foi elevado (cerca de 70), as provisões de alimentos que chegaram de doações nos primeiros dias foram suficientes – e algumas famílias atingidas puderam ficar na residência de outras pessoas. Como parte dos alimentos era perecível, uma parcela significativa do volume doado destes teve de ser descartada dias após o desastre. Constatou-se o desperdício de combustível para transporte das doações pois por vezes os trajetos das entregas dos donativos estavam incorretos: pessoas que aguardavam receber telhas e material de construção por vezes tiveram de recusar caminhões com donativos de alimentos e água pois a família já havia sido abastecida.

2.3.3 Excesso de donativos

O acumulo excessivo de materiais oriundos de doações pode comprometer as redes de abastecimento humanitárias – e no caso de Ponte Alta do Norte, algumas doações vieram em quantidades maiores que o necessário: roupas, sapatos e colchas. Encheu-se uma sala do ginásio de esportes com doações de roupas doações, que não paravam de chegar até que deslocamos para uma sala maior e pedimos para que não recolhessem mais roupas como donativo", citou o Sec. de Saúde de Ponte Alta do Norte.

2.3.4 Contaminação

Foram encontrados sacos de roupas que continham preservativos e até mesmo produtos de higiene como shampoo e condicionador, em embalagens já abertas, que estouraram e sujaram as roupas e contaminaram os produtos que estavam armazenados. A armazenagem dos donativos com destino a regiões impactadas por um evento calamitoso ou desastre é comumente difícil. Há casos em que, no caso de excesso de doações ou que a janela de tempo dos suprimentos do desastre é suficientemente atendida, as doações excedentes são descartadas de imediato, armazenadas em locais inadequados, incompatível com a higiene, segurança, disposição e localização adequadas para seu posterior aproveitamento.

2.3.5 Doações incompatíveis

Roupas, principalmente roupas sujas, rasgadas, sapatos dispersos ou armazenados em pares dentro de sacolas plásticas – facilmente violáveis, tornando-os também dispersos – gravatas, toalhas molhadas. Visto que dentro dos processos avaliados os problemas encontrados, algumas questões como quantidades de doações, o número de viagens realizadas, os locais de armazenagem, os tempos de atendimento das necessidades ficaram em aberto – a falta de dados e a falta de controle inviabilizaram uma avaliação de desempenho logístico dos processos;

Para tanto, trabalhou-se em duas frentes: na remodelagem imediata dos processos (que poderia ser executada durante a fase de resposta, a qualquer momento visando substituir a cadeia de processos naquele momento); e no levantamento de indicadores de desempenho para os processos logísticos observados – contemplando já a remodelagem. Estes são apresentados a seguir.

3. PROPOSTA DE MODELAGEM DE PROCESSOS E INDICADORES DE DESEMPENHO

3.1. Remodelagem dos processos referentes ao fluxo de materiais não-regulares

Na remodelagem de processos sugerida, os processos logísticos acerca da gestão de doações dão-se início no Posto de Coleta, no processo de aferição da regularidade ou não do material para destiná-lo ao fluxo adequado: materiais provindos de doações ou que são dispostos para as vítimas entram no fluxo não-regular. No Posto de Coleta ocorrem dois processos: o primeiro é chamado de Primeira Inspeção, que averigua in loco as condições do material depositado juntamente com seu responsável. São aferidas questões de conformidade das doações com as necessidades das vítimas; sensibilização dos doadores quanto ao que é possível doar, o que não é necessário e um feedback da conformidade da sua doação. Em seguida, será determinado se o material é de Alta Prioridade/Baixa Prioridade, segundo a classificação de Holguín-Veras *et al.* (2012a): o sistema rejeitará o material caso o mesmo seja item Não Prioritário dentro das necessidades e perspectivas das vítimas.

O local do Ponto de Entrada é o destino inicial dos materiais pertencentes a este fluxo. O primeiro processo existente é o processo de Controle de qualidade – o material será inspecionado quanto às características e necessidades das vítimas já levantadas e será rejeitado do sistema caso não atenda as mesmas. Novamente, aferida qualidade e conformidade o processo dará continuidade. No processo Garantia de Acesso é que serão novamente investigadas as necessidades das vítimas naquele momento e a urgência do material no fluxo: caso seja de Alta Prioridade, o material passará pelo processo de Registro, onde serão processadas e catalogadas as informações sobre o mesmo e será encaminhado até o processo de Descarregar Fluxo, processo onde ocorrem movimentações físicas, consolidação e agrupamento de cargas e onde os veículos de entrega responsáveis pela distribuição de material do fluxo não-regular estarão a postos e serão carregados. Se o material não for de Alta Prioridade, o processo Garantir Acesso encaminhará o material para um processo de separação e classificação, onde novamente serão aferidas as condições do material, sua real necessidade e, caso no intervalo de tempo do seu deslocamento sua necessidade tenha sido minimizada, este mesmo pode ser ou rejeitado pelo sistema (sendo descartado) ou então encaminhado para um processo de Registro – coleta de informações sobre o material – e posteriormente decidido se o mesmo vai ser colocado no Almoxarifado (para possível uso posterior) ou no processo Armazenagem, onde estará disposto para entrar de imediato no processo de Descarregar o Fluxo e destino até as vítimas.

No Local de Distribuição ocorre apenas a entrega dos materiais deste fluxo até as vítimas e, novamente em caso de excesso, não-necessidade ou momento, os mesmos possam ficar dispostos em um Inventário localizado próximo às vítimas, evitando transporte desnecessário até os pontos de entrada ou de distribuição. Uma vez destinados aos seus locais de demanda, os itens podem trafegar posteriormente para o Inventário – localizado próximo às vítimas – onde

os itens de maior urgência que foram desconsiderados ou não entregues estarão armazenados e dispostos para alcance imediato.

O fluxograma esquemático que apresenta a movimentação de materiais proposta para o evento de Ponte Alta do Norte, baseado na literatura, nas observações e dados coletados e embasada no modelo de fluxo de materiais não-solicitados do trabalho de Jaller (2011) foi construído pelos autores para representar graficamente a proposta de adequação dos processos logísticos que, com pequenas alterações dentro dos processos observados e ocorridos, visa a sanar os problemas apresentados no item 2.2, apresentando-se como uma das contribuições deste trabalho. O fluxograma pode ser observado na Figura 3:

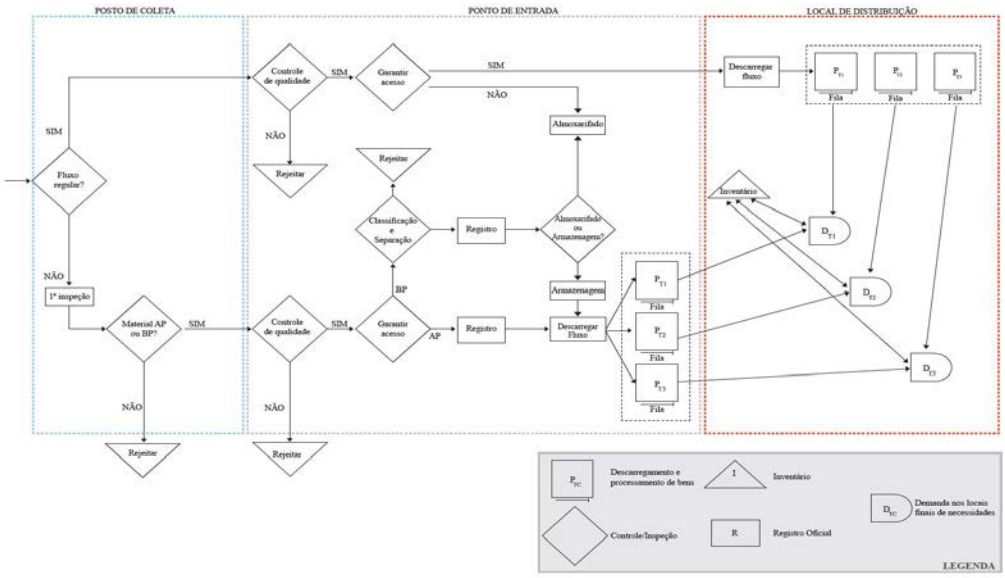


Figura 3: Fluxograma dos processos logísticos propostos para gestão de doações do evento das microexplosões em Ponte Alta do Norte em 2016
Fonte: os autores

3.2. Indicadores de desempenho voltados para a gestão de doações

Os indicadores devem andar em paralelo com a execução e nas alterações na estratégia e nos cenários propostos pelo modelo a ser observado. Seu propósito é sustentar e embasar racionalmente as decisões tomadas dentro das atividades e processos concebidos no modelo de convergência de materiais proposto. Dentro do contexto analisado, foi buscado na literatura e constatado in loco a necessidade de indicadores de desempenho logístico que sejam úteis para a análise do evento em questão e pertinentes à gestão de doações.

Indicadores de Desempenho relacionados a processos logísticos devem ser orientados em duas vertentes: para atingir as expectativas das vítimas e devem estar alinhados com suas necessidades em tempo real (interesse das vítimas); ou b) para atingir as expectativas e dentro das capacidades daqueles que fornecem a ajuda (interesse dos doadores). (Kaplan e Norton, 1992 *apud* Anjomshoae *et al.*, 2017). Neste trabalho, trataremos dos indicadores de desempenho voltado para atender as necessidades das vítimas. Para tanto, estes indicadores devem ser desenvolvidos com foco nos materiais não-regulares. Buscou-se na literatura (Schulz e Heigh, 2009; Lu *et al.*, 2016; Arnette e Zobel, 2016; Moreno *et al.*, 2016; Varella e Gonçalves, 2016; Anjomshoae *et al.*, 2017; Eftekhar *et al.*, 2017; *Penta et al.*, 2017) indicadores de

desempenho relevantes à convergência e gestão de materiais, e que foram adaptados para englobar os processos identificados. São eles:

- Pedidos Perfeitos – (Quantidades de viagem entregues com sucesso / Quantidade de viagens) x 100%: apresenta a taxa de confiança da entrega de doações em perfeita ordem numa cadeia de ajuda humanitária através da mensuração do percentual de pedidos que estão plenamente consistentes com os designados para entrega – indica a qualidade do processo até a última milha
- Percentual das entregas cheias – (total de viagens de veículos com doações cheios com mais de 90% do volume / total de viagens) x 100%: Mensura a qualidade e quantidade dos itens a serem movimentados para a entrega em última milha.
- Precisão documental – (Volume de doações entregues com documentação perfeita / Volume total de doações recebidas) x 100%: É definido como o percentual de pedidos que passam pelo processo com a documentação válida e correta. Se as doações estão chegando nos Pontos de Entrada com alto percentual de precisão documental é sinal de que os processos anteriores estão sendo executados
- Percentual de entregas rejeitadas – (Volume transportado de doações que fizeram viagem de última milha e voltaram ao Ponto de Coleta / Volume total entregue às vítimas) x 100%: É definido como o percentual de doações rejeitadas pelas vítimas, que fizeram a movimentação completa dentro da cadeia;
- Ciclo de tempo de empacotamento – (Total de kits em processamento / média diária de empacotamento de kits): É o tempo médio de processamento entre o início da confecção dos kits de ajuda até a finalização de todas atividades relacionadas com o triagem e empacotamento;
- Ciclo de atendimento das entregas – (Tempo total dos ciclos de entregas de doações realizadas / Total de doações realizadas): É definido como o tempo médio para que uma entrega seja realizada. Indica o tempo de giro dos suprimentos até as vítimas;
- Tempo da doação chegar até vítima – (Data quando o recurso foi entregue para a vítima) – (Data inicial do desastre): Mede o lead time médio de uma resposta ao evento externo ocasionador do desastre desde seu início naquela localidade. Serve para dar grau a perecibilidade das doações
- Quantidade de doações em inventário – (Σ itens doados armazenados no Ponto de Entrada): Definido como o levantamento de todos os itens dispostos em mãos da área de Ponto de Entrada que irão se destinar até as vítimas. Serve para identificar se o acúmulo de itens ou doações está sob controle e possibilita saber se serão necessárias novas incursões.
- Percentual de Doações Prioritárias: (Σ doações de Alta Prioridade (HP) / Σ doações HP + Σ doações de Baixa Prioridade (LP) + Σ doações Não-Prioritárias (NP)): Informa a qualidade geral do material doado; permite avaliar se os fluxos irão congestionar e comunicar a mídia e os doadores para o que, quanto e quando doar
- Taxa de mobilização de pessoas e voluntários: (Capacidade Atual de Pessoas nas atividades referentes à gestão de doações / Capacidade Desejada de Pessoas (quantidade de materiais / capacidade de processamento diária]) = Taxa de gap de capacidade de RH [em pessoas/dia] – mostra o percentual de preenchimento de atividades, possibilitando verificar a rotatividade e o *overlapping* de pessoas e atividades

- Desempenho das entregas nos prazos adequados – (Total dos pedidos entregues no prazo adequado / Total de pedidos) × 100%: Mensura a pontualidade das entregas dentro do processo, indicando o percentual total de pedidos que chegam em tempo às vítimas.
- Custo para Entregar: Custo total dos transportes, armazenagem e mão-de-obra necessários desde a entrada do produto no Ponto de Entrada, passando pelos processos de triagem, separação, empacotamento, despacho, transporte, entrega e deslocamento de veículos. Considerado como o ticket-médio por kg de produto entregue.

5 CONCLUSÕES

No caso estudado, ficou evidente que a falta de preparação e de recursos no local de desastre impactou severamente as operações logísticas de atendimento às vítimas. Visto os diversos relatos de problemas crônicos nas questões de higiene, qualidade e quantidade de materiais doados, onde não foi observado controle algum sobre o fluxo logístico de materiais não-regulares pertinentes a ocasião de eventos calamitosos, é preocupante que a questão da Gestão das Doações continue a ser largamente ignorada pelos órgãos de Defesa Civil e demais competentes, que buscam não lidar com tais operações e também não oferecem ferramentas tampouco treinamento ou acompanhamento, deixando as prefeituras das cidades menores à mercê de um fluxo irregular, complexo e muitas vezes danoso aos quais os problemas e custos vão sendo empurrados, gerando um ciclo vicioso de descrédito ante a sociedade, preocupação para os gestores e esperança diminuta às vítimas.

Para tanto, foram levantados os processos pertinentes a Gestão de Doações, remodelados e sugeridos alguns indicadores pertinentes para a avaliação de desempenho - especialmente em municípios pequenos, objeto do estudo de caso aqui abordado. A avaliação de desempenho logístico dentro de uma cadeia de suprimentos deve, além de monitorar os processos de execução, controlar a alteração de objetivos e a validade dos pressupostos assumidos na formulação dos objetivos. (Dornier *et al.*, 2000). Os indicadores de desempenho que foram propostos aqui após a análise e abordagem ao estudo de caso foram: Pacotes perfeitos; Percentual das entregas cheias; Precisão documental; Percentual de doações em perfeitas condições; Ciclo de tempo de empacotamento; Ciclo de atendimento das entregas; Tempo da doação chegar até vítima; Quantidade de doações em inventário; Percentual de Doações Prioritárias; Taxa de mobilização de pessoas e voluntários; Desempenho das entregas nos prazos adequados; e Custo para Entregar.

Embora doadores tipicamente julguem as organizações de ajuda humanitária pela sua visibilidade na mídia e não acompanhem as questões de desempenho operacional, seu compromisso e boa exposição na mídia reforçam e motivam as doações a serem maiores e em qualidade maior (Eftekhar *et al.*, 2017), é importante mensurar e avaliar os processos internamente como forma de mostrar transparência nas ações, no que lhes foi investido e/ou confiado, mitigando a percepção pública acerca de problemas que possam ser encontrados, é possível inferir que a utilização dos conceitos logísticos aqui apresentados buscam minimizar o efeito de convergência de materiais não solicitados, entretanto outros aspectos de pesquisa podem também ser considerados futuramente: o efeito da mídia no comportamento das doações é um tema já documentado e comprovado por alguns trabalhos - embora consistentes os resultados, seus efeitos e abrangência são relativamente desconhecidos (Destro e Holguín-Veras, 2010; Holguín-Veras *et al.*, 2012a, 2012b, 2014; Eftekhar *et al.*, 2017), se apresentando como uma pertinente área de pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anjomshoae, A.; Hassan, A.; Kunz, N.; Wong, K. Y.; de Leeuw, S. (2017). "Towards a dynamic balanced scorecard model for humanitarian relief organizations' performance management." Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management 0(ja): 00-00.

Arnette, A. N.; Zobel, C. W. (2016). "Investigation of Material Convergence in the September 2013 Colorado Floods." Natural Hazards Review 0(0): 05016001.

Destro, L., & Holguín-Veras, J. (2010). Estimating Material Convergence: Flow of Donations for Hurricane Katrina. Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY.

Dornier, P. (2000). Logística e operações globais: textos e casos. Atlas.

Eftekhar, M.; Li, H.; Van Wassenhove, L. N.; Webster, S. (2017). The role of media exposure on coordination in the humanitarian setting. Production and Operations Management, 26(5), 802-816.

Fritz, C.E., Mathewson, J.H., (1957). Convergent behavior: a disaster control problem. Special Report for the Committee on Disaster Studies,'' Disaster Study, 9.

Holguín-Veras, J., Jaller, M., Van Wassenhove, L. N., Pérez, N., & Wachtendorf, T. (2012a). Material convergence: Important and understudied disaster phenomenon. Natural Hazards Review, 15(1), 1-12.

Holguín-Veras, J., Jaller, M., Wassenhove, L.N.V., Pérez, N., Wachtendorf, T., (2012b). On the unique features of post-disaster humanitarian logistics. J. Oper. Manage. 30, 494–506. http://dx.doi.org/10.1016/j.jom.2012.08.003.

Holguín-Veras, J., Pérez, N., Jaller, M., Van Wassenhove, L. N., & Aros-Vera, F. (2013). On the appropriate objective function for post-disaster humanitarian logistics models. Journal of Operations Management, 31(5), 262-280.

Holguín-Veras, J., Taniguchi, E., Jaller, M., Aros-Vera, F., Ferreira, F., & Thompson, R. G. (2014). The Tohoku disasters: Chief lessons concerning the post disaster humanitarian logistics response and policy implications. Transportation research part A: policy and practice, 69, 86-104.

Holguín-Veras, J.; Jaller, M.; Aros-Vera, F.; Amaya, J.; Encarnación, T.; Wachtendorf, T. (2016). Disaster Response Logistics: Chief Findings of Fieldwork Research. Advances in Managing Humanitarian Operations. W. C. Zobel, N. Altay and P. M. Haselkorn. Cham, Springer International Publishing: 33-57.

IBGE - Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. (2016) Censo demográfico 2010. Disponível em: <http://www.ibge.com.br/estadosat/perfil.php?sigla=sc>. Acesso em: 11 junho de 2017.

Jaller, M., (2011). Resource allocation problems during disasters: the cases of points of distribution planning and material convergence handling. Rensselaer Polytechnic Institute.

Lu, Q., Goh, M., & De Souza, R. (2016). A SCOR framework to measure logistics performance of humanitarian organizations. Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management, 6(2), 222-239.

Moreno, J. D. S., Ramirez, C. O., & Jaimes, W. A. (2016). Agent-based model for material convergence in humanitarian logistics. Revista Facultad de Ingeniería, (81), 24-34.

Ozguven, E. E., Ozbay, K., Iyer, S., Whytlaw, R. A.; Carnegie, J. A. (2015). Multimodal Logical Architecture for Emergency Transportation Toward Better Decision Making in Humanitarian Logistics. In Transportation Research Board 94th Annual Meeting (No. 15-3297).

Penta, S., Marlowe, V. G., Gill, K., & Kendra, J. (2017). Of Earthquakes and Epidemics: Examining the Applicability of the All-Hazards Approach in Public Health Emergencies. Risk, Hazards & Crisis in Public Policy, 8(1), 48-67.

Santarelli, G., Abidi, H., Klumpp, M., & Regattieri, A. (2015). Humanitarian supply chains and performance measurement schemes in practice. International Journal of Productivity and Performance Management, 64(6), 784-810.

Schulz, S. F., & Heigh, I. (2009). Logistics performance management in action within a humanitarian organization. Management Research News, 32(11), 1038-1049.

Varella, L.; Gonçalves, M. B. (2015). A Gestão das Doações na Logística Humanitária: Estratégias para Evitar o Caos. In: XXIX ANPET, Ouro Preto, MG. XXIX ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2015.

Varella, L.; Gonçalves, M. B. (2016) Collaboration: A critical success factor in the logistics of Donations Management. In: 27th Annual POMS Conference - Production and Operations Management Society, 2016, Orlando, FL, EUA.

Varella, L.; Gonçalves, M. B.; (2016) Considerações sobre o problema da convergência de materiais em desastres: Estudo de Caso em um evento em Ponte Alta do Norte – SC. In: XXX ANPET, Rio de Janeiro, RJ. XXX ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2016.

Wachtendorf, T., Penta, S., & Nelan, M. M. (2015). When push comes to shove: The framing of need in disaster relief efforts. H. Enger, M. Schorch, and M. Voss, Learning and Calamities: Practices, Interpretations, Patterns, 235-252.

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE APOIO À LOGISTICA HUMANITÁRIA

D'avila Maria Gomes Mendes
José Eugênio Leal
Orivalde Soares da Silva Júnior
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
Departamento de Engenharia Industrial

RESUMO
Os desastres ocorridos nos últimos anos e a clara dificuldade das instituições em fazer uma gestão eficiente de todas as operações humanitárias necessárias evidenciam a carência de ferramentas capazes de mitigar a vulnerabilidade das comunidades. Tais dificuldades tornam-se ainda mais notáveis quando analisamos o processo de aquisição e gerenciamento de doações, especialmente as de caráter físico. Nesse contexto, o presente artigo apresenta a proposta de um sistema capaz de efetuar a arrecadação de doações em dinheiro, concedendo ao usuário do sistema a interface de uma loja virtual, na qual poderá efetuar doações de itens específicos definidos pelas instituições de assistência humanitária, garantindo desta maneira uma melhor gestão e economia nas operações de assistência humanitária.

ABSTRACT
The disasters that have occurred in recent years and the clear difficulty of institutions to efficiently manage all necessary humanitarian operations shows the lack of tools to mitigate the vulnerability of communities. Such difficulties become more remarkable when we analyze the process of acquiring and managing donations, especially those of physical character. In this context, the present article proposes a system capable of collecting donations in cash, granting the system user the interface of a virtual store, being able to make donations of specific items defined by the humanitarian assistance institutions, thus guaranteeing a better management and economy in humanitarian assistance operations.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Thomas e Kopczak (2005) logística humanitária é definida como o processo de planejamento, implementação e controle do fluxo e armazenagem de recursos de maneira eficaz e eficiente, assim como informações relacionadas, de um ponto de origem a um ponto de destino com o objetivo de aliviar o sofrimento das vítimas atingidas por algum tipo de desastre. Um desastre é definido como "uma grave interrupção do funcionamento de uma comunidade ou de uma sociedade em qualquer escala devido a eventos perigosos que culminam em condições de exposição, vulnerabilidade e incapacidade, levando a uma ou mais das seguintes perdas e impactos: humanos, materiais, econômicos e ambientais" (UNISDR, 2017).

Van Wassenhove (2006) classifica desastres quanto à origem, em naturais e causados pelo homem, e quanto à evolução em "início súbito" e "início lento". Exemplos de desastres naturais de "início lento" são a fome e a seca, e de "início súbito", tsunamis e terremotos. Ataques terroristas são desastres causados pelo homem de "início súbito", já crises políticas e crises de refugiados são considerados desastres causados pelo homem de "início lento". Nas últimas décadas ambos tiveram um crescimento significativo e simultaneamente os estudos no campo da logística humanitária também foram aprofundados e mais amplamente difundidos pela comunidade acadêmica.

Em ambos os tipos de desastre, um dos maiores desafios para operações humanitárias é o gerenciamento de sua cadeia de suprimentos, dada a quantidade de agentes envolvidos, seus diferentes objetivos, a falta de coordenação e integração entre eles, além da falta de infra-

estrutura apresentada nos locais atingidos. De acordo com Smilowitz e Dolinskaya (2011) o maior desafio do gerenciamento da cadeia de suprimentos em operações humanitárias é estabilizar o fluxo de doações de diferentes fontes (nacionais e internacionais) com o mínimo desperdício de recursos.

Após a ocorrência de um desastre e considerável exposição em meios de comunicação, a comoção da população em geral culmina em um grande número de doações. Infelizmente o grande volume de doações não significa que as necessidades dos atingidos serão garantidas. Na maioria das vezes as doações são feitas sem qualquer verificação da real necessidade dos itens em questão naquele momento, e, sobretudo sem qualquer ferramenta de controle de qualidade que garanta que as doações chegarão em condições de uso para a população afetada. Isso gera a alocação de recursos humanos e tempo valiosos em processos de carregamentos, classificação, e armazenagem; além de desperdício de recursos materiais; aumento do custo total da operação e atraso na assistência às vítimas. (Koray Özpolat et.al, 2015). Por essa razão, há uma pressão das organizações de ajuda humanitária para doações em dinheiro, que proporcionam maior flexibilidade e menor custo nas operações. Um dos entraves à doação em dinheiro ainda é o receio quanto ao destino final das doações e consequente exigência dos doadores na transparência e eficiência na aplicação dos recursos pelas organizações, em contrapartida isso faz com que essas organizações se esforcem em alcançar uma gestão estratégica orientada a resultados.

Considerando a importância do processo de doações e a ineficiência do modelo atualmente adotado, a proposta de um sistema de arrecadação e gerenciamento de doações será proposto, auxiliando no processo de obtenção, compra, armazenagem, distribuição e gerenciamento de donativos, a fim de aumentar a eficiência das operações humanitárias.

Este artigo está organizado em capítulos, sendo o primeiro a Introdução aqui apresentada. No capítulo 2, é realizada uma revisão bibliográfica abordando conceitos relevantes sobre logística humanitária, cadeia de suprimentos, compras e doações. No Capítulo 3, é descrita a proposta do sistema e suas principais funcionalidades, no Capítulo 4 é apresentado fluxo de atividades do processo de doações, para melhor compreensão do processo. O capítulo 5 é dedicado às conclusões do artigo e propostas de estudos futuros.

2. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica dos conceitos sobre logística humanitária, cadeia de suprimentos humanitária, de compras, e do processo de doações. Assim como a interseção destes conceitos.

2.1. Logística Humanitária

Van Wassenhove (2006) afirma que a logística humanitária estrutura suas atividades de transporte, armazenagem e distribuição através de adaptações da logística empresarial, visando a melhoria dos resultados em termos de eficiência, rapidez, qualidade de entrega e atendimento em situações de emergência. De acordo com Balcik et al. (2008), logística humanitária abrange o fluxo de materiais e pessoas de forma adequada e em tempo oportuno, com o objetivo principal de atender da maneira correta o maior número de pessoas, evitar desperdícios, organizar as doações recebidas e atuar dentro de recursos limitados. Thomas e Kopczak (2005) destacam a logística humanitária como crucial para a eficácia e rapidez da resposta dos principais serviços humanitários, como saúde, alimentos, abrigo, água e saneamento. Os autores também destacam as etapas de compras e transporte como as mais

caras na operação humanitária na fase de resposta. Além disso, como a logística humanitária lida com o rastreamento das mercadorias através da cadeia de suprimentos, a mesma oferece uma importante base de dados para análises dos resultados após a operação, como nível de serviço prestado pelos fornecedores, custos, aproveitamento de doações, entre outros. Assim, a logística humanitária atua como uma ponte entre a preparação e a resposta a um desastre, compras e distribuição, e pode significar a diferença entre o sucesso e o fracasso de uma operação de ajuda humanitária.

A logística de operações humanitárias é dividida em diferentes fases, com requerimentos de operações distintas em cada uma delas. Apesar de diferentes abordagens na literatura a nomenclatura mais comumente utilizada é: preparação, resposta e reconstrução (Kovács, G. e Spens, K., 2007) cuja terminologia foi adotada no presente texto. A tabela 1 apresenta cada uma das fases, assim como as atividades comumente relacionadas a cada uma delas.

Tabela 1 - Atividades por fases do ciclo de vida do desastre

Fase	Atividades
Preparação (Pré-desastre)	- Recrutamento de pessoal para serviços de emergência e voluntários; - Elaboração do plano de emergência; - Assegurar suprimentos de emergências em áreas propensas; - Orçamento para aquisição de veículos e equipamentos; - Construção de centro de operação de emergência; - Condução de exercícios simulados de emergência.
Resposta (Durante o desastre)	- Ativação do plano de emergência; - Ativação do centro de operação de emergência; - Abertura de abrigos e centros de distribuição de água, alimentos e kits de higiene; - Restabelecimento de serviços vitais (água, luz, comunicação, segurança).
Reconstrução (Pós-desastre)	- Limpeza e remoção dos escombros; - Reconstrução de vias e pontes; - Restabelecimento completo de serviços vitais.

2.2. Cadeia de Suprimentos da Logística Humanitária

A logística humanitária propõe uma estruturação coordenada das atividades de transporte, armazenagem e distribuição a fim de melhorar a eficiência de todo processo, fazendo uso de procedimentos que relacionem a mobilização das pessoas, habilidades, recursos e conhecimento. Pesquisadores identificam características de clientes, objetivos estratégicos, natureza da demanda e fatores ambientais como fontes de diferenciação entre logística comercial e humanitária, Balcik (2010) cita as seguintes características dominantes:

- Imprevisibilidade da demanda, em termos de tempo, localização, tipo e tamanho;
- Demanda repentina em quantidades muito elevadas e pequenos prazos de entrega para uma grande variedade de suprimentos;
- Grandes limitadores associados com tempo e entrega adequada;
- Falta de recursos (fornecedores, pessoas, tecnologia, capacidade de transporte).

Thomas e Kopczak (2005) ainda citam os locais afetados por desastres, que passam a ser de difícil acesso; os requerimentos específicos para cada desastre em termos de suprimentos e conhecimento; destruição de estradas e aeroportos; e instabilidade do governo local em situações de conflito como fatores dificultadores para o gerenciamento da cadeia de suprimentos. Dada a sua complexidade, Van Wassenhove (2006) ressalta que a cadeia deve

ser capaz de responder o mais rapidamente possível e em curto intervalo de tempo, sendo ágil, adaptável e capaz de se estruturar e se transformar rapidamente e em condições adversas. A figura 1 ilustra o fluxo típico de uma cadeia de suprimentos humanitária.

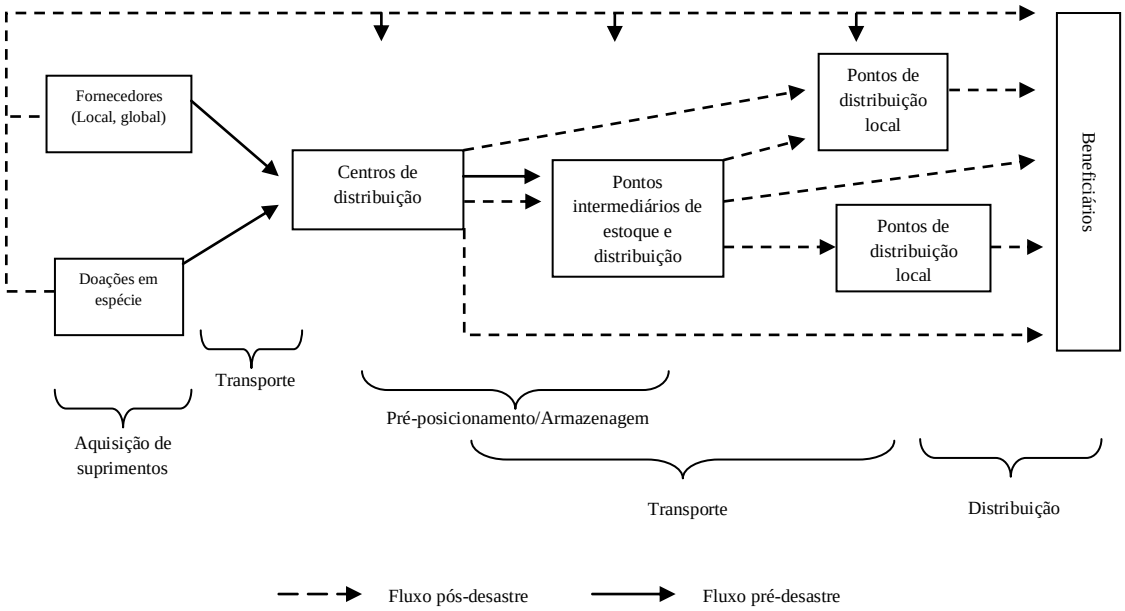


Figura 1: Estrutura da cadeia de suprimentos humanitária, adaptado de Balcik et al (2010)

2.2.1. Atores da Cadeia de Suprimentos da Logística Humanitária

Existem muitos agentes na cadeia de suprimentos de uma operação humanitária (figura 2). Enquanto na logística empresarial o que se tem é um conjunto de fornecedores previamente determinados, na logística humanitária o fornecimento de recursos (mantimentos, remédios, roupas, etc.) é feito por diversos fornecedores "desconhecidos" que dificultam potencialmente o gerenciamento de doações.

As organizações de ajuda humanitária podem ser vistas como os principais canais através dos quais a demanda é prevista e pelos quais os governos canalizam auxílios para desastres (Long e Wood, 1995). Os doadores são membros importantes da cadeia, pois fornecem a maior parte do financiamento para as principais atividades de ajuda humanitária. Outros membros também devem ser incluídos: forças militares, governo local e adjacentes, organizações não governamentais (ONGs) e fornecedores de serviços logísticos. (Kaatrud et al., 2003). As forças militares são agentes importantíssimos na logística humanitária, à medida que podem prover recursos críticos de comunicação, transporte e planejamento. Os governos locais controlam ativos como armazéns ou depósitos de combustível. A logística do local ou os provedores de serviços regionais são outro conjunto importante de atores que podem facilitar ou restringir a eficácia operacional das operações de logística humanitária. Segundo Cozzolino (2012), para otimizar o desempenho da logística humanitária é necessário que todos os relacionamentos entre os atores envolvidos sejam gerenciados através de uma abordagem integrada, visando coordenar de maneira eficiente e eficaz o desempenho entre as organizações, eliminar redundâncias e maximizar a eficiência ao longo da cadeia de suprimentos humanitária. Enquanto a logística é direcionada para o fluxo de materiais, a gestão da cadeia de suprimentos humanitária se concentra nos relacionamentos entre os atores que tornam esse fluxo possível. Kovács e Spens (2011) observam a necessidade de desenvolver modelos e sistemas padronizados para facilitar a operação dentro e entre

organizações humanitárias, maior coordenação entre as agências de modo a conciliar atuações em áreas e fases do desastre, além de soluções sustentáveis dos pontos de vista econômico, social e ecológico.

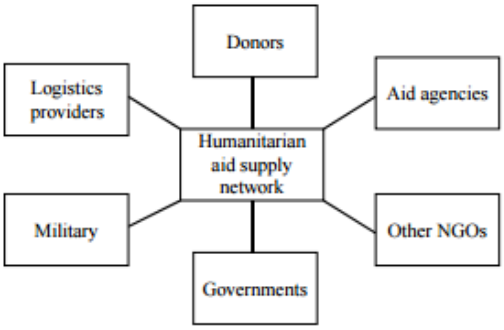


Figura 2: Agentes na rede de suprimentos de ajuda humanitária (Kovács e Spens, 2007)

2.3. Processo de compras

Balcik et al.(2010) afirmam que as compras na logística humanitária são efetuadas por organizações humanitárias, que movimentam anualmente um grande volume de suprimentos. Schulz (2009) afirma que cerca de que 65% do custo de uma operação de ajuda humanitária é dedicado ao processo de compras, sendo a atividade da logística humanitária na qual a maior parte das doações monetárias é aplicada.

De acordo com Ertem e Buyurgan (2013), o processo de compras em logística humanitária tende a ser reativo orientado para o curto prazo e restrito ao nível tático e operacional, provocando problemas, como: a falta de suprimentos para entrega imediata, devido à dificuldade de prever a demanda e à competição entre as organizações compradoras, aumenta de preços com o crescimento súbito da demanda e atrasos nas entregas dos itens, já que todo o processo ocorre após o desastre (Balcik e Ak, 2014). O desenvolvimento de estratégias de compra pode reduzir significativamente o custo médio dos produtos adquiridos e consequentemente atender a mais pessoas e pode ser o diferencial no atendimento às vitimas de desastres.

2.4. Recebimento de doações

Ülkü et al. (2015) destacam que certas operações estratégicas podem ser melhoradas, mitigando doações, que mesmo bem intencionadas, são indesejadas e comprometem toda a cadeia. Os autores ainda citam diferentes aspectos motivadores no comportamento de doadores, que podem ser a questão chave para alcançar um melhor redirecionamento para as doações. Organizações sem fins lucrativos provêem donativos a fim de completar a missão da organização (beneficiar comunidades, aliviar sofrimento, etc.). Governos podem doar embasados no relacionamento com o governo do país/estado afetado. Líderes individuais podem usar a resposta a desastres como forma de melhorar sua posição política pessoal. Os governos também podem vir a ajudar outros países a preservar os recursos necessários (por exemplo, petróleo). A liderança de um país diretamente afetado por um desastre pode oferecer ajuda para seus próprios cidadãos, tanto como parte de suas obrigações de liderança quanto para ganhar benefícios com os mesmos. As corporações podem fazer doações dentro de um senso de responsabilidade social, particularmente quando os desastres afetam seus trabalhadores ou seus próprios recursos corporativos. Ou podem ainda, doar para desviar a atenção dos erros corporativos (por exemplo, exploração de mão-de-obra barata ou leis

ambientais leves), podem usar doações para se livrar de excessos, reclamar deduções fiscais ou estabelecer novos mercados para seus produtos.

O gerenciamento bem-sucedido das fases de preparação, resposta e mitigação requer oportuna execução da logística e forte coordenação entre os membros da cadeia de suprimentos humanitária. Infelizmente, o que os estudiosos da área chamam de "desastre após o desastre" ou "segundo desastre" (Newsweek, 2002), pode ocorrer não somente devido a ineficiências na coordenação logística, mas também devido ao recebimento de doações inapropriadas ou não solicitadas. Os custos associados à triagem, armazenamento, transporte, distribuição e eliminação das doações não solicitadas podem exceder em grande parte o valor dos bens doados (Telford et al., 2006).

O recebimento de donativos materiais envolve outro risco a ser considerado: a possibilidade das doações nunca atingirem a área afetada pelo desastre. Dependendo do destino, as políticas alfandegárias podem dificultar o trânsito de doações, o que pode gerar custos operacionais ainda maiores. Quando as doações de material são realmente entregues nas áreas afetadas pelo desastre, precisam de espaço para serem armazenadas de forma segura, ordenadas individualmente pelos voluntários e, se determinado como útil e em quantidade suficiente, distribuídos para a população afetada. A distribuição requer um planejamento logístico intenso, considerando espaço para alocação, programação de transporte de veículos, roteamento e segurança. Esses fatores dificultam ainda mais os processos de gerenciamento de estoque e distribuição para as organizações (Koray Özpolat et al., 2015). Apesar de todos os riscos e ineficiências discutidos, muitos doadores ainda preferem doar produtos não solicitados para desastres, o que torna imprescindível a "reeducação do doador" assim como o desenvolvimento de ferramentas que impulsionem mais rapidamente esta mudança de perfil da doação.

3. PROPOSTA DE SISTEMA DE DOAÇÕES

Fundamentado no referencial teórico e com base na dissertação de Salvino E. (2012) foi desenvolvido um protótipo de sistema de doações cujo objetivo é fazer a alocação otimizada de recursos necessários para suprir as necessidades das vítimas. O sistema permite ao usuário efetuar a doação de suprimentos para diversos eventos através da interface de uma loja virtual e aos administradores uma melhor gestão e economia nas operações de assistência humanitária. O website está hospedado no seguinte endereço: http://www.ind.puc-rio.br:8080/doacoes/.

3.1. Funcionalidades do sistema

3.1.1. Cadastro de eventos

Para dar ao doador a sensação de que ele está comprando um item especifico requerido para uma determinada ocorrência há a funcionalidade "cadastro de eventos", onde o administrador informa os dados sobre um desastre ou ocorrência específico:

- Nome que será utilizado para identificar o desastre;
- Descrição, onde podem ser dados maiores detalhes sobre o desastre;
- Tipo de evento, que é classificado de acordo com a codificação utilizada pela defesa civil (e.g. Alagamentos NE.HAL #12303);
- Gravidade;
- Local (estado e município);
- Data da ocorrência;

- Número de dias de suprimentos planejado;
- Número de pessoas afetadas
- Classificação das pessoas afetadas (desalojadas, desabrigadas, etc.).

Após a inclusão do evento, o administrador consegue fazer o gerenciamento de vários eventos ao mesmo tempo através da lista de eventos do sistema. É possível inserir, editar e excluir eventos.

3.1.2. Análise da demanda

O sistema proposto possui duas formas distintas para disponibilizar a demanda de um determinado incidente:

- Simples – neste módulo o administrador fornece a quantidade de cada item manualmente, não havendo qualquer tipo de cálculo interno;
- Estimativa por quantidade (recomendado) – neste módulo o administrador fornece a quantidade de pessoas a ser atendida, e juntamente com a quantidade de dias0020necessária de fornecimento de suprimentos informada no cadastro de eventos, o sistema utiliza uma relação consumo/pessoa/dia que varia de acordo com a classificação (desalojada, desabrigada, etc.) para gerar a demanda final.

3.1.3. Solicitação de cotação

Após a criação da campanha de arrecadação é possível solicitar uma cotação por suprimento aos fornecedores já cadastrados no sistema. Ao clicar do botão "Solicitar cotações", uma mensagem é enviada a todos os fornecedores habilitados para a operação em questão (compra, transporte ou armazenagem). Somente após recebimento de cotações e escolha do(s) fornecedor(s) é possível publicar o evento e abrir a campanha de doações, pois é através do preço cobrado por fornecedores de produtos e serviços, que será estabelecido o preço de compra para o usuário final, como mostrado na Equação 1.

$$CustoUnit_i = \sum_j CustoTotal_{i,j} \div Demanda_i, \qquad \forall i \qquad (1)$$

Em que $CustoUnit_i$: custo unitário do produto i;
$CustoTotal_{i,j}$: custo total da cotação do produto i pelo fornecedor j;
$Demanda\_i$: demanda total do produto i

3.1.4. Recebimento de doações (PagSeguro)

O recebimento das doações é feito através de uma solução de e-commerce para transações online, o PagSeguro. O doador pode escolher a forma de pagamento: cartão de crédito; cartão de débito; depósito bancário e o valor doado é direcionado para a conta ou contas cadastradas pelo administrador.

3.1.5. Compra dos recursos e entrega nos locais

O processo de compras de recursos deve ser dinâmico, visto que, na maioria das vezes o montante necessário para a compra de todos os suprimentos não será alcançado na mesma velocidade em que aumenta a necessidade das pessoas afetadas.

Com o pedido feito ao fornecedor, este será o responsável pelo fornecimento, e/ou transporte, e/ ou armazenagem.

3.1.6. Cadastros

Na aba cadastros é possível obter informações sobre todas as cotações disponíveis, produtos cadastrados, fornecedores, transportadores, armazéns, usuários, voluntários, lista de newsletter, FAQ e mensagens enviadas.

3.1.7. Interface com usuários

O usuário pode ser identificado como doador e/ou voluntário. Para efetuar a doação o usuário deve fazer um cadastro com algumas informações pessoais, como nome completo, data de nascimento, endereço. Já para o cadastro de voluntários há um número maior de informações, incluindo CPF. Em ambos os cadastros o sistema solicita o cadastramento de uma senha de acesso. Ao efetuar o *login*, a tela inicial mostra as possibilidades de doação a campanhas e de se tornar um voluntário, caso ainda não tenha feito o cadastro.

4. FLUXO DE ATIVIDADE EM BPMN

A fim de melhorar o entendimento do processo de doações e das atividades dos atores envolvidos na operação, desenvolveu-se um fluxo de atividades baseada na notação BPMN (Business Process Model and Notation), ilustrado na figura 3. Além da compreensão do fluxo percorrido pelas doações, este modelo pode ser uma ferramenta útil para identificação de limitações, oportunidades de melhoria, e automatização de atividades.

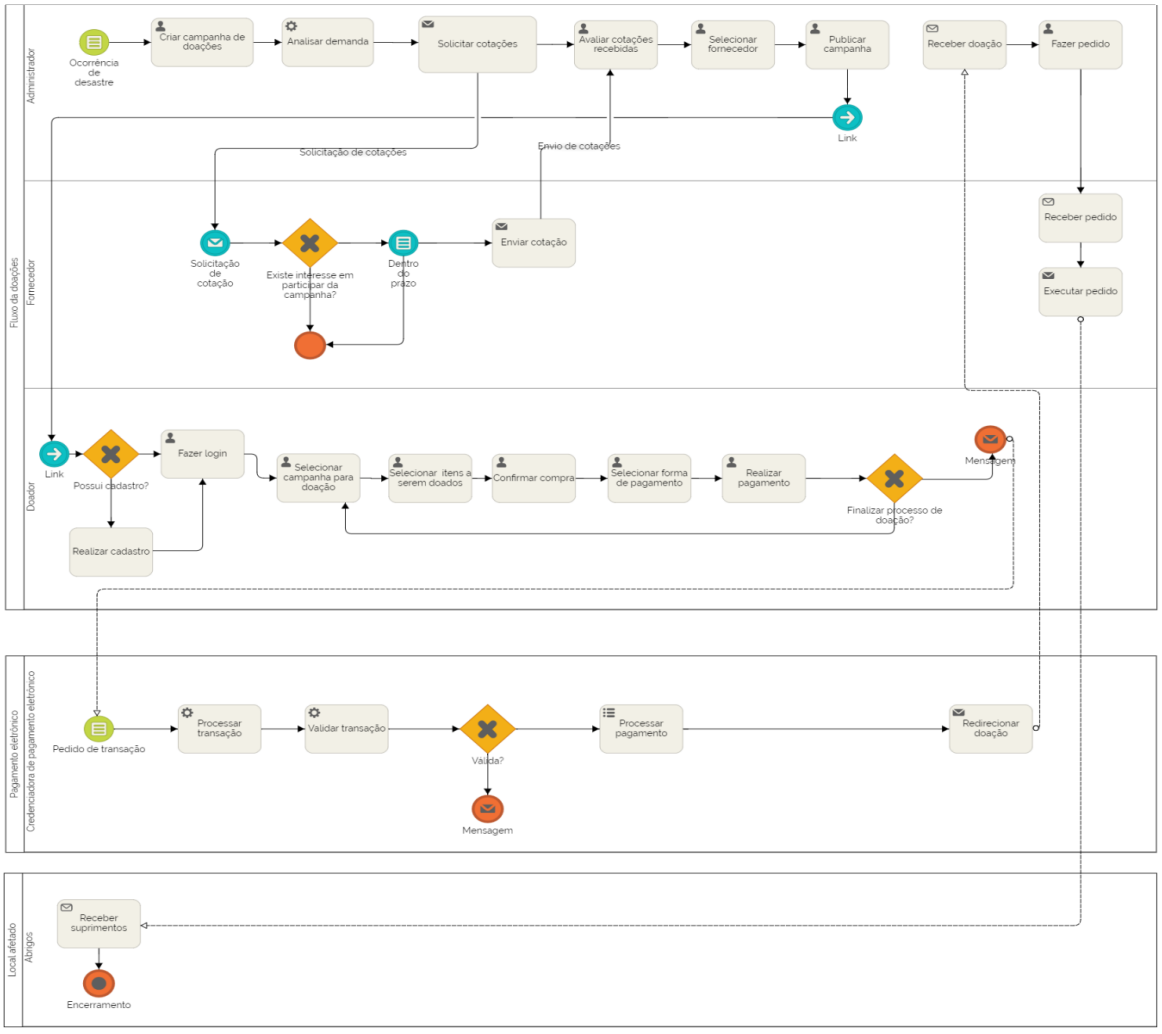


Figura 3: Fluxo de atividade do processo de doação em BPMN

Nas “raias” estão os principais atores envolvidos: administrador (agências de assistência humanitária), fornecedor e doador. A seguir serão listadas cada uma das atividades:

- Criar campanha de doações - Esta atividade possibilita ao administrador criar uma campanha de doações para um desastre específico;
- Analisar demanda - Baseando-se nas informações fornecidas o sistema calcula a demanda necessária;
- Solicitar cotações - O administrador solicita cotações (insumos, transporte, armazenagem) aos fornecedores cadastrados no sistema
- Enviar cotações - Os fornecedores, por sua vez, caso estejam interessados em participar da campanha e dentro do prazo de envio, informam as cotações do serviço a ser prestado;
- Avaliar cotações recebidas - O administrador avalia as cotações recebidas;
- Selecionar fornecedor - Após fazer a avaliação, o administrador seleciona os fornecedores que prestarão os serviços;
- Publicar campanha - Após a seleção dos fornecedores, o sistema já é capaz de calcular o valor unitário de cada produto a ser doado, e o administrador pode, então, publicar a campanha no sistema, deixando-a visível ao usuário;
- Realizar cadastro - Permite efetuar o cadastro no sistema;
- Fazer *login* - Com o usuário já cadastrado, é possível entrar no ambiente de doação;
- Selecionar campanha para doação – O usuário seleciona para qual desastre deseja doar;
- Selecionar itens a serem doados - ao selecionar a campanha, todos os itens requeridos aparecem, assim como seu valor unitário, e o doador seleciona quais e quantos itens deseja doar;
- Confirmar compra - o doador finaliza o processo de compra para efetuar pagamento em seguida;
- Selecionar forma de pagamento – o doador seleciona a forma de pagamento mais adequada (boleto bancário, cartão de crédito, cartão de débito)
- Efetuar pagamento - Confirma os dados informados e efetua o pagamento;
- Processar transação – A credenciadora de pagamento processa a transação no seu próprio sistema;
- Validar Transação – A credenciadora valida a transação, segundo seus próprios critérios;
- Processar pagamento – O processamento de pagamento é efetivado, variando de acordo com a forma de pagamento selecionada;
- Redirecionar doação - A quantia doada é direcionada para a conta do administrador;
- Receber doação – O recebimento da doação é efetivado até o prazo definido pela credenciadora, levando em conta a forma de pagamento;
- Fazer pedido – A ordem de pedido é então feita pelo administrador;
- Receber pedido – Os fornecedores recebem o pedido, seja de fornecimento, transporte ou armazenagem;
- Executar pedido – A execução do pedido é feita pelo fornecedor;
- Receber suprimentos – Os abrigos dos locais afetados recebem os suprimentos.

5. CONCLUSÃO

A gestão de operações humanitárias é um tema de grande destaque na atualidade, tanto pelo crescente número de desastres, quanto pela complexidade na gestão eficiente de recursos e

coordenação entre atores envolvidos em operações de salvamento. A área ainda necessita de estudos conceituais e empíricos, sobretudo no desenvolvimento de ferramentas capazes de agregar maior valor à sua cadeia de suprimentos em todas as fases de desastres. Analisando os doadores como os clientes na cadeia de suprimentos humanitária (Beamon e Balcik, 2006), é presumível que o desenvolvimento de soluções capazes de tornar suas atividades na cadeia mais eficazes e eficientes, encaminha-na para uma maior velocidade e qualidade de resposta. Este artigo apresentou um sistema capaz de auxiliar na arrecadação de doações, seguindo as diretrizes da comunidade internacional sobre a melhor forma de doações em caso de desastres: dinheiro, resumindo o processo de mitigação da ausência de recursos em uma operação de compras em escala, levando em conta a captação de recursos financeiros feita pelo sistema (Van Wassenhove, 2008).

Dentre os resultados esperados com a utilização do sistema vale destacar o ganho em economia de escala, tanto no processo de aquisição de suprimentos, como nos de transporte, já que o preço unitário da compra e transporte em grandes lotes reduz consideravelmente o custo da operação. O ganho em eficiência esperado por fornecedores aptos a fazer adequadamente o processo de armazenagem também deve ser ressaltado. No entanto, entende-se que na prática existem vários fatores que podem causar apreensão e dificuldades em agências de assistência humanitária na implementação do sistema, que vão desde a insegurança com a credibilidade do sistema até falta de recursos para treinamento. Por isso como trabalhos futuros sugere-se (i) estudo de caso com o acompanhamento de uma agência de ajuda humanitária utilizando o sistema em uma operação real; (ii) proposição de métodos eficientes para redirecionamento do perfil do doador, que ainda é conservador (iii) simulação de cenários no sistema, combinando parâmetros estocásticos (demanda, perecibilidade, etc.) para avaliar seu desempenho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Balcik, B.; Beamon, B. (2008) Facility location in humanitarian relief. International Journal of Logistics: Research and Applications, v. 11, n. 2, p. 101- 121.

Balcik, Burcu, et al. (2010) Coordination in humanitarian relief chains: Practices, challenges and opportunities. International Journal of Production Economics 126.1, p. 22-34.

Balcik, B.; Ak, D. (2014) Supplier selection for framework agreements in humanitarian relief. Production and Operations Management, v. 23, n. 6, p. 1028-1041.

Cozzolino, A. (2012), Humanitarian Logistics: Cross-Sector Cooperation in Disaster Relief Management, Springer Science & Business Media.

Ertem, M.A.; Buyrgan, N. A. (2013) Procurement Auctions-Based Framework for Coordinating Platforms in Humanitarian Logistics. In: Zeimpekis, v. Ichoua, S.; Minis, I. (Ed.). Humanitarian and Relief Logistics: Research Issues, Case Studies and Future Trends, Springer, New York, p. 111-127.

Kovács, G.; Spens, K. (2007) Humanitarian logistics in disaster relief operations. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 37 Issue: 2, pp.99-114

Kaatrud, D.B., Samii, R. and van Wassenhove, L.N. (2003), UN joint logistics centre: a coordinated response to common humanitarian logistics concerns, Forced Migration Review, Vol. 18, pp. 11-14.

Koray Özpolat, Juanita Rilling, Nezih Altay, Eric Chavez. (2015) Engaging donors in smart compassion: USAID CIDI's Greatest Good Donation Calculator. Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management, Vol. 5 Issue: 1, pp.95-112

Kovács, G.; Spens, K. (2011) Trends and developments in humanitarian logistics - a gap analysis. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, v. 41, n. 1, p. 32-45.

Long, D.C. and Wood, D.F. (1995) The logistics of famine relief. Journal of Business Logistics, Vol. 16 No. 1, pp. 213-29.

Ülkü, M.; Bell, K.; Wilson, S. (2015) Modeling the impact of donor behavior on humanitarian aid operations. Ann. Oper. Res., 230 (1), pp. 153–168

Newsweek (2002) $75 million of stuff, Newsweek, February 18, pp. 62-63. Acesso em jun, 2017

Salvino, E. (2012) Sistema de doações pela internet para a ajuda humanitária. Rio de Janeiro. 89p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Schulz, S. F. Disaster Relief Logistics: Benefits of and Impediments to Cooperation between Humanitarian Organizations. Haupt, Berlin, 2009.

Smilowitz, K.; Dolinskaya, I. (2011) Decision-making tools for distribution networks in disaster relief. Center for the Commercialization of Innovative Transportation Technologies – Northwestern University.

Telford, J., Cosgrave, J., & Houghton, R. (2006). Joint evaluation of the international response to the Indian Ocean tsunami. Synthesis Report.

Thomas, A. S.; Kopczak, L.R. (2005) From Logistics to Supply Chain Management: The Path Forward in the Humanitarian Sector. Fritz Institute, San Francisco, CA.

UNISDR (2017) Terminology, The United Nations Office for Disaster Risk Reduction. http://www.unisdr.org/we/inform/terminology. Acesso em jun, 2017

Van Wassenhove, L.N. (2006) Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear. Journal of the Operational Research Society, Vol. 57 No. 5, pp. 475-489.

Van Wassenhove, L. N., Tomasini, R. M., & Stapleton, O. (2008) Corporate responses to humanitarian disasters: The mutual benefits of private-humanitarian cooperation. Conference Board.

O EMPREGO DO CORPO DE FUZILEIROS NAVAIS EM RESPOSTA AO FURACÃO MATTHEW NO HAITI

Matheus de Sant'Anna Cardoso
Jayme Sivak Morelenbaum
Matheus Dutra Rocha
Departamento de Engenharia Industrial
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio
Raphael Correia Lopes
Comando do Material de Fuzileiros Navais
Marinha do Brasil
Adriana Leiras
Departamento de Engenharia Industrial
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio

RESUMO
O aumento da ocorrência de desastres naturais tem afetado milhares de pessoas ao redor do mundo. Com a importância crescente do apoio dos militares na resposta a desastres, este artigo tem por objetivo apresentar e analisar o emprego do Corpo de Fuzileiros Navais (CFN) em apoio a Organização das Nações Unidas (ONU) nas ações de resposta ao Furacão Matthew, ocorrido no Haiti em 2016. Com o intuito de descrever o modus operandi em desastres, os relatórios da operação são comparados com um modelo de processos de resposta a desastres. Com este estudo de caso, busca-se aumentar o intercâmbio entre a academia e a prática e alcançar uma maior eficácia no apoio dos militares nas operações humanitárias.

ABSTRACT
The increase in the occurrence of natural disasters has affected thousands of people around the world. With the increasing importance of military support in responding to disasters, this paper aims to present and analyze the use of the Brazilian Marine Corps (BRMC) in support of the United Nations (UN) in the response to the Hurricane Matthew in Haiti in 2016. In order to describe the modus operandi in disasters, the operation reports are compared with a disaster response processes model. This case study aims to increase exchanges between academia and practice and to achieve greater effectiveness in supporting the military in humanitarian operations.

1. INTRODUÇÃO

Os desastres podem ser classificados de acordo com o modo de início (súbito ou lento) ou de acordo com sua origem (natural ou antropogénica) (Van Wassenhove, 2006), mas estão também relacionados a um contexto social vulnerável (Britton, 1986). Seus impactos são mediados pelos elementos que compõem a realidade onde eles ocorrem, abrangendo fatores de natureza econômica e política que interferem não apenas na capacidade de enfrentamento de suas consequências, mas na perpetuação dos múltiplos fatores que compõem uma situação de risco; ou seja, os desastres podem ser entendidos como um sistema com características dinâmicas, constituído por uma combinação de fatores de risco. Tais fatores desencadeiam processos crônicos, fundamentados sobre uma relação prévia entre elementos do ambiente e os sujeitos de risco (Bonzo et al., 2001).

O acelerado processo de urbanização verificado nas últimas décadas em várias partes do mundo, inclusive no Brasil, levou ao crescimento das cidades, muitas vezes em áreas

impróprias à ocupação, aumentando as situações de perigo e de risco de desastres naturais, tais como inundações, escorregamentos, erosão, terremotos, tornados, furacões, tempestades e estiagem, entre outros (Tominaga et al., 2009).

A logística humanitária lida com uma série de desastres naturais, como terremotos, tsunamis, furacões, tornados, epidemias, secas, inundações, e também com desastres antropogênicos, como atos terroristas, ataques químicos, crises de refugiados e acidentes nucleares (Kovacs e Spens, 2009). A logística é um aspecto crítico para o sucesso de uma operação humanitária, posto que 90% dos esforços de uma operação de mitigação a desastres se destinam a atividades logísticas (Trunick, 2005).

Oliveira Netto (2014) acreditam que, atualmente, seja praticamente impossível se cogitar uma intervenção em grandes desastres sem auxílio das Forças Armadas (FA), em virtude destas disporem de pessoal e equipamentos adequados para o enfrentamento de situações de crise. O emprego dos militares otimiza a gestão de desastres, criando uma única fonte de prioridades e redução de risco de desastres (Casserleigh, 2015). Oloruntoba (2010) aborda o caso do ciclone Larry na Austrália em 2006 como exemplo de sucesso da atuação de militares em operações de resposta a desastres naturais. Neste caso, os militares trabalharam na busca e salvamento, evacuação, fornecimento de água potável, comida e abrigo, na limpeza de detritos que bloqueavam estradas, bem como garantiram a segurança local. O pré-posicionamento de unidades militares, suprimentos e recursos em prontidão de resposta contribuíram para a redução do tempo de ciclo. Outro exemplo de emprego ocorreu durante o desastre da Região Serrana do Rio de Janeiro em 2011, onde, de acordo com Bandeira *et al*. (2011), os militares brasileiros executaram tarefas logísticas, como distribuição de donativos, evacuação de feridos, tratamento e distribuição de água, desobstrução de vias, abastecimento de combustível e mapeamento da área imediatamente após o desastre.

No Brasil, as FA têm como atribuição subsidiária cooperar, mediante autorização, com os órgãos e entidades que possuem competências relacionadas com a Defesa Civil. Para isso, as FA devem ter condições de apoiar ações preventivas, incluindo planejamentos, instrução e simulações, e de resposta a desastres para evitar ou mitigar os efeitos daquelas ocorrências, preservar o bem-estar da população e restabelecer a normalidade social (Brasil, 2015). De acordo com Casserleigh (2015), o emprego de militares como resposta a desastres nas Américas possui uma história de sucesso devido ao fato de que as organizações militares possuem a maior capacidade de operar continuamente e a habilidade de rapidamente se constituírem e responderem ao desastre.

Este artigo apresenta e analisa o estudo de caso do emprego do Corpo de Fuzileiros Navais (CFN) da Marinha do Brasil (MB) em apoio a Organização das Nações Unidas (ONU) nas ações de resposta ao Furacão Matthew, ocorrido no Haiti em 2016, a fim de contribuir para o aumento do nível de entendimento e conhecimento sobre o assunto. Além disso, este trabalho tem como objetivo especifico analisar as ações do Grupamento Operativo de Fuzileiros Navais-Haiti (GptOpFuzNav-Haiti), sendo este parte componente do Batalhão Brasileiro (BRABAT) e da Missão das Nações Unidas para Estabilização do Haiti (MINUSTAH) durante o furacão.

O furacão Matthew foi um poderoso ciclone tropical que afetou a Jamaica, Cuba, República Dominicana, Bahamas, Estados Unidos e, especialmente, o Haiti, onde várias cidades

sofreram danos graves em larga escala, deixando dezenas de milhares de pessoas desabrigadas. Em alguns locais as perdas nas culturas agrícolas chegaram a 80% e a única ponte que ligava o centro e o sul do Haiti foi destruída, prejudicando os trabalhos de ajuda à população. O furacão complicou a situação de um país que ainda não tinha se recuperado dos efeitos do devastador terremoto de 2010 (BBC, 2017).

Este trabalho se limita a analisar as atividades realizadas pelo Corpo de Fuzileiros Navais (CFN) da Marinha do Brasil na resposta ao desastre no Haiti em 2016, não sendo abordadas diretamente as fases de mitigação, preparação e recuperação de desastres, conforme o ciclo de desastres definido por Altay e Green (2006).

O artigo está estruturado em quatro seções, sendo esta primeira de caráter introdutório. A seção 2 apresenta a metodologia empregada. A seção 3 realiza a análise das ações da MB em apoio a ONU na resposta ao furacão Mathew no Haiti. A última seção apresenta as conclusões do presente trabalho.

2. METODOLOGIA

O método de estudo de caso é utilizado na análise das operações realizadas pelo Grupamento Operativo de Fuzileiros Navais (GptOpFuzNav) em resposta ao Furacão Matthew (Yin, 2013). A coleta de dados foi realizada a partir da análise dos relatórios de fim de comissão (Brasil 2016a; 2016b; 2016c; 2016d). O acesso aos relatórios foi conseguido através da posição oficial de um dos autores, mas eles estão disponíveis sob requisição específica para não militares.

A análise de dados considerou a técnica de adequação ao padrão, comparando o padrão empírico (dados dos relatórios) com um padrão teórico (modelo de referência) (Yin, 2013). O modelo de referência adotado foi o de Fontainha et al. (2015). O modelo de Fontainha et al. (2015), baseado em Blecken (2010), foi desenvolvido após uma revisão de 316 publicações na literatura acadêmica e considera três níveis de processos. O nível 1 refere-se ao ciclo de desastres definido por Altay e Green (2006). O nível 2 refere-se aos processos detalhados a partir do processo de "resposta", como apresentado na Figura 1, e o nível 3 detalha cada um dos oito processos representados no nível 2.

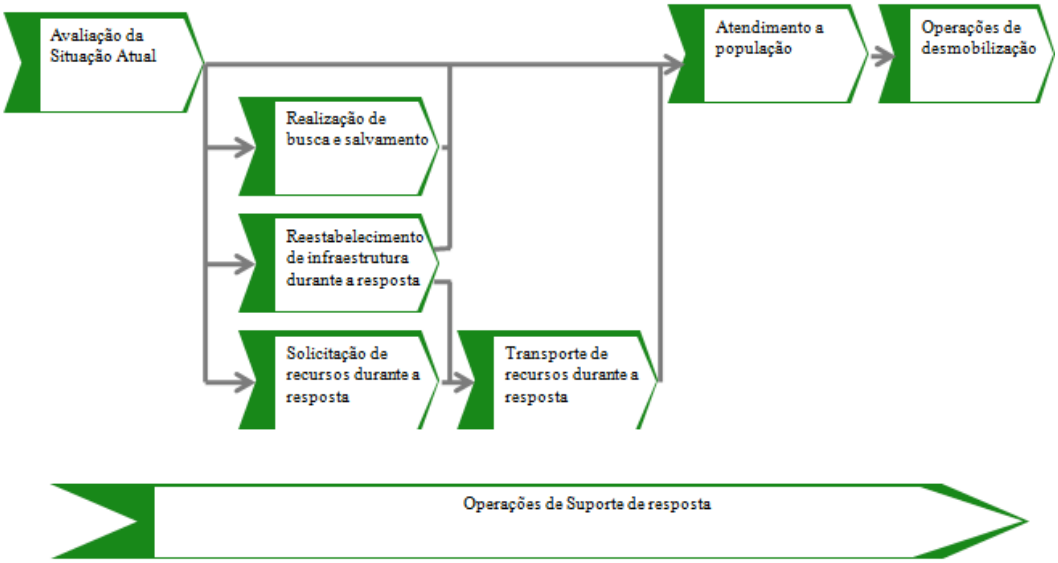


Figura 1: Nível 2 - Macroprocessos da resposta a desastres (Fontainhas *et al*.,2015)

3. O EMPREGO DO CORPO DE FUZILEIROS NAVAIS EM RESPOSTA AO FURACÃO MATTHEW NO HAITI

O emprego operativo da tropa de Fuzileiros Navais para o cumprimento de missão especifica normalmente se dá na forma do Grupamento Operativo de Fuzileiros Navais (GptOpFuzNav), o qual está estruturado segundo o conceito organizacional de componentes, que agrupa os elementos constitutivos de acordo com a natureza de suas atividades. O GptOpFuzNav permite aliviar o seu Comandante da sobrecarga resultante da complexidade das atividades de manobra terrestre, de apoio logístico e daquelas relacionadas com o espaço aéreo de sua responsabilidade, além de facilitar a coordenação e o controle da Força (Brasil, 2013).

A Missão das Nações Unidas para Estabilização do Haiti (MINUSTAH) foi criada em fevereiro 2004 por Resolução do Conselho de Segurança da ONU para restabelecer a segurança e a normalidade institucional do país, após sucessivos episódios de turbulência política e violência que culminaram com a partida do então presidente Jean Bertrand Aristide para o exílio. O Brasil sempre comandou o componente militar da Missão (2004-2017), que tem a participação de tropas de outros 15 países, além do efetivo brasileiro de capacetes azuis da Marinha, do Exército e da Força Aérea (Brasil, 2017).

Ao longo dos 13 anos de atuação das Forças Armadas brasileiras, a população haitiana foi apoiada pela Missão na ocasião dos dois desastres naturais que atingiram o país. No dia 12 de janeiro de 2010, um terremoto causou a morte de mais de 200 mil pessoas. Em 4 de outubro de 2016, o furacão Matthew causou inundações e deixou milhares de desabrigados (Brasil, 2017).

O componente militar brasileiro na MINUSTAH é formado pelo batalhão brasileiro (BRABAT) e pela companhia de engenharia (BraEngCoy). Essas duas unidades estão subordinadas diretamente ao *Force Commander*, que é o comandante militar da MINUSTAH. O GptOpFuzNav-Haiti faz parte do BRABAT. A subordinação do GptOpFuzNav-Haiti ao

BRABAT é somente operativa. Administrativamente, o GptOpFuzNav-Haiti tem autonomia, sendo o Comando da Força de Fuzileiros da Esquadra (ComFFE) a unidade que provê todo o apoio administrativo e logístico necessário para o seu funcionamento (Brasil, 2011).

No período de junho a dezembro de 2016, o CFN foi representado na MINUSTAH pelo 24º contingente do GptOpFuzNav-Haiti. No início do contingente, a situação política do Haiti atravessava um período marcante pela expiração do prazo do governo provisório de Jocelerme Privert. Como um novo Presidente ainda não havia sido eleito - já que foram desconsideradas as eleições do dia 25 de outubro de 2015 pelo Comitê Eleitoral Provisório (CEP) por existência de fraudes e falsificação de documentos públicos - coube, em uma situação de normalidade, aos Deputados e Senadores definirem o futuro do governo (Brasil, 2016a). As eleições foram previstas para ocorrer em 09 de outubro de 2016.

Nos últimos dias de setembro, as atenções se voltaram para o acompanhamento da trajetória e da evolução da tempestade tropical que se transformou no furacão Matthew. No início de outubro, o furacão Matthew atinge a porção centro-oeste do Departamento Sud pelo sul e seguindo para o norte atinge os Departamentos de Grand Anse e Nippes (Figura 2). O fenômeno causou muita destruição nas cidades e localidades por onde passou de forma que muitos *Vote Centers* (VC) foram danificados ou destruídos. Com o caos social e estrutural, pessoas desabrigadas, a forte comoção e a necessidade de reorganizar a mobilização dos VC, após reuniões com as principais autoridades do país e da MINUSTAH, o CEP se viu obrigado a adiar as eleições de forma que as novas datas postergadas passaram a ser 20 de novembro de 2016 (Brasil, 2016a).



Figura 2: Mapa do Haiti (ONU, 2016)

Realizando a análise dos relatórios de fim de comissão e sua interligação com os macroprocessos descritos na Figura 1, verifica-se que o macroprocesso **avaliação da situação inicial** ocorreu através da determinação do *Force Commander* para que uma tropa de

fuzileiros navais e engenheiros do Brasil fosse posicionada antes da chegada do furacão na cidade de *Miragoane*, na região sul. Esta tropa tinha tarefa de reconhecer o porto, o aeroporto e possíveis locais para instalação de uma base militar para emprego de tropas em apoio à assistência humanitária (Brasil, 2016a). Realizou-se o reconhecimento do itinerário de *Les Cayes* até as proximidades de *Jeremie* com o objetivo de verificar a trafegabilidade de viaturas pesadas (Brasil, 2016a). Cabe ressaltar que este macroprocesso tem como objetivo estabelecer o primeiro contato dos militares com a área de operações, onde são obtidos dados e informações para que o emprego da tropa e do material seja realizado da forma mais judiciosa e melhor possível.

Nos momentos iniciais, as tropas em *Les Cayes* foram empregadas nas buscas de civis e no transporte dos que necessitavam de atendimento médico para os locais adequados (Brasil, 2016a). Isto confirma a realização do macroprocesso **busca e salvamento**.

O macroprocesso **reestabelecimento de infraestrutura** durante a resposta é observado em diversas ocasiões, quando a tropa se utiliza de máquinas pesadas e equipamentos de engenharia para desobstrução de vias. O GptOpFuzNav-Haiti permaneceu realizando a segurança de um destacamento da BraEngCoy, enquanto este realizava a limpeza das principais estradas que interligam os Departamentos Oeste, Sul e *Grand Anse*, bem como reconhecendo as localidades destes departamentos e levantando os danos causados (Brasil, 2016b).

A passagem do furacão Matthew aumentou o número de localidades e as distâncias envolvidas para o emprego da tropa, de forma que aumentou a demanda pelo constante emprego dos fuzileiros navais com foco na trafegabilidade e, consequentemente, a taxa com que as informações eram trocadas em diversos níveis, levando a um constante revezamento dos militares (Brasil, 2016c). Além disso, com uma melhora nas condições climáticas, uma tropa brasileira transportada por helicópteros foi enviada a *Jeremie*, com a missão de evitar distúrbios civis e garantir a segurança de equipes de ajuda humanitária que chegariam à cidade assim que a estrada fosse reaberta (Brasil, 2016b). Tal fato exprime a ocorrência do macroprocesso **solicitação de recursos durante a resposta**.

Ratificando a ocorrência do macroprocesso **transporte de recursos durante a resposta**, o GptOpFuzNav-Haiti realizou o transporte de suprimentos do Porto Príncipe a *Jeremie* e a segurança das instalações do Programa Mundial de Alimentos da Organização das Nações Unidas (WFP - World Food Program Inter Agency Storage Space). A atividade teve como propósito apoiar o transporte e reforçar a segurança das instalações que concentravam uma grande quantidade de suprimentos que estavam sendo utilizados nas ações de ajuda humanitária (Brasil, 2016c).

O macroprocesso **atendimento à população** é baseado em duas vertentes, uma com relação ao atendimento às necessidades médicas e outra no atendimento às necessidades de produtos emergenciais. No geral, o agravamento sanitário e as condições de higiene eram preocupantes. Doenças como cólera alcançaram o número de 510 casos notificados. Além disso, o aumento da quantidade de mosquitos provocado pelas águas paradas e pela já esperada estação das chuvas aumentou os casos de dengue e malária (Brasil, 2016a). Os fuzileiros navais realizaram escolta de comboio de seis caminhões com material de ajuda humanitária, de *Les Cayes* para a região de *Port Salut* e *Roche A Bateau*, em apoio ao WFP e organizações não

governamentais (ONGs) da região (Brasil, 2016b). Além disso, realizaram a segurança do local e prestaram socorro às vítimas do acidente ocorrido entre um comboio da *Braengcoy* e uma motocicleta civil no caminho entre *Les Cayes* e *Port Salut* (Brasil, 2016b).

No macroprocesso de **operações de suporte de resposta** é de fundamental importância as operações de garantia da lei e da ordem que se caracterizam pelo fato de que na localidade onde ocorre o desastre as estruturas de segurança em sua grande maioria encontram-se colapsadas e a população de forma geral necessita da chegada de ajuda humanitária de maneira rápida e segura. Com isso estas operações garantem, de forma legal, as FA empregarem a força, se necessário, para alcançar seu objetivo. Nas áreas atingidas pelo furacão Matthew, houve um número considerável de ataques contra comboios e instalações de distribuição de socorros e mantimentos. São indicadores de um significativo estado de agitação da população, reagindo contra a incapacidade percebida das instituições governamentais para fornecer as necessidades básicas (Brasil, 2016d). Contribuindo para manter o ambiente seguro e estável, com a finalidade de coibir a prática de atos ilegais, evitar que a população haitiana sofra restrições à sua liberdade de movimento e apoiar a assistência humanitária de resposta ao desastre ocasionada pelo Furacão Matthew, o GptOpFuzNav-Haiti realizou as atividades de reconhecimento, patrulhamento, segurança local, escolta de comboio e segurança de distribuição de gêneros dentro e fora de sua área de responsabilidade (Brasil, 2016d).

Com o término da missão, teve início a desmontagem das estruturas e o embarque do material e do equipamento utilizado na missão. O transporte deve ser de acordo com o meio disponibilizado para este fim, caracterizando o macroprocesso **operações de desmobilização**. Ainda durante a fase de apoio à restauração da normalidade após a passagem do Furacão *Matthew*, o GptOpFuzNav-Haiti pré-posicionou tropas a fim de apoiar a realização das eleições e contribuir para a manutenção de um ambiente seguro e estável (Brasil, 2016a). É importante ressaltar que o evento das eleições presidenciais e o apoio na resposta ao terremoto foram eventos concomitantes que acabaram por otimizar o emprego dos meios. As ações de apoio em resposta ao desastre foram encerradas no mês de dezembro de 2016 (Brasil, 2016a).

A cronologia das ações no evento é sintetizada no Quadro 1.

Quadro 1: Nível 2 - Cronologia das ações no evento

Data	Macroprocesso	Ação
30/09 a 03/10/2016	Avaliação da situação inicial	Posicionamento da tropa de fuzileiros navais e engenheiros para reconhecimento do local antes da chegada do furacão
03/10 a 15/10/2016	Busca e salvamento	Buscas de civis e transporte de feridos
05/10 a 15/10/2016	Reestabelecimento de infraestrutura	Desobstrução de vias
06/10 a 20/10/2016	Solicitação de recursos durante a resposta	Aumento da demanda pelo emprego dos fuzileiros navais com foco em trafegabilidade e segurança
06/10 a 20/10/2016	Transporte de recursos durante a resposta	Transporte de suprimentos
06/10 a 30/10/2016	Atendimento à população	Escolta de comboio de caminhões com ajuda humanitária, segurança na distribuição e socorro a vítimas de acidentes
10/10 a 30/11/2016	Operações de suporte de resposta	Operações de garantia da lei e da ordem
30/11/2016	Operações de desmobilização	Desmontagem das estruturas e o embarque de materiais e equipamentos

4. CONCLUSÕES

O furacão Matthew devastou o Haiti em 2016. As Nações Unidas estão presentes em diversas missões no mundo e grande parte de seu efetivo é composto por tropas militares. A Marinha do Brasil, através do Corpo de Fuzileiros Navais, participa da Missão das Nações Unidas para Estabilização do Haiti (MINUSTAH) desde 2004.

Na última década, tem aumentado a frequência e a magnitude dos desastres naturais. Nessas situações, os militares são cada vez mais requisitados para auxiliar nos resgates dos feridos e tratamento médico inicial, além do apoio logístico às operações de resposta. A agilidade para iniciar a ajuda humanitária se faz fundamental, com isso a resposta deve ser realizada o mais rápido possível para evitar mortes por falta de atendimento médico ou auxílio.

O envolvimento dos militares em casos de desastres naturais imediatamente após o ocorrido pode ajudar a salvar muitas vidas, graças ao seu estado de prontidão. Os exemplos de sucesso na atuação dos militares em apoio a desastres naturais são cada vez mais frequentes. Assim, o emprego dos militares na resposta aos desastres enfatiza a integração de todo o Estado na segurança do cidadão, já que eles são uma presença consistente, com conhecimentos consolidados obtidos em ações anteriores.

Este artigo apresentou como se deu o emprego do Corpo de Fuzileiros Navais nas ações de resposta ao furacão Matthew no Haiti em 2016. A análise apresentada é mais uma ferramenta de consulta sobre as possibilidades de atuação dos militares, mais especificamente a Marinha do Brasil, em situações de desastres, contribuindo, assim, para um maior entendimento sobre este assunto tão importante nos dias de hoje.

Para trabalhos futuros, propõe-se o detalhamento dos processos de nível 3 da resposta ao furacão Matthew, de acordo com o modelo de referência de Fontainha et al. (2015), bem como a comparação da atuação da Marinha do Brasil na ocasião do furacão Matthew em 2016 e no terremoto de 2010.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - 311723/2013-6), da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ - 203.178/2016) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES - 88887.091739/2014-01) na condução de projetos de pesquisa. Por fim, agradecem o apoio da Marinha do Brasil, através do Comando da Força de Fuzileiros da Esquadra (COMFFE), pela disponibilidade dos documentos necessários e, em especial, ao Capitão de Mar e Guerra (FN) José Emílio, comandante do 24º Grupamento Operativo de Fuzileiros Navais-Haiti, que atuou efetivamente nas ações de apoio a população haitiana durante a passagem do furacão Matthew.

REFERÊNCIAS

Altay, N.; Green, W. (2006) OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, v. 175, n. 1, p. 475-493.

Bandeira, R. A. M; Campos, V. B. G.; Bandeira, A. P. F. (2011) Uma visão da logística de atendimento à população atingida por desastre natural. In: *XXV ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*. Belo Horizonte, MG.

Blecken, A. (2010) Supply chain process modelling for humanitarian organizations. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management,* v. 40,n.8/9,p.675-692.

BRASIL. (2011) Marinha do Brasil. Comando Geral do Corpo de Fuzileiros Navais. *Revista Ancoras e Fuzis numero 42*. Rio de Janeiro.

BRASIL. (2013) Marinha do Brasil. Corpo de Fuzileiros Navais. *CGCFN-0-1: Manual Básico de Grupamentos Operativos de Fuzileiros Navais*, Rio de Janeiro.

BRASIL. (2015) Ministério da Defesa. *Instruções para emprego das Forças Armadas em apoio à Defesa Civil*. Brasília, DF.

BRASIL. (2016a) Marinha do Brasil. Comando da Força de Fuzileiros da Esquadra. *Relatório de fim de comissão do 24º Contingente Haiti*.Rio de Janeiro.

BRASIL. (2016b) Marinha do Brasil. Comando da Força de Fuzileiros da Esquadra. *Relatório Quinzenal n°19 (1 a 15 OUT2016) do 24º Contingente Haiti* .Rio de Janeiro.

BRASIL. (2016c) Marinha do Brasil. Comando da Força de Fuzileiros da Esquadra. *Relatório Quinzenal n°20 (16 a 31 OUT2016) do 24º Contingente Haiti* .Rio de Janeiro.

BRASIL. (2016d) Marinha do Brasil. Comando da Força de Fuzileiros da Esquadra. *Relatório Quinzenal n°21 (1 a 15 NOV2016) do 24º Contingente Haiti* . Rio de Janeiro.

BRASIL. (2017) *O Brasil na Minustah*. Disponível em: <http://www.defesa.gov.br/relacoes-internacionais/missoes-de-paz/o-brasil-na-minustah-haiti>Acesso em 10 de maio de 2017.

BBC. (2017) *"Hurricane Matthew: Haiti south 90% destroyed"*. Disponível em: <http://www.bbc.com/news/world-latin-america-37596222> Acesso em 12 de maio de 2017.

Bonzo, C., Castro, B., De Lellis, M., Samaniego, C. & Tissera, E. (2001). *Aportes psicosociales al concepto de riesgo***.** In E. Saforcada, & Colaboradores, El "Factor Humano" en la salud pública: una mirada psicológica dirigida hacia la salud colectiva (pp. 130-141). Buenos Aires: PROA XXI.

Britton, N. R. (1986). *Developing an understanding of disaster*. Journal of Sociology, 22(2), 254-271.

Casserleigh, A.H. (2015) *Increasing the Use of Military Input at All Stages of Disasters in the Americas*. Keynote presentation at Marine Leaders of the Americas Conference (MLAC), US Department of State and US Dept of Defense - Marine Corps SOUTHCOM, Cartagena, Colombia.

Fontainha, T. C.; Silva, L. de O.; Ferreira, G. de A. F.; Leiras, A.; Bandeira, R. A. de M. (2015) Modelo de referência de processos para resposta a desastres. *XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. Fortaleza.

Kovacs, G., Spens, K. (2009). Identifying challenges in humanitarian logistics. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, v. 39, n. 6, p. 506-528.

Oliveira Netto, S. (2014) *Emprego das Forças Armadas em ações de Defesa Civil*. Jus Navigandi,Teresina,ano 19,n. 3842.Disponível em:<http://jus.com.br/artigos/26341>.Acesso em:21jun.2017.

Oloruntoba, R. (2010) An analysis of the Cyclore Larry emergency relief chain: some key success factors. *International Journal of Production Economics*, v. 126, n. 1, pp. 85-101.

ONU (2016) *Geospatial Information Section*, Department of Field Support, New York.

Tominaga, L.K; Santoro, J.; Amaral, R.do. (2009) *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. Instituto Geológico. São Paulo.

Trunick, P. (2005). *Special report: delivering relief to tsunami victims.* Logistics Today, Vol. 46 No. 2, pp. 1-3.

Van Wassenhove, L.N.V. (2006) Blackett Memorial Lecture, Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear. *Journal of the Operational Research Society*, v.57, 475-489.

Yin, R.K. (2013) Case study research: design and methods (applied social research methods series: vol 5). 5ª ed. Thousand Oaks. California: Sage Publications.

SOLICITAÇÃO DE ITENS DE ASSISTÊNCIA HUMANITÁRIA: ESTUDO DE CASO PARA UM EVENTO DE INUNDAÇÃO EM SANTA CATARINA

Gabriela Begnini
Fabiana Santos Lima*
Ricardo Villarroel Dávalos
Dyego Alex da Silva
Universidade Federal de Santa Catarina
Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas Programa de
Pós-Graduação em Engenharia de Produção*

RESUMO
A distribuição de suprimentos para áreas afetadas, envolve uma série de procedimentos: preparação, planejamento, avaliação, solicitação, recurso, mobilização, aquisição, transporte, armazenagem e distribuição. Este artigo tem como finalidade analisar a partir da técnica da causalidade o processo de aquisição de itens de assistência humanitária numa situação de inundação ocorrida no Estado de Santa Catarina em setembro de 2013. No contexto atual, percebe-se como a aplicação dos instrumentos da Logística Humanitária são essenciais para mitigar os eventos analisados. Uma das contribuições deste artigo é a identificação dos fatores que influenciam no desempenho do planejamento da solicitação dos itens e, o principal resultado deste trabalho está na análise do cumprimento do tempo de entrega dos itens de primeira necessidade nos municípios atingidos.

ABSTRACT
The distribution of goods to affected areas, involves a series of procedures: preparation, planning, evaluation,solicitation, resource mobilization, acquisition, transportation, storage and distribution. This article aims to analyze from the causality technique the process of requesting humanitarian assistance items in a flood situation occurred in the State of Santa Catarina in September 2013. In the current context, one can perceive how the application of the instruments of Logistics Humanitarian are essences to mitigate the analyzed events. One of the contributions of this article is the identification of the factors that influence the performance of the planning of the request of the items, and the main result of this work is defined in the analysis of the fulfillment of the delivery time of the necessities in the affected municipalities.

1. INTRODUÇÃO

Desastres naturais podem ser considerados como eventos de dinâmicas climáticas que promovem interferências no cotidiano da sociedade e demandam, dos órgãos competentes, ações e medidas de mitigação dos impactos causados (Da Silva *et al.*, 2016). Segundo Van Wassenhove (2006), desastres naturais são caracterizados como rupturas que afetam fisicamente todo um sistema e ameaça suas prioridades e objetivos. Os desastres podem ser classificados em naturais ou causados pelo homem e podem ser repentinos (terremotos, tsunamis, ataques terroristas e vazamentos de óleo) ou perenes (fome, estiagem, pobreza ou crises políticas e de refugiados) (Van Wassenhove, 2006).

No Brasil, a ocorrência desses eventos extremos aumentou, significativamente, entre o período de 1990-2012 (Bertonne; Marinho, 2013; CEPED, 2013), sendo que o Estado de Santa Catarina se destaca com instabilidades atmosféricas severas. Os desastres são computados por meio de decretações de situação de emergência e estado de calamidade pública. Entre os desastres que se destacam historicamente no estado catarinense estão vendavais, inundações bruscas e inundações graduais (Herrmann, 2006).

Vários agentes estão envolvidos no atendimento aos desastres, sejam esses não governamentais ou governamentais. Essas partes compõem a cadeia de suprimentos

humanitária onde as agências humanitárias são, em geral, as controladoras dessa cadeia (Silva, 2011). Busca-se, de forma geral, uma cadeia de suprimentos humanitária flexível e ágil, que possa responder rapidamente a eventos imprevisíveis.

As características mais marcantes nas cadeias de suprimentos estão na falta de colaboração e de planejamento. Um planejamento de ações e decisões a serem tomadas antes e depois da ocorrência de um desastre, assim como entre os desastres, tendo como principal objetivo amenizar os impactos socioeconômicos, é o grande desafio. Os gerenciamentos de políticas para redução dos impactos causados por desastres englobam as etapas referentes a prevenção, preparação, resposta e reconstrução.

Diante deste contexto, busca-se identificar como a agencia humanitária responsável pelo atendimento aos desastres no Estado de Santa Catarina está atuando para atender as solicitações dos itens de assistência humanitária referente a fase de resposta.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é analisar o processo de aquisição de itens de assistência humanitária no atendimento aos desastres no Estado de Santa Catarina. O evento específico analisado são as inundações ocorridas em 2013, em que mais de 90 municípios foram atingidos e vários decretaram situação de emergência. Os documentos fornecidos possibilitaram uma análise criteriosa do procedimento de aquisição desses itens. As próximas seções encontram-se o referencial teórico, seguido do método, o estudo de caso, a solicitação dos itens de assistência humanitária, as considerações finais e por último as referências utilizadas para a elaboração deste artigo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Uma crise ou desastre pode ser o resultado de uma ampla variedade de condições adversas, incluindo condições econômicas, desastres naturais, ameaças ambientais, crises financeiras ou ataques de surpresa (Mohan, 2013).

No atendimento ao desastre seja um desastre catastrófico como num desastre não catastrófico (Holguín-Veras *et al*., 2012) busca-se definir como atender o maior número de pessoas, evitar falta e desperdício, organizar as diversas doações que são recebidas nestes casos e, principalmente, atuar dentro de um orçamento limitado.

É nesse contexto que surge a gestão de desastres. Entende-se por este termo o conjunto de atividades destinadas a manter o controle sobre as situações de desastre e emergência a fim de fornecer uma estrutura para ajudar pessoas em situação de risco, para evitar ou recuperar os efeitos do desastre (Lima, 2014). Segundo Coppola (2011) quando se trata de um desastre as organizações humanitárias são confrontadas com o desconhecimento da situação, pois ocorre a dificuldade de prever quando e com qual intensidade ocorrerá o próximo desastre, ao contrário da logística tradicional que não enfrenta essa imprevisibilidade. Isso reflete diretamente nos dados de demanda e de oferta, que podem ser escassos no decorrer de uma operação de socorro. Entretanto, ainda assim os princípios básicos da logística tradicional são válidos e podem ser adaptados e aplicados para a LH. A principal característica no contexto humanitário é o envolvimento da vida humana, o que significa que na LH o quesito mais importante na prestação de socorro é o tempo de atendimento, sempre com foco no alívio do sofrimento e na preservação da vida (Nogueira *et al*., 2009).

A resposta a situações de emergência inclui atividades como: preparação, planejamento, avaliação, recurso, mobilização, aquisição, transporte, armazenagem e distribuição; onde todas essas atividades auxiliam no processo de tomada de decisão (Ozbay e Ozguven, 2007).

É dentro do processo de avaliação que as necessidades de uma comunidade afetada são determinadas e este processo inclui a informação quantitativa sobre a área da região afetada e da população para possibilitar a definição de estratégias logísticas para a operação humanitária (Blecken, 2010). No processo de aquisição se faz necessário assegurar que uma organização humanitária tenha recursos materiais necessários para cumprir com as necessidades operacionais e necessidades operacionais de apoio. São realizadas as atividades de definição das necessidades, solicitação de itens de ajuda humanitária, seleção dos fornecedores, contratos de compra e avaliação de ofertas de fornecimento (Blecken, 2010).

A atividade referente a solicitação de itens de ajuda humanitária está diretamente associada as características da demanda, Van Wassenhove e Pedraza Martinez (2012), por exemplo, afirmam que o processo de previsão de demanda precisa ser flexível, para reagir a um ambiente em mudança. Oloruntoba e Gray (2006) pedem uma cadeia de abastecimento humanitária "ágil" que responda à demanda real, pois é alimentada por dados de campo para diminuir os erros de previsão. Para Mercado (2008), a previsão é excepcionalmente crucial em todas as escolhas que são feitas pelos agentes humanitários.

Buscou-se na literatura estudos referentes, exclusivamente, ao processo de solicitação de itens de ajuda humanitária e, constatou-se que, nos últimos cinco anos, o trabalho que mais se aproxima de uma análise do processo de solicitação de itens de assistência humanitária é o desenvolvido por Van der Laan *et al*.(2016), os quais descreveram e analisaram o processo de previsão e planejamento de pedidos de uma organização humanitária com o objetivo de identificar fatores internos e externos que influenciam no desempenho do planejamento de previsão e pedido.

Diferentes tipos de processos podem ser vistos em função do tempo, antes do desastre (o estágio de planejamento), em uma fração de segundo após um desastre (o estágio de reação rápida) e nas repercussões de um desastre (a fase de reconstrução). Em todas essas etapas, a logística desempenha um papel crítico na mitigação do impacto do desastre sobre os indivíduos afetados (Kwame *et al*., 2017).

2.1 Ciclo de vida dos desastres e das operações humanitárias

A volta ao estado de normalidade da região pode estar diretamente associada a escala de devastação, a qual sofre forte influência do modo de início do desastre (súbito ou lento) e de origem – natural (como enchentes, deslizamentos, secas e terremotos) ou antropogênica (como acidentes químicos, crises de refugiados) (Van Wassenhove, 2006).

Desastres de início lento, como por exemplo, secas, epidemias e fome, o foco é a capacitação do uso da força nacional, economia de custos, orçamentos baixos e planejamento à longo prazo. Desastres de início súbito, como por exemplo, furacões, ciclones e tufões, terremotos, inundações, erupções vulcânicas, catástrofes tecnológicas. Neste caso, o foco é fornecer assistência médica, alimentos e itens de assistência, analisar as necessidades globais, requerer ajuda internacional, consiste em orçamentos elevados e prazos muito curtos. A Figura 1 ilustra as quatro diferentes fases no ciclo de vida das operações humanitárias, que são:

preparação, resposta imediata, sustentação e desmontagem. A duração das operações varia de acordo com o desastre (súbito ou lento).

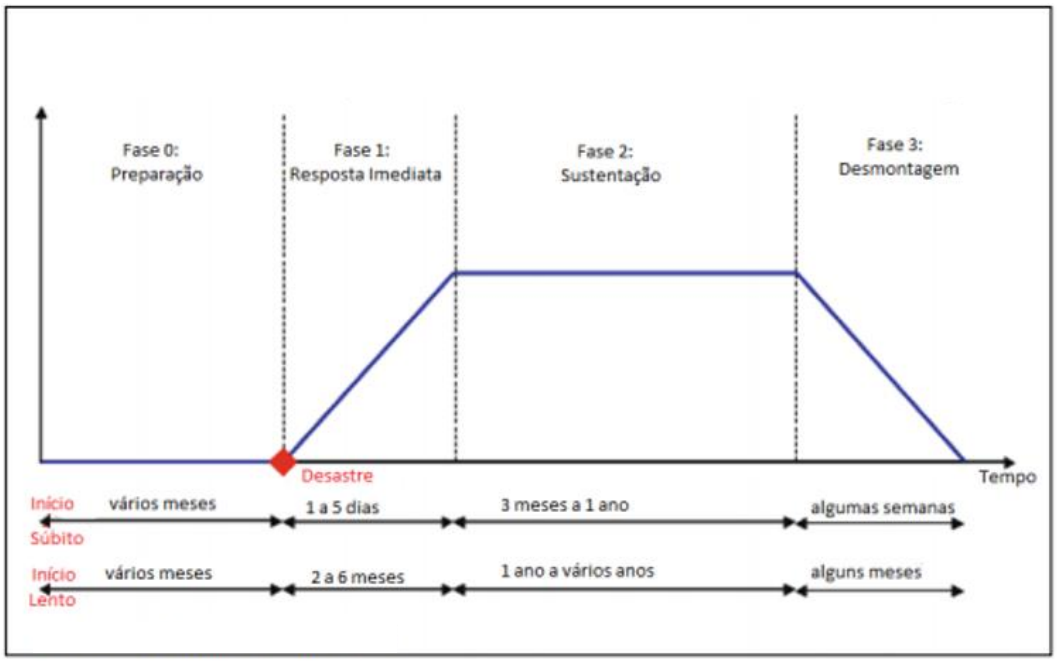


Figura 1: Ciclo de vida da Operação Humanitária
Fonte: Adaptado de Charles e Lauras, 2011

A fase de preparação (Fase 0) independe se o desastre é de início súbito ou lento é a fase que deve ser projetada durante vários meses, antecipa o desastre. Já a fase de resposta imediata (Fase1), ocorre assim que o desastre acontece e, o tempo de atendimento para a operação humanitária depende se o desastre é ou não de início súbito e assim, sucessivamente para as fases de sustentação (Fase 2) e a fase de desmontagem (Fase 3). Considera-se que na Fase 0 e início da Fase1 é o tempo que as organizações humanitárias têm para projetar toda a cadeia se suprimentos humanitários para que assim, nas fases subsequentes possam gerenciar e operacionalizar esta cadeia projetada. Para desastres de início súbito, a Fase 1, no início do ciclo, o tempo é crítico e existe a necessidade urgente de remover os gargalos para que a assistência humanitária consiga chegar ao local do desastre rapidamente (Tomasini e Van Wassenhouse, 2009). A Fase 2 é quando a situação está controlada e a operação de atendimento humanitário está sustentável. Na fase de desmontagem, existe a desaceleração, a gestão é focada na saída, a coordenação ainda vai acontecer, mas apenas ocasionalmente.
O estudo de caso apresentado neste artigo refere-se a um desastre de início súbito em que a Secretaria de Estado da Defesa Civil de Santa Catarina (SEDC/SC) desenvolveu a operação de atendimento humanitário e, de acordo com o ciclo de vida da operação humanitária, o foco neste estudo está na fase de resposta imediata (Fase 1).

3. MÉTODO

O procedimento metodológico utilizado encontra-se definido como um estudo de caso da solicitação de itens de assistência humanitária numa situação de inundação.

A Figura 2 ilustra as etapas metodológicas propostas e estas foram utilizadas para a realização

do estudo de caso proposto.

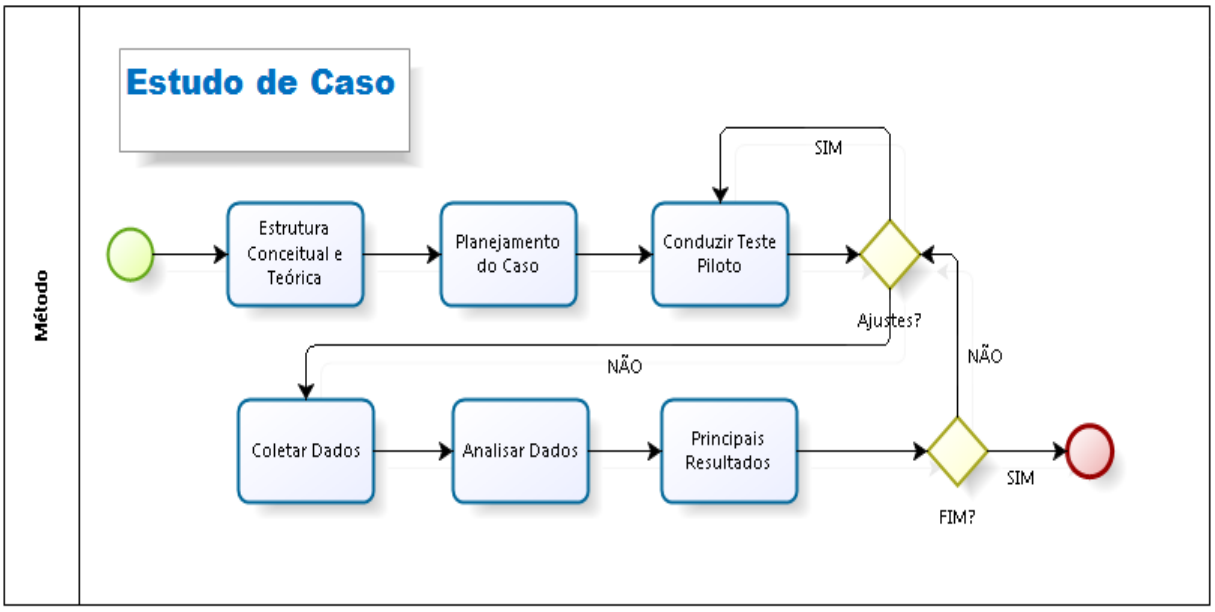


Figura 2: Condução do Estudo de Caso
Fonte: Os autores.

Inicialmente foi definida uma estrutura conceitual a qual foi apresentada nos itens anteriores, onde a LH foi considerada a partir atividade de aquisição utilizando como fronteira o ciclo de vida da operação humanitária.

A etapa seguinte relacionada ao planejamento considerou a análise dos tipos de desastres ocorridos no Estado de Santa Catarina e do atendimento da SEDC/SC na operação humanitária referente a atividade de aquisição de itens de assistência humanitária.

Também os dados relativos aos anos 2013 e 2015 foram coletados junto a gerência de operações e assistência ligada a diretoria de resposta aos desastres da SEDC/SC.

Finalmente foram analisados os dados e para isto foi utilizada a técnica da causalidade, isto é, analisar as causas pelas quais ocorrem os fatos em determinados momentos (PRATS, 2006), onde identificou-se o processo utilizado pela SEDC/SC e suas causas.

A técnica da causalidade consiste em estabelecer a compreensão correta das relações causa-efeito, sendo natural que os fatos históricos possuam mais de uma causa (PRATS, 2006).

4. ESTUDO DE CASO

Anualmente, os desastres apresentam um significativo impacto na sociedade brasileira. Em 2013, foram oficialmente reportados 493 desastres naturais, os quais causaram 183 óbitos e afetaram 18.557.233 pessoas (CENAD, 2014). Entretanto, analisando estes dados com a série temporal e a obtida do IBGE (2010), os casos de mortes humanas ocasionadas pelos desastres vêm diminuindo no Brasil, apesar do aumento da população (Kobiyama *et al.*, 2004). Isto se deve a presença de ações preventivas efetivas em diversos setores da sociedade brasileira, principalmente associadas a defesa civil.

A região sul é marcada não somente pela ocorrência de grandes desastres, mas também pela

frequência e variedade de eventos adversos e até pela ocorrência de fenômenos atípicos, como por exemplo o Furacão Catarina. Trata-se de uma região frequentemente afetada por alagamentos, inundações bruscas e graduais, escorregamentos, estiagens, vendavais, tornados, nevoeiros e ressacas (CENAD, 2014). Dentre os desastres, pode-se citar: tornados, enchentes, estiagens e ressacas. Santa Catarina registrou 12,2% de todos estes desastres naturais ocorridos no Brasil entre 1991 e 2010, apesar de representar apenas 1,2% do território nacional. O Estado está no terceiro lugar do ranking (atrás do RS e MG) onde mais ocorrem estes fenômenos naturais (DC, 2012).

Por possuir uma geografia bastante peculiar, o estado de Santa Catarina tem sofrido com vários desastres ao longo dos anos, das mais variadas magnitudes: desde as típicas inundações provocadas por chuvas intensas nos vales dos principais rios, até o furacão Catarina. As adversidades atmosféricas que frequentemente atingem o Estado de Santa Catarina são caracterizadas por altos níveis pluviométricos, prolongados meses de estiagens e pelas tempestades severas, que frequentemente geram vendavais, granizos, tornados e marés de tempestades (CEPED, 2006).

As chuvas excepcionais geralmente provocam inundações, escorregamentos e quedas de blocos, deixando, muitas vezes, um grande número de desabrigados e mortos. Através de uma análise histórica, é possível verificar que esses adventos atmosféricos caracterizados por elevados níveis pluviométricos, por exemplo, sempre existiram no estado. Por exemplo, há registros de inundações no município de Blumenau desde meados do século XIX, que resultaram no trasbordamento do rio Itajaí-Açu (CEPED, 2006).

O início da primavera de 2013 foi marcado por um período de chuvas intensas no Estado de Santa Catarina, atingindo, até o término da instabilidade climática no dia 29/09, 92 municípios e afetando mais de 30 mil pessoas. Os episódios mais extremos de chuva ocorreram entre os dias 21 e 23, quando os volumes chegaram próximos aos 300 mm em algumas localidades.

A Defesa Civil divulgou que uma das cidades mais afetadas foi Blumenau, com 12.340 pessoas que foram desabrigadas e 281 desalojadas. Na cidade, 3.176 residências foram afetadas pela inundação, que também atingiu mais de 1,3 mil estabelecimentos comerciais e industriais. A cidade se preparou para os alagamentos com 23 abrigos, realizou o desligamento preventivo de energia nas ruas próximas do leito do rio e promoveu uma força-tarefa envolvendo Defesa Civil municipal e estadual, Corpo de Bombeiros, prefeitura, escolas e outras instituições. Outra cidade que atingiu uma situação crítica até o dia 23/09/1013 foi Rio do Sul, onde 1,5 mil pessoas foram desalojadas e 536 desabrigadas. O rio chegou a 10 metros acima do normal. A rodovia SC-350 foi interditada, e foram providenciados 18 abrigos na cidade.

Pesquisas pluviométricos relataram que o volume de chuva entre os dias 21 e 23 foram superiores à média que era esperada para todo o mês setembro. Os volumes mais significativos concentraram no Vale do Itajaí, Planalto Sul, Grande Florianópolis, Meio Oeste, Planalto Norte e Litoral Norte (Defesa Civil, 2013).

O governo do Estado de Santa Catarina montou uma força-tarefa para orientar e auxiliar a população. A Defesa Civil emitiu alerta para risco de alagamentos, deslizamentos e inundações e os mapas meteorológicos indicavam instabilidade no tempo. O diretor de Prevenção e Preparação da Defesa Civil, decretou que toda a equipe da Defesa Civil estadual

foi recrutada para entrar em estado de alerta e concentrar na previsão do tempo em todo o estado.

Segundo dados da Defesa Civil, 2013, no dia 26/09/2013 o boletim decretou que foram 92 municípios atingidos, 45 decretações recebidas SDC e mais de 31.147 pessoas afetadas pelas chuvas, onde 43 municípios declararam situação de emergência e 2 declararam estado de calamidade pública.

5. SOLICITAÇÃO DOS ITENS DE ASSISTÊNCIA HUMANITÁRIA

Para atender as solicitações recebidas, inicia-se o processo de aquisição de materiais, que começa com um ofício emitido pelo responsável da defesa civil local, o qual pode estar representado pelo prefeito da cidade, pelo representante da Coordenadoria Regional de Defesa Civil (COREDC) ou o responsável pela operação de atendimento a partir da cidade atingida. Este ofício é encaminhado à gerência de operações e assistência da SEDC/SC onde a solicitação é verificada e uma criteriosa avaliação da situação do município atingido é feita.
Assim que constatada a sua veracidade, uma comunicação interna (CI) é apresentada pelo gerente de operações e assistência para o diretor de resposta aos desastres. Se aprovada, inicia-se o atendimento as necessidades emergenciais do município atingido. Nesta CI deve constar a data da solicitação, o número do ofício emitido, a quantidade, o tipo e o preço dos itens de assistência emergencial solicitados

Conforme apresentado por Jacobsen *et al*. (2016) a SEDC/SC possui um registro padrão de itens que serão necessários em caso de emergência. Os itens pedidos dependem do tipo de evento que resultou em desastre. Eles podem ser itens alimentícios, artigos de higiene pessoal ou até mesmo materiais para construção civil. Blecken (2010) destaca a importância da existência de um catálogo de itens padrão, pois este implica em uma redução no lead-time dos itens essenciais às operações.

A partir dos dados analisados, observou-se que no ano de 2013, os itens água mineral, colchões de solteiro, cestas básicas e kits de limpeza foram os mais solicitados.

O Figura 3 relaciona a quantidade de pedidos em função dos itens de maior demanda para o período analisado.

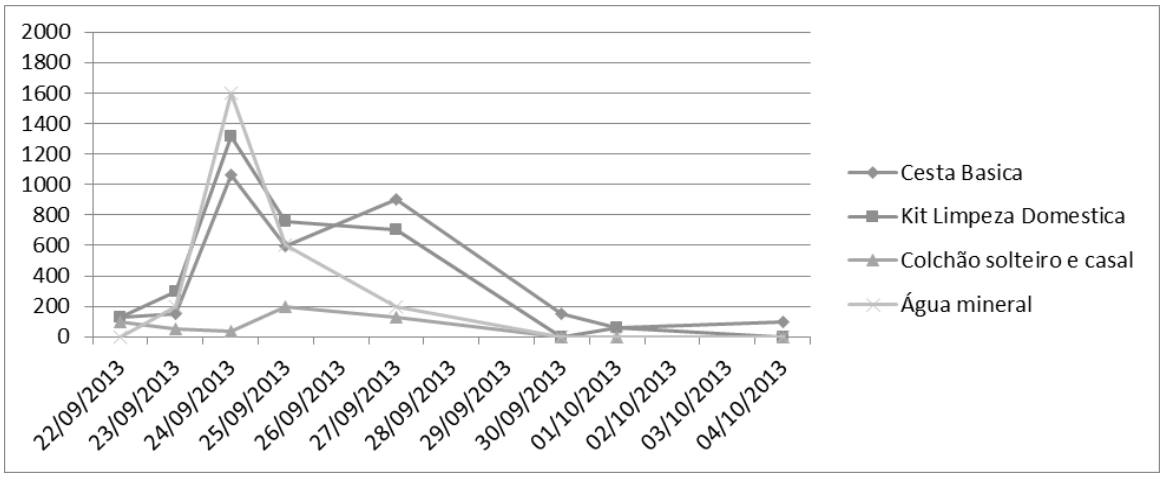


Figura 3: Quantidade vs data de solicitação
Fonte: os autores.

A partir do registro padrão de itens é elaborado o registro de preços. O objetivo deste

documento é determinar os fornecedores de lotes de itens de assistência humanitária. Entende-se por lote, um conjunto de itens que possuem a mesma categoria ou um conjunto de itens aglomerados por similaridade de uso, por exemplo, lote de kit higiene pessoal, cesta básica. Os lotes possuem tempo máximo de entrega e o preço de compra/venda fixado. No final do processo de seleção de fornecedores é alocado apenas um fornecedor por lote (Jacobsen *et al*., 2016). Para cada item fornecido, há uma lista de fornecedores cadastrados, constando razão social, CNPJ, se possui ou não pagamento com cartão, dados bancários, endereço/CEP, bairro e cidade, nome do responsável, telefone do estabelecimento e, se possível, do responsável, e-mail e a área de atendimento.

Conforme apresentado por Jacobsen *et al*. (2016), a quantidade máxima de itens que serão possivelmente adquiridos também está presente no documento de registro de preços. Vale ressaltar que a SEDC/SC não é obrigada a comprar toda quantidade estipulada no registro de preços. Porém é necessário que, em caso de emergência, o fornecedor tenha a capacidade de fornecer a quantidade constada no documento caso a mesma seja requerida.

Para cada item, existem especificações e um tempo máximo que o fornecedor pode demorar em realizar a entrega. O do edital de Pregão especifica: "O(s) produtos(s) deverá(ão) ser entregue(s) nos locais informados pela Secretaria de Estado da Defesa Civil, discriminados na Autorização de Fornecimento de Material (AF), dentro do território catarinense no prazo estabelecido."

Para incentivar os fornecedores a cumprirem as normas da licitação são estabelecidas multas caso haja atraso na entrega, descumprimento de qualquer cláusula do contrato ou caso os produtos não sejam entregues. Assim, os fornecedores tendem a entregar os itens de assistência humanitária no prazo estipulado pelo contrato (Jacobsen *et al*., 2016)
O Tabela 1 ilustra como consta no documento, a especificação mínima do material e o tempo máximo de entrega que o fornecedor deve respeitar:

Tabela 1: Especificações cesta básica e kit de limpeza.

ITEM	ESPECIFICAÇÃO / CONTEÚDO	TEMPO DE ENTREGA
Água mineral	Água mineral em vasilhame tipo PET, translúcido, com tampa, lavre e alça para transporte, com capacidade para 5 litros, acondicionada em fardos contendo 4 unidades cada, sendo os fardos reunidos de forma proporcional em páletes e protegidos por cobertura plástica ou cintas de fixação. Validade: mínima de 3 (três) meses.	12 horas
Cesta básica	Arroz tipo parboilizado, farinha de mandioca, açúcar refinado, macarrão tipo sêmola, óleo de soja, biscoito tipo rosquinha de coco, sardinha em conserva, feijão preto, leite tipo integral, café, saco plástico.	24 horas
Kit de limpeza	Água sanitária, desinfetante tipo pinho, sabão em pó, balde plástico, vassoura, rodo plástico, pano de chão, esponja dupla face, luva látex, saco plástico.	24 horas

Fonte: adaptado de PREGÃO PRESENCIAL Nº 010/SDC/2015.

A seleção dos fornecedores acontece por meio de um processo licitação do tipo pregão

(ESTADO DE SANTA CATARINA, 2015). Qualquer pessoa jurídica pode entrar com uma proposta de preço de fornecimento de itens relacionados com o edital de licitação. Quando surge a necessidade da seleção de novos fornecedores para um determinado tipo de produto, é iniciado o processo de registro de preço que contém a seleção do fornecedor.

Os produtos adquiridos são entregues no local do desastre sob responsabilidade do fornecedor. Assim, contabilizado na proposta de preço dos produtos está o valor do frete. Os possíveis fornecedores competem entre si por meio de lances verbais de preço e vence quem tiver a proposta de preço mais baixo.

A fração do preço total de um produto correspondente aos custos de transporte são menores para fornecedores localizados próximos a região do desastre. Portanto, há indícios de que o sistema de seleção de fornecedores da SDC tende a favorecer fornecedores locais, pois estes conseguem oferecer preços reduzidos por meio de economias nos custos de transporte. Fornecedores locais, nesse caso, são aqueles que estão situados dentro do Estado de Santa Catarina ou estados vizinhos. (Jacobsen *et al*., 2016)

No estudo de caso verificou-se que das cidades atingidas pela inundação em todo o estado aquelas localizadas no Vale do Itajaí foram as mais prejudicadas, como Blumenau e Rio do Sul. A título de ilustração, a Figura 4 apresenta a localização dos fornecedores cadastrados para os itens solicitados.



Figura 4: Localização geográfica dos fornecedores para itens de assistência
Fonte: os autores.

Observou-se que os fornecedores de cestas básicas estão em maior número distribuídos por todo o estado, enquanto fornecedores de kit limpeza concentram-se em duas regiões e estão em menor número. Segundo Jacobsen *et al*. (2016), quando é necessário o fornecimento de produtos com baixo valor agregado, há o favorecimento de fornecedores locais, pois os custos

de transportes são muito significativos para estes produtos e sendo o produto adquirido por fornecedores locais, incentiva a economia local, o que vem a auxiliar no processo de recuperação da região. Além disso, os fornecedores locais possuem a vantagem de conseguirem entregar os produtos em um tempo reduzido devido à menor distância geográfica, sendo que esta redução no tempo de entrega possibilita ao fornecedor ter um maior foco na eficiência das operações anteriores ao transporte, como, por exemplo, consolidação de carga nos meios de transporte.

Para finalizar o processo de atendimento dos pedidos, o fornecedor deve assinar um contrato de fornecimento de materiais, sendo que este é válido por um ano pela lei. E, sendo assim, para garantir que não falte fornecedores, o processo de seleção ocorre com frequência menor que um ano. Podem ocorrer múltiplos processos simultaneamente ou próximos pois existem diversos itens de diversas categorias no registro padrão de itens.

Os fornecedores entregam os pedidos dentro do tempo limite de entrega estipulado no Registro de Preços, sendo que em muitos casos estes pedidos chegam antes mesmo do tempo limite devido à localização geográfica estratégica dos fornecedores e a notificação prévia dos mesmos. Após a entrega, é necessário ser feito uma prestação de contas no local do recebimento. Os documentos de entrega são enviados para a SEDC/SC e é realizada a prestação de contas, pagamento dos fornecedores e arquivamento dos documentos.

A Figura 5 ilustra as principais atividades descritas anteriormente e que fazem parte do macroprocesso de pedido de materiais. Estas atividades foram observadas, coletadas e validadas junto aos especialistas da SEDC/SC.

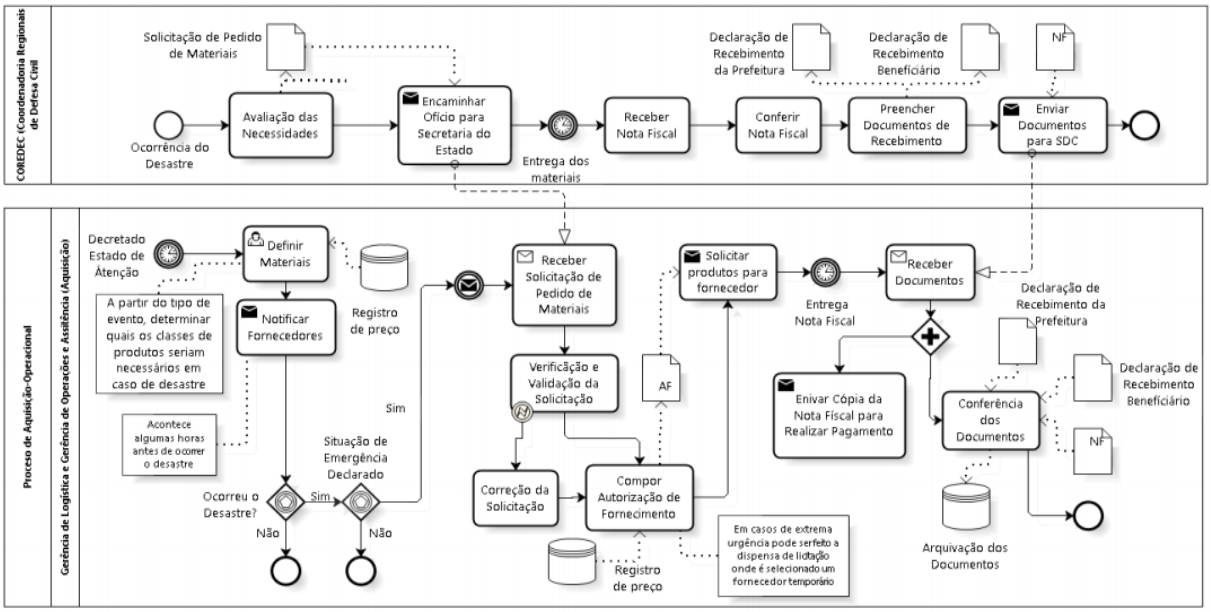


Figura 5: Processo de pedidos de itens de primeira necessidade
Fonte: Jacobsen *et al*., 2016.

Constata-se que apesar do número de pessoas atingidas no estado, os atendimentos referentes aos itens de assistência humanitária foram realizados sem atingir o limite de tempo e, segundo especialistas da SEDC/SC as solicitações e entregas foram feitas de forma satisfatória e no tempo julgado aceitável. Isto deve-se ao planejamento referente ao cadastro antecipado dos produtos (lista padrão), seleção antecedente dos fornecedores e o sistema de precificação.

Entretanto, embora a etapa de entrega dos itens nos municípios afetados tenha sido realizada à contento por parte do Estado, a distribuição dos materiais às famílias afetadas ocorreu de forma distinta em cada um dos municípios atingidos, de acordo com a estrutura de cada um para a realização desta tarefa.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta proposta analisou o processo de pedidos de itens de primeira necessidade numa situação de inundação ocorrida no Estado de Santa Catarina em setembro de 2013, em que mais de 90 municípios foram atingidos e vários decretaram situação de emergência.

A partir do estudo foram identificados como os principais agentes do SEDC/SC, seguem procedimentos para atender as solicitações dos itens de assistência humanitária num desastre. Aqui, pode-se constatar que a teoria se encontra em sintonia com a realidade do caso, ou seja, tratar-se de um desastre caracterizado de início súbito à fase de resposta e, ressalta-se a importância e necessidade urgente de remover os gargalos para que a assistência humanitária consiga chegar ao local do desastre rapidamente, pois o tempo é fator crítico.

Por meio deste estudo foi possível identificar todas as etapas presentes na solicitação de itens de assistência humanitária. Conforme relatado na sessão estudo de caso, pôde-se constatar a importância de cada etapa para garantir o tempo mínimo de atendimento aos focos emergenciais. Verificou-se, que alguns fatores influenciam no desempenho do planejamento da solicitação dos itens, fatores referentes a forma como as operações são gerenciadas, relacionados ao pessoal, sistemas de informação e coordenação de atividades e fatores referentes a infraestrutura, como a capacidade de transporte local, a acessibilidade da estrada, fatores socioeconômicos, como o fornecimento de bens e, fatores governamentais., como a inconstância no clima político. Esses fatores estão em consonância com os apresentados por Van der Laan *et al*. (2016).

Por fim, a técnica da causalidade utilizada para analisar o processo utilizado pela SEDC/SC representou um instrumento qualitativo e para avaliar quantitativamente este processo em função dos tempos de entrega recomenda-se utilizar a técnica de simulação a eventos discretos.

Agradecimentos

Os autores agradecem a participação dos especialistas da Secretaria de Defesa Civil do Estado de Santa Catarina e o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Pró-Alertas CAPES 88887.091739/2014-01) na condução de projetos de pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bertone, P.; Marinho, C. Gestão de riscos e resposta a desastres naturais: a visão do planejamento. *CONGRESSO CONSAD DE GESTÃO PÚBLICA*, 6., 2013, Brasília. Anais... Brasília, DF: Consad, 2013. p.2.

Blecken, A (2010) - Supply chain process modelling for humanitarian organizations. Journal of Physical Distribution & Logistics Management.

CENAD, 2014. Anuário brasileiro de desastres naturais : 2013 / Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. – Brasília.

Charles, A. e Lauras, M. (2011) - An enterprise modelling approach for better optimisation modelling: application to the humanitarian relief chain coordination problem. OR Spectrum, vol. 33, n. 3, pp 815-841.

da Silva, A. C. P., Pinto, R. W. P., & de Freitas, M. M. (2016). Avaliação de políticas públicas relacionadas aos desastres naturais no Brasil, entre 1990–2014.

DEFESA CIVIL (2013) - Disponível em: www.defesacivil.gov.br. Acesso em June, 2013.

ESTADO DE SANTA CATARINA (2015) - *Pregão Presencial* Nº 010/SDC/2015 Secretaria de Estado da Defesa Civil Comissão Permanente De Licitação.

Fidel, R, (1992) - The case study method: a case study. In: GLAZIER, J. D.; POWELL, R. R. Qualitative

research in information management. Englewood, CO: Libraries Unlimited.
Herrmann, M. L. D. P. (2006); Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED). Atlas de desastres naturais do Estado de Santa Catarina. Florianópolis.
Holguín V., J.; Jaller, M.; Wassenhove, L.V.; Perez, N.; Wachtendorf, T (2012) - On the unique features of post-disaster humanitarian logistics. *Journal of Operations Management*, v. 3, n. 7-8, p. 494-506.
IBGE (2010). *População residente, por situação do domicílio e por sexo, segundo as Grandes Regiões e as Unidades da Federação*. Disponível em: http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=11&uf=00. Acesso em: 20 jun.
Jacobsen, V, Lima, F. S, Villarroel , R. D.(2016) - Modelagem dos processos de aquisição de uma organização humanitária do Estado de Santa Catarina. In: *XXIII Simpósio de Engenharia de Produção, 2016, Bauru - SP*..
Kobiyama, M.; Checchia, T.; Silva, R.V.; Schröder, P.H.; Grando, Â.; Reginatto, G.M.P (2004). Papel da comunidade e da universidade no gerenciamento de desastres naturais. *In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1., 2004, Florianópolis. Anais... Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p. 834-846 (CDROM).*
Kwame, O.K., Munir, A. H. and Bernice, D. (2017). Disaster relief logistics operation: an insight from Ghana. *International Journal of Emergency* Services Vol. 6 No. 1, pp. 4-13
Lima, F. S. (2014). Logística humanitária: modelagem de processos para a fase de aquisição na resposta a desastres naturais. *Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil*.
Mercado, E.C. (2008), Hands On Inventory Management, Auerbach Publications.
Mohan, S., Gopalakrishnan, M., & Mizzi, P. J (2013) -. Improving the efficiency of a non-profit supply chain for the food insecure. *International Journal of Production Economics*. DOI: 10.1016/j.ijpe.2011.05.019.
Nogueira, *C.W.; Gonçalves, M.B.; Oliveira, D. O (2009) Enfoque Da Logística Humanitária No Desenvolvimento De Uma Rede Dinâmica Para Situações Emergenciais: O Caso Do Vale do Itajaí em Santa Catarina. Artigo*. *Anais do XXIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Novembro. Vitória.*
Oloruntoba, R.e Gra, R. (2006), Humanitarian Aid: na agile suppy chain. Supply Chain Manag. Int. J. 11, 115-120.
Ozbay, K., Ozguven, E.E., 2007. A stochastic humanitarian inventory control model for disaster planning. In: Proceedings of 86th *Annual Meeting. Transportation Research Board. Washington, D.C*
PNDC (2007). Política Nacional de Defesa Civil. Secretaria de Defesa Civil.
Prats, J. (2006). Ensinar História no contexto das Ciências Sociais: princípios básicos. *Educar em revista*, (SPE), 01-20.
Rebequi, A.(2017) Santa Catarina está entre os estados que mais registram desastres naturais. Disponível em: <http://dc.clicrbs.com.br/sc/noticias/noticia/2012/05/santa-catarina-esta-entre-os-estados-que-mais-registram-desastres-naturais-3767066.html>. Acesso em: 01 jul. 2017
Schulz, S. F., Heigh, I (2009). Logistics performance management in action within a humanitarian organization". *Management Research News*.
Tomasini, R.; Wassenhouve, L.V.(2009)- *Humanitarian logistics*. Insead Business Press.
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES (UFSC-CEPED) (2013) -Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2012: volume Santa Catarina: CEPED -UFSC.
Van der Laan, Van Jan Dalen, Rohrmoser, M. And Simpson, R. (2016). Demand forecasting and order planning for humanitarian logistics: An empirical assessment. Journal of Operations Management 45 114 e 122
Van Wassenhove e Pedraza Martinez (2012). Using or to adapt Supply Chain Management best practices to humanitarian logistics. Int. Tran. Oper. Res. 19 (1-2), 307-322.
Van Wassenhove, L. (2006), Blackett memorial lecture: humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear, *Journal of the Operations Research Society*.

Gabriela Begnini (gabrielabegnini@gelog.ufsc.br)
Fabiana Santos Lima*(fabiana.lima@posgrad.ufsc.br).
Ricardo Villarroel Dávalos (ricardo.davalos@ufsc.br)
Dyego Alex da Silva (dyego.asilva@gmail.com)

Universidade Federal de Santa Catarina
Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção*
Campus Reitor João David Ferreira Lima - Florianópolis, SC, Brasil

PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DE VANT E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS PARA A LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES NA CADEIA DE SUPRIMENTOS HUMANITÁRIA

Leandro de Oliveira Silva
Renata Albergaria de Mello Bandeira
Vânia Barcellos Gouvêa Campos
Instituto Militar de Engenharia

RESUMO
Imediatamente após um desastre natural, diversas atividades de assistência se fazem necessárias nas áreas atingidas. Os desafios enfrentados nesta fase de resposta são numerosos, a contar a inexistência de uma coordenação centralizada, recursos limitados, falta de infraestrutura e pessoal. O processo logístico de atendimento à população afetada por desastres é então iniciado com a avaliação da situação local após o alerta de emergência (socorro) dado pelas autoridades no país afetado, ou pela comunidade internacional dependendo da escala e da gravidade do desastre/crise, no prazo de até 24 horas após a ocorrência do mesmo. Esta avaliação é fundamental para solicitação dos recursos necessários à operacionalização da resposta, que deverá contar com todas as formas de suprimentos possíveis. Assim, para apoiar esta avaliação inicial, a utilização de tecnologias de investigação e mapeamento em tempo real são importantes para ampliar a eficiência logística e a integração dos grupos de ajuda nos processos de distribuição. Neste contexto, o presente artigo tem por objetivo apresentar um procedimento de auxílio às ações de resposta aos desastres de início súbito, possibilitando a construção de uma rede de distribuição de ajuda apoiado em tecnologias de VANTs e num processo de georefenciamento. O procedimento é aplicado em uma situação de crise real, tomando como base as características do pós-desastre no município de Duque de Caxias no Estado do Rio de Janeiro em 2013. Os resultados da associação das tecnologias VANT e SIG possibilitaram a avaliação da amplitude do desastre na região pós-desastre e a identificação das possíveis instalações de atendimento dentro da região afetada como centros de abastecimento.

ABSTRACT
Immediately after a natural disaster, several assistance activities are required in the affected areas. The challenges faced in this response phase are numerous, due to the limited availability of resources and the lack of centralized coordination, infrastructure and personnel. The logistical process of these type of operations is initiated with the assessment of the local situation after the emergency alert given by the authorities in the affected country or by the international community, depending on the scale and severity of the disaster or crisis, in a period up to 24 hours after the occurrence of the disaster. This evaluation is fundamental to request the necessary resources to operationalize the response. The unmanned aerial vehicle (UAV) is important because it facilitates the speed with which the information is generated and made available to the coordination teams, highlighting the local assessment, the detection of blocked areas and the identification of secondary disasters, which may help increasing logistic efficiency. In this context, the objective of this article is to present a procedure for the decision-making process of structuring the aid distribution network in disaster response operations with the application of UAV technologies and geographic information systems (GIS). The procedure is applied to a real crisis scenario, taking as a basis the characteristics of the post-disaster in the municipality of Duque de Caxias in the state of Rio de Janeiro in 2013. In the end, the results presented with the procedure show that the association between UAV and GIS allows to evaluate the effects of the post-disaster in the affected region to plan and create the operations of attendance.

1. INTRODUÇÃO

Anualmente, cerca de 400 desastres naturais ocorrem ao redor do mundo, afetando aproximadamente 140 milhões de pessoas (GUHA-SAPIR et al., 2015) e gerando inúmeros prejuízos materiais e consequências graves para a população, que está cada vez mais propensa a sofrer a ação de desastres naturais, como furacões, tornados, secas e inundações (Van Wassenhove, 2006).

Por este panorama, as operações humanitárias ganharam destaque na comunidade internacional, assim como as operações logísticas no segmento (OVERSTREET et al., 2011), por possuírem

papel essencial na resposta a desastres (THOMAS, 2003). Entretanto, abusos e desperdícios tendem a ocorrer no processo de distribuição até os beneficiários devido a desigualdade do sistema logístico (MCCOY, 2013).. Contudo, segundo Thomas e Kopczack (2005) e Van Wassenhove (2006), a eficiência logística pode ser ampliada no desenho da rede de distribuição, por ser planejada na fase de resposta e agregar a responsabilidade do fluxo de bens e serviços por toda a cadeia de ajuda. Ainda, Holguín-Veras *et al*. (2012) mencionam lacunas para o aprimoramento das estruturas decisão em operações de resposta a desastres, pautando a utilização de tecnologias de sensoriamento remoto para avaliar o estado das redes de transporte e os locais de entrega, bem como modelos de roteamento que incorporem os custos de privação e o planejamento de pontos de distribuição local.

Neste contexto, o presente artigo apresenta um procedimento de apoio à decisão relativo ao desenho de redes de distribuição de ajuda em operações de resposta a desastres de início súbito, com o emprego de tecnologias investigativas dos veículos aéreos não tripulados (VANT) e de sistemas de informação geográfica (SIG). O procedimento é construído para uma situação de crise real, tomando como base as características do pós-desastre no município de Duque de Caxias no estado do Rio de Janeiro, Brasil, em 2013. Os resultados obtidos envolvem a avaliação da situação da região no pós-desastre, a localização das instalações de atendimento dentro da região afetada e a localização dos centros de abastecimento. Após a aplicação da proposta, é possível verificar que o procedimento integrado ao VANT é capaz de gerar informações em tempo real, bem como auxiliar as equipes de coordenação quanto à escolha dos pontos de atendimento e distribuição dos recursos.

2. ASPECTOS GERAIS DO PROCESSO DE DISTRIBUIÇÃO

Em situações em que a cadeia de suprimentos local não for afetada severamente pelo desastre, a recuperação é considerada rápida e a população local pode ser abastecida pelos próprios fornecedores locais (HOLGUÍN-VERAS *et al*., 2012) como um incentivo à recuperação do estado de normalidade. Porém, em situações severas, Holguín-Veras *et al*. (2012) analisam que a comunidade e a infraestrutura necessária para a ajuda podem estar comprometidas e, portanto, a definição de um sistema de distribuição adequado a situação se faz necessário para responder as necessidades locais e atender a população afetada (BALCIK e BEAMON, 2008b; RATH e GUTJAHR, 2014).

Assim, uma das primeiras decisões a serem tomadas após o reporte da avaliação da situação atual é o projeto da rede de distribuição dentro da área vulnerável (HOLGUÍN-VERAS et al., 2012). A discussão do projeto da rede de distribuição consiste na seleção do conjunto de centros logísticos, abrigos e pontos de distribuição local temporários que serão utilizados na ajuda. Este projeto levará em consideração o máximo da infraestrutura existente na região afetada, identificada previamente (antes da ocorrência do desastre). A elaboração do projeto da rede de distribuição para resposta é abordada nos trabalhos de Balcik e Beamon (2008a), Becker (2009), Silva (2011), Holguín-Veras et al. (2012), Costa (2013), Rath e Gutjahr (2014), que compreendem que o fluxo físico dos recursos na cadeia de abastecimento humanitária provém de diversas localidades (fontes) e necessitam ser gerenciadas.

O projeto da rede de distribuição estabelece um centro de armazenagem primário, preposicionado a um aeroporto ou porto para receber todos os recursos de assistência, a partir do qual os recursos são destinados para os centros de armazenagem para distribuição regional, localizados em cidades metrópoles, onde são armazenados, classificados e transferidos para os

pontos de distribuição local de assistência, conforme necessidade (BALCIK e BEAMON, 2008a), tal como destaca a Fig. 1.

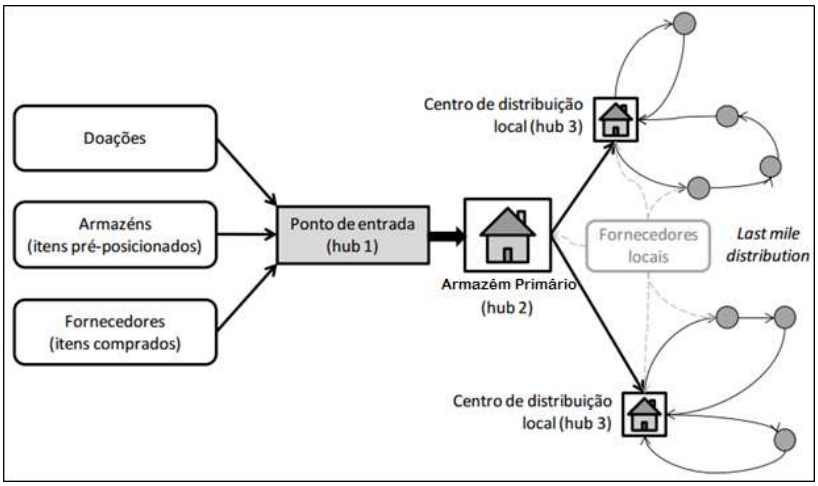


Figura 1. Fluxo de recursos na cadeia de abastecimento humanitária, Balcik & Beamon (2008a).

A configuração da localização do centro de armazenagem primário, segundo Balcik e Beamon (2008a), é um fator decisivo para a resposta e, por isso, a localização do armazém regional deve ser um ponto geoestratégico e bem relacionado com os processos de distribuição de longo curso (próximo de um porto ou aeroporto, por exemplo). Por sua vez, os centros de armazenagem para distribuição regional são posicionados para consolidação dos recursos de assistência (HOLGUÍN-VERAS et al., 2012), abastecendo continuamente os pontos de distribuição local (PDDs). Dentre as atividades exercidas, são destacados os serviços logísticos integrados às operações de resposta com suporte técnico, gerenciamento da demanda, licitações de controle de qualidade, armazenamento, recebimento, expedição, importação e exportação (BALCIK e BEAMON, 2008a; BLECKEN, 2009; RATH e GUTJAHR, 2014). Enfim, a distribuição dos recursos, em volumes fragmentados para as áreas afetadas, é realizada pelos pontos de distribuição local que recebem, além dos centros de distribuição regional, remessas de recursos diretamente de fornecedores locais (BALCIK e BEAMON, 2008a; SILVA, 2011). Para a operação humanitária, este ponto de distribuição local é indiferente à escolha, ou seja, podendo ser uma barraca, uma unidade pré-moldada e até mesmo instalações existentes, como escola, igreja e ginásios (BALCIK e BEAMON, 2008a).

Ainda, um dos principais problemas que ocorrem na operação de assistência é a dificuldade de atualização das informações geográficas locais e localização do ponto geoestratégico (Xu Zhiqiang et al., 2014), pois, em determinados locais, a acessibilidade de plataformas de manipulação móvel, como veículos terrestres, é impossível (Danko et al., 2014). Para sanar esta dificuldade, os VANT passam a atuar nas operações de resposta a desastres como um recurso alternativo e de apoio à investigação, tal como destacam Ambrosia et al. (2003), Harmon et al. (2005), Birk et al. (2011), Kim et al. (2011), Ocha (2014) e Chen et al. (2014). Entretanto, é importante salientar que a aplicação do VANT, no contexto humanitário, não se limita a coleta de dados em tempo real, incluindo também o monitoramento da situação atual, atividades de busca e salvamento, detecção de áreas bloqueadas, comunicações, mapeamento, prestação de ajuda e, principalmente, suporte logístico (MEIER, 2015; OCHA, 2014). Dentre os produtos

finais que um VANT pode ofertar à logística humanitária, na situação de crise, destacam-se: mapas de riscos; modelos de superfície; modelos abrangentes de elevação; identificação de áreas isoladas; e potenciais instalações físicas que possam se tornar pontos de atendimento local (OCHA, 2014); além do cumprimento da justiça social, ao melhorar as relações de assistência à população atingida em áreas hostis (CHEN et al., 2011; CHEN et al., 2014).

Além disto, para o que o sistema de armazenagem para distribuição funcione até os locais afetados, a localização é crucial, por interagir com clientes, fornecedores e outras organizações e agências envolvidas no processo (BOWERSOX, 2001).

3. PROPOSTA DO PROCEDIMENTO PARA A DEFINIÇÃO DA CADEIA DE DISTRIBUIÇÃO

O procedimento para a definição da cadeia de distribuição segue uma estrutura de cinco macros estágios envolvendo (i) preparação, (ii) mapeamento da região afetada, (iii) integração dos dados ao SIG, (iv) definição da rede de distribuição e (V) roteirização. Estes cinco macros estágios visam à coleta dos dados referente à situação no pós-desastre, avaliação da capacidade de resposta das áreas de riscos e o processamento das informações em um banco de dados de logística humanitária (BASTOS, 2013).

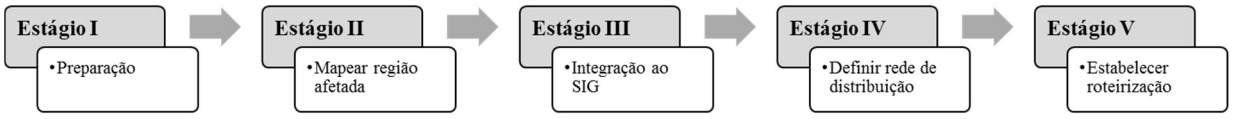


Figura 2. Estágios para a elaboração do procedimento.

A fase de preparação torna o processo de resposta mais efetivo quando existe um Banco de Dados e um Sistema de Informações Geográficas (SIG) disponível com informações e recursos necessários para a resposta, ou seja, esta é uma ação que tornará a ação mais ágil no pós-desastre. Porém, para os casos em que houver uma situação de crise súbita, e a região não estiver preparada para responder ao evento, o fluxo de decisão no pós-desastre prevê uma ação direta no Estágio II, desconsiderando as atividades e tarefas definidas no Estágio I.

O procedimento proposto é apresentado a partir de uma aplicação a um cenário de crise ocorrido no município de Duque de Caxias, no Estado do Rio de Janeiro em 2013.

3.1 Preparação e mapeamento da região afetada

Marcado como um evento de início súbito, a operação de resposta reconstruída para o município de Duque de Caxias consiste em: (1) organizar os mapas geográficos da região anterior ao desastre e identificar áreas de risco; (2) executar o mapeamento da região no pós-desastre; e (3) identificar quais recursos estão disponíveis na região para ajuda (locais para atendimento, profissionais, veículos, fontes de suprimentos e outros).

O VANT utilizado para esta aplicação foi o Horus FT-100, que possui interface de carregamento de mapas e inserção de waypoints para a missões de varredura e GPS Micro INS Athena da Rockwell Collins. A câmera escolhida foi a Sony Cyber-Shot DSC-H70 de 12 megapixel, CDD de 6,16 x 4,26 mm, reconhecimento inteligente de cena, função panorâmica para a aerofotografia e vídeo. O VANT foi liberado para varredura a uma altitude próxima de 590 m do solo, prevendo localizar alvos com até 20 cm. Os dados fornecidos durante o voo

(imagens/fotografias e coordenadas) foram gravados pelo sistema embarcado do Horus FT-100 e armazenados em dois arquivos distintos nas extensões .jpg e .log.

Como o procedimento prevê o uso do SIG, de maneira a investigar os pontos em obstrução, o resultado final da texturização é exportado no formato GeoTiff. A restituição da geometria do Distrito de Xerém foi realizada a partir da construção do modelo poligonal (texturização) para leitura em SIG.

As tarefas de quantificação e cadastramento dos recursos necessários à ajuda podem ser realizadas paralelas às tarefas de identificação e mapeamento do local afetado para acelerar a execução do procedimento. Estes dados foram cadastrados no Banco de Dados de Logística Humanitária, proposto por Bastos et al. (2014), sendo os arquivos "cadastro dos locais de apoio" e "cadastro de veículos" os dados de informações mais importantes.

3.2 Integração do VANT ao SIG e a definição dos centros de distribuição

Inicialmente, os dados referentes ao "cadastro dos locais de apoio" do no Banco de Dados de Logística Humanitária, proposto por Bastos *et al*. (2014), são importados para o SIG com a extensão .xls ou .txt. O SIG reconhecerá a base de dados como uma base de pontos (ou *layer* pontos) por conter informações geográficas e descrição dos locais (instalações). A base de dados de linhas (ou *layer* linhas) é construída contendo os acessos rodoviários da região afetada, destacando ruas, avenidas, estradas e rodovias.

A ortofoto (mapa da situação atual) é sincronizada às sobreposições do SIG no intuito de avaliar quais acessos aos possíveis locais de atendimento à população estão bloqueados ou inviabilizados após o desastre. Os locais identificados como "inviabilizados" no processo de ajuda são retirados do planejamento e atualizados na Base de Dados de Logística Humanitária. Após o filtro de identificação dos locais disponíveis para a ação, no caso do desastre em Xerém, apenas 12 instalações foram indicadas como ponto de distribuição (PDD) ou pontos de distribuição temporários (PDT) e 3 locais para centro de distribuição (CD). A relação de cada um destes locais atualizados no Banco de Dados de Logística Humanitária são expostos no SIG, tal como apresentado na Figura 3.

A próxima rotina do procedimento consiste em avaliar a distância máxima de caminhada, as sub-regiões impactadas (SRIs), a densidade demográfica média da região e o número de pessoas estimadas dentro da região impactada. Os lados que dividirão as SRIs corresponderão a um referencial espacial de divisão da região em áreas quadradas adjacentes de mesma dimensão para reduzir o sacrifício da população em buscar ajuda, ao envolver as condições do terreno e a distância máxima de caminhada conforme proposto por Costa (2013).

Considera-se um coeficiente de sinuosidade do trajeto (α) igual a 1,4 e que uma pessoa em área afetada caminha a uma velocidade média (v_c) de 4 km/h a um tempo máximo ($t_{máx}$) de 50 minutos (COSTA, 2013). Assim, a distância máxima de caminhada no caso é de 2,38 km [= (4×50÷60)÷1,40] e os lados que dividirão as SRIs iguais a 1,68 km [= (2,38÷√2)]. A partir destas informações, o referencial espacial com área de 2,8344 km² [= (2,38÷√2)²] é aplicado sobre o mapa da região criando 16 SRIs [= (46,24÷2,8344] para a área da unidade territorial mapeada de 46,24 km² [= 6,8×6,8]. Este referencial espacial é transportado para o SIG, tal como a Figura 3.



Figura 3 - Relação dos locais disponíveis e os pontos centrais de cada SRI.

Para estimativa do número de habitantes que requisitarão ajuda nos locais de atendimento (n_d) considerou-se uma população de 61.129 habitantes, segundo o censo de 2010 do IBGE (2015b), densidade demográfica (ρ_r) estimada em 1.322 hab./km² [= (61.129÷46,24)], assim, o número de habitantes que necessitarão de ajuda (n_i) nas SRIs igual a 3.745 habitantes [= (2,8322×1322)] com um fator de expectativa (f_{ex}) de pessoas que recorrerão à ajuda definido entre $0{,}4 \leq f_{ex} \leq 0{,}6$.

Logo, a quantidade e a necessidade de armazenamento para atendimento, prevendo 2.247 habitantes, são avaliadas e calculadas segundo a cota diária para uma pessoa da classe de ajuda, estabelecida por Costa (2013). O resumo da capacidade de armazenamento é destacado na Tabela 1.

Tabela 1. Capacidade de armazenamento para atendimento (m²) prevendo 2.247 habitantes.

Classe de Ajuda	Alimento	Água	Cobertor	Higiene	TOTAL
Cota/dia (kg)	0,54	4,20	1,32	0,26	
Área por unidade de armazenagem (m²)	1,32	0,96	1,20	0,93	
Peso por unidade de armazenagem (kg)	480,00	785,00	1.188,00	540,00	
Necessidade/dia (kg)	1.213,38	9.473,40	2.966,04	584,22	14.201,04
Fator de cobertura (dias)	1,50	1,50	1,50	1,50	
Quantidade necessária para armazenamento (kg)	1.820,07	14.156,10	4.449,06	876,33	21.301,56
Necessidade/unidade armazenada	4	19	4	2	
Cobertura de estoque (dias)	1,58	1,58	1,60	1,85	
Fator de movimentação	30%	30%	30%	30%	
Área necessária de armazenamento diário (m²)	7,54	26,06	6,86	2,66	43,11

Fonte: Adaptado de PAHO (2000) e OCHA (2011)

Define-se que cada SRI será atendida por apenas um local (instalação) utilizado como centro regional de distribuição (CD), ponto de distribuição (PDD) ou pontos de distribuição temporário (PDT). A decisão sobre quais locais serão CD, PDD ou PDT se dá pelo tamanho do espaço físico disponível no local e a presença de infraestrutura. Os pontos de distribuição (PDD) são instalações fixas selecionadas a partir da infraestrutura existente no SRI e que possuem a função básica de fornecer diretamente os suprimentos de ajuda aos beneficiários. Os

PDD selecionados deverão ser, de preferência, locais aos quais a população local está familiarizada. Cada PDD deverá possuir capacidade de armazenamento de 1,5 dias de suprimentos e lidar com a distribuição de pequenas quantidades, atuando de forma semelhante às "redes de ajuda colaborativas", descritas por Holguín-Veras e Hart (2011) para o desastre no Haiti em 2010. Os centros de distribuição temporários (PDT) desempenharão a mesma função dos PDD, no entanto, em formato temporário com tendas ou veículos grandes, uma vez que não há instalações locais que podem ser usadas como PDD. E, para este caso, o PDT receberá fornecimentos de um PDD.

No entanto, para o caso das inundações em Duque de Caxias, cada SRI tinha pelo menos um PDD potencial. A seleção final de cada PDD para cada SRI para o caso de Duque de Caxias é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Localização de cada PDD dentro da SRI.

Localização das SRIs	PDD	Localização das SRIs	PDD
(1,2)	PDD 1	(2,3)	PDD 5
(1,3)	PDD 3	(3,2)	PDD 8
(2,1)	PDD 4	(3,3)	PDD 7
(2,2)	PDD 2	(4,1)	PDD 6

Como a ação de resposta requer efetividade ao menor risco possível, o CD central é escolhido ponderando o grau de risco dentre as alternativas possíveis com a missão de suprir PDDs. O CD escolhido foi instalado na coordenada geográfica 22º35’15.4” latitude sul e 43º18’20.9” longitude oeste de Greenwich.

3.3 Roteirização

Para a construção das rotas, os veículos são definidos e estruturados para responder à rede partindo do CD definido. Para a ação desta etapa, o processo da roteirização considera que: (i) o “cadastros de veículos” e o “cadastro dos locais de apoio” estão devidamente registrados e atualizados no Banco de Dados de Logística Humanitária; (ii)os veículos são carregados com a máxima capacidade possível; (iii) o roteiro de distribuição seguirá agrupamentos, com objetivo de minimizar o tráfego entre rotas; (iv) as paradas são sequenciadas e sem sobreposição; e (v) o melhor roteiro de distribuição será o que obtiver o maior uso dos veículos disponíveis, ou seja, melhor aproveitamento de carga, distância, tempo e custo.

Para que o roteamento ocorra integrado no SIG, os arquivos geográficos devem ser coletados com as identificações geográficas das paradas (PDD ou PDT) e as informações, como apresentadas na Figura 3 onde: ID, identificador que relaciona dados do banco de dados com o mapa; Nome, nome de parada; Open Time, relacionado à janela de tempo em relação ao horário de abertura da parada; Close Time, relacionado à janela de tempo em relação ao tempo de fechamento da parada; ID do nó, identificador do nó da rede; Demanda de entrega, demanda de entrega; Tempo fixo, tempo fixo para executar a operação de entrega nas paradas; E Tempo por unidade, tempo por unidade na operação de entrega dos recursos nos gráficos.

File Edit Dataview Selection Tools Procedures Networks/Paths Route Systems Planning Transit Traffic Routing/Logistics Statistics W

All Records

ID	Longitude	Latitude	Nome	[Demanda (Kg)]	[Tempo Inicial]	[Tempo Final]	[Node ID]	Fixed_Time	time_per_unit	[ID Depot]
3	-43307269	-22595965	PDD 4	14202.00	800	1600	38	60	0	1
4	-43302006	-22579437	PDD 2	14202.00	800	1600	12	60	0	1
2	-43304439	-22592565	PDD 3	28404.00	800	1600	36	60	0	1
5	-43303586	-22579087	PDD 5	28404.00	800	1600	9	60	0	1
1	-43308223	-22572284	PDD 1	28404.00	800	1600	1	60	0	1
7	-43286728	-22568425	PDD 7	28404.00	800	1600	13	60	0	1
8	-43283644	-22589120	PDD 6	28404.00	800	1600	30	60	0	1
6	-43262079	-22585940	PDD 8	28404.00	800	1600	48	60	0	1

Figura 4 – Database das informações de roteamento no SIG

Nesta etapa, conforme proposto, utilizou-se SIG por permitir solucionar problemas complexos de roteirização com janela de tempo, frota heterogênea, restrições de tamanho de rota e o uso de múltiplos centros de distribuição na rede de distribuição. O resultado gerado no SIG para o caso das inundações em Duque de Caxias são apresentados na Figura 5 e na Tabela 3.

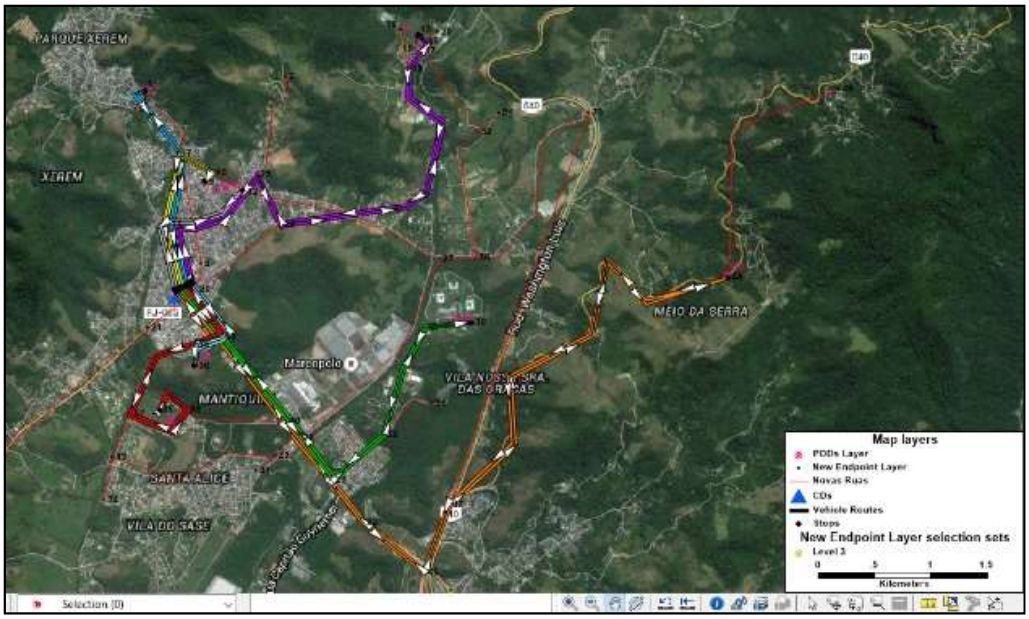


Figura. 5 – Resultado da Roteirização utilizando o algorítimo Janela de Tempo do SIG.

Tabela 3 – Resultado final da roteirização emitida pelo SIG-T

ID	Geographic location		Initial supply time	Route	Distance route	Average supply time
	longitude	latitude				
PDD 1	-43308223	-22572284	08h00	5	3,6 km	1h06
PDD 2	-43302006	-22579437		7	2,5 km	
PDD 3	-43304439	-22592565		8	1,8 km	
PDD 4	-43307269	-22595965		4	5,1 km	
PDD 5	-43303586	-22579087		6	3 km	
PDD 6	-43283644	-22589120		3	7,7 km	
PDD 7	-	-		2	9,3 km	

	43286728	22568425				
PDD 8	- 43262079	- 22585940		1	14,9 km	

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo apresentou um procedimento para definição da cadeia de distribuição em operações de resposta a desastres naturais, com o uso de tecnologia VANT e sistemas de informação geográfica. Cada estágio do procedimento foca processos decisórios de projeto de rede, de maneira intrínseca, partindo da caracterização da área de atuação/afetada (Estágio II) da configuração das instalações distribuidoras (centros de distribuição) e locais desejáveis de atendimento (Estágio III), escolhas de localização e análise de capacidade (Estágio IV) e rotas de abastecimento (Estágio V).

Em observação à aplicação do procedimento, refazendo o projeto de rede de distribuição do desastre ocorrido em Duque de Caixas em2013, é possível constatar que o procedimento atende às especificações no tempo de avaliação da situação no pós-desastre descrito por Banomyong et al. (2009 apud KOVACS e SPENS, 2012) e Blecken (2009), aos quais citam que a avaliação da situação da região afetada (pós-desastre) deva ser concluída no prazo de até 24 horas da ocorrência do desastre. Destaca-se ainda o uso da ferramenta proposta no auxílio às atividades de armazenagem (posicionamento e destinação), alocação (relacionamento da demanda das regiões afetadas aos embarques) e entrega (seleção de veículo-rota relacionado com as quantidades - produtos enviados a cada localização), respeitando a capacidade instalada em cada PDD e em cada veículo utilizado para efetuar o abastecimento diário à população.

Dentre as questões identificadas, o objetivo do procedimento desenvolvido visou à estruturação da uma rede de apoio à distribuição de necessidades básicas (água, alimentação, produtos de higiene pessoal, cobertores), que se mostrou fundamental para o sucesso da ação humanitária com relação ao tempo de resposta e ao uso de recursos escassos. O maior problema identificado durante a elaboração do procedimento foi o fato de que a maioria dos autores adaptam modelos logísticos com a concepção de uso em ambientes comerciais ao contexto humanitário, tornando suas propostas pouco eficazes. O procedimento proposto busca aproveitar a infraestrutura local disponível para melhor identificação da população atingida, e a máxima cobertura de atendimento dos pontos de distribuição de ajuda baseada na limitação da distância percorrida pelas vítimas visando à redução do seu sacrifício.Como sugestão e ampliação deste procedimento, é visto a necessidade de incluir na análise a assistência médica, como a disponibilização de vacinas, essenciais nestas condições, sendo dependentes de variáveis como o tempo, demanda específica e regiões de risco.

REFERÊNCIAS

AMBROSIA, V. G.; WEGENER, S. S.; SULLIVAN, D. V.; et al., 2013. Demonstrating UAV-acquired real-time thermal data over fires. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v. 69, n. 4, p. 391–402.

BALCIK, B.; BEAMON, B. M.; SMILOWITZ, K., 2008. Last mile distribution in humanitarian relief. Journal of Intelligent Transportation Systems 12 (2), 51–63. (a).

BALCIK, B.; BEAMON, B. M., 2008. Facility location in humanitarian relief. Int J Logist Res Appl 2008; 11:101. (b).

BANOMYONG, R.; BERSFORD, A.; PETTIT, S., 2009. Logistics relief response model: the case of Thailand's tsunami affected área. International Jurnal of Services Technology and Management. v.12, n.4, p.414.

BASTOS, M. A. G., 2013. Procedimento logístico para operação de resposta a desastres. Dissertação de mestrado. Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.

BIRK, A.; WIGGERICH, B.; BUELOW, H.; et al., 2011. Safety, Security, and Rescue Missions with an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Aerial Mosaicking and Autonomous Flight at the 2009 European Land

Robots Trials (ELROB) and the 2010 Response Robot Evaluation Exercises (RREE). Journal of Intelligent & Robotic Systems, v. 64, n. 1, p. 57–76.

BLECKEN, A., 2009. A Reference Task Model for Supply Chain Processes of Humanitarian Organizations. Universität Paderborn, Alemanha.

BLECKEN, A; HELLINGRATH B.; DANGELMAIER, W.; SCHULZ, S. F., 2010. A humanitarian supply chain process reference model. International Journal of Services Technology and Management, Vol. 12, No. 4, pp.391-413.

BOWERSOX, D; CLOSS, D., 2001. Logística Empresarial. São Paulo: Atlas, Tradução de: Logistical management: the integrated supply chain process.

CHEN, A. Y.; PEÑA MORA F.; OUYANG, Y., 2011. A collaborative GIS framework to support equipment distribution for civil engineering disaster response operations. Automation in Construction, 20(5):637–648.

CHEN, Y; ZHANG, H; XU, M., 2014. The coverage problem in UAV network: a survey. Proceedings of the International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT '14), pp. 1–5, IEEE, Hefei,China.

COSTA, S. R. A., 2013. Procedimento para estruturação do processo de distribuição em operações de Logística Humanitária. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes – IME. Rio de Janeiro.

DANKO, T. W.; OH, P. Y., 2014. Design and Control of a Hyper-Redundant Manipulator for Mobile Manipulating Unmanned Aerial Vehicles. Journal of Intelligent & Robotic Systems, v. 73, n. 1-4, p. 709–723.

GUHA-SAPIR, D. V.; BELOW, F. R.; PONSERRE, S., 2015. Annual Disaster Statistical Review 2014 - The numbers and trends. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). Institute of Health and Society (IRSS). Université Catholique de Louvain – Brussels, Belgium.

HARMON, F. G.; FRANK, A. A.; JOSHI, S. S., 2005. The control of a parallel hybrid-electric propulsion system for a small unmanned aerial vehicle using a CMAC neural network. Neural Networks, v. 18, n. 5-6, p. 772–780.

HOLGUIN-VERAS, J.; JALLER, M.; VAN WASSENHOVE, L.; PE´REZ, N.; WACHTENDORF, T., 2012. On the unique features of post-disaster humanitarian logistics", Journal of Operations Management, Vol. 30 No. 7, pp. 494-506.

KIM, J. B.; 김민규; YOON, H., 2011. Improvement of Regulations for Effective UAV operation in Disaster Detection. Journal of the Korean Society of Survey, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, v. 29, n. 5, p. 509–517.

MCCOY, J. H.; LEE, H. L., 2013. Using Fairness Models to Improve Equity in Health Delivery Fleet Management, Production and Operation Management Society. Vol. 23, Nº 6, June 2013. ISSN 1059-1478, pp. 965-977.

MEIER, P., 2015. Digital Humanitarians: How Big Data is Changing the Face of Humanitarian Response. Digital Humanitarian Network, A Small World.

OCHA – United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, 2014. Policy Development and Studies Branch (PDSB). Unmanned Aerial Vehicles in Humanitarian Response.

OCHA - United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (2011) GUIDE TO HUMANITARIAN GIVING. Disponível: http://ochanet.unocha.org/p/Documents/OCHA-Guide%20to%20Humanitarian%20Giving%20(Jan%202011).pdf

OVERSTREET, R. E.; HALL, D.; Hanna, J. B.; RAINER, R. K., 2011. Research in humanitarian logistics. Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management, Vol. 1 Iss: 2, pp.114 – 131.

PAN-AMERICAN HEALTH ORGANISATION (PAHO) (2000) Manual Logistical Management of Humanitarian Supply. 2000, www.disaster-info.net/SUMA/english/software/manuals/MISEManualEnglish.pdf

RATH, S.; GUTJAHR, W. J., 2014. A math-heuristic for the warehouse location–routing problem in disaster relief. Computers & Operations Research 42, 25–39.

SILVA, L. F., 2011. Gestão da Logística Humanitária: proposta de um referencial teórico. Dissertação de Mestrado em Administração. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPEAD.

THOMAS, A.S., 2003. Humanitarian Logistics: Enabling Disaster Response. Fritz Institute.

THOMAS A.; KOPCZAK, L., 2005. From logistics to supply chain management: the path forward in the humanitarian sector. Fritz Institute.

VAN WASSENHOVE, L.N., 2006. Blackett memorial lecture. Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear. Journal of the Operational Research Society 57, 475–489.

XU ZHIQIANG; YANG JIANSI; PENG CHAOYONG., 2014. Development of an UAS for post-earthquake disaster surveying and its application in Ms7.0 Lushan Earthquake, Sichuan, China. Computers & Geosciences, v. 68, p. 22–30.

UMA AVALIAÇÃO MULTIOBJETIVO DE ATENDIMENTOS DE EMERGÊNCIA COM BASE NA POPULAÇÃO, NO NÚMERO DE OCORRÊNCIAS E NA DISTÂNCIA PERCORRIDA PELOS VEÍCULOS DE RESGATE

Thayse Ferrari
Bruno Salezze Vieira
Marcus Vinicius Oliveira Camara
Glaydston Mattos Ribeiro
Carlos David Nassi
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Programa de Engenharia de Transportes

RESUMO
Serviços Médicos de Emergência são considerados elementos críticos dos modernos sistemas de saúde, por precisarem assegurar que seu nível de serviço esteja adequado à população a qual servem. Neste sentido, Problemas de Localização de Facilidades têm sido aplicados com o intuito de indicar locais estratégicos para bases de despacho de ambulâncias que atendem às chamadas de emergência. Este trabalho tem como objetivo realizar uma avaliação multiobjetivo de atendimentos de emergência, por meio de um modelo matemático, que considera a população atendida, o número de ocorrências e a distância percorrida pelos veículos de emergência para atendimento. Cenários são produzidos para permitir variações do tempo de resposta, do número de bases de despacho e do número de veículos disponíveis. Um estudo de caso envolvendo o município do Rio de Janeiro foi considerado para exemplificar a avaliação multiobjetivo proposta. Foram considerados cerca de 105 mil registros, entre chamadas gerais e acidentes de trânsito.

ABSTRACT
Emergency Medical Services are considered critical elements of modern healthcare systems, because they need to ensure that the level of service is appropriate for the population served. In this sense, Facility Location Problems have been applied in order to indicate strategic locations for ambulance dispatch bases that respond to emergency calls. The objective of this study is to carry out a multiobjective evaluation of the emergency response to variations, using mathematical model, which considers the population served, the number of emergence calls and the distance travelled by the emergency vehicles. Scenarios are created to allow variations in the response time, number of dispatch bases and number of emergency vehicles available for service. A case study for the Rio de Janeiro city is presented to show our multiobjective approach. About of 105 thousands emergency calls were considered.

1. INTRODUÇÃO

Serviços Médicos de Emergência (EMS - sigla em inglês) são considerados elementos críticos dos modernos sistemas de saúde, uma vez que são responsáveis pelo componente pré-hospitalar, que consiste em atividades básicas de cuidados médicos e de transportes realizados a partir da recepção de uma chamada de emergência. Tal serviço é prestado à população por meio de uma frota de ambulâncias, que pode ser gerida por diferentes atores, as quais devem ser estrategicamente posicionadas sobre a região que servem (Bélanger *et al.*, 2016).

De acordo com Kergosien *et al.* (2015), a natureza incerta das chamadas de emergência, principalmente no que se refere ao horário de chegada e suas localizações, tende a prejudicar a operacionalização deste tipo de serviço. Além disso, diversos fatores podem atuar diretamente sobre a área de atendimento da EMS, como as variações no padrão da demanda ao longo do tempo, as mudanças no tempo de viagem ao longo do dia e da rede de transporte e mesmo a saída de veículos para atendimento de chamadas (Bélanger *et al.*, 2016). Com isso, faz-se necessário assegurar que o nível de serviço dos EMS esteja adequado à população da região a qual servem, uma vez que dele pode depender o agravamento do estado de saúde da(s) vítima(s).

Neste contexto surgem adaptações do Problema de Localização de Facilidades (PLF) aplicada à localização de postos de despacho de ambulâncias de resgate. De acordo com Su *et al.* (2015), vários modelos matemáticos têm sido desenvolvidos para resolver este tipo de problema, a

exemplo dos modelos de cobertura (Brotcorne *et al*., 2003; Alsalloum e Rand, 2006; Knight *et al.*, 2012; Yin e Mu, 2012; Ferrari, 2017). Neste tipo de modelo busca-se o maior número possível de locais de demanda atendidos dentro de um padrão de cobertura pré-definido para uma ambulância. Assim, dado um padrão de cobertura para o serviço, que normalmente é representado pela distância ou pelo tempo de viagem, o objetivo do Problema de Localização de Máxima Cobertura, do inglês *Maximum Coverage Location Problem* (MCLP), consiste em localizar um número fixo de facilidades que forneça o serviço ao maior número possível de pontos de demanda (Yin e Mu, 2012).

Diante do exposto surgem alguns questionamentos: Como a distribuição espacial das bases de despacho de veículos de resgate influencia no atendimento à população? De que maneira a variação do tempo máximo estipulado para resposta interfere na cobertura do serviço? A inclusão de mais veículos, por si só, é capaz de aumentar a cobertura de atendimento? A partir destes questionamentos, o objetivo deste trabalho consiste em avaliar, sob a ótica da análise multiobjetivo, o atendimento de emergência prestado pelos EMS frente às variações do número de bases de despacho disponíveis, do tempo de resposta ao atendimento e do número de veículos de emergência no sistema. Esta avaliação leva em consideração a população atendida, o número de ocorrências e a distância percorrida pelos veículos de resgate.

Como estudo de caso, este trabalho considera os dados do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro (CBMERJ) referentes ao histórico de chamadas e atendimentos de emergência realizados no ano de 2014 na cidade do Rio de Janeiro, que conta com cerca de 105 mil registros, entre chamadas gerais e acidentes de trânsito. Utilizaram-se, também, dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) relativos aos indicadores demográficos.

A contribuição deste trabalho se dá, portanto, em duas principais vertentes. Primeiramente no âmbito governamental, pois permite auxiliar o planejamento estratégico dos serviços de atendimento de emergências. A segunda vertente inclui questões socioeconômicas, tendo em vista que possibilita a diminuição da gravidade das sequelas adquiridas, em função da redução do tempo de resposta, influindo diretamente na vida dos indivíduos.

Sendo assim, este artigo está organizado da seguinte forma: o contexto da pesquisa é apresentado na Seção 2, com uma breve revisão da literatura sobre os atendimentos de emergência e os PLF. A Seção 3 expõe a metodologia do estudo, que inclui uma visão geral do método adotado, os parâmetros e a modelagem matemática do problema. O estudo de caso, com a descrição da área de estudo e a definição dos cenários, é apresentado na Seção 4. Já na Seção 5 são expostos os resultados com a análise dos cenários. Na última seção são apresentadas as considerações finais deste trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E O CONTEXTO DA PESQUISA

Os EMS são sistemas de segurança pública que gerenciam a entrega de atendimento pré-hospitalar a pacientes que se encontram em condições de urgência/emergência médica. Este tipo de atendimento compreende a estabilização da condição do paciente e seu transporte a uma unidade adequada para receber os devidos cuidados. Com isso, o principal objetivo dos EMS é reduzir as taxas de mortalidade, de invalidez e o sofrimento, bem como melhorar as chances de recuperação do paciente (Maleki *et al.*, 2014; Aringhieri *et al.*, 2007).

Tal situação exige que os tomadores de decisão lidem com a difícil tarefa de localizar bases de despacho de ambulâncias para atender às chamadas de maneira otimizada. Diariamente esses profissionais precisam superar diversos fatores de incerteza, como a frequência das chamadas,

os locais das ocorrências, a capacidade disponível de veículos e equipes e a duração do tempo de viagem até o local do resgate (Kergosien *et al.*, 2015).

Diante de situação de urgência/emergência, o tempo decorrido entre uma chamada e a chegada de assistência ao local é um dos principais fatores que influenciam no desempenho dos EMS (Takeda *et al.*, 2007). Apesar de existirem outras medidas de desempenho que podem ser utilizadas para avaliação, o tempo de resposta é o fator mais crítico, uma vez que se o serviço não for fornecido prontamente, a vida daquela pessoa que requer cuidados médicos emergenciais é colocada em perigo (Su *et al.*, 2015).

Tendo isso em vista, diversos países e cidades estabeleceram padrões de atendimento a emergências que incluem o tempo de resposta à chamada. Segundo Gendreau *et al.* (2001), o tempo de resposta em Montreal deve ser de até 10 minutos em 95% das chamadas, sendo que 70% destes pedidos deve ser atendido em menos de 7 minutos. Já em Londres, 95% das solicitações deve ter resposta dentro de 14 minutos e 50% delas em até 8 minutos (Galvão *et al.*, 2005). O mesmo ocorre nos Estados Unidos, onde a Lei de EMS de 1973 estabelece que 95% das solicitações devem ser atendidas dentro de 10 minutos em áreas urbanas e dentro de 30 minutos para áreas rurais (Ball e Lin, 1993).

No Brasil ainda não existe uma regulamentação específica que determine o tempo de atendimento pré-hospitalar, o que permite que cada estado ou município tenha liberdade para determinar suas próprias metas. No entanto, muitas vezes essas metas não conseguem ser atingidas, seja pelas longas distâncias a serem percorridas, pela falta de veículos disponíveis para atendimento ou mesmo pelo tempo perdido em congestionamentos. Tal fato destaca a importância do planejamento da localização da instalação de emergência, em especial, em dois aspectos: 1) na seleção de locais para instalação de bases de despacho; e 2) na definição do número de veículos atribuídos a cada base (Takeda *et al.*, 2007).

Tradicionalmente, os PLF de emergência lidam com decisões relacionadas aos locais que devem ser selecionados para localizar as facilidades e à capacidade de cada facilidade, frente a um número de pontos de demanda e de locais possíveis de instalação. Diante disso, a maior parte dos modelos matemáticos presentes na literatura considera que as chamadas de emergência dos PLF são geradas a partir de pontos de demanda discretos, onde os locais das facilidades são selecionados a partir de um conjunto finito de locais candidatos (Marín, 2011; ReVelle *et al.*, 2008).

A modelagem matemática do MCLP, inicialmente proposta por Church e ReVelle (1974), tem se mostrado uma importante ferramenta para os processos de planejamento e distribuição de facilidades, as quais passaram a ser realizadas otimizando os recursos limitados com o objetivo de maximizar os benefícios sociais e econômicos (Yin e Mu, 2012). Os autores partiram do princípio básico de que as facilidades não apresentavam capacidades, ou seja, um ponto de demanda seria atendido por uma facilidade desde que ele estivesse dentro do padrão de cobertura desta facilidade.

No entanto, não apenas o padrão de cobertura deve ser considerado nestes casos, é importante levar em conta, também, a capacidade das facilidades. Diante da definição de limite de capacidade de atendimento, Chung *et al.* (1983) e Current e Storbeck (1988) propuseram alterações no MCLP que garantiram que as demandas atribuídas a uma facilidade não excedessem a capacidade da mesma. Dando segmento a essa linha de pesquisa, Haghani (1996) propôs um MCLP capacitado multiobjetivo onde a demanda atendida era maximizada ao mesmo tempo em que a distância média entre as demandas descobertas (ou não atendidas) e as

facilidades eram minimizadas.

Já Yin e Mu (2012) ampliaram o modelo proposto por Haghani (1996) de forma que a unidade de emergência pudesse apresentar diferentes níveis de capacidade, variando o número de veículos disponíveis, tornando o problema ainda mais condizente com a realidade. Recentemente, Ferrari (2017) seguiu essa mesma linha de pesquisa ao propor um modelo matemático que soluciona o Problema de Localização de Bases de Despacho de Veículos de Resgate. Tal modelagem tem como objetivo determinar, dentre um conjunto de bases disponíveis, quais deveriam ser utilizadas para cobrir determinada área com demanda por serviços de emergência, de forma a maximizar a população e as ocorrências cobertas e minimizar os custos de abertura de bases de ambulâncias e a distância percorrida entre a base e o ponto de demanda. Neste modelo devem ser respeitadas a capacidade dos veículos, assim como das bases que liberam esses veículos, e o tempo de resposta do sistema.

3. FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO PROBLEMA MULTIOBJETIVO DE ATENDIMENTOS DE EMERGÊNCIA

3.1 Visão geral

O processo de modelagem foi dividido em três etapas e leva em consideração os dados do CBMERJ. Sendo assim, a Etapa 1 faz referência ao tratamento dos dados recebidos do CBMERJ, que inclui o georreferenciamento das chamadas de resgate. Nesta etapa as chamadas foram classificadas em dois tipos: Tipo 1 ou chamadas gerais; e Tipo 2 ou ocorrências relacionadas aos acidentes de trânsito. Os pontos que representam os registros de cada uma destas chamadas foram atribuídos ao modelo de zoneamento por setores censitários e utilizados como parâmetros de entrada do modelo matemático juntamente com outros dados demográficos.

A Etapa 2 trata da modelagem matemática em si, onde foram utilizadas as informações fornecidas pela Etapa 1 na construção de um modelo matemático multiobjetivo de programação linear inteira. Este modelo está baseado no trabalho de Ferrari (2017) e considera a quantidade de veículos pré-estabelecida, a capacidade desses veículos (em quantidade de pessoas que podem ser atendidas), a capacidade das bases (em número de pessoas no raio de cobertura) e o conjunto de locais candidatos a receber bases de despacho.

Com o modelo matemático definido, foram propostos cenários de aplicação que possibilitassem uma avaliação dos resultados. Tais cenários foram utilizados na Etapa 3, na qual realizaram-se os experimentos computacionais utilizando o *software* de otimização Gurobi 7.02 (Gurobi Optimization, 2017) e o modelo matemático codificado em linguagem de programação Python. Obtidos os resultados, os mesmos foram representados graficamente com o auxílio do *software* TransCAD 5.0 (Caliper, 2008).

3.2 Conjuntos, parâmetros e variáveis de decisão

Segundo Ferrari (2017), o problema de localização de postos de despacho de ambulâncias de resgate tem como objetivo determinar, dentre um conjunto de bases disponíveis, aquelas que devem ser utilizadas para cobrir uma determinada área, a qual apresenta chamadas de urgência/emergência. Com base nesta definição, seja I o conjunto que representa todos os pontos de demanda (setores censitários) que necessitam de atendimentos; J o conjunto que representa os possíveis locais para receber bases de despacho de veículos de resgate; e $B_i \subseteq J$ um conjunto que representa todas as bases que podem atender a um ponto de demanda $i \in I$, dado um padrão de cobertura preestabelecido. Além disso, os seguintes parâmetros devem ser considerados:

- α_i – população da área de demanda $i \in I$;
- β_i – quantidade de ocorrências do Tipo 1 na área de demanda $i \in I$;

- γ_i – quantidade de ocorrências do Tipo 2 na área de demanda $i \in I$;
- $DIST_{ij}$ – distância entre um ponto de demanda $i \in I$ e uma base $j \in J$;
- P – quantidade total de ambulâncias disponíveis para serem alocadas aos pontos de despacho;
- $MAXP$ – quantidade máxima de ambulâncias que cada base pode receber;
- C – capacidade de cobertura/atendimento (em número de pessoas) de cada ambulância; e
- μ – quantidade máxima de pontos de demanda que uma base de despacho de ambulâncias pode atender.

Com isso, as variáveis de decisão utilizadas são as seguintes:

- $x_{ij} \in \{0,1\}\ \forall\ i \in I, j \in J$. Se $x_{ij} = 1$, o ponto de demanda $i \in I$ deve ser alocado à base de despacho de ambulâncias $j \in J$, caso contrário, $x_{ij} = 0$; e
- $z_j \in \mathbb{Z}^+\ \forall\ j \in J$. Esta variável representa a quantidade de ambulâncias que deve ser alocada à base $j \in J$.

3.3 Modelo Matemático Multiobjetivo

Com base na descrição do problema de localização de postos de despacho de ambulâncias de resgate e no trabalho de Ferrari (2017), o modelo matemático multiobjetivo é apresentado a seguir.

$$Maximizar \sum_{i \in I} \sum_{j \in B_i} \alpha_i\, x_{ij} \tag{1}$$

$$Maximizar \sum_{i \in I} \sum_{j \in B_i} (\beta_i + \gamma_i)\, x_{ij} \tag{2}$$

$$Minimizar \sum_{i \in I} \sum_{j \in B_i} DIST_{ij}\, x_{ij} \tag{3}$$

$Sujeito\ a$:

$$\sum_{j \in B_i} x_{ij} \leq 1 \qquad \forall\ i \in I \tag{4}$$

$$\sum_{j \in J} z_j \leq P \tag{5}$$

$$\sum_{i \in I \setminus j \in B_i} \alpha_i\, x_{ij} \leq C\, z_j \qquad \forall\ j \in J \tag{6}$$

$$\sum_{i \in I \setminus j \in B_i} x_{ij} \leq \mu \qquad \forall\ j \in J \tag{7}$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \qquad \forall\ i \in I, j \in J \tag{8}$$

$$z_j \in \{0, 1, 2, \dots, MAXP\} \qquad \forall\ j \in J \tag{9}$$

A Função Objetivo (1) deve maximizar a quantidade de pessoas atendidas pelas bases de despacho de veículos de resgate, priorizando a cobertura de setores censitários com maior população residente. Já a Função Objetivo (2) deve maximizar o número de ocorrências (de ambos os tipos) atendidas pelas bases de despacho, com prioridade para a cobertura de setores com maior quantidade de ocorrências registradas. Enquanto isso, a Função Objetivo (3) deve minimizar a distância entre as bases de despacho e os pontos de demanda por atendimento. O conjunto de Restrições (4) garante que todo ponto de demanda deve ser atendido no máximo uma única vez por uma base de despacho de veículos de resgate. A Restrição (5) garante que a

quantidade total de veículos de resgate alocados nas bases de despacho deve respeitar a quantidade total disponível, possibilita o rearranjo dos veículos entre as bases sem o risco de se utilizar mais veículos que o disponível. Complementando a Restrição (5), o conjunto de Restrições (6) garante que a capacidade de cada base de despacho, em quantidade de pessoas que podem ser atendidas, deve ser respeitada. Tal limite é definido pelo produto da quantidade de veículos alocado a determinada base e a quantidade de pessoas que cada veículo pode atender. O conjunto de Restrições (7) garante que a quantidade máxima de pontos de demanda que cada base de despacho pode atender deve ser respeitada. Por fim, as Restrições (8) e (9) estão associadas ao domínio das variáveis de decisão do modelo matemático.

No entanto, para avaliar a contribuição de cada uma das funções objetivo propõe-se, ainda, que sejam atribuídos pesos a elas, a saber: W_1: peso atribuído à população atendida; W_2: peso atribuído às ocorrências registradas do Tipo 1 e do Tipo 2; e W_3: peso atribuído às distâncias entre as bases de despacho e os pontos de demanda. Com isso, o modelo matemático multiobjetivo considerado neste artigo pode ser assim representado:

$$Maximizar \sum_{i \in I} \sum_{j \in B_i} W_1(\alpha_i \, x_{ij}) + W_2[(\beta_i + \gamma_i) \, x_{ij}] \; - \; \sum_{i \in I} \sum_{j \in B_i} W_3 DIST_{ij} \, x_{ij} \qquad (10)$$

$Sujeito\ a$: (4) – (9).

4. ESTUDO DE CASO: RIO DE JANEIRO

O modelo matemático representado pela função objetivo (10) e pelas restrições (4-9) foi aplicado à cidade do Rio de Janeiro, que possui mais de 6,3 milhões de habitantes. Seu território de 1.200 km² é segmentado em 10.504 setores censitários, que são divididos em cinco Áreas de Planejamento (AP), sendo: AP 1 (Zona Central), AP 2 (Zona Sul), AP 3 (Zona Norte), AP 4 (Barra da Tijuca e Jacarepaguá) e AP 5 (Zona Oeste). Sabe-se, ainda, que devido às características naturais do município, sua população não é distribuída de maneira uniforme ao longo do seu território, como pode-se observar na Figura 1.

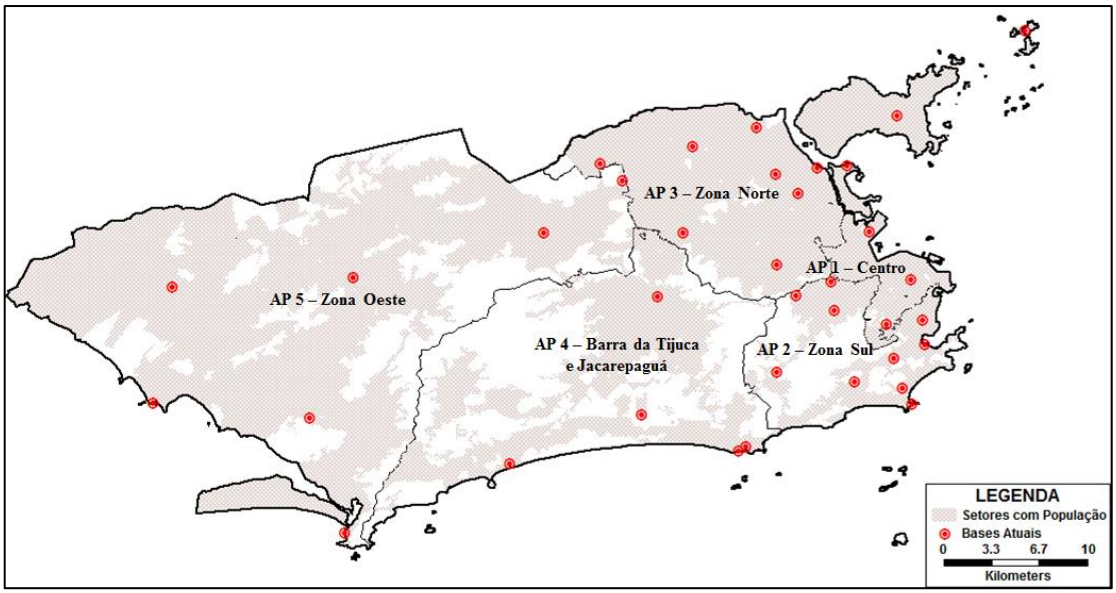


Figura 1: Representação da área de estudo.

O principal EMS da cidade encontra-se sob a responsabilidade do CBMERJ e a infraestrutura utilizada no atendimento à população compreende 36 bases de despacho de veículos de resgate

(veja Figura 1), com um total de 80 veículos. Adotou-se como premissa, que cada base pode abrigar de 1 a 5 ambulâncias. Já a capacidade de cobertura atribuída a cada ambulância (parâmetro C), teve seu valor definido com base nos dados fornecidos pelo Corpo de Bombeiros e foi estipulada em 65.000 habitantes/veículo de resgate.

No ano de 2014 o CBMERJ registrou 105.696 ocorrências de solicitação de atendimento, as quais foram integralmente atendidas. Apesar de não haver regulamentação específica no Brasil, a instituição estipula, como meta de atendimento, 10 minutos de tempo de resposta a chamadas em ambiente urbano, seguindo a norma norte americana. Com este tempo de resposta definido e a base rodoviária real do município, foram encontradas as bases aptas a atender cada um dos pontos de demanda, ou seja, o conjunto B_i, com auxílio do TransCAD 5.0.

Vale destacar que, por se tratar de uma rede com as reais características do Rio de Janeiro, deve-se levar em conta as restrições provocadas pelas obras realizadas em função dos Jogos Olímpicos de 2016, uma vez que no ano em que os dados foram disponibilizados, elas estavam em pleno andamento. No que se refere às distâncias consideradas na função objetivo, vale destacar que foram adotadas distâncias Euclidianas, tendo em vista que facilitam o agrupamento dos setores censitários atendidos por uma mesma base de despacho de veículos de resgate.

O modelo matemático da Seção 3.3 foi avaliado por meio da comparação de cenários. A proposição inicial dos cenários ocorreu em função dos diferentes pesos W_1, W_2 e W_3 atribuídos aos termos contemplados na Função Objetivo (FO). Com isso, os cenários foram organizados em quatro grupos: o primeiro levou em conta apenas a população atendida ($W_1 = 1$, $W_2 = 0$ e $W_3 = 0$); o segundo considerou apenas o total de ocorrências atendidas ($W_1 = 0$, $W_2 = 1$ e $W_3 = 0$); o terceiro apenas a distância percorrida pelos veículos de regaste ($W_1 = 0$, $W_2 = 0$ e $W_3 = 1$); e, por fim, no quarto grupo os pesos foram escolhidos de maneira a normalizar os valores de população, ocorrências e distância percorrida por demanda.

No entanto, os resultados obtidos para o terceiro grupo implicam no não atendimento da população e das ocorrências registradas, uma vez que, pelas restrições do modelo, não existe obrigatoriedade de alocação de bases de despacho a todos os pontos de demanda. Diante disso, as análises foram realizadas apenas para os demais grupos de cenários e optou-se por manter o peso W_3 normalizado em todos os testes, garantindo que a variável $DIST_{ij}$ seja levada em consideração. Com isso, essa variável é utilizada para garantir que a base mais próxima de cada ponto de demanda possua preferência na alocação.

Os três grupos de cenários foram avaliados em função de alguns atributos. O primeiro deles diz respeito ao número de locais candidatos a receber bases de despacho, que pode ser 36 (atual condição do CBMERJ) ou 57. A definição dos 57 pontos candidatos a receber bases de despacho de veículos de resgate foi feita seguindo os preceitos de Ferrari (2017): 1) foram definidos 36 locais onde já existem bases do CBMERJ; 2) testou-se um cenário-base com a cobertura atual do sistema e verificaram-se as áreas com maior deficiência de cobertura com a utilização das bases atuais. Com isso, foram posicionadas 21 novas unidades, quantidade definida pelo CBMERJ, nas áreas de maior densidade populacional sem atendimento.

Os demais atributos analisados dizem respeito ao:

- Tempo máximo de atendimento (7, 10 ou 15 minutos). O tempo de resposta de 10 minutos foi estipulado seguindo os preceitos de atendimento do CBMERJ. Já os demais valores foram definidos com o intuito de testar as perdas ou os ganhos inerentes à variação no tempo máximo de resposta. Ambos foram definidos em conjunto com membros do Corpo de Bombeiros;

- Número de veículos utilizados (70, 80 ou 90 veículos). Assim como o tempo de resposta, o número de veículos disponível atualmente (80 veículos) foi flexibilizado com o objetivo de avaliar possíveis mudanças na estrutura disponível. O número menor de veículos (70) foi testado com o intuito de contemplar uma possível crise de recursos, como a quebra de veículos, tendo em vista a dificuldade financeira pela qual tem passado o Estado do Rio de Janeiro. Já os 90 veículos foram testados visando um cenário mais otimista, com aumento na disponibilidade de veículos devido, por exemplo, ao estabelecimento de novas parcerias.

Diante disso, 54 testes foram realizados. Como resultado do modelo obteve-se a indicação dos locais prioritários para receberem as bases, a quantidade de veículos em cada um desses locais e, ainda, suas áreas de cobertura (respeitando o tempo de resposta estipulado desde a base até cada um dos setores censitários a qual foi alocada).

5. RESULTADOS COMPUTACIONAIS

Os testes foram realizados em um computador de processador i7 6700K@, 4.5Ghz e 16 GB de memória RAM DDR4@3200Mhz, utilizando o sistema operacional Linux Ubuntu 17.04. Somente dois parâmetros do *software* Gurobi 7.02 foram alterados: o tempo máximo de processamento, que foi limitado em duas horas de execução por cenário, apesar de tal valor não ter sido atingido em nenhum deles; e, o GAP de parada, que foi definido em 0,02%, e mostrou uma redução considerável do tempo de processamento em relação ao GAP padrão de 0,001%.

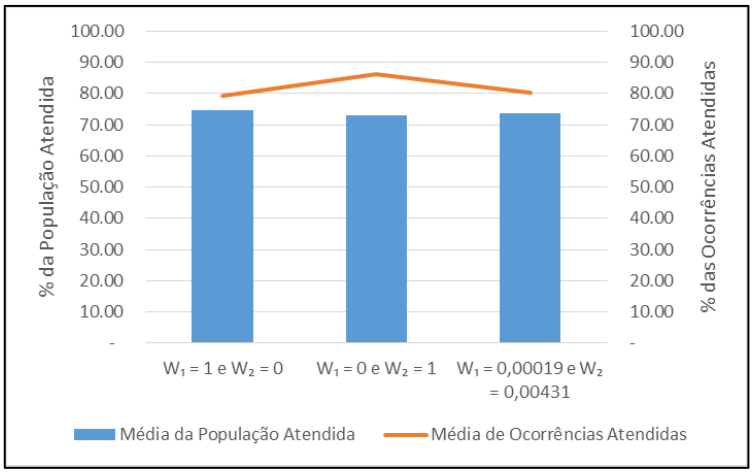


Figura 2: Percentual médio de população e ocorrências atendidas de acordo com os pesos atribuídos na FO.

As Figuras 2 e 3 apresentam os resultados gerais para os cenários. Como critérios de comparação entre os cenários, considerou-se, em um primeiro momento, o percentual da população atendida, o percentual das ocorrências atendidas e o número de bases efetivamente abertas. A Figura 2, que trata da comparação dos percentuais médios da população e das ocorrências atendidas quando são atribuídos diferentes pesos aos objetivos da FO, percebe-se que a população atendida permanece com valores muito próximos, em torno de 73%, nos três cenários apresentados. Diferente disso, o percentual de ocorrências atendidas sofre um incremento considerável (próximo de 10 pontos percentuais), chegando próximo dos 90% de cobertura média, quando se considera apenas maximizar o número de ocorrências atendidas.

Como é possível observar na Figura 3(a), o percentual médio da população e das ocorrências atendidas não sofre grande variação frente à alteração na possibilidade de abertura de bases (de 36 para 57 bases abertas). Com isso, acredita-se que o problema seja pouco sensível à mudança no número máximo de bases. Outro fato que corrobora com este entendimento é que o número máximo de bases abertas (57 bases) foi utilizado somente uma vez ao longo dos 54 testes

realizados (ver Figura 3b). Vale ressaltar, ainda, que o cenário em que isso ocorreu apresentava em suas configurações um possível fator agravante, o tempo máximo de resposta de 7 minutos. Além disso, foram abertas mais de 50 bases de despacho de veículos de resgate apenas em cenários onde o tempo de resposta correspondia ao menor tempo de resposta avaliado.

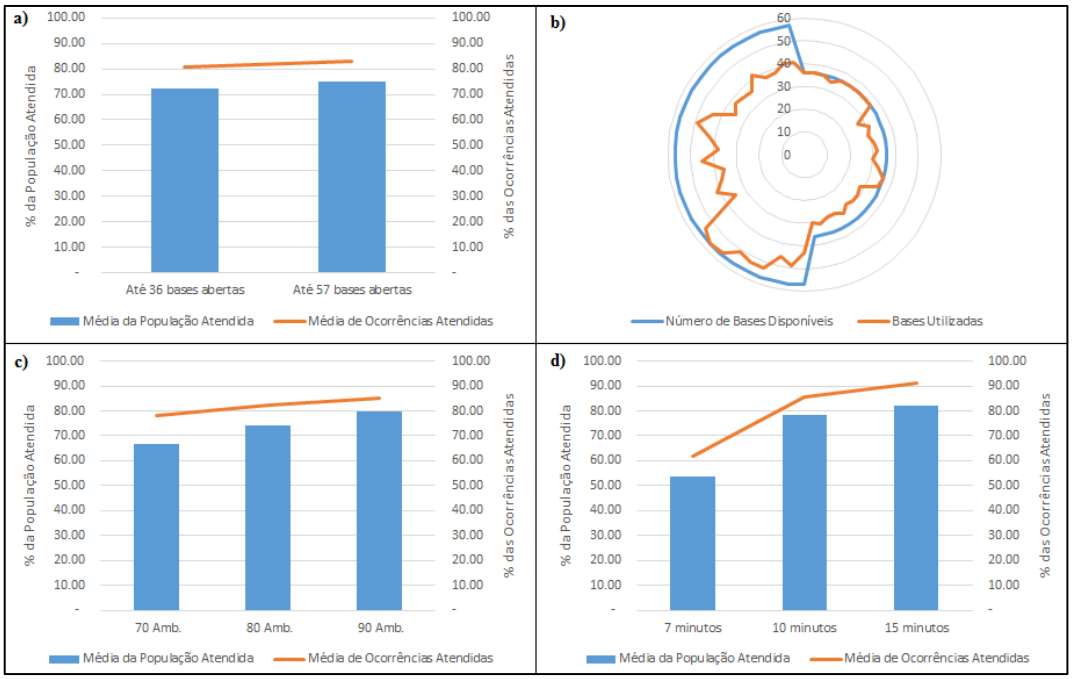


Figura 3: a) Resultado de acordo com o número de bases disponíveis; **b)** Bases utilizadas *versus* bases disponíveis para abertura ao longo 54 testes realizados; **c)** Resultado de acordo com o número de veículos disponíveis, e **d)** Resultado de acordo com o tempo máximo de resposta.

Já no que se refere ao número de veículos disponíveis para atendimento (Figura 3c), percebe-se que à medida que este valor aumenta, aumentam também os percentuais médios de cobertura, tanto para a população quanto para as ocorrências. Ao contrário do critério anterior, o problema aparenta ser mais sensível às variações no número de veículos. Tal situação já era esperada, uma vez que, com o incremento nessas quantidades, aumenta proporcionalmente a capacidade de cobertura da população. Pode-se afirmar, então, que isso ocorre porque o número de veículos de resgate contribui diretamente para a estimativa da cobertura máxima possível, já que determina a capacidade de atendimento das bases de despacho.

Quanto ao tempo de resposta às chamadas, veja Figura 3(d), percebe-se uma grande variação entre 7 e 10 minutos, seguida de um incremento menor entre 10 e 15 minutos. Os valores percentuais, tanto de população quanto de ocorrências atendidas saltam cerca de 25% entre o menor tempo estabelecido (7 minutos) e o tempo usualmente utilizado como base para o CBMERJ (10 minutos). Tal situação demonstra, ainda, uma grande sensibilidade do problema em relação ao tempo de atendimento de 7 minutos, ou seja, para este tempo a FO varia muito pouco, independente dos outros critérios estabelecidos para definição dos cenários.

Diante de coeficientes de variação tão próximos de zero para os 7 minutos de tempo de resposta, como observado na Figura 4, os demais coeficientes, que ainda são baixos, tornam-se representativos ao ponto de causar uma acentuada curva de variação. Percebe-se, então, que as maiores variações ocorrem em função dos pesos que são atribuídos a ela e do tempo de atendimento, seja para a disponibilidade de 36 ou 57 bases a serem abertas. Com isso, o melhor e o pior cenário observados para a FO que normaliza os dois objetivos de cobertura (população

e ocorrências) serviram como base para a elaboração de mapas georreferenciados para facilitar a compreensão da diferença entre os cenários.



Figura 4: Média, desvio padrão e coeficiente de variação para população e ocorrências atendidas de acordo com o tempo máximo de resposta.

Nota-se na Figura 5 que grande parte do território do município pode ser atendido quando se utiliza como parâmetros a possibilidade de abertura de 57 bases de despacho, 90 veículos de emergência e até 15 minutos de tempo de resposta. No entanto, vale destacar que as áreas que permanecem sem cobertura, apesar de mostrarem-se pequenas, estão espalhadas por todo o município, especialmente na região das AP 4 e 5, que contemplam a Zona Oeste do município.

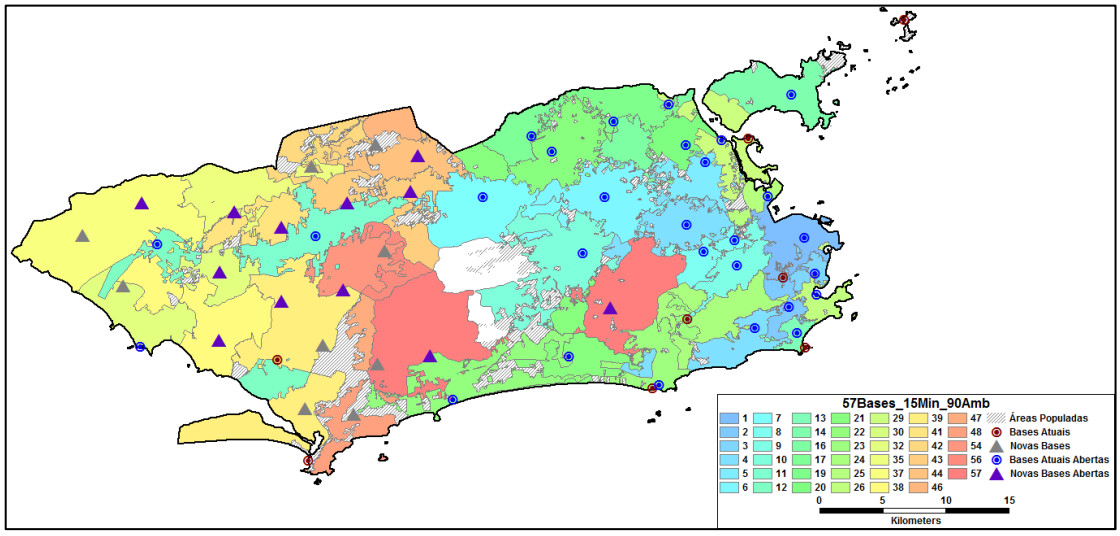


Figura 5: Representação do melhor cenário obtido para a função objetivo normalizada.

Já na Figura 6 observa-se que, ao disponibilizar até 36 bases para serem abertas, com os mesmos 90 veículos, e reduzir o tempo de atendimento para 7 minutos, há um considerável incremento das áreas descobertas em todo o município, especialmente nas AP 3, 4 e 5. Com isso, tal cenário apresenta o pior resultado para a FO normalizada.

No entanto, é importante destacar que, apesar dos melhores testes contemplarem a possibilidade de abertura de até 57 bases, é possível obter resultados bastante satisfatórios com a abertura de até 36 bases de despacho. Um exemplo disso é que, em um cenário com a possibilidade de abrir até 36 bases, com 15 minutos de tempo de resposta e 90 veículos utilizados, empregou-se, efetivamente, apenas 30 bases e a cobertura chegou a 5,8 milhões de pessoas e atendimento de 67 mil ocorrências.

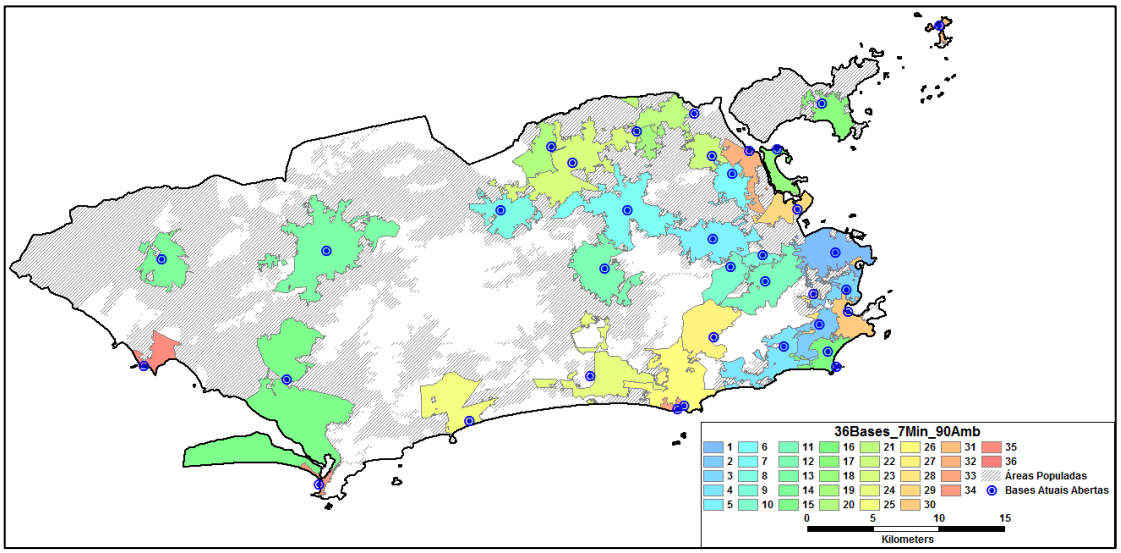


Figura 6: Representação do pior cenário obtido para a função objetivo normalizada.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo foi apresentada uma avaliação multiobjetivo que levou em consideração uma adaptação do modelo matemático proposto por Ferrari (2017) para localização de bases de despacho de ambulâncias, que considera a maximização da população e das ocorrências cobertas, assim como a minimização da distância percorrida entre as bases e seus respectivos pontos de demanda atendidos, para auxiliar no planejamento governamental relacionado aos atendimentos de emergência.

Por meio do aprofundamento teórico e, principalmente, da comparação de cenários, foi possível responder algumas questões levantadas por este trabalho. A primeira delas aponta que o aumento do número de bases, por si só, não é capaz de impactar significativamente na cobertura da população e das ocorrências. Isso ocorre porque diversos outros fatores condicionam a otimização da FO, como o peso utilizado em cada termo, o número de veículos associado a cada base e, principalmente, o tempo máximo de atendimento. No entanto, acredita-se que o incremento no número de bases seja capaz de reduzir a distância percorrida até o ponto de demanda por atendimento.

Com o aumento no tempo de atendimento, um maior número de bases é capaz de atender a região, diminuindo a chance de a mesma permanecer descoberta para o tempo de atendimento indicado. Acredita-se, que por esse motivo os melhores resultados foram obtidos com tempo de resposta de até 15 minutos, enquanto os piores resultados ficaram estão relacionados ao menor tempo de resposta indicado, de 7 minutos (menos que a metade do maior tempo considerado).

Quanto a relação entre o número de veículos e o aumento dos percentuais de cobertura, pode-se dizer que o aumento ocorre de maneira proporcional, como era de se esperar, já que o número de veículos é o responsável direto pela capacidade de atendimento de cada base de despacho. Sendo

assim, mesmo que o tempo de resposta não fosse um fator limitante, a mesma teria seu crescimento atribuído ao número de ambulâncias disponíveis para atendimento.

Agradecimentos
Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro na elaboração deste trabalho. Agradecem, ainda, ao Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro pela disponibilidade da base de dados utilizada na pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alsalloum, O. I. e Rand, G. K. (2006) Extensions to emergency vehicle location models. *Computer & Operations Research*, v. 33, p. 2725-2743.

Aringhieri, R.; Carello, G.; Morale, D. (2007) Ambulance location through optimization and simulation: The case of Milano urban area. *Anais do XXXVIII Annual Conference of the Italian Operations Research Society Optimization and Decision Sciences*, AIRO, Genova, Italy, p. 1-29.

Ball, M. O. e Lin, F. L. (1993) A reliability model applied to emergency service vehicle location. *Operations Research*, v. 41, p. 18–36.

Bélanger, V.; Kergosien, Y.; Ruiz, A.; Soriano, P. (2016) An empirical comparison of relocation strategies in real-time ambulance fleet management. *Computers & Industrial Engineering*, v. 94, p. 216-229.

Brotcorne, L.; Laporte, G.; Semet, F. (2003) Ambulance location and relocation models. *European Journal of Operational Research*, v. 147, p. 451–463.

Caliper. (2008) *TransCAD - Transportation Workstation Software*, User's Guide, versão 5.0 para Windows. Caliper Corporation, Newton, USA.

Chung, C.; Schilling, D.; Carbone, R. (1983) The capacitated maximal covering problem: a heuristic. *Anais do Proceedings of the Fourteenth Annual Pittsburgh Conference on Modeling and Simulation*, Pittsburgh, p. 1423-1428.

Church, R. e ReVelle, C. (1974) The maximal covering location problem. *Papers in Regional Science*, v. 32, n. 1, p. 101-118.

Current, J. e Storbeck, J. (1988) Capacitated covering models. *Environment and Planning B: Planning and Design*, v. 15, p. 153-164.

Ferrari, T. (2017) *Modelagem matemática para localização de bases de despacho de veículos de resgate: um estudo de caso no município do Rio de Janeiro*. Dissertação de Mestrado, Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 129 p.

Galvão, R. D.; Chiyoshi, F.; Morabito, R. (2005) Towards unified formulations and extensions of two classical probabilistic location model. *Computers & Operations Research*, v. 32, p. 15–33.

Gendreau, M.; Laporte, G.; Semet, F. (2001) A dynamic model and parallel Tabu search heuristic for real-time ambulance relocation. *Parallel Computing*, v. 27, p. 1641–1653.

Gurobi Optimization, Inc. (2017) *Gurobi Optimizer Reference Manual*, versão 7.02. Disponível em: http://www.gurobi.com.

Haghani, A. (1996) Capacitated maximum covering location models: formulations and solution procedures. *Journal of Advanced Transportation*, v. 30, n. 3, p. 101-136.

Kergosien, Y.; Bélanger, V.; Soriano, P.; Gendreau, M.; Ruiz, A. (2015) A generic and flexible simulation-based analysis tool for EMS management. *International Journal of Production Research*, v. 53, n. 24, p. 7299-7316.

Knight, V. A.; Harper, P. R.; Smith, L. (2012) Ambulance allocation for maximal survival with heterogeneous outcome measures. *Omega*, v. 40, p. 918-926.

Maleki, M.; Majlesinasab, N.; Sepehri, M. M. (2014) Two new models for redeployment of ambulances. *Computers & Industrial Engineering*, v. 78, p. 271-284.

Marín, A. (2011) The discrete facility location problem with balanced allocation of costumers. *European Journal of Operational Research*, v. 210, p. 27–38.

Melo, M. T.; Nickel, S.; Saldanha-da-Gama, F. (2009) Facility location and supply chain management - A review. *European Journal of Operational Research*, v. 196, n. 2, p. 401–412.

ReVelle, C. S.; Eiselt, H. A.; Daskin, M. S. (2008) A bibliography for some fundamental problem categories in discrete location science. *European Journal of Operational Research*, v. 184, p. 817–848.

Su, Q.; Luo, Q.; Huang, S. H. (2015) Cost-effective analyses for emergency medical services deployment: a case study in Shangai. *International Journal of Production Economics*, v. 163, p. 112-123.

Takeda, R. A.; Widmer, J. A.; Morabito, R. (2007) Analysis of ambulance decentralization in an urban emergency medical service using the hypercube queueing model. *Computers & Operations Research*, v. 34, p. 727-741.

Yin, P. e Mu, L. (2012) Modular capacitated maximal covering location problem for the optimal siting of emergency vehicles. *Applied Geography*, v. 34, p. 247-254.

REVISÃO DOS MODELOS DE OTIMIZAÇÃO PARA DISTRIBUIÇÃO DE SUPRIMENTOS EM LOGÍSTICA HUMANITÁRIA UTILIZANDO HELICÓPTEROS

Iran Rosa Xavier
Renata Albergaria de Mello Bandeira
Adriano de Paula Fontainhas Bandeira
Leandro de Oliveira Silva
Instituto Militar de Engenharia

RESUMO
Em situações de desastres, quando as áreas afetadas são remotas ou de difícil acesso, ou quando outros modos de transporte não estão disponíveis, os helicópteros tornam-se os veículos mais adequados para alcançar os beneficiários, particularmente nos casos de enchentes, deslizamentos e terremotos. No entanto, o planejamento das operações de transporte aéreo no contexto de respostas a desastre é de grande complexidade, de modo que a pesquisa operacional tem significante aplicação e potencial de contribuição para área. Desta forma, o presente artigo desenvolve uma revisão sistemática de literatura para analisar a aplicação dos modelos de otimização à logística humanitária, com o objetivo de identificar as principais características e práticas adotadas no transporte de passageiros e entrega de suprimentos às pessoas afetadas com utilização de helicópteros. O artigo destaca um protocolo metodológico de revisão e estratificação dos periódicos para estudo e uma proposta deste trabalho com processos viáveis em auxílio a tomada de decisão no processo de distribuição da cadeia de suprimentos humanitária usando helicópteros.

ABSTRACT
In disasters, when affected areas are remote or difficult to access, or when other ways of transport aren't available, helicopters become the most appropriate vehicles to reach the vitims, specialy in cases of floods, landslides and earthquakes. However, the planning of air transport operations in the context of disaster response is of great complexity, so that operational research has significant application and potential contribution to the area. In this way, the present paper develops a systematic literature review to analyze the application of optimization models to humanitarian logistics, with the objective of identifying the main characteristics and practices adopted in the transport of passengers and delivery of supplies to the affected people using helicopters. This paper highlights a methodological protocol for review and stratification of the journals for study and a proposal of this work with viable processes to aid decision-making in the process of distribution of the humanitarian supply chain using helicopters.

1. INTRODUÇÃO

Os desastres de início súbito, como terremotos, deslizamentos de terra e inundações, têm um forte impacto sobre as características físicas da região afetada, podendo tornar instáveis ou até destruir a infraestrutura local, sejam as redes de eletricidade, de comunicação, de abastecimento de água e esgoto, e de transportes (BARBAROSOGLU, 2002). Desta forma, os desafios logísticos enfrentados em situações de resposta a desastres são complexos, com equipes de ajuda humanitária trabalhando em condições caóticas, em áreas com a infraestrutura física, frequentemente, destruída ou com capacidade limitada (BASTOS *et al*., 2015).

Um dos desafios logísticos, em uma operação de resposta a desastres, concentra-se no transporte e locomoção de materiais de suporte à população em sofrimento, que podem estar em regiões de isolamento (KAPUCU, 2011) e precisam de uma ação de resposta extremamente rápida (KOVÁCS, 2012; BANDEIRA, 2011 e OLORUNTOBA, 2006). Nesta situação, quando as áreas afetadas são remotas ou de difícil acesso, ou quando outros modos de transporte não estão disponíveis, os helicópteros tornam-se os veículos mais adequados para alcançar os beneficiários, particularmente nos casos de enchentes, deslizamentos e

terremotos (OZDAMAR, 2011a; XAVIER, 2015; COMAER, 2013; e BRASIL, 2014). Dentre as possíveis missões deste tipo de aeronave no contexto de resposta a desastres, destacam-se: (i) reconhecimento aéreo da área afetada; (ii) busca e resgate (SAR) de vítimas; (iii) evacuação aero médica (EVAM); e (iv) transporte aéreo logístico (TAL) (XAVIER *et al*., 2015).

O transporte aéreo por helicópteros é especialmente aplicável quando: as rotas terrestres são inexistentes, limitadas, congestionadas, danificadas ou bloqueadas por atividades inimigas ou obstáculos; a unidade suportada não tem outros veículos disponíveis adequados; e o fator tempo é crítico (USARMY, 2007). No entanto, deve-se salientar que as operações aéreas apresentam altos custos e dependem da quantidade e modelos de aeronaves disponíveis para a ação de resposta. Portanto, fica evidente a complexidade do planejamento das operações de transporte aéreo no contexto de respostas a desastre. Holguín-veras *et al.* (2012) consideram que a complexidade das atividades de transporte e distribuição de suprimentos críticos em grandes desastres está apenas começando a ser compreendia. Desta forma, Altay (2006) destaca que a pesquisa operacional tem significante aplicação para o gerenciamento dos programas de preparação dos desastres.

Neste contexto, este artigo apresenta uma revisão bibliográfica sistemática sobre aplicações de modelos matemáticos, desenvolvidos com base em técnicas de Pesquisa Operacional, que visam auxiliar a tomada de decisão no processo de distribuição da cadeia de suprimentos humanitária usando helicópteros. O objetivo deste estudo é identificar as principais características e práticas adotadas na modelagem matemática dos problemas de transporte de passageiros e entrega de suprimentos às pessoas afetadas, buscando identificar e citar o uso de helicópteros dentro do processo de modelagem.

2. METODOLOLOGIA

O trabalho de revisão sistemática de literatura segue a estratégia de pesquisa por protocolos definidos de localização de estudos existentes, seleção e avaliação de contribuições, análise e síntese de dados e evidências para a discussão do tema sobre “o que é” e “o que não é conhecido” no ambiente humanitário e uso de helicópteros (COOK et al., 1997). A proposta deste protocolo segue a orientação de Thomé et al. (2016) ao destacar a importância da revisão sistemática da literatura como um esforço de investigação, ressaltando a relevância do protocolo de pesquisa para este tipo de estudo.

Inicialmente, quatro bases de pesquisa são selecionadas - Web of Knowl-edge, Science Direct, Scopus, Emerald Insight. A busca é realizada por meio da combinação das palavras-chave "(helicopter and (distri-bution or logistic* or supply chain or last mile) and (emergenc* or disaster* or catastroph* or extreme even* or humanitarian* or aid* or assistance* or relief or response))". A limitação da pesquisa é feita para os textos acadêmicos e de congressos relacionando as áreas “Transportes”, “Pesquisa Operacional” e “Ciências Exatas”. Após aplicação do protocolo de pesquisa, os resultados em cada uma das quatro bases são cruzados para eliminar a repetição de resultados, sendo identificados 45 artigos. A análise de cada um destes artigos obedece o protocolo de exclusão.

Inicialmente, é realizada a leitura do título e resumo dos trabalhos, buscando-se por uso ou citação de modelos de otimização em logística humanitária e sistemas de distribuição de suprimentos e helicópteros. Após esta análise preliminar, sete dos 45 artigos são eliminados

por não referenciar o tema deste trabalho, 15 por não citar o uso de helicópteros, 5 resultados por não considerarem transporte de suprimentos e 5 artigos por não tratar modelos de otimização. Assim, ao final, somente 15 artigos são selecionados para a leitura completa. Deste total, foram identificados apenas nove artigos que de fato consideram a modelagem do emprego de helicópteros na cadeia humanitária. Em seguida, por meio da consulta às referências secundárias (*snow ball search*, segundo Thomé *et al.*, 2016), foram identificados mais quatro artigos, em um total de 13 artigos. Os treze artigos selecionados, organizados em ordem de publicação, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Identificação dos textos base da revisão de literatura

Autor	Título	Periódico
Haghani (1996)	Formulation and solution of a multi-commodity, multi-modal network ow model for disaster relief operations	Transp. Research. Part A
Barbarosoglu (2002)	An interactive approach for hierarquical analysis of helicopter logistics in disaster relief operations	Sim
Barbarosoglu (2004)	A two-stage stochastic programming framework for transportation planning in disaster response	Sim
Ozdamar (2004)	Emergency Logistics Planning in Natural Disasters	Sim
De Angelis (2007)	Multiperiod integrated routing and scheduling of World Food Programme cargo planes in Angola	Sim
Yi (2007)	A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities	Sim
Balcik (2008)	Last Mile Distribuition in Humanitarian Relief	Sim
Otan (2008)	Computer based decision support tool for helicopter mission planning in disaster relief and military operations	Sim
Passos (2010)	Apoio à calamidade: uma aplicação da roteirização de veículos	Sim
Ozdamar (2011a)	Planning helicopter logistics in disaster relief	OR Spectrum
Berkoune (2012)	Transportation in disaster response operations	Socio-Economic Planning Sciences
Najafi (2013)	A multi-objective robust optimization model for logistics planning in the earthquake response phase	Sim
Battini (2014)	Application of humanitarian last mile distribuition model	Sim

Após leitura e análise da contribuição de cada um dos artigos apresentados na Tabela 1, foi organizada uma rede de conexões, apresentada na Figura 1, objetivando entender a participação e a contribuição de cada trabalho na formação dos modelos de otimização e o uso de helicópteros nas ações humanitárias. Esta primeira análise permitiu identificar que os trabalhos de Haghani (1996), Barbarosoglu (2002), Barbarosoglu (2004) e Ozdamar (2004) são as referências mais citadas entre os trabalhos.

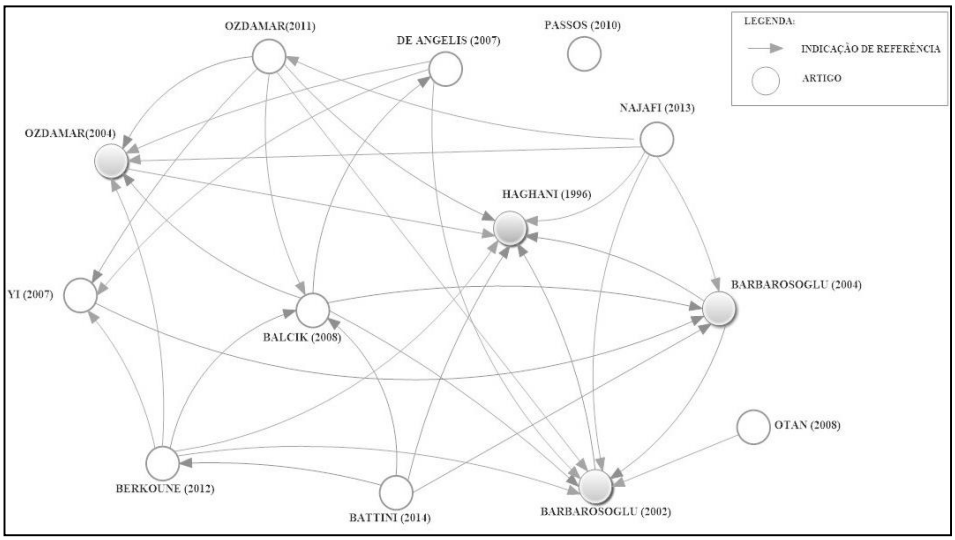


Figura 1 - Inter-relacionamento entre os 13 artigos selecionados para estudo

Na seção a seguir, os artigos apresentados na Tabela 1 são analisados, bem como suas propostas de estudo ou de aplicação são relacionadas e discutidas.

3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS MODELOS DA REVISÃO

Nas operações de distribuição, em que as vítimas estão localizadas em regiões de isolamento, as equipes de coordenação deverão providenciar diferentes itens de alívio e sistemas de transporte eficientes. Clark (2012) sinaliza que nestes situações dois tipos de planejamento de transportes podem ser utilizados: o primeiro estratégico, por considerar o planejamento de longo prazo, identificando recursos disponíveis e permitindo que os decisores avaliem os pontos fortes e fracos do sistema baseado em uma série de prováveis cenários de desastre; e o segundo tático/operacional, que oportunizará a busca de um planejamento a curto prazo aplicando a definição dos fluxos de materiais, roteirização de veículos e atendimento de solicitações de evacuação à população afetada.

Em análise aos treze trabalhos selecionados para estudo, todos concebem seus modelos aplicados no tipo de planejamento de transportes de forma tática/operacional, porém, são diferenciados quanto à definição do horizonte de planejamento. A seguir, apresenta-se uma síntese geral dos trabalhos avaliados.

3.1. Síntese geral

Os modelos propostos por Barbarosoglu (2004), e Ozdamar (2004), De Angelis (2007), Balcik (2008), Berkoune (2012) e Battini (2014), tratam exclusivamente do transporte de suprimentos, enquanto que os trabalhos de Barbarosoglu (2002), Yi (2007), Otan (2008), Passos (2010), Ozdamar (2011a) e Najafi (2013) consideram complexidades gerais do processo de transporte de vítimas das áreas afetadas até centros de atendimento. Em relação à fase de distribuição de última milha, ou seja, a etapa final do processo de atendimento humanitária com recursos à população afetada, apenas os trabalhos de Barbarosoglu (2002), Yi (2007), Otan (2008), Balcik (2008), Passos (2010), Ozdamar (2011a), Berkoune (2012), Najafi (2013) e Battini (2014) citam experiências no tema. E, a maioria dos trabalhos avaliados (próximo a 85%) consideram que o emprego de helicópteros em desastres naturais

possui um impactar positivo nas ações de campo quando grandes áreas estiverem comprometidas severamente (infraestrutura de transportes).

Os trabalhos de Haghani (1996), Ozdamar (2004), De Angelis (2007), Yi (2007), Balcik (2008), Najafi (2013) e Battini (2014) trabalham com a formulação de um problema multiperíodo considerando as incertezas e as variações dos parâmetros de suprimentos, demanda e disponibilidade de veículos. E os trabalhos de Barbarosoglu (2002), Barbarosoglu (2004), Otan (2008), Passos (2010), Ozdamar (2011a) e Berkoune (2012) apresentam modelos de aplicação por um único período de planejamento para a definição de uma rede de distribuição com bom nível de detalhe refletindo os desafios diários enfrentados no gerenciamento dos complexos procedimentos de distribuição de ajuda humanitária.

Em percepção aos treze artigos analisados, apenas os trabalhos de Balcik (2008) e Passos (2010) consideram um único depósito para a operação de distribuição e atendimento, contrariando os demais trabalhos que consideram uma rede com múltiplos depósitos com origens dos fluxos de produtos sentido às áreas afetadas.

Dependendo da dimensão do desastre e da necessidade de ajuda humanitária, diversos stakeholders (governos, agências internacionais, organizações não governamentais, e o setor privado) poderão surgir e disponibilizar recursos para ações de resposta (BANDEIRA, 2011; NATARAJARATHINAM, 2009). Dessa maneira, considerar uma frota de veículos heterogênea é uma característica importante em modelos que tratam do processo de distribuição de alívio e são destacados nos trabalhos de Haghani (1996), Balcik (2008), e Berkoune (2012). Os modelos de otimização que abordam o emprego de helicópteros em conjuntos com os outros sistemas de movimentação aparecem referenciados nos trabalhos de Barbarosoglu (2004), YI (2007) e Battini (2014).

Dentre todas os trabalhos analisados, Najafi (2013), De Angelis (2007) e Ozdamar (2004) se destacam por apresentar modelos de otimização que consideram a possibilidade de utilização de modais aéreos, rodoviários e ferroviário, e Barbarosoglu (2002), Otan (2008), Passos (2010) e Ozdamar (2011a) que consideram o uso exclusivo de helicópteros.

3.2. Tipo de Modelagem

A modelagem das atividades de transporte e de distribuição de ajuda humanitária aplicam formulações e representações diferentes em definição dos veículos e suas capacidades. Essas representações afetam o tamanho e a complexidade do modelo e, portanto, tem impacto direto no tempo computacional para obtenção da solução. Assim, Ozdamar (2015) cita que os modelos de transporte em logística humanitária podem ser enquadrados em três categorias, de acordo com o tipo de representação dos veículos. A saber:

- *Fluxos em Redes:* os veículos são representados por variáveis inteiras associados ao fluxo de produtos entre dois nós. Para os casos em que a rede, com N nós, ou seja, dinâmica (multiperíodo), haverá um índice relacionado ao tempo do horizonte de planejamento (T) (HAGHANI, 1996; OZDAMAR, 2004; YI, 2007; NAJAFI, 2013; OTAN, 2008). Na abordagem de fluxo em rede dinâmica tempo-espaço, cria-se uma estrutura com T^2N^2 variáveis inteiras e para a obtenção das rotas dos veículos, é necessário um pós-processamento da solução. No entanto, quando considera-se apenas um período para o horizonte de planejamento, tem-se um fluxo em rede estático com N^2 variáveis inteiras representando os veículos (BARBAROSOGLU, 2004;

OZDAMAR, 2011a). Ozdamar (2011b) acrescenta que por conta do menor número de variáveis, a modelagem estática do fluxo em rede é mais eficiente que a modelagem dinâmica.

- *Enumeração de rotas:* um estágio de pré-processamento é construído o vetor *R* que possui todas as rotas viáveis entre todos trechos de nós de suprimento e demanda. Posteriormente, é necessário resolver um problema de alocação os veículos às rotas ótimas de modo que satisfaçam a demanda, disponibilidade, entre outras restrições (BALCIK, 2008; BATTINI, 2014). A abordagem de enumeração dinâmica de rotas tem *vRT* variáveis binárias, sendo *v* o número de veículos, *R* a quantidade de rotas, *T* o número de períodos. No caso de uma rede com *M* depósitos e *N* nós, a cardinalidade de *R* pode ser igual a $(2^{N-2}M(n-M))$. Assim, para redes de alívio em grande escala, a construção de *R* rotas torna-se uma tarefa complexa e a solução de enumeração por métodos exatos será intratável, requerendo longos tempo de computacionais (OZDAMAR, 2015).
- *Roteirização de veículos:* os veículos são representados por variáveis binárias que especificam índices dos trechos, veículos e viagem. Assim, são criadas vrN^2 variáveis binárias, onde *v* é o número de veículos, *r* é o número de viagens permitida para cada veículo e *N* é o número de nós da rede. Para os modelos dessa categoria as rotas são explicitamente construídas, não sendo necessário etapas de pré ou pós processamento (BARBAROSOGLU, 2002; BERKOUNE, 2012; DE ANGELIS, 2007; PASSOS, 2010 e OTAN, 2008).

3.3. Função Objetivo

Os modelos de otimização em logística humanitária que envolvem problemas de distribuição devem, prioritariamente, inserir em sua função objetivo (FO) os objetivos conflitantes de alocação de recursos limitadas (HOLGUÍN-VERAS, 2013). Deste modo, as funções objetivo poderão considerar a minimização da demanda não atendida, a maximização de beneficiários, ou a minimização do tempo de atendimento, por exemplo (HOLGUÍN-VERAS, 2013; HOLGUÍN-VERAS, 2012a).

A minimização dos custos logísticos (transporte, inventário ou a combinação destes) e/ou os custos de penalização devido aos atrasos ou não atendimento das demandas de diferentes suprimentos de emergência, fazem parte dos objetivos definidos nos trabalhos de Haghani (1996), Barbarosoglu (2002), Barbarosoglu (2004), Balcik (2008), Najafi (2013) e Battini (2014). A minimização da demanda de beneficiários não atendidos é tratada nos textos de Ozdamar (2004), Yi (2007), Balcik (2008) e Passos (2010) e nos trabalhos de De Angelis (2007), Otan (2008) e Battini (2014) a maximização do número de beneficiários atendidos passam a ser priorizadas como objetivo.

Dentre os trezes trabalhos analisados, o trabalho de De Angelis (2007) chama a atenção por apenas maximizar a demanda atendida e não levar em consideração o tempo que as vítimas podem ter sido privadas de suprimentos essenciais e desconsidera a urgência do atendimento. Apesar disso, este tipo a modelagem é viável ao estudo deste artigo, pois ela pode ser usada para fazer cumprir as normas mínimas de atendimento.

A rapidez na execução do atendimento da demanda é um objetivo abordado por Barbarosoglu (2002), Otan (2008), Ozdamar (2011a) e Berkoune (2012) e que alcançam, através da minimização do tempo total de operação dos veículos, etapas de carga/descarga e tempo de

reabastecimento (incluindo os tempos de translado).

Para Holguín-Veras (2013) os modelos que utilizam prioridades, como os modelos de Yi (2007), Otan (2008) e Najafi (2013), ou fatores de penalidades, apresentado por e Barbarosoglu (2004) e Balcik (2008), podem fornecer níveis mais equilibrados de serviços e definições subjetivas dos parâmetros de priorização ou penalização que culminem em soluções que não capturam a natureza dinâmica das necessidades das pessoas afetadas.

3.4. Nível de Incerteza dos Modelos

Barbarosoglu (2004) considera que as previsões sobre o momento, a magnitude e os impactos de um desastre podem ser tarefas difíceis. Dessa maneira, são inseridas variáveis aleatórias para representar o comportamento da demanda, disponibilidade de suprimentos e alterações na trafegabilidade das vias. Najafi (2013) adota a incerteza na demanda como um parâmetro estocástico da modelagem e a principal contribuição dos artigos em estudo é a abordagem das diferentes fontes de incerteza em um contexto pós-desastre, proporcionando assim um plano de gerenciamento de crise e distribuição mais robusto.

Nos demais trabalhos, observa-se que os parâmetros são determinísticos e o planejamento diário da distribuição é uma consideração aceitável, mas não recomendada para longos horizontes de planejamento da distribuição (HOLGUÍN-VERAS, 2013).

3.5. Métodos de Solução

Devido às diferentes abordagens na formulação e no grau de detalhamento de cada um dos treze trabalhos em estudo, é percebido que cada modelo adota uma estratégia de solução específica e, assim, permite-se obter resultados em tempo computacional julgado adequado ao apoio na tomada de decisão.

Os trabalhos de Barbarosoglu (2002), Barbarosoglu (2004), Ozdamar (2004), De Angelis (2007), Yi (2007), Balcik (2008), Otan (2008), Berkoune (2012), Passos (2010), Ozdamar (2011a), e Battini (2014) consideraram que a utilização de solvers comerciais para a obtenção de soluções exatas de pequenas instâncias são viáveis a operação de resposta e agilidade no planejamento dos processos de distribuição. E, as aplicações com métodos heurísticos propostos por Haghani (1996), Ozdamar (2004), Berkoune (2012) e Najafi (2013) são mais complexos e podem interferir significativa no tempo de decisão caso não haja equipe com habilidade para condução da solução.

Alguns métodos de solução são explicados nos trabalhos de Haghani (1996) que utiliza um método de solução decompondo o modelo em subproblemas com base na relaxação Lagrangiana, o que permite uma melhor exploração da estrutura do modelo para o primeiro modelo criado e, após este trabalho, trabalha no segundo algoritmo um método ad hoc para corrigir as variáveis inteiras gradualmente em cada iteração até que todas as variáveis assumam valores inteiros; Berkoune (2012) que estabelece três estratégias para solução de seu modelo, sendo a primeira um método exato pelo algoritmo de branch-and-bound do CPLEX para pequenas instâncias, a segunda uma construção heurística gulosa (Greedy Heuristic) e a terceira por algoritmos genéticos; Otan (2008) sugere o uso de um método mais simples por Busca Tabu (Tabu Search) combinado com o método de Simulated Annealing; e Ozdamar (2004) faz uma proposta de resolução por dois métodos heurísticos, o primeiro com Relaxação Lagrangiana e a segunda por um método heurístico guloso (Greedy Heuristic).

3.6. Aplicações dos Modelos ao Tema

Quando analisado os artigos sobre a visão das "aplicações", observa-se que os trabalhos de Haghani (1996), Balcik (2008) e Berkoune (2012) trabalham os modelos de distribuição de suprimentos em ambiente acadêmico (teórico) enquanto que os demais trabalhos citam estudos de casos, destacando o trabalho de De Angelis (2007) aplicado no planejamento do fornecimento de suprimentos durante a guerra civil na Angola, Passos (2010) no evento de resposta ao desastre do Vale do Itajaí/Brasil de ocorrido em 2008, Barbarosoglu (2002), Barbarosoglu (2004), Ozdamar (2004), Yi (2007), Otan (2008) e Ozdamar (2011a) aplicados no terremoto na região da Turquia em 1999 e, os trabalhos de Najafi (2013) e Battini (2014) nos desastres do Haiti em 2010.

3.7. Restrições apresentadas

Todos os modelos analisados respeitam as restrições de disponibilidade de fornecimento de suprimentos e/ou a capacidade hospitalares para atendimento das vítimas. A distribuição igualitária de ajuda humanitária é abordada na maioria dos modelos, porém Najafi (2013) e Otan (2008) propões parâmetros à prioridade dos atendimentos e De Angelis (2007) define um limite mínimo para o atendimento das demandas.

Dentre as restrições apresentadas em cada modelo, as restrições de Yi (2007) e Otan (2008) se destacam por compatibilizar o transporte de cargas por tipos de veículos e suas especificidades e Ozdamar (2004) e Balcik (2008) por analisar situações em que veículos estejam habilitados a percorrer determinadas rotas (caso uma rota é perigosa, ou não pode ser trafegada, um alto custo de viagem é atribuído no trecho).

Em relação à proposta do tema deste artigo, que é buscar aplicações de helicópteros nas ações humanitárias de distribuição, os treze artigos citam, brevemente, apenas restrições envolvendo o emprego dos helicópteros às informações de peso da carga a ser transportada, devido ao limite do peso máximo para decolagem e operação do sistema. Assim, os cálculos de carga são trabalhados em todos os voos, garantindo que o veículo opere dentro dos limites estabelecidos pelo fabricante e não exceda o peso bruto para as condições locais (BARBAROSOGLU, 2002).

As restrições relacionadas ao limite de volume transportado são adotadas especificamente nos trabalhos de Balcik (2008), Berkoune (2012) e Najafi (2013). Apesar de serem desconsideradas na maioria das modelagens, a restrição de transporte de volume tem grande impacto nas decisões de campo, pois na acomodação das cargas deve-se respeitar o limite de ocupação do interior das aeronaves (USARMY, 2012). E, quando estas restrições inseridas nos modelos, como citação dos modelos de Haghani (1996), Barbarosoglu (2004), Yi (2007), Otan (2008), De Angelis (2007) e Battini (2014), as restrições de capacidade dos veículos passam a ser definidas em unidades de carga e nos modelos abordam o transporte de passageiros e/ou feridos a limitação da capacidade dos helicópteros é definida pela disponibilidade de assentos.

Outras restrições complementares são localização nos modelos de Barbarosoglu (2002), Otan (2008) e Ozdamar (2011a) quanto a associadas às atividades de reabastecimento das aeronaves durante a operação e apenas nos períodos de carga/embarque e ou nos períodos de descarga/desembarque em qualquer um dos pontos de distribuição.

Em geral, deve-se observar que os modelos de otimização não contemplam em sua estrutura custos logísticos (BERKOUNE, 2012; DE ANGELIS, 2007; OTAN, 2008; OZDAMAR (2004); OZDAMAR, 2011a; PASSOS, 2010; YI, 2007) e os orçamentos de utilização dos veículos de transporte.

3.8. Comparação entre os modelos estudados

A Tabela 2 sintetiza os resultados da análise da pesquisa bibliográfica apresentada nesta seção, fornecendo uma visão geral da análise comparativa dos artigos selecionados para esta etapa da pesquisa.

Tabela 2 – Identificação dos textos base da revisão de literatura

Artigo	Dados	Tipo / Mod. Veic.	Função Objetivo	Periodo	Produto	Depósito	Frota	Restrições dos veículos	Modal
BALCIK (2008)	Dinam.	RE	MinOC; MinCUD	Multi	Multi	Mono	Het.	V/WTW/LF	Térreo
BARBAROSOGLU (2002)	Estoc.	CVR	MinOC; MinTT	Mono	Multi	Multi	Het.	Un.	Aéreo
BARBAROSOGLU (2004)	Determ.	NF	MinOC	Multi	Multi	Multi	Het.	Un.	Multi
BATTINI (2014)	Determ.	RE	MinOC	Multi	Multi	Multi	Het.	Un.	Multi
BERKOUNE (2012)	Determ.	CVR	MinTT	Mono	Multi	Multi	Het.	W/V/WTW	Térreo
DE ANGELIS (2007)	Determ.	CVR	MaxMCD	Multi	Mono	Multi	Het.	U/TW/LF/CP/MD	Aéreo
HAGHANI (1996)	Determ.	NF	MinOC	Multi	Multi	Multi	Het.	U/LF	Multi
NAJAFI (2013)	Estoc.	NF	MinOC;MinCUD	Multi	Multi	Multi	Het.	W/V	Multi
os OTAN (2008) - Model C1	Estoc.	CVR	MinTT	Unico	Multi	Multi	Het.	W/Un./LF/RF	Aéreo
OTAN (2008) - Model NC2	Estoc.	CVR	MinOC	Único	Multi	Multi	Het.	W/Un./RF	Aéreo
OTAN (2008) - Model AN3	Estoc.	CVR	MinCUD/MinTT/ MaxMCD	Único	Multi	Multi	Meta Het.	Un.	Aéreo
OTAN (2008) - Model AN4	Estoc.	CVR	MinTT/Ot	Único	Multi	Multi	Het.	Un.	Aéreo
OZDAMAR (2004)	Estoc.	NF	MinCuD	Multi	Multi	Multi	Het.	W/LF/WTW	Multi
OZDAMAR (2011a)	Determ.	NF	MinTT	Mono	Multi	Multi	Homo.	W/Un./LF/RF	Térreo
PASSOS (2010)	Determ.	CVR	MinCUD	Mono	Multi	Multi	Het.	W/Un	Aéreo
YI (2007)	Estoc.	NF	MinTT;Ou.	Multi	Mono	Mono	Hom.	W/LF	Térreo

A partir da segunda coluna da Tabela 2, é possível verificar os tipos de dados utilizados pelos autores na modelagem (estocásticos ou determinísticos), sendo que apenas dois modelos (BARBAROSOGLU, 2004; NAJAFI, 2013) consideraram parâmetros estocásticos. Ainda, em sua terceira e quarta coluna, a Tabela 2 apresenta o estilo de modelagem dos veículos e o tipo de função objetivo definida, respectivamente. Observa-se que, na maioria dos modelos, adotou-se a representação dos veículos por meio de variáveis binárias associadas seus índices aos trechos, ao tipo do veículo e à viagem, como em BARBAROSOGLU (2002), BERKOUNE (2012), DE ANGELIS (2007), OTAN (2008) e PASSOS (2010). Com relação à função objetivo, verifica-se que os dois principais aspectos observados na função objetivo são: a minimização do tempo total (BARBAROSOGLU, 2002;BERK-OUNE, 2012; OTAN, 2008; OZDAMAR, 2011a e YI, 2007b) e a minimização do custo total da operação (BALCIK (2008); BARBAROSOGLU (2002); BARBAROSOGLU (2004);). Destaca-se

que, alguns dos modelos apresentados possuem função objetivo múltipla, sendo que nesses casos a minimização dos custos sempre é considerada (BAL-CIK, 2008; BARBAROSOGLU, 2002; BATTINI, 2014; NAJAFI, 2013).

As colunas quinta, sexta e sétima da Tabela 2 relacionam as abordagens dos modelos quanto ao número de períodos, produtos e depósitos. Dentro deste cenário, é possível verificar a existência de um equilíbrio entre as proposições mono e multiperíodo; somente os trabalhos de De Angelis (2007) e Yi (2007) assumem um fluxo de mono produto (agregado), enquanto que os demais trabalhos consideram múltiplos produtos. A oitava coluna da Tabela 2referencia as composições de frota, enquanto a nona coluna resume as principais restrições que limitam o emprego dos veículos e que envolve a capacidade de peso, capacidade volumétrica, capacidade para passageiros e/ou unidades de carga, jornada de trabalho dos veículos e para a tripulação, janelas de tempo de entrega, tempo de distribuição de deslocamento, custo, número de veículos disponíveis e, o número de unidades para transportar. A décima coluna apresenta o tipo de modal de transporte citado no trabalho.

Os métodos de solução propostos pelos autores são declarados na décima primeira coluna da Tabela 2, sendo que, devido à complexidade dos problemas, métodos exatos, heurísticos e meta heurísticos são os mais utilizados. Softwares comerciais como o CPLEX da IBMLOG são citados em algumas validações devido a modelagem de roteirização exigir a utilização de métodos de aproximação.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio da revisão sistemática de literatura, verificou-se que poucas são as publicações que referenciam a distribuição de ajuda humanitária empregando helicópteros na distribuição de suprimentos. Este é um problema complexo e carece de maior atenção por parte do meio acadêmico pois as dificuldades para solução desse problema aumentam à medida que o nível de detalhamento é aprimorado (OZDAMAR, 2015). Por exemplo, quando se deseja modelar um sistema o mais próximo da realidade, considerando simultaneamente parâmetros estocásticos, frota heterogênea em uma rede multiperíodo e multiproduto com diversas restrições operacionais, o modelo é complexo e extremamente difícil de resolver e exige grande esforço computacional. Assim, é recomendável que, no desenvolvimento da modelagem, sejam escolhidas as características que melhor se adaptem ao contexto do estudo e estabeleçam suposições para simplificar o modelo

Os modelos de transporte e distribuição humanitários verificados nos trabalhos utilizam a abordagem de representação por roteirização de veículos (helicópteros) representados por variáveis binárias e definidas por índices de trechos, veículos e viagem (BARBAROSOGLU, 2002; BERKOUNE, 2012; DE ANGELIS, 2007; PASSOS, 2010 e OTAN, 2008). Uma vantagem percebida na verificação é que, neste tipo de modelagem, as rotas são construídas e não necessitam das etapas de pré ou pós processamento.

A análise dos trabalhos permite entender que o emprego dos helicópteros no suporte logístico humanitário será utilizado quando houver a construção de um procedimento para auxiliar na tomada de decisão. O modelo a ser desenhado deverá ser único e integrar as características da região afetada. Balcik (2008) considera que uma das principais decisões operacionais, relacionadas a distribuição da última milha, é a roteirização de veículos e por isso, as ações de resposta podem atender desastres e as catástrofes (desastres de larga escala) (HOLGUÍN-

VERAS, 2012a). O primeiro modelo (atendimento a desastres) considera que um problema roteirização de veículos (PRV) seja adequado para determinar a quantidade de missões, necessárias para distribuição de suprimentos e recursos humanos, e para definir o número de aeronaves empregar. E o segundo modelo (desastres de larga escala) para grandes áreas são completamente destruídas e são necessários enormes quantidades de envio de ajuda humanitária.

Por fim, considerando os trabalhos avaliados, o trabalho de Berkoune (2012) se destaca por apresentar uma proposta de modelagem mais próxima da realidade por focar a minimização do tempo de atendimento na última etapa na cadeia de suprimentos humanitários e permitir o planejamento do emprego de helicópteros em benefícios da população afetada em uma rede multidepósito, multiproduto e com múltiplos pontos de atendimento, monoperíodo e com veículos heterogêneos representados por índices de atendimento imediato aos itinerários de urgência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALCIK, B., BEAMON, B. e SMILOWITZ, K. Last Mile Distrinuition in Humanitarian Relief. Journal of Intelligent Transportation Systems, págs. 51-63, 2008.

BALCIK, B., BEAMON, B. M., KREJCI, C. C., MURAMATSU, K. M. e RAMIREZ, M. Coordination in humanitarian relief chains: Practices, challenges and opportunities. International Journal of Production Economics, volume 126, págs. 22-34, 2010. ISSN 09255273.

BANDEIRA, R. A. M., CAMPOS, V. B. G. e DE PAULA FONTAINHAS BANDEIRA, A. Uma visão logística de atendimento à população atingida. XXV ANPET, 2011.

BARBAROSOGLU, G. e ARDA, Y. A two-stage stochastic programming framework for transportation planning in disaster response. Journal of the Operational Research Society, volume 55, págs. 43-53, 2004.

BARBAROSOGLU, G. e ÇEVIK, L. O. A. An interactive approach for hierarquical analysis of helicopter logistics in disaster relief operations. European Journal of Operations Reasearch, págs. 118-133, 2002.

BARBAROSOGLU, G., ÖZDAMAR, L. e ÇEVIK, A. An interactive approach for hierarchical analysis of helicopter logistics in disaster relief operations. European Journal of Operational Research, volume 140, págs. 118-133, 2002. ISSN 03772217.

BASTOS, M. A. G., BANDEIRA, R. A. DE M., E CAMPOS, V. B. G. (2015) Operações de resposta a desastres: proposta de um modelo de gestão e de um protótipo de banco de dados. Revista Produção Online, 15(2), 482–503. Obtido de http://producaoonline.org.br/

BATTINI, D., PERETTI, U., PERSONA, A. e SGARBOSSA, F. Application of humanitarian last mile distribution model. Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management, volume 4, págs. 131-148, 2014. ISSN 2042-6747.

BLECKEN, A., 2009. A Reference Task Model for Supply Chain Processes of Humanitarian Organizations. Universität Paderborn, Alemanha.

BERKOUNE, D., RENAUD, J., REKIK, M. e RUIZ, A. Transportation in disaster response operations. Socio-Economic Planning Sciences, volume 46, págs. 23-32, 2012. ISSN 00380121.

BRASIL. Comando do exército - EB20-MC-10.214. pág. 84, 29 Jan 2014 2014.

CLARK, A. e CULKIN, B. A network transshipment model for planning humanitarian relief operations after a natural disaster. volume 44, págs. 1-34, 2012. Disponível: http://eprints.uwe.ac.uk/17612/.

COMAER. IOC PRO-15 - Emprego da II FAE em caso de desastres. Comando da Aeronáutica, 23 p., 2013.

COOK, D.J.; MULROW, C.D.; HAYNES, R.B. (1997). Systematic reviews: synthesis of best evidence for clinical decisions. Annals of Internal Medicine, v.126, n.5, pp.376-380.

DE ANGELIS, V., MECOLI, M., NIKOI, C. e STORCHI, G. Multiperiod integrated routing and scheduling of World Food Programme cargo planes in Angola. Computers and Operations Research, volume 34, págs. 1601-1615, 2007. ISSN 03050548.

HAGHANI, A. e OH, S. C. Formulation and solution of a multi-commodity, multi-modal network how model for disaster relief operations. Transportation Research Part A: Policy and Practice, volume 30, págs. 231-250, 1996. ISSN 09658564.

HOLGUÍN-VERAS, J. e HART, W. H. Humanitarian Logistics Structures: Field Investigation on their Comparative Performance and Implications for the US. Rensselear, 1-90 p., 2011.

HOLGUÍN-VERAS, J., JALLER, M., VANWASSENHOVE, L. N., PÉREZ, N. eWACHTENDORF, T. On the unique features of post-disaster humanitarian logistics. Journal of Operations Management, volume 30, págs. 494-506, 2012a. ISSN 02726963. Disponível: http://dx.doi.org/10.1016/j.jom.2012.08.003.

HOLGUÍN-VERAS, J., JALLER, M. e WACHTENDORF, T. Comparative performance of alternative humanitarian logistic structures after the Portau. Prince earthquake: ACEs, PIEs, and CANs. Transportation Research Part A: Policy and Practice, volume 46, págs. 1623-1640, 2012b.

HOLGUÍN-VERAS, J., PÉREZ, N., JALLER, M., VAN WASSENHOVE, L. N. e AROS-VERA, F. On the appropriate objective function for postdisaster humanitarian logistics models. Journal of Operations Management, volume 31, págs. 262-280, 2013. ISSN 02726963.

HOLGUÍN-VERAS, J., PÉREZ, N., UKKUSURI, S., WACHTENDORF, T. e BROWN, B. Emergency Logistics Issues A ecting the Response to Katrina: A Synthesis and Preliminary Suggestions for Improvement. Transportation Research Record, volume 2022, págs. 76 82, 2008. ISSN 0361-1981.

HOLGUÍN-VERAS, J., PH, D., HART, W. H., JEC, R., TROY, N. Y. e AROS-VERA, F. The Lessons from Catastrophic Events for Post-Disaster Humanitarian Logistic Efforts: The Port Au Prince Earthquake and the Tohoku Disasters. Transportation Research Board (TRB) 92nd Annual Meeting, págs. 1-15, 2012.

KAPUCU, N. The Role of the Military in Disaster Response in the US. European Journal of Economic & Political, volume 4, págs. 7-33, 2011.

KOVÁCS, G. e SPENS, K. M. Relief supply chain management for disasters: humanitarian aid and emergency logistics. 253 p., 2012. ISBN 9781609608248.

NAJAFI, M., ESHGHI, K. e DULLAERT, W. A multi-objective robust optimization model for logistics planning in the earthquake response phase. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, volume 49, págs. 217-249, 2013. ISSN 13665545.

NATARAJARATHINAM, M., CAPAR, I. e NARAYANAN, A. Managing supply chains in times of crisis: a review of literature and insights. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, volume 39, págs. 535-573, 2009. ISSN 0960-0035.

OLORUNTOBA, R. e GRAY, R. Humanitarian aid: an agile supply chain? Supply Chain Management: An International Journal, volume 11, págs. 115-120, 2006.

OTAN. Computer based decision support toll for helicopter mission planning in disaster relief and military operations. OTAN - Research and Technology Organization, págs. 1-298, 2008.

OZDAMAR, L. Planning helicopter logistics in disaster relief. OR Spectrum 33, págs. 655-672, 2011a.

OZDAMAR, L. e DEMIR, O. A hierarchical clustering and routing procedure for large scale disaster relief logistics planning. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, volume 48, págs. 591-602, 2012. ISSN 13665545.

OZDAMAR, L., EKINCI, E. e KUÇUKYAZACI, B. Emergency logistics planning in natural disasters. Annals of Operations Research, págs. 217-245, 2004.

OZDAMAR, L. e ERTEM, M. A. Models, solutions and enabling Technologies in humanitarian logistics. European Journal of Operational Research, volume 244, págs. 55-65, 2015. ISSN 03772217.

OZDAMAR, L. e PEDAMALLU, C. S. A comparison of two mathematical models for earthquake relief logistics. International Journal of Logistics Systems and Management, volume 10, pág. 361, 2011b.

PASSOS, R. F. Apoio a calamidade - Uma aplicação da roteirização de veículos com coleta e entrega simultânea. XLII SBPO, págs. 2123-2134, 2010.

SILVA, L. F., 2011. Gestão da Logística Humanitária: proposta de um referencial teórico. Dissertação de Mestrado em Administração. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPEAD.

RATH, S.; GUTJAHR, W. J., 2014. A math-heuristic for the warehouse location–routing problem in disaster relief. Computers & Operations Research 42, 25–39.

THOMÉ, A.M.; SCAVARDA, L. F.; SCAVARDA, A.J. (2016). Conducting systematic literature review in operations management, Production Planning & Control, DOI: 10.1080/09537287.2015.1129464.

USARMY. Utility and Cargo Helicopter Operations, volume FM 3-04.11. Department of the Army, Washington, DC, 250 p., 2007. Disponível: www.us.army.mil.

XAVIER, I. R., BANDEIRA, R. A. D. M. e BANDEIRA, A. D. P. F. Análise do emprego de helicópteros para transporte aéreo logístico em resposta a desastres naturais. XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da Anpet, volume Logística, págs. 376-387, 2015.

YI, W. e ÖZDAMAR, L. A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities. European Journal of Operational Research, volume 179, págs. 1177-1193, 2007.

SIMULAÇÃO DOS PROCESSOS DE AQUISIÇÃO E TRANSPORTE DE ITENS DE PRIMEIRA NECESSIDADE NUMA SITUAÇÃO DE INUNDAÇÃO OCORRIDA NO ESTADO DE SANTA CATARINA

Dyego Alex da Silva
Fabiana Santos Lima*
Ricardo Villarroel Dávalos
Gabriela Begnini
Universidade Federal de Santa Catarina
Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas Programa de
Pós-Graduação em Engenharia de Produção*

RESUMO
Dada a frequente necessidade de ações envolvendo atividades de Logística Humanitária no Estado de Santa Catarina, devido a constante ocorrência de desastres, o estudo das atividades envolvidas no processo de atendimento da população atingida torna-se necessário para que se alcance maior eficiência e se eleve a taxa de sucesso destas. Dentro desse contexto, simulação computacional apresenta-se como ferramenta que possibilita a experimentação e a avaliação destas atividades e os impactos decorrentes de alterações nos seus níveis. Este trabalho apresenta a simulação de cenários das atividades de aquisição e transporte para a entrega dos itens de assistência humanitária em locais atingidos por inundações no estado de SC. Para isto, com base nos processos descritos na literatura um modelo de simulação foi desenvolvido utilizando o software ARENA®, modelo o qual é avaliado e posteriormente tem seus resultados apresentados e discutidos. Como principal contribuição, este estudo visa à possibilidade de quantificar os impactos causados a população atingida por alterações nas condições de transporte e sugerir melhorias que poderiam ser adotadas como forma de minimizar estes impactos.

ABSTRACT
Given the frequent need for actions involving Humanitarian Logistics activities in the State of Santa Catarina, due to the constant occurrence of disasters, the study of the activities involved in the process of attending to the affected population becomes necessary to achieve greater efficiency and increase Rate of success. Within this context, computational simulation presents itself as a tool that enables the experimentation and evaluation of these activities and the impacts resulting from changes in their levels. This work presents the simulation of scenarios of the acquisition and transportation activities for the delivery of humanitarian assistance items in areas affected by floods in the state of SC. For this, based on the processes described in the literature, a simulation model was created using the ARENA® software, which model is evaluated and subsequently has its results presented and discussed. As a main contribution, this paper aims to quantify the impacts caused to the population affected by changes in transport conditions and to suggest improvements that could be adopted as a way to minimize these impacts

1. INTRODUÇÃO

Anualmente desastres originados por eventos naturais, afetam centenas de milhões de pessoas em todo o planeta e isto se justifica em parte pelas mudanças climáticas em conjunto com o crescimento populacional que fazem com que exista um número crescente de pessoas vivendo em áreas de risco (DIPNU, 2016).

Os desastres são definidos quanto a sua evolução como: súbitos ou de evolução aguda (evolui pela violência dos eventos adversos e, por exemplo: deslizamentos, enxurradas, vendavais, etc.); evolução crónica ou gradual (evolui por etapas ou progressivamente e, por exemplo: seca enchente erosão, etc.) e; por soma de efeitos parciais (soma de ocorrências com características semelhantes, por exemplo: acidente de trânsito e de trabalho, cólera, malária, etc.) (PNDC, 2007).

O Estado de Santa Catarina é afetado por uma grande diversidade de eventos, existem

registros de danos relacionados tanto a severas estiagens como a grandes inundações e enxurradas. É um dos estados brasileiros mais atingidos por granizos, vendavais, tornados e deslizamentos (CEPED-UFSC, 2016).
Segundo Rebequi (2012), o Estado de Santa Catarina registrou 12,2% de todos os desastres naturais (tornados, enchentes, estiagens e ressacas) ocorridos no Brasil entre 1991 e 2010, apesar de representar apenas 1,2% do território nacional. O Estado está no terceiro lugar do ranking (atrás dos Estados de Rio Grande do Sul e Minas Gerais) onde mais ocorrem estes fenômenos naturais.

Dada a frequente necessidade de ações envolvendo atividades de Logística Humanitária (LH) no Estado de Santa Catarina, devido a constante ocorrência de desastres, o estudo das atividades envolvidas no processo de atendimento da população atingida torna-se necessário para que se alcance maior eficiência e se eleve a taxa de sucesso destas.

Define-se a LH, como o processo de planejamento, implementação e controle do fluxo eficiente, e o armazenamento de produtos, materiais e informações relacionadas ao atendimento de catástrofes, desde o ponto de origem até ao ponto de consumo para satisfazer os requisitos dos beneficiários (THOMAS, 2005), surge como forma de amenizar os efeitos destas crises funcionando como um canal entre a preparação e resposta a desastres.

A Secretaria de Estado da Defesa Civil do Estado de Santa Catarina (SEDC/SC) é responsável pela coordenação das ações envolvidas na gestão dos desastres no estado de Santa Catarina e atua em dois segmentos: prevenção e resposta. Sendo a resposta o segmento foco deste trabalho.

Este artigo tem como finalidade simular um cenário de inundação no estado de SC, utilizando atividades de aquisição e transporte para a entrega dos itens de assistência humanitária no local atingido. Para isto, com base nos processos descritos na literatura e os observados na SEDC/SC foi desenvolvido modelo de simulação e os indicadores obtidos são analisados para quantificar os impactos causados a população atingida por alterações nas condições de transporte e sugerir melhorias que podem ser adotadas como forma de minimizar estes impactos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Aspectos gerais da Logística Humanitária

A Política Nacional de Defesa Civil (UFSC-CEPED, 2012) define desastre como uma séria interrupção no funcionamento de uma comunidade ocasionando uma grande quantidade de mortes, perdas e impactos materiais, econômicos e ambientais que excedem a capacidade desta comunidade ou sociedade para reagir ao ocorrido mediante o uso de seus próprios recursos.

As quatro etapas de um ciclo de vida de um dessastre são: mitigação, voltada para prevenir ou reduzir o impacto da ocorrência de um desastre; preparação, que visa capacitar a comunidade para responder a um desastre; resposta, onde estão compreendidos os recursos e os procedimentos de emergência utilizados imediatamente após o desastre ocorrer e; recuperação, onde são tomadas ações a longo prazo (ALTAY e GREEN, 2006). Na etapa de resposta é onde fica mais evidente a importância de ações coordenadas no âmbito das atividades da LH.

Como forma de amenizar a situação das comunidades atingidas a LH traz um adequado gerenciamento relacionado aos bens de consumo necessários e garante que estes bens cheguem aos atingidos. A resposta da LH inclui preparação, planejamento, avaliação, recurso, mobilização, aquisição, transporte, armazenagem e distribuição (OZBAY and OZGUVEN, 2007 apud. MOHAN, 2013).

A característica específica da LH é o envolvimento da vida humana, o que significa que o auxílio deve chegar ao seu destino na quantidade e no tempo certo, sempre com foco no alívio do sofrimento e na preservação da vida (NOGUEIRA et al., 2009). Por isso, a LH tem de ser gerida de forma eficaz e eficiente, visto que a velocidade de resposta é dependente da capacidade de logística para adquirir, transportar e receber o material no local de ajuda humanitária (FALASCA e ZOBEL 2011).

A resposta as demandas no início de um desastre necessitam da mercadoria certa, na hora certa, no lugar certo e distribuído para as pessoas certas, sugerindo neste momento a necessidade de uma estrutura de transporte preparada para atender as solicitações. A boa estruturação da rede de transportes é fundamental para responder a desastres e para salvar vidas, reduzindo custos e aumentando a resiliência das comunidades para se recuperar de eventos de crise.

O atendimento da demanda das áreas atingidas pode ser feita de três formas: (I) a partir do fornecedor de cada produto até o município que representa a região atingida, (II) a partir do fornecedor de cada produto até o centro de distribuição (CD) e do CD até a região atingida e (III) em casos de maior urgência, os dois esquemas podem ser utilizados simultanemante (LIMA et. al., 2016). A Figura 1 representa estes esquemas.

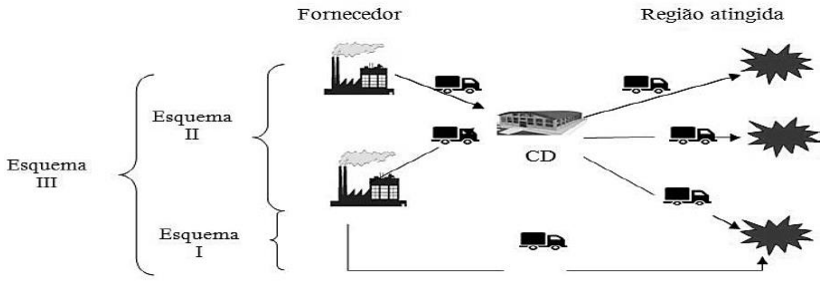


Figura 1- Esquema de distribuição. **Fonte**: Lima et al (2016)

2.2 Processos de Aquisição e Transporte

Quando um desastre ocorre, um colaborador das organizações humanitárias é enviado para o local a fim de dimensionar os danos e estimar a necessidade de suprimentos. O resultado disto é comunicado à organização, iniciando-se então o processo de aquisição.

A finalidade do processo de aquisição é assegurar que a organização humanitária tenha os recursos materiais necessários para atender os requisitos operacionais e os requisitos de suporte operacional (BLECKEN, 2010). O processo de aquisição nas cadeias de abastecimento humanitário procura garantir que as organizações humanitárias consigam os suprimentos necessários para atender as necessidades de alívio (PAHO, 2001). Segundo Schulz e Heigh (2009), 65% do orçamento total de alívio de desastre é destinado à aquisição

de suprimentos e equipamentos de socorro.

As tarefas da aquisição incluem a identificação e a seleção de fornecedores adequados de forma a garantir a disponibilidade do produto nas áreas afetadas e no momento certo. É necessário que sejam atendidas as especificações mínimas que satisfazem os critérios para condições específicas de operação e com o melhor preço disponível, tendo em conta o custo, prazo de entrega e qualidade, bem como o transporte razoável, seguro de transporte e os custos ligados à importação (BLECKEN,2010).

O processo de transporte pode incluir tanto um único modal nacional ou internacional como transporte multi-modal. As mercadorias a serem transportadas através da cadeia de fornecimento humanitária dependem, principalmente, da prioridade destes produtos, da quantidade em volume e peso, do destino das mercadorias, das capacidades exigidas em armazenagem, requisitos especiais de transporte, por exemplo, para mercadorias perigosas ou frágeis ou bens com restrições de importação, tais como remédios e questões de segurança (BLECKEN, 2010).

A utilidade das redes de transporte para responder a desastres é fundamental para salvar vidas, reduzindo custos e aumentando a resiliência das comunidades para se recuperar de eventos de crise. Temas como a seleção do caminho mais curto, confiabilidade da rede, avaliação de risco, modelagem de evacuação e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são abordados por diversos pesquisadores nesta área (LIMA, 2014).

Geralmente, os fluxos logísticos humanitários devem ser efetuados com a infraestrutura local devastada e opções restritas de transporte, tendo em vista que alguns modais como aviões de carga e caminhões podem não ser capazes de alcançar a área atingida. A compra de suprimentos deve ser realizada dos fornecedores mais próximos do local de desastre para reduzir o tempo de resposta e a necessidade de transporte. Adquirir itens localmente também ajuda a economia da região destruída, auxiliando na sua recuperação.

2.3. Modelagem e Simulação

Um modelo é uma representação de um sistema real, onde os aspectos relevantes para a análise em questão são considerados. O uso de modelos traz diversos benefícios alguns dos mais relevantes são, redução de tempo, custo e perdas materiais. Em muitos casos seu uso é até mesmo inevitável, como quando o sistema real ainda não existe, nos casos de projeto, ou não estar disponível para experimentos (HILLIER e LIEBERMAN, 2001).

Após a modelagem de um sistema entra em cena a simulação, a imitação de um sistema real modelado em computador para avaliação e melhoria do seu desempenho (HARRELL et al., 2000). De um modo geral, simulação é a prospecção de uma realidade para um ambiente controlado onde se pode estudar o comportamento do mesmo sob diversas condições, sem os riscos físicos e/ou custos envolvidos em um estudo tradicional.

Antes da implantação direta de qualquer mudança no sistema real, as etapas de mapeamento do processo, análise dos dados e a simulação computacional ajudam a reduzir com sucesso o risco de ineficácia do projeto no mundo real (KUMAR e PHROMMATHED, 2005).
Em simulação, é possível trabalhar com sistemas discretos, contínuos, ou a combinação dos dois. Nas simulações de eventos discretos os programas são dotados de um relógio, que é

iniciado com o evento ao qual está vinculado e avança até que o próximo evento esteja programado (PEREIRA, 2000).
Há quatro macro etapas durante o processo de modelagem e simulação (FREITAS, 2008), etapa de planejamento, modelagem experimentação e tomada de decisão e conclusão do projeto. Estas etapas foram aplicadas nas etapas metodológias deste artigo.

3. METODOLOGIA

Este artigo pode ser caracterizado como um estudo de caso e pesquisa experimental. Estudo de caso porque investiga de forma aprofundada uma situação de inundação que aconteceu nos municípios localizados no Vale de Itajaí do Estado de Santa Catarina.

Pesquisa experimental porque foi determinada uma situação de inundação e também definidas as variáveis que seriam capazes quantificar impactos causados a população atingida por alterações nas condições de transporte (GIL, 2002).

3.1. Etapas Metodológicas

As etapas contempladas para o desenvolvimento deste trabalho foram iniciadas pela coleta e análise de dados de demanda disponibilizados pela SEDC/SC, referentes às solicitações dos itens de atendimento humanitário demandados em cidades afetadas por catástrofes nos anos de 2013, 2014 e 2015.

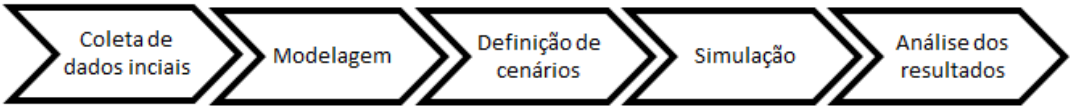


Figura 2 - Etapas metodológicas. **Fonte**: Autores

Como mostra a Figura 2, na etapa seguinte a coleta de dados, foi definido e analisado um modelo das atividades de aquisição e transporte na LH, este modelo foi desenvolvido utilizando a Notação Padrão para Modelagem de Processos de Negócio (Business Process Modeling Notation – BPMN).

Após a modelagem, foram inseridos os dados de atendimento da SEDC/SC necessários para alimentar o modelo computacional implementado no software de simulação ARENA® objetivando a simulação do estudo de caso proposto.

Seguidamente foram definidos os cenários dos processos de transporte da LH e estes foram implementados para avaliar a agilidade dos processos da LH considerados.
Finalmente foram analisados os resultados e as propostas de melhorias para o estudo de caso proposto neste artigo.

4. MODELAGEM DOS PROCESSOS DE AQUISIÇÃO E TRANSPORTE

4.1 Processo de pedidos de materiais e transporte

A SDC local sempre que detectar possíveis desastres pode declarar estado de atenção, quando há previsão de ocorrência de um desastre, fato que inicia o processo de pedidos de itens em uma região. É feita análise de quais materiais de assistência serão necessários, e a notificação dos respectivos fornecedores, da necessidade de fornecimento caso ocorra o desastre, estes então têm tempo para fazer a preparação dos materiais (JACOBSEN, LIMA e VILLARROEL 2016).

A partir da ocorrência de um desastre, a SEDC/SC poderá atuar caso seja decretada situação de emergência no município afetado, situação declarada com a ocorrência de um desastre, o município envia um pedido de materiais de assistência humanitária, podendo esta solicitação ser enviada por qualquer meio de comunicação disponível (JACOBSEN, LIMA e VILLARROEL 2016).

Com o recebimento da solicitação de materiais, há a validação do mesmo pela SEDC/SC e o pedido é realizado para os fornecedores por meio de uma Autorização de Fornecimento. Estes estão encarregados do transporte dos materiais, incluindo a avaliação das melhores rotas de entrega (JACOBSEN, LIMA e VILLARROEL 2016).

A Figura 3 ilustra o modelo do processo de transporte, o processo inicia ao ocorrer um desastre, é então avaliada a necessidade da região atingida e informada ao fornecedor, este carrega os materiais e os transporta até a região atingida para que se realize a entrega. O modelo BPMN do processo de transporte, foi então transcrito para um software de simulação ARENA® da empresa Rockwell Automation.

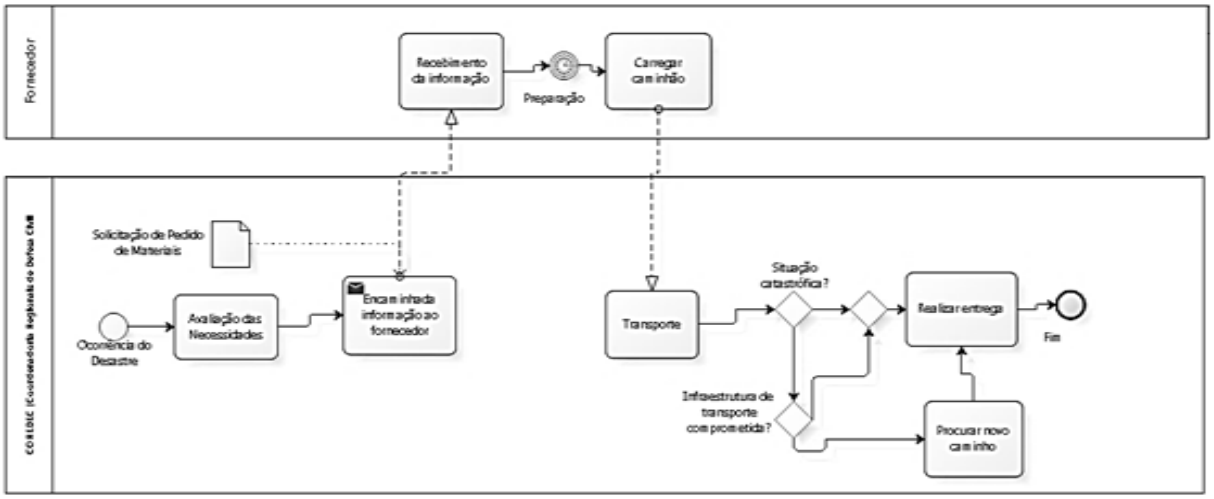


Figura 3 - Processo de transporte. **Fonte:** Autores

O modelo ilustrado na Figura 3 é dividido em dois módulos, um responsável pela preparação dos itens demandados, representando o fornecedor e outro responsável por gerar as demandas, este representa as microrregiões.

Estes dois blocos visam representar situações onde as microrregiões são atingidas por desastres, neste caso inundações, e geram demanda por itens de atendimento humanitário, estas demandas são então atendidas pelo fornecedor homologado que é responsável não só pelo atendimento do pedido mas também pelo transporte.

Desde as etapas de preparação do fornecedor para o atendimento até a efetiva entrega do pedido é medido o tempo (*lead time*) para cada microrregião e o número de entregas realizadas dentro do tempo disponível.

4.2 Coleta e análise de dados

Foi realizado uma análise das demandas coletadas junto a SEDC/SC e os dados considerados são referentes as solicitações dos itens de atendimento humanitário demandados nas cidades afetadas por catástrofes nos anos considerados (2013, 2014 e 2015). Foi verificado que

isoladamente as cidades não tinham demandas representativas, foi necessário então definir regionais que englobassem uma quantidade maior de dados, para isso utilizou-se as divisões de microrregiões do Estado de Santa Catarina. Somando a demanda de todas as cidades dentro de cada microrregião, obtiveram-se as três microrregiões com a maior quantidade de ocorrências estas foram Blumenau (C1), Canoinhas (C2) e Rio do Sul (C3), com 12,29 e 34 ocorrências respectivamente, conforme definido na tabela 1.

Tabela 1 - Quantidade de demandas emergências nas microrregiões do estado**.**

Local	2013	2014	2015	TOTAL
Microrregião Araranguá	1	5	0	6
Microrregião Blumenau	1	11	0	12
Microrregião Campo de Lages	3	0	0	3
Microrregião Canoinhas	11	18	0	29
Microrregião Chapecó	1	0	5	6
Microrregião Concórdia	0	0	0	0
Microrregião Criciúma	0	4	1	5
Microrregião Curitibanos	0	0	0	0
Microrregião Florianópolis	0	0	0	0
Microrregião Itajai	0	0	0	0
Microrregião Ituporanga	1	1	1	3
Microrregião Joaçaba	2	0	0	2
Microrregião Joinville	0	8	0	8
Microrregião Rio do Sul	14	6	14	34
Microrregião São Bento do Sul	1	9	0	10
Microrregião São Miguel do Oeste	0	2	0	2
Microrregião Tabuleiro	1	0	0	1
Microrregião Tijucas	0	0	0	0
Microrregião Tubarão	0	0	0	0
Microrregião Xanxerê	4	0	0	4

Fonte: Autores

A Tabela 1 apresenta as microrregiões do estado e a quantidade de ocasiões em que estas microrregiões demandaram itens da SEDC/SC no anos de 2013, 2014 e 2015.

Para cada ocorrência há solicitação de diferentes itens. A partir de uma priorização realizada pelo número de itens demandados, quatro itens foram definidos como prioritários nas demandas e escolhidos para realizar a simulação, por serem os itens com maior quantidade de pedidos, sendo estes as cestas básicas, colchões de solteiro, *kits* de limpeza e galões de água.

Foram obtidas funções de probabilidade, que representam a demanda em cada microrregião como forma de alimentar o modelo, com o uso da ferramenta Input Analyser, na Tabela 2 podem-se observar as distribuições de probabilidade que representam a quantidade de itens demandados para cada microrregião encontradas. A função de probabilidades triangular (TRIA) encontra-se definida pelos valores mínimo, moda e máximo.

Tabela 2 - Distribuições de probabilidade [Itens].

	Blumenau	Canoinhas	Rio do Sul
Colchão de solteiro	TRIA (0, 15, 150)	TRIA (0, 77, 770)	TRIA (0, 80, 800)
Cesta básica	TRIA (0, 25, 250)	TRIA (0, 125, 1.25e+003)	TRIA (0, 96, 960)
Kit limpeza	TRIA (0, 37, 370)	TRIA (0, 142, 1.42e+003)	TRIA (0, 121, 1.21e+003)
Água	TRIA (0, 65.2, 652)	TRIA (0, 150, 1.5e+003)	TRIA (0, 160, 1.6e+003)

Fonte: Autores

Após a definição dos itens e cidades a serem atendidas foi então considerado o cenário ao qual se aplicou a modelagem e simulação dos processos. Por força de contrato um fornecedor homologado têm a obrigação de atender as demandas pelos materiais (JACOBSEN, LIMA e VILLARROEL 2016), logo a possibilidade de falta de estoque não será considerada.
Em relação à distribuição, o esquema utilizado será o esquema I ilustrado na Figura 1, onde os itens partem diretamente do fornecedor para a região atingida, foi definido um único fornecedor.

Foi escolhido como principal fornecedor a microrregião de Blumenau, por encontrar-se próximo aos municípios atingidos e concentrar um número grande de fornecedores de itens de primeira necessidade para situações de desastre.

Seguidamente foram determinadas as distâncias entre o fornecedor e os municípios atingidos, os tempos foram definidos a partir de distribuições de probabilidade que representam o tempo de atendimento para cada microrregião. As distribuições de probabilidade que representam os tempos de deslocamento entre o fornecedor e as cidades dentro da microrregião, são ilustradas na Tabela 3 e representam a variação do tempo de transporte médio entre o fornecedor e as cidades de cada microrregião. Novamente foi utilizada uma função de probabilidades triangular (TRIA) com tempos mínimo, moda e máximo.

Tabela 3 - Distribuições de probabilidade para o tempo de atendimento [Minutos]

Microrregião	Tempo de transporte
Blumenau	TRIA (56, 83,125)
Canoinhas	TRIA (182, 252,302)
Rio do Sul	TRIA (112, 150,180)

Fonte: Autores

5. SIMULAÇÃO DA AQUISIÇÃO E TRANSPORTE DE ITENS DE PRIMEIRA NECESSIDADE

A partir da definição do modelo conceitual e sua transcrição para a ferramenta de simulação, foi realizada a etapa de experimentação que contou com um cenário inicial e posteriormente outros cenários buscando representar mudanças pontuais na infraestrutura disponível para atendimento em relação a situações de desastre.

Tratando das configurações da simulação, o tempo de simulação foi definido para 14 dias, com cada dia contendo 24 horas disponíveis para a efetivação do atendimento. Foi ainda definido um número de 10 replicações e o indicador analisado ao final de cada experimentação foi lead time de atendimento do fornecedor ao ponto da catástrofe.

5.1 Cenários

Como cenário inicial foi considerado uma situação de inundação onde a infraestrutura viária entre o fornecedor e os municípios efetados não sofre interrupções de trânsito. A partir da simulação realizada foram determinados os indicadores de atendimento, a Tabela 4 apresenta os *lead times* para atendimento das três microrregiões para cada uma das replicações.

Tabela 4 - Resumo dos resultados da simulação

LeadTime		Replicação 1	Replicação 2	Replicação 3	Replicação 4	Replicação 5	Replicação 6	Replicação 7	Replicação 8	Replicação 9	Replicação 10	Média geral
Cenário Discreto	C1	20,753	21,374	20,851	22,413	21,066	21,486	20,578	22,005	20,674	21,472	21,2672
	C2	23,438	24,214	24,92	24,813	23,683	23,817	25,071	23,78	23,925	23,591	24,1252
	C3	22,232	22,366	22,21	22,769	21,917	22,13	22,714	22,887	22,017	22,258	22,35

Fonte: Autores

Para esta situação os tempos médios de entrega de itens para cada uma das microrregiões foram determinados como 21,26; 24,12; e 22,35 minutos, respectivamente. Posteriormente foram definidos três cenários: o primeiro é um cenário otimista (O), onde é considerada uma pequena interrupção como, por exemplo, a queda de uma árvore, acarretando em um pequeno aumento no tempo necessário para o atendimento. Um segundo cenário, moderado (M), onde é considerada uma interrupção em escala maior que a anterior e um último cenário pessimista (P) onde ocorre uma grande interrupção nos transportes, como por exemplo uma queda de barreira ou de uma ponte, impactando com severidade em mais rotas acarretando na necessidade de buscar rotas alternativas e desvios para que ocorra o atendimento a demanda das cidades afetadas.

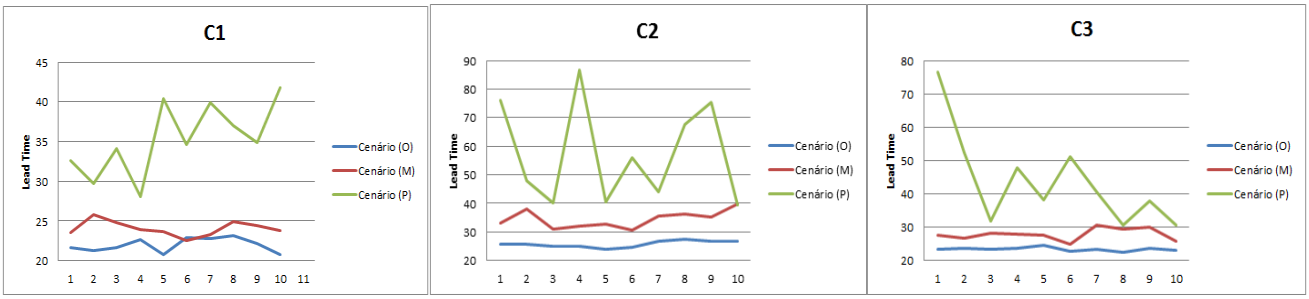
Em situações de desastre onde a infraestrutura de transportes é afetada, dependendo da intensidade da catástrofe, estatisticamente o número de rotas que mantém suas condições de transporte inalteradas é de 10%, 30% ou 70%, para desastres de grande, médio e pequeno porte (BATAGLIN e ALEM, 2014), estes percentuais foram associados respectivamente aos cenários pessimista (P), moderado (M) e otimista (O).

A Tabela 5 e o Gráfico 1 ilustram como *o lead time* pode variar para cada um destes cenários.

Tabela 5 - Variação dos Lead Times [Minutos]

	Cenário (O)			Cenário (M)			Cenário (P)		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
Replicação1	21,705	25,602	23,41	23,551	33,195	27,446	32,585	76,205	76,453
Replicação2	21,275	25,656	23,808	25,806	38,031	26,71	29,728	47,976	52,379
Replicação3	21,629	24,902	23,249	24,845	31,006	28,165	34,092	40,085	31,924
Replicação4	22,702	25,018	23,623	23,901	32,153	27,745	28,127	86,523	47,778
Replicação5	20,788	23,852	24,546	23,679	32,843	27,599	40,463	40,608	38,263
Replicação6	22,908	24,541	22,654	22,553	30,636	24,822	34,642	55,886	51,228
Replicação7	22,796	26,712	23,429	23,238	35,545	30,524	39,93	44,114	40,536
Replicação8	23,2	27,345	22,304	24,878	36,203	29,33	37,052	67,759	30,649
Replicação9	22,175	26,906	23,515	24,475	35,223	30,049	34,916	75,248	37,996
Replicação10	20,758	26,565	23,186	23,816	39,681	25,854	41,766	39,464	30,711
Média	21,9936	25,7099	23,3724	24,0742	34,4516	27,8244	35,3301	57,3868	43,7917
Var. %	3,42%	6,57%	4,57%	13,20%	42,80%	24,49%	66,12%	137,87%	95,94%

Gráfico 1 - Lead time das microrregiões em cada cenário



Fonte: Autores

Na simulação do cenário otimista, a microrregião C1 apresentou um aumento de 3,42% no tempo para atendimento enquanto que as microrregiões C2 e C3 apresentaram respectivamente 6,57% e 4,57% de elevação em seus *lead times*.

Na simulação do segundo cenário a microrregião C1 apresentou um aumento considerável de 13,2% no tempo para atendimento isto corresponde a aproximadamente 3 horas, este aumento afeta o atendimento de forma significativa reduzindo o número de atendimentos no período do desastre, de 15 no cenário inicial, para 14 atendimentos, enquanto que as microrregiões C2 e C3 apresentaram respectivamente 42,8% e 24,49% de elevação em seus *lead times*. Nesta condição pode-se observar um impacto no atendimento das microrregiões, C2 obteve em média apenas 9 atendimentos e C3 obteve 12 atendimentos.

Na simulação do cenário pessimista na microrregião C1 ocorreu elevação de aproximadamente 66% no *lead time* e redução no número de atendimentos para 9 atendimentos, enquanto nas microrregiões C2 e C3, a situação é ainda pior, em C2 há uma elevação de 137,87% no *lead time* e redução no número de atendimentos para 5, enquanto que em C3 verifica-se aumento de 95,94% no tempo de atendimento e redução para 8 atendimentos.

Ou seja, mesmo que o fornecedor tenha capacidade suficiente para atender as demandas já que não há falta de estoque, não foi possível efetuar a entrega de todo material solicitado no período.

6. CONCLUSÕES

A LH representa um canal entre a preparação e resposta a desastres por meio do estabelecimento de procedimentos eficazes de compras, relacionamento com fornecedores, estoques preposicionados e conhecimento das condições de transporte locais. Este trabalho realizou uma modelagem e simulação dos processos de aquisição e distribuição de itens de primeira necessidade numa situação de inundação que aconteceu no Estado de Santa Catarina nos anos 2013, 2014 e 2015, a partir de três cenários: otimista, médio e pesimista.
Os resultados da simulação definidos aqui apresentaram uma grande variação dos *lead times* quando se consideram maiores intensidades de interrupções no transporte e, isto abre um espaço para analisar ações voltadas as etapas de mitigação e preparação do ciclo de vida do desastre para que na fase de resposta as ações sejam facilitadas.

Desta forma, uma situação de desastre num cenário pesimista (C3) influência no atendimento

à população afetada e deixa clara a necessidade de ações mais eficientes nas regiões com histórico de ocorrências deste tipo de desastre. A utilização de um CD nas microrregiões com maior histórico de este tipo de cenário (C3) pode representar uma ação que auxilie na eficiência do atendimento.

Também foram substituídas as funções de distribuição de probabilidades triangulares (responsáveis pela geração da demanda) por funções de distribuição discretas e, como consequência disto, os resultados desta nova situação, não afetaram significativamente o *lead time* para os cenários considerados.

Observou-se que as funções de distribuição de probabilidades utilizadas para definir demandas geradas nas microrregiões foram consideradas como funções em regime estacionário e por este motivo representam uma aproximação das demandas reais.

Recomenda-se realizar um estudo sobre a viabilidade do uso de distribuições de probabilidades não estacionárias para as solicitações de itens de primeira necessidade, tal como a distribuição de Poisson não Homogênea, para desta forma representar o comportamento real das demandas na situação estudada.

Também, é importante destacar que o estudo de caso limitou-se a simulação dos processos de aquisição e transporte voltados ao atendimento das demandas, partindo de um único fornecedor sobre a premissa de que este tem capacidade para o atendimento de todos os atingidos e como futuros trabalhos recomenda-se a incorporação de outros potencias fornecedores para o caso de falta de capacidade capacidade de atendimento e/ou grandes interrupções de transporte.

Agradecimentos

Os autores agradecem a participação dos especialistas da Secretaria de Defesa Civil do Estado de Santa Catarina e o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Pró-Alertas CAPES 88887.091739/2014-01) na condução de projetos de pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALTAY, N. AND GREEN, W.G. III, "OR/MS research in disaster operations management", European Journal of Operational Research, Vol. 175 No. 1, pp. 475-493. 2006.

BATAGLIN, Lauren Maria Corradini; ALEM, Douglas. O problema de localização-distribuição no megadesastre da região Serrana no Rio de Janeiro. Gest. Prod., São Carlos , v. 21, n. 4, p. 865-881, Dec. 2014.

BLECKEN, A. Supply chain process modelling for humanitarian organizations. Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 40(8/9), pp. 675-692, 2010.

DEPARTAMENTO DE INFORMAÇÃO PÚBLICA DAS NAÇÕES UNIDAS (DIPNU). Fatos Sobre Desastres. Disponível em: <http://www.onu.org.br/rio20/desastres.pdf> Acesso em: 06 de jul. 2017.

FALASCA, M.; ZOBEL, C.W. A two-stage procurement model for humanitarian relief supply chains, Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management, v. 1, 2 ed. p. 151 – 169. 2011.

FREITAS FILHO, P. J. Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena. Florianópolis: Visual Books, 2008.

GIL, ANTÔNIO CARLOS, 1946-. Como elaborar projetos de pesquisa/Antônio Carlos Gil. - 4. ed. - São Paulo : Atlas, 2002.

HARREL, Charles R.; GHOSH, Biman K.; BOWDEN, Royce. Simulation Using ProModel®. McGraw-Hill, 2000.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. Introduction to operations research. McGraw-Hill,2001.

JACOBSEN, V.; LIMA, F. S.; VILLARROEL DÁVALOS, R. D. Modelagem dos processos de aquisição de uma organização humanitária do Estado de Santa Catarina. In: XXIII Simpósio de Engenharia de Produção, 2016, Bauru - SP. GESTÃO DE OPERAÇÕES EM SERVIÇOS E SEUS IMPACTOS

SOCIAIS, 2016.
KUMAR, S.; PHROMMATHED, P. Improving a manufacturing process by mapping and simulation of critical operations, 2005.
LIMA, F. S. Logística Humanitária: Modelagem de processos para a fase de aquisição na resposta a desastres naturais. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil. 2014.
LIMA, Fabiana Santos et al. Modelagem e simulação de processos para entrega de itens de assistência humanitária em desastres. Iberoamerican Journal Of Industrial Engineering, Florianópolis, v. 8, n. 15, p.155-175, dez. 2016.
MOHAN, S., GOPALAKRISHNAN, M., & MIZZI, P. J. Improving the efficiency of a non-profit supply chain for the food insecure. International Journal of Production Economics, 143(2), 248-255. 2013. DOI: 10.1016/j.ijpe.2011.05.019.
MOREIRA, C. M. Estratégias de Reposição de Estoques em Supermercados: Avaliação por meio de simulação. Dissertação (Mestrado em Eng. Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2001.
NOGUEIRA, C.W.; GONÇALVES, M.B.; OLIVEIRA, D. O Enfoque Da Logística Humanitária No Desenvolvimento De Uma Rede Dinâmica Para Situações Emergenciais: O Caso Do Vale DO ITAJAÍ EM SANTA CATARINA. Artigo. Anais do XXIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Novembro. Vitória, 2009.
PAHO, Humanitarian Supply Management in Logistics in the Health Sector, Pan American Health Organization, Washington, DC, 2001.
PEREIRA, I. C. Proposta de sistematização da simulação para fabricação em lotes. Dissertação mestrado em engenharia de produção. UNIFEI, Itajubá, MG, 2000.
PNDC, Política Nacional de Defesa Civil. Secretaria de Defesa Civil, 2007.
REBEQUI, A. Santa Catarina está entre os estados que mais registram desastres naturais. Disponível em: <http://dc.clicrbs.com.br/sc/noticias/noticia/2012/05/santa-catarina-esta-entre-os-estados-que-mais-registram-desastres-naturais-3767066.html>. Acesso em: 01 jul. 2017
SCHULZ, S. F., HEIGH, I. Logistics performance management in action within a humanitarian organization". Management Research News. 32 (11), pp. 1083-1049, 2009
THOMAS, A. Elevating Humanitarian Logistics. International Aid & Trade Review, 2005. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES (UFSC-CEPED). Política Nacional de Defesa Civil. CEPED-UFSC; 2012.
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES (UFSC-CEPED). Relatório dos danos matérias e prejuízos decorrentes de desastres naturais em Santa Catarina: 1995 - 2014. CEPED-UFSC; 2016.

Dyego Alex da Silva (dyego.asilva@gmail.com)
Fabiana Santos Lima*(fabiana.lima@posgrad.ufsc.br).
Ricardo Villarroel Dávalos (ricardo.davalos@ufsc.br)
Gabriela Begnini (gabrielabegnini@gelog.ufsc.br)

Universidade Federal de Santa Catarina
Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção*
Campus Reitor João David Ferreira Lima - Florianópolis, SC, Brasil

DESASTRES NATURAIS: SELEÇÃO E LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DE ABRIGOS PARA FLAGELADOS

Manuela Marques Lalane Nappi
João Carlos Souza
Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo - PósARQ

RESUMO
A ocorrência de desastres naturais ou antrópicos vem evidenciando um tratamento logístico especial, designado de logística humanitária. Sabe-se que existem grandes desafios na implementação de processos logísticos sistematizados, especialmente aqueles relacionados à infraestrutura e localização de centrais de assistência humanitária e coordenação de processos, incluindo-se os abrigos temporários. Tem-se como objetivo deste trabalho a divulgação do desenvolvimento de um modelo multicritério de decisão, com foco nos princípios da logística humanitária, para a seleção e localização espacial de abrigos temporários comunitários ou coletivos – o *ShelterPro*. Trata-se de um software de plataforma intuitiva, ou seja, uma ferramenta de fácil compreensão e usabilidade. Acredita-se que essa ferramenta possa ser útil no nível estratégico ou operacional das decisões logísticas.

ABSTRACT
The occurrence of either natural or man-made disasters is demanding a special logistical treatment, known as humanitarian logistics. There are major challenges in the implementation of systematized logistics processes, especially those related to the infrastructure and location of humanitarian assistance centers and process coordination, including temporary shelters. The objective of this work is the dissemination of a multicriteria decision model, focusing on the principles of humanitarian logistics, developed for the selection and spatial location of community or collective temporary shelters – entitled ShelterPro. This is an intuitive software, i.e., a tool that is easy to understand and use. It is verified that this tool can be useful at the strategic or operational level of logistical decisions.

1. INTRODUÇÃO

A comunidade internacional reconhece que a magnitude, o número de pessoas afetadas, bem como a recorrência de desastres naturais, ou não, vem aumentando (Nappi & Souza, 2015). Imediatamente após a ocorrência de um desastre, a prioridade se concentra na localização de vítimas, prestação de cuidados médicos para as pessoas lesionadas, fornecimento de água, comida e abrigo aos sobreviventes. Para Fernandes (2010) a ocorrência de desastres tem evidenciado um tratamento logístico especial, que vem sendo designado como logística humanitária. Segundo Apte (2009) foi após o tsunami no Oceano Índico, em 2004, que aumentaram os esforços humanitários, chamando atenção para a logística humanitária e despertando o interesse de acadêmicos e profissionais. Pesquisas nesta área avaliam que o uso de conceitos logísticos contribui significativamente para o sucesso de uma operação. Nesse sentido são apontados grandes desafios na implementação de processos logísticos sistematizados, destacando-se os aspectos relacionados à infraestrutura, localização de centrais de assistência e coordenação de processos (Fernandes, 2010).

A logística humanitária é considerada um ramo especial da logística com desafios específicos, como incertezas de demanda, tempo crítico e vulnerabilidade de infraestrutura (Nogueira *et al.*, 2008). A cadeia da logística humanitária pode ser considerada como uma cadeia de suprimentos que abrange todo o ciclo de vida de um desastre. O ciclo completo da gestão de desastres inclui quatro etapas – preparar, responder, recuperar e mitigar (Thomas, 2007). Elevados níveis de incerteza quanto ao momento e local do próximo desastre requerem o pré-posicionamento. Planejar a pré-disposição de bens e suprimentos, onde se incluem os abrigos

temporários, bem como a evacuação da população afetada, é tarefa fundamental.

O foco deste trabalho está voltado para os abrigos temporários, especificamente os abrigos comunitários ou coletivos (abrigos provisórios em espaços internos), para os quais são utilizadas infraestruturas existentes como, por exemplo, escolas, ginásios poliesportivos, recintos onde são realizadas feiras, etc. A essas instalações podem ser-lhes atribuídos os recursos necessários para que sejam transformadas em abrigos temporários. Para tanto, fez-se necessário a realização de um estudo sobre a possibilidade de escolher lugares apropriados, objetivo prévio e necessário para o desenvolvimento do software apresentado neste trabalho.

Segundo Nappi & Souza (2014), pode-se dizer que são muitos os desafios enfrentados no desenvolvimento de métodos de gestão e na seleção de indicadores de desempenho para abrigos temporários. Acredita-se, no entanto, que a complexidade da logística humanitária pode ser amenizada com o auxílio de pesquisas voltadas ao entendimento dos desafios desse campo. Sendo uma dessas complexidades a seleção e localização de instalações que promovam a resposta humanitária, bem como o estabelecimento de critérios que permitam a avaliação do seu desempenho. Para tanto, os autores desenvolveram um sistema de medidas de desempenho para abrigos temporários que resultou num modelo para seleção e localização desses abrigos a partir de uma metodologia multicritério (Nappi, 2016). Esse modelo, denominado *ShelterPro*, buscou servir de base para o aprimoramento de operações e coordenação de processos em uma situação de emergência, tendo-se como objetivo deste trabalho demonstrar a sua aplicabilidade.

O desenvolvimento dessa ferramenta multicritério de apoio à decisão para seleção e localização de abrigos temporários foi possível a partir da mensuração das necessidades de usuários e gestores. Essas necessidades foram levantadas na literatura e junto a especialistas da área, identificando-se elementos primários de avaliação de abrigos temporários. Acredita-se que a utilização do *ShelterPro* permitirá a avaliação prévia do desempenho das edificações adotadas como abrigos temporários, bem como a criação de bases de dados para consulta e tomada de decisão em situações emergenciais. Além disso, os relatórios gerados a partir do software apontam a necessidade de promoverem-se adaptações, melhoramentos ou seleção de novos equipamentos para melhorar o desempenho de abrigos temporários em função de diferentes cenários que possam se apresentar.

2. GESTÃO DE DESASTRES

Considera-se como desastre natural um fenômeno natural que provoca, direta ou indiretamente, danos extensos à propriedade e/ou faz um grande número de vítimas. De acordo com a Instrução Normativa n. 1, de 24 de agosto de 2012, do Ministério da Integração Nacional, que estabelece os critérios para a decretação de situação de emergência ou estado de calamidade pública em municípios e estados, desastre é:

> [...] resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem sobre um cenário vulnerável, causando grave perturbação ao funcionamento de uma comunidade ou sociedade envolvendo extensivas perdas e danos humanos, materiais, econômicos ou ambientais, que excede a sua capacidade de lidar com o problema usando meios próprios (Ministério da Integração Social, 2012, p. 1).

Cardona *et al*. (2003) consideram que um desastre é uma situação ou um processo social desencadeado após a manifestação de um fenômeno de origem natural, tecnológica ou

provocada pelo homem que, ao encontrar condições de vulnerabilidade em uma população, causa significativas alterações nas suas condições normais. Essas alterações podem representar perda de vida e saúde, destruição ou perdas de bens da coletividade e prejuízos ambientais, razões pelas quais os desastres requerem respostas imediatas das autoridades e da população para atender aos afetados e reestabelecer a normalidade e o seu bem-estar. Para Kunz *et al.* (2013), a preparação para desastres tem sido reconhecida como um elemento central na redução do impacto de desastres no mundo.

Com base em ampla literatura (Kovács e Spens 2007; Kovács e Tatham, 2009; Vitoriano *et al.*, 2011; Gralla *et al.*, 2014; Chandes e Paché, 2010; etc.), pode-se afirmar que a implementação de processos de preparação para desastres tem sido cada vez mais abordada com a finalidade de acelerar a assistência de socorro e aumentar a sua eficácia, reduzindo o impacto dos desastres. Esta fase preventiva de gestão de desastres, segundo Van Wassenhove (2006), pode ser definida como o conjunto de atividades a serem realizadas pela população, governo e organizações de ajuda antes de um desastre, tendo como objetivo a redução de seus potenciais efeitos de devastação.

Segundo a Política Nacional de Defesa Civil (Brasil, 2007) as ações que visam a redução de desastres compreendem quatro fases ou aspectos globais: a prevenção de desastres, a preparação para emergência e desastres, a resposta aos desastres e a reconstrução. Conforme Oliveira (2009):

a) a primeira fase é a prevenção. Esta fase engloba o conjunto de ações cujo objetivo é evitar que o desastre se concretize ou diminuir a intensidade de suas consequências;

b) a segunda fase é representada pela preparação. Ela reúne o conjunto de ações que visam aprimorar a capacidade da comunidade diante de um desastre (incluindo indivíduos, organizações governamentais e não governamentais);

c) a fase de resposta diz respeito ao conjunto de ações que tem como objetivo socorrer e auxiliar a população atingida, reduzindo danos e prejuízos e garantindo o funcionamento de sistemas essenciais da comunidade;

d) a última fase é a reconstrução. Ela abrange o conjunto de ações destinadas à reconstrução de uma comunidade atingida, propiciando a retomada da condição de normalidade e procurando minimizar novos desastres.

Fernandes (2010) destaca a importância de orientar e preparar a população, a fim de que ela saiba o que fazer e como fazer diante de uma emergência. Desta forma, as ações que tenham sido implementadas poderão encontrar respaldo na comunidade, chegando-se a uma resposta eficiente.

3. LOGÍSTICA HUMANITÁRIA

Apte (2009) define logística humanitária como um ramo especial da logística que gerencia a cadeia de abastecimento de suprimentos críticos e serviços. Esse ramo apresenta desafios específicos, como os picos de demanda, a incerteza dos suprimentos, janelas de tempo crítico em face à vulnerabilidade de infraestruturas e o grande alcance e dimensão das operações.
Segundo Thomas (2007, p. 3 e 7, tradução nossa):

> a Logística humanitária se refere aos processos e sistemas envolvidos na mobilização de pessoas, recursos e conhecimento para ajudar pessoas vulneráveis, afetadas por desastres naturais e emergências complexas. Ela engloba uma série de atividades, incluindo a aquisição, o transporte, a localização e acompanhamento, o desembaraço aduaneiro, o transporte local, a armazenagem e a entrega da última milha. [...] Os profissionais da logística devem obter os produtos certos, no lugar certo, na hora certa, dentro dos limites de um orçamento que ainda não se concretizou plenamente.

Fernandes (2010) cita que o principal objetivo da logística é vencer o tempo e a distância na movimentação de bens e na prestação de serviços de forma eficiente e eficaz. Segundo a autora, o setor de serviços e até mesmo a indústria têm implementado este conceito que pode constituir um diferencial competitivo na medida em que faz a entrega do produto certo, no local certo, na quantidade certa, no momento desejado e a um custo adequado. Na revisão de literatura realizada por Overstreet, *et al*. (2011), os autores chegaram à conclusão de que as maiores incógnitas no campo de logística humanitária são a hora, o local e a gravidade de um desastre. Dentre os fatores que mais influenciam a eficiência e eficácia da resposta logística, destacam-se a quantidade, o tipo e a usabilidade de infraestrutura e equipamentos, sendo que a maior parte da literatura sobre logística humanitária está focada na fase de preparação ou planejamento.

Fernandes (2010) afirma que, embora os canais de assistência constituam um dos canais mais dinâmicos e complexos, pouca atenção lhe é conferida por pesquisas ou organizações governamentais. A autora atenta para o fato da importância que é dada à fase de resposta a um evento em detrimento das demais fases que compõe o ciclo do desastre. Cita-se como exemplo o Tsunami do Oceano Índico ocorrido em 2004, quando numerosos aviões de suprimentos precisaram ser desviados em função da obstrução de aeroportos, atrasando a distribuição dos suprimentos e forçando agências de assistência a localizarem depósitos, além de terem de acomodar pessoas em abrigos. A observação desse comportamento leva à conclusão de que a complexidade logística só é compreendida após a ocorrência de um desastre de grande magnitude.

Ainda que existam diversas interpretações do que é ou poderia ser considerado como uma ação humanitária, há quatro princípios amplamente aceitos – humanidade, neutralidade, imparcialidade e independência – que devem estar presentes para constituir uma operação humanitária. Estes princípios foram desenvolvidos por Henry Dunant após a batalha de Solferino (1859), inicialmente para proteger os direitos dos soldados. Em 1864 eles passaram a integrar a Convenção de Genebra e, em 1875 foram a semente do desenvolvimento da Cruz Vermelha:

a) humanidade implica que o sofrimento humano deve ser aliviado aonde for encontrado. É a razão pela qual as organizações humanitárias são implantadas. Um desafio constitui-se em identificar e acessar grupos carentes. Cita-se como exemplo a crise de alimentos de 2002, na África do Sul, quando as agências de ajuda humanitária demoraram a descobrir que havia grupos relativamente remotos do leste de Moçambique atingidos pela crise. As informações sobre eles não estavam disponíveis por serem de difícil acesso e manterem pouco contato com as autoridades nacionais (Tomasini e Van Wassenhove, 2009). O Conselho da União Europeia (2007) acrescenta, ainda com base no princípio da humanidade, que se deve dar particular atenção às camadas mais vulneráveis da população. Além disso, afirma que a dignidade de todas as vítimas precisa ser respeitada e protegida.

b) neutralidade implica que o alívio deve ser providenciado sem preconceito ou influência política, religiosa, etc. Manter a neutralidade pode ser a condição mais desafiante e cara para as agências de ajuda humanitária (Tomasini e Van Wassenhove, 2009). Segundo este princípio, a ajuda humanitária não deve beneficiar nenhuma parte, seja num conflito armado ou noutro litígio qualquer (Conselho da União Europeia, 2007).

c) imparcialidade implica que a assistência deve ser prestada sem discriminação e com prioridade para as necessidades mais urgentes. A imparcialidade nas operações pode ser avaliada com mais precisão em relação à não discriminação entre os grupos e à proporcionalidade em relação às suas necessidades (Tomasini e Van Wassenhove, 2009). O Conselho da União Europeia (2007) reforça que este princípio implica que a ajuda humanitária seja prestada somente com base na necessidade, sem discriminação entre as populações afetadas.

d) independência implica que deve haver autonomia dos objetivos humanitários em relação aos objetivos políticos, econômicos, militares, etc. Este princípio, segundo o Conselho da União Europeia (2007), tem como objetivo garantir que a finalidade única da ajuda humanitária seja o de amenizar e prevenir o sofrimento das pessoas atingidas por crises humanitárias.

Apte (2009) distingue as decisões logísticas em três níveis: estratégico, tático e operacional. As decisões tomadas no nível estratégico, como pesquisas e desenvolvimento de capacidades logísticas, abastecimento de suprimentos, determinação de políticas de distribuição e acumulação de infraestrutura, têm impacto de longa duração. No nível operacional o objetivo é obter o alívio rápido para a população afetada. Esta fase implica, por exemplo, a evacuação da população afetada por um desastre. Decisões táticas fazem a ponte entre os níveis estratégico e operacional. O objetivo primário deste nível é a gestão em tempo real da cadeia de abastecimento, como o estoque ideal, o roteamento, a distribuição e a programação da entrega de suprimentos, sabendo-se que tudo deve ser feito o mais rápido possível. Nesse sentido, ferramentas analíticas podem ser úteis na otimização em todos os níveis. Modelos a nível estratégico, por exemplo, podem auxiliar na alocação de recursos e na localização de instalações. No nível tático, podem auxiliar na gestão de inventário, distribuição e programação e no nível operacional, podem colaborar na evacuação, na redução do tempo e distribuição da "última milha". O problema de distribuição da última milha diz respeito ao estudo da distribuição da parte final da cadeia de abastecimento; refere-se à entrega de suprimentos nas áreas afetadas (locais de demanda), a partir de centros de distribuição locais e temporários. É importante ressaltar que os três princípios da logística humanitária – humanidade, neutralidade e imparcialidade – devem estar presentes durantes as fases estratégicas, táticas e operacionais das ações humanitárias. A logística humanitária, portanto, se propõe a utilizar efetivamente os conceitos logísticos adaptando-os às peculiaridades da cadeia de assistência humanitária.

3.1 O Planejamento de Abrigos Temporários

O direito ao abrigo é implícito na Declaração Universal dos Direitos Humanos e em outros documentos elaborados por organizações multilaterais como a ONU, sendo que o acesso ao abrigo básico e contextualmente apropriado é uma necessidade humana essencial. Os padrões para este abrigo podem variar dependendo do contexto cultural, da situação, do clima e de outros fatores, pois até mesmo a forma física dos lugares representa uma linguagem espacial

muito importante, podendo adquirir diversos significados na interpretação individual.

O abrigo pode ser definido como um lugar físico destinado a prestar asilo, amparo, alojamento e resguardo para pessoas diante da ameaça, iminência ou ocorrência de um fenômeno destrutivo. Para a constituição de abrigos comunitários ou coletivos (abrigos provisórios em espaços internos) utilizam-se infraestruturas existentes como, por exemplo, escolas, ginásios poliesportivos, recintos onde são realizadas feiras, etc. A ação consiste em adequar essas instalações, dotando-as dos recursos necessários para que sejam transformadas em abrigos temporários e garantam melhores condições de vida para a população afetada. Faz-se necessário, para tanto, que se realize um estudo sobre as possibilidades de escolher lugares adequados em diferentes pontos (UNICEF, 2008).

Para Apte (2009), o planejamento de abrigos é uma questão crítica, sendo necessário identificar a sua localização e capacidade. Ele afirma, ainda, que é sabido no meio acadêmico que não há uma única metodologia, banco de dados ou software para solucionar a maioria dos problemas de logística humanitária. Conforme afirmam Nappi & Souza (2015), a falta de critérios com respeito ao planejamento e implementação de abrigos temporários pode conduzir a fatores imprevisíveis, influenciando na qualidade de uma operação logística como um todo. Muitas vezes essa decisão é tomada após a ocorrência de um evento catastrófico, quando não há tempo suficiente para a reflexão sobre normas essenciais que devem reger a escolha e a constituição de abrigos temporários ou emergenciais (Omidvar *et al.*, 2013). Kar e Hodgson (2008) afirmam que o foco dos estudos de evacuação realizados até o momento não tem despendido atenção à adequação dos locais de abrigo e/ou à identificação de possíveis instalações. Os autores afirmam, ainda, que tanto fatores físicos como sociais são importantes na adequação de um abrigo, mas nenhum estudo formal avaliou e especificou critérios para a sua constituição.

Conforme foi abordado neste item, para a concepção de um espaço – neste caso o espaço do abrigo – é necessário conviver com a necessidade de se pensar no desempenho de lugares. A identificação de aspectos frágeis ou o fortalecimento dos requisitos mínimos que devem ser atendidos no projeto de abrigos temporários, considerando-se as especificidades sociais e ambientais das populações afetadas, pode promover melhorias que minimizarão o sofrimento da população afetada e garantirão os provimentos mínimos vitais e sociais.

3.2 Localização de Abrigos Temporários

Conforme afirma Apte (2009) a logística humanitária é caótica por si só e extremamente complexa. Uma das complexidades, segundo o autor, é a localização de instalações para promover a resposta ou o alívio. Locais ideais de armazéns e centros de distribuição de suprimentos de emergência e serviços, além de uma localização ótima de centros de ajuda para a evacuação, são alguns dos desafios de qualquer ajuda humanitária ou instância de respostas a desastres. Há necessidade, portanto, de pesquisas em diversos aspectos desses assuntos vitais e os modelos existentes precisam ser melhorados e ampliados. Muitas vezes, a seleção de um sítio para abrigo temporário envolve apenas critérios básicos, como a propriedade da terra e a área por habitante. Critérios estes que não garantem a seleção de um sítio minimamente apropriado. Nesse sentido, podem-se citar outros critérios mais abrangentes como, por exemplo, a identificação de informações culturais, econômicas, geográficas, políticas e sociais. A não apreciação desses aspectos pode gerar uma situação em que as pessoas não aceitem o sítio selecionado (Omidvar *et al.*, 2013).

Para Saadatseresht *et al.* (2009) as trajetórias ótimas são determinadas pela eleição de rotas curtas, satisfazendo restrições de trânsito e segurança. Ao se referirem a trajetórias de veículos para distribuição de suprimentos, Campbell *et al.* (2008) afirmam que existem muitas ferramentas para solucionar problemas de trajetórias, sendo que a maioria delas está centrada na minimização da distância total percorrida, na perspectiva do custo total. Segundo os autores, depois de um desastre, o tempo de chegada de suprimentos de socorro nas comunidades afetadas influencia claramente a taxa de sobrevivência dos cidadãos e a minimização de seu sofrimento. Nas rotas criadas pela otimização baseada na distância total, algumas comunidades podem ser servidas muito mais tarde, a fim de minimizar os custos totais, contrariando princípios básicos da logística humanitária (Campbell *et al.*, 2008).

Vê-se, portanto, que no campo da gestão de desastres naturais é essencial considerar-se diferentes abordagens e objetivos. Por constituir uma importante tarefa, a tomada de decisão necessita do apoio de métodos sistemáticos de decisão, os quais devem ser alimentados com atributos que abranjam um leque variado de aspectos sociais, ambientais e econômicos. Ao abordarem problemas de decisão cujos objetivos requerem uma visão global e abrangente, os métodos multicritérios podem mostrar-se eficazes na gestão de desastres, já que incorporam fatores qualitativos e quantitativos. Por considerar-se que modelos multicritérios se adequam melhor ao contexto deste trabalho, na sequencia serão desenvolvidos aspectos desse modelo específico (Nappi & Souza, 2015).

4. MÉTODO DE PESQUISA

Na gestão do risco de desastres naturais faz-se necessário considerar uma gama variada de assuntos como, por exemplo, aqueles relacionados “a aspectos sociais, econômicos, ambientais, qualidade de vida, ao desenvolvimento sustentável e, principalmente, a preservação da vida” (Fernandes, 2010 p.69). Para a autora, os modelos multicritérios objetivam auxiliar na tomada de decisão, em especial nos problemas onde não há uma solução ótima, cabendo ao decisor selecionar ou classificar uma e / ou diversas alternativas. Dentre as possíveis perspectivas de análise por múltiplos critérios, está a identificação dos atributos que são relevantes para a decisão do problema (Nappi & Souza, 2015).

Alguns métodos multicritérios são aplicáveis à avaliação de critérios de natureza qualitativa enquanto outros são adequados para critérios quantitativos. Mas há situações em que ambos os critérios, qualitativo e quantitativo, se apresentam juntos. Nesses casos, há um modelo denominado *Analytic Hierarchic Process* (AHP) que pode ser utilizado para a construção de uma estrutura de avaliação sistêmica integrando todos os critérios e permitindo a realização de testes de consistência (Chou *et al*., 2008).

Neste trabalho, a aplicação do método AHP teve como objetivo a proposição de um sistema de medição de desempenho de abrigos temporários comunitários ou coletivos para a seleção eficaz e eficiente desses equipamentos. Para tanto, fez-se necessária a proposição de um modelo de decisão com base no sistema de medição resultante. Esse modelo pode auxiliar na localização de novos equipamentos, com dimensões e outras características compatíveis ao estabelecimento de abrigos para situações emergenciais, contemplando as necessidades da população em risco. Também pode proporcionar, aos arquitetos, parâmetros para o projeto de novos equipamentos, em especial os ginásios de esportes, salões paroquiais, escolas, etc., a

fim de que funcionem temporariamente como abrigos emergenciais.

O trabalho que precedeu e embasou o sistema de medidas de desempenho para abrigos temporários desenvolvido, levantou 9 possíveis critérios – com seus respectivos subcritérios – e os aspectos relevantes a serem considerados em cada um deles. Esse levantamento conformou a etapa de definição dos elementos primários de avaliação e abrigos temporários comunitários ou coletivos, compondo critérios, subcritérios e seus respectivos indicadores de desempenho que, em seguida, foram hierarquizados e lapidados. Para tanto, foram convidados especialistas com experiência na área de estudo que apontaram quais aspectos levantados consideravam importantes para a constituição de abrigos temporários comunitários ou coletivos. Ao mesmo tempo em que foram lapidados os indicadores de desempenho, procedeu-se à síntese de prioridades da hierarquia desenvolvida a partir de matrizes de comparações paritárias. Os dados obtidos foram sintetizados e priorizados com auxílio de matemática computacional, especificamente do software *Expert Choice*. Concluída a etapa de estabelecimento de prioridades e avaliada a coerência global da hierarquia estabelecida, deu-se início ao desenvolvimento do modelo multicritério de decisão com base no sistema de medição de desempenho resultante, que recebeu o nome de *ShelterPro*.

A verificação da aplicabilidade do sistema de medição de desempenho se deu a partir da verificação da consistência das avaliações de especialistas. Já a verificação da aplicabilidade do modelo de decisão foi efetuada através da simulação de situações de emergência. Todos os especialistas participantes, num total de 24, foram contatados por telefone e receberam, por e-mail, uma carta de apresentação da pesquisa. Os questionários foram elaborados no *Google Forms*, um aplicativo gratuito do Google, sendo disponibilizado aos participantes o link para o seu preenchimento online. Este estudo, portanto, está centrado nas preferências de especialistas em logística, bem como na revisão de documentos publicados por organizações de ajuda humanitária e de outras literaturas específicas.

5. APRESENTAÇÃO DO SOFTWARE *SHELTERPRO*

O modelo multicritério para seleção de abrigos temporários comunitários ou coletivos, desenvolvido a partir do sistema de medição de desempenho supracitado, foi denominado *ShelterPro*. O programa foi desenvolvido na linguagem *Java*, que tem como principal característica a portabilidade, ou seja, o programa desenvolvido nesta tecnologia é independente de plataforma ou sistema operacional, portanto não há problemas de compatibilidade entre sistemas como *Windows*, *Mac OS*, *Linux*, etc. Outra vantagem da linguagem *Java* é o fato dela ser uma das mais utilizadas e difundidas atualmente, garantindo assim a facilidade e baixo custo de manutenção futura por muitos anos. Além da linguagem *Java*, o programa utiliza um banco de dados *SQLite* embarcado na aplicação, gerando acesso rápido e armazenamento seguro de dados. Por fim, para a parte de geolocalização e mapas foi utilizada a biblioteca do *GoogleMaps* que garante a localização de qualquer endereço mundial sem onerar na rapidez e tamanho do programa, visto que ele se utiliza da Internet para busca e carregamento dos mapas.

O cadastro de abrigos no software *ShelterPro* permite a composição de uma base de dados para consulta de possíveis equipamentos para a instituição de abrigos temporários (Figura 1). Ao serem cadastrados, os abrigos são automaticamente priorizados e seus dados podem ser acessados e editados conforme necessidade.

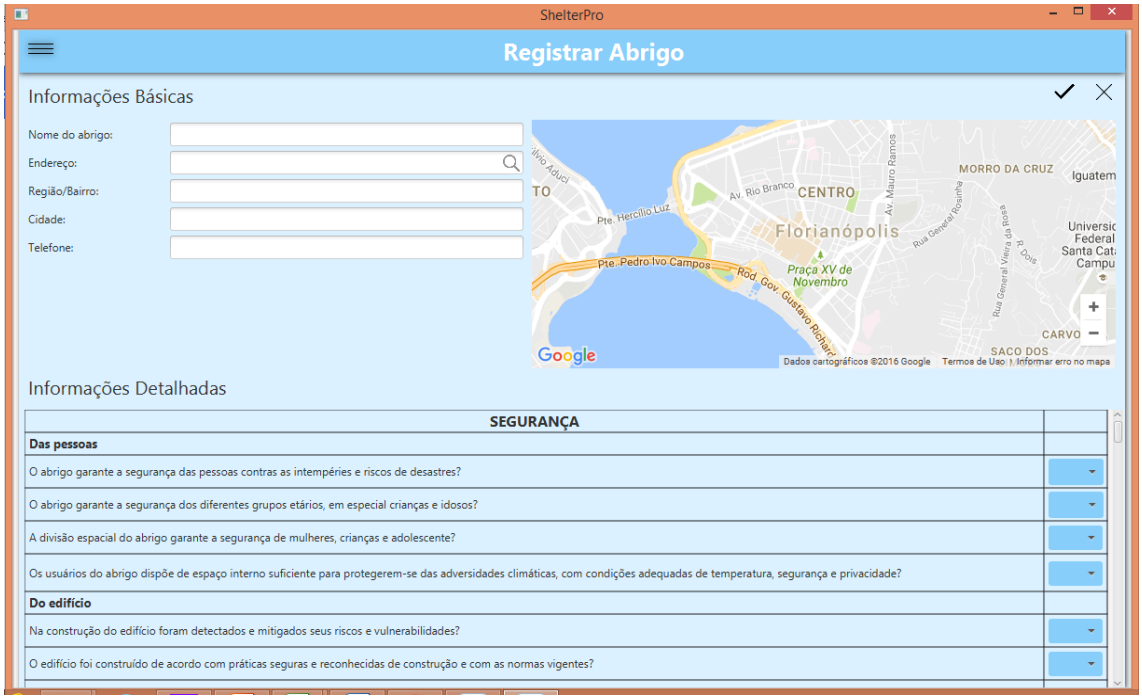


Figura 1: Tela oferecida pelo software para o registro de abrigos temporários

Cadastrados os equipamentos com potencial para constituírem abrigos temporários comunitários ou coletivos, é possível listá-los na forma de um ranking, cuja pontuação considera apenas aqueles indicadores que não estão diretamente relacionados a um evento específico. Diz-se isso em função do cadastro de um evento incluir informações sobre o número de pessoas afetadas (que possibilita o cálculo do número de famílias a serem abrigadas) e a sua localização. Quando há o cadastro de um evento, os abrigos são priorizados de tal maneira que todas as alternativas que atendem a esse parâmetro, recebem a pontuação máxima, enquanto os demais recebem pesos proporcionais a sua capacidade. O critério de avaliação "Localização", no entanto, em seu subcritério "Distribuição Ótima", possui um indicador relacionado à distância máxima a ser percorrida pela população em risco até o abrigo temporário. Para que esse indicador seja considerado na priorização dos abrigos, é necessário que seja cadastrado um evento, bem como seja indicada a sua localização no mapa.

Na ocorrência de um evento, portanto, deve-se cadastrá-lo no software *ShelterPro*, informando dados como o nome, a data de ocorrência, o local, o raio de sua abrangência e a quantidade de pessoas atingidas, por exemplo. O software *ShelterPro* permite o registro e localiza o evento no mapa de acordo com o raio de abrangência informado. Concluído o registro do evento, o software apresenta a lista de abrigos cadastrados, iniciando por aquele que mais se adequa à situação apresentada. São considerados para a conformação deste ranking todos os critérios de avaliação cadastrados e seus respectivos pesos. Os abrigos cadastrados podem ser observados em um mapa, conforme mostra a Figura 2, facilitando a identificação de possíveis abrigos em áreas próximas a um evento.

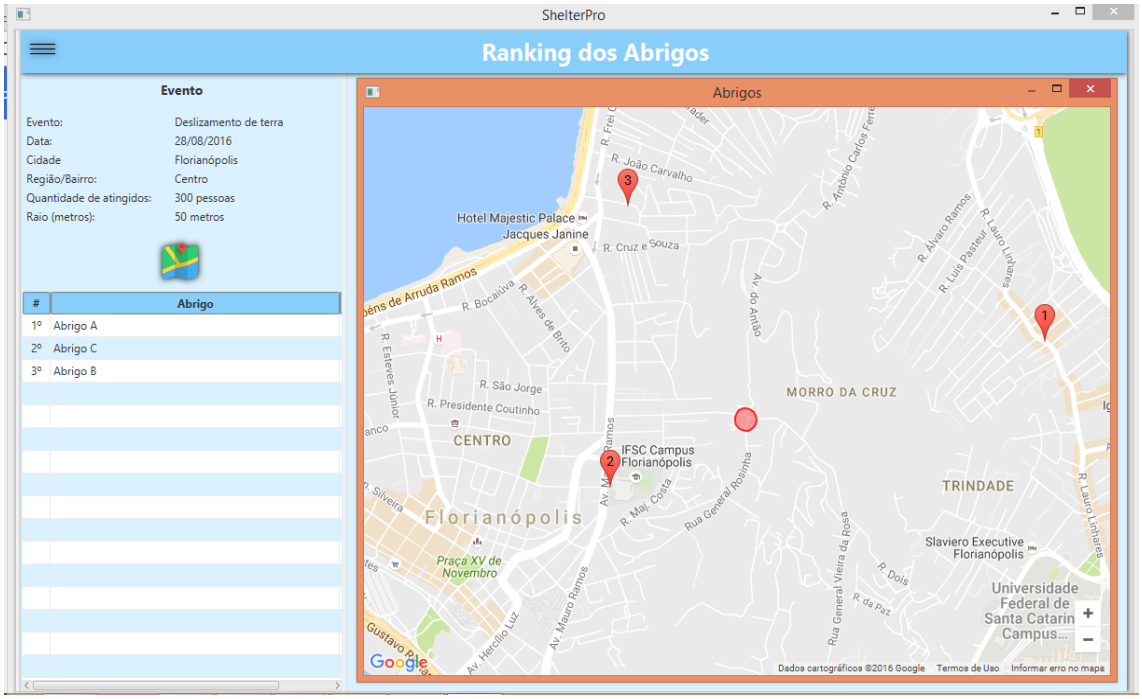


Figura 2: Tela oferecida pelo software com a indicação de um evento e com a localização de abrigos temporários cadastrados

Apresentado o ranking dos abrigos, o decisor deve verificar a capacidade ideal de cada um deles, a fim de saber quantos precisarão ser ativados. De maneira geral, um mesmo abrigo pode apresentar capacidades diferentes de acordo com o critério analisado. Sendo assim, torna-se necessário que o decisor opte por aqueles critérios quantitativos mais importantes para cada situação apresentada ou, ainda, que os adeque, otimizando aqueles aspectos que indicam uma capacidade menor.

É possível, ainda, obter-se um relatório em PDF com os dados cadastrados e com dados quantitativos calculados pelo software. Nesse relatório também são apontadas as possíveis melhorias para que o abrigo atinja um melhor desempenho. Isso se dá em função daqueles indicadores que foram avaliados como insuficientes ou ausentes no equipamento cadastrado. Ou seja, o relatório proporciona, aos decisores, parâmetros para a adequação desses equipamentos aos requisitos validados pelos especialistas consultados nesta pesquisa.

Faz-se importante destacar que o software *ShelterPro* foi desenvolvido para ser uma ferramenta fácil e intuitiva de apoio à decisão. Essa ferramenta multicritério tem como objetivo facilitar o trabalho de decisores em uma situação emergencial, propondo a ativação de determinados equipamentos para constituírem abrigos temporários comunitários ou coletivos, que se adequem, da melhor maneira possível, à situação apresentada e à população afetada. Ao mesmo tempo, esta ferramenta pode auxiliar na melhoria de equipamentos existentes, demonstrando aspectos que precisam ser observados e/ou melhorados.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ocorrência de desastres naturais ou antrópicos, no Brasil e no mundo, vem evidenciando um tratamento logístico especial, designado de logística humanitária. Foram citados, neste trabalho, grandes desafios na implementação de processos logísticos sistematizados,

especialmente aqueles relacionados à infraestrutura e localização de centrais de assistência e coordenação de processos, incluindo-se aqui os abrigos temporários.

O sistema de medição de desempenho para a avaliação de abrigos temporários apresentado neste trabalho pode auxiliar administradores de organizações de assistência humanitária na tomada de decisão, bem como na melhoria do desempenho logístico dessas organizações. O modelo multicritério de decisão originado desse sistema, além de permitir a análise individual de cada abrigo, constitui uma ferramenta multicritério de apoio à decisão, no que se refere à seleção e localização de abrigos temporários. Essa ferramenta poderá ser útil no nível estratégico ou operacional das decisões logísticas.

No nível estratégico relaciona-se à acumulação de infraestruturas, neste caso especificamente de abrigos temporários, auxiliando na determinação da quantidade de abrigos necessária diante de possíveis cenários de desastres. Consequentemente, será possível apontar a necessidade de novas estruturas para a constituição de abrigos, bem como as modificações e adaptações necessárias para que essas estruturas atinjam um desempenho melhor. No nível operacional, o modelo multicritério de apoio à decisão poderá ser útil para a distribuição da população afetada entre os abrigos selecionados e instituídos.

Como sugestão para futuros trabalhos, seria interessante acrescentar ao software desenvolvido – o *ShelterPro* – parâmetros relacionados à distribuição ótima da população atingida e ao seu transporte, fazendo-se necessário, para tanto, o desenvolvimento de pesquisas e métodos de quantificação desses parâmetros.

Agradecimentos
Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina / PósARQ, ao CNPQ e à CAPES. Agradecem, ainda, ao Engenheiro de Automação Raphael Santos Nappi por ter contribuído, com o seu conhecimento em TI, para tornar possível o *ShelterPro.*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Apte, A. (2009) *Humanitarian Logistics: a New Field of Research and Action.* Foundations and Trends® in Technology, Information and OM: Vol. 3: No 1. USA, 2009.

Brasil (2007) Ministério da Integração Nacional. *Política Nacional de Defesa Civil.* Brasília: Secretaria Nacional de Defesa Civil. 82p. Disponível em: <http://www.ceped.ufsc.br/sites/default/files/projetos/PoliticaNac._DF.pdf>. Acesso em: 10 set. 2013.

Campbell, A. M.; Vandenbussche, D. E Hermann, W. (2008) Routing for Relief Efforts. *Transportation Science* 42(2):127-145. http://dx.doi.org/10.1287/trsc.1070.0209.

Cardona, O. D.; Hurtado, J. E.; Duque, G.; Moreno, A.; Chardon, A. C.; Velásquez, L. S. Y Prieto, S. D. (2003) *La Noción de Riesgo desde la Perspectiva de los Desastres: Marco Conceptual para su Gestión Integral.* BID/IDEA Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos, Universidad Nacional de Colombia, Manizales. Disponível em: http://idea.unalmzl.edu.co. Acesso em: 03/07/2014.

Chandes, J.; Paché, G. (2010) Investigating Humanitarian Logistics Issues: from Operations Management to Strategic Action. *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 21 Iss 3 pp. 320 – 340.

Chou, T.-Yu, Hsu, C.-Lun e Chen, M.-Chyi (2008). A Fuzzy Multi-Criteria Decision Model for International Tourist Hotels Location Selection. *Ratio*, 27, 293-301.

Conselho Da União Europeia (2007). Declaração Conjunta do Conselho e dos Representantes dos Governos dos Estados-Membros Reunidos no Conselho, do Parlamento Europeu e da Comissão – *Consenso Europeu em matéria de Ajuda Humanitária*. Bruxelas.

Fernandes, C. W. N. (2010) *O Enfoque da Logística Humanitária na Localização de uma Central de Inteligência e Suporte para Situações Emergenciais e no Desenvolvimento de uma Rede Dinâmica.* 273 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis.

Gralla, E.; Goentzel, J. E Fine, C. (2014) Assessing Trade-Offs among Multiple Objectives of Humanitarian Aid

Delivery Using Expert Preferences. *Production And Operations Management*, Vol. 23, No. 6, pp. 978-989.

Kar, B. And Hodgson, M. E. (2008) A Gis-Based Model to Determine Site Suitability of Emergency Evacuation Shelters, *Transactions in GIS*, 12(2): 227-248.

Kovács, G. E Spens, K. M. (2007) Humanitarian Logistics in Disaster Relief Operations. *Int. J. Phys. Distrib. Logis. Manag.* 37, 99–114.

Kovács, G. E Tatham, P. (2009) Humanitarian Logistics Performance in the Light of Gender. *International Journal Of Productivity And Performance Management*, Vol. 58 Iss 2 pp. 174 – 187.

Kunz, N.; Reiner, G.; Gold, S. (2013) Investing in Disaster Management Capabilities Versus Pre-Positioning Inventory: a New Approach to Disaster Preparedness, *International Journal of Production Economics*, forthcoming.

Ministério da Integração Social (2012) Instrução Normativa N. 1, de 24 de agosto de 2012. *Diário Oficial da União*. Seção 1, n. 169, quinta-feira, 30 de agosto de 2012. Disponível em: <http://www.cnm.org.br/portal/images/stories/Links/09062014_Instrucao_normativa_de_01_de_agosto_de_2012.pdf>. Acesso em: 28 de novembro 2013.

Nappi, M. M. L. & Souza, J. C. (2015) Disaster Management: Hierarchical Structuring Criteria For Selection And Location Of Temporary Shelters. *Natural Hazards*, V. 75, Issue 3, p. 2421-2436.

Nappi, M. M. L. & Souza, J. C. (2014) Logística Humanitaria: Indicadores de Sostenabilidad para Alojamientos Temporales. *Noticreto*, Colômbia, nº 122, p. 12-15.

Nappi, M. M. L. (2016) *Modelo multicritério de decisão com foco na logística humanitária a partir de medidas de desempenho para abrigos temporários.* 213 p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PósARQ, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Santa Catarina.

Nogueira, C. W.; Gonçalves, M. B. E Novaes, A. G. (2008) A Logística Humanitária e Medidas de Desempenho: a Perspectiva da Cadeia de Assistência Humanitária. *Anais do XXII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Fortaleza. Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes*, ANPET, Rio de Janeiro.

Oliveira, M. (2009) *Livro Texto do Projeto Gerenciamento de Desastres – Sistema de Comando de Operações.* Florianópolis: Ministério da Integração Nacional, Secretaria Nacional de Defesa Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres.

Omidvar, B.; Baradaran-Shoraka, M. E Nojavan M. (2013) Temporary Site Selection and Decision-Making Methods: a Case Study Of Tehran, Iran. *Disasters.* 37(3): 536−553.

Overstreet, R. E.; Hall, D.; Hanna J.; And Rainer, Jr. R. K. (2011) Research in Humanitarian Logistics. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 1(2), 114–131.

Saadatseresht, M.; Mansourian, A. E Taleai, M. (2009) Evacuation Planning Using Multiobjective Evolutionary Optimization Approach**.** *European Journal of Operational Research***,** Volume 198, Issue 1, 1 October 2009, Pages 305-314.

Thomas, A. (2007) *Humanitarian Logistics: Enabling Disaster Response.* The Fritz Institute. Disponível em: http://www.fritzinstitute.org/pdfs/whitepaper/enablingdisasterresponse.pdf. Acesso em: 20/12/2012.

Tomasini, R.; Van Wassenhove, L. (2009) *Humanitarian Logistic***.** New York: INSEAD Business Press.

UNICEF (2008) *Albergues en Escuela, ¿Cuándo?, ¿Cómo?, ¿Por Qué?* Ginebra: Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia.

Van Wassenhove, L. N., 2006. Blackett memorial lecture humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear. *Journal of the Operational Research Society* 57(5): 475-489.

Vitoriano, B.; Ortuño, M. T.; Tirado, G. E Montero, J. (2011) A Multi-Criteria Optimization Model for Humanitarian Aid Distribution. *Journal of Global Optimization***,** 51 (2). pp. 189-208.

Manuela Marques Lalane Nappi (lalppi.ms@gmail.com)
João Carlos Souza (joao.carlos@ufsc.br)
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PósARQ – Universidade Federal de Santa Catarina
Campus UFSC – Trindade, Florianópolis / SC, Brasil

MODELAGEM DE UMA REDE LOGÍSTICA REVERSA PARA COLETA E TRANSPORTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Adelaida Pallavicini Fonseca
José Antonio Rodríguez Melquiades
Milton Jonas Monteiro
Universidade de Brasília
Programa de Pós-Graduação em Transportes

RESUMO
A pesquisa bibliográfica revela uma preocupação dos governos federais com a destinação final dos resíduos sólidos urbanos (RSU) com o objetivo de preservar a saúde da população, o meio ambiente urbano e rural. Por exemplo, no Brasil observa-se a publicação da Lei 12.305/2010 e, no Peru, da Lei 27.314/2000. Neste contexto e para o caso das cidades brasileiras esperava-se que, com o comando legal de desativação dos lixões até 2014, surgissem medidas que viabilizassem a coleta seletiva, reciclagem e reutilização para cerca de 80% do volume total de resíduos sólidos coletados e destinados a locais impróprios. Nesse sentido esta pesquisa tem como objetivo principal modelar e planejar uma rede logística reversa para uma região urbana. Os resultados obtidos mostram ser possível realizar a modelagem matemática desse tipo de problema com baixo investimento, assim como aplicá-la em várias regiões sem necessidade de grandes mudanças no modelo proposto.

ABSTRACT
The literature reveals a concern of Federal Governments with the disposal of municipal solid waste (MSW) in order to preserve the health of the population, the urban and rural environment. For example, in Brazil there has been the publication of Law 12,305/2010 and, in Peru, of Law 27,314 / 2000. In this context and for the case of Brazilian cities, it was expected that, with the legal command for the deactivation of landfills by 2014, measures would be adopted in order to enable the selective collection, recycling and reuse for about 80% of the total volume of collected solid waste and intended to inappropriate places. In this sense, this research aims to model and plan a reverse logistics network to an urban area. The results show to be possible perform mathematical modeling of this problem with low investment, as well as apply it in various regions without major changes in the proposed model.

1. INTRODUÇÃO

A acessibilidade predial na maioria das cidades já se encontra comprometida, em virtude da falta do cumprimento das normas técnicas brasileiras quanto ao desenho e construção de calçadas e passeios, assim como na disposição não padronizada dos elementos de infraestrutura de mobilidade urbana (Cerna, 2014). O problema se agrava com a colocação indiscriminada dos RSU (seja como for o armazenamento) nas calçadas e nas vagas de estacionamento, como apontam as pesquisas de Monteiro (2013), Oliveira (2014) e Abreu (2015). Esses três autores levantaram a situação da coleta e transporte dos RSU nas quadras comerciais da cidade de Brasília. Um deles focou o problema no Setor Comercial Norte (Monteiro, 2013) e os outros dois nas quadras comerciais do Plano Piloto (Abreu, 2015; Oliveira, 2014). Os diagnósticos apresentados nesses trabalhos mostram a dificuldade de gestão dos RSU na cidade.

O modelo de gestão dos Serviços de Limpeza Urbana é similar em aproximadamente todas as cidades brasileiras, sendo que a situação de acondicionamento residencial ou predial, coleta e transporte, tratamento e disposição final dos RSU, é a mesma em quase todas as cidades, segundo dados da ABRELPE (2014). Não se pode negar que existem muitas iniciativas da população e de várias organizações não governamentais tratando de reverter essa situação, no entanto, elas não têm a infraestrutura adequada para operacionalizar várias ações da cadeia logística reversa, nem muito menos as competências e atribuições necessárias para exercer o mesmo papel que lhe cabe aos órgãos gestores. De todo o exposto, conclui-se que o tema é bastante desafiador, pois embora a sociedade possa ter consciência da riqueza descartada cotidianamente e de potenciais ganhos econômicos, sociais e ambientais que poderiam ser

auferidos, soluções abrangentes parecem caminhar a passos lentos. Em sentido contrário, os indicadores apontam avanço acelerado na produção de bens que um dia serão descartados, no aumento nos custos de operação da coleta e transporte, construção e manutenção de aterros e de outras facilidades e na constante falta de recursos públicos para obras públicas e gestão.

A rigor, pode-se concluir que o maior problema que todas as cidades têm, está na falta de uma rede logística reversa que integre todos os participantes formais e informais, privados ou não, que atuam e trabalham com os RSU, aliada a um bom sistema de informação gerencial e de controle operacional. Há necessidade de se implantar políticas públicas adequadas, que possibilitem saltos qualitativos, permitindo assim migrar rapidamente a sistemas integrados que reincluam os RSU na cadeia produtiva, aproveitando o seu potencial produtivo e de geração de renda, assim como o seu conteúdo energético. A Lei nº 12.305/2010, é enfática neste sentido.

Nessa perspectiva da nova legislação e do estágio pouco avançado em que se encontra em relação à coleta, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos é que motivou o desenvolvimento dessa pesquisa, que tem como objetivo principal, modelar e planejar uma rede logística reversa para uma região urbana, dimensionando o fluxo de RSU que será movimentado ao longo da rede e determinando o número e capacidade das estações de coleta e das unidades produtivas e especiais necessárias para o atendimento dessa região, quanto a coleta, transporte e disposição final dos RSU. Com a otimização do modelo de coleta e transporte de RSU é possível reorganizar o sistema logístico reverso de uma cidade de forma a conseguir um melhor dimensionamento da rede, com a consequente diminuição do número de veículos que circulam na cidade e de contêineres e sacolas de lixo espalhados pela cidade, criando um ambiente mais sustentável e saudável.

Para isso, foram definidas quatro seções contadas a partir dessa introdução, que apresenta o contexto do problema e o objetivo do artigo. A segunda seção levanta os elementos abordados na literatura sobre modelos de redes logísticas, de distribuição (direita) e reversa e de gestão de RSU. Base que subsidia a modelagem da rede logística proposta apresentada na seção seguinte. Em seguida, há o encerramento do artigo com a conclusão da pesquisa realizada.

2. MODELOS DE REDES LOGISTICAS E GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Neste item apresenta-se um levantamento do estado da arte dos principais modelos matemáticos utilizados na estruturação de redes logísticas, de forma geral, e na gestão de resíduos sólidos. Assim, fez-se uma seleção daqueles modelos que podiam vir a contribuir com os objetivos do trabalho. O processo de seleção compreendeu os seguintes passos:

a) Revisão bibliográfica sobre modelos matemáticos relacionados ao tema da pesquisa;
b) Compreensão clara da proposta de cada modelo e suas técnicas de solução;
c) Analise dos requerimentos de dados para executar os modelos;
d) Busca de uma base de dados existentes nos diferentes agentes envolvidos na logística e gestão de resíduos sólidos para testar esses modelos;
e) Avaliação de uma ferramenta computacional que permitisse executar os modelos selecionados e simular várias soluções;
f) Análise da experiência alcançada com cada modelo para fundamentar a modelagem proposta na pesquisa (Melquiades, 2015).

Devido à complexidade de uma série de modelos utilizados na literatura cientifica para estruturar redes logísticas, otimizar rotas e, sistemas de distribuição e coleta com vários pontos

de origens e destinos e pontos de triagens, buscou-se aqueles modelos mais simplificados que fossem factíveis de serem programados e validados. Vale ressaltar que a literatura é muito vasta quanto a esse tema, no entanto, nem todos os modelos podem ser testados, já que, muitas vezes apresentam alguma incompatibilidade, como conflito nas restrições, ou falta de alguma hipótese ou premissa. Diante desse quadro, observou-se que era importante contar com uma ferramenta computacional que possibilitasse a execução dos modelos selecionados e preferencialmente não tivesse nenhum custo. Assim, realizou-se uma busca intensiva de softwares livres na Internet, chegando-se à conclusão que a melhor ferramenta computacional para ser utilizada era o software *GLPK* (Makhorim, 2008). O GLPK mostrou-se uma ferramenta muito pratica quanto a sua capacidade de execução dos algoritmos testados e de trabalhar com um número bastante considerável de variáveis e dados de entrada.

2.1. Modelos de Redes Logísticas

Uma proposta baseada num modelo de programação inteira mista não linear para o desenho de rede logística de distribuição integrada (direta e reversa) foi apresentada por Jeung (2005). Neste modelo a função objetivo minimiza os custos totais, que representam os custos operacionais, os custos de funcionamento das facilidades fornecidas e os custos de fluxos diretos e reversos. A técnica de solução desenvolvida para solucionar o problema foi um algoritmo genético. Já Srivastava (2008) apresenta no nível metodológico uma estrutura conceitual combinando a modelagem descritiva com as técnicas de otimização para abordar o problema de logística reversa. Dessa forma, formula um modelo conceitual de logística reversa baseado em multiperíodo e com agregação de valor ao sistema. O modelo está fundamentado em três níveis: retorno dos produtos pós-venda e pós-consumo; captação desses produtos nos centros de coleta; transporte desses produtos aos centros de manutenção e remodelação ou aos centros de manufatura.

Um modelo de programação linear que minimiza o custo total para o transporte em uma rede de logística reversa foi proposto por Lee J. *et al* (2008). O modelo compreende três etapas: os RSU coletados nas estações de coleta (*ec*) são transportados para os centros de triagem (*cd*); nos centros de triagem (*cd*) é realizada uma classificação dos RSU sob três critérios, RSU que podem ser reutilizados são transportados para os centros de reciclagem (*r*); RSU que precisarem de algum processo então são transportados para os centros de transformação (*ct*) e; aqueles resíduos sem valor são transportados para os centros de eliminação (*e*); os RSU processados nos centros de transformação (*ct*) são transportados para as fábricas (*f)*, nesta etapa mantêm-se a seguinte premissa, se a quantidade de matéria-prima (*m*) que vem dos centros de transformação (*ct)* é menor do que a demanda das fábricas (*f*), então estas devem comprar essa matéria prima de seus outros fornecedores, mas se existe matéria-prima suficiente para atender a demanda das fábricas então, não se faz necessário os outros fornecedores, no entanto, o excesso deve ser distribuído aos centros de reciclagem (*r*) e/ou centros de eliminação (*e*).

Para resolver o modelo de logística reversa, Saman *et al* (2009) propõem um modelo de programação linear inteira mista para otimizar os custos de transporte e custos fixos de funcionamento das diferentes unidades produtivas que compõem a rede logística reversa. O modelo permite também, determinar o número necessário das diferentes unidades produtivas que compõem a rede. O modelo desses autores também funciona em várias etapas: os RSU são entregues nos centros de atenção ao cliente (*l*), que depois são enviadas as estações de coleta (*ec*). Nas estações de coleta se realiza uma triagem. Os RSU's com possibilidades de serem

reciclados ou recuperados são enviados aos centros de recuperação (*cr*) e aqueles que não tem mais utilidade são encaminhados aos centros de eliminação (*e*).

Devido à complexidade do problema os autores fazem uso da metaheurística *simulated annealing* para obter soluções. O modelo matemático procura otimizar a rede logística reversa, buscando atender a demanda dos clientes que descartam seus RSU no sistema. O modelo de otimização trata de determinar, em função das capacidades estabelecidas ás unidades produtivas da rede, o número de unidades necessária de cada uma delas, assim como as quantidades de volume de carga que deve sair de cada uma delas de forma a minimizar os custos de transporte na rede.

Sterle (2010) explica que é possível desenvolver um sistema de logística urbana em dois níveis, baseando-se numa extensão do PRV. O modelo consiste em concentrar a carga que chega para a área urbana em um determinado conjunto de plataformas (*CP*), localizadas no cordão externo (limítrofe) da área urbana. Nessas plataformas (*p*) a carga é classificada segundo a localização geográfica do destinatário da carga e distribuída a um conjunto de centros menores (*CS*) localizados nos bairros ou distritos pertencentes à área urbana. Esses centros são denominados pelo autor como unidades satélites (*s*). Devido a natureza combinatória do problema tem-se uma complexidade computacional para resolver o modelo, assim observa-se que quando mais componentes ou variáveis são acrescentados, o tempo de processamento para encontrar uma solução vai ficando bem maior. Dessa forma, Sterle (2010) propõe uma meta heurística (busca tabu) que resolve o problema em pouco tempo computacional, mas não garante que a solução seja ótima.

O Modelo de Qureshi *et al* (2010) é uma variante do Problema de Roteirização e Programação de Veículos com Janelas de Tempo (PRVPJT) conhecido como o Problema de Roteirização e Programação de Veículos com Janelas de Tempo Meio Suave (PRVPJTMS). O modelo proposto pelo referido autor aplica penalidade ao veículo quando este se atrasa e chega depois do tempo estabelecido na janela de tempo do cliente. A representação matemática do modelo de Qureshi *et al* (2010) é semelhante ao PRVJT, mas a janela de tempo $[a_i, b_i]$ é estendida para $[a_i, b_i']$, onde $b_i < b_i'$.

Conforme Badran (2006) o gerenciamento dos RSU compreende o gerenciamento de três grandes sistemas. O primeiro é relacionado ao sistema físico-operacional, que começa com a otimização do processo de coleta dos resíduos, continua com o tratamento adequado (reciclagem e/ou reutilização) até a disposição final dos mesmos, seguindo as normas ambientais exigidas. O segundo sistema diz respeito aos aspectos institucionais, onde o gerenciamento deve considerar todos os agentes que participam direta e indiretamente em todos os processos de forma a garantir o funcionamento do sistema, qualidade do serviço, a preservação do meio ambiente e o bem-estar da comunidade. Isso inclui a forma de relacionamento e participação de todos, contemplando programas de conscientização e responsabilidade social. O terceiro sistema refere-se ao sistema jurídico e regulatório.

Quanto ao sistema físico-operacional há várias propostas para otimizar os processos e determinar a quantidade necessária de estações. Um modelo de programação linear inteira mista para a seleção das estações de coleta necessárias numa região urbana ou cidade foi proposta por (Badran, 2006). Ele divide a região urbana em zonas (*z*), os RSU que são coletados nessas zonas são transportados as estações de coleta (*ec*). Nesse local, os RSU passam por uma triagem, os

que são plausíveis de recuperação ou de reciclagem são transportados para os centros de triagem (*cd*) e o resto é transportados para os aterros (*a*).

3. PROPOSTA DE MODELAGEM PARA COLETA E TRANSPORTE DE RSU

Em geral, a configuração de uma rede logística reversa de uma cidade segue a estrutura apresentada na Figura 1. Independente de como seja feita o processo de coleta e transporte dos RSU em uma cidade, esta pesquisa propõe três etapas do processo de modelagem da rede logística reversa:

a) Roteirização da coleta dos RSU gerados nas zonas urbanas e transporte dos mesmos para as estações de coleta;
b) Transporte dos RSU das estações de coleta selecionadas até os centros especializados sob duas propostas diferentes, as quais se descrevem a continuação;
c) Teste e validação do modelo com a aplicação em um estudo de caso.

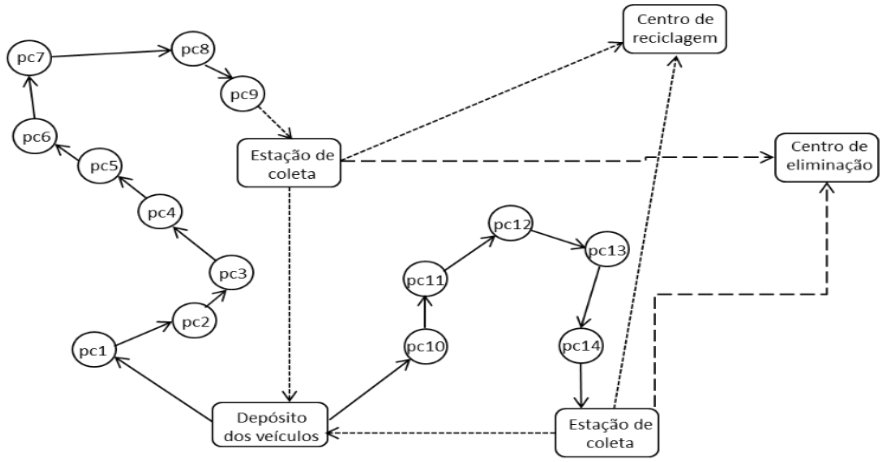


Figura 1: Esquema do processo de coleta e transporte de RSU
Fonte: Elaboração própria

Dependendo do comportamento da comunidade e da política do governo local, pode apresentar-se duas situações, os usuários não separam devidamente os RSU ou caso contrário, separam. Caso se dê a primeira situação precisar-se-á de centros de triagem para fazer a devida separação, o que aumenta os custos do sistema, devido a necessidade de investimento na construção de uma instalação desse tipo e aos seus custos de manutenção e operação. Na Figura 2 ilustra-se o primeiro caso. Na segunda situação (caso) são eliminados os centros de triagem.

3.1. Primeira Etapa

A primeira etapa do processo de modelagem da rede logística reversa consiste em formular o problema de roteirização e seleção das estações de coleta. Baseado no PRVJT e no modelo de Buhrkal *et al* (2012) formula-se um modelo que minimize o custo total obtido no processo de geração do melhor plano de roteirização, que atenda a demanda de todos os pontos de coleta e o transporte dos RSU coletados para as estações de coleta selecionadas. A inserção de janelas de tempo no modelo é com o propósito de estabelecer períodos prefixados para a coleta de RSU nos pontos de coleta. Essa variável permitirá otimizar a frota ao longo do dia e estabelecer melhor as estações de coleta.

Vários autores, entre eles, Buhrkal *et al* (2012) agregam um componente interessante em seus modelos matemáticos, que consiste em quantificar as emissões de CO_2 dos veículos alocados

em uma rota, mostrando sua relevância. Esse elemento somado à função objetivo do modelo influencia no processo de roteirização e seleção das estações de coleta, já que na medida em que aumenta o valor da emissão de CO_2 pelo aumento do número de veículos circulando na rede viária, o modelo procura encontrar outra combinação que minimize os custos de transporte e de instalação das estações de coleta. Tomando em consideração esse aspecto, passa-se a utilizar esse componente na formulação matemática do modelo proposto na pesquisa.

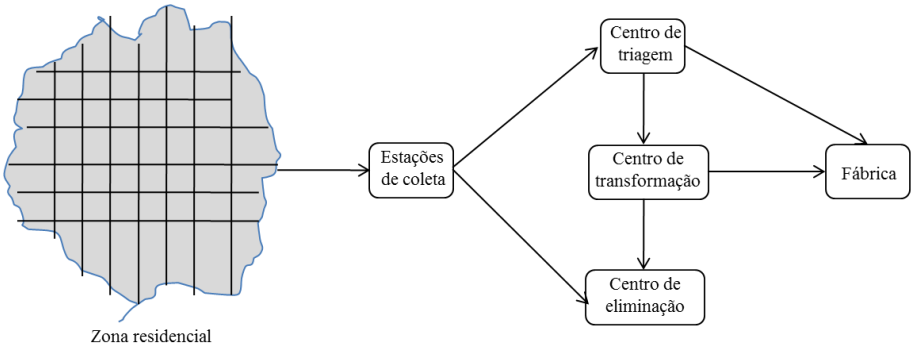


Figura 2: Proposta do Caso I
Fonte: Elaboração própria

Função Objetivo:

$$Min\ CT = \sum_{i,j=1;i\neq j}^{p'} \sum_{k=1}^{k'} c_{i,j} x_{i,j,k} + \sum_{ec=1}^{n} cf_{ec} y_{ec} + \sum_{i,j=1;i\neq j}^{p'} \sum_{k=1}^{k'} cc \left(\frac{em_k}{q_k}\right) x_{i,j,k} \quad (1)$$

Minimizar os custos de transporte na roteirização e transporte as estações de coleta + custos de abertura das estações de coleta selecionadas + quantificação das emissões de CO_2 pelos veículos utilizados no processo de roteirização e transporte

Sujeito a:

- Restrição 1, garante que o veículo k deixa o depósito para iniciar uma rota;

$$\sum_{j=1}^{h'} x_{0,j,k} = 1, \qquad \forall k \in K \quad (2)$$

- Restrição 2, garante que o veículo k depois, de visitar a última estação de coleta retorna ao depósito;

$$\sum_{ec=1}^{n} x_{ec,0,k} = 1, \qquad \forall k \in K \quad (3)$$

- Restrição 3, cada ponto de coleta é atendido exatamente uma vez;

$$\sum_{i=1;i\neq j}^{p'} \sum_{k=1}^{k'} x_{i,j,k} = 1, \qquad \forall j \in PC \quad (4)$$

- Restrição 4, estabelece a conservação de fluxo entre pontos de coleta e estações de coleta;

$$\sum_{i=1}^{p'} x_{i,j,k} = \sum_{i=1}^{p'} x_{j,i,k}, \qquad \forall j \in PC \cup EC; \qquad k \in K \quad (5)$$

- Restrição 5, estabelece as janelas de tempo para o atendimento nos pontos de coleta;

$$a_i \leq W_{i,k} \leq b_i, \qquad \forall i \in PC;\ k \in K \quad (6)$$

- Restrição 6, modela o tempo de atendimento nos pontos de coleta;

$$W_{i,k} + s_i + t_{i,j} \leq W_{j,k} + 100000\left(1 - x_{i,j,k}\right) \quad \forall i,j \in PC \cup EC;\ k \in K; i \neq j \qquad (7)$$

- Restrição 7, estabelece que os veículos comecem o processo de coleta vazio e terminem vazios depois de concluir esse processo;

$$\sum_{i=0,i=8}^{u} D_{i,k} = 0, \qquad \forall k \in K \qquad (8)$$

- Restrição 8, relação que estabelece o equilíbrio dos RSU acumulados nos pontos de coleta e nas estações de coleta;

$$D_{i,k} + q_i \leq D_{j,k} + 100000\left(1 - x_{i,j,k}\right), \forall i \in PC \cup EC; j \in N; k \in K; i \neq j \qquad (9)$$

- Restrição 9, a quantidade de RSU coletados tem que ser menor ou igual as capacidades dos veículos coletores;

$$D_{i,k} \leq q_k, \qquad \forall i \in PC; k \in K \qquad (10)$$

- Restrição 10, estabelece que o atendimento dos pontos de coleta pelos veículos é limitado;

$$\sum_{i=1}^{p'} \sum_{j=1}^{h'} x_{i,j,k} \leq S, \qquad \forall k \in K \qquad (11)$$

- Restrição 11, somente é possível atribuir uma estação de coleta a um veículo, caso a estação fosse selecionada para oferecer atendimento;

$$x_{i,ec,k} \leq y_{ec}, \qquad \forall i \in N; ec \in EC; k \in K; i \neq ec \qquad (12)$$

- Restrições de não negatividade das variáveis e das variáveis binárias;

$$D_{i,k} \geq 0, \qquad \forall i \in N; k \in K \qquad (13)$$

$$W_{i,k} \geq 0, \qquad \forall i \in N; k \in K \qquad (14)$$

$$x_{i,j,k} = \{0,1\}, \qquad \forall i,j \in N; \quad k \in K \qquad (15)$$

$$y_{ec} = \{0,1\}, \qquad \forall ec \in EC \qquad (16)$$

Fórmula proposta pela Volvo Trucks (2010) para emissão de CO2 em kg/(ton-km) e inserida na FO do modelo:

$$Emissao\ CO2\ em \frac{kg}{ton.km} = cc\left(\frac{em_k}{q_k}\right) \qquad (17)$$

3.2. Segunda Etapa

Consiste em analisar o processo de transporte dos RSU coletados nessas estações para os centros especializados, de acordo com os casos I e II levantados no início de este item. O processo de transporte foi otimizado fazendo uma variação do modelo proposto em Lee J. *et al.* (2009). Para o Caso I, apresenta-se o modelo que otimiza os custos de transporte dos RSU entre os diferentes centros especializados ou unidades produtivas que compõem a rede logística reversa. Ao modelo é agregado o componente de quantificação de emissões de CO_2 produzidos pelos veículos no processo de transporte. Para o Caso II foi feita uma variação do modelo apresentado para o Caso I, mas sem considerar os centros de triagem.

Caso I: Função Objetivo:

$$Min\ CT = \sum_{ec,cd=1}^{n,n'} c_{ec,cd} x_{ec,cd} + \sum_{ec,e=1}^{n,e'} c1_{ec,e} x1_{ec,e} + \sum_{cd,f=1}^{n',f'} c2_{cd,f} x2_{cd,f} + \sum_{cd,ct=1}^{n\prime,n"} c3_{cd,ct} x3_{cd,ct} + \sum_{ct,f=1}^{n",f\prime} c4_{ct,f} x4_{ct,f} + \sum_{ct,e=1}^{n",e\prime} c5_{ct,e} x5_{ct,e}$$

$$+\sum_{k,i,j=1}^{k',m',m'} ff_{k,i,j}Y_{k,i,j} + \frac{\sum_{ec,cd=1}^{n,n'}\sum_{k=1}^{k'} cc\left(\frac{em_k}{q_k}\right)\left(Y_{k,ec,cd}\right)\left(Dist_{EC_{CD}}\right)}{m} \quad (18)$$

Minimizar os custos de transporte entre os centros especializado se reduzir as emissões de CO_2

Sujeito a:

- Restrição 1, modela as capacidades das estações de coleta;

$$\sum_{cd,e=1}^{n',e'} x_{ec,cd} \leq a_{ec}, \qquad \forall ec \in EC \quad (19)$$

- Restrição 2, modela as capacidades dos centros triagem;

$$\sum_{cd,f=1}^{n",f'} \left(x2_{cd,f} + x3_{cd,ct}\right) \leq b_{cd}, \qquad \forall cd \in CD, f \in F \quad (20)$$

- Restrição 3, modela as capacidades dos centros de transformação;

$$\sum_{f,e=1}^{f',e'} \left(x4_{ct,f} + x5_{ct,e}\right) \leq u_{ct}, \qquad \forall ct \in CT \quad (21)$$

- Restrição 4, limita o uso dos veículos para aquelas rotas selecionadas;

$$\sum_{k=1}^{k'} b\_b_{k,ec,cd}Y_{k,ec,cd} \leq x_{ec,cd}, \qquad \forall\, ec, \in EC, cd \in CD \quad (22)$$

- Restrição 5, mantem o equilíbrio do fluxo de carga nas estações de coleta, centros de triagem e centros de transformação;

$$\sum_{ec=1}^{n} x_{ec,cd} = \sum_{ct=1}^{n"} x3_{cd,ct}, \quad \forall cd \in CD \quad (23)$$

- Restrição 6, mantem o equilíbrio do fluxo de carga nas estações de coleta, centros de triagem e fábricas;

$$\sum_{ec=1}^{n} x_{ec,cd} = \sum_{f=1}^{f'} x2_{cd,f}, \quad \forall cd \in CD \quad (24)$$

- Restrição 7, mantem o equilíbrio do fluxo de carga nos centros de triagem, transformação e fábricas;

$$\sum_{cd=1}^{n'} x3_{cd,ct} = \sum_{f=1}^{f'} x4_{ct,f}, \quad \forall ct \in CT \quad (25)$$

- Restrição 8, mantem o equilíbrio do fluxo de carga nos centros de triagem, transformação e centros de eliminação;

$$\sum_{cd=1}^{n'} x3_{cd,ct} = \sum_{e=1}^{e'} x5_{ct,e}, \quad \forall ct \in CT \quad (26)$$

- Restrições de não negatividade de todas as variáveis (inclusive as binárias);

$$x_{ec,cd}, x1_{ec,e}, x2_{cd,f}, x3_{cd,ct}, x4_{ct,f}, x5_{ct,e} \geq 0 \quad (27)$$

$$Y_{k,i,j} = \{0,1\}, \forall k \in K, i, j \in N \quad (28)$$

3.3. Estudo de Caso para o Distrito de Trujillo no Peru

Para aplicar o disposto na Lei Geral de Resíduos Sólidos 27314/2000 de Perú e testar e validar os modelos propostos nessa pesquisa foi necessário fazer uma série de levantamento de informações e estudos complementares. Como estudo de caso foi escolhido o Distrito de Trujillo que pertence à Província de Trujillo no Departamento de La Libertad, da República de Perú. O Distrito de Trujillo, localizado a 34 metros acima do nível do mar, tem uma área de 39,36 km^2 (2,2 % da Província de Trujillo) e uma população de 317.900 habitantes (INEI, 2014). A densidade populacional é de 7.035 hab/km^2.

Assim, os modelos programados com a ferramenta computacional GLPK utilizaram como dados de entrada as informações do Distrito de Trujillo, fornecida pelo Serviço de Gestão Ambiental de Trujillo (SEGAT, 2014). Para operacionalização da coleta dos RSU, essa instituição, divide o Distrito em cinco zonas, além do centro da cidade (CC). A Tabela 1 mostra o número de residências por classe econômica e social e por zona geradora de RSU, assim como o volume total gerado por zonas e a taxa de geração em kg/residência/dia segundo a classe econômica e social com um nível de confiança de 95%.

Tabela 1: Residências por classe econômica e social e por zonas geradoras de RSU – Volume de RSU gerado por zona por dia e taxas de geração em kg/residência/dia

Zonas	A	B	C	Residências	Percentagem	Quantidade gerada de RSU (kg/dia)	A	B	C	Média
1	2.429	6.518	2.212	11.159	19%	29.906,12	3,16	2,44	3,06	2,68
2	-	8.209	3.022	11.231	20%	29.088,29	-	2,53	2,87	2,59
3	-	9.813	3.667	13.480	23%	38.418,00	-	2,85	2,85	2,85
4	-	6.293	2.337	8.630	15%	22.179,10	-	2,52	2,77	2,57
5	2.686	7.002	2.339	12.027	21%	31.510,74	2,55	2,46	2,87	2,62
CC	1.043	-	-	1.043	2%	2.670,08	2,56	-	-	2,56
Total	**6.158**	**37.835**	**13.577**	**57.570**	**100%**	**153.772.33**	**2,75**	**2,57**	**2,88**	**2,66**
	10%	**66%**	**24%**							

Fonte: Baseado em Huerta (2012)

O total de RSU gerados no Distrito de Trujillo é de aproximadamente 153.772,33 kg/dia, os quais são coletados por domicilio pela empresa responsável. Esta não conta com um plano de rotas que otimize o serviço de coleta. O sistema utilizado é empírico e intuitivo. No plano Integral de Gestão Ambiental de resíduos sólidos para a Província de Trujillo (2010-2020) reconhece-se que a coleta dos RSU tem chegado algumas vezes a 100% de cobertura, mas é realizada sem respeitar os horários estabelecidos.

Depois do processo de coleta, os RSU são transportados direto para o lixão El Milagro. Trujillo não tem aterro sanitário, assim também não têm estações de coleta, centros de triagem e de transformação devidamente formalizados e controlados pelo Município. Para melhorar esse quadro, essa pesquisa validou os modelos fazendo o planejamento da rede logística reversa da Zona 5 do Distrito de Trujillo. Como a Zona 5 é muito extensa, questão que poderia vir inviabilizar os testes, ela foi separada em três subzonas e modeladas separadamente. Assim, a primeira subzona compreende os subsetores de La Merced e La Arboleda_San Eloy, a segunda,

o subsetor de San André e a terceira, o subsetor de Monserrate. Por restrições de número de páginas somente se apresentará os resultados do primeiro subsetor.

3.3.1. Etapa 1: Aplicação do Modelo PRVJT nos Subsetores La Merced e La Arboleda_San Eloy

De acordo com Huerta (2012), La Merced tem 589 residências e gera 1.566,74 kg/dia de RSU e a La Arboleda_San Eloy abrange 530 residências e produz 1.409,80 kg/dia de RSU. Com esses dados estimou-se 20 pontos de coleta para La Merced e 17 para La Arboleda_San Eloy 17, em total, 37 pontos de coletas com uma capacidade de 90 quilogramas/ponto. Fizeram-se as seguintes considerações: conservar a capacidade dos veículos coletores igual aos que atualmente realizam o serviço no Município de *Trujillo*, 7 toneladas; manter o tempo de atendimento em cada ponto de coleta em aproximadamente 4 minutos e, a janela de tempo no intervalo de 7:00 às 10:00 horas.

Os resultados mostram que é possível o atendimento dos pontos de coleta somente com um veículo coletor e uma estação de coleta. A Figura 3 mostra a rota e a ordem em que o veículo visita os pontos coletores, ele inicia no ponto D0, depois passa coletando os RSU de todos os pontos coletores, uma vez que visita o último ponto coletor se dirige à estação de coleta selecionada, ec1, para descarregar e depois retorna de novo ao D0. O custo total de operação do sistema foi de $ 173.995,00, um valor bem aceito pelos especialistas da SEGAT, além de ser bem menor que o atual cenário, embora não foi possível quantificar essa redução. O CO2 gerado foi de 0,003984 kg/ton-km.



Figura 3: Roteirização nos Subsetores La Merced_La Arboleda_San Eloy
Fonte: Resultados obtidos com o *GLPK*

3.3.2. Etapa 2: Aplicação do Modelo de Transporte nos Subsetores La Merced e La Arboleda_San Eloy: Caso I e Caso II

Para o Caso I, dos 2.977,54 kg de RSU coletados e alocados na *ec1*, 2.577,00 é transferido para o centro de triagem *cd1*, o restante, 400,54 kg é enviado para o *cd2*. Daqui têm-se duas

alternativas, se os RSU estão higienizados e prontos para utilização como matéria prima, eles são encaminhados diretos para a única fábrica da rede logística reversa. Caso contrário, eles são transferidos aos centros de transformação. O *cd2* envia seus 400,54 kg ao *ct2*, o *cd1* remete 1.750,00 kg para o *ct1* e 827,00 kg para o *ct2*. Depois do processo de transformação, o *ct1* expede 1.700,00 kg para a fábrica e o *ct2*, 1.200,00 kg. Ou seja, a fábrica recebe em total 2.900,00 kg, 77,00 kg a menos que quando vem direto dos centros de triagem. Esses 77,00 kg são encaminhados para o centro de eliminação.

No caso II não existem os centros de triagem, assim dos 2.977,00 kg de RSU que recebe a estação de coleta *ec1*, 1.227,00 kg são transportados para o centro de transformação *ct1* e o restante, 1.750,00 kg para o *ct2*. Do centro de transformação *ct1* são remetidos 1.200 kg para a fábrica e 27,00 kg para o centro de eliminação. Do *ct2* são enviados 1.700,00 kg à fábrica e 50,00 kg para o centro de eliminação.

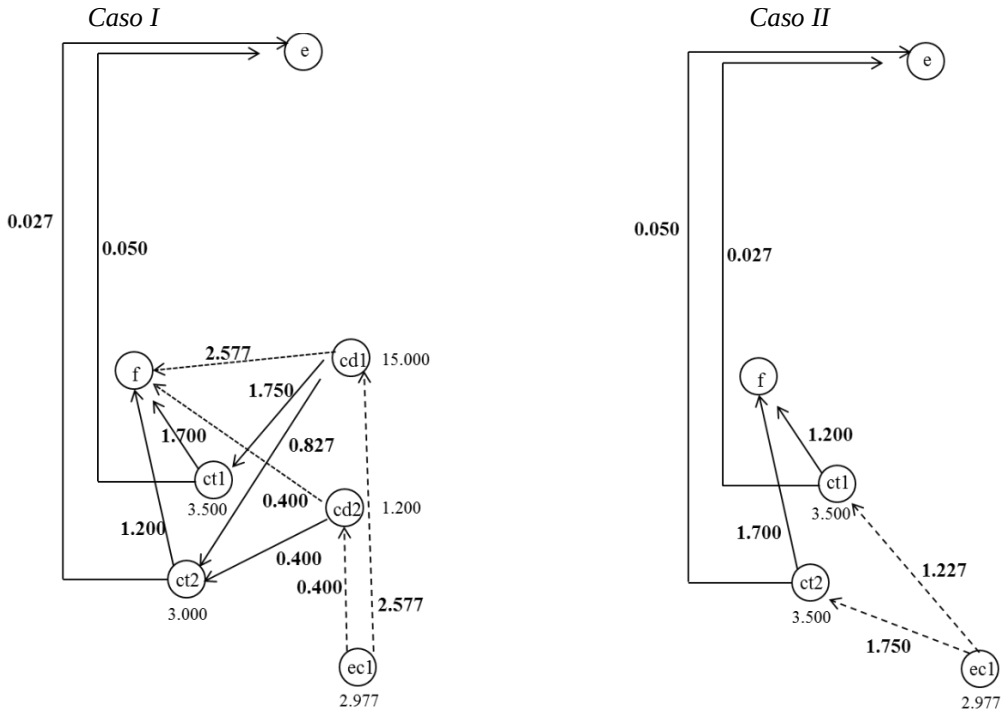


Figura 4: (a) Transporte dos RSU para os centros especializados, Caso I. (b) Transporte dos RSU para os centros especializados, sem centro de triagem, Caso II (Nota: Os valores das unidades estão em decimais, notação em espanhol)
Fonte: Resultados obtidos com o *GLPK*

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A modelagem proposta calcula os fluxos na rede logística reversa, permitindo dimensionar a quantidade e capacidade das unidades produtivas e dos veículos, sendo possível aplicá-lo em várias regiões, sem necessidade de grandes mudanças na modelagem proposta. No modelo de roteirização com o *GLPK* obteve-se como resultado o roteamento ótimo para o atendimento dos clientes (pontos de coleta) e alocação apropriada das estações de coleta, de forma a facilitar o acesso de veículos e reduzir os custos de transporte e os conflitos com o fluxo de tráfego da rede viária da cidade em estudo, por meio da seleção das melhores rotas. Já no modelo de transporte, o *GLPK* mostra as quantidades de RSU coletadas das estações de coleta selecionadas que são transportadas para os centros especializados para seguir algum processo segundo seja

o valor de tais resíduos. Uma contribuição adicional, foi a mensuração do CO_2 gerado pelos veículos coletores e de transporte obtidos com o *GLPK*.

A modelagem proposta nessa pesquisa baseia-se na não existência da coleta domiciliar, ou seja, parte-se da premissa que a população participa ativamente da coleta seletiva e leva seus RSU até um ponto de coleta. Essa premissa reduz sensivelmente os custos de coleta e de transporte dos RSU, fato que ficou demonstrado nos testes realizados, uma economia que tem seus reflexos em toda a rede, já que reduz a frota de veículos pesados circulando pelas vias urbanas. Neste caso, o governo local desempenha um papel importante, porque tudo dependerá das políticas e intervenções dele, o que deverá fazer que o plano de ação e diretrizes cumpra as metas da Lei dos Resíduos Sólidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu, P. H. (2015). *Projeto de Acessibilidade para o Transporte de Carga e Coleta de Resíduos Sólidos nas Quadras Comerciais do Plano Piloto*. Trabalho de Projeto Final, Publicação, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 55 p.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos – Especiais, ABRELPE (2014). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2013.

Badran, M.F.; El-Haggar, S.M. (2006). Optimization of municipal management in Port-Egypt. Waste Management, Elsevier.

Buhrkal, K.; Larsen, A.; Ropke, S. (2012). The waste collection vehicle routing problem with time windows in a city logistics context. Procedia Social and Behavioral Sciences, Elsevier.

Cerna, N. S. S. (2014). *Contribuição para modelagem de um sistema de avaliação da qualidade dos elementos de infraestrutura de mobilidade urbana*. Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Transporte.

Huerta, G.; Vásquez, J. (2012). Estudio de caracterización de los residuos sólidos urbanos, Distrito de Trujillo. Municipalidad Provincial de Trujillo.

Instituto Nacional de Estadística - INEI (2014a). Estado de la población peruana 2014. Disponível em http://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/ Est/Lib1157/libro.pdf. Acesso em 20/08/2014.

Jeung Ko H.; Evans, G.W. (2005). A genetic algorithm-based heuristic for the dynamic integrated forward/reverse logistic network for 3PL. Computer & Operations Research, Elsevier.

Lee, J.; Gen, M.; Rhee, K. (2008). Reverse logistic network problem using priority-based genetic algorithm. International journal of information system for logistics and management.

Makhorin, A. (2008). Modeling language GNU MathProg. Draft Edition for GLPK, Version 4.34.

Melquiades, J. A.R. (2015). Modelagem para a roteirização do processo de coleta e transporte dos resíduos sólidos urbanos, Tese. PPGT/UnB, Brasília

Monteiro, M. J. (2013). Logística Reversa: uma proposta de gestão integrada de resíduos sólidos nos setores comerciais. Dissertação. PPGT/UnB, Brasília.

Oliveira, C.P. (2014). *Planejamento Integrado e Participativo de Coleta Seletiva nas Quadras Comerciais do Plano Piloto.* Trabalho de Projeto Final, Publicação, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 48 p.

Servicio de Gestión Ambiental de Trujillo - SEGAT (2014). Mapa de zonas de limpieza pública. Disponível em: http://www.segat.gob.pe/. Acesso em: 27/02/2014.

Srivastava, S.K. (2008). Network design for reverse logistics. OMEGA, The International Journal of Management Science, Elsevier.

Adelaida Pallavicini Fonseca (ixcanil@unb.br)
José Antonio Rodríguez Melquiades (jrodriguezmelquiades@yahoo.com.br)
Milton Jonas Monteiro (cvmilton@hotmail.com)
Programa de Pós-Graduação em Transportes, Universidade de Brasília
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Prédio SG 12, Asa Norte – Brasília, DF, Brasil

CARACTERIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE MERCADORIAS NO CENTRO HISTÓRICO DE OURO PRETO

Nayara Louise Alves de Carvalho
José Geraldo Vidal Vieira
Universidade Federal de São Carlos
Pós Graduação em Engenharia de Produção

RESUMO
As ruas dos centros históricos foram projetadas para o tráfego de poucos pedestres e veículos de tração animal. Para reduzir as externalidades provocadas pela distribuição de mercadorias nesses locais, são impostas leis de trânsito relacionadas à delimitação de horários para circulação e operação dos veículos de carga. O objetivo da pesquisa é caracterizar a distribuição de carga no centro histórico de Ouro Preto. É realizada uma *survey* com varejistas e transportadoras e duas entrevistas semiestruturadas com outros agentes. As análises utilizam estatísticas descritivas. Conclui-se que há necessidade de investimento em melhorias no processo de distribuição de mercadorias no centro histórico de Ouro Preto. Apesar de não existir crise de abastecimento, o curto intervalo disponível para entrega de mercadorias traz consequências negativas para o comércio (horas extras), para as transportadoras (perda de contato com o cliente, correria na entrega, congestionamento) e para a conservação do patrimônio.

ABSTRACT
The streets of historic centers were designed to support the traffic of few pedestrians and animal-drawn vehicles. To reduce the externalities caused by the urban freight distribution in these places, traffic laws related to the delimitation of time windows and operation of cargo vehicles are imposed. The paper aims to characterize the freight distribution in historic center of Ouro Preto. We conducted a survey with retailers and carriers, and we realized two semi-structured interviews with other agents. The analyzes used descriptive statistics. We concluded that there is a need for investment in improvements in the process of freight distribution in the historic center of Ouro Preto. Although there is no supply crisis, the short time window available to deliver goods has negative consequences for retailers (overtime), for carriers (loss of customer contact, rush on delivery, congestion) and for the conservation of assets.

1. INTRODUÇÃO

O centro histórico é o núcleo central a partir do qual a cidade se desenvolveu e concentra atividades administrativas, como prefeitura, câmara, fórum, além de reunir a maior parte do comércio (Zarinato, 2008). Esse comércio é entendido como "tradicional e popular" (Ministério das Cidades e IPHAN, 2011, p.11), integrando varejistas independentes, que não realizam o compartilhamento de veículos com outros comerciantes e possuem poucos funcionários. Como reflexo de uma gama de pequenos varejos, há uma grande quantidade de veículos destinados a entregas com maior frequência nesses centros.

Particularmente sobre a distribuição de carga nos centros históricos, Silva (2012, p.57) afirma que há alguns fatores estruturais que dificultam este processo: pavimentos com desníveis, buracos, ondulações e defeitos; revestimento não adequado, o qual priva o tráfego de carrinhos como *trolleys* e causa trepidação à carga, podendo gerar avaria à mercadoria e, ao mesmo tempo, desconforto ao condutor. Assim, a fim de limitar a intensidade do tráfego nos centros históricos, especialmente de veículos de carga, são feitas interferências legais incluindo a determinação de Zonas de Entrega Especiais (ZPE), com limitações de tipo e tamanho de veículos e determinação de janelas de tempo para operações de carga/descarga.

Para este estudo, escolheu-se analisar as cidades históricas pois não há registro de outras pesquisas com enfoque para distribuição de mercadorias nestes locais. Assim, o objetivo do artigo é caracterizar, na visão de varejistas e transportadoras, a distribuição de mercadorias no

centro histórico de Ouro Preto. Optou-se pela cidade de Ouro Preto pois foi onde o processo de reconhecimento, valorização e patrimonialização das denominadas "cidades históricas" no Brasil teve sua gênese, sendo também, em 1980, a primeira cidade brasileira reconhecida como Patrimônio Cultural da Humanidade pela *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (UNESCO) (Villaschi, 2014, p.24).

O artigo está estruturado da seguinte forma: a seção 2 apresenta as particularidades da logística urbana em cidades históricas. A seção 3 exibe a metodologia utilizada. A seção 4 elenca os resultados encontrados. A seção 5 expõe as conclusões, limitações e trabalhos futuros.

2. CIDADES HISTÓRICAS BRASILEIRAS

2.1. Logística urbana em cidades históricas brasileiras

O problema fundamental do planejamento urbano em cidades históricas é a tensão entre a necessidade de se conservar a malha física da cidade e a demanda das atividades que ocorrem nesses espaços ou as que para ele são atraídas (Oliveira, 2010). Particularmente, o movimento de veículos de carga afeta tanto a preservação do patrimônio, com a formação de trincas (Azevedo e Patrício, 2001; Resende, 2011) e manchas negras nos monumentos (Reys, Lama e Dehra, 2008), como interfere na logística urbana através do comprometimento da estrutura das vias, formação de congestionamentos e uma série de outros impactos negativos.

Em 2013, o Ministério do Planejamento autorizou a criação do PAC Cidades Históricas destinado exclusivamente aos sítios históricos urbanos protegidos pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), porém os recursos para planos de mobilidade não foram contemplados no referido PAC, sendo observadas basicamente, restaurações e reformas de monumentos (IPHAN, 2014). A partir da Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU), a equipe do IPHAN, juntamente com técnicos e gestores municipais e estaduais responsáveis pelas áreas tombadas publicou em 2014 o Caderno de Mobilidade e Acessibilidade Urbana em Centros Históricos. A contribuição foi o seguimento das diretrizes nacionais propostas no PNMU e consequente direcionamento para a execução de soluções de logística urbana que compatibilizassem mobilidade e a acessibilidade urbanas com a preservação de áreas de interesse cultural. Com isso, nas cidades históricas o centro urbano passou a ser visto também como centro histórico e suas particularidades passaram a ser consideradas.

2.1. A cidade histórica de Ouro Preto

Em relação à distribuição de mercadorias, a Prefeitura de Ouro Preto aprovou uma série de Decretos que restringem o trânsito e operação de veículos de carga no centro histórico. A Lei Complementar N. 29 de 28 de dezembro de 2006 estabeleceu o Plano Diretor da cidade de Ouro Preto, definindo o núcleo histórico como a ZPE. Em 2008, o Decreto N. 1.153 de 30 de maio dispôs sobre a circulação de veículos rodoviários automotores de passageiros, de carga ou de uso misto no distrito sede de Ouro Preto, sendo proibida, no perímetro da ZPE, a circulação dos veículos acima referidos que extrapolem, alternativamente, as seguintes medidas: (I) 8,0m de comprimento; (II) 3,5m de altura, incluindo a carga; (III) 2,6m de largura e; (IV) peso bruto total superior a 7 ton. Na mesma data, o Decreto N. 1.154 limitou o horário para a operação de carga e descarga em determinadas vias da cidade (06:00 às 09:00 e 19:00 às 22:00 de segunda a quinta-feira e 06:00 às 09:00 às sextas-feiras). Por fim, o Decreto N. 1.380 de 11 de setembro de 2008 definiu o sistema de recepção de carga e descarga e

estabeleceu condições para o credenciamento de empresas para a exploração da atividade de transbordo de carga no Município de Ouro Preto. Entretanto, até o presente momento, não há nenhuma empresa interessada credenciada para tal atividade.

Apesar da introdução destes Decretos, as características da logística urbana de Ouro Preto ainda refletem vários problemas identificados em outras cidades históricas (São João Del Rei, Laguna, Paranaguá, etc.) dos quais o IPHAN (2014, p.73) cita: calçadas estreitas; ausência de sinalização adequada; carga e descarga regulamentada e não respeitada; trânsito de veículos pesados no centro; congestionamento de veículos na área central, estacionamentos insuficientes e necessidade de melhoria do transporte coletivo. Sobre o transporte de carga, em 1982, um relatório publicado pela Empresa Brasileira de Planejamento de Transporte (GEIPOT) e Empresa Brasileira dos Transportes Urbanos (EBTU), ambas do Ministério dos Transportes, concluiu que vibrações provocadas pelo tráfego pesado resultam em deformações acentuadas no terreno, com riscos para a estrutura das galerias e arrimos na cidade de Ouro Preto. Em 2014, um relatório apresentado pelo Instituto da Mobilidade Sustentável ressaltou a necessidade de serem criadas áreas específicas para carga/descarga e também destacou que as faces dos quarteirões são muito disputadas entre os diversos interesses: carga/descarga, embarque e desembarque do transporte coletivo, farmácia, hotel, motos e locais de estacionamento proibido.

3. METODOLOGIA

3.1. Unidade de análise e métodos

A unidade de análise é o centro histórico de Ouro Preto, que concentra a maior quantidade de empresas de comércio na cidade (15% conforme dados da Secretaria Municipal da Fazenda). Além disso, ocupa uma área de cerca 0,23 km², representando 0,018% da cidade inteira (incluindo os distritos), que contém 1.246 km² de acordo com o IBGE Cidades (2016).

O método de pesquisa utilizado é uma *survey* descritiva (Forza, 2002) aplicada em duas amostras distintas: varejistas e transportadoras que realizam entrega das mecadorias no local.

3.2. Instrumento de coleta de dados

Foi construído um questionário para cada agente. As perguntas são questões abertas e fechadas relacionadas à caracterização da UFT no centro histórico: responsável pela entrega; frequência de entrega; tipo de embalagem utilizada; horários das entregas; tipo de entrega (assistida ou não), existência de locais de estacionamento, tamanho dos véiculos, origem da viagem, tipo de mercadoria transportada e ação dos motoristas quando entram no centro histórico após o horário estipulado por lei. Todas as questões foram construídas baseadas no impacto das restrições das leis de trânsito aplicadas na cidade sobre as atividades de varejistas e transportadoras, respectivamente, recebimento e entrega de mercadorias. Também foram realizadas duas entrevistas semiestruturadas: uma com o Comandante da Guarda Municipal e outra com a gestora da Associação Comercial de Ouro Preto (ACEOP) com questões abertas sobre a percepção da eficiência do transporte de mercadoria no centro histórico da cidade.

3.3. Amostra, coleta e análise de dados

A população de varejistas foi extraída do banco de dados da Secretaria Municipal da Fazenda e considerou apenas empresas voltadas para o comércio/varejo, exceto as que trabalham com

serviço de alto valor agregado (artigos de joalheria e ourivesaria). Esse refinamento gerou uma população de 196 varejistas. A população de transportadoras é desconhecida.

O cálculo da amostra foi feito com base numa população finita e conhecida conforme apresentado por Cochran (1985), considerando o nível de confiança conhecido e igual a 95%; uma margem de erro amostral de 6% e um desvio padrão de 0,5. Com isso, a amostra calculada de varejistas é 113. No caso das transportadoras a amostra não é definida e a coleta de dados procedeu-se por acessibilidade, adequada e frequentemente utilizada para geração de ideias em pesquisas principalmente exploratórias (Oliveira, 2001).
Os dados foram coletados pessoalmente entre julho e agosto de 2016. Levantou-se 122 questionários de varejistas e 46 das transportadoras. A medida D^2 de Mahalanobis foi utilizada para detectar valores atípicos dos dados (Zijlstra, Van Der Ark e Sijtsm, 2013), porém nenhuma observação atípica foi encontrada, mantendo-se a amostra original.

Na análise dos dados são utilizadas estatísticas descritivas que permitem melhor compreensão do comportamento dos dados por meio de tabelas, gráficos e medidas-resumo (Fávero, 2009).

4. RESULTADOS

4.1. Varejistas

A maioria dos respondentes (67%) ocupa cargos estratégicos (sócio proprietários, gerentes ou diretores) e tem uma média de 13 anos de experiência. Todos os varejistas estavam posicionados no centro histórico (Figura 1).



c

Figura 1: Distribuição dos varejistas no centro histórico

A maioria (34%) enquadra-se no setor de gêneros alimentícios (lanchonetes, restaurantes, padarias, mercearias, etc.) seguida do setor de tecidos, vestuários, acessórios e calçados, o qual representa 29% da amostra. Os setores de papelaria e informática e artigos de presente;

artigos farmacêuticos e de perfumaria e ótica e; artesanato representam, respectivamente, 13%, 9% e 10% da amostra, enquanto o restante (5%) refere-se a outros.

Em relação ao responsável pela entrega de mercadorias, 72% dos estabelecimentos utilizam transportadoras, 11% fazem o transporte próprio e os 17% restantes mesclam entre transporte próprio e terceirizado.

A Tabela 1 apresenta a quantidade de funcionários em cada um dos setores. A maioria dos comércios são enquadrados no grupo das microempresas (84%). O único setor que apresentou dois casos de média empresa foi o de gêneros alimentícios.

Tabela 1: Distribuição da quantidade de funcionários no varejo por setor.

Setor de atuação	**Quantidade de funcionários**		
	<9	**10-49**	**50-99**
Artigos farmacêuticos e de perfumaria e ótica	10	2	-
Artesanato	11	-	-
Gêneros alimentícios	30	9	2
Tecidos, vestuários, acessórios e calçados	32	3	-
Papelaria e informática e artigos de presente	14	2	-
Outro Setor	6	1	-
Representatividade	**84%**	**14%**	**2%**

Obs.: Baseado na classificação do Serviço de Apoio às Micros e Pequenas Empresas (SEBRAE, 2013) em relação ao tamanho das empresas, focando no setor de comércio e serviço. O número de empregados é dividido em quatro grupos: micro (1-9 empregados); pequena (10-49 empregados); média (50-99 empregados) e grande (100 ou mais empregados).

A frequência de entrega mais comum é de uma ou mais vezes na semana (44%) seguida da entrega diária (21%), conforme apontado na Figura 2.

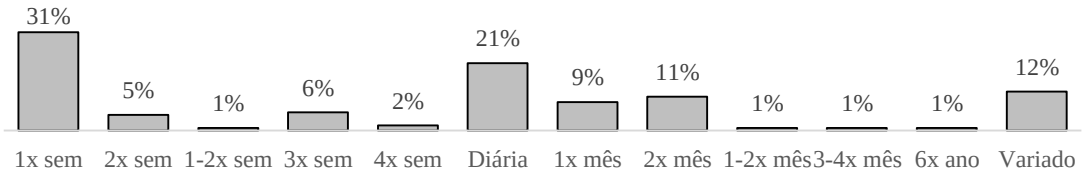


Figura 2: Frequência de recebimento de mercadorias nos varejistas

A Figura 3 segrega a frequência de entrega de acordo com o setor do varejo. No setor de gêneros alimentícios predominam as entregas em um ou mais dias da semana. Esta última frequência também se destaca no setor farmacêutico, de perfumaria e ótica. No setor de tecidos, vestuários, acessórios e calçados, as entregas mais frequentes são feitas mensal e semanalmente, variando prioritamente conforme sejam lançadas novas coleções.

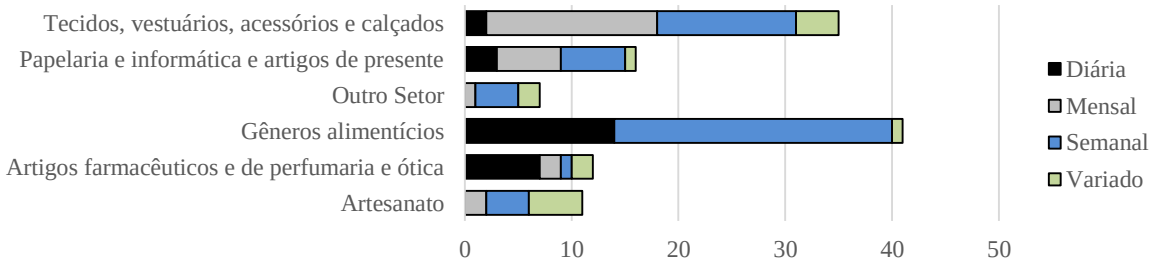


Figura 3: Frequência de recebimento de mercadorias nos varejistas por setor

Em relação ao horário mais comum de entrega, independente do setor, a maioria dos comerciantes (68%) afirma receber a mercadoria no horário permitido, enquanto 11% dos varejistas alegaram infringir a lei (recebem a carga no horário do almoço ou à tarde). Além disso, 20% dos comerciantes possuem horários alternados de entrega, o que significa que podem ou não contribuir para o cumprimento da lei.

No que se refere à forma de entrega, para 62% dos entrevistados a entrega é feita de forma assistida, isto é, com ajudante, 34% é realizada sem ajudante e 4%, varia (com ou sem ajudante). Especialmente no caso dos estabelecimentos pertencentes ao setor de gêneros alimentícios, a entrega é feita, maioritariamente, de forma assistida (93% dos casos). Para os demais setores, a forma de recebimento oscila entre assistida ou não.

Independente do setor de atuação, os produtos são entregues em sua maioria em caixas/fardos (90%). O uso de sacolas foi mais citado no setor de tecidos, vestuários e calçados. Ao se relacionar a forma de entrega com o tipo de embalagem utilizada, a Figura 4 mostra que produtos mais pesados, levados em caixas/fardos, são entregues com o auxílio de um ajudante, enquanto caixas/sacolas mais leves não necessitam da entrega assistida.

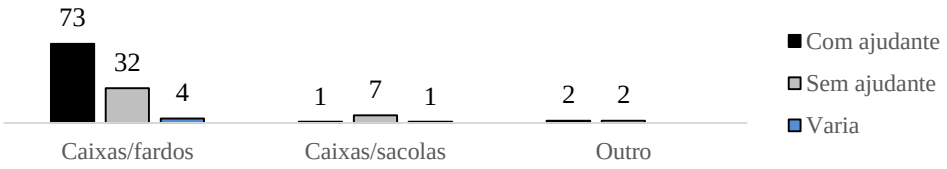


Figura 4: Relação entre forma de recebimento e tipo de embalagem utilizada

A Figura 5 apresenta a visão dos varejistas perante os problemas de recebimento, disposição e despacho de mercadorias.

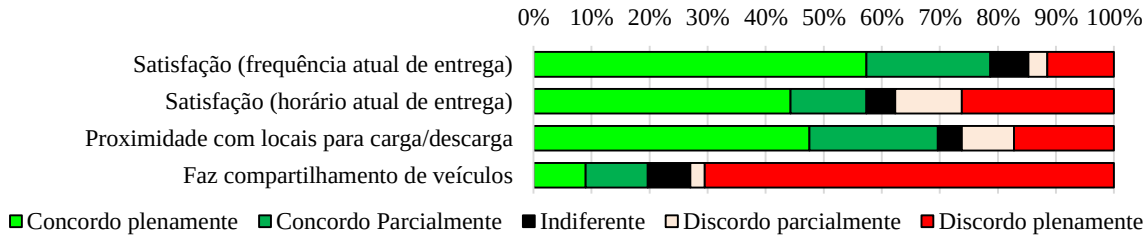


Figura 5: Concordância em relação aos problemas de recebimento, disposição e despacho de mercadorias.

A maior parte afirmou estar plena (57%) ou parcialmente (21%) satisfeita com a frequência de entrega. Ao responderem sobre a satisfação relacionada ao horário de entrega, 44% disseram estar plenanamente satisfeitos e 13% afirmaram safisfação parcial. Ainda, 11% estão plenos ou parcialmente (26%) insatisfeitos e apenas 5% (6 no total da amostra) foi indiferente quanto ao horário atual de entrega. Destes indiferentes, dois recebem mercadorias por transportadoras, enquanto os demais oscilam entre transporte próprio e terceirizado. Alguns varejistas sugeriram o aumento da janela de entrega para evitar o pagamento de horas extras aos funcionários que antecipam a jornada de trabalho para receberem a mercadoria (os comércios, no geral, abrem às 09:00, isto é, quando encerra a janela de entrega das transportadoras).

Quando questionados sobre a proximidade do estabelecimento com locais regulamentados para carga/descarga, 48% discorda totalmente e 22% discorda parcialmente dessa proximidade. Essa situação ainda se agrava pois, segundo a gerente da ACEOP, "do ponto de vista do empresário, os locais de descarga estão comumente ocupados por veículos de pequeno porte (carros de passeio), devido à falta de vagas para estacionar." Para exemplificar, a Figura 6 exibe duas vagas regulamentadas para carga/descarga no centro. É possível observar que no momento da entrega de mercadorias ambas vagas estavam ocupadas por veículos de passeio (as fotos foram tiradas durante o período permitido para entrega de mercadorias).



Rua Cláudio Manoel



Rua Barão de Camargos

Figura 61: Sinalização sobre locais para carga/descarga

Ressalta-se que, muitas vezes, na falta de vagas para estacionar, o motorista do veículo de carga utiliza a vaga de estacionamento rotativo ou uma vaga não regulamentada para realizar a carga/descarga no centro. A Figura 7 destaca alguns exemplos dos locais não regulamentados mais utilizados para carga/descarga no centro histórico da cidade.



Cruzamento das ruas Getúlio Vargas e São José



Início da Rua Teixeira Amaral



Praça Reinaldo Alves de Brito

Figura 7: Vagas mais utilizadas por veículos de carga no centro de Ouro Preto

Um número expressivo de 72% dos varejistas afirmou não fazer compartilhamento de veículos de carga com outros estabelecimentos. Destaca-se que aqueles que afirmaram compartilhar veículos referem-se aos comerciantes que possuem fornecedores comuns, que contratam transportadoras que fazem a entrega a mais de um varejista na cidade.

4.2. Transportadoras

Os motoristas entrevistados possuem uma média de 10 anos de experiência na profissão. Do total, 63% são empregados de transportadoras e 37% são autônomos.

Sobre o tipo de mercadoria transportada, 70% são gêneros alimentícios, 15% são bebidas e outros 15% representam diversos tipos (dentro dos quais 2% referem-se ao transporte de tecidos, vestuários, acessórios e calçados). A maioria dos veículos tem capacidade entre 3 e 5ton (46%), seguida da capacidade entre 1 e 3ton (33%), conforme Figura 8. Além disso, a maior parte deles opera abaixo de 7 ton (peso bruto total exigido em lei). O setor de gêneros alimentícios é o que apresenta veículos com maiores capacidades de cargas.

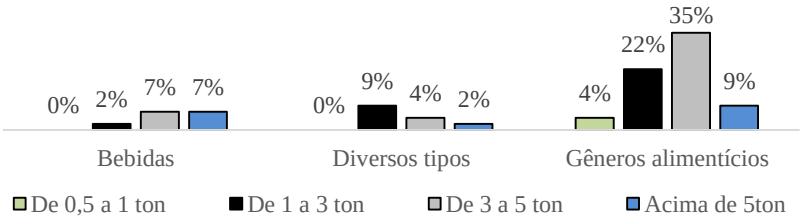


Figura 8: Capacidade de carga dos veículos em relação ao tipo de mercadoria

No que tange à origem da viagem, 65% dos veículos vêm da região metropolitana de Belo Horizonte, seguidos dos que são oriundos da Zona da Mata (30%) e os demais, com origem em São João Del Rei e Cláudio. Ao se relacionar a origem da viagem com a capacidade de carga do veículo, metade dos veículos cuja origem é a região metropolitana de Belo Horizonte têm entre 3 e 5 ton, podendo-se destacar ainda veículos com baixa capacidade, até 1 ton, vindos dessa região e da Zona da Mata (Figura 9).

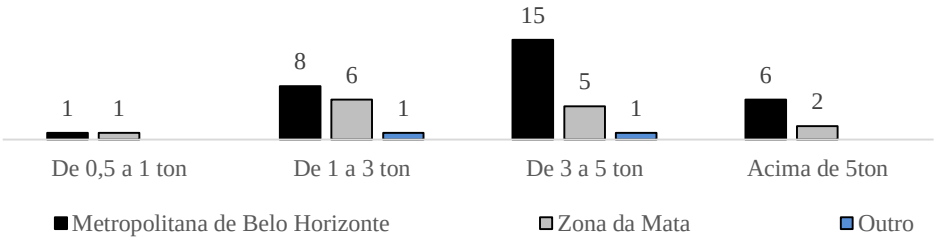


Figura 9: Capacidade de carga conforme origem de viagem

Os produtos são entregues, em sua maioria, na forma de caixas ou fardos (98%). A frequência de entrega mais comum é de uma ou mais vezes na semana (58%), seguida da entrega diária (28%), conforme verifica-se na Figura 10. Adicionado a isso, 70% dos motoristas fazem uso do carrinho de transporte (tipo *trolley*) para distribuição da mercadoria.

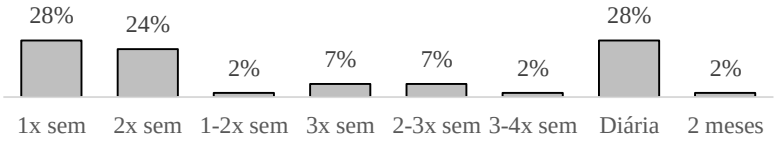


Figura 10: Frequência de entrega de mercadorias

A Figura 11 relaciona a frequência de entrega com a capacidade de carga dos veículos. Há predomínio de entregas diárias e semanais para veículos entre 1 e 5 ton enquanto a única entrega com instervalo mensal é feita em veículo de pequeno porte de até 1 ton.

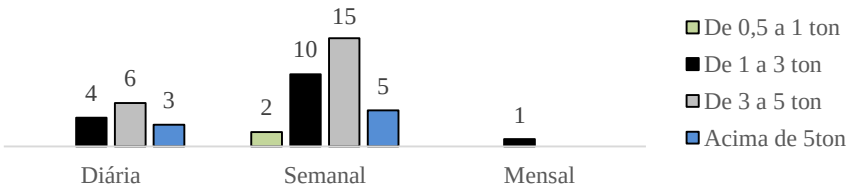


Figura 11: Frequência de entrega conforme capacidade do veículo.

A Figura 12 apresenta as respostas obtidas pelos motoristas quando foram questionados sobre a ação que tomam quando chegam no centro histórico após o horário permitido por lei para entrega de mercadorias. Do total, 30% afirma não chegar após o horário permitido enquanto a mesma proporção de motoristas alega correr o risco de ser multado (estaciona o veículo o mais próximo da loja, longe dos olhos da fiscalização ou na vaga de rotativos para realizar a entrega) e 9% alegam retornar para o local de origem da viagem. Ressalta-se ainda que 4% retornam mais tarde, isto é, no horário permitido para entrega noturna e 2% afirmam deixar a mercadoria exposta nas calçadas dos estabelecimentos (exemplos são apresentados na Figura 13). Quando questionados se já foram multados por fazer entrega fora do horário, apenas 33% dos motoristas disseram que sim.

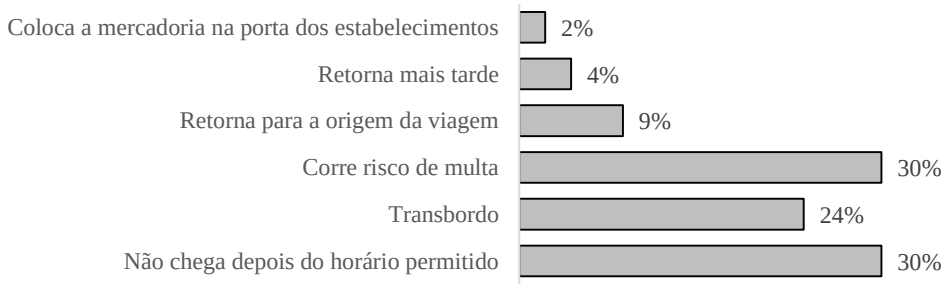


Figura 12: Ação do motorista se chegar ao centro da cidade fora do horário permitido para entrega de mercadorias.



Figura 13: Disposição de mercadorias nas calcadas quando os motoristas se deparam com o estabelecimento ainda fechado.

Ao se comparar a origem da viagem com a ação tomada pelo motorista, tem-se a Figura 14.

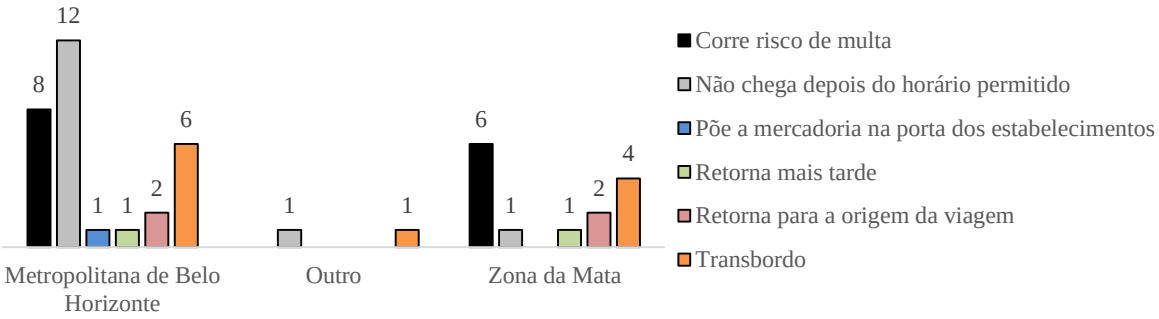


Figura 14: Ação do motorista se chega ao centro da cidade fora do horário permitido para entrega de mercadorias em relação ao local de origem da viagem.

Vê-se que a maioria dos que vêm da região metropolitana de Belo Horizonte dizem não chegar depois do horário permitido, e assim não correm risco de receber uma multa ou ter de realizar o transbordo da carga. Os que vêm da Zona da Mata ou correm risco de multa devido à longa distância a ser percorrida no retorno ao armazém, ou fazem o transbordo em outros veículos.

A quantidade de motoristas que afirmaram já terem sido multados é muito baixa. Foi feita uma consulta à base de dados fornecida pela Guarda Municipal de Ouro Preto com acesso às notificações de autuação de infração de trânsito processadas por local de infração e enquadramento no período de 01/02/2008 (início do funcionamento do sistema) a 19/09/2016. Nesse intervalo foram computadas 28.920 autuações, das quais 57% ocorreram apenas no bairro Centro. Do total das multas aplicadas na cidade, 70% estavam relacionadas a estacionamento (veículos de passeio) e apenas 2% tinha alguma relação com o transporte de carga. Ao se analisar o total de multas aplicado apenas no bairro centro, essa proporção se altera para 80% das infrações sobre estacionamento e 1% relacionada à carga. Em relação ao tipo, metade das infrações são relacionadas com o trânsito de veículos de carga em local/horário não permitido por lei, seguida do estacionamento em desacordo com a regulamentação de vagas para carga/descarga (27%). Em relação ao tamanho dos veículos, a quantidade de multas aplicadas por excesso de dimensão é muito baixa (3%). Nota-se, então, que o número de autuações relacionadas ao transporte de carga não é tão expressivo, o que vai ao encontro à percentagem de 33% dos motoristas que afirmaram já terem sido multados por fazer entrega fora do horário. No entanto, destaca-se que, conforme afirma o comandante da guarda municipal, os guardas tendem a, primeiro alertar os motoristas sobre os Decretos para então, caso surja uma reincidência, multá-los, pois a maioria é proveniente de outras cidades e não tem conhecimento das leis aplicadas em Ouro Preto.

Em relação aos problemas na entrega de mercadorias, 80% dos motoristas dizem estar parcial (2%) ou totalmente (78%) insatisfeitos com o horário atual permitido para carga/descarga, proporção contrária aos 57% de varejistas satisfeitos com o horário das entregas. Adicionado a isso, o fato de muitos motoristas terem como origem da viagem locais que estão relativamente distantes da cidade de Ouro Preto, faz com que eles prefiram não ter um horário de entrega tão restrito, considerando-se que podem ocorrer imprevistos no percurso até o cliente. Em relação à quantidade de vagas para carga/descarga, 91% dos motoristas discordam que ela seja suficiente para abastecer os comerciantes do centro.

5. DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A amostra de varejistas integra profissionais experientes no mercado, o que contribui para que tenham conhecimento das particularidades do centro histórico, das restrições legais impostas ao transporte de mercadorias nesse local, além de conhecerem os desafios enfrentados durante o recebimento de mercadorias. A amostra também é composta predominantemente por microempresas (84%), isto é, são estabelecimentos com poucos funcionários, predominando o que o Ministério das Cidades e IPHAN (2011) denominaram "comércio tradicional e popular". A amostra destaca, ainda, os pontos de vista de dois setores: gêneros alimentícios (37%), com de alto giro de estoque, pois trabalha com produtos perecíveis e vendas constantes; e o setor de tecidos, vestuários, acessórios e calçados (32%), com um giro de estoque menor e a demanda oscilando conforme a estação do ano. Com isso, há predomínio de uma frequência de entrega maior para os varejistas do setor de gêneros alimentícios (diária a semanal), enquanto para o setor de vestuário esse intervalo aumenta (de semanal a mensal).

A amostra de transportadoras é composta por motoristas experientes sendo a maioria deles proveniente da região metropolitana de Belo Horizonte (65%). Há destaque para as transportadoras que fazem a distribuição de gêneros alimentícios e bebidas (85%), com a frequência de entrega diária a semanal (corroborando os resultados ara os varejistas), mas há uma baixa representatividade das transportadoras que entregam produtos do setor de vestuário (2%). A maioria dos veículos têm entre 1 e 5 ton, o que significa que atendem à legislação relacionada ao peso do veículo (peso bruto máximo de 7ton) e justifica a baixa taxa de infrações de veículos e/ou carga com dimensões superiores ao limite legal (apenas 3% das multas relacionadas ao transporte de carga). Todos os veículos são oriundos de outras cidades, o que vai ao encontro da afimação do comandante da Guarda Municipal de que não existem muitas transportadoras instaladas no entorno de Ouro Preto.

Um ponto comum na análise de varejistas e transportadoras refere-se à concordância com a falta de locais para estacionamento no centro histórico, também evidenciada por Marcucci e Danielis (2008). Com isso, a operação de carga/descarga torna-se mais demorada, com o percurso final sendo feito muitas vezes a pé (Pereira e Teixeira, 2002) ou com o uso de *trolleys*. Além disso, um terço dos motoristas preferem arriscar a receber uma multa de trânsito (que será paga por eles mesmos) a fazer a descarga em um momento posterior, dentro do horário permitido por lei. Com isso, muitas vezes realizam a entrega de forma muito rápida, quase sem contato com o cliente. Isso ocorre porque a maior parte da mercadoria transportada pertence ao setor de gêneros alimentícios e bebidas, ou seja, são produtos de consumo rápido, no qual a falta impacta diretamente no nível de serviço. Entretanto, enquanto 80% dos motoristas se disseram insatisfeitos com o horário permitido para entrega de mercadorias, apenas 38% dos varejistas apresentaram insatisfação, porque 68% deles afirmam receber entregas dentro do horário permitido. Tal fato demonstra que os varejistas não têm conhecimento total dos problemas que os motoristas enfrentam ao fazer entregas no centro de Ouro Preto ou, se o tem, não consideram que seja um problema de seu interesse, mas do governo (Quak, 2008).

Conclui-se que a dificuldade na distribuição de mercadorias no centro histórico de Ouro Preto deve ser assumida como um ponto de melhoria pelas autoridades da cidade pois, apesar de não existir crise de abastecimento, o curto intervalo disponível para entrega de mercadorias traz consequências negativas para o comércio (horas extras), para as transportadoras (perda de contato com o cliente, correria na entrega, congestionamento) e para a preservação do

patrimônio (rachaduras e manchas nos edifícios). Percebe-se que o poder público deveria ouvir a opinião principalmente das empresas dos setores de vestuário e gêneros alimentícios, predominantes na região central de Ouro Preto e responsáveis pelo maior volume e frequência de carga recebida. A opinião dessas empresas auxiliaria na melhoria de infraestrutura urbana de recebimento de carga, na atualização das regras para acesso de veículos de carga ao centro e na eliminação das externalidades.

Embora a pesquisa tenha contribuído para caracterizar a distribuição de mercadorias no centro histórico de Ouro Preto, o desconhecimento da população de transportadoras não permitiu afirmar que os dados deste agente representam uma variabilidade amostral da cidade. Espera-se que os resultados apresentados possam ser utilizados como base de futuras discussões sobre a elaboração do planejamento de logística urbana no centro histórico de Ouro Preto. Como trabalho futuro, ressalta-se o aumento da amostra de transportadoras e a execução desta pesquisa em outras cidades históricas do Brasil.

Agradecimentos
Os autores agradecem a CAPES pelo financiamento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Azevedo, F.S.; Patrício, J. (2001) *Vibrações ambientes: critérios de dados e de incomodidade*. Atualidades e perspectivas futuras. Tecni Acústica. La Rioja, p. 1-9.

Fávero, L.P.; et al (2009) *Análise de dados*: modelagem multivariada para tomada de decisões. Rio de Janeiro: Elsevier.

Forza, C. (2002) *Survey research in operations management*: a processbased perspective. Int. J. Operat. Prod. Manage, v.22, n. 2, p. 152-194.

Cochran, W. (1985) *Sampling Techniques* (2ª ed.), Boston: John Wiley & Sons.

GEIPOT. Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. EBTU - Empresa Brasileira dos Transportes Urbanos. Ministério dos Transportes (1982). Estudo do Transporte Urbano de Ouro Preto. Ouro Preto.

IBGE (2015) *Minas Gerais*: Ouro Preto. http://www.cidades.ibge.gov.br. (accessed 04.25.16).

Instituto da Mobilidade Sustentável. (2014) *Etapa 1*: Plano Diretor de Mobilidade. Relatório Nº 3: Diagnóstico do Sistema de Mobilidade de Ouro Preto

IPHAN (2014) *Mobilidade e acessibilidade urbana em centros históricos*. Org. Sandra Bernardes Ribeiro. Brasília, DF: IPHAN.

Marcucci, E.; Danielis, R. (2008) *The potential demand for a urban freight consolidation centre*. Transportation, v. 35, p.269-284.

Ministério das Cidades. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) (2011) *Implementação de ações em áreas urbanas centrais e cidades históricas*. Brasília- DF: IPHAN: Ministério das Cidades.

Oliveira, T.M.V. (2001) *Amostragem não probabilística*: adequação de situações para uso e limitações de amostras por conveniência, julgamento e cotas. Rev Adm On Line, jul/ago/set.; v. 2, n. 3.

Oliveira, F.V. de. (2010) Capacidade de carga em cidades históricas. Revista Brasileira de Pesquisa em Turismo. v.4, n.1, p. 61-75.

OURO PRETO. (2006) Lei Complementar N. 29 de 28 de dezembro de 2006. Estabelece o Plano Diretor do Município de Ouro Preto. Disponível em: http://www.ouropreto.mg.gov.br/static/lc-29-2006-plano-diretor.pdf. Acesso em: 01 jun. 2017.

OURO PRETO. (2008) Decreto N. 1.153 de 30 de maio de 2008. Dispõe sobre a circulação de veículos rodoviários automotores de passageiros, de carga ou de uso misto no distrito sede de Ouro Preto. Disponível em: http://www.sistemasigla.org/arquivos/sisnorm/NJ_img(8439).pdf. Acesso em: 01 jun. 2017.

OURO PRETO. (2008) Decreto N. 1.154 de 30 de maio de 2008. Limita o horário para a operação de carga e descarga em determinadas vias de Ouro Preto. Disponível em: http://www.sistemasigla.org/arquivos/sisnorm/NJ_img(8440).pdf. Acesso em: 01 jun. 2017.

OURO PRETO. (2008) Decreto N. 1.380 de 11 de setembro de 2008. Define o sistema de recepção de carga e descarga e estabeleceu condições para o credenciamento de empresas para a exploração da atividade de transbordo de carga no Município de Ouro Preto. [Documento físico].

Quak, H. (2008) *Sustainability of urban freight transport*: Retail Distribuition and Local Regulations in cities. Doctoral Dissertation, Erasmus University, Rotterdam, The Netherlands.

Reys, A.C.; Lama E.A.; Dehira, L.K. (2008) *Monumentos da cidade de São Paulo*: formas de alteração e conservação. Revista CPC, v. 5, p. 93-122.

Resende, L. M. ; Cassino, F. S. L. ; Costa, A. R. (2011) *Análise de risco de danos por vibração mecânica nos monumentos setecentistas do "caminho tronco" de Ouro Preto*. Rev. A Pátria Mineira.

SEBRAE. (2013) Critérios de Classificação de Empresas: EI – ME – EPP. Disponível em: <http://www.sebrae-sc.com.br/leis/default.asp?vcdtexto=4154>. Acesso em: 06 nov. 2016.

Silva, R.C. (2012) *Contribuição ao planejamento do transporte urbano de carga pela análise física do espaço urbano*: estudo da área da rua do Catete e Largo do Machado no Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro.

Villaschi, J.N.S. (2014) *Hermenêutica do patrimônio e apropriação do território em Ouro Preto-MG*. 294f. Tese de Doutorado (Geografia Humana) - Universidade de São Paulo, USP, São Paulo.

Zarinato, S.H. (2008) *A mobilidade nas cidades históricas e a proteção do patrimônio cultural*. Revista Eletrônica de Turismo Cultural, v. 2, n. 2, p.1-16.

AVALIAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE ESPERA E REALOCAÇÃO PARA PROBLEMAS DINÂMICOS DE COLETA E ENTREGA COM JANELAS DE TEMPO

Renan Artur Lopes Eccel
Rodrigo Castelan Carlson
Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Automação e Sistemas

RESUMO
A roteirização dinâmica de veículos é peça fundamental para a mobilidade compartilhada, tecnologia capaz de transformar o transporte urbano em um sistema de maior eficiência. Entretanto, não existem algoritmos capazes de resolver problemas de roteirização dinâmica de maneira rápida e com precisão. Portanto, propõe-se uma pesquisa para avaliar o desempenho de estratégias de espera e realocação, aplicadas juntamente com heurísticas construtivas-desconstrutivas, para resolver problemas dinâmicos de coleta e entrega com janelas de tempo. O objetivo da pesquisa é verificar se a aplicação destas estratégias, separadamente e em conjunto, conseguem melhorar as soluções encontradas.

Renan Artur Lopes Eccel (renan.eccel@gmail.com)
Rodrigo Castelan Carlson (rodrigo.carlson@ufsc.br)
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Automação e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, SC, 88040-900, Brasil

ANÁLISE ESPACIAL DE RESTRIÇÕES E DESAFIOS LOGÍSTICOS EM SOROCABA

Thales Stevan Guedes Furquim
Universidade Federal de São Carlos – CCGT
Departamento de Engenharia de Produção – DEP-So
Renata Lúcia Magalhães de Oliveira
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
Departamento de Engenharia de Transportes

RESUMO
A setorização espacial das principais restrições e desafios de uma região pode auxiliar na proposição de medidas e políticas públicas mais assertivas, subsidiando soluções de logística urbana. O objetivo deste artigo é analisar espacialmente a percepção de varejistas e transportadores sobre as principais restrições e os principais desafios enfrentados durante o recebimento e distribuição urbana de mercadorias na região central de Sorocaba/SP. Os dados foram analisados por meio da técnica de análise de vizinhança seguida pela ferramenta de análise de *Hot Spots* para identificar os *clusters* existentes na região. Como resultado, percebe-se que a região Noroeste não está adequada para receber os veículos demandados e apresenta restrições quanto às operações em horário fora-pico. A porção Nordeste é a área com maior percepção negativa quanto aos atributos investigados e evidencia que os espaços para carga e descarga não são adequados.

ABSTRACT
The spatial differentiation of the main constraints and challenges can support more assertive public policies and measures, subsidizing city logistics solutions. The goal of this paper is to present the use of spatial analysis to obtain the retailers and transporters' perceptions about the main constraints and challenges faced during the urban freight reception and delivery in the central zone of Sorocaba/SP. To identify possible clusters, the data were analyzed through two techniques: Average Nearest Neighbors and Hot Spots analysis tool. As a result, we apprehended that the Northwest area is not prepared to receive the vehicles demanded and presented constraints related to off-peak deliveries. The Northeast region has the greatest negative perception regarding the assessed attributes and shreds of evidence that the space for loading and unloading is not appropriate.

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento da urbanização, elevam-se os níveis de atividades logísticas com o objetivo de atender à demanda por consumo nas cidades. Com isso, a intensidade de movimentação urbana de mercadorias também cresce, gerando algumas externalidades como o incremento nos níveis de poluição do ar (Sekovski *et al*., 2012). De forma complementar, Oliveira e Novaes (2008) e Carvalho (2014) afirmam que os impactos gerados pela distribuição de carga reduzem a atratividade das áreas urbanas, prejudicando a qualidade de vida, a mobilidade e acessibilidade das cidades. Prata *et al.* (2012) listam problemas adicionais advindos da distribuição urbana de mercadorias (DUM): (i) aumento do congestionamento; (ii) circulação de veículos em áreas com geometria e estrutura viárias inadequadas para a circulação de veículos de maior porte; (iii) comprometimento da segurança de pedestres; (iv) poluição sonora e ambiental, por meio da emissão de poluentes advindos da queima de combustíveis fósseis; e (v) ineficiências para os atores envolvidos nas entregas.

Surge, portanto, a necessidade de implementação de soluções de logística urbana que possibilitem a otimização das atividades de entrega em áreas urbanas (Taniguchi *et al.*, 2001). Ainda, como contexto das atividades referentes à distribuição urbana de mercadorias, cabe destacar o ambiente onde as entregas urbanas acontecem. Percebem-se restrições locais importantes, como, por exemplo, existência de janelas de circulação de determinados tipos de veículos, restrições relativas à infraestrutura, restrições de carga e descarga para alguns tipos

de veículos (tamanho das vagas), restrição à descarga para determinados tipos de veículos por horário (Carnielle, 2009; Taniguchi *et al*., 1999).

Macário *et al*. (2007) afirmam que, pela falta de visão da cidade, pela falta de conhecimento dos instrumentos apropriados para resolver os problemas de logística urbana e pela consciência da dificuldade para alcançar a aceitabilidade dos principais atores, as autoridades locais geralmente negam a atenção necessária aos problemas relacionados à da circulação de carga em áreas urbanas. Portanto, é de extrema importância a colaboração e participação ativa das autoridades locais, transportadores e varejistas nas discussões que visam melhorias na distribuição urbana de mercadorias. Sob a ótica da participação dos principais atores nas decisões de logística urbana, Furquim *et al.* (2017) realizaram um estudo em uma cidade de médio porte (Sorocaba-SP) para identificar as principais restrições e desafios logísticos da região, sob a ótica de varejistas e transportadores que operam na área central do município, visando subsidiar um direcionamento mais efetivo das ações do poder público na região.

Visando incrementar essa análise da distribuição de carga no centro de Sorocaba (Furquim et al., 2017), este artigo propõe o uso de técnicas de análise espacial para identificar possíveis padrões locacionais referentes à percepção de varejistas e transportadores quanto as principais restrições e desafios logísticos. Por meio dessa análise locacional, pretende-se identificar áreas que apresentem homogeneidade quanto aos atributos investigados sobre restrições e desafios logísticos. Essa setorização do território pode ser utilizada como subsídio para a proposição políticas públicas mais assertivas visando a solução das restrições e mitigação dos desafios em diferentes áreas da região central do município de Sorocaba. Adicionalmente, a estrutura metodológica proposta para essa análise poderá ser considerada para direcionar ações e diretrizes que promovam soluções mais efetivas em outras cidades de médio porte.

2. DISTRIBUIÇÃO URBANA DE MERCADORIAS

2.1. Restrições locais à circulação de veículos de carga

A distribuição de carga de mercadorias é essencial para a sobrevivência da sociedade, mas é também um grande problema em relação à sustentabilidade das atividades de transporte (Behrends *et al.* 2007). Existem diversos fatores que levam à perda da eficiência na movimentação de carga nas cidades, como: congestionamento; obstáculos ocasionados pelo uso excessivo das ruas como pavimento defeituoso e falta de sinalização (ex. demarcação de vagas); espaços que não são adequados para realizar carga e descarga; externalidades geradas pela utilização de veículos de carga em áreas urbanas (STRATEC, 2005; Sanches Junior *et al*., 2008; Oliveira, 2014). Com o objetivo de mitigar esses problemas, várias cidades de médio e grande porte têm implementado uma variedade de restrições à movimentação de veículos de carga em áreas urbanas (Russo e Comi, 2010).

Na Cidade do México, por exemplo, estudos na área de distribuição de carga urbana foram realizados para que fossem implementadas novas políticas para o controle de emissão de poluentes (Lozano *et al*., 2006). Devido ao elevado impacto socioambiental dos veículos utilizados, a tendência é cada vez mais serem criadas barreiras com foco em sustentabilidade que afetam as atividades das transportadoras (Colicchia *et al*., 2013). Estudos na Suécia mostram que há falta de ciência e conhecimento sobre os impactos advindos das externalidades geradas pela circulação de veículos de carga nas cidades (Lindholm, 2010).

Apesar de inúmeras normas e recomendações sobre uma melhor integração entre o planejamento da distribuição urbana de mercadorias, o planejamento da mobilidade e do uso do solo e a gestão do tráfego urbano (European Comission, 2005), pouco ainda é feito para que os impactos gerados pelas externalidades da movimentação de mercadorias nas cidades seja mitigado de maneira efetiva (Lindholm, 2010). Um estudo brasileiro (vide Bontempo *et al*., 2014) aponta que quanto maior a quantidade de veículos, maior a quantidade e intensidade de problemas urbanos resultantes da distribuição urbana de mercadorias. Esses problemas referem-se à perda de eficiência na distribuição urbana de carga e às externalidades citadas anteriormente (Sanches Junior *et al*., 2008; Barczark e Duarte, 2012).

2.2. Desafios logísticos enfrentados pelos varejistas e transportadores de carga urbana

A gestão logística com foco na distribuição urbana de mercadorias abrange questões públicas e privadas. Para resolver os desafios relacionados a essa atividade é necessário um alinhamento entre os principais atores (embarcadores; população; poder público; transportadores e operadores logísticos) com relação aos objetivos econômicos, sociais e ambientais (Dablanc, 2009). Com isso deve-se garantir a execução de um plano de mobilidade e desenvolvimento das cidades que atenda às demandas das partes envolvidas frente aos desafios logísticos em regiões adensadas.

Ao longo dos últimos anos foram realizadas melhorias em termos de eficiência logística para impulsionar a competitividade entre empresas de diferentes portes por meio de abordagens eficientes de distribuição de cargas urbanas (Vargas, 2008). Conforme os padrões de consumo em áreas urbanas mudam, é necessário a adaptação da logística urbana para atender à demanda derivada desse consumo, impactando diretamente o ambiente urbano, por meio da competição com o transporte público e privado (Carnielle, 2009). Varejistas menores e especializados podem ser responsáveis por um considerável volume de movimentação de veículos leves de carga (Cherret *et al*., 2012). Portanto, soluções de logística urbana podem ajudar a amenizar os problemas de transporte de carga (Cunha *et al*., 2013).

Como uma alternativa às entregas realizadas em períodos de elevado congestionamento, as entregas noturnas possuem custos de operação menores devido ao aumento na eficiência das entregas, mas, por outro lado, podem gerar ruídos (Holguín-Veras, 2008). Apesar do acréscimo com custos referentes à mão-de-obra, as entregas noturnas permitem elevar os ganhos de produtividade (Allen *et al*., 2000). O desafio para os clientes é a disponibilização de pessoal para receber a carga (Furquim *et al*., 2017).

Uma possível alternativa para o atendimento da demanda é aumentar a frequência de entrega e utilizar veículos menores com o objetivo de melhorar a flexibilidade no atendimento dessa demanda (Cidell, 2010). Segundo Cherrett *et al*. (2012), varejistas de pequeno porte tendem a receber mercadorias sem realizar o agendamento de suas entregas. Furquim *et al*. (2017) afirmam que muitos estabelecimentos não agendam suas entregas de mercadorias, pois os pedidos são realizados de acordo com a variação no nível de estoque dos produtos. O agendamento de entregas é extremamente importante para evitar a ruptura no varejo, para garantir que o consumidor sempre encontre o que está procurando (Souza e Ignácio, 2015).

Rodrigue *et al.* (2017) apresentam diferentes estratégias de distribuição urbana de mercadorias que, à luz do conceito de logística urbana, podem aumentar a eficiência das operações e mitigar suas externalidades. Algumas dessas estratégias são: (i) racionalização

das entregas, com operações em horários diferenciados e operações colaborativas; (ii) instalações logísticas estruturadas de forma a promover maior eficiência do transporte, que podem contemplar desde equipamentos para viabilizar o último quilômetro de forma eficiente, como pontos de coleta (no inglês, *pick-up points*) até a estruturação de zonas logísticas nas áreas periféricas das cidades; e (iii) adaptação modal, por meio da qual é possível realizar as entregas com veículos diferenciados quanto à motorização ou mesmo veículos não motorizados, reduzindo emissões e ruído nas cidades.

A investigação da percepção de varejistas e transportadores quanto a restrições e desafios logísticos foi desenvolvida considerando os atributos apresentados na literatura. A abordagem metodológica para este desenvolvimento será apresentada na próxima seção.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo é a região comercial do centro de Sorocaba, cuja área territorial é cerca de 1,7 km^2. Nesta área, há duas regiões quanto à circulação de veículos pesados: (i) área de restrição total, permitindo apenas o trânsito de veículos urbanos de carga; e (ii) área com restrições de janelas horárias para acesso de veículos de carga de maior porte. Destaca-se que nesta região central há uma concentração significativa de demanda por fluxos de carga em função de sua densidade comercial (176 estabelecimentos/km^2).

Uma amostra estatisticamente válida para a entrevista junto aos varejistas foi determinada (ver Furquim *et al.* (2017). Dos 299 varejistas, classificados por atividade econômica e localizados na área central de Sorocaba, realizou-se pesquisa em 165 estabelecimentos. A amostra dos transportadores foi definida por conveniência, totalizando 62 transportadores distribuídos entre os segmentos mais representativos referente à atividade dos varejistas. As distribuições espaciais de varejistas e transportadores são evidenciadas na Figura 1.

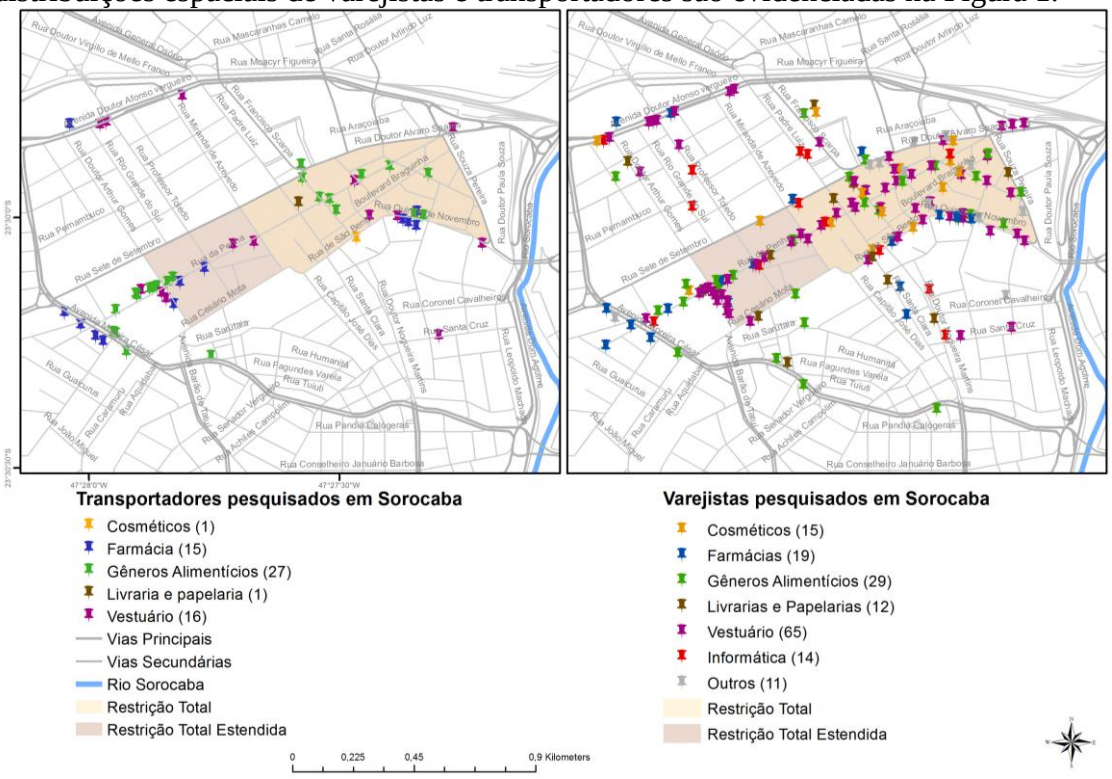


Figura 1: Localização dos varejistas e transportadores pesquisados em Sorocaba

A obtenção e análise inicial dos dados também foram realizados por Furquim *et al.* (2017). Para a coleta dos dados, dois questionários foram estruturados, sendo um destinado à aplicação junto aos transportadores e o outro, aos varejistas. Foram considerados atributos importantes para identificação do comportamento de transportadores e varejistas frente a diferentes restrições e desafios logísticos relacionados à distribuição urbana de mercadorias. Para as análises iniciais foram utilizadas ferramentas de estatística descritiva visando estimar medidas de tendência central e de variabilidade dos atributos analisados. Foram então analisados os atributos referentes às restrições para varejistas e transportadores. Os atributos relacionados aos desafios logísticos foram analisados por meio de análise fatorial, tanto para os varejistas, como para os transportadores. Foram identificados três fatores para cada grupo de atores. Para os varejistas: (i) infraestrutura e externalidades sonoras; (ii) recebimento fora do horário comercial; e (iii) o momento de descarregamento. Para os transportadores: (i) entregas realizadas fora de horário comercial; (ii) questões político-ambientais; e (iii) espaço físico destinado às entregas (Furquim *et al*., 2017).

As análises descritivas e dos fatores permitiram conduzir a análise espacial. Segundo Viana e Delgado (2015), a análise espacial pode ser descrita como uma técnica que busca expor os padrões existentes nos dados espaciais e estabelecer os relacionamentos entre as diferentes variáveis geográficas. Assim, os atributos mais importantes (restrições) e os fatores (desafios) foram espacializados, relacionando-se a localização de cada empreendimento com as respectivas informações para cada atributo e cada fator. Os aplicativos QGIS 2.14.15 e ArcGIS 10.3.1 foram utilizados para a espacialização e a análise dos resultados.

Com os dados localizados espacialmente, foi realizada uma análise do padrão espacial de localização dos varejistas por segmento. Para tanto, considerou-se a técnica de análise de vizinhança (em inglês, *Average Nearest Neighbors).* Essa ferramenta é utilizada para mensurar a distância (euclidiana) entre cada ponto e seu vizinho mais próximo e calcular a média de todas as distâncias mais próximas. Se a distância média for menor do que uma distância média para uma distribuição aleatória hipotética, considera-se que a distribuição de pontos se apresenta em *clusters.* Segundo Mitchell (2005), se a média das menores distâncias for maior do que a distribuição aleatória hipotética, consideram-se que os pontos estão dispersos.

Identificados os padrões espaciais (aglomeração, dispersão e aleatório), julgou-se interessante analisar possíveis concentrações espaciais que refletissem um aglomerado homogêneo de estabelecimentos comerciais ou transportadores quanto às respectivas opiniões sobre às restrições e desafios logísticos. Para essa análise espacial, foi implementada, também por meio do *software* ArcGIS 10.3.1, a técnica de análise de *Hot Spots* denominada Getis Ord Gi*. Essa ferramenta dá suporte à identificação de aglomerações (*clusters*) de valores elevados e de valores baixos em relação à sua vizinhança para o atributo em análise (cada fator ou variável). Por meio de sua aplicação, são gerados *z-scores* e *p-values*, que são medidas de significância estatística e indicam se deve-se ou não rejeitar a hipótese nula, ponto a ponto. Em linhas gerais, eles indicam se um *clustering* de valores altos ou baixos é mais intenso do que aquele esperado em uma distribuição aleatória dos mesmos valores. Para determinação destas medidas de significância estatística, foi necessário trabalhar individualmente com cada atributo ou fator, e, visando determinar a relação espacial, considerou-se uma largura de banda de 275 metros para os varejistas e de 370 metros para os transportadores. Essa largura de banda foi determinada considerando que todas as feições

apresentem pelo menos um vizinho. Na apresentação dos resultados foi considerado um parâmetro que representa a significância estatística, determinada por meio do *p-value* e do *z-score*, para intervalos de confiança de 99, 95 e 90%. Maiores detalhamentos sobre as técnicas consideradas podem ser apreendidos em Mitchell (2005).

Os padrões e aglomerações espaciais referentes aos desafios logísticos foram então analisados visando estruturar uma subdivisão da área de estudo em regiões mais sensíveis a determinados atributos e fatores, tanto sob a ótica dos varejistas quanto pela dos transportadores. Os resultados dessa análise podem ser utilizados para a formulação de ações e políticas públicas visando maior eficiência das operações e menores externalidades e algumas propostas de diretrizes são apresentadas como resultado deste trabalho.

4. RESULTADOS

Conforme apresentado em seções anteriores, foi estruturada a análise espacial com foco na determinação de subáreas com homogeneidade quanto aos atributos e fatores (Furquim *et al*., 2017) que refletem a opinião dos atores (varejistas e transportadores) em relação às restrições e aos desafios logísticos dentro da área de estudo.

Na Tabela 1 são apresentados os parâmetros para análise da estrutura espacial dos pontos de coleta, considerando todos os pontos para cada segmento de varejistas. Uma primeira interpretação dessa estrutura, considerando-se apenas a localização, é que a distribuição em *cluster* do segmento de vestuário impacta a distribuição dos demais pontos de forma significativa, pois esse tipo de comércio representa 40% da amostra. Outra observação é a aleatoriedade da localização de farmácias e gêneros alimentícios, indicando que, possivelmente, a cobertura espacial foi determinada em função de fatores socioeconômicos e demográficos para atendimento aos consumidores, e não apenas por meio de simetria quanto à localização dos estabelecimentos. Quanto às atividades de distribuição urbana de mercadorias, a aglomeração espacial pode refletir uma maior eficiência nas entregas, por diminuir as distâncias, mas pode, de forma contraditória, indicar um local com maiores externalidades que, em relação ao congestionamento, podem implicar em perda de eficiência logística.

Tabela 1: Análise da estrutura espacial dos pontos de varejo por segmento

Segmento Varejista	*z-score*	*p-value*	Análise da estrutura espacial dos dados
Cosméticos	4,06	0,000048	Dispersa
Informática	3,29	0,001007	Dispersa
Livrarias e papelarias	3,45	0,000552	Dispersa
Outros	3,21	0,001331	Dispersa
Farmácias	-0,03	0,974014	Aleatória
Gêneros alimentícios	1,47	0,141036	Aleatória
Vestuário	-3,31	0,000949	*Cluster*
Todos	-7,63	0,000000	*Cluster*

Com o objetivo de identificar algum padrão de homogeneidade espacial quanto à percepção de varejistas e transportadores sobre as restrições e os desafios logísticos (não apenas a localização dos fenômenos), foi aplicada a técnica de geração de *Hot Spots* Getis Ord Gi*. Essa análise foi feita de forma agregada quanto ao segmento econômico de atuação dos varejistas e transportadores, em função dos dados que seriam insuficientes para a análise em alguns setores. Para interpretação das distribuições espaciais de atributos e fatores, são apresentados os parâmetros para qualificação dos *Hot Spots* e dos *Cold Spots* (Tabela 2).

Tabela 2: Parâmetros para análise de *cluster*

Ator	Tipo de atributo	Variáveis/Fatores	*Hot Spot* (Próximo de 10)	*Cold Spot* (Próximo de 1)
Varejistas	Restrições locais (variáveis)	Local para recebimento de mercadorias	Os locais disponíveis para recebimento são adequados	Os locais disponíveis para recebimento não são adequados
		Dificuldade para movimentar mercadorias	Não existe dificuldade na movimentação de mercadorias	Existe dificuldade na movimentação de mercadorias
		Trânsito intenso	Não há trânsito intenso	Há trânsito intenso
	Desafios logísticos (fatores)	Infraestrutura e externalidades sonoras	A infraestrutura é boa	A infraestrutura é ruim
		Recebimento fora do horário comercial	Concordam com o recebimento noturno	Não concordam com o recebimento noturno
		Momento de descarga	O espaço para recebimento de carga é adequado, a segurança não afeta o recebimento de mercadorias	O espaço para carga e descarga não é adequado, a segurança afeta o recebimento de mercadorias
Transportadores	Restrições locais (variáveis)	Segurança	Restrições no horário de entrega não afetam a segurança	Não há
		Local adequado para carga e descarga	Os locais disponíveis para carga/descarga são adequados	Os locais disponíveis para carga/descarga não são adequados
		Tamanho do veículo	Não há	Restrições locais referentes ao tamanho dos veículos afetam o desempenho das empresas.
	Desafios logísticos (fatores)	Entregas realizadas fora de horário comercial	Concordam com a entrega noturna	Não concordam com a entrega noturna
		Político ambiental	Concordam em arcar com custos para diminuir as externalidades geradas pelo transporte de carga	Não concordam em arcar com custos para diminuir as externalidades geradas pelo transporte de carga
		Espaço físico para entregas	Os locais disponíveis para entrega são suficientes	Os locais disponíveis para entrega não são suficientes

Primeiramente, será analisada a percepção dos varejistas quanto às restrições locais e aos desafios logísticos. Quanto às restrições locais (Figura 2), percebe-se que existe um *cluster* localizado na região Nordeste (destacado em preto), onde os estabelecimentos entrevistados consideram que o local para recebimento de mercadorias não é adequado. Essa inadequação é corroborada pela existência de dificuldade em realizar a movimentação de mercadorias na mesma área. Por sua vez, não existe padrão espacial evidente que caracterize a percepção dos varejistas quanto ao trânsito como restrição. As áreas central (destacada em vermelho) e Noroeste (destacada em verde) apresentam concentração de varejistas que não percebem dificuldade de movimentar mercadorias. De maneira consistente, na mesma área central, os comerciantes acreditam haver local adequado para o recebimento de mercadorias.

Com relação aos desafios, compreende-se que as análises referentes ao momento de descarga corroboram as variáveis estudadas referentes às restrições nos locais em que o espaço para carga e descarga não são adequados (Figura 3). O *cluster* localizado à Noroeste do centro está de acordo com a restrição referente à movimentação de cargas, reafirmando que no local não há impactos negativos para ambas as variáveis. Destaca-se a existência de uma área à Sudeste onde os varejistas também acreditam que as condições de descarga não são um desafio para o

recebimento de mercadorias. Ainda na porção Nordeste, os comerciantes considerando que o recebimento fora do horário comercial e as condições de infraestrutura e externalidades sonoras é um desafio significativo, corroborando a percepção quanto ao momento de descarga. Por outro lado, a área ao centro apresenta pequena aglomeração de varejistas que não consideram esses dois desafios como limitações às operações.

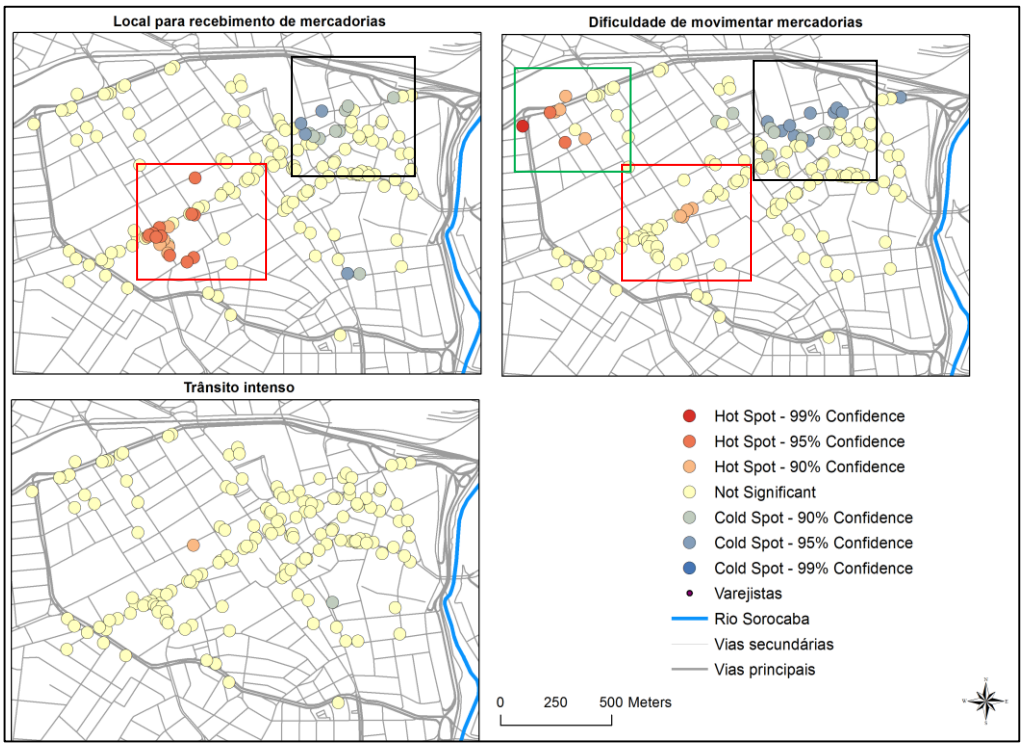


Figura 2: Análise de *Cluster* sob a ótica dos varejistas quanto às restrições

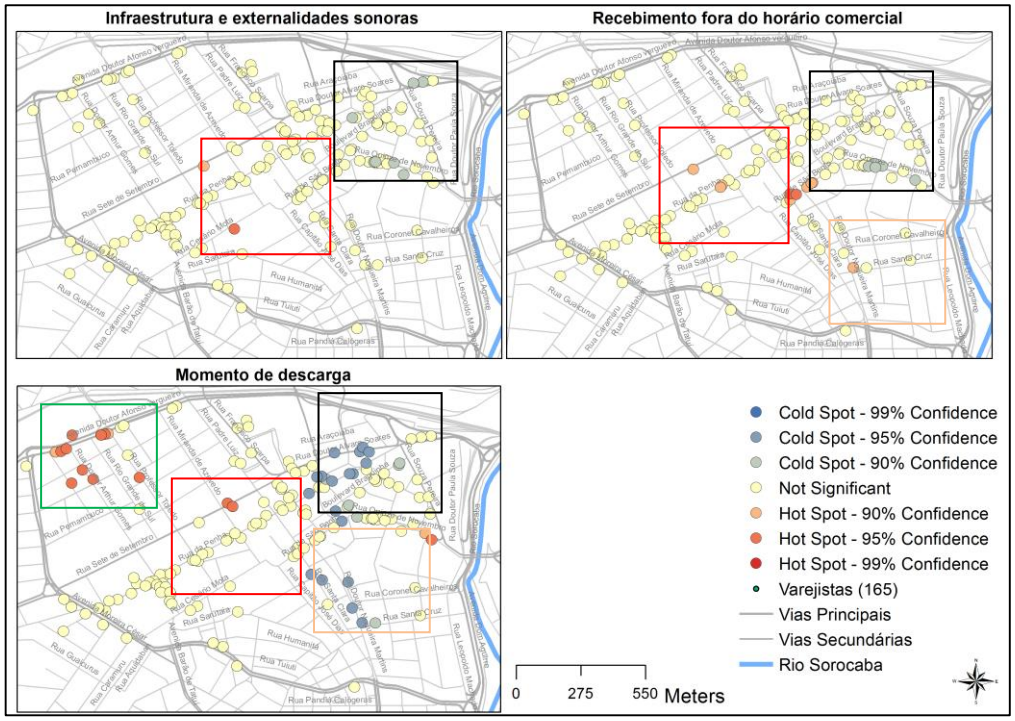


Figura 3: Análise de *Cluster* sob a ótica dos varejistas quanto aos desafios logísticos

A análise das restrições referentes à adequação do local carga e descarga sob a ótica dos transportadores (Figura 4) corrobora a visão dos varejistas na porção central da área de estudo. Entretanto, considerando a área à Noroeste, há uma divergência de opiniões: os transportadores afirmam que local para operação de carga e descarga não é adequado, enquanto os varejistas afirmam o contrário, não havendo dificuldades quanto à movimentação de mercadorias. Adicionalmente, os transportadores acreditam que o tamanho dos veículos afeta o nível de desempenho de duas operações, mostrando que na mesma região em que os transportadores afirmam não possuir local adequado para realizar carga e descarga, existem restrições referentes ao tamanho do veículo que impactam suas atividades negativamente, fato que não é percebido pelos varejistas.

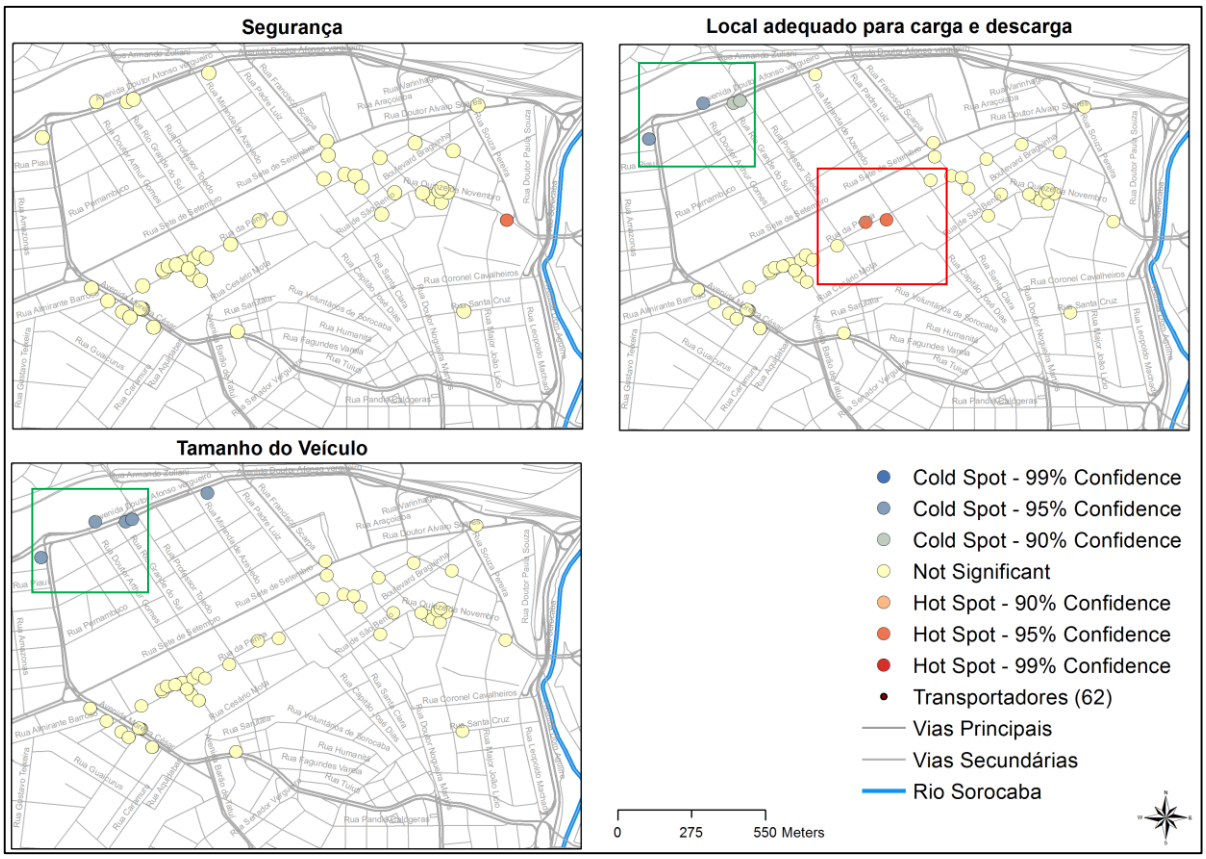


Figura 4: Análise de *Cluster* sob a ótica dos transportadores quanto às restrições

Na Figura 5 são apresentadas as percepções de transportadores quanto aos desafios logísticos. Há pouca tendência de aglomeração ou dispersão espacial. Há pequena concentração de transportadores à Noroeste que consideram entregas realizadas fora de horário comercial são um desafio. Além disso, alguns transportadores concordam que a área central apresenta desafios quanto ao espaço físico para entregas, de forma divergente da percepção dos varejistas.



Figura 5: Análise de *Cluster* sob a ótica dos transportadores quanto aos desafios logísticos.

4.1. Discussão dos resultados e proposições

A porção Noroeste caracteriza-se como o local com melhor adequação de espaço disponível para acomodação dos veículos em carga e descarga, segundo varejistas. Entretanto, considerando todos os atributos avaliados pelos transportadores, tanto restrições como desafios, a área à Noroeste apresenta problemas quanto à carga e descarga, não está adequada para receber os veículos demandados e apresenta restrições quanto às operações em horário fora-pico. De forma semelhante, mas com convergência entre as opiniões de varejistas e transportadores, a área localizada à Nordeste apresenta apenas concentração espacial de percepções negativas quanto aos atributos avaliados.

Por sua vez, a porção central é caracterizada pela presença de comerciantes que não identificam restrições ou desafios significativos que possam comprometer as operações logísticas. Há controvérsia quanto à percepção de transportadores, que, em sua maioria, acreditam que esta área é adequada para operações de carga e descarga, mas que, de forma contraditória, avaliam o espaço físico para entregas como desafio logístico. Pouco padrão de concentração espacial das opiniões de varejistas e transportadores foi identificado à Sudeste. Apenas os varejistas acreditam que as condições de carga e descarga não são adequadas, mas não veem entregas fora-pico como um desafio.

É possível concluir, à luz das sínteses espaciais realizadas nesta seção, que as porções Nordeste e Noroeste precisam de maior atenção. Nestas áreas não há perceptivas positivas sob a ótica dos varejistas quanto ao recebimento de mercadorias no horário fora-pico. Isso pode indicar problemas relacionados à segurança nestas áreas. Assim, medidas de incremento da

segurança poderiam ser adotadas. A porção Nordeste é a área com maior percepção negativa quanto aos atributos investigados. É interessante avaliar, em termos operacionais, os gargalos existentes em relação à estrutura de acomodação de veículos para operação de carga e descarga. Pode haver escassez de vagas, problemas relacionados à utilização das vagas por veículos que não movimentam mercadorias, e ainda um mau posicionamento das vagas em relação aos estabelecimentos que recebem o maior fluxo de mercadorias.

Em linhas gerais, a gestão municipal, visando promover melhorias efetivas na área central de Sorocaba quanto à distribuição urbana de mercadorias, deveria priorizar um diagnóstico (infraestrutura e operação) na porção Nordeste da área central da cidade.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo foi analisada a localização das principais restrições e desafios enfrentados por varejistas e transportadores para recebimento e distribuição urbana de mercadorias em Sorocaba, por meio do uso da análise espacial. Por meio desta ferramenta podem ser propostas soluções específicas para determinadas regiões da área estudada.

A análise espacial possibilitou identificar agrupamentos de atores que, significativamente, percebem as mesmas restrições ou desafios existentes na região. Os resultados indicaram que existem áreas específicas que sofrem com a inexistência de locais adequados para entrega e recebimento de mercadorias, as quais impactam negativamente o desempenho dos atores envolvidos. Esta análise é importante para que as ações do poder público sejam ainda melhor direcionadas.

O trabalho atingiu seus objetivos e pôde contribuir para uma melhor análise dos impactos referentes à logística urbana na região central de Sorocaba, oferecendo apontamentos que podem ser estudados com mais detalhes em futuros trabalhos. No entanto, as análises referentes aos desafios locais sob a ótica dos transportadores foi limitada devido à dificuldade encontrada em coletar informações dos transportadores.

Como trabalhos futuros, sugere-se o uso de micro-simulação para quantificar restrições e desafios e subsidiar a proposição de diferentes soluções de acordo com sua localidade sob a ótica dos agentes.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos varejistas e transportadores pesquisados pela disponibilidade e por colaborarem com a coleta de informações para o desenvolvimento deste estudo. Agradecemos também à FAPESP (2015/12041-9).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen, J.; Anderson, S.; Browne, M. e Jones, P. (2000) *A Framework for Considering Policies to Encourage Sustainable Urban Freight Traffic and Goods/Service Flows*: Summary Report, 137 p. Research project - Sustainable Cities Programme, University of Westminster, Westminster.

Barczak, R.; Duarte, F. (2012) Impactos ambientais da mobilidade urbana: cinco categorias de medidas mitigadoras. *urbe, Revista Brasileira de Gestão Urbana*, Curitiba , v. 4, n. 1, p. 13-32, Junho.

Behrends, S.; Lindholm, M.; Woxenius, J. (2008) The Impact of Urban Freight Transport: A Definition of Sustainability from an Actor's Perspective. *Transportation Planning and Technology*, v. 31, n. 3, p. 693–713.

Bontempo, A. P.; Cunha, C. B.; Botter, D. A.; Yoshizaki, H. (2014) Evaluating Restrictions on the Circulation of Freight Vehicles in Brazilian Cities. *Procedia – Social and Behavioural Sciences*, v. 125, p. 275-283.

Carnielle, L. G. (2009) *Proposta de um sistema de análise da logística urbana para cidades de pequeno e médio porte.* 2009. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

Carvalho, C. D. R. (2014) *Distribuição urbana de carga*: um estudo com empresas que atuam na região metropolitana de São Paulo (RMSP). 157 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

Cherrett, T.; Allen, J.; McLeod, F.; Maynard, S.; Hickford, A.; Browne, M. (2012) Understanding urban freight activity – key issues for freight planning. *Journal of Transport Geography*, v. 24, p. 22–32.

Cidell, J. (2010) Concentration and decentralization: The new geography of freight distribution in US metropolitan areas. *Journal of Transport Geography*, v. 18, n.3, p. 363–371.

Colicchia, C. *et al*. (2013) Building environmental sustainability: empirical evidence from Logistics Service Providers. *Journal of Cleaner Production*, v. 59, p. 197-209.

Cunha, R. N.; Galo, N. R.; Vieira, J. G. V.; Moris, V. A. S. (2013) Logística Urbana e o Desafio das Megacidades. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Salvador. *Anais*... ENEGEP.

Dablanc, L. (2009) Urban freight: freight transport, a key for the new urban economy. *The Transport Research Support Program*. Washington.

European Commission. (2005) *Thematic strategy on the urban environment*. Belgium: Brussels. 718 p.

Furquim, T. S. G.; Vieira, J. G. V.; Oliveira, R. L. M. (2017) Restrições de carga urbana e desafios logísticos: percepção de varejistas e motoristas em Sorocaba. *Revista Transportes.* [no prelo].

Holguín-Veras, J. (2008) Necessary conditions for off-hour deliveries and the effectiveness of urban freight road pricing and alternative financial policies in competitive markets. *Transp. Research A*, v. 42, p.392–413.

Lindholm, M. A. (2010) Sustainable perspective on urban freight transport: Factors affecting local authorities in the planning procedures. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, v. 2, p. 6205–6216.

Lozano, A., (2006) *Estudio integral metropolitano de transporte de carga y medio ambiente para el Valle de México*, 251p. Universidad Nacional Autonoma de México, Comision Ambiental Metropolitana (Final Report), México.

Macário R. *et al*. (2007) *Logurb-Optimização de Sistemas Logísticos de Distribuição de Mercadorias em Meio Urbano – state of the art da logística urbana*. Fundação de Ciência e Tecnologia, Lisboa, Portugal.

Mitchell, A. (2005) The ESRI Guide to GIS Analysis, Volume 2. ESRI Press.

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*, v. 8, n. 1, p. 178-209.

Oliveira, L. K.; Novaes, A. G. N. (2008) *Modelagem para Avaliar a Viabilidade da Implantação de Sistema de Distribuição de Pequenas Encomendas dentro dos Conceitos de City Logistics*. In: 3 Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável, Santos, SP.

Prata, B. A.; Oliveira, L. K.; Dutra, N. G. S.; Pereira Neto, W. A. (2012) *Logística Urbana: Fundamentos e Aplicações*, 1ª Ed., Curitiba, CRV.

Rodrigue, J. P.; Comtois, C.; Slack, B. (2017) *The Geography of Transport Systems*. 4th edition, London, Routledge.

Russo, F. e Comi, A. (2010) A classification of city logistics measures and connected impacts. *Procedia – Social and Behavioural Sciences*, v. 2, n. 3, p. 6355-6365.

Sanches Junior, P. F.; Diniz, L. S.; Rutkowski Jr, E. W.; e Junior, O. F. L. (2008) *As Atividades de Circulação de Mercadorias e a Regulamentação da Mobilidade Urbana no Brasil.* ln: Anais do Encontro Nacional de Engenharia De Produção, 27, Rio de Janeiro.

Sekovski, I.; Newton, A.; Dennison, W.C. (2012) Megacities in the coastal zone: Using a driver-pressure-stateimpact-response framework to address complex environmental problems, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol.96, n.1, 48-59.

Souza, A. F. M.; Ignácio, P. S. A. (2015) Melhorias no Processo de Agendamento de Entrega ao Cliente. Ln: Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. Ponta Grossa. *Anais*... ConBRepro.

STRATEC, S. A. (2005) *City Freight: Inter- and Intra-City Freight Distribution Networks*. Final Report. 236 p.

Taniguchi, E., Tadashi, Y., Ron Van, D. (2001) *City Logistics*: Network Modelling and Intelligent Transport Systems. Amsterdam: Elsevier Science.

Taniguchi, E., Thompson, R. G., Yamada, T. (1999) *Modelling City Logistics* In: E Taniguchi & R. G Thompson, 1999, City Logistics I, Kyoto (Institute for Systems Science Research).

Vargas, R. (2008) *A importância da gestão do transporte rodoviário*. Monografia. Faculdade Assis Gurgacz. Cascavel.

Viana, M. S.; Delgado, J. P. M. (2015) Análise espacial da demanda de transporte urbano de mercadorias na área central da cidade de Salvador visando a aplicabilidade de estratégias de logística urbana. In: Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte. p.521-532. Ouro Preto. *Anais*... ANPET.

INVESTIGAÇÃO DAS PRÁTICAS DE LOGÍSTICA URBANA EM CIDADES BRASILEIRAS

José Maria Dias
José Geraldo Vidal Vieira
Universidade Federal de São Carlos
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

RESUMO

A Politica Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU) direcionou o planejamento de soluções para o transporte urbano de pessoas e cargas. No entanto, as políticas públicas mostram que pouca ênfase tem sido dada ao Transporte Urbano de Cargas (TUC) quando comparada ao transporte público de pessoas. Como a Logística Urbana (LU) busca soluções integradas e sistêmicas para o TUC, este artigo investiga quais práticas de LU têm sido mais usadas nas cidades brasileiras. Foram analisados os conteúdos relativos ao TUC e LU nos Planos de Mobilidade Urbana (PlanMobs) destas cidades. Adicionalmente, por meio de uma *survey* identificou-se os recursos utilizados no planejamento do TUC, as práticas de LU adotadas e as percepções das autoridades locais sobre o TUC e a LU. Os resultados demostraram que a LU ainda é negligenciada e parece não ser o foco das autoridades responsáveis pelo PlanMob. A falta de competências específicas e a baixa utilização dos recursos para o planejamento impossibilitam o alcance das metas da LU.

ABSTRACT

The Política Nacional de Mobilidade Urbana – PNMU (National Urban Mobility Policy) addressed the planning of people and cargo urban transportation. However, government policies have focused on public transportation instead of Urban Freight Transport (UFT). Since City Logistics (CL) seek integrated and systematic solutions on UFT, this paper investigates the main CL practices have been used by the Brazilian cities. The contents related to UFT and CL were analyzed in the Plano de Mobilidade Urbana – PlanMob (Urban Mobility Plans) elaborated by the cities. Additionally, a survey identified the resources used in UFT planning, the CL practices adopted, and local authorities' UFT and CL perceptions. The results showed that the CL is still neglected and appears not to be the focus of the authorities who have developed the PlanMob. The lack of specific skills, with the low use of planning resources, makes it impossible to achieve the LU goals.

1. INTRODUÇÃO

Segundo o IBGE (2010), 84,35% da população brasileira vive em áreas urbanas, e estudos do UN-Habitat (2013) estimam que a população urbana no Brasil atinja 90% até 2040. O INCT (2013) mostrou que em 2012 a frota brasileira aumentou 11 vezes em relação ao crescimento populacional no mesmo período. Essa conjuntura e a limitação do espaço urbano (Oliveira & Guerra, 2014), tem levado a infraestrutura de transportes à utilização intensiva, de certa forma pouco planejada, o que contribui ainda mais para as implicações na mobilidade de pessoas e cargas. Vasconcellos (2005) relata sobre a infraestrutura de transporte urbana, e apresenta as consequentes externalidades negativas na cidade de São Paulo. Vieira & Fransoo (2015) apontam que na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), o Transporte de Carga Urbana (TUC) é dificultado pelo acesso às vias públicas estreitas, roubo de cargas, insuficientes áreas de carga e descarga e legislação restritiva a circulação de caminhões. Ainda, para Lakshmanan (2011), a infraestrutura de transportes e o aumento da acessibilidade é um fator crítico de sucesso para o desenvolvimento regional. Portanto, a eficiência em transporte urbano é essencial para o bom funcionamento da rede de transporte, importante para economia e para satisfação das necessidades dos cidadãos (Lindholm, 2012).

Para enfrentar estes problemas, foi instituída no Brasil a Politica Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU) através da Lei 12587/2012, que tem por objetivo melhorar a acessibilidade e mobilidade das pessoas e cargas nos municípios brasileiros (Brasil, 2012). A lei prevê o Plano

de Mobilidade Urbana (PlanMob) para os municípios com mais de 20.000 habitantes, como seu instrumento de efetivação e que deve, além do transporte de passageiros, contemplar a operação e o disciplinamento do transporte de cargas (bens, animais ou mercadorias) na infraestrutura viária. Dentro desta temática, Muñuzuri (2005) apresenta a Logística Urbana (LU) como um conjunto de atividades, que devem ser gerenciadas pelas autoridades locais, para um melhor planejamento e desempenho do sistema de logística da cidade. O termo "*City Logístics*", versão em inglês da LU, é utilizado para designar conceitos logísticos específicos e práticas envolvidas em entregas nas áreas urbanas congestionadas, o transporte do último trecho (*last mile*), com problemas específicos tais como: atrasos causados pelos congestionamentos, a falta de vagas para estacionamento, a estreita interação com outros usuários das vias urbanas, entre outros.

O objetivo deste artigo é investigar quais as principais as práticas de LU têm sido usadas pelas cidades brasileiras, sob o ponto de vista das autoridades públicas. A identificação dos recursos utilizados no planejamento dessas práticas e as percepções das autoridades públicas envolvidas com o tema também foram analisadas. Além disso, foram analisados se essas práticas têm sido contempladas dentro dos PlanMobs. Segundo Lindholm & Blinge (2014), as pesquisas e projetos de Mobilidade Urbana aumentaram, mas existe a noção que o transporte de mercadorias não recebe a mesma atenção que a mobilidade de passageiros na área de planejamento de transportes. As obrigações decorrentes da PNMU exigem dos municípios brasileiros o planejamento do Transporte Urbano de Carga (TUC) na elaboração de seus PlanMobs. No entanto, a literatura nacional e internacional aponta para a falta de estudos, dados e formação necessária para as autoridades locais fazê-lo (Dablanc, 2007; Zioni, 2009; Lindholm, 2012; Behrends & Lindholm, 2012; Silva & Marins, 2014; Lindholm & Blinge, 2014; Kawamura, 2015). Este artigo contribui para a literatura científica sobre o tema, carente de estudos (Silva & Marins, 2014), com abordagem específica sobre o planejamento do TUC e as práticas de LU nas cidades brasileiras.

2. PLANEJAMENTO DE LOGÍSTICA URBANA

As autoridades públicas são responsáveis por planejar, organizar, controlar e melhorar as medidas políticas (Taniguchi *et al*., 2013). Embora as cidades diferenciem-se em tamanhos, economia, estruturas políticas e culturais, o setor dos transportes desempenha um forte papel em todas as cidades (Lindholm & Behrendes, 2012). Os mesmos autores consideram o planejamento a parte mais importante de um sistema de TUC para alcançar um transporte urbano sustentável e eficiente. No entanto, os stakeholders têm percepções diferentes das diversas práticas adotadas pelas autoridades públicas (Oliveira e Oliveira, 2016). Investigar quais práticas têm sido mais adotadas por essas autoridades revelará futuras ações e pesquisas com o intuito de melhorar o transporte de carga nos centros de médias e grandes cidades.

Wolfram (2004) enumera os princípios para o planejamento em TUC: (1) a existência de uma estratégia de transporte urbano de mercadorias, que deve ser incorporada em uma estratégia de desenvolvimento global sustentável com uma perspectiva de longo prazo (cerca de 20-30 anos); (2) âmbito regional, definindo o conjunto, "aglomerado urbano", como área de planejamento de transportes e a definição de responsabilidades para garantir o compromisso total e colocar os passivos em seus lugares; (3) consulta das partes interessadas para garantir o máximo de transparência durante todo o processo e para melhorar a qualidade, a aceitação, efetividade e legitimidade das ações; (4) cooperação dos atores e coordenação de políticas, para assegurar a integração entre os modos de transporte e setores políticos, bem como a

cobertura geográfica e (5) reforço das competências, a fim de garantir que as pessoas chaves (autoridades locais) tenham as habilidades necessárias.
Cherret *et al.* (2012), afirmam que políticas de TUC não foram desenvolvidas na mesma medida que para o transporte de passageiros e que há falta de coleta de informações sobre TUC, ocasionando uma visão limitada das autoridades públicas nos padrões operacionais do TUC, quando tentam desenvolver estratégias adequadas e medidas políticas.

Lindholm & Behrends (2012), enumeram os fatores externos, que podem ser tanto barreiras, como motivadores do planejamento do TUC, agrupados em quatro categorias principais: (1) fatores institucionais e legais, (2) fatores financeiros, (3) fatores políticos e culturais e (4) fatores práticos e tecnológicos, que devem ser considerados para atingir a sustentabilidade em TUC. Ainda ressaltam os autores, que todos estes fatores devem ser considerados para atingir uma situação de TUC sustentável, e que para gestão destes fatores complexos, é necessário um plano integrado, que inclua o TUC, o transporte de passageiros e os departamentos de planejamentos locais. Para Quak (2011), o processo de planejamento em transporte tem um elevado grau de incerteza causado por três fatores: (1) o grande número de potenciais conjuntos de políticas, (2) o método de execução e (3) a resposta dos usuários para cada um desses conjuntos de políticas. Ballantyne *et al.*, (2013), acrescentam um quarto fator: as respostas das partes interessadas em TUC para o conjunto de politicas.

2.2. Práticas de Logística Urbana

Lindholm (2013) apresenta práticas em LU categorizadas em três grupos: (1) a infraestrutura, (2) as restrições e (3) a consolidação. Para Lindholm (2013), a infraestrutura da área urbana é cara, difícil de alterar, portanto o foco maior das soluções dessa categoria está em como utilizar a infraestrutura existente com a maior eficiência possível. Sobre as restrições, Lidholm (2013) comenta que são soluções que as autoridades locais podem utilizar para os veículos entrantes em vias, áreas e outros espaços da cidade. Bontempo *et al*. (2014) apontam que nas cidades brasileiras, as restrições à circulação de caminhões estão se tornando cada vez mais frequentes e essas restrições aplicam-se geralmente aos centros das cidades, especialmente durante as horas de pico, e para veículos maiores. A consolidação é, para Lindholm (2013), o conceito mais discutido na literatura e seu conceito é que cargas para uma área específica sejam consolidadas em um só ponto, em vez de todos os destinatários receberem as entregas diretamente dos diversos expedidores diferentes.

Para esta pesquisa será utilizada a classificação das práticas de Logística Urbana proposta por Taniguchi e Thompson (2015). Nessa classificação, as práticas logísticas são categorizadas pelos tipos e métodos de gestão (Quadro 1). O objetivo é verificar se essas práticas estão sendo consideradas dentro do PlanMobs das cidades brasileiras.

Quadro 1 - Classificação das práticas de Logística Urbana.

Tipo de Gestão	Método de Gestão	Práticas de Logística Urbana
Gestão de tráfego	Gestão de fluxo de trânsito	Construção de anel viário
		Rota para veículos de carga
		Controle de acesso para as cidades
		Zona de baixa emissão
		Fornecimento de informação de tráfego utilizando Sistema Inteligente de Trânsito

	Gestão de estacionamento	Estacionamento exclusivo para veículos de carga
		Áreas de carregamento/descarregamento nas ruas
		Fornecimento de informação de estacionamento utilizando Sistema Inteligente de Trânsito
	Gestão de horário	Entrega noturna
		Janela de tempo para entrar nas cidades
		Horário compartilhado entre veículos de carga e carros
	Gestão de veículos	Veículos de baixa emissão de poluentes
		Otimização de rotas e escalas
		Pedágio Urbano
		Controle de fator de carregamento
Melhoria no método de transporte	Transporte de carga cooperativo	Centros Urbanos de Consolidação
	Transporte de carga intermodal	Terminais intermodais
	Comodalidade do transporte de carga	Pick-up Points para entregas
		Uso de veículos de passageiros ou elétricos para entregas
Harmonia com outros planos urbanos	Plano de uso do solo	Restrições para localização de instalações logísticas
Outros	Reconhecimento	Reconhecimento de transportadores com selo verde
	Sistemas de transportes inovadores	Sistema de transporte de cargas subterrâneo
	Melhoria do código de construção	Avaliação do tamanho de caminhões e estacionamento no código de construção
	Organização	Parcerias de qualidade de transporte de cargas

Fonte: Taniguchi e Tompson (2015).

3. METODOLOGIA

Foram empregados dois métodos, sendo uma pesquisa *survey* e uma pesquisa documental.

A pesquisa ***survey*** é baseada em coleta sistemática de um conjunto de dados, referentes a variáveis confrontadas com a revisão bibliográfica (Forza, 2002). Basicamente, foram investigados três blocos de questão. O bloco 1 se refere aos "dados e infraestrutura de informação", tais como: status do PlanMob; qual é o órgão responsável pela elaboração/revisão do PlanMob; existência de pessoas qualificadas para a elaboração/revisão desse plano; se há participação dos stakeholders na elaboração/revisão desses planos; existência de coleta de dados sobre TUC; se há troca de informação com outros municípios. Neste. O bloco 2 buscou identificar quais "práticas de LU" são adotadas pelas cidades, segundo Taniguchi e Tompson (2015). O bloco 3 objetivou coletar as percepções das autoridades públicas ou daqueles responsáveis pela implantação da LU. Usando uma escala de 0 a 10, em que 0 (zero) representa uma baixa percepção do elemento em questão e 10 (dez) uma forte concordância. Os elementos desta investigação estão relacionados no Quadro 2.

Quadro 2 – Investigação da importância da movimentação de carga urbana

- Concordância com a necessidade de adoção de frete urbano
- Movimentação urbana de cargas pode causar problemas em nosso município.
- O transporte público de pessoas é mais importante que a movimentação de cargas.

- A movimentação de automóveis é mais importante que a movimentação de cargas.
- Conhecimento das melhores práticas para as questões de movimentação de cargas em áreas urbanas.
- Concordância que o Plano de Mobilidade Urbana deve conter um plano de mobilidade urbana de carga.
O Plano de Mobilidade Urbana é suficiente para adoção de boas práticas para a movimentação de carga.

A unidade de análise corresponde às cidades brasileiras com mais de 20 mil habitantes. A população alvo foram 1.650 cidades pelos seus portes populacionais, obrigadas a elaborarem os seus PlanMobs, conforme a prevê a PNMU (Lima Neto & Galindo, 2013). A amostra foi calculada em 230 cidades, segundo Santos (2016), para um para erro amostral de 6% e nível de confiança de 95%. Nesta pesquisa participam 70 cidades representando 30,4% da amostra desejada. A coleta de dados ocorreu no período entre 23/08/2016 e 31/03/2017. Utilizou-se de um questionário eletrônico, encaminhado aos municípios (Portal da cidade na Web ou *e-mails*), com suporte da Lei de Acesso à Informação - LAI (Brasil, 2011). Fez-se uma depuração dos dados, para verificar erros de preenchimento do questionário, em seguida procedeu-se a análise estatística descritiva dos dados, através de medidas de tendência central (média, mediana e moda), medida de dispersão (desvio padrão) e quartis. Para verificar a percepção das autoridades, foi realizada uma análise de correlação de Spearman, para uma amostra não normal. Foram utilizados os softwares IBM SPSS Statistics, v.21.0, com auxílio do pacote Microsoft Excel, v.2010. Para estimar a confiabilidade do questionário, foi calculado o coeficiente alfa de Cronbach, medida comumente usada para um conjunto de dois ou mais indicadores de construtos (Hair *et al*., 2009).

A **pesquisa documental** é um método de coleta de dados, com o objetivo de formação de um corpus documental (Sá-Silva *et al*., 2009), nesta pesquisa, os PlanMobs. A população é formada por 174 cidades brasileiras apontado na pesquisa: "Levantamento sobre a situação dos Planos de Mobilidade Urbana nos municípios brasileiros" (MCidades, 2016), e que elaboraram o PlanMob. A amostra foi calculada em 106 cidades, segundo Santos (2016), para um erro amostral de 6% e nível de confiança de 95%. Participaram da pesquisa documental 36 cidades, dentre as 47 que elaboraram PlanMobs que também participaram da *survey*. Apesar do número de cidades participantes ficar abaixo da amostra pretendida, a amostra coletada é representativa para a região Sudeste, principalmente para o Estado de São Paulo. Visto que 23 cidades são deste Estado e representam 33,3% das 69 cidades do Estado de São Paulo que desenvolveram o PlanMob. A coleta dos PlanMobs seguiu as mesmas vias e procedimentos que a *survey*, pela solicitação direta aos municípios através da internet.

Para a análise dos PlanMobs utilizou-se da análise de conteúdo que é um "... *conjunto de técnicas de análise de comunicações*" (Bardin 2009, p.31). Dentre as técnicas de análise de conteúdo, considerou-se a mais adequada a "análise temática". Para essa análise foi utilizado o software QDA Miner 4 Lite, um pacote de software de análise qualitativa de dados, para codificar dados textuais e gráficos, anotar, recuperar e revisar dados codificados, documentos e imagens (Péladeau, 2004). Neste sentido, foi feito um pareamento das unidades de codificação (variáveis de análise), por meio da classificação das práticas de LU proposta por Taniguchi & Thompson (2015) (Quadro 1).

4. RESULTADOS

4.1. Survey

4.1.1. Caracterização dos respondentes

A maior participação foi de 20 (28,5%) cidades com população entre 250 e 500 mil

habitantes. No entanto, a maioria das cidades (67,1%) tem acima de 100 mil habitantes. Ou seja, pode-se dizer que são cidades de médio a grande porte. A maior participação foi da Região Sudeste com 49 (70,0%) cidades, seguida pelas Regiões Sul com 11 (15,7%), Centro-Oeste com 5 (7,1%), Nordeste com 3 (4,3%) cidades e Norte com 2 (2,9%) cidades.

Os cargos dos respondentes mostraram que Secretário, Diretor, Assessor, Arquiteto e Coordenador respondem pela maior participação entre os respondentes, portanto revela um perfil de alta gerência. Os órgãos com maior representantes foram o Planejamento e Trânsito/transporte/mobilidade urbana, totalizando 71,4% das respostas.

4.1.2. Recursos utilizados no planejamento

Para o levantamento do estágio de desenvolvimento do PlanMob, foi utilizada a variável PLANEST, o resultado demostrou que 47(67,1%) cidades têm o plano, sendo que 38 (54,3%) cidades já o têm aprovado. As cidades que não têm efetivamente os seus PlanMobs (Não tem e Pretende ter) representam 15 (21,4%) participantes, seguida por 8 cidades que declaram ter seus PlanMobs em elaboração e 6 (8,6%) declaram não ter. A variável ORGRSP (órgão responsável pela elaboração e/ou revisão do PlanMob) resultou que o Planejamento, juntamente com Trânsito/transporte/mobilidade urbana são frequentemente os órgão responsável pela elaboração/revisão dos planos, ambos com 35,7% de participação. As frequências referentes aos recursos utilizados estão representadas na Figura 1.

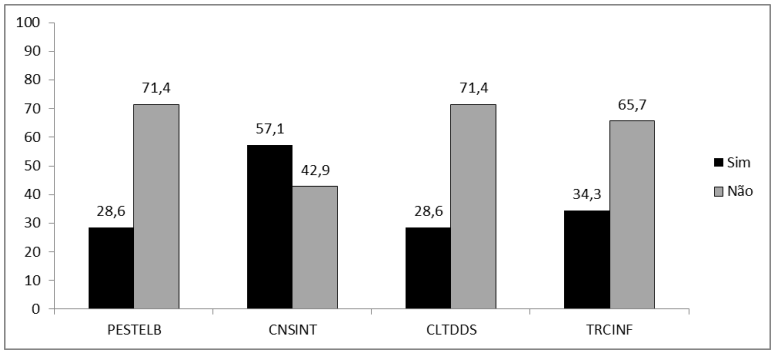


Figura 1 – Frequências (%) das variáveis referentes aos recursos utilizados

Percebe-se que, 71,4% das cidades responderam não possuírem pessoas treinadas especificamente para elaboração e/ou revisão (PESTELB) de um plano de mobilidade urbana de carga. Esses resultados são condizentes com as afirmações da literatura nacional e internacional, sobre a falta das competências específicas das autoridades locais para o planejamento do TUC (Dablanc, 2007; Zioni, 2009; Lindholm, 2012; Behrends & Lindholm, 2012; Silva & Marins, 2014; Lindholm & Blinge, 2014; Kawamura, 2015). É interessante dizer que, embora sejam pessoas que ocupam cargo de alta gerência, esses planejadores não participam de treinamento para elaboração e revisão dos planos.

Cerca de 57,1% prevê ampla consulta aos interessados (CNSINT) nas questões de mobilidade, seja para o planejamento, seja para avaliação dos resultados. As cidades que declaram não fazer consultas aos interessados, além de contrariar as diretrizes da PNMU, confirmam a literatura internacional (Dablanc, 2007). No entanto, apenas 50% das cidades declararam ter uma forma sistemática de coleta de dados sobre movimentação de carga. A coleta de dados é considerada um elemento importante, que podem ser usados para entender

e impulsionar as operações logística em áreas urbanas (Taniguchi & Thompson, 2015).

Quanto à troca de informações com outros setores das Prefeituras (TRCINF), 65,7% das cidades afirmaram não efetuar tais trocas. Um exemplo de informações importantes são as questões relacionadas ao uso do solo, que normalmente são tratadas por departamentos diferentes, que não ligados ao TUC. Lindholm & Behrends (2012) esclarecem que o ordenamento do uso do solo influencia o caráter do TUC, mas o TUC raramente é considerado durante o desenvolvimento do plano de uso do solo. Para as cidades analisadas fica evidenciada a oportunidade de melhoria neste aspecto.

Os resultados evidenciaram que a medida que aumenta a população, existe uma tendência de maior recursos utilizados no planejamento proporcionalmente a população. Este resultado era esperado, pois revela cidades que têm uma estrutura organizacional estruturada, o que permite ter uma melhor coleta de dados sobre mobilidade urbana de carga.

4.1.3. Práticas de Logística Urbana

A Figura 2 apresenta a distribuição das práticas de LU para as cidades respondentes.

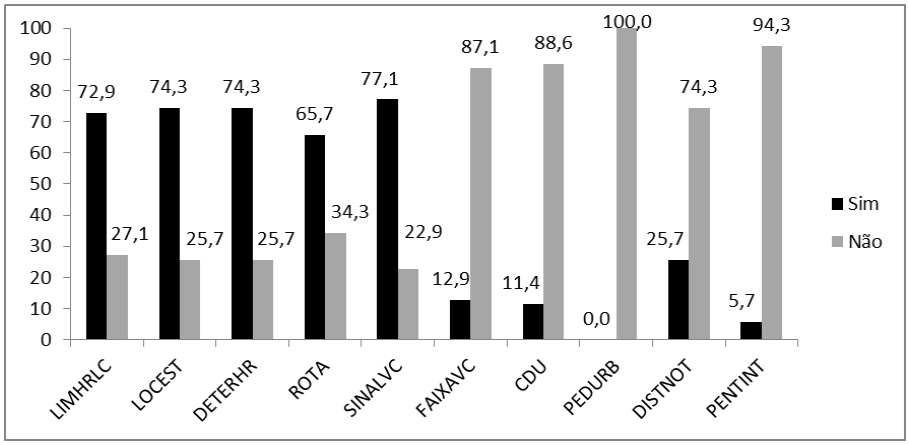


Figura 2 - Práticas de Logística Urbana

Nota:

LIMHRLC	- Limitação de horários e locais de circulação de veículos pesados.
LOCEST	- Localização de áreas de estacionamento para veículos de carga.
DETERHR	- Determinação de horários para operação de carga e descarga na via pública.
ROTA	- Definição de rotas preferenciais e de vias de uso proibido.
SINALVC	- Sinalização específica para veículos de carga (orientação e restrição).
FAIXAVC	- Faixas em rodovias urbanas reservadas para veículos de carga.
CDU	- Ponto de Transbordo e/ou Centros de Distribuição Urbana (CDU).
PEDURB	- Pedágio Urbano.
DISTNOT	- Distribuição urbana de mercadorias em horários noturnos.
PENTINT	- Ponto de entrega inteligente.

As variáveis LIMHRLC, LOCEST, DETERHR, ROTA e SINALVC, apresentam as maiores frequências, denotando que as medidas restritivas são as mais adotadas. Essas medidas são as mais adotadas pelas cidades do Brasil e de outros países. Esses resultados corroboram as afirmações de Bontempo *et al.* (2014), que as práticas restritivas a circulação de veículos de cargas tem se tornado frequentes pelas cidades brasileiras. No entanto, este resultado parece revelar que são medidas mais fáceis de serem aplicadas sob o ponto de vista de planejamento urbano, pois se referem a limitações de acesso dos veículos de carga aos locais de maior

tráfego e ao uso de sinalizadores. Além disso, são medidas que têm menor envolvimento de stakeholders no seu planejamento; são medidas que trazem maior impacto aos transportadores e varejistas.

4.1.4. Percepções sobre planejamento TUC

A Tabela 1 apresentam as estatísticas descritivas referentes às variáveis das proposições sobre TUC.

Variáveis	Média	σ	Mediana	Moda	1o. Quartil	3o. Quartil
Adoção de frete urbano (FURBINT)	7,8	2,4	8	10	6	10
Movimentação urbana de cargas é um problema (MVCPRB)	8,7	1,8	9	10	8	10
Transporte público de pessoas é mais importante (PESSIMP)	8,1	1,9	8	10	7	10
Movimentação de automóveis (AUTOIMP)	6	1,9	6	5	5	7
Conhecimento das melhores práticas (CONPRAT)	5,5	2,3	5	5	4	7
Plano de Mobilidade Urbana deve conter carga (PLANUC)	8,5	2	10	10	8	10
Suficiência do Plano de Mobilidade Urbana (PLANSFC)	6,3	2,4	7	5	5	8

Tabela 1 - estatísticas descritivas referentes às variáveis das proposições sobre TUC.

Observa-se na Tabela 1 que a mediana e a moda de todas as variáveis tiveram uma pontuação de 5 ou mais, sinalizando com a concordância em vários níveis para todas as proposições apresentadas. Os desvios padrão mostram-se relativamente baixos, indicando que as amostras são homogêneas. As variáveis que tiveram os menores valores foram: AUTOIMP, CONPRAT e PLANSFC, todas com moda igual a 5. No geral esses resultados revelam uma falta de conhecimento da importância de se ter um melhor planejamento da mobilidade urbana de carga, pois embora a grande maioria dos respondentes (cerca de 75%, como mostra o terceiro quartil) concorda com a necessidade de adoção de frete urbano (FURBINT) e que o PlanMob deve conter um plano de mobilidade urbana de carga (PLANUC), eles percebem que a movimentação urbana de cargas pode causar problemas no trânsito (MVCPRB) e que o transporte público de pessoas é mais importante que a movimentação de cargas (PESSIMP). Por outro lado, observa-se que pelo menos a metade percebe que a movimentação de automóveis é mais importante que a movimentação de cargas (AUTOIMP), apenas 50% parece ter conhecimento das melhores práticas para as questões de movimentação de cargas em áreas urbanas e o mesmo percentual revela que o PlanMob é suficiente para adoção de boas práticas para a movimentação de carga. Ou seja, esse resultado parece revelar pouco conhecimento ou valor com relação às práticas de LU por parte dos gestores.

Para verificar a percepção das autoridades quanto à prioridade de se ter um melhor planejamento da mobilidade de carga urbana, foi feita uma análise de correlação de Spearman, para uma amostra não normal (Tabela 2).

	FURBINT	MVCPRB	PESSIMP	AUTOIMP	CONPRAT	PLANUC	PLANSFC
FURBINT	1						
MVCPRB	,138	1					
PESSIMP	,109	,179	1				
AUTOIMP	-,008	-,120	,345**	1			
CONPRAT	,340**	-,036	,125	,153	1		
PLANUC	,265*	,218	,458**	,073	,195	1	

PLANSFC	,208	,030	,234	,318**	,524**	,274*	1
** Correlação significativa ao nível de 0.01 (2 extremidades).							
*. Correlação significativa ao nível de 0.05 (2 extremidades).							

Tabela 2 - Correlação das variáveis

A maior correlação positiva (0,524), a 1% de significância, se apresentou entre a variável PLANSFC (suficiência do PlanMob para adoção de boas práticas de TUC) e CONPRAT (conhecimento sobre as melhores práticas de TUC). Ou seja, quando aumenta a percepção de conhecimento das melhores práticas para as questões de movimentação de cargas em áreas urbanas, aumenta também a percepção de que o PlanMob é suficiente para adoção de boas práticas para a movimentação de carga. Também apresentaram correlação positiva (0,345), corroborando com a análise prévia, as variáveis AUTOIMP e PESSIMP; CONPRAT e FURBINT com fator 0,340. Uma análise interessante é entre as variáveis PLANUC e PESSIMP. Ou seja, à medida que aumenta a percepção de que o PlanMob deve conter um plano de mobilidade urbana de carga, é revelado que o transporte público de pessoas se torna mais importante que a movimentação de cargas. Este resultado é corroborado pela análise da correlação entre PLANSFC e AUTOIMP.

4.2. Análise de conteúdo

O pareamento das práticas de LU presentes nos PlanMobs, com a classificação proposta por Taniguchi e Thompson (2015 p.7), resultou nas frequências as Práticas de LU estão presentes por PlanMob (caso), conforme apresentados na Figura 3.



Figura 3- Frequência das práticas de Logística Urbana por casos

Destacam-se na Figura 3 as maiores frequências das práticas restritivas de Rota para caminhões (47,2% das cidades), Áreas de carregamento/descarregamento nas ruas (58,3%) e a Janela de tempo para entrar nas cidades (63,6% dos casos).

Pela comparação das práticas planejadas (Figura 3) e as práticas adotadas atualmente (Figuras

2), percebe-se que não há mudança prevista para o cenário planejado, visto que os padrões de frequências são muito similares e carecem da utilização das tecnologias da informação e comunicação (TIC), a exemplo dos Sistemas Inteligentes de Trânsito, fundamentais para os objetivos da Logística Urbana (Taniguchi, 2015).
Verificou-se que as cidades com mais de 500 mil habitantes são aquelas que mais mostram diversificação de práticas planejadas, com 17 práticas, seguidas das cidades de 100 a 250 mil habitantes, com 15 práticas. As cidades de 250 a 500 mil habitantes apresentam uma menor diversificação que as anteriores, com somente 8 práticas e com o menor número de práticas planejadas, as cidades de 60 a 100 mil habitantes com 3 práticas.

5. Discussão e Conclusão

Os resultados apresentados demonstram que a maioria das cidades participantes da *survey* pertence às regiões mais desenvolvidas do país (Sul -15,7% e Sudeste – 70,0%), de porte médio a grande com população de mais de 100 mil habitantes (67,1%), e a maioria dos respondentes são membros da alta gestão municipal (Secretários – 24,3% e Diretores - 21,4%) com boa experiência em seus cargos (75 % dos Secretários com 24 anos e 75% dos Diretores com 30 anos). No entanto, a falta de competências específicas para o planejamento do TUC sugere que os respondentes têm um perfil mais político ou não tem formação/treinamento na área de TUC. Resultados semelhantes foram apresentados em pesquisa com cidades da Suécia (Lindholm e Blinge, 2014).

A maioria (67,1%) das cidades participantes informou ter seus PlanMobs, aprovados ou não, porém 42,9% delas não consultam as partes interessadas, contrariando as diretrizes da PNMU e ignorando informações essenciais sobre suas preferências, percepções (Oliveira e Oliveira, 2016), seus objetivos e interesses conflitantes (Stathopoulos, Valeri e Marcucci, 2012). Este cenário confirma a literatura internacional (Dablanc, 2007). Da mesma forma, 72,3% destas cidades não coletam dados sobre o TUC. A coleta de dados permite o entendimento e pode ser usado para impulsionar a LU (Tniguchi e Thompson, 2015). Acrescenta-se a isto, a falta de troca de informações com outros órgãos, principalmente ligados ao uso do solo, que influência o caráter do TUC (Lindholm e Behrends, 2012). As cidades com PlanMobs mostraram ter menores recursos para o planejamento do TUC, que as cidades da amostra total.

As práticas de LU adotadas pelas cidades, independentemente de ter ou não seus PlanMobs ou sua classe populacional, são limitadas a um pequeno número de práticas restritivas (LIMHRLC, LOCEST, DETERHR, ROTA) e de sinalização (SINALVC). Esta conjuntura é coerente com a percepção dos respondentes, que atribuíram, uma maior importância ao transporte público de pessoas (PESSIMP) e importância moderada para movimentação de automóveis (AUTOIMP) em relação ao TUC. Mesmo quando aumentam os seus conhecimentos das melhores práticas (CONPRAT), também aumenta a importância atribuída ao transporte público de pessoas (PESSIMP) e a movimentação de automóveis (AUTOIMP).

Conclui-se que apesar da PNMU prever o planejamento do TUC, a LU, suas práticas e conceitos estão presentes de forma incipiente nas cidades brasileiras. Com poucas exceções, as cidades limitam-se a repetir as práticas historicamente adotadas (Sanches Jr., Fontes e Rutkowski, 2009), basicamente pela gestão do fluxo do tráfego do transporte público de pessoas, automóveis e restrição ao TUC. Pela percepção das autoridades locais de suas limitações quanto à gestão do TUC, fica evidenciado a necessidade da preparação de

treinamentos específicos em LU, dos recursos humanos e posterior adequação da utilização dos demais recursos para o planejamento. Há uma falta de antecedentes para desenvolver o Plano de Frete Urbano pelos gerentes públicos. As autoridades públicas devem investir na formação de pessoas, sistemas de coleta de dados, comunicação com as partes interessadas e entre agências para elaborar os UMP adequadamente. Os resultados demonstraram que a LU ainda é negligenciada e parece não ser o foco das autoridades que têm elaborado o PlanMob. A mobilidade das pessoas mostrou-se muito mais importante do que a mobilidade da carga. Portanto, a falta de competências específicas das autoridades locais, com a baixa utilização dos recursos para o planejamento impossibilita o alcance das metas da LU. Além disso, à medida que as cidades se tornam maiores, algumas soluções ganham destaques (por exemplo, área de estacionamento, entregas de horas extras e janela de tempo) e as cidades possuem uma gama mais ampla de soluções.

Agradecimentos
Os autores agradecem o apoio da CAPES para esta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen, J., Anderson, S., Brown, M. (2000) A framework for considering policies to encourage sustainable urban freight traffic and goods/service flows. *Transport Studies Group*, University of Westminster, London.

Ballantyne, E. E. F; Lindnholm, M.; Whiteing, A. (2013) A comparative study of urban freight transport planning: Addressing stakeholder needs. *Journal of Transport Geography*, v. 32, p. 93-101.

Bardin, L. (2009). *Análise de conteúdo* (Ed. 70*)*. Lisboa: Telles.

Bontempo, A. P., Cunha, C. B., Botter, D. A., & Yoshizaki, H. T. (2014). Evaluating restrictions on the circulation of freight vehicles in Brazilian cities. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 125, 275-283.

Brasil (2011). Lei Nº 12.527. Regula o acesso a informações previsto no inciso XXXIII do art. 5o, no inciso II do § 3o do art. 37 e no § 2o do art. 216 da Constituição Federal. Recuperado em 05 de dezembro de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/lei/l12527.htm.

Brasil (2012). Lei Nº 12.587. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. Recuperado em 22 de maio de 2016 de http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12587.htm.

Brasil (2015) Caderno de Referência para Elaboração de Plano de Mobilidade Urbana. SeMob. Recuperado em dia, março 01 de março de 2016, de http://www. http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSE/planmob.pdf.

Browne, B., Lindholm, M., Allen, J. (2015). Paternerships among Stakeholders. In: E. Taniguchi & Thompson, R.G. (Eds.) *City Logistics Mapping The Future*. (1a. Ed. p. 1-12): CRC Press.

Cherrett, T., Allen, J., McLeod, F., Maynard, S., Hickford, A., & Browne, M. (2012). Understanding urban freight activity–key issues for freight planning. Journal of Transport Geography, 24, 22-32. Dablanc, L (2007). Goods transport in large European cities: Difficult to organize, difficult to modernize. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 41, n. 3, p. 280-285.

Forza, C. (2002). Survey research in operations management: a process based perspective. *International Journal of Operations & Production Management*, v.22, n.2, p.152-194, 2002.

Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E., & Tatham, R. L. (2009). *Análise multivariada de dados*. (6a. Ed.) Bookman Editora.

IBGE (2010). *Censo 2010*. Recuperado em 20 de julho de 2016 de http://censo2010.ibge.gov.br

INCT, Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (2013). Observatório das Metrópoles. *Evolução da frota de automóveis e motos no Brasil 2001-2012*. Recuperado em 19 de julho de 2016 de http://www.observatoriodasmetropoles.net/download/auto_motos2013.pdf.

Kawamura, K. (2015). Urban Planning with City Logistics. In*: City Logistics Mapping the Future*. E. Taniguchi & R.G.Thompson (Eds.). CRC Press: Boca Raton.

Lakshmanan, T. R. (2011) The broader economic consequences of transport infrastructure investments. *Journal of transport geography*, v.19, n.1, p.1-12.

Lima Neto, V. C., Galindo, E. P. (2013). Planos de mobilidade urbana: instrumento efetivo da política pública de mobilidade? Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo, Brasília, v.9. Recuperado em 22 de setembro de 2015, de http://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/12291.

Lindholm, M. (2012). How local authority decision makers address freight transport in the urban area. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v.39, p.134–145.

Lindholm, M. (2013). Urban freight transport from a local authority perspective–aliterature review. *European Transport\Trasporti Europei*. Issue 54, Paper n° 3.

Lindholm, M., Behrends, S. (2012). Challenges in urban freight transport planning – a review in the Baltic Sea Region. *Journal of Transport Geography*, n.22, p.129-136. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.01.001

Lindholm, M., Blinge, M. (2014). Assessing knowledge and awareness of the sustainable urban freight transport among Swedish local authority policy planners. *Transport policy*, v. 32, p. 124-131.

MCidades – Ministério das Cidades (2016). Levantamento sobre planos de mobilidade urbana. Recuperado em 21 de novembro de 2016, de http://www.cidades.gov.br/mobilidade-urbana/planejamento-da-mobilidade-urbana/233-secretaria-nacional-de-transporte-e-da-mobilidade/planejamento-da-mobilidade-urbana/4398-levantamento-sobre-a-situacao-dos-planos-de-mobilidade-urbana-nos-municipios-brasileiros.

Muñuzuri, J., Larrañeta, J., Onieva, L., Cortés, P (2005). Solutions applicable by local administrations for urban logistics improvement. *Cities*, v. 22, n. 1, p. 15-28.

Oliveira, G. F., Oliveira, L. K. (2016). Stakeholder's Perceptions of City Logistics: An Exploratory Study in Brazil. *Transportation Research Procedia*, v. 12, p. 339-347. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.070

Oliveira, L. K., Guerra, E. D. (2014). A diagnosis methodology for urban goods distribution: A case study in Belo Horizonte City (Brazil). *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, v. 125, p. 199-211.

Péladeau, N. (2004). QDA miner qualitative data analysis software, user's guide. Montreal: Provalis Research. Recuperado em 06 de maio de 2016 de https://www.provalisresearch.com/Documents/QDAMiner.pdf.

Quak, H. (2011) Urban freight transport: the challenge of sustainability. In: C. Macharis & S. Melo (Eds.), *City Distribution and Urban Freight Transport: Multiple Perspectives*, (1a. ed., p. 37-55), Cheltenhan: Edward Elgar Publishing.

Sanches Jr., P., Fontes, O., Rutkowski, E. (2009). A realidade das políticas públicas para a movimentação das cargas nas metrópoles brasileiras. In: *XV Congreso Latino americano de Transporte Público y Urbano*. Buenos Aires: CLATPU.

Santos, G. E. O. (2016). *Cálculo amostral*: calculadora on-line. Recuperado em 28 de fevereiro de 2017, de http://www.calculoamostral.vai.la.

Sá-Silva, J. R., de Almeida, C. D., & Guindani, J. F. (2009). Pesquisa documental: pistas teóricas e metodológicas. Revista brasileira de história & ciências sociais, 1(1).

Silva, T. C. M., Marins, K. R. C. C. (2014). Discutindo o papel do transporte de carga no planejamento urbano: contextualização e comparativo conceitual. In: Anais do XXVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes.

Stathopoulos, A.; Valeri, E.; Marcucci, E. (2012). Stakeholder reactions to urban freight policy innovation. *Journal of Transport Geography*, v. 22, p. 34-45.

Taniguchi, E. (2015). Intelligent transport Systems in City Logistics. In: E. Taniguchi & R. G. Thompson (Eds.) *City Logistics Mapping The Future*. (1a. Ed., p. 1-12.) Ed. Boca Raton: CRC Press.

Taniguchi, E., Thompson, R.G., Yamada T. (2013) Concepts And Visions for Urban Transport and Logistics Relating to Human Security. In: E. Taniguchi; Fwa T.F. & R. G. T Hompson (Eds.) *Urban Transportation and Logistics: Health, Safety, and Security Concerns.* (1a. Ed., p.1-22) Boca Raton: CRC Press.

Taniguchi, E; Thompson, R.G (2015). Introduction. In: E. Taniguchi & R. G. Thompson (Eds.), *City Logistics Mapping The Future*. (1a. Ed., p. 1-12) Boca Raton: CRC Press.

Un-Habitat (2013). Planning and design for sustainable urban mobility: Global report on human settlements. Recuperado em 26 de maio de 2015, de http://unhabitat.org/books/planning-and-design-for-sustainable-urban-mobility-global-report-on-human-settlements-2013.

Vasconcellos, E. A. (2005). Transport metabolism, social diversity and equity: The case of São Paulo, Brazil**.** *Journal of Transport Geography***,** v.13 i.4 p. 329-339.

Vieira, J. G. V., Fransoo, J. C., Carvalho, C. D. (2015). Freight distribution in megacities: perspectives of shippers, logistics service providers and carriers. *Journal of Transport Geography*, v. 46, p. 46-54.

Wolfram, M., & Consult, R. (2004). Expert working group on sustainable urban transport plans. Final Report,(Deliverable D4), Cologne, Germany: Rupprecht Consult.

Wolpert, S., Reuter, C. Status (2012) Quo of City Logistics in Scientific Literature: Systematic Review. Transportation Research Record: *Journal of the Transportation Research Board*, n. 2269, p. 110-116.

Zioni, S. M. (2009). *Espaços de carga na região metropolitana de São Paulo*. Tese (Tese de doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo.

A LOGÍSTICA E A NOVA AGENDA URBANA: UM DIÁLOGO NECESSÁRIO

Orlando Fontes Lima Junior
José Reinaldo Braga
Ana Paula Ribotta Hirakawa
Ester Divieso Roman Rodrigues
Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo
Clara Natalia Steigleder Walter
Universidade Federal de Pelotas
Curso Superior de Tecnologia em Transporte Terrestre

RESUMO
A vida e a gestão dos grandes centros urbanos tornam-se complexas e demandam uma crescente capacidade de entendimento e ações articuladas entre os sistemas de produção e circulação e que respeitem o meio ambiente. O objetivo deste trabalho é propor à área da logística um papel ativo na atenção da referida demanda, dando a esta um caráter mais holístico e humanista, sem perder sua contribuição técnica. Para tanto, o método é o dedutivo, ou seja, a partir dos conhecimentos práticos e teóricos sobre logística, e da forma como esta se apropria e é aproximada pelas ciências humanas, propor, como resultado, uma agenda que aproxime os operadores e os pesquisadores em logística de outros atores e temas da vida urbana; que permita analisar e propor políticas públicas de investimentos e gestão, e a construção de formas participativas e democratizantes de tomada de decisões e de gestão de projetos e atividades logísticas.

ABSTRACT
The life and management of the big urban centers become complex. This demand an increasing capacity of understanding and articulated actions between the production and circulation systems with respect to environment. The objective of this work is to propose at logistics area an active role in the attention of said demand, giving to this a more holistic and humanistic character, without losing its technical contribution. The method is deductive, that is, from the practical and theoretical knowledge about logistics, and the way it appropriates and to link by the human sciences. This propose is an agenda that brings operators and researchers closer them other actors and themes of urban life. The contribution is allow analyzing and proposing public investment and management policies and the construction of participatory and democratizing forms of decision-making and management projects and logistical activities.

1. INTRODUÇÃO

Os estudos da logística tem dialogado pouco com as ciências sociais e estas, da mesma forma, têm utilizado muito pouco os instrumentos analíticos e os conhecimentos práticos da logística. Entretanto a crescente importância do espaço urbano na vida humana e na do planeta demanda uma aproximação entre as diferentes áreas de pensamento e conhecimentos teórico e prático das realidades vividas no espaço urbano. Mais de cinquenta por cento dos habitantes do planeta vivem em cidades e as mesmas estão se tornando insustentáveis face a este crescimento. É proposta deste artigo delimitar uma agenda de atuação teórico-prática para a logística que contribua com enfrentamento aos problemas desta realidade urbana e com o desenvolvimento sustentado. Parte-se da hipótese de que quanto melhor for o entendimento das diversificadas demandas de usos presentes no território e a sua distribuição no espaço, melhores serão as condições da logística e dos transportes para auxiliar na produção e na melhoria dos serviços ofertados. Para tanto, é feita uma aproximação teórica da logística com as ciências sociais e pesquisa-se em anais de congressos e repositórios de teses outros trabalhos que façam o memo. O método é o dedutivo, ou seja, a partir dos conhecimentos sobre logística e da forma como ela se apropria e é aproximada pelas ciências humanas, propor, como resultado, uma agenda que aproxime os operadores e os pesquisadores em logística de outros atores e temas da vida urbana. São poucos os trabalhos encontrados, contudo estes tratam de questões determinantes para a

sustentabilidade. O que reforça a importância deste trabalho e da aproximação da logística com os diferentes atores que labutam em conformidade com a sustentabilidade.

2. O PROBLEMA

A III Conferência das Nações Unidas sobre Moradia e Desenvolvimento Urbano Sustentável (HABITAT III) – realizada em outubro de 2016, na cidade de Quito, no Equador – aproximou e articulou sua proposição de uma "Nova Agenda Urbana" com a "Agenda 2030" para o Desenvolvimento Sustentável da ONU. E esta aproximação é importante em primeiro lugar porque, os dados de 2014, da própria ONU, informam que, naquele ano, 53,6% da população mundial vivia em áreas urbanas. Na conferência de Quito, passados apenas 2 anos, o percentual já era de 54,5. Em 1950 a população urbana mundial era de 30%, em 2050 a estimativa é de 66%. No Brasil, em 2014, 85,4% da população vivia em áreas urbanas.

Considerando o adensamento populacional urbano todos os 17 objetivos do desenvolvimento sustentável que compõe a Agenda 2030 se materializarão nas cidades, ou, e o mais importante, para se materializar, de forma a efetivar a "nova agenda urbana", terão que incorporar demandas dos diferentes atores que compõe os lugares; sejam as pessoas que vivem nas cidades, sejam as instituições que se desenvolvem nos mesmos territórios. Isto tudo porque, como diz a própria resolução de Quito, "população, atividades econômicas, interações sociais e culturais, bem como o impacto ambiental e humanitário, está cada vez mais concentrado nas cidades" (HABITAT III). Esta realidade traz para as cidades os desafios da sustentabilidade, e o faz na exata mendida em que é nestes lugares que se manifestam as contradições ou as dificuldades para se garantir a sustentabilidade na gestão da "infra-estrutura, dos serviços básicos, da segurança alimentar, da saúde, da educação, do emprego decente, a segurança e os recursos naturais, entre outros" (idem). Em síntese, a sustentabilidade do planeta passa pela gestão das cidades e a logística tem muito a contribuir com esta nova agenda pois é ela que garante parte importante do metabolismo urbana (as atividades econômicas) e é o principal conector e articulador no território entre diferentes sistemas de produção e de consumo, junto é claro, com o transporte de pessoas.

Tabela 1: Evolução da população urbana mundial.

HABITAT- I in 1976	HABITAT- II in 1996	HABITAT- III in 2016
The United Nations General Assembly convened the Habitat I Conference in Vancouver in 1976, as governments began to recognize the need for sustainable human settlements and the consequences of rapid urbanization, especially in the developing world. At that time, urbanization and its impacts were barely considered by the international community, but the world was starting to witness the greatest and fastest migration of people into cities and towns in history as well as rising urban population through natural growth resulting from advances in medicine. Main outcomes: // Recognition that shelter and urbanization are global issues to be addressed collectively // Creation of the United Nations Center for Human Settlements (UNCHS-Habitat)	The Vancouver commitments were reconfirmed twenty years later, at the Habitat II conference in Istanbul. World leaders adopted the Habitat Agenda as a global plan of action for adequate shelter for all, with the notion of sustainable human settlements driving development in an urbanizing world. Main outcomes: // Cities are the engines of global growth // Urbanization is an opportunity // Call for a stronger role of local authorities // Recognition of the power of participation	Forty years later... It is becoming more and more clear that achievements on sustainable development will depend on how we will manage and guide global urbanization: // Urbanization as an endogenous source of Development // New urban models are required to effectively address the challenge of Climate Change // Urbanization as a tool for Social Integration and Equity. In 2010, UN-Habitat reported that more than 827 million people were living in slum-like conditions.
World Urban Population 37.9%	World Urban Population 45.1%	World Urban Population 54.5%
3		UN HABITAT FOR A BETTER URBAN FUTURE

A evolução em termos de conceitos, métodos e práticas em logística urbana pode ser entendida e analisada desde o pioneiro trabalho de Chinitz (1960) e os livros de Button e Pearman (1981) – com o foco nas políticas públicas – e o de Ogden (1992) com um amplo panorama técnico e das questões operacionais, táticas e estratégicas; neste mesmo sentido temos o trabalho de Taniguichi *et al* (2001). O livro de ordem (1992) é um clássico, abrangente e imprescindível, para quem deseja conhecer o assunto.

A questão da logística e seu desenvolvimento no tempo pode ser entendida e analisada pela leitura de trabalhos como os de Fischer e Meyburg (1990), que abordam e descrevem o estado da arte nos anos 70. No mesmo sentido, e em relação aos anos 80, temos o trabalho da ASCE (1989). Os anos 90 são sistematizados e discutidos nos trabalhos de Visser *et al* (1999) e de Czerniak *et al* (2000). A partir dos anos 2000 encontramos primeiro, Russo e Comi (2010) e, mais recentemente, é possível encontrar vasta produção científica, tanto internacional como brasileira, com destaque para os trabalhos de Taniguichi *et al* (2001) – criador do termo City Logistics – e, no Brasil, Novaes (2003), Lima Jr. (2003) e Sinay *et al* (2004).

Não obstante toda esta evolução teórico-prática, no cotidiano concreto – e esta é a questão que desafia este trabalho – as operações logísticas urbanas continuam, ainda, muito condicionadas pela própria estrutura que o urbano apresenta, principalmente no que se refere à infraestrutura viária. Importante registrar que em muitos casos, para não dizer na grande maioria dos casos de ampliação da mancha urbana, as questões de trânsito e de transporte são pouco consideradas, em muitos casos não incorporadas ou são incorporadas só parcialmente, quando da definição das condições de uso do território a ser construído pelos investimentos públicos e privados. Entretanto podemos afirmar que a questão do trânsito está contida nas discussões do ordenamento e ampliação da mancha urbana – até por uma questão de acesso e precificação do pedaço de terra a ser incorporado e usado pelo urbano. O fato é que, ainda em relação ao trânsito, mesmo ele sendo incorporado aos projetos urbanos, fica a questão da subordinação às tecnologias veiculares utilizadas (e os locais de acesso, ou o acesso aos diferentes lugares, não apenas o fluxo arterial das mercadorias), mas também os limites definidos pelas superestruturas utilizadas pelos operadores logísticos, principalmente os armazéns e os centros de distribuição. No mesmo sentido de limites, temos a telemática e, ainda, as configurações de fluxos determinadas pelo tipo de carga transportada (Lima Jr., 2011). Tudo isso porque o que é requerido é viabilizar os fluxos, satisfazer as necessidades de circulação das mercadorias e dos clientes que compram os serviços necessários à realização das trocas. A "nova agenda urbana" requer da logística ajudar a pensar e fazer espaços logísticos locais sustentáveis.

A proposta do trabalho é analisar a logística com um papel ativo na construção da Agenda 2030 e sugerir algumas variáveis que devem animar suas contribuições. Se o paradigma é o da nova agenda urbana, o enfrentamento dos gargalos logísticos deve incorporar às preocupações com as inovações das estruturas logísticas e nos transportes, a atenção das demandas dos diferentes lugares da cidade. Ou seja, a preocupação deve ser a de construir plataformas logísticas que permitam escoar a produção dos diferentes lugares da cidade para o mercado global e acolher e fazer circular por todos os lugares da cidade as mercadorias produzidas na cidade e as que chegam do mercado global; ainda, e talvez o mais importante para a sustentabilidade, que estes fluxos de produção e circulação, por um lado, respeitem os limites ambientais dos lugares – trabalhando para acabar com o uso de recursos não renováveis e evitando e cuidando das externalidades negativas decorrentes dos usos do território – e, por outro lado, que as novas formas e fluxos de transportes façam chegar a cada um e a todos os lugares da cidade, ou, chegar

a cada instituição e pessoa todas as mercadorias que o território tenha acesso. Esta perspectiva possibilita compreender a logística como provedora de mobilidade e acessibilidade das mercadorias e matérias primas no ambiente urbano dentro de uma ótica de sustentabilidade. Ou seja, a logística e o transporte devem entender e organizar as demandas de investimentos que permitiriam construir um território acessível.

Essa intervenção requer tanto o entendimento das demandas de transportes das pessoas aos locais de trabalho e as das mercadorias aos centros de distribuição ou de consumo, como também incorporar o fato de as estruturas produtivas e as mercadorias passarem, nesta modernidade líquida (Bauman, 2001), por profundas e aceleradas transformações nas suas formas e nas suas possibilidades de uso. Ou seja, a produção é, cada vez mais, descentralizada e flexibilizada para novas plantas e produtos, o que retroalimenta a ampliação e a diversificação do consumo e das formas de uso do urbano; por consequência, diversificam-se as demandas de serviços de transportes (Lima, Jr., 2016). A incorporação e articulação das novas tecnologias, por exemplo, dos "Drones" com a "internet das coisas" nos serviços de transportes tem muito a revolucionar este serviço e facilitar o acesso dos cidadãos a diversas mercadorias sem necessitar sair de casa. Este acesso permitirá às pessoas que vivem do seu trabalho (Antunes, 1995) ampliar e diversificar suas atividades laborais sem necessitar se transportar e, no mesmo sentido, permitirá às pessoas ampliar e diversificar seu consumo pessoal. O fato é que a "nova agenda urbana" requer uma logística local que trabalhe para a sustentabilidade, conectando cada lugar da cidade aos seus produtos e processos de produção, circulação e distribuição.

3. PRIMEIRAS APROXIMAÇÕES TEÓRICAS

Como já dito, a construção de uma agenda para a logística que labute pela sustentabilidade da cidade demanda a incorporação – ainda que inicial e, portanto, sem a exclusão de nenhum debate – de alguns conceitos, uma aproximação com as ciências humanas e com os diferentes usuários do espaço urbano. O objetivo aqui é fazer algumas dessas primeiras aproximações.

Uma primeira aproximação pode ser pensada a partir da noção de sociabilidade e a sua relação com os transportes urbanos. Steigleder (2016) demonstra serem diversas as possibilidades de sociabilidade pelo uso das estruturas de transportes: desde a possibilidade de autoconhecimento ao encontrar pessoas diferentes; o reencontro com pessoas conhecidas, que moram em outros pontos da cidade ou mesmo que são vizinhas e que se encontram nestes lugares; ainda o desenvolvimento de empatias por pessoas e, consequentemente, novas relações com pessoas que usam as mesmas estruturas de transportes. A dimensão social está relacionada ao desenvolvimento da sociabilidade na concepção de Simmel (2006). No transporte ocorre uma proximidade física maior, mas ao mesmo tempo, como forma de se preservar, o indivíduo desenvolve um distanciamento psíquico, manifestado na atitude de reserva que, numa perspectiva moderna, faz parte das relações que se estabelecem no espaço público. Esse movimento de aproximação, distanciamento e reserva é chave para o desenvolvimento dessa "habilidade do social", a sociabilidade. Mais ainda, sociabilidade com o meio ambiente e com o ambiente urbano desde o uso das estruturas e a observação e apropriação do espaço e da paisagem do traslado. Cabe agora discutir sob o mesmo enfoque, a logística e as possibilidades de sociabilidade. Um dos exemplos disso é o papel das feiras e das trocas de mercadorias na construção das cidades desde a idade média até hoje em sua nova versão, o shopping center.

Não obstante o objetivo *11.2* da Agenda 2030 destacar a necessidade de "proporcionar o acesso a sistemas de transporte seguros, acessíveis, sustentáveis e a preço acessível para todos", são

poucos os trabalhos na literatura que analisam o tema dentro de um enfoque humanista, além da eficiência ou da eficácia no deslocamento entre dois pontos do espaço e o seu impacto ao meio ambiente, entre estes poucos trabalhos destaca-se Vasconcellos (1996). Em *Transporte urbano, espaço e equidade: análise das políticas públicas*, Vasconcellos (1996) sugere pensar uma sociologia dos transportes urbanos, que não se limite às questões quantitativas técnicas e sociais, no sentido de contabilizar os impactos sociais das políticas de trânsito e transportes, abordando o debate dos transportes a partir de elementos de natureza sociológica e política. Isto porque, segundo o autor, o enfoque sociológico permitiria complementar as análises dos padrões de viagens incorporando as dimensões sociais, políticas, econômicos e institucionais e que condicionariam as decisões de viagens das pessoas e das instituições envolvidas. Ou seja, um enfoque sociológico permitiria entender o porquê e o como, ou em quais condições as pessoas decidiriam se transportar e porquê de determinada forma. Nesta perspectiva, as análises devem incorporar as relações sociais e as estruturas de poder quando das decisões das políticas de trânsito e transportes, ou as análises das políticas de trânsito e transportes devem abarcar as formas como as pessoas e as instituições se apropriam das vias e dos meios de transporte, e, por consequência, do espaço urbano. Desde este enfoque, a questão a ser pesquisada seria o porquê e o como as viagens são feitas, e quais teriam sido as condicionalidades que subsidiaram as decisões sobre a oferta e os usos dos transportes (Vasconcelos, 1996, pag. 6).

Outra questão abordada por Vasconcellos (1996), refere-se a questão da acessibilidade. Ou seja, segundo o autor, haveriam várias visões de mobilidade e acessibilidade, sendo que, "na visão tradicional, a mobilidade é tida como habilidade de movimentar-se, em decorrência de condições físicas e econômicas" (Vasconcelos, 1996, pag. 30). Derivado desta percepção, as políticas de trânsito e transportes responderiam à demanda de "aumentar a mobilidade" aumentando os meios de transportes, sem se preocupar, não incorporando ou sem tratar de questões como o porquê e o como a política de transportes é apropriada pelos usuários. As limitações desta perspectiva teriam feito surgir novos entendimentos sobre o conceito de mobilidade, inclusive associando-o a noção de acessibilidade, ou, como sugere o autor, "mobilidade para satisfazer as necessidades", ou que permitam "à pessoa chegar aos destinos desejados". Avançando um pouco mais, entende-se também, que a análise deva incorporar os fluxos de cargas e não deva se limitar à quantidade transportada, em qual tempo e seu impacto social e ambiental, mas tratar a questão do transporte como direito.

Em outro trabalho, *Transporte e Meio Ambiente*, para acostar o debate dos transportes ao da sustentabilidade, Vasconcelos (2006) chama a atenção, entre outras coisas, para o fato de o transporte individual – além de não contribuir com a sociabilidade de que nos fala Steigleder (2016) – ser o que "ocupa mais espaço, consome energia e emite mais poluentes por passageiro transportado" (Steigleder, 2016, pag. 188). Contudo, o objeto é um mercado que, no caso brasileiro, tem muito ainda a crescer e interagir com a questão da sustentabilidade nos espaços urbanos. Uma das manifestações de uso do espaço pelas estruturas de transportes são as vias urbanas, que, segundo Vasconcellos (2006), nos países em desenvolvimento ocupam mais de 20% do espaço, São Paulo tem 21% [1], e em Paris (França) chega a 25% – sem contar as terras usadas para estacionamentos e para terminais de cargas e de ônibus. Ou seja, estamos falando de algo em torno de 20% a 30% das terras urbanas que tendem a ter o seu uso refuncionalizando dada tendência de crescimento da população urbana.

[1] Segundo Vasconcellos (2006, pag. 17) Nova Iorque 22%; Londres 23%; Tóquio 24%.

4. A LOGÍSTICA, A PRODUÇÃO E OS USOS DO ESPAÇO URBANO

A ampliação da população urbana e as transformações nos usos destes espaços, assim como o desenvolvimento dos sistemas de transportes, tem origem com a capacidade de produção de excedentes agrícolas que permitiriam o desenvolvimento da vida distante dos locais de produção destes produtos (Singer, 1973). A estruturação da sociedade industrial urbana transformou a relação campo cidade e as ofertas e as demandas de transportes, construindo o que Bauman (2001) chamou de "modernidade sólida", ou um momento no qual as estruturas sociais e produtivas, quando se movimentavam, o faziam de forma muito mais vagarosa e previsível. Não obstante, desde meados do Século XX – em função da aceleração dos processos de tecnologia da informação, do ganho de importância do capital financeiro e das liberalizações praticadas pelos Estados nacionais – esta "modernidade sólida" se liquefez e, desde então, de acordo com Bauman (2001) vivemos uma "modernidade líquida", onde a fluidez e a insegurança com as transformações constantes compõe o cotidiano vivido.

De acordo com Chesnais (1994), assim como Bauman, desde meados do Século XX teríamos passado por um processo de "mundialização do capital"; hegemonizado pelo capital financeiro. Este processo, também conhecido como globalização, deixou as economias nacionais e os espaços subnacionais mais vulneráveis às movimentações dos capitais. Na mesma perspectiva, de acordo com Castells (2002) estaríamos "vivendo um desses raros intervalos na história. Um intervalo cuja característica é a transformação de nossa 'cultura material' pelos mecanismos de um novo paradigma tecnológico que se organiza em torno da tecnologia da informação" (p.67). Ou seja, de acordo com Castells (2002) a acumulação capitalista prossegue e sua realização é cada vez mais gerada nos mercados financeiros globais estabelecidos pelas redes de informação no espaço intemporal de fluxos financeiros (pag. 567). Ainda segundo Castells as "redes constituem a nova morfologia social de nossas sociedades, e a difusão da lógica de redes modifica de forma substancial a operação e os resultados dos processos produtivos e de experiência, poder e cultura" (Pag. 565).

Para Milton Santos (1994) a globalização constitui o estágio supremo da internacionalização, seria a "amplificação em "sistema-mundo" de todos os lugares e de todos os indivíduos, embora em graus diversos" (Pag. 23). Trata-se de uma nova fase da história humana, onde a Terra torna-se um só e único "mundo" e assiste-se a uma refundição da "totalidade-terra". Como qualquer totalidade, a globalização só se exprime por meio de suas funcionalizações e, entre as funcionalidades temos a do espaço geográfico. E o espaço geográfico para Santos é algo dinâmico e unitário, lugar onde se reúnem materialidade e ação humana, ou um "conjunto indissociável de sistemas de objetos naturais ou fabricados e de sistemas de ações". Os objetos – contidos na logística urbana – "são fabricados pelo homem para serem a fábrica da ação", e seu valor deriva da sua eficácia, de sua contribuição para a produtividade das ações que se desenvolvem no espaço. E as ações, por sua vez, "aparecem como ações racionais, movidas por uma racionalidade e em conformidade aos fins ou aos meios e obedientes à razão do instrumento" (Pag.45).

Ainda segundo Santos (1994), a cada época, novos objetos e novas ações se juntam às outras já existentes e modificam o todo, tanto formal quanto substancialmente. Na atualidade a instantaneidade da informação globalizada aproxima os lugares, ela torna possível uma tomada de conhecimento imediata de acontecimentos simultâneos e cria entre lugares e acontecimentos uma relação unitária e que se desenvolve na escala do mundo, e é nela que está a base da mundialização de todos os indivíduos e de todos os lugares. Neste sentido, o meio geográfico

em via de constituição (ou de refuncionalização) tem uma substância científico-tecnológico-informacional; ele não é nem meio natural, nem meio puramente técnico, contudo a ciência, a tecnologia e a informação estão na base de todas as formas de utilização e funcionamento do espaço (Pag. 24).

Outro conceito determinante nas análises de Milton Santos é o de território, mais precisamente, território usado. Sinônimo de *espaço geográfico*, segundo Santos (2005) "o território são formas, mas o território usado são objetos e ações, sinônimo de espaço humano, espaço habitado" (Pag. 255). Ou seja, sinônimo, também, de *espaço banal* – "espaço de todas as pessoas, de todas as empresas e de todas as instituições, capaz de ser descrito como um sistema de objetos animado por um sistema de ações" (Pag. 283) –, o território é um "conjunto de sistemas naturais mais os acréscimos históricos materiais impostos pelo Homem. Ele seria formado pelo conjunto indissociável do substrato físico, natural ou artificial, e mais o seu uso, ou, em outras palavras, a base técnica e mais as práticas sociais, isto é, uma combinação de técnica e de política" (Santos, 1999. Pag. 5). Esse entendimento de território, de território usado, como sinônimo de espaço de todos e usados por todos, nos permite perceber, diferenciar e analisar, na perspectiva da sustentabilidade, a forma como os diferentes atores sócias, políticos e econômicos usam e se apropriam das oportunidades que a plataforma urbana oferece. O entendimento das diferentes demandas e ações incorporadas, ou que se desenvolvem dentro dos objetos urbanos ofertados, assim como a análise das demandas com maiores dificuldades de circulação no espaço urbano, permitem, por um lado, pensar como, na estrutura urbana existente, seja possível garantir a ampliação da diversificação, além das quantidades de mercadorias transportadas; do outro lado, pensar como as novas estruturas deveriam ser construídas, ou como refuncionalizar as estruturas existentes para, também, ampliar e diversificar os usos da plataforma e as ofertas de produtos e serviços.

A questão das redes ocupa um papel importante nas análises de Milton Santos, em *Técnica, Espaço e Tempo* (1994), já havia incorporado a questão das redes à suas análises e, segundo o autor, e desde então, "o que tantas vezes se denomina espaço de fluxos não passaria de subsistema do *espaço global*", isto porque "o espaço global seria formado de redes desiguais que, emaranhadas em diferentes escalas e níveis, se sobrepõem e são prolongadas por outras de características diferentes". De forma antagônica ao espaço banal – o espaço de todos os homens, de todas as firmas, de todas as organizações, de todas as ações –, no espaço global "só os atores hegemônicos se servem de todas as redes e utilizam todos os territórios" (Santos, 1994, pag. 26). Em *A natureza do Espaço*, publicado em 1996, Santos sugeri que seria "graças aos progressos técnicos e às formas de realização da vida econômica que, cada vez mais, as redes se tornariam globais" (Santos, 2004, pag. 269), e que, "a fluidez contemporânea seria baseada nas redes técnicas que são um dos suportes da competitividade e porque criam objetos e lugares destinados a fluidez" (Pag. 274).

As informações que circulam por estas redes, sobretudo as que estão a serviço das forças econômicas e políticas hegemônicas, são o grande regedor das ações que definem as novas realidades espaciais (Pag. 285). Neste sentido, aos nexos que definiam uma organização de base regional, como a energia, a proximidade ou a contiguidade, Santos (1994, 2004) defende que se acrescentem dois outros vetores derivados das demandas de modernização e regulação, que são as *horizontalidades* e as *verticalidades*. As *horizontalidades* são o alicerce de todos os cotidianos, isto é, do cotidiano de todos (indivíduos, coletividades, firmas, instituições), pontos que se agregam sem descontinuidade, como na definição tradicional de região. De outro lado,

temos as *verticalidades*, pontos no espaço que, separados uns dos outros, asseguram o funcionamento global da sociedade e da economia. As verticalidades agrupam áreas ou pontos, não raro, distantes. São os vetores da integração hierárquica regulada, doravante necessária em todos os lugares da produção globalizada e controlada à distância, criando um cotidiano obediente e disciplinado. Já as *horizontalidades* são tanto o lugar da finalidade imposta de fora, de longe e de cima, quanto o da contrafinalidade, localmente gerada. Elas são o teatro de um cotidiano conforme, mas não obrigatoriamente conformista e, simultaneamente, o lugar da cegueira e da descoberta, da complacência e da revolta.

Paralelamente às racionalidades das verticalidades e das horizontalidades, ainda de acordo com Santos (2004) forças centrípetas e forças centrífugas atravessariam o território, como tendências ao mesmo tempo contrastantes e confluentes. As forças centrípetas resultariam dos processos econômico e social e podem tanto estar subordinados às racionalidades dos processos de produção, quanto às surpresas da intersubjetividade. Essas forças centrípetas, forças de agregação, é fator de convergência e, na cidade, fator de aglomeração, conduzindo a um processo de horizontalização. Já as forças centrífugas podem ser consideradas como fator de desagregação ao induzirem a processos de verticalização e retirar da região, ou das cidades elementos que deveriam estar sob o seu comando. Em meio a esta dialética, e de acordo com Braga (2012), o desenvolvimento da vida urbana exigiria a criação de objetos urbanos de uso coletivos ou à disposição dos processos de produção e de circulação, contudo a disposição geográfica destes objetos determina as suas condições de uso e de uso de todo o território pelos diferentes atores urbanos. O desafio da democratização no uso do território, segundo Braga, é criar "espaços do fazer participativo intersetorializado e territorialmente referenciado" (2012, 191). Neste sentido, para contribuir com a sustentabilidade, a logística deve incentivar a circulação de forças centrípetas e a democratizando no uso e na gestão da sua plataforma.

4.1. A logística e o urbano no Brasil: em busca de uma agenda teórico-prática

A construção de uma agenda teórico-prática para a logística e que labute pela nova agenda urbana demanda, em primeiro lugar, uma aproximação com os trabalhos já realizados e que tratem da questão. Como demostra a Tabela 2, são poucos os trabalhos acadêmicos que se utilizam do instrumental teórico-prático produzido pelas racionalidades da logística, contudo, esta primeira problematização já permite identificar elementos estruturantes de uma agenda. Na Resolução de Quito o conceito aparece uma única vez, na linha "d", do parágrafo 114 do capítulo que trata da implantação, planejamento e gestão do desenvolvimento urbano sustentado. Não obstante, o compromisso do parágrafo 114, que incorpora a logística como instrumento – portanto, o primeiro ponto da agenda logística – é o da "promoção do acesso de todos a mobilidade urbana", mobilidade que deve permitir, também a todos, uma "significativa participação nas atividades sociais e econômicas" que se desenvolvem nos espaços urbanos; planejando e promovendo planos de mobilidade que se integrem a planos urbanísticos e territoriais e que devem objetivar maximizar a contribuição dos transportes e da logística "para o crescimento econômico, inclusivo e sustentável" (UN – HABITAT III, 2016).

Três dimensões da Tabela 2 requerem destaque. A primeira é a subdivisão entre as publicações. As seis primeiras são de organizações que trabalham com as dimensões do transporte urbano e da logística. Pesquisou-se aqui os trabalhos teórico-práticos que trataram a questão da logística e dos transportes de forma articulada a alguma das dimensões das ciências humanas. O segundo subconjunto buscou a produção de dissertações e teses que tratam da questão do objeto deste trabalho. O olhar para os Congressos da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em

Planejamento Urbano e Regional (ANPUR) e para os Encontros Nacionais de Geógrafos (ENG) objetivaram perceber como estes espaços estão usando o conceito de logística. Constata-se que todos usam pouco as racionalidades logísticas, assim como os conhecimentos em logística incorporam muito pouco das críticas das ciências sociais ao desenvolvimento urbano.

Tabela 2: Trabalhos que aproximam a logística e o transporte urbano das ciências humanas.

Publicações	**Anos 2000**																		**Total**
	00	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17***	**63**
ANPET (Congressos)								1							3	1	2		**7**
ANTP (Congressos)																1			**1**
ENEGEP (Congressos)	Acesso até 2005								1		3		3	1			2		**10**
Revista Produção Online																			
Revista Transporte Público																			
Rev. Transportes (ANPET)		1					1				2						1		**5**
UFRJ (Repositório Teses)						1	1		1	1								1	**5**
UFSC (Repositório Teses)																	1		**1**
Unicamp (Repositório Teses)	1								1						1	2	1		**6**
UFRGS (Repositório Teses)							1												**1**
USP (Repositório Teses)						1					1								**2**
UFU (Repositório Teses)													1	1				1	**3**
Anais ANPUR				1				1		1				1		1		3	**8**
ENG (Geógrafos)	Acessado até 2008								3		3		4				4		**14**

* Até junho/2017.

A terceira dimensão refere-se ao conteúdo dos trabalhos. E aqui, como o espaço é limitado e o objetivo é propor a construção de uma agenda teórico-prática, apenas alguns dos elementos da agenda já provocada por outros autores. Um primeiro subconjunto de trabalhos trata da logística humanitária, ou seja, os trabalhos demonstram a importância do conhecimento logístico para o atendimento eficiente dos envolvidos no acidente e a garantia da vida.

O segundo subconjunto de trabalhos trata da contribuição da logística e do transporte para o entendimento da dimensão econômica e suas repercussões no uso do espaço urbano, ou seja, a logística é pensada como instrumento que permite entender e intervir no espaço urbano transformando as suas condições de produção e de circulação. A crítica, em geral, refere-se ao fato a "evolução ser governada de fora, sem a participação do povo envolvido" e, por consequência, os objetos instalados "servem ao modo de produção dominante em vez de servir à formação socioeconômica local e às suas necessidades especificas" (Santos, 2003, p. 202). Neste sentido os trabalhos buscam perceber como o desenvolvimento da plataforma logística e das estruturas e transporte, ao serem racionalizadas pelas informações das redes verticais, que têm, exclusivamente no fluxo das mercadorias e dos capitais as determinações de investimentos, geram estruturas de armazenamentos e de transportes que não dialogam com o entorno, fazendo do espaço um lugar de passagem e ampliando a segregação socioespacial.

O terceiro subconjunto de trabalhos se utiliza das racionalidades da logística para desenvolver o que Santos (2004) chamou de forças centrípetas, ou forças de agregação e fatores de convergência que conduzem a processo ou a sistema de informação e gestão horizontalizados. Ou seja, busca-se formas de pensar e fazer a gestão dos sistemas de objetos e de ações que

gerem oportunidades para as organizações da sociedade civil não articuladas aos fluxos globais – verticais –, seja no sentido de escoar a produção local, seja no sentido de fazer chegar a todos os lugares as mercadorias produzidas na cidade ou que chegam do mercado global. E aqui temos, por exemplo, questões como o "empreendedorismo social", a logística reversa, a relação entre mobilidade urbana e organizações e movimentos sociais, além das noções de equidade e de participação na definição e organização de fluxos de pessoas e mercadorias como *Living Lab* – definido por Dias (2016) como uma abordagem de cocriação na qual, é condição a participação ativa de usuários e outros stakeholders em todo o processo de desenvolvimento, estruturação, validação e avaliação das inovações.

5. RESULTADOS

Dos elementos apresentados pode-se identificar algumas dimensões importantes e que devem orientar a formulação de uma agenda para a logística participar de forma ativa na construção da *nova agenda urbana*. Primeiro, reafirmar que o transporte é elemento determinante em qualquer agenda de desenvolvimento sustentável (Vasconcelos, 2006) e que o seu uso pode produzir múltiplos valores sociais (Steigleder, 2016). Entre eles, a relação de poder que se objetiva na determinação da oferta e nas condições de usos dos meios de transportes, e do uso de cerca de 30% das terras urbanas (Vasconcelos, 2006). Terras que incorporarão a ampliação da população urbana se refuncionalizando e se revalorizando. A quarta dimensão é o fato de a análise não poder se limitar à eficiência das estruturas e dos meios de transportes, mas pensar a acessibilidade, ou a garantia o direito das pessoas chegarem nos lugares desejados (Vasconcelos, 1996). Contudo, como já dito, a preocupação aqui é a de trabalhar uma agenda teórica e prática que permita propor intervenções na estrutura urbana que possibilitem atender todas demandas das diferentes pessoas e instituições dos diferentes lugares da cidade, seja no sentido de escoar seus respectivos produtos, seja no sentido de acolher e fazer circular por todos os lugares da cidade as mercadorias – tangíveis ou não – produzidas na cidade e as que chegam pelo mercado global. Ou seja, a acessibilidade aqui é entendida como forma de garantir o direito de as pessoas chegarem aos seus respectivos destinos e, também, fazer com que todas as mercadorias e serviços presentes no território cheguem a todas as pessoas em todos os lugares da cidade. Em terceiro lugar, permitir a todas as pessoas usar e contemplar tudo que o espaço urbano tenha a oferecer.

Dito isto, seguem alguns pontos estruturantes para a proposta da agenda de pesquisa em logística. Primeiro, conhecer as demandas que estão incorporadas, emparelhadas aos sistemas de circulação e quais estão à margem da estrutura existente. Ou seja, quais os poderes (Vasconcelos, 1996), ou racionalidades que orientaram a construção da estrutura ofertada, quais as ações que se desenvolvem dentro dos objetos da plataforma e quais as demandas não atendidas. A agenda logística deve pensar e fazer com que as demandas não incorporadas passem a compor as informações que racionalizam as ações dentro dos objetos da plataforma logística existente e as que determinarão a refuncionalização ou a construção de novos objetos. Assim a agenda poderá contribuir com o acesso do local ao mercado global, seja na oferta de todas as mercadorias locais, seja no acesso a todos as mercadorias – global ou não – que circulam na cidade.

Um último elemento a ser incorporado como parte da agenda que labute pela sustentabilidade, refere-se a ganhos de economia de escopo. Os ganhos de economia de escopo na indústria são observados quando a produção conjunta de duas ou mais mercadorias, em uma única planta industrial passa a ser maior e com menor custo do que a produção individualizada das mesmas

mercadorias em diferentes plantas produtivas. Isto porque os ganhos de economia de escopo derivam do compartilhamento de diferentes *inputs*, ou seja, os ganhos decorem da diminuição, ou eliminação de restrições de usos emparelhados a diferentes bens de capital. Neste sentido, parte importante dos ganhos de economia de escopo têm sido obtidos diminuindo quantidades produzidas de um determinado produto para, ao mesmo tempo, viabilizar a produção de outro, ou outros, de tal forma que todos tenham redução de custo individual; ou seja, se fossem produzidos separadamente, ou em plantas próprias, teriam seus custos individuais maiores. Em termos de território os ganhos de economia de escopo não devem objetivar, ou não devem decorrer da redução da produção de nenhum dos produtos ofertados pelo local para ajustar a oferta local à demanda global. O objetivo em termos de logística urbana deve ser o de viabilizar a produção e a circulação de todos os produtos ofertados, assim como fazer chegar a todos os lugares da cidade todos as mercadorias que chegam no território. Não se trata, portanto, de eliminar os ganhos de economia de escala, sim de analisar, a partir de um determinado *mix* de produtos e serviços, a forma e a intensidade no uso dos objetos da plataforma logística local, se existem ociosidades ou se a plataforma logística está sendo plenamente usada. Em existindo ociosidade, o seu entendimento permite perceber e trabalhar por meio de uma articulação horizontal o desemparelhamento dos sistemas de objetos e dos sistemas de ações que se desenvolvem no território, de tal forma que mais e diferentes atores da cena urbana possam usar e desenvolver ações articuladas ou complementares dentro dos objetos existentes. Estando saturada a estrutura, ou sem ociosidade, o entendimento compartilhado do conjunto das demandas presentes no território permite formular propostas de intervenções, ou de investimentos públicos e privados no desenvolvimento da plataforma logística local objetivando a construção de objeto e a viabilização de ações que construam para com o desenvolvimento sustentável local propugnado pela nova agenda urbana.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pequena produção teórico-prática da logística junto às ciências sociais, somada a importância do produzido, demonstram uma vasta e importante agenda de pesquisa e atuação prática a ser percorrido. Esta agenda, dada a complexidade e a necessidade de incorporar os diferentes atores presentes na cena urbana, pressupões espaços de construção coletiva e que pense a totalidade do lugar. Ela deve articular os sistemas de objetos e sistemas de ações produzindo informações que repercutam os interesses do lugar, para que estes prevaleçam em relação interesses globais e, nesta forma possa garantir a sua sustentabilidade. São várias as experiencias de construção de estruturas logísticas de uso compartilhado, mas são pequenas as instancias de formulação de políticas públicas intersetorializada e territorialmente referenciadas (Braga, 2012). Entre as poucas experiências brasileiras de formulação e experimentação coletiva de ações em logísticas temos a proposição metodológica do *Living Lab* (Dias, 2016), que tem sido validada em aplicações realizadas pelo CLUB – Centro de Logística Urbana Brasil.[2]

Em termos teóricos a proposta é de desenvolver pesquisas em duas dimensões: em termos epistemológicos aprofundar a utilização do referencial teórico-crítico das ciências sociais para o entendimento e solução problemas de logística urbano. A segunda dimensão é a busca de uma nova construção conceitual para a logística urbana que possibilite o entendimento da cidade na sua totalidade e que labute pela sustentabilidade além das questões de ordem técnica.

[2] < http://www.clubbrasil.org/ >. Visitado em 7/7/2017.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Antunes, R. (1995) *Adeus ao trabalho? Ensaio sobre as metamorfoses e a centralidade do mundo do trabalho.* Cortez, São Paulo.

ASCE – AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERRING (1989) Issues and problems of moving goods in urban areas. Committee on Urban Goods Movement. Journal of transportation engineering. V. 115, n. 1.

Bauman, N, Z. (2001) Modernidade líquida. Editora Zahar, Rio de Janeiro.

Braga, J. R. (2012) Campinas e os desafios da participação intersetorializada e territorializada. *Dissertação*, Unicamp, Campinas.

Button, K. J. e A. D. Pearman (1981) *The economics of urban freight transport.* Holmes & Meier Pub. New York.

Castells, M. (2002) *A Sociedade Em Rede - a Era Da Informação: Economia, Sociedade E Cultura*. Volume 1. Paz & Terra, São Paulo.

Chesnais, F. (1994) *A mundialização do capital*. Xamã, São Paulo.

Chinitz, B (1960) *Freight and the metropolis*. Harvard University Press. Cambridge, Mass.

Czerniak, R. J.; J. S. Lahsene e A. Chatterjee (2000) Urbana Freight Movement – What form will It take. TRB A1B07 Committee on urban Goods Movement.

Dias, M. de L. F. (2016) Análise do uso da abordagem de *Living Lab* para inovações em logística urbana no Brasil. *Dissertação*, Unicamp. Campinas.

Fischer, G. P. e A. H. Meyburg (1983) Urban Goodes Movement in the 1980's. *Transportation Research Record*, Issue 920, pp 49-53. Washington.

Lima Jr., O. F. (2003) A Carga na Cidade: Hoje e Amanhã. *Revista dos Transportes Públicos*, v. 25, n. 3, p. 219-230. São Paulo.

_____ (2011) Inovação frugal. A nova rota da Logística urbana – repensando estratégias e operações. *Revista Mundo Logística*, v. 23, p 24-40.

_____ (2004) Desempenho em serviços de transportes: conceitos, métodos e práticas. *Tese de Livre-docência*, Unicamp, Campinas/SP.

_____ (2016) Ensaio sobre os nós das redes logísticas. *Journal of Transport Literature*, 10(4), 35-39, Oct.

Novaes, A. G. (2003) Veículos leves para deslocamento de mercadorias no meio urbano: Evolução e Tendências. Palestra ministrada no workshop *Tendências da Distribuição nas rotas urbanas*. Fiat/MG.

Ogden, K. W. (1992) Urban Goods Movements: A Guide do Policy and Planning. *Ashgate Publishing*, England.

Russo, F. e A. Comi (2010) A modelling to simulate goods movements at an urban scale 2010. *Transportation* 37(6): 987 – 1009.

Santos, M. (1994) *Técnica, Espaço, Tempo – Globalização e Meio Técnico-Científico Informacional*. São Paulo Ed. HUCITEC.

_____ (1999) Guerra dos Lugares. Jornal Folha de São Paulo. *CADERNO MAIS!* Domingo, 08/8/1999. <http://www1.folha.uol.com.br/fsp/mais/fs08089904.htm>. Visitado em 29.06.2017.

_____ (2003) *Economia Espacial: críticas e alternativas*. Tradução: Maria Irene Q F Szmrecsányi. – 2ª ed. – São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.

_____ (2004) *A natureza do Espaço: Técnica, Razão e Emoção*. 4ª. Edição 1ª Reimpressão. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.

Simmel, Georg (2006) *Questões fundamentais da sociologia – indivíduo e sociedade*. Rio de Janeiro: Zahar.

Sinay, M. C. F.; A. G. Novaes; V. B. G. Campos e L. Dexheumer (2004) Distribuição de cargas urbana: Componente, Restrições e Tendências. *Rio de Transporte II*, v. 1. Rio de Janeiro.

Singer, P. (1973) *Economia Política da Urbanização*. Editora Brasiliense. São Paulo.

Steigleder, C. N. (2016) *A sociabilidade na cidade moderna: Os bondes e a Porto Alegre de 1890 a 1945*. *TESE (DOUTORADO)* – UFRGS, Porto Alegre, BR-RS.

Taniguchi, E.; TOMPSON, R. G.; YAMADA, T. e R. VAN DUIN (2001) *City Logistics – Network Modelling and Intelligent Transport Systems*. Pergamon, Amsterdam.

UN – Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2014). *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights* (ST/ESA/SER.A/352).

UN – HABITAT III (2016) *Nova Agenda Urbana.* Resolução Quito. <http://habitat3.org/the-new-urban-agenda>.

Vasconcelos, E. A. de (1996) *Transporte urbano, espaço e equidade: análise das políticas públicas.* São Paulo: Editora Unidas.

_____ (2006) *Transporte e meio ambiente: conceitos e informações para análise de impactos*. São Paulo: Edição do Autor.

Visser, J.; A. Binsbergen; T. Nemoto (1999) Urban Freight Transport: Policy and Planning, *First International Symposium on City Logistics*, Australia.

BIN PACKING PROBLEM WITH CONFLICTS OF CATEGORIES – HEURÍSTICA COM BUSCA TABU PARA DISTRIBUIÇÃO DE MERCADORIAS EM NANOSTORES

Leandro Maciel Turi
Claudio Barbieri da Cunha
Universidade de São Paulo
Escola Politécnica – Departamento de Engenharia de Transportes

RESUMO
O objetivo do presente estudo consiste em propor uma heurística para buscar boas soluções para o problema de *bin packing* com conflitos com tempos de processamento acessíveis à tomada de decisão. Para tal análise foram utilizadas instâncias da literatura de problemas de carregamento de veículos com cargas com conflitos entre os itens. A heurística proposta consiste em obter uma solução viável inicial através de heurísticas como *first fit decreasing*, *best fit* e Pareto de categorias dos itens e a seguir melhorar a solução obtida através de uma busca tabu. A análise consistiu em comparar os tempos de processamento e as soluções obtidas aos resultados gerados por programa de otimização e *lower bounds*. Os resultados indicam reduções expressivas nos tempos de processamento com soluções de baixa diferença em relação às soluções ótimas obtidas por métodos de otimização.

ABSTRACT
The objective of the present study is to propose a heuristic to find good solutions to the problem of bin packing with conflicts with processing times accessible to decision making. For this analysis were used instances of the literature of problems of loading vehicles with loads with conflicts between the items. The proposed heuristic consists of obtaining an initial feasible solution through heuristics such as first fit decreasing, best fit and Pareto of item categories and then improving the solution obtained through a tabu search. The analysis consisted in comparing the processing times and the solutions obtained to the results generated by the optimization program and the lower bounds. The results indicate significant reductions in processing times with low difference solutions compared to optimum.

1. INTRODUÇÃO

O problema de *Bin Packing* com Conflitos em uma dimensão, conhecido na literatura pela taxonomia 1D-BPPC – *One-dimentional Bin Packing Problems with Conflicts*, é uma generalização do problema de *bin packing*, sendo, portanto, assim como este um problema *NP-hard* (Martello e Toth, 1990). Também é uma generalização do problema de coloração de mapas, BVCP – *Bounded Vertex Coloring Problem* onde se faz necessário determinar o menor número possível de cores para pintar um mapa sem que países vizinhos possuam as mesmas cores.

Dado um conjunto de itens com tamanhos variados, um grafo de conflitos entre os itens e um conjunto de *bins* de mesma capacidade, o problema consiste em determinar o menor número possível de *bins* capaz de alocar os itens, sem exceder as capacidades dos *bins* e respeitar os conflitos existentes entre os itens.

Exemplos deste tipo de problemas ocorrem no transporte de produtos perigosos (Capua *et al.*, 2015), onde diferentes itens não podem ser transportados no mesmo veículo, na alocação de tarefas com diferentes durações a máquinas, na alocação de processos a processadores em que alguns processos não podem ser executados nos mesmos processadores por motivos de eficiência (Gendreau *et al.*, 2004) e no processamento de chamadas telefônicas de celulares a canais de frequência (Martínez *et al.*, 2013). Este estudo tem aplicação em problemas de entrega de produtos em *Nano-Stores* (lojas de varejo com cerca de 15m² e da ordem de 100 *SKU's – stock keeping units*, segundo Blanco e Fransoo, (2016), em que as entregas possuem

pesos muito menores que as capacidades dos veículos.

Uma heurística baseada na ordenação de categorias de itens por compatibilidade é proposta e os resultados mostram que ela gera soluções melhores que heurísticas tradicionais de alocação de itens com conflitos.

O artigo está dividido da seguinte maneira: Na seção 2 é feita uma breve revisão da literatura e da fundamentação matemática do problema de *bin packing* com conflitos. Na seção 3 são apresentados os procedimentos de solução e as instâncias utilizadas para teste. Na seção 4 são descritos os experimentos computacionais que foram realizados. Na seção 5 os resultados dos experimentos são analisados e na seção 6 estão as considerações finais e indicações de trabalhos futuros.

2. REVISÃO DA LITERATURA E FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

Nesta seção é apresentada uma breve revisão da literatura e é descrita a formulação matemática para o problema de *bin packing* com conflitos.

2.1. Revisão da literatura

Na literatura especializada podem ser encontradas diversas abordagens para o problema de *bin packing* em suas diversas configurações, em uma ou mais dimensões, com e sem conflitos, com *bins* de tamanhos fixos e variáveis (Hemmelmayr *et al.*, 2012), etc.

Martello e Toth (1990) propuseram um critério de dominância para reduzir o espaço de busca em um procedimento *branch-and-bound* (MTP) que visa a troca entre *bins* de itens maiores com um conjunto de itens menores e mais fáceis de alocar. Dois *lower bounds* também são propostos.

Falkenauer (1996) utiliza um algoritmo genético de agrupamentos (*grouping genetic algorithm* – GGA) onde o algoritmo genético é fortemente modificado para incorporar estruturas de problemas de agrupamento.

A heurística *Minimal Bin Slack*, proposta por Gupta e Ho (1999), é focada na ocupação dos *bins*. A cada iteração da heurística uma tentativa é feita para preencher a capacidade do *bin* o máximo possível. A cada estágio do algoritmo, uma lista Z' com os n' itens ainda não alocados a *bins* é mantida em ordem decrescente dos pesos dos itens. Cada vez que um conjunto de itens é formado e alocado a um bin, estes são retirados da lista Z', mantendo a ordem decrescente dos pesos dos itens e o processo de alocação recomeça com um novo item. O algoritmo termina quando a lista Z' se torna vazia (Fleszar e Hindi 2002).

Um algoritmo de alta qualidade – *Perturbation-MBS* foi proposto por Fleszar e Hindi (2002) para melhorar a solução a cada iteração através da perturbação da solução corrente (Fleszar e Hindi, 2002), melhorando os resultados de Gupta e Ho (1999).

A metaheurística *Weight Annealing* foi aplicada ao problema por Loh *et al.* (2008) para melhorar as soluções através de mudanças sucessivas de pesos dados a *fitness function* (Loh *et al.*, 2008).

Stawowy (2008) propõe uma heurística evolucionária utilizando o melhor filho como pai da

geração seguinte até atingir um critério de parada. Em seu algoritmo os filhos não podem ter mais *bins* que os pais, o que reduz o espaço de solução.

O problema também foi estudado por alguns autores como Jansen (1999) que mostraram que nenhuma aproximação polinomial pode ser aplicada para um caso geral de grafos de conflitos (Jansen, 1999).

Gendreau *et al.* (2004) propuseram novos *lower bounds e upper bounds* e algumas instâncias para *benchmark.*

Trabalhos mais recentes como os de Muritiba *et al.* (2010) apresentaram soluções exatas por meio de algoritmo *branch-and-price*.

2.2. Formulação matemática

Dado um número N de itens com peso unitário w_j, j=1,2,3,…N, e um conjunto limitado de K *bins*, k=1,2,3,…K com capacidade W, e um grafo E com arcos (l,m) que representa as incompatibilidades entre os itens l e m, o problema de *bin packing* com conflitos em uma dimensão consiste em determinar o mínimo número K de *bins*, capaz de alocar todos os itens satisfazendo as restrições de compatibilidade dos itens e ocupação máxima da capacidade dos *bins* (Muritiba *et al.*, 2010). As variáveis de decisão são: (i) y_k que é igual a 1 se o bin k é utilizado e zero caso contrário; (ii) x_{jk} que assume o valor 1 se o objeto j é alocado no *bin* j e zero caso contrário. Assim o modelo matemático pode ser enunciado da seguinte maneira:

$$\min z = \sum_{i=1}^{K} y_k \tag{1}$$

sujeito a:

$$\sum_{k=1}^{K} x_{jk} = 1, \qquad \forall j \;\; j = 1,2,3,\dots n \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^{n} w_j x_{jk} \leq W y_k, \qquad \forall k \;\; k = 1,2,3,\dots K \tag{3}$$

$$x_{lk} + x_{mk} \leq y_k, \qquad \forall k \;\; k = 1,2,3,\dots K, \;\; \forall (l,m) \in E \tag{4}$$

$$y_k \in \{0,1\}, \qquad \forall k \;\; k = 1,2,3,\dots K \tag{5}$$

$$x_{jk} \in \{0,1\}, \qquad \forall k \;\; k = 1,2,3,\dots K, \qquad \forall j \;\; j = 1,2,3,\dots n \tag{6}$$

A função objetivo (1) é determinar o menor número de *bins Z*. As restrições (2) impõem que que todo o item *j* deve estar alocado a um *bin k,* enquanto as restrições (3) asseguram que as capacidades dos *bins* utilizados sejam respeitadas. Já as restrições (4) impõem as compatibilidades entre os itens, de modo que se os itens l e m possuírem um arco de ligação no grafo de incompatibilidades E, então l e m não podem estar no mesmo bin k. E ao mesmo tempo estabelece que se l e m não possuírem arco de ligação no grafo de incompatibilidades (l e m são compatíveis), então l e m só podem ser alocados ao *bin* k, se e somente se este for aberto. Por fim, as restrições (5) e (6) definem os domínios das variáveis de decisão.

3. MÉTODOS DE SOLUÇÃO E INSTÂNCIAS PARA TESTE

3.1. Heurísticas para gerar a solução inicial

Para gerar as soluções iniciais para o algoritmo foram testadas diversas heurísticas simples para problemas de *bin packing*:

- *Next Fit Decreasing Heuristic with Conflicts* (NFD). Alocar os itens em ordem decrescente de peso. Alocar o próximo item no bin corrente, se este possuir capacidade e respeitar a restrição de conflitos. Se as restrições não forem respeitadas, fecha o bin e abre um novo bin.
- *Worst Fit Decreasing Heuristic with Conflicts* (WFD). Alocar os itens aos *bins* em ordem decrescente de peso. Alocar o próximo item ao bin que ficar com a maior capacidade ociosa após a alocação do item. Se não for possível alocar o item, abrir um novo bin (Muritiba *et al.*, 2010).
- *First Fit Decreasing Heuristic with Conflicts* (FFD). Proposta por Gendreau *et al.*, (2004), a heurística consiste em ordenar os itens em ordem decrescente de peso. Colocar o próximo item no primeiro bin onde for possível alocar respeitando os conflitos. Se não for possível alocar o item aos *bins* existentes, abrir um novo bin.
- *Best Fit Decreasing Heuristic with Conflicts* (BFD). Ordenar os itens em ordem decrescente de peso. Colocar o próximo item no bin que ficar com a maior capacidade ocupada após a alocação do item. Se não for possível a alocação do item a nenhum bin, abrir um novo bin (Muritiba *et al.*, 2010).

3.2. Instâncias para teste

A fim de testar o algoritmo foram utilizadas instâncias da literatura, sendo elas de quatro tipos:

1. Augerat (SI) – Instâncias para problemas de roteirização de veículos com baixa quantidade de itens, disponíveis no site http://neo.lcc.uma.es/vrp/vrp-instances/capacitated-vrp-instances/.
2. Augerat (LI) – Instâncias para problemas de roteirização de veículos com maior quantidade de itens, disponíveis no site http://neo.lcc.uma.es/vrp/vrp-instances/capacitated-vrp-instances/.
3. Augmented Non IRUP (DI) – Instâncias para *cutting stock problems*, utilizadas por Delorme *et al.* (2016), disponíveis no site http://www.or.deis.unibo.it.
4. Augmented IRUP (NR) – Instâncias específicas para *cutting stock problems*, utilizadas por Delorme *et al.* (2016), disponíveis no site http://www.or.deis.unibo.it .

Para criar os conflitos entre os itens, as instâncias DI e NR foram modificadas com inclusão de categorias para itens com conflitos conforme a Tabela 1 e o grafo de compatibilidades representado na Figura 1.

As capacidades dos *bins* das instâncias foram geradas com quatro fatores multiplicativos das instâncias originais geradas por Delorme *et al.* (2016), sendo estes: 1,0; 1,2; 1,5 e 2,0 vezes a capacidade original das instâncias.

Foi gerado assim um maior número de instâncias para teste que atendem aos requisitos do problema real de transporte de produtos com conflitos para atender às demandas de *nano-stores*, onde os itens geralmente têm pesos muito menores que a capacidade dos *bins*.

Os conflitos entre os itens foram gerados de acordo com o seguinte critério:

- Os itens das instâncias foram divididos em categorias, sendo o primeiro item da instância, classificado na categoria 1, o segundo na categoria 2 e assim por diante.
- Na segunda instância o primeiro item é da categoria 2, o segundo da categoria 3 e assim por diante para todas as instâncias.

Tabela 1: Matriz de binários de compatibilidades entre as categorias dos itens

CATEGORIAS	1	2	3	4	5	6
1	1	0	1	0	0	0
2	0	1	0	1	1	1
3	1	0	1	1	0	0
4	0	1	1	1	1	1
5	0	1	0	1	1	0
6	0	1	0	1	0	1

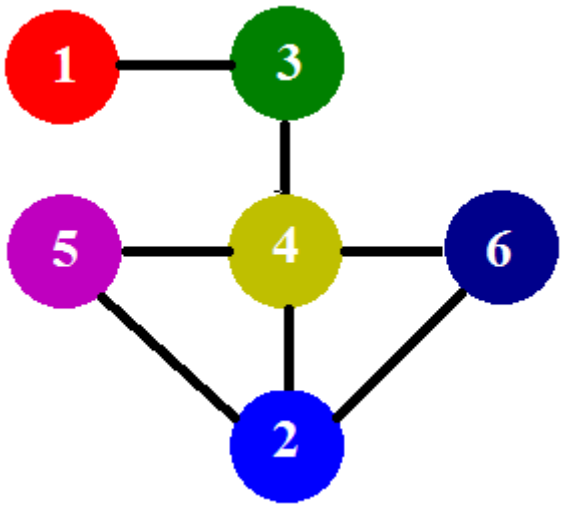


Figura 1 – Grafo de compatibilidade das categorias de itens

3.3. Heurística Pareto Category – First Fit Decreasing

Os experimentos computacionais realizados indicaram que a heurística FFD foi a melhor e mais rápida entre as heurísticas testadas descritas na seção 3.1. Por isso ela foi combinada à heurística *Pareto Category - PC* para gerar a solução inicial do problema. A heurística proposta *Pareto Category – First Fit Decreasing – PC+FFD* descrita no Quadro 1, busca alocar primeiro os itens das categorias mais restritas, com maior número de conflitos e os itens de maior peso em cada categoria e foi proposta da seguinte maneira:

- Aciona o procedimento de Pareto das categorias, classificando-as em ordem crescente de restrições, das mais restritas para as menos restritas (das categorias com menor número compatibilidades para as categorias com maior número de compatibilidades).
- Classifica e aloca os itens de cada categoria de acordo com seus pesos em ordem decrescente de peso – heurística *First Fit Decreasing - FFD*.
- A solução inicial recebe a melhor solução entre as soluções da heurística *First Fit Decreasing – FFD* e da heurística *Pareto Category + First Fit Decreasing –*

PC+FFD.

Passo 1
- *Executa procedimento de Pareto das categorias*

Passo 2
- *Ordena os itens de cada categoria em ordem decrescente de peso*

Passo 3
- *Aloca cada item ao primeiro bin com capacidade e sem conflitos*

Passo 4
- *Solução inicial recebe a melhor solução entre FFD e PC+FFD*

Passo 5
- *Retorne a solução gerada como solução inicial para a busca tabu*

Quadro 1 – Etapas da heurística Pareto Category + First Fit Decreasing – PC+FFD

Sendo as categorias mais restritas e os itens mais pesados os menos flexíveis, este algoritmo permite que estes sejam alocados primeiro e em seguida os mais flexíveis (itens de categorias menos restritas e mais leves) ocupem as capacidades remanescentes dos *bins* reduzindo o número de *bins* utilizados.

3.4. Procedimento de busca tabu

Qualquer *lower bound* para problemas de *bin packing* sem conflitos é um *lower bound* válido para problemas com conflitos (Muritiba *et al.*, 2010). Neste estudo foi utilizado o melhor entre os três *lower bounds* propostos por Muritiba *et al.* (2010). Indicamos o artigo para maiores detalhes sobre os *lower bounds.*

Para melhorar a solução obtida com a heurística PC+FFD, foi utilizado um procedimento de busca tabu descrito no Quadro 2. O algoritmo da busca começa pelo cálculo de um conjunto de *lower bounds* para problemas de *bin packing* sem conflitos (Muritiba *et al.*, 2010):

$$L_{BPP} = max(L_1, L_2, L_3) \quad (7)$$

Se o número de bins K da solução da heurística PC+FFD for igual ao *lower bound* L_{BPP}, a busca tabu não é executada, pois não será capaz de reduzir o número de bins da solução da heurística e esta é uma solução ótima para o problema. Caso o contrário, a melhor solução e a solução incumbente recebem a solução heurística PC+FFD, a lista tabu é dimensionada de acordo com o parâmetro de comprimento pré-determinado e a busca tabu é iniciada com um número de iterações também pré-determinado. Para cada solução vizinha S_i é calculada a *fitness function* $G(S_i)$ dada por:

$$G(S_i) = \frac{1}{L_{BPP}} \sum_{k=1}^{K_i} \left(\sum_{j=1}^{N_k} \frac{w_j}{W} \right)^p \quad (8)$$

Onde: K_i é o número de *bins* da solução S_i, N_k é o número de itens alocados no *bin* k, W é a capacidade do *bin* k , w_j é o peso do item j e L_{BPP} é o *lower bound* dado pela equação (7).

O parâmetro p, um número inteiro utilizado para redefinir a função objetivo, foi escolhido $p = 2$ da mesma forma que no estudo de Falkenauer (1996).

Passo 1.

Faça t = 1.
Selecione uma solução inicial viável S_1 gerada pela heurística PC+FFD.
Calcule o lower bound L_{BPP}.
K = número de bins da solução S_1.
Se $K = L_{BPP}$.
Então retorne S_1 e PARE.
Senão:
Faça $S_0 = S_1$.
Lista tabu = Ø e vá para o passo 2.

Passo 2.

Sorteie um bin α e um item γ do bin α.
Sorteie um bin β (com $\beta <> \alpha$), sorteie um item δ do bin β.
Crie soluções vizinhas S_C da solução S_i pelo movimento insert do item γ no bin β e do item δ no bin α.
Se os movimentos insert não produzirem nenhuma solução S_C com $\Delta G > 0$.
Crie soluções vizinhas S_C da solução S_i pelo movimento swap11 do item δ no bin α e do item γ no bin β.
Se os movimentos swap11 não produzirem nenhuma solução S_C com $\Delta G > 0$.
Sorteie um item γ1 do bin α e um item δ1 do bin β.
Crie soluções vizinhas S_C da solução S_i pelo movimento swap dos itens δ e δ1 no bin α com os itens γ e γ1 no bin β.
Se os movimentos swap22 não produzirem nenhuma solução S_C com $\Delta G > 0$.
Faça o insert do item γ no bin β (sem considerar a restrição de capacidade).
Retire os itens excedentes do bin βe os aloque novamente com BFD.
Selecione a solução candidata S_C e vá para o passo 3.

Passo 3.

Se o movimento $S_i \rightarrow S_C$ é proibido pelos movimentos da lista tabu,
Então incremente i por 1.
Se $S_i = N_V$ (número máximo de vizinhos atingido)
Então vá para o passo 2.
Se o movimento $S_i \rightarrow S_C$ não é proibido pelos movimentos da lista tabu,
Então faça $S_i = S_C$
Entre com a operação reversa da inserção no topo da lista tabu
Delete a entrada da parte de baixo da lista tabu.
Se os movimentos esvaziarem o bin k'.
Então $K = K - 1$
Se $K = L_{BPP}$
$S_0 = S_C$.
PARE
Se $G(S_c) < G(S_0)$.
Então $S_0 = S_C$ e vá para o Passo 4.

Passo 4.

Incrementa t por 1.
Se $t = N_T$ então PARE,
Caso o contrário, volte para o Passo 2.

Quadro 2 – Pseudocódigo da Busca Tabu

A cada iteração *t* da busca tabu são geradas soluções vizinhas *Si* para o problema de *bin packing* com conflitos, utilizando os movimentos de troca de itens entre *bins* e inserção de itens em outros bins (Fleszar e Hindi, 2002):

1. *insert* - Retirada de um item γ de um bin α e inclusão em um bin β ($\alpha <> \beta$), onde a capacidade do *bin* β não for excedida e os conflitos entre o item γ e os itens alocados no *bin* β forem respeitados.
2. *swap* - Troca de um item γ de um *bin* α com um item δ de um *bin* β ($\alpha <> \beta$), onde a capacidade dos *bins* α e β não forem excedidas e os conflitos entre o item γ e os itens alocados no *bin* β e do item δ com os itens alocados no *bin* α forem respeitados.

4. EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS

As heurísticas foram processadas por um programa codificado em C++ e os resultados ótimos para avaliação das heurísticas foram processados em GUROBI 6.5.2. As simulações foram processadas em um computador HP Pavilion dm4 com processador Intel ® Core™ I7 com 8 GB RAM e 750 GB HDD e levaram aproximadamente de 17 horas para serem processadas (somados tempo de processamento dos resultados ótimos com os tempos de processamento das heurísticas), testando o algoritmo com 262 instâncias da literatura.

Para auxiliar a análise dos resultados do algoritmo, foi utilizada a biblioteca Matplotlib do Python que gerou gráficos como o da Figura 2, que mostra a evolução dos valores da *fitness function* em cada iteração da busca tabu. Neste gráfico podemos observar em verde os valores da melhor solução obtida e em vermelho os valores das soluções vizinhas calculadas na busca.

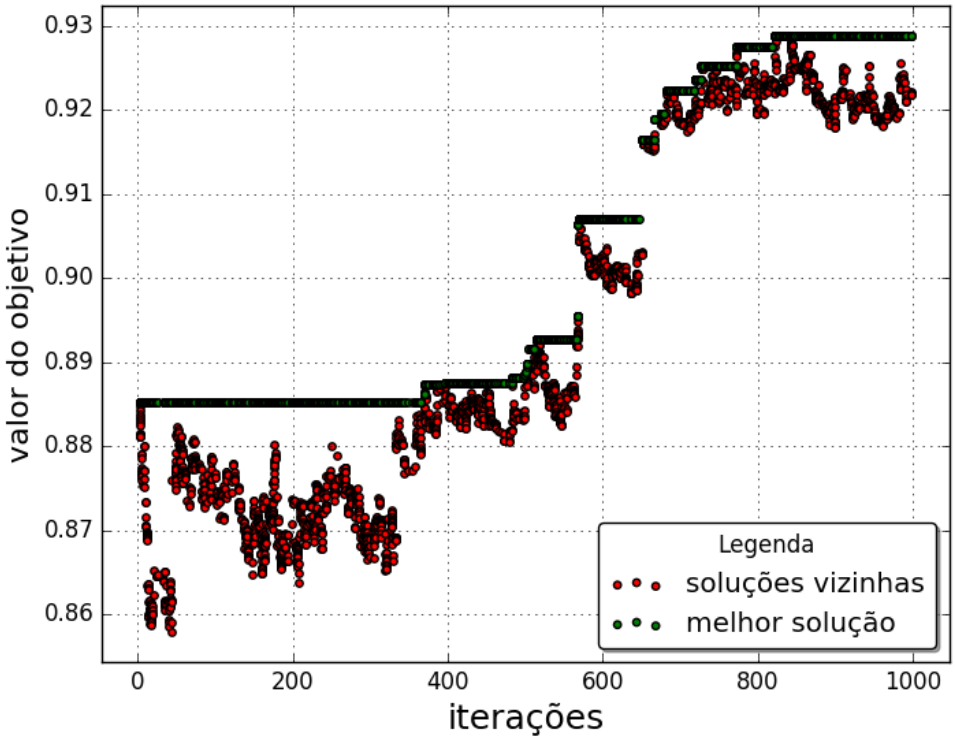


Figura 2 – Gráfico típico da evolução da busca tabu no decorrer das iterações

Para verificar as soluções geradas pelas diferentes heurísticas foram gerados gráficos como os da Figura 3, onde são comparados os resultados para as heurísticas *First Fit* - FF e PC+FFD

para uma das instâncias SI. Pela figura vemos que a solução da heurística PC+FFD é mais adequada a um problema de transportes, pois além de possuir um *bin* a menos que a solução da heurística FF, a heurística PC+FFD organiza os itens por categorias, assim no problema de transporte, os itens da mesma categoria seriam transportados no mesmo veículo, além de haver um melhor equilíbrio entre as ocupações dos *bins*, o que não ocorre com a heurística FF. As diferentes cores dos itens na Figura 3 representam as cores das categorias do grafo da Figura 1, podendo desta maneira verificar que a solução atende às restrições de compatibilidade.

Pela Figura 3 podemos observar que a heurística PC+FFD aloca primeiro os itens de maior peso da categoria 1 (em vermelho), em seguida os itens de menor peso desta categoria, pois ela é a mais restritiva, sendo compatível somente com a categoria 3 (em verde), em seguida as demais categorias são alocadas em ordem de restrições, até que o algoritmo aloca os itens da categoria 4 (em amarelo), a menos restritiva, também em ordem decrescente de peso dos itens.

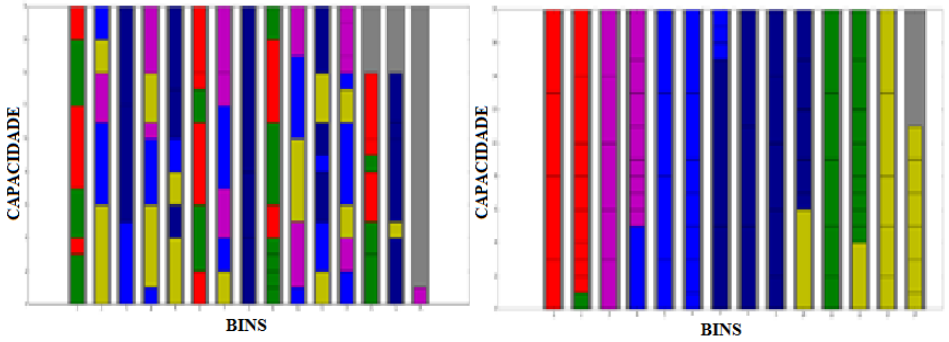


Figura 3 – Resultados das heurísticas FF e PC+FFD para uma das instâncias

Os testes computacionais realizados indicaram que os melhores resultados para a busca tabu ocorriam com um comprimento da lista tabu de 50 registros e um número máximo de 1000 iterações, obrigando o algoritmo a explorar maior número de soluções vizinhas (para sair de mínimos locais) e um grande número de regiões do espaço de soluções.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os experimentos computacionais realizados indicaram que a heurística PC+FFD apresenta maior eficiência na obtenção das soluções iniciais do algoritmo quando comparada as heurísticas tradicionais FF, FFD, BFD e WFD. Por isso as soluções iniciais foram geradas com a heurística PC+FFD e caso o *lower bound* (7) não seja alcançado (indicando que a solução ótima pode não ter sido atingida), um procedimento de busca tabu é acionado para melhorar a solução inicial gerada, sendo este chamado de *Pareto Category + First Fit Decreasing + Tabu Search* – PC+FFD+TS.

Os resultados finais do algoritmo estão apresentados na Tabela 2, onde para cada um dos quatro tipos de instâncias (DI, NR, LI e SI) são listados a quantidade de instâncias processadas, os tempos médios de processamento das soluções ótimas no Gurobi, e para cada uma das heurísticas testadas (FFD, PC+FFD e PC+FFD+TS) o número de soluções ótimas encontradas, eficácia (percentual de instâncias com ótimos encontrados), tempo médio de processamento e variação em relação ao tempo de processamento dos ótimos no Gurobi. Foram processadas ao todo 2040 instâncias da literatura, das quais se obteve o ótimo do

Gurobi em 262 casos com tempo de processamento inferior a uma hora, sendo estes comparados aos obtidos pelas heurísticas.

Tabela 2: Resultados das heurísticas FFD, PC+FFD e PC+FFD+TS

Heurísticas			FFD				PC+FFD				PC+FFD+TS			
Tipo	# Inst	Tempo Médio Gur(s)	# Ópt	Efic.	Temp. méd(s)	Var. Gur.	# Ópt	Efic.	Temp. méd(s)	Var. Gur.	# Ópt	Efic.	Temp. méd(s)	Var. Gur.
DI	131	239	3	2,3%	0,012	0,005%	128	97,7%	0,039	0,016%	130	99,2%	0,061	0,025%
NR	94	275	3	3,2%	0,011	0,004%	91	96,8%	0,036	0,013%	93	98,9%	0,057	0,021%
LI	10	326	0	0,0%	0,042	0,013%	10	100,0%	0,117	0,036%	10	100%	0,117	0,036%
SI	27	6	5	18,5%	0,003	0,054%	27	100,0%	0,011	0,169%	27	100%	0,011	0,169%
total	262	60.588	11	4,2%	3,182	0,005%	256	97,7%	9,906	0,016%	260	99,2%	15,491	0,026%

Os resultados da Tabela 2 mostram que a heurística FFD embora apresente tempo de processamento muito baixo, precisando apenas 0,005% do tempo total de processamento do Gurobi, possui eficácia de 4,2%, com a obtenção de ótimos em apenas 11 das 262 instâncias testadas. Por outro lado quando aplicamos a heurística FFD em conjunto com a heurística PC, no algoritmo proposto PC+FFD a eficácia passa para 97,7%, gerando ótimos em 256 das 262 instâncias testadas e com soluções ótimas conhecidas, sem a necessidade de incrementar muito o tempo de processamento que passa a ser de 0,016% do tempo total necessário para processar os ótimos no Gurobi.

Nas seis instâncias onde não foi possível obter a solução ótima com a heurística PC+FFD, foi aplicada a heurística PC+FFD+TS com um aumento no tempo de processamento para 0,026% do tempo de processamento das soluções ótimas do Gurobi, com melhoria na *fitness function*, e no número de *bins* das soluções, aumentando a eficácia para 99,2%. Nas duas instâncias em que as soluções obtidas não chegaram no ótimo, a diferença ficou com apenas um *bin* a mais que a solução ótima.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma heurística simples de ordenação de categorias de itens em ordem de conflitos e dos itens nas categorias foi desenvolvida e proposta para resolver o problema de *bin packing* com conflitos – BPPC, o algoritmo referenciado como PC+FFD – *Pareto Category + First Fit Decreasing* contém procedimentos que buscam ordenar as categorias de itens de acordo com a ordem crescente da quantidade de categorias compatíveis e em seguida aplica a heurística FFD nos itens da categoria, sendo esta a principal contribuição deste artigo. Dessa forma os *bins* tendem a ficar dedicados a cargas de mesma categoria, o que é uma vantagem no caso onde os itens da mesma categoria geralmente têm as mesmas origens no carregamento. Outro aspecto importante da heurística é que ela aloca primeiro as categorias mais restritas e nas categorias, primeiro os itens mais restritos, aqueles de maior peso. Por último são alocas as categorias menos restritas e os itens mais leves, que são menos restritos e podem ser encaixados mais facilmente nas capacidades remanescentes dos *bins*.

Em seguida caso o melhor *lower bound* (7) não seja atingido, um procedimento de busca tabu é acionado. Tal procedimento visa reduzir o número de *bins* através de movimentos de *insert* e *swap* de itens.Os resultados obtidos mostram que para as instâncias de teste obtidas da literatura e modificadas com a inclusão de compatibilidades, a heurística FFD embora apresente baixos tempos de processamento comparados aos tempos necessários para a obtenção das soluções ótimas no Gurobi, também apresenta baixa eficácia, e gera baixo

número de soluções ótimas, sendo, portanto, classificadas como FFD-hard. Quando combinadas as heurísticas PC e FFD no procedimento proposto PC+FFD, um maior número de soluções ótimas são obtidas com baixa alteração nos tempos de processamento.

Para melhorar a eficácia do procedimento, a busca tabu é acionada para as instâncias em que algoritmo PC+FFD não atinge o número de *bins* do *lower bound* da equação (7) e novas soluções ótimas são obtidas com tempos de processamento que em média não ultrapassam 0,05% do tempo necessário para obter as soluções ótimas pelo programa Gurobi. Com o algoritmo proposto o problema de determinação do número de veículos para carregamento de cargas com conflitos e distribuição para *nanostores* pode ser resolvido de forma eficiente.

Os procedimentos de agrupamento dos itens em categorias abrem campos de estudo para instâncias com maior número de categorias, de itens ou com conflitos que não estejam agrupadas em categorias tais como as instâncias utilizadas por Muritiba *et al.* (2010) e para a modelagem matemática de um tipo novo de problemas de *bin packing*, os problemas de *bin packing* com conflitos entre categorias de itens.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Capua, R.; Frota, Y.; Vidal, T. e Ochi, L. S. (2015) Um algoritmo heurístico para o problema de bin packing com conflitos. *Anais do XLVII SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, SBPO, Porto de Galinhas, v. 1, p. 4252–4261.

Delorme, M.; Iori, M. e Martello, S. (2016) Bin packing and cutting stock problems: Mathematical models and exact algorithms. *European Journal of Operational Research*, v. 255, n. 1, p. 1-20.

Fleszar, K. e Hindi, K. S. (2002) New heuristics for one-dimensional bin packing. *Computers & Operations Research*, v. 29, n. 7, p. 821–839.

Blanco, E. E. e Fransoo, E. B. (2013) Reaching 50 million nanostores: Retail distribution in emerging megacities. *Beta Working Paper Series*, v.1 , p. 1-11.

Falkenauer, E. (1996) A Hybrid Grouping Genetic Algorithm for Bin Packing. *Journal of Heuristics*, v. 2, p. 5-30.

Gendreau, M.; Laporte, G. e Semet, F. (2004) Heuristics and lower bounds for the bin packing problem with conflicts. *Computers & Operations Research*, v. 31, n. 3, p. 347-358.

Gupta, J. N. D. e Ho, J. C. A new heuristic algorithm for the one-dimensional bin packing problem. *Production Planning & Control*, v. 10, n. 6, p. 598-603, Setembro 1999.

Hemmelmayr, V.; Schmid, V. e Blum, C. (2012) Variable neighbourhood search for the variable sized bin packing problem. *Computers & Operations Research*, v. 39, n. 5, p. 1097–1108.

Jansen, K. (1999) An Approximation Scheme for Bin Packing with Conflicts. *Journal of Combinatorial Optimization*, v. 3, n. 4, p. 363–377.

Loh, K.-H.; Golden, B. e Wasil, E. (2008) Solving the one-dimensional bin packing problem with a weight annealing heuristic. *Computers & Operations Research*, v. 35, n. 7, p. 2283-2291.

Martello, S. e Toth, P. (1990) Lower Bounds and Reduction Procedures for the Bin Packing Problem. *Discrete Applied Mathmatics*, v. 28, n. 1, p. 59-70.

Martínez, M. A.; Clautiaux, F.; Dell'Amico, M. e Iori, M. (2013) Exact algorithms for the bin packing problem with fragile objects. *Discrete Optimization*, v. 10, n. 3, p. 210-223.

Muritiba, A. E.; Iori, M.; Malaguti, E. e Toth, P. (2010) Algorithms for the Bin Packing Problem with Conflicts. *INFORMS Journal on Computing*, v. 1, n. 1, p. 401-415.

Stawowy, A. (2008) Evolutionary based heuristic for bin packing problem. *Computers & Industrial Engineering*, v. 55, n. 2, p. 465-474.

Leandro Maciel Turi (leandro.turi@usp.br)
Claudio Barbieri da Cunha (cbcunha@usp.br)
Departamento de Transportes, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
Av. Prof. Almeida Prado Travessa 2, nº 83, Cidade Universitária – São Paulo, SP, Brasil.

DESAFIOS NO TRANSPORTE URBANO DE MERCADORIAS: UMA PESQUISA EM SÃO JOÃO DEL REI

Roberta Alves
Renato da Silva Lima
Kaique Silva
William Gomes
Universidade Federal de Itajubá
Instituto de Engenharia de Produção e Gestão
Carlos Alberto González Calderón
Universidad Nacional de Colombia - Medellin
Departamento de Ingeniería Civil

RESUMO
Este estudo teve como objetivo diagnosticar e caracterizar o transporte urbano de mercadorias de empresas varejistas de diversos setores, utilizando o município de São João Del Rei, MG, como objeto de estudo, e propor medidas que melhorem o funcionamento da rede. É fundamental ressaltar que qualquer medida escolhida para mitigar os problemas da região deve considerar as características históricas da cidade e sobretudo estabelecer uma coerência entre os objetivos conflitantes dos diversos atores que compõem o ambiente urbano. Os resultados mostram a necessidade de criação de novas políticas de logística urbana, incluindo mais áreas reservadas para o carregamento e descarregamento de carga, juntamente com maior monitoramento, das autoridades, desses locais para garantir que a lei seja cumprida

ABSTRACT
This study purposed to diagnose and characterize urban freight transportation related to supply chains and businesses, utilizing the municipality of Sao Joao Del Rei, MG, Brazil as an object of study and propose measures that improve the operation of the network. It is important to emphasize that any measure taken to mitigate these problems should be developed according to the local characteristics of the region and, above all, should establish a coherence between the conflicting objectives of the multiple actors which make up the urban environment. The results show the need for creation of new policies for urban logistics, including more areas reserved for loading and unloading of cargo, along with greater monitoring, from authorities, of these locations to ensure that the law is enforced.

1. INTRODUÇÃO

Crescentes preocupações referentes aos impactos da atividade humana sobre as mudanças climáticas têm adicionado uma enorme pressão para aumentar a sustentabilidade dos sistemas de transporte. A medida que o número de veículos continua a aumentar, as consequências negativas também têm aumentado, como o ruído, vibração, acidentes de trânsito e poluição do ar (Zambuzi *et al.*, 2013). De acordo com dados do Sistema de Estimativa de Emissão de Gases de Efeito Estufa (SEEG), a emissão dos transportes aumenta 5,6% por ano em média, todos os anos, atingindo a marca de 204,3 milhões de toneladas de CO_2 em 2015; 51% destas emissões é de responsabilidade do setor de transporte de cargas (SEEG, 2015).

Ainda que os veículos de carga tenham uma contribuição significativa no congestionamento rodoviário e nas emissões de CO_2, eles também fornecem bens aos estabelecimentos comerciais das cidades, bens estes responsáveis por satisfazer diariamente as necessidades de consumo e serviços da população. O planejamento e a implementação de ações e políticas que busquem equilibrar a necessidade de bens e preocupações ambientais têm sido cada vez mais identificados como um papel fundamental numa cidade moderna, considerando especialmente o crescimento contínuo do número de veículos de entrega.(Dablanc e Rodrigue, 2014)

Neste contexto, modelos e políticas tem sido elaborados tentando mitigar os problemas resultantes da movimentação de cargas, como congestionamentos, falta de mobilidade, poluição sonora e ambiental e principalmente as emissões de gases do efeito estufa (GEE)(Alves *et al.*, 2016; Taniguchi *et al.*, 2012). Estes problemas são ainda aumentados quando se trata de cidades históricas, Zanirato (2008)cita que os GEE tem efeito corrosivo para os edifícios do patrimônio histórico, e que os ruídos provenientes do transporte tendem a abalar as estruturas das edificações e com a vibração as fissuras dos edifícios históricos ficam cada vez mais comprometidas, além do impacto visual causado, pois a existência de carros nas ruas modifica a percepção da paisagem urbana, que perde grande parte de sua beleza, sendo que um local que tem características e valores históricos pode se tornar apenas mais uma via de circulação de veículos.

De acordo com Kijewska e Iwan, (2016) são nos centros urbanos que a distribuição de mercadorias enfrenta um número maior de dificuldades, devido principalmente a aglomeração de empresas que provêm empregos, produtos e serviços para a população da cidade em geral. Em São João Del Rei uma dificuldade adicional é a característica histórica das ruas da área central, as quais foram projetadas em períodos onde a procura por serviços de transporte era praticamente inexistente. Tudo isso faz dos fornecimentos nesta região um desafio particular para o bom funcionamento de todo o organismo urbano, envolvendo ao mesmo tempo um número significativo de dificuldades associadas às restrições de tráfego (por exemplo, a ocorrência de zonas protegendo edifícios históricos), infraestrutura linear não adaptada ao número crescente de veículos (principalmente ruas estreitas e organização de tráfego unidirecional) e a falta de número suficiente de lugares de estacionamento.

A falta de atenção conferida ao transporte urbano de mercadorias dentro do planejamento urbano, leva a um dos principais problemas das pesquisas em Logística Urbana: a falta de dados sobre o seu funcionamento (Kijewska e Iwan, 2016; Lindholm e Behrends, 2012). Pois, segundo Taniguchi *et al.* (2014), para realizar qualquer trabalho em Logística Urbana é necessário obter uma série de dados e informações, dentre elas tipo e capacidade dos veículos utilizados e suas rotas, bem como o volume e tipo de mercadoria transportada, entre outros. Sendo assim, o objetivo do trabalho é diagnosticar e caracterizar o transporte urbano de cargas no que tange ao recebimento de suprimentos das empresas localizadas na área central do município de São João Del-Rei, MG, Brasil e indicar medidas que possam melhorar esse processo.

2.IMPLICAÇÕES DO TRANSPORTE URBANO DE CARGAS

Nos últimos anos, as cidades brasileiras têm apresentado problemas clássicos de mobilidade urbana acarretado pelo elevado grau de urbanização das cidades e a falta de políticas efetivas de desenvolvimento urbano, que integrem os diferentes modos de transporte, melhorando a acessibilidade e a mobilidade de pessoas e mercadorias. Segundo o IBGE (2010), 84,4% da população brasileiras vive em áreas urbanas, com destaque para a região Sudeste, onde 92,9% da população vive em áreas urbanas.

Uma das formas encontradas para absorver o crescimento do número de veículos pelas cidades, é realizando grandes obras de infraestrutura viária. No entanto, essas obras modernas não são permitidas em cidades históricas dificultando o planejamento de transportes nestas cidades. Dessa forma, o transporte urbano em cidades históricas deve ser ainda melhor planejado,

amplamente monitorado e estudado, visando à obtenção de soluções que proporcionem uma melhor mobilidade e um trânsito menos agressivo (Álvares *et al.*, 2016).

Buscando atender as demandas de mobilidade urbana, em 2012 o governo federal institui a Lei nº 12.587, de 3 de janeiro, denominada como Política Nacional de Mobilidade Urbana (Brasil, 2012). Este novo instrumento da lei estabelece que todos os municípios que possuem a obrigatoriedade de elaboração do plano diretor passem a também elaborar e executar o Plano de Mobilidade Urbana (PlanMob), afim de planejar o crescimento das cidades de forma ordenada. Todavia, em 2015 após três anos da aprovação da lei, mais de 70% das capitais e das cidades brasileiras acima de 500 mil habitantes, e 95% do total de municípios acima de 50 mil habitantes, não conseguiram finalizá-lo (Santos *et al.*, 2015)

Para o desenvolvimento das áreas urbanas é necessário um eficiente e sustentável sistema de transporte urbano, de forma a garantir a atratividade, o poder econômico e a qualidade de vida da região (Dablanc, 2007). Anderson *et al.*, (2005) citam algumas razões que atestam a importância dos estudos voltados ao tema, como: (i) Manutenção do estilo de vida existente nos centros urbanos; (ii) Influência no preço dos produtos consumidos pela população; (iii) Influência direta na economia; (iv) Manutenção das atividades e da competitividade dos setores industriais e comerciais e (v) Controle dos Impactos ambientais

Mesmo sendo de grande importância a movimentação de mercadorias em áreas urbanas é raramente prevista nos planos de mobilidade urbana que, usualmente, preocupam-se somente com o transporte de passageiros, deixando de lado o que talvez seja um dos maiores problemas para a cidade: o transporte de carga urbana. Há um consenso em todo o mundo que apenas recentemente esse tópico vem sendo objeto de estudo e as pesquisas relacionadas ao tema ainda são incipientes, principalmente nos países em desenvolvidos, dificultando ainda mais a mensuração dos seus impactos e a proposição de soluções (Allen *et al.*, 2000; Alves *et al.*, 2016; Lindholm e Behrends, 2012; Oliveira, 2013).

No entanto, Crainic *et al.* (2004), ainda no começo dos anos 2000 já destacavam que esse cenário tenderia a mudar, uma vez que o número de veículos tem aumentado de forma rápida e, como consequência, o congestionamento e os níveis de poluição crescem também em um ritmo acelerado. Ainda, observa-se o aumento da consciência da população em relação aos temas que impactam a qualidade de vida da cidade, resultando em maiores cobranças junto às autoridades, iniciando assim um movimento favorável para a solução destes problemas (Correia *et al.*, 2010).

O desempenho do transporte urbano de mercadorias é de responsabilidade tanto do poder público quando do privado(Alves *et al.*, 2016; Oliveira, 2013). Em suma, encontra-se dois interesses conflitantes, dirigidos a satisfazer as necessidades dos clientes (i) as autoridades públicas que desejam reduzir os impactos de transporte, com foco na sustentabilidade social e ambiental, a fim de ter uma cidade atraente para os habitantes e visitantes; e (ii) as empresas privadas que desejam entregar suas mercadorias com um menor custo e oferecer um transporte de alta qualidade, em um curto prazo entrega, a fim de satisfazer as expectativas dos clientes. Deste lado, os interesses estão voltados principalmente a sustentabilidade econômica. Lindholm e Behrends (2012) citam que há consciência por parte das empresas de distribuição e logística dos crescentes problemas que o transporte de cargas gera para as áreas urbanas, no seu cotidiano e no longo prazo. No entanto, não existe uma parceria entre elas e o poder público para entender,

discutir e desenvolver ações concretas para os problemas da movimentação urbana de carga. O poder público local, em geral, relaciona o transporte de carga urbana como um problema das empresas e não como elemento da mobilidade urbana, que por ele deve ser planejado e gerido.

Sanches Junior (2008) afirma em seu trabalho que os administradores públicos reconhecem os problemas inerentes à logística de carga, sem, contudo, realizar ações para entender as demandas do setor e definir soluções técnicas adequadas. Allen *et al.* (2000) também identificou esse impasse, uma vez que, de um lado, as autoridades locais esperam que as empresas criem novos serviços logísticos e do outro lado, as empresas e operadores de logística aguardam que os municípios tomem a iniciativa para resolver os problemas envolvendo transporte urbano de carga.

Dada a diversidade de aspectos e atores envolvidos no transporte urbano de cargas, o *City Logistics* incentiva a integração e colaboração entre todos os *stakeholders*, para fomentar abordagens mais precisas sobre o tema no contexto das áreas urbanas e do planejamento e gestão (Taniguchi *et al.*, 2001). Segundo Correia *et al.* (2010) faz-se necessário ampliar o entendimento e a pró-atividade das autoridades públicas sobre o transporte urbano de cargas, fazendo com que as cidades não administrem esse tema apenas em função da demanda e de pressões da sociedade.

Existem uma imensa variedade de medidas que visam a solução de problemas do transporte urbano de cargas (Alves *et al.*, 2016), cada qual adequada a cada cidade com seu contexto socioeconômico, político e histórico que caracteriza casos particulares. Ou seja, cada cidade possui suas características que definem as peculiaridades do seu sistema de transporte de cargas. Assim como o sistema de transporte é único para cada cidade, as medidas a serem tomadas para regulamentação, correção e ou melhoria do sistema são únicas, específicas para cada cidade(Oliveira, 2013; Sanches Junior, 2008).

De acordo com Odette van de *et al.*, (2007), o principal erro na implantação de medidas para gerir melhor o sistema de transporte é a caracterização deste, que inicia-se com o processo de obtenção e análise de dados referentes as viagens (Calabrese *et al.*, 2013; Holguín-Veras *et al.*, 2015). Como já citado, o transporte de mercadorias é resultado de uma série de escolhas feitas por vários tomadores de decisão (carregadores, transportadores, varejistas, autoridades e população) e cada parte detêm um percentual de dados, limitado muitas vezes a obtenção desses dados, por se tratarem de dados dispersos e até confidenciais, restringindo assim a análise. Nesse contexto, este estudo buscou caracterizar e apresentar um diagnóstico da situação atual da movimentação de mercadorias região central da cidade de São João Del Rei, bem como expressar as suas implicações, em especial por se tratar de uma cidade histórica brasileira, com um trânsito bem característico.

3. METODOLOGIA

O presente estudo foi realizado no município de São João Del Rei, Minas Gerais, fundado em 1713. A cidade tem atualmente uma população de 89.832 pessoas (IBGE, 2010) e conta com uma área territorial de 1.452,002 km², a qual é considerada em sua maior parte histórica, ainda de acordo com o (Denatran, 2017) a cidade conta com 49.899 veículos automotores, o equivalente a quase um veículo para cada dois habitantes. Para caracterizar o transporte urbano de mercadorias, inicialmente delimitou-se a área na qual foi realizada a pesquisa. Em consonância com o trabalho de Kijewska e Iwan, (2016) e segundo as particularidades já

citadas foi escolhida à região central da cidade de São João Del Rei- MG para realização da pesquisa. A área abrange um número significativo de empresas dos setores de varejo, hotelaria, supermercados, serviço, escolas, universidades e serviços públicos.

3.1 Coleta de Dados

Com a área do estudo delimitada o próximo passo foi definir o tamanho da amostra para que o estudo fosse válido estatisticamente, este número foi definido de acordo com metodologia proposta por Gil (2008). O estudo abrangeu 202 empresas no total, das quais 76% (152 empresas) se propuseram a responder a entrevista e 24% (50 empresas) não puderam ou optaram por não responder. O número de empresas entrevistadas excede em 33 questionários a verificação da amostra, utilizando um nível de confiança de 95%. Vale ressaltar ainda que o número de empresas entrevistadas representa mais de 31% dos pontos comerciais da região estudada.

Para realizar a análise dos dados optou-se por classificar as empresas em setores conforme o produto que elas comercializam (Tabela 1). A Figura 1, mostra a localização geográfica das empresas entrevistadas.

Tabela 1 – Classificação das empresas

Classificação	Setor	Quantidade	%
A	Alimentício (supermercado, restaurantes lanchonetes e Bares)	47	31%
B	Eletrônicos e Informática	6	4%
C	Farmácia e Perfumarias	9	6%
D	Produtos agropecuários e Construção Civil	10	7%
E	Moveleiro/decoração/eletrodomésticos	13	9%
F	Vestuário, calçados, cama mesa e banho	54	36%
G	Diversos (Óticas, embalagens, presentes, Papelaria, bijuterias)	13	9%

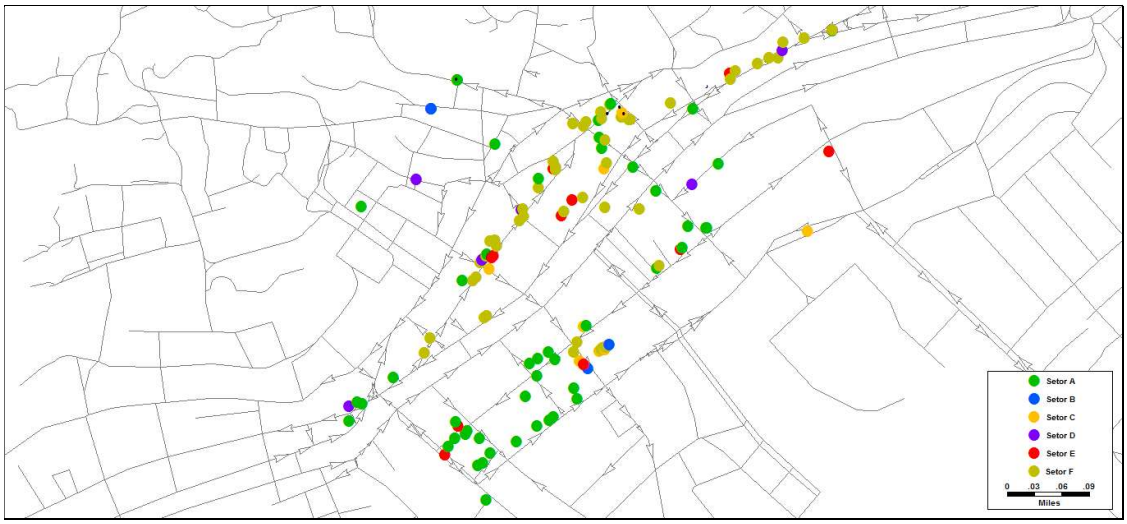


Figura 1 –Localização das empresas entrevistadas

Os dados foram coletados através de uma entrevista semi-estruturada. Utilizou-se como referência o questionário indicado pelo guia publicado pela *National Coopeative Freight Research Program* (NCFRP)(Holguín-Veras *et al.*, 2015), o qual orienta estudos no âmbito de transporte urbano de mercadorias. Este guia ressalta a importância de se realizar estudos para

obter informações detalhadas do transporte de mercadorias pois, segundo os autores, somente assim é possível avaliar com precisão os problemas do transporte urbano de mercadorias e propor soluções para estes.

4. CARACTERIZAÇÃO DAS ENTREGAS DE MERCADORIAS

A Tabela 2 apresenta a classificação das empresas entrevistas segundo o seu porte, e as informações referentes ao número de funcionários e as entregas mensais. Pode-se observar que a maioria das empresas na região estudada (95%) é de pequeno e médio porte e são responsáveis por gerar o maior número de empregos (86%). Contudo, são as empresas de grande porte que recebem o maior número de entregas mensais por funcionários.

Tabela 2- Classificação das empresas por porte e entregas por funcionários

Porte da empresa	Nº de funcionários	Nº de entregas	Entr/func	Nº de empresas
Pequeno Porte	298	2168	7,3	104
Médio Porte	278	1385	5	40
Médio-Grande Porte	87	227	2,6	5
Grande porte	23	2812	12,2	3
TOTAL	686	4061	27	152

O levantamento do volume e das características dos deslocamentos realizados pela população em suas atividades diárias e do movimento de cargas de uma determinada região, representam um das mais importantes informações para o planejamento e gerenciamento de uma rede de transporte, pois serve de insumo para planejamento e otimização da rede de transporte e para prever futuras viagens e necessidades (Calabrese *et al.*, 2013).

Para complementar essa caracterização a Tabela 3 mostra a classificação das empresas de acordo com seu porte e setor. Destaca-se que as maiores empresas (portes médio-grande e grande) são do setor de alimentos, vestuário e calçados e construção civil.

Tabela 3 – Classificação das empresas de acordo com seu porte e setor

	A	B	C	D	E	F	G	Total
Pequeno Porte	21,7%	3,3%	4,6%	2,6%	5,2%	24,3%	6,6%	**68,3%**
Médio Porte	7,2%	0,7%	1,3%	3,2%	2%	10,5%	1,3%	**26,2%**
Médio-Grande Porte	0,7%	0%	0%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	**3,5%**
Grande porte	1,3%	0%	0%	0%	0,7%	0%	0%	**2**

Os produtos são entregues na maioria das empresas por mais de um tipo de veículo de carga. Dentre todas as entregas realizadas, os veículos mais utilizados são Pickups e VUCs, que representam 66% e 65%%, respectivamente. Já veículos maiores como o TOCO representam 45%. Ainda, 58% são fornecidos por outros tipos de transporte, como, motocicletas. Vale destacar que as porcentagens somam mais de 100% porque as empresas podem optar por mais de um tipo de veículo para cada entrega.

O Decreto N° 2.693, de 29 de maio de 2001 proíbe o trânsito de veículos pesados (carretas, caminhões e ônibus) na região central onde estão localizadas, as pontes da Cadeia e do Rosário que são os principais acessos ao centro histórico, estas foram diagnosticadas com problemas em suas estruturas (Brasil, 1989). Entretanto, verifica-se que segundo os entrevistados, essa lei ainda vem sendo descumprida, para eles a principal causa para este descumprimento é a falta de profissionais que garantam o cumprimento da lei. Está situação resulta em diversos problemas tanto para a infraestrutura da rede viária quanto para a fluidez da mesma, pois esses

veículos além das vagas de estacionamento ocupam grandes espaços nas ruas dificultando a circulação no local e ainda comprometendo a parte estrutural da rede. A tabela 4 apresenta a frequência das entregas por setor.

Tabela 4 – Frequência das entregas

	Diário	Semanal	Quinzenal	Mensal
A	29%	36%	2%	1%
B	2%	5%	1%	0%
C	6%	3%	0%	1%
D	1%	9%	3%	0%
E	3%	9%	1%	1%
F	5%	30%	17%	2%
G	2%	9%	3%	1%

Pode-se observar que a maior parte das entregas ocorre diariamente e semanalmente, resultando em um número maior de veículos circulando na região. Esse grande volume de recebimentos de mercadorias está atrelado aos métodos de reposição atualmente adotados pelas empresas, baseados no sistema *Just in time* que trabalha com estoques reduzidos. Tal sistema traz grandes benefícios para a empresa com poucas perdas de mercadorias e maior rotatividade, mas ao mesmo tempo oferece uma grande desvantagem para a cidade, pois influencia substancialmente o acréscimo de veículos de cargas nas áreas urbanas (Taniguchi *et al.*, 2001).

Em média empresas do setor B (Eletrônicos e informática), do setor E (Moveleiro/decoração/eletrodomésticos) e F (Vestuário, calçados, cama, mesa e banho) recebem 1 entrega por dia; empresas dos setores C (Farmácia e perfumaria), D (Produtos agropecuários e Material de construção) e G (Diversos) recebem 2 entregas por dia; e as empresas dos setores A (Alimentícios) recebem 3 entregas por dia respectivamente. Os produtos recebidos em sua grande parte são oriundos dos estados de Minas Gerais (58%), São Paulo (28%), Rio de Janeiro (5%), dos estados da região sul (6%), outros países (2%) e de outros estados do brasil (1%).

Em Minas Gerais, a maior parte das cargas partem principalmente da própria cidade de São João Del Rei e região, devido aos produtores rurais e regionais que comercializam seus produtos na cidade. Entretanto, há veículos de carga que também partem de outras cidades do estado como: Belo Horizonte, Divinópolis, Sete Lagoas, Juiz de Fora, Conselheiro Lafaiete, Ubá, Itaúna, Lagoa da Prata, Uberlândia e Sul de estado. Em São Paulo, essas cargas partem principalmente da capital (região comercial do Brás) e das cidades de Holambra e Franca (470 km de São João Del Rei), são cidades que comercializam para todo o país produtos de vestuário, calçados e utilidades, produtos do setor F e G. Embora não haja um padrão claro dos dias e horários, a maioria das entregas acontecem de segunda a sexta-feira durante o horário comercial, de 08:00 as 18:00. A Tabela 5 apresenta os horários em que são realizadas as entregas nas empresas entrevistadas.

Tabela 5– Horário das entregas

	08:00 - 11:59	12:00 - 15:59	16:00 - 19:59
A	33%	32%	27%
B	60%	20%	20%
C	35%	35%	27%
D	38%	35%	27%
E	36%	33%	28%
F	39%	34%	27%
G	35%	32%	26%

Como observado, a maior parte das entregas ocorre em horário comercial e acabam disputando vagas com os consumidores, gerando problemas como aumento do tráfego e consequente perda de clientes, que acabam deixando de comprar no comércio local pela falta de vagas para estacionamento. Observa-se uma grande discrepância das entregas nas quartas-feiras para o setor B (Eletrônicos e informática), pois a maior parte das mercadorias deste setor são compradas em São Paulo capital e são os próprios donos que realizam o transporte, somente uma empresa, a única de grande porte deste setor recebe mercadorias diariamente, este setor ainda é o único setor que não recebe entregas aos sábados.

Foi observado ainda um comportamento atípico, que não está representado na Tabela 5, pois representa uma pequena parcela das empresas entrevistadas (2% do total) que recebem entregas aos domingos e depois das 20:00 horas. São empresas do setor A (Alimentício), bares e restaurantes que funcionam à noite, e demandam entregas de bebidas, que são entregues pelas distribuidoras localizadas na mesma cidade e tem seu funcionamento também no mesmo horário. Ainda, duas empresas do setor G responderam que optaram por receber suas mercadorias entre 04h00 min e 07h59min, para evitar problemas relacionados à falta de vagas para carga e descarga de mercadorias. Embora somente m uma porcentagem pequena entregas em São João Del Rei aconteçam fora do horário de pico (*Off hour deliveries* –OHD) está prática já vem sendo realizada em várias cidades, pois como visto anteriormente a distribuição urbana de mercadorias em horários de pico tem tornado a atividade mais custosa devido ao tempo perdido em congestionamentos e na busca por vagas apropriadas para carga e descarga.

Nesse sentido, a entrega noturna de mercadorias demonstra ser uma alternativa inovadora para mitigar os problemas enfrentados nos centros urbanos, sendo uma opção para otimizar as entregas de mercadorias na região estudada (Ukkusuri *et al.*, 2016). Contudo dois obstáculos são foram apresentados por Oliveira *et al.* (2010) e Bertazzo *et al.*, (2015) ao investigar a implantação desta iniciativa no contexto brasileiro: a falta de segurança, e a falta de funcionários para receber as mercadorias. No contexto de São João del Rei uma saída para driblar essas dificuldades e tornar essa iniciativa mais atrativa para os varejistas e transportadores, seria por meio de incentivos fiscais e maior investimento em segurança.

4.1 Problemas impostos pela característica do município à circulação de veículos

São João Del Rei enquadra-se entre as cidades que devem elaborar o plano de mobilidade urbana. No entanto, o PlanMob está ainda em fase de elaboração (desde 2013). A Regulamentação de vagas de carga e descarga é uma das principais exigências para a elaboração desse plnao, e pela importância desta questão para a cidade esta foi outra questão investigada neste estudo.

O processo de carga e descarga da maior parte das mercadorias que abastece as empresas entrevistadas acontece em estacionamentos comuns espalhados em praças e ruas da cidade (78%). Somente 9% das empresas entrevistadas possuem depósitos e estacionamentos próprios para a carga e descarga, Em geral, essas empresas comercializam produtos de volumes maiores, como materiais de construção, móveis e eletrodomésticos. Contudo, a infraestrutura destes depósitos ainda é muito antiga e segundo os entrevistados deveriam ser modernizadas para agilizar o processo. em trabalho, esta mesma situação foi evidenciada por Arantes *et al.* (2015) ao investigar o processo de carga e descarga na cidade de Itajubá- MG. O espaço disponível para carga e descarga, foi evidenciado por Furquim *et al.* (2016) e Sinay *et al.* (2004) como o principal desafio logístico.

Somente 10% do processo de carga e descarga é realizado em vagas regulamentadas para este fim, uma pequena porcentagem dos entrevistados (3%) ainda opta por pagar estacionamentos particulares por enfrentar grande dificuldade de encontrar vagas para receber suas mercadorias. A pequena porcentagem de vagas reservadas para a carga e descarga de mercadorias, aliado ao descumprimento da legislação por parte da população que estaciona veículos próprios em locais reservados para a carga e descarga como ilustrado na Figura 2 dificulta o tráfego na região e atrapalha o suprimento de mercadorias pois aumenta o trajeto, uma vez que o caminhão precisa ficar circulando até encontrar uma vaga para estacionar.



Figura 2- Veículos estacionados em local proibido

Em cidades europeias, como Paris (França) e Barcelona (Espanha), existem mais de 8000 áreas regulamentadas para o processo de carga e descarga. Esse valor não chega a 10% quando comparado com cidades latino-americanas de mesmo porte, em Buenos Aires (Argentina) são registradas 750 e em Belo Horizonte (MG) existem 550 áreas na região central da cidade, e em São João Del Rei esse quadro é pior ainda existem na região estudada somente 7 vagas (Dablanc, 2007; Oliveira, 2014). Ainda para compor o cenário completo das entregas de mercadorias na área estudada, levantou-se quais eram para os varejistas os principais problemas enfrentados ao receber suas mercadorias (Tabela 6).

Tabela 6 – Problemas encontrados nas entregas

	Problemas
1	Falta de vagas para carga e descarga de veículos
2	Espaço inadequado para estacionamento de veículos para realizar a carga/descarga
3	Ruas muito estreitas
4	Legislação e regulamentos inadequado /insuficiente, muito tráfego na cidade
5	Restrição do acesso de veículos de transporte de mercadorias a certas áreas urbanas
6	Outros

Cada empresa podia responder mais de um problema, e ainda indicar outros respondendo a opção número 6. A Tabela 7 mostra a porcentagem de empresas por setor que perceberam os problemas listados na Tabela 6 ao receber suas mercadorias.

Tabela 7- Problemas enfrentados na carga e descarga de materiais (divididos por setor)

	1	**2**	**3**	**4**	**5**
A	85%	87%	43%	96%	89%
B	57%	86%	86%	86%	86%
C	100%	89%	78%	89%	78%
D	90%	90%	80%	100%	80%
E	100%	69%	69%	85%	85%
F	86%	82%	75%	82%	81%
G	80%	60%	80%	70%	80%
MÉDIA	85%	81%	73%	87%	83%

Esses problemas, segundo entrevistados, ocorrem principalmente pela falta de infraestrutura e planejamento da logística urbana por parte do serviço público da cidade. Algumas empresas

ainda relataram outros tipos de problemas como: (i) excesso de caminhões de grande porte no centro da cidade, (ii) grande burocracia, excesso de taxas e impostos para a obtenção de estacionamentos privativos; (iii) exclusão de grande parte das vagas de carga e descarga regulamentadas pelo município.

Foram poucas as empresas que relataram não encontrar dificuldades em seu recebimento de mercadorias e destas todas utilizam veículos de pequeno porte como moto ou carro de passeio para abastecer seus estabelecimentos, pois esses não necessitam de um espaço muito grande para estacionar. Um ponto de partida para melhorar o cenário atual da cidade é formular um plano de mobilidade eficiente alinhado com o plano diretor da cidade e cabível de implantação. Um PlanMob que contemple todas as variáveis impostas pelo contexto histórico de crescimento da cidade de São João del Rei, no sentido de organizar as atividades e minimizar os problemas descritos anteriormente(Sanches Junior, 2008).

4.2 Discussão

De particular interesse para o caso de São João Del Rey é o estudo de Correia *et al.*, (2010), que aponta a restrição de veículos de carga como um meio de gestão dos impactos gerados pelas cargas em termos de: intrusão visual, intimidação física e barulho. Porém, ela não deve ser o objetivo único do poder público, pois quando implantada de maneira isolada pode gerar outros, problemas como o aumento das viagens realizadas por veículos leves e, consequentemente, um acréscimo nas emissões de GEE, conforme evidenciado no estudo de Zambuzi *et al.*, (2013).

No entanto, como a estrutura das principais pontes que acessam a região estudada estão comprometidas, essa restrição deve ser obedecida. Para tanto, o poder público municipal deve aumentar a fiscalização no local para o cumprimento da lei. Diante do exposto, uma maneira de tentar mitigar os problemas é pela maior ocupação da capacidade dos veículos, evitando a baixa ocupação dos veículos. Isso seria possível através da consolidação das mercadorias, obtida em centros de consolidação urbana. Esses centros são locais instalados fora dos centros urbanos que recebem, consolidam e realizam o *cross-docking* das cargas, para a posterior distribuição das mercadorias em veículos menores, otimizando assim o volume carregado. Em um cenário ideal essa distribuição aconteceria fora do horário de pico, aliando desta forma as vantagens dos CDUs à das entregas noturnas. (Allen *et al.*, 2000; Correia *et al.*, 2010; Crainic *et al.*, 2004). Correia *et al.* (2010).

Para o sucesso de qualquer inciativa citada acima, o envolvimento de todos os *stakeholders* torna-se inevitável. Para que isso ocorra, Taniguchi *et al.* (2014) indicam a realização de debates e workshops com a participação de todos os atores da logística urbana. Durante a realização das entrevistas percebemos a deficiência na comunicação entre os varejistas com os transportadores e administradores municipais, o que resulta em falta de compreensão sobre os problemas enfrentados do outro lado. A formação de um comitê com representantes de todos os *stakeholders* para discutir as dificuldades enfrentadas por todos, e juntos propor melhorias como as sugeridas neste trabalho. Na Europa esses debates aconteceram durante a implantação do Plano de Transporte de Londres e trouxe bons resultados(Giuliano *et al.*, 2013).

5. CONCLUSÕES

Os resultados do trabalho evidenciam a necessidade de as autoridades locais integrarem em seus planos municipais de transportes medidas para melhorar a situação da movimentação de cargas. As medidas para melhorar a distribuição de mercadorias (restrição de velocidade e

tamanho veículo, consolidação de entregas, janelas de tempo de entregas etc.) poderiam melhorar a mobilidade urbana. Os resultados também mostram a necessidade da criação de novas políticas de logística urbana, incluindo mais áreas reservadas para operação de carga e descarga, juntamente com uma fiscalização intensa nesses locais, que garanta o cumprimento da lei.

A aplicação da metodologia apresenta como dificuldade a necessidade de coletar uma amostra de dados estatisticamente confiável, por área, o que nem sempre pode ser viável, principalmente pelo fato da participação ser voluntária. Contudo, a necessidade de dados para um planejamento eficiente da distribuição de mercadorias no meio urbano torna necessário um grande empenho para a coleta de dados.

É importante mencionar que não existem soluções prontas ou fórmulas de sucesso para os diversos problemas oriundos do transporte de cargas no ambiente urbano. Sendo assim, qualquer que seja a estratégia escolhida para a mitigação destes problemas ela deve ser desenvolvida seguindo as características locais de cada região e, sobretudo, visando estabelecer uma coerência entre os objetivos conflitantes dos diversos atores que compõem o ambiente urbano.

Por fim, é fundamental para o sucesso de qualquer medida a participação de todos os interessados no processo de distribuição de carga, permitindo selecionar soluções que atendam às necessidades de uma ampla gama de usuários. Para tanto, indica-se a formulação de fóruns e workshops para debate entre todos os atores da logística urbana local. Para estudos futuros indica-se investigar a adesão de transportadores e varejistas à utilização de um centro de distribuição urbano e as entregas fora do horário de pico.

Agradecimentos
Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) pelo apoio financeiro concedido aos projetos que subsidiaram o desenvolvimento deste trabalho.

REFERENCIAS

Allen, J., Anderson, S., Browne, M., e Jones, P. (2000) Report 1: Approach taken to the project A. *A framework for considering policies to encourage sustainable urban freight traffic and goods/service flows*.

Álvares, P. M. F., Coelho, P. P., e H. A. de Souza. (2016) Os desafios da mobilidade urbana nas cidades históricas: o contexto da elaboração do plano de mobilidade urbana da cidade de ouro preto - MG. *Pluris*, *7*, 1–12.

Alves, R., Lima, R. ., e Oliveira, L. . (2016) O Enfoque Ambiental Do City Logistics: Uma Revisão De Literatura. *7° Congresso Luso Brasileiro para o Planejamneto Urbano, Regional , Integrado e Sustentável*.

Anderson, S., Allen, J., e Browne, M. (2005) Urban logistics - How can it meet policy makers' sustainability objectives? *Journal of Transport Geography*, *13*(1 SPEC. ISS.), 71–81. doi:10.1016/j.jtrangeo.2004.11.002

Arantes, P. P., Alves, R., e Lima, J. P. (2015) Transporte Urbano De Cargas : Recebimento De Mercadorias Na Região Central De Itajubá-MG. *XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção*.

Bertazzo, Tabata, R., Hino, C., Tacla, D., e Yoshizaki, H. T. Y. (2015) Estudo de Caso: Entregas Noturnas na cidade de São Paulo. *XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da Anpet OURO PRETO*, (1), 1995–2006.

Brasil. (1989) Lei N° 2.487, de 11 de abril de 1989. Obtido de https://saojoaodelreitransparente.com.br

Brasil. (2012) Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012. Institui as diretrizes da Poltica Nacional de Mobilidade Urbana. *Diário Oficial da União*.

Calabrese, F., Diao, M., Di Lorenzo, G., Ferreira, J., e Ratti, C. (2013) Understanding individual mobility patterns from urban sensing data: A mobile phone trace example. *Transportation Research Part C:*

Emerging Technologies, *26*, 301–313. doi:10.1016/j.trc.2012.09.009
Correia, V. de A., Oliveira, L. K., e Matheus, G. R. (2010) Perspectivas para a melhoria da distribuição urbana de mercadorias. *Xxiv Anpet*, 12.
Crainic, T. G., Ricciardi, N., e Storchi, G. (2004) Advanced freight transportation systems for congested urban areas. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, *12*(2), 119–137.
Crainic, T. G., e Sgalambro, A. (2014) Service network design models for two-tier city logistics. *Optimization Letters*. doi:10.1007/s11590-013-0662-1
Dablanc, L. (2007) Goods transport in large European cities: Difficult to organize, difficult to modernize. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. doi:10.1016/j.tra.2006.05.005
Dablanc, L., e Rodrigue, J. (2014) City Logistics : Towards a Global Typology. *Transport Research Arena 2014*, 10.
Denatran. (2017) Frota de Veículos 2017. Obtido de http://www.denatran.gov.br/estatistica/610-frota-2017
Fontes, O. L. J. (2005) A carga na cidade: hoje e amanhã. *Revista dos Transportes Públicos - ANTP*.
Furquim, T. S. G., Vieira, J. G. V., e Carvalho, N. L. A. de. (2016) Desafios Logísticos e Restrições da Distribuição de Carga Urbana em Cidades de Médio Porte: O Caso de Sorocaba. *XXIX ANPET - Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte e Ensino*.
Gil, A. C. (2008) *Métodos e técnicas de pesquisa social*. (Atlas, Ed) (6º ed, Vol. 264).
Giuliano, G., O'Brien, T., Dablanc, L., Holliday, K., e Giuliano Genevieve , O'Brien Thomas, D. L. and H. K. (2013) *Synthesis of Freight Research in Urban Transportation Planning*. *Washington: National Academy of Sciences*. doi:10.17226/22573
Holguín-Veras, J., Amaya-Leal, J., Wojtowicz, J., Jaller, M., González-Calderón, C., Sánchez-Díaz, I., Wang, X., Haake, D. G., Rhodes, S. S., Frazier, R. J., Nick, M. K., Dack, J., Casinelli, L., e Browne, M. (2015) *Improving Freight System Performance in Metropolitan Areas: A Planning Guide*. doi:10.17226/22159
IBGE. (2010) Censo Demográfico. Obtido de http://censo2010.ibge.gov.br
Kijewska, K., e Iwan, S. (2016) Analysis of the Functioning of Urban Deliveries in the City Centre and its Environmental Impact Based on Szczecin Example. *Transportation Research Procedia*.
Lindholm, M., e Behrends, S. (2012) Challenges in urban freight transport planning - a review in the Baltic Sea Region. *Journal of Transport Geography*. doi:10.1016/j.jtrangeo.2012.01.001
Odette van de, R., Gerard de, J., e Warren, W. (2007) Drivers of Freight Transport Demand and their Policy Implications. *Building Blocks for Sustainable Transport*, 73–102. doi:doi:10.1108/9780857245168-005\r10.1108/9780857245168-005
Oliveira, L. K. de. (2013) Uma Revisão Sistemática da Literatura Científica em Logística Urbana no Brasil. *XXVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, 12.
Oliveira, L. K. De. (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*.
Oliveira, L. K. De, Braga, A. D. S., e Abreu, B. R. A. (2010) Relevant attributes in overnight goods delivery : researchers ', transporters ' and retailers ' preference in urban distribution. *12th WCTR*, (January), 11–15.
Sanches Junior, P. F. (2008) Logística de Carga Urbana: uma análise da realidade brasileira. *Tese de Doutorado*, 239.
Santos, A., Castro, A., Neponucena, F., e Nonato, L. (2015) Menos de 30% das principais cidades brasileiras possuem Plano de Mobilidade Urbana. *Revista NTU urbano*, *3*(13), 14–19.
SEEG. (2015) Tabela Geral de Emissões. Obtido de http://www.seeg.eco.br/tabela-geral-de-emissoes
Sinay, M. C. F. de, Campos, V. B. G., Dexheimer, L., e Novaes, A. G. (2004) Distribuição de carga urbana: Componentes, restrições e tendências. *Rio de Transportes II*, 9.
Taniguchi, E., Thompson, R. G., e Yamada, T. (2012) Emerging Techniques for Enhancing the Practical Application of City Logistics Models. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. doi:10.1016/j.sbspro.2012.03.087
Taniguchi, E., Thompson, R. G., e Yamada, T. (2014) Recent Trends and Innovations in Modelling City Logistics. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. doi:10.1016/j.sbspro.2014.01.1451
Taniguchi, E., Thompson, R. G., Yamada, T., e van Duin, R. (2001) Network Modelling and Intelligent Transport System Book. *Pergamon*.
Ukkusuri, S. V., Ozbay, K., Yushimito, W. F., Iyer, S., Morgul, E. F., e Holgu??n-Veras, J. (2016) Assessing the impact of urban off-hour delivery program using city scale simulation models. *EURO Journal on Transportation and Logistics*. doi:10.1007/s13676-015-0079-3
Zambuzi, N. de C., Cunha, C. B., Blanco, E., Yoshizaki, H. T. Y., e Carvalho, C. D. R. (2013) An evaluation of environmental issues in urban distribution. *XXVII ANPET*, 12.
Zanirato, S. H. (2008) Mobilidade nas Cidades Históricas e a Proteção do Património Cultural. *Revista Eletrónica de Turismo Cultural*, *2*(2), 1–16.

INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS NOS PROBLEMAS DE LOGÍSTICA URBANA

Flávio Irã Godinho Junior
Lílian dos Santos Fontes Pereira Bracarense
Engenharia Civil
Universidade Federal do Tocantins
Milena Luiza Ribeiro
Fernanda Martins Milhomem
Betty Clara Barraza De La Cruz
Arquitetura e Urbanismo
Universidade Federal do Tocantins

RESUMO
A logística urbana eficiente é fundamental para o bom desenvolvimento econômico de uma cidade conciliado a uma boa qualidade de vida de seus moradores. No entanto, muitas vezes existem empecilhos ao bom funcionamento e ordenamento da distribuição de mercadorias, dentre eles encontramos causas relacionadas não apenas com o aumento de veículos de carga, mas também às caraterísticas urbanísticas como o zoneamento da cidade, seu processo de ocupação das infraestruturas existentes e principalmente às condições e características do sistema viário da região. Neste trabalho são apresentados estudos feitos em duas áreas comerciais da cidade de Palmas-Tocantins, no centro e Taquaralto, que demonstram as interferências das características urbanísticas no recebimento de mercadorias pelos varejistas locais.

ABSTRACT
The efficiency on city logistics is fundamental for the good economic development of a city combined with the good quality of life of its residents. However, there are often obstacles to the good functioning and ordering of the distribution of goods, among them we find causes related not only to the increase of cargo vehicles, but also to the urban characteristics such as zoning of the city, its occupation process of existing infrastructures and mainly to the conditions and characteristics of the region's road system. This paper presents studies carried out in two commercial areas of the city of Palmas-Tocantins, in the center and Taquaralto, which show the interference of urban characteristics in the reception of merchandise by local retailers.

1. INTRODUÇÃO

O transporte de mercadorias no meio urbano se tornou um problema para as grandes cidades devido aos impactos dessa atividade no mesmo, como os congestionamentos, degradação das vias, inacessibilidade, entre outros. Benjelloum e Craniac (2009) apontam que o número de veículos de carga circulando nas cidades está crescendo, e enfatizam que é esperado que eles continuem a aumentar. Tendo em vista esse aumento, entende-se que para comporta-lo, devem-se estudar os problemas e encontrar soluções para o atendimento tanto da demanda atual, quanto da demanda futura, visando a eficiência da logística urbana.

Os problemas de logística urbana estão relacionados não somente com o aumento do fluxo de veículos de carga, mas também com as características urbanísticas como a disposição dos usos do solo, forma e expansão do local, características das vias que suportam o fluxo do transporte de mercadorias e das regulamentações referentes ao trânsito de veículos de carga. Em seu estudo Lima Júnior (2011) comenta a incompatibilidade da estrutura interna das cidades com o transporte urbano de mercadorias e o atraso no desenvolvimento das políticas públicas e ações que visam melhorar a logística urbana com relação ao aumento do transporte de mercadorias da cidade.

Ao estudar a morfologia urbana da cidade de Palmas no Tocantins, Godinho Júnior (2017)

verificou que as características urbanísticas da cidade estavam relacionadas aos problemas para o transporte de mercadorias na mesma, dentre elas está a concentração de atividades em uma só região, o espraiamento urbano e inadequações da estrutura viária ao transporte de mercadorias. Lima Júnior (2011) também aponta como causa essencial dos problemas a estrutura urbana e o comportamento de seus habitantes, além disso comenta sobre a falha do poder público em acompanhar o crescimento das novas demandas.

Tendo em vista os problemas relacionados à logística urbana encontrados pelos autores citados, propõe-se analisar na cidade de Palmas - Tocantins a interferência de suas características urbanas no transporte de mercadorias, considerando o trânsito de veículos e as operações de carga e descarga, a partir da comparação entre duas regiões da cidade que apresentam morfologias distintas, o centro e Taquaralto, por meio da ótica dos varejistas. Buscou-se encontrar diferenças entre os problemas de logística urbana destas regiões e verificar a relação destes com as características urbanísticas de cada uma.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Desde a Segunda Guerra Mundial, a logística em geral tem apresentado uma contínua evolução na morfologia do trânsito urbano e no seu conceito funcional (Silva e Ferreira, 2016). A logística urbana, em específico, busca mecanismos para a aprimoração da distribuição de mercadorias no meio urbano. Taniguchi (2011) explica que a logística urbana trata da forma como são realizadas as entregas de mercadorias no meio urbano, junto a estratégias com intuito de melhorar a eficiência da distribuição evitando os problemas relacionados a falta de um planejamento adequado da logística urbana.

A logística trata de todas as atividades de movimentação e armazenagem, que facilitam o fluxo de produtos desde o ponto de aquisição da matéria-prima até o ponto de consumo final, assim como dos fluxos de informação que colocam os produtos em movimento, com o propósito de providenciar níveis de serviço adequados aos clientes a um custo razoável (Ballou, 1993). Como resultado da negligência com a logística urbana tem-se um cenário complexo com alta competitividade nos serviços de distribuição acarretando problemas de acessibilidade ao espaço da cidade e as suas atividades urbanas, poluição sonora, acidentes, stress, dentre outros (Silva e Ferreira, 2016).

Segundo Mendonça e Frazzon (2014) o tema “logística urbana” começou a ganhar importância somente no final do século XX. Crainic *et al*. (2009) comentam ter sido a década de 70 de intensa atividade relacionada ao assunto, período em que surgiram as primeiras regulamentações para o tráfego de veículos pesados no meio urbano visando mitigar os impactos da distribuição urbana de mercadorias no deslocamento dos automóveis, porém após esse período poucas atividades relacionadas ao tema foram registradas, até a década de 90 quando os problemas relacionados ao tráfego de veículos e a pressão pública colocaram a logística urbana em evidência outra vez.

Como reflexo da fabricação em massa inaugurada pela produção industrial no século XX, ocorreu o crescimento e a modernização das cidades que trouxeram, além de suas inovações estéticas dentro do conceito urbanístico, novas necessidades de consumo (Silva, 2012) que utilizariam novas tecnologias e aplicações tecnológicas motivando a busca por diferentes formas de realizar a distribuição de mercadorias (Oliveira, 2007). Dessa forma, verificou-se a necessidade de se promover o planejamento urbano nas grandes cidades com base nos

conceitos de urbanismo, sem deixar de levar em conta as questões da movimentação de carga e os diferentes grupos que atuam em sua distribuição (Silva, 2012).

Ogden (1992, 1997) enumerou problemas relacionados à movimentação de cargas em zonas urbanas relacionados às características viárias. Entre os principais, encontram-se:

a) Congestionamentos: devido às dimensões, taxas de aceleração/desaceleração, carregamento/descarregamento nas vias; o nível de tráfego interfere no progresso do fluxo causando atrasos). Esse tipo de problema afeta os custos operacionais, que inclui: custos de tempo, especialmente de salários; custos de operações dos veículos; custos de acidentes, entre outros;
b) Deficiências na malha viária: causadas por falhas de projeto e baixa manutenção, incluindo: vias estreitas; manutenção insatisfatória do pavimento; interseções com leiautes inadequados (curvas com geometria inadequadas, questões com a superlargura e/ou superelevação); obras de arte mal projetadas (como pontes); espaço inadequado para equipamentos e árvores;
c) Projetos de interseções e sinalizações: adequados raios de giro para não gerar transtornos às conversões e à programação semafórica;
d) Estacionamento e carregamento/descarregamento: transtornos provocados pelas obstruções das vias que, por sua vez, causam acidentes e/ou atrasos – se as vagas destinadas são ocupadas por outros tipos de veículo isso pode aumentar a distância até o ponto de destino, tendo a descarga que usar outros equipamentos (como, por exemplo, carrinhos-de-mão); isso provoca diminuição de produtividade. Além disso, a permissão de estacionamentos só se dá, geralmente, para áreas não-residenciais.

De um ponto de vista mais operacional, Ogden (1992) também apresenta algumas soluções estratégicas de planejamento e de projetos voltados à movimentação da carga. Geralmente, dividem-se em quatro tipos:

1. Medidas voltadas à malha viária: para que se tenha um aumento na efetividade da rede viária, as seguintes questões devem ser seguidas: a malha deverá servir aos maiores geradores de tráfego de caminhões; a malha deverá estar conectada (o máximo possível) ao maior número de retornos; as ruas deverão ter boas condições de pavimento e de geometria (leiaute); adequação das estruturas existentes e retirada dos obstáculos; a existência de rotas especiais para determinadas classes de veículos (veículos que transportam grandes equipamentos, os de carga perigosa etc.);
2. Medidas voltadas ao nível local: essas medidas englobam controles de acesso e a geometria das interseções, bem como a sinalização (permissão de rotas, janelas de tempo, linhas exclusivas etc.);
3. Medidas voltadas aos estacionamentos e carregamento/descarregamento: para que os caminhões não estacionem inadequadamente no meio-fio, facilidades de estacionamento devem ser providenciadas (também chamadas *on-street park*), as quais incluem: criações das zonas específicas para carregamento e descarregamento em pontos estratégicos; proibição de estacionamento de outros tipos de veículos, mas a permissão para se parar e fazer entregas; zonas de carregamento em determinados períodos do dia;
4. Remoção de barreiras físicas aos movimentos: isso deverá facilitar o fluxo e a operação dos caminhões. Algumas delas incluem: remoção ou relocação de

equipamentos viários; modificação de pontes ou alteração de rotas; melhorias no pavimento para que haja diminuição de vibração e poluição, bem como os danos à carga.

Cada cidade município ou região urbanizada, apresenta características que se desenvolveram baseadas em vários fatores socioeconômicos, ambientais, políticos, logísticos, entre outros, que influenciaram no seu desenho urbano e na forma de expansão, os quais são exemplos das características urbanísticas que determinam e/ou configuram o espaço urbano. A análise de tais características pode ser usada para identificar a situação de certos aspectos da cidade (Godinho Júnior, 2017).

Pouyanne (2005) mostra que a partir da identificação, quantificação e/ou qualificação das características urbanísticas, como a forma e a expansão urbana, é possível identificar como tais particularidades se relacionam com o meio urbano, além da forma como elas afetam umas às outras. O autor ainda destaca que a influência da forma urbana sobre os padrões de mobilidade pode ser medida através da densidade de diferentes aspectos, como a quantidade de atividades comerciais por área e sua influência nos padrões de viagem, como a demanda por serviços de distribuição urbana de mercadorias.

De um modo geral nota-se que o conceito de logística se forma a partir do estágio de urbanização e das características morfológicas urbanas, portanto cada cidade está em um determinado nível específico (Silva e Ferreira, 2016). Sendo assim, é possível verificar que qualquer que seja a estratégia escolhida para a resolução dos problemas da logística urbana, ela deve ser desenvolvida seguindo as singularidades locais de cada região, visando estabelecer uma concordância entre os objetivos conflitantes dos diversos atores envolvidos no processo de distribuição de cargas (Correia *et al*., 2010).

2.1 Características urbanísticas das áreas em estudo

Palmas é a última capital brasileira implantada tendo sido projetada por arquitetos e urbanistas integrantes do Grupo Quatro. De acordo com Velasques (2010) e informações obtidas no plano diretor inicial da cidade, seu sítio urbano foi escolhido por sua extensa faixa de terra com baixas declividades, por seus limites claramente definidos pela Serra do Lajeado e o lago do rio Tocantins e ainda por sua forte identidade paisagística. Com a intenção de obter um enquadramento urbanístico e paisagístico perfeito, aliando beleza cênica e funcionalidade, adotou-se uma malha viária ortogonal, conformando a clássica "grelha" justificada pelos autores do projeto como uma opção mais econômica, de fácil adequação ao sítio e com grande legibilidade. Deste modo, o sistema viário básico e o macro parcelamento das quadras assumiram a condição de elementos motivadores da ocupação urbana de Palmas.

Conforme proposto no plano diretor da capital tocantinense, o sistema viário seria estabelecido por dois eixos principais: um no sentido norte-sul, formado pela Avenida Teotônio Segurado, e outro no sentido leste-oeste, representado pela Avenida Juscelino Kubitschek. A partir destes eixos estruturantes surgiriam paralela e perpendicularmente as avenidas arteriais que em seus cruzamentos inscrever-se-iam rotatórias dimensionadas segundo o tráfego e a densidade de cada área (Velasques, 2010). No entanto verifica-se no estudo feito por Godinho Júnior (2017) que os raios praticados nas rotatórias não são satisfatórios para os tipos de veículos que são permitidos transitarem nas mesmas, gerando pontos de criticidade à logística urbana em várias regiões como o centro e as áreas comerciais

da cidade.

O processo de ocupação de Palmas não ocorreu do modo como planejado devido a problemas relacionados à especulação imobiliária, o que deu à cidade algumas particularidades como se pode ver nos resultados obtidos por estudos de Marques (2016). Foi verificado que a cidade possui uma característica espraiada com a presença de grandes vazios urbanos devido ao seu processo de ocupação, percebeu-se também o surgimento de outros centros urbanos além do principal caracterizando assim o policentrismo da cidade. Dentre os centros observados pelo autor, está a região de Taquaralto.

Taquaralto é um dos bairros pertencentes à região Palmas Sul, conhecido pelo forte comércio emancipado do centro da capital. A região abriga, de acordo com o Caderno Palmas Minha Cidade (2009), cerca de 14% da população de Palmas. De acordo com os moradores da região, o histórico habitacional do local se inicia nos anos 70 por meio de famílias vindas do Piauí e do Maranhão que se instalaram entre as rodovias que ligavam Taquaruçu e Porto Nacional, formando um povoado denominado Entroncamento que servia como ponto de apoio para as linhas de ônibus que passavam. O vilarejo possuía poucos habitantes e entre 1976 e 1978 foi batizado com o nome atual pelos habitantes. Quando Palmas foi implantada o local passou a ser distrito da capital e durante a sua construção recebeu e hospedou as pessoas que vieram aqui trabalhar. Após a edificação da cidade, o processo de ocupação da região aumentou consideravelmente, pois devido ao rígido controle do acesso a área urbana de Palmas e aos altos preços das terras centrais, parte da população buscava morar nestes bairros satélites como Taquaralto.

A região de Taquaralto apresenta uma densidade de atividades comerciais pouco menor que as observadas no centro de Palmas. Quanto à rede viária também se observa a presença de vias críticas ao transporte de mercadorias, porém sem apresentar valores altos como os das rotatórias, uma vez que nessa região observa-se que a maioria das intersecções não são rotatórias.

É possível observar as diferenças entre o desenho urbano e da malha viária entre as duas regiões (Figuras 1 e 2). Enquanto no centro de Palmas é possível identificar quadras bem divididas, com vias de acesso pelas avenidas que contornam essas quadras e essas com pistas grandes com até 3 faixas de rolamento e duplicadas, em Taquaralto vemos quadras com tamanhos mais variados e uma malha viária com avenidas mais estreitas.

3. METODOLOGIA

O procedimento seguido para a obtenção dos resultados iniciou com a identificação das características de densidade populacional e densidade de atividades comerciais. Também foram levantados dados referentes a largura das vias, situação das intersecções, existência de regulamentação de acesso e existência de vagas de carga e descarga. No intuito de avaliar a percepção dos varejistas sobre os problemas associados a entrega de mercadorias, foi aplicado um questionário para os lojistas das regiões do centro de Palmas e da região de Taquaralto.

As informações necessárias foram buscadas junto a estudos já existentes da cidade de Palmas, onde a partir de dados obtidos com a prefeitura da cidade de Palmas e da utilização da ferramenta QuantumGIS de geoprocessamento gratuita e GoogleMaps, autores como Marques (2016) e Godinho Júnior (2017) estudaram as características citadas anteriormente. Já o

questionário foi elaborado e aplicado, *in loco* entre os meses de março e abril de 2017, por alunos de pesquisa e extensão da Universidade Federal do Tocantins, dos cursos de Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo.

Os dados de densidade populacional foram estudados por Marques (2016) que identificou o número de habitantes por hectare a nível de quadra, verificando assim a diferença de densidade entre as regiões de Palmas e chegando a conclusões referentes às características urbanísticas da cidade.

Godinho Júnior (2017) elaborou mapas de densidade de atividades comerciais por hectare, a nível de quadra, para identificar as regiões que possuem maior demanda de abastecimento de mercadorias. O autor atribuiu um nível de criticidade ao trânsito de veículos de carga para as características das vias de Palmas e elaborou um mapa final com a criticidade geral das vias cruzado com a densidade de atividades comerciais. As atribuições dos índices de criticidade utilizados pelo autor estão apresentadas na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1: Grau de criticidade de parâmetros que influenciam na logística urbana

Parâmetro	Medidas	Explicação
Largura da via e situação das rotatórias de Palmas	Grau de Criticidade: 1,00 se L <=2,50 0,75 se L]2,50 – 3,00[0,50 se L [3,00 – 3,25[0,00 se L >= 3,25	Os valores de criticidade serão atribuídos a partir do resultado da divisão da largura da via pelo número de faixas de rolamento resultando na largura média das faixas de rolamento (L). Para as rotatórias a partir da análise dos raios praticados com o tipo de veículo que transita por elas.
Existência de regulamentação de acesso de veículos de grande porte	Grau de Criticidade: 1,00 – Permitido o trânsito de veículos maiores que 12 (sem janela de horários) 0,50 – Permitido o acesso de veículos de até 12 metros e veículos maiores em horários determinados 0,25 – Permitido o acesso de veículos de carga de até 7 metros de comprimento 0,00 – Não é permitido o acesso de veículos de carga	A criticidade da via é afetada pelo tipo de veículo de carga que é permitido transitar e estacionar nela.
Criticidade da Via	Grau de Criticidade [0,00 – 0,15[– Não crítica [0,15 – 0,25[– Baixa [0,25 – 0,40[– Média [0,40 – 0,65[– Alta [0,65 – 1,00] – Muito Alta	A média do grau de criticidade dos parâmetros anteriores

Fonte: Elaborado por Godinho Júnior (2017)

O mapa referente à característica de densidade de atividades comerciais junto a criticidade das vias de Palmas elaborado por Godinho Júnior (2017) está representado na Figura 1 com diferenciação das vias quanto a sua criticidade, esta variando de 0 a 1, e destaque das diferentes faixas de densidade de atividades comerciais. Por meio do mapa apresentado na

Figura 1, foi elaborado outro mapa que destaca a região de Taquaralto, representado pela Figura 2.

A fim de avaliar as possíveis influências da morfologia urbana nas atividades de carga e descarga, foram entrevistados 133 varejistas na região central de Palmas e 119 varejistas na região de Taquaralto. Os entrevistados foram em sua maioria pessoas responsáveis pelo controle de mercadorias das lojas de varejo, como administradores, gerentes, proprietários, chefe do departamento de mercadorias, entre outros cargos semelhantes.

Posteriormente aos estudos feitos e à aplicação dos questionários, partiu-se para uma etapa de análise dos dados obtidos, utilizando os softwares Excel e SPSS, versão 21.0, verificando quais os tipos de problemas encontrados em cada local em relação aos aspectos do trânsito de veículos e das operações de carga e descarga de acordo com a ótica dos varejistas, e de que forma as características morfológicas de cada espaço colaboram para suas ocorrências.

4. RESULTADOS

Os mapas a seguir (Figura 1 e Figura 2) informam a densidade de atividades comerciais e criticidade das vias ao trânsito de veículos de carga.

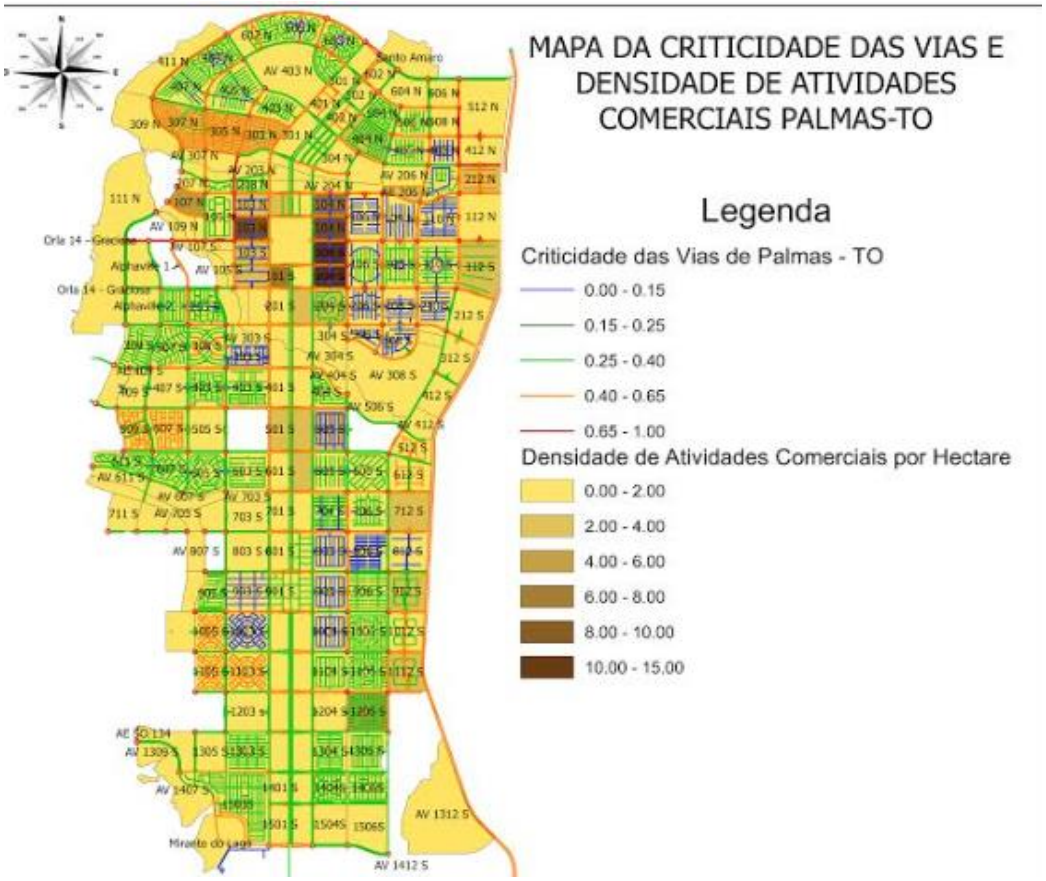


Figura 1: Mapa da criticidade das vias e densidade de atividades comerciais na área central de Palmas. Fonte: Godinho Júnior (2017)

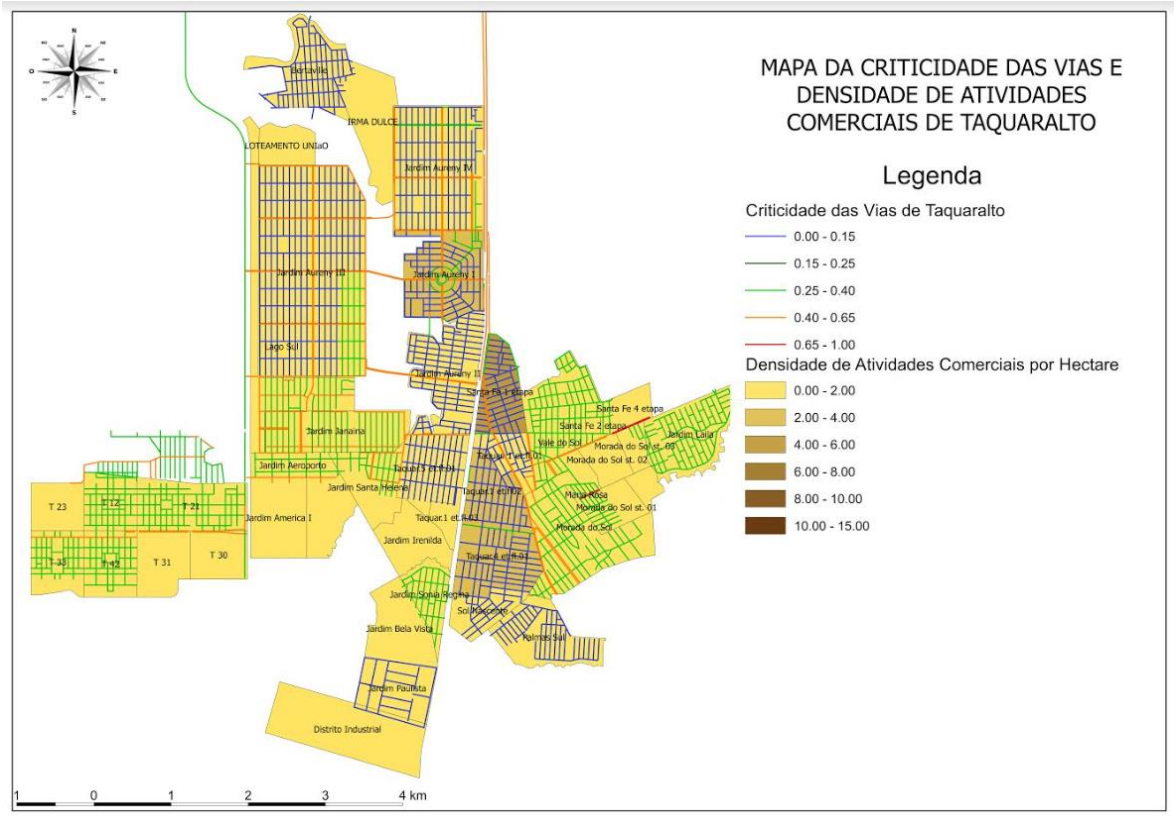


Figura 2: Mapa da criticidade das vias e densidade de atividades comerciais de Taquaralto.
Fonte: Godinho Júnior (2017)

É possível observar no mapa, apresentado na Figura 1, uma grande concentração de atividades comerciais no centro da cidade e que essas regiões, mesmo apresentando um valor maior de densidade, possuem em seu entorno vias consideradas críticas ao transporte urbano de mercadorias, podendo serem destacadas as rotatórias que conectam as vias dessa região. As rotatórias, devido a inadequações em seu raio de giro de acordo com as dimensões dos veículos com trânsito permitido, possuem alto grau de criticidade.

O destaque da região de Taquaralto quanto ao estudo de densidade de atividades comerciais e criticidade das vias à logística urbana apresentado na Figura 2 nos mostra que há regiões de alta demanda de abastecimento de mercadorias e vias de alta criticidade, mas percebe-se a diferença entre o desenho da malha viária quando comparada a região central de Palmas, o desenho das quadras não segue a característica regular que encontramos nas quadras de Palmas. Em Taquaralto, a alta criticidade ocorre devido à largura das vias.

Importante comentar também que enquanto no centro existem bolsões de estacionamento para veículos menores ou iguais a 7 metros de comprimento a região de Taquaralto não apresenta este elemento que auxilia ao pensarmos na interferência dos modos de transporte. Em Taquaralto os veículos de carga disputam as vagas com os veículos menores, além de que qualquer veículo estacionado na via ocasiona em obstrução dela. Dentre os problemas observados está o não cumprimento das regras da cidade quanto à regulamentação de acesso.

Para avaliar a interferência da morfologia urbana nas operações de carga e descarga, foram

aplicados 252 questionários, sendo 133 no centro e 119 em Taquaralto. A Figura 3 mostra os setores de atuação dos estabelecimentos pesquisados de acordo com a localidade.

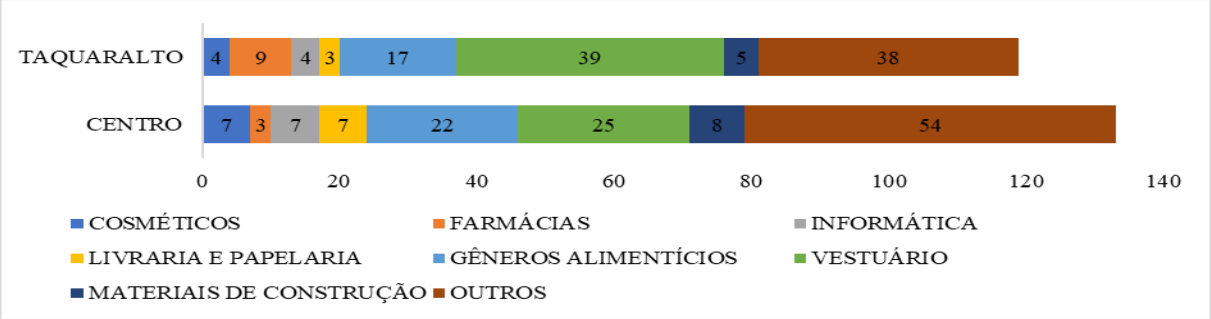


Figura 3: Setores de atuação dos estabelecimentos pesquisados.

No que concerne aos tipos de veículos utilizados para receber as mercadorias nos estabelecimentos (Figura 4), constatou-se que o centro de Palmas e Taquaralto não apresentam diferenças significativas entre os tipos de veículos utilizados. Nessas localidades, a maior parte dos recebimentos são feitos por caminhão semi-leve (3,5 – 6 T), caminhão médio (10 – 15 T), vans e caminhão semi-pesado (15 – 40 T).

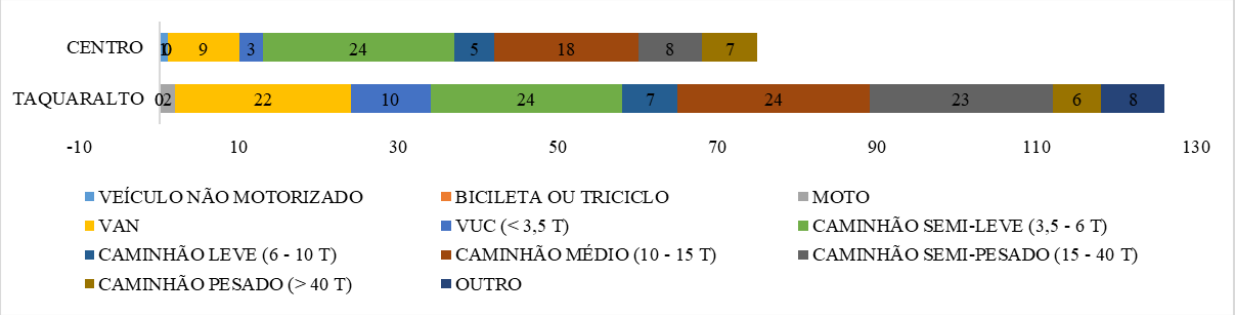


Figura 4: Tipos de veículos utilizados para o transporte de mercadorias.

Em relação ao dia com maior número de recebimentos (Figura 5), observa-se que no centro 20% afirmaram ser na terça e quarta-feira, outros 15% afirmaram ser na segunda e quinta-feira e 14% na sexta-feira. Em Taquaralto, 20% dos entrevistados afirmaram que o dia de maior número de recebimentos é na segunda-feira, outros 16% afirmaram que é na quarta-feira, 15% na quinta e sexta-feira e 14% na terça-feira. Nas duas localidades, sábado e domingo foram os dias que menos foram citados como dia de maior recebimento.

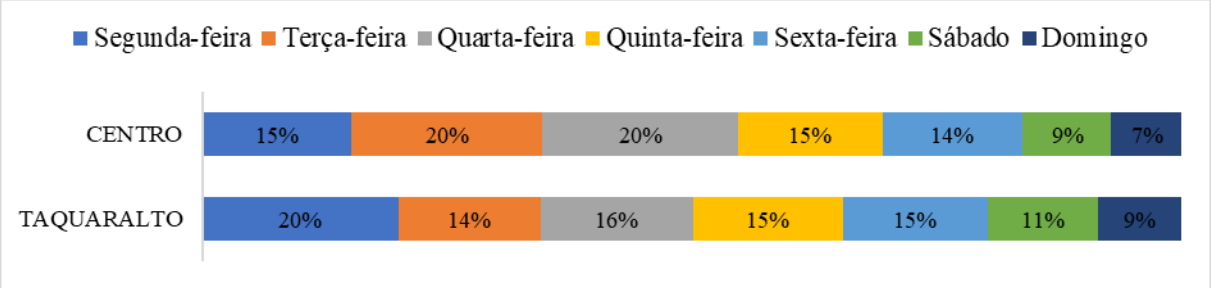


Figura 5: Dia da semana com maior número de recebimentos.

Conforme a Figura 6, o horário com maior número de recebimentos ocorre pela manhã e tarde. Em Taquaralto, 50% dos recebimentos ocorrem a tarde, 44% pela manhã enquanto que

no centro 52% dos recebimentos ocorrem no período da manhã e 41% a tarde. Isso indica que o recebimento noturno ou na madrugada não é uma prática comum na região.

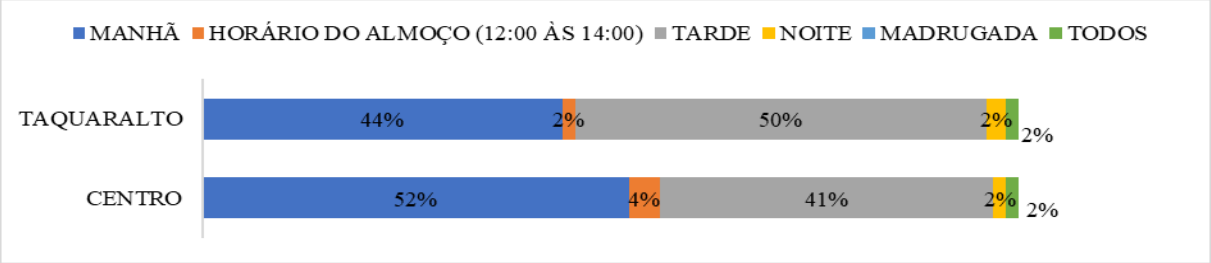


Figura 6: Horário com o maior número de recebimentos.

Através da Figura 7 observa-se que nas duas localidades a maior parte das descargas são feitas utilizando o estacionamento da via. Entretanto, em Taquaralto 93% utilizam o estacionamento da via e no centro 63% adotam a mesma prática e outros 25% afirmam utilizar as vagas de carga e descarga. Então, essa diferença pode estar relacionada a quantidade de vagas para carga e descarga existentes na região central de Palmas.

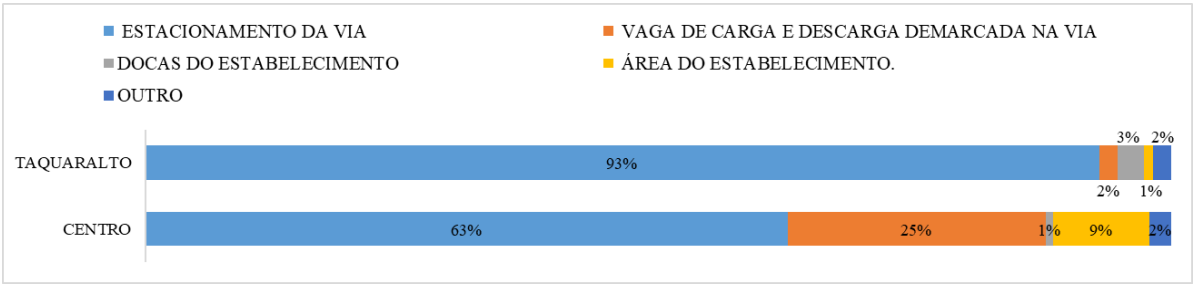


Figura 7: Local de descarga para recebimento.

Observa-se que, com exceção do local de descarga para recebimento, o perfil de entrevistados nas duas regiões é semelhante. Para identificar os problemas relacionados à operação de carga e descarga, foi solicitado aos respondentes que classificassem o grau de impacto que algumas restrições ofereciam ao recebimento de mercadorias, com notas de 0 a 10, sendo 10 o valor para impacto muito alto. A Tabela 2 apresenta os resultados encontrados:

Tabela 2: Percepção das restrições locais pelos respondentes de Taquaralto e do Centro.

Restrições locais		Centro	Taquaralto
Falta de local para recebimento de mercadorias (disponibilidade de vagas)	Média	5,4	6,2
	Desvio Padrão	3,7	3,6
Dificuldade em movimentar as mercadorias desde o ponto de recebimento até o local desejado	Média	3,0	5,1
	Desvio Padrão	3,3	3,6
Trânsito intenso no período de recebimento	Média	4,8	6,6
	Desvio Padrão	3,6	3,3
Falta flexibilidade para recebimento em outro horário	Média	3,5	4,1
	Desvio Padrão	3,5	3,6
Baixa quantidade de empregados auxiliando no recebimento	Média	3,1	3,6
	Desvio Padrão	3,4	3,4

Fonte: Elaborado pelo autor

Observa-se na Tabela 2 que as maiores diferenças de percepção entre os respondentes da

região central e da região de Taquaralto aparecem em relação as restrições de “Falta de local para recebimento de mercadorias”, “ Dificuldade em movimentar as mercadorias desde o ponto de recebimento até o local desejado” e “Trânsito intenso no período de recebimento”. Nos três casos, a restrição é percebida com maior impacto na região de Taquaralto. A análise fatorial, apresentada Tabela 3, demonstrou que as três restrições mencionadas são correlacionadas, nas duas regiões de análise, e foram identificadas como características locacionais que influenciam na operação de recebimento.

Tabela 3: Análise fatorial das restrições.

Centro		Taquaralto	
Fatores	Variáveis	Fatores	Variáveis
Características locacionais que influenciam na operação de recebimento	Falta de local para recebimento de mercadorias (disponibilidade de vagas)	Características locacionais que influenciam na operação de recebimento	Falta de local para recebimento de mercadorias (disponibilidade de vagas)
	Dificuldade em movimentar as mercadorias desde o ponto de recebimento até o local desejado		Dificuldade em movimentar as mercadorias desde o ponto de recebimento até o local desejado
	Trânsito intenso no período de recebimento		Trânsito intenso no período de recebimento
		Características operacionais do recebimento	Falta flexibilidade para recebimento em outro horário
			Baixa quantidade de empregados auxiliando no recebimento
Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adequação de amostragem = 0,697 Teste de esfericidade de Bartlett: Aprox. Qui-quadrado 67,441; gl 10; sig. 0,000		Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adequação de amostragem = 0,649 Teste de esfericidade de Bartlett: Aprox. Qui-quadrado 54,947; gl 3; sig. 0,000	

Fonte: Elaborado pelo autor

É importante ressaltar que essas características locacionais que foram avaliadas como mais impactantes em Taquaralto estão relacionadas com a infraestrutura viária disponível. Na região central existem bolsões de estacionamento em grande parte das vias comerciais, o que facilita a oferta de vagas e a movimentação da mercadoria. A terceira variável “Trânsito intenso no período de recebimento” também reflete a diferença da geometria viária entre as duas localidades, visto que as avenidas da área central são vias de maior capacidade (3 faixas por sentido), com estacionamento localizado nos bolsões, o que favorece a fluidez do tráfego. Considerando esses aspectos, a configuração viária de região central é mais favorável às atividades de carga e descarga.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho buscou-se identificar a influência da morfologia urbana nos problemas de logística urbana, principalmente no que diz respeito ao trânsito de veículos e operações de carga e descarga. Comparando-se duas regiões com morfologia distintas, verificou-se que vias estreitas com estacionamento contíguo à faixa de rolamento dificultam trânsito de veículos de maior porte. As interseções em forma de rotatórias devem ter raios de giro compatíveis com os veículos permitidos no local. As características locacionais também influenciam nas operações de carga e descarga, sobretudo em relação à configuração dos estacionamentos e posição de vagas de carga e descarga. A adoção de bolsões de estacionamento, como no caso

da área central de Palmas, mostrou facilitar as operações de recebimento, o que indiretamente impacta no tráfego de veículos na região.

Comprova-se que de fato as características urbanísticas de cada região serão condicionantes para o bom funcionamento do sistema de logística urbana local. Deste modo devem-se procurar meios para conciliar as peculiaridades existentes em cada local e as propostas e diretrizes de logística, buscando analisar a morfologia da cidade em questão e criar um sistema que se adeque a tal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ballou, R. H. (1993) *Logística Empresarial*: Transportes, administração de materiais e distribuição física. Atlas, São Paulo.

Benjelloun, A. e Crainic, T. G. (2009) Trends, challenges, and perspectives in city logistics. In: *AGIR Bulletin*, n. 4, p. 45-51.

Crainic, T. G.; Ricciardi, N. e Storchi, G. (2009) Models for Evaluating and Planning City Logistics Systems. *Transportation Science*. v. 43, n. 4, p. 432-454.

Correia, V. A.; Oliveira, L. K. e Mateus, G. R. (2010) Perspectivas para a melhoria da distribuição urbana de mercadorias. *Anais do XXIV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Salvador.

Godinho, F. I. Jr. (2017) *A influência da forma e expansão urbana no transporte de mercadorias em uma cidade de porte médio: Estudo de caso em Palmas-TO.* Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil), Universidade Federal do Tocantins. Palmas.

Jornal do Tocantins (2009) Cadernos Palmas Minha Cidade. Disponível em: < http://www.jornaldotocantins.com.br/palmasminhacidade>. Acesso em: 30 nov. 2010.

Lima, O. F. Jr. (2011) Inovação Frugal: A nova rota da logística urbana repensando estratégias e operações. *Revista Mundo Logística*. julho-agosto.

Marques, S. A. (2016) *A influência da forma de ocupação urbana na viabilidade financeira do sistema de transporte público por ônibus em cidades medias*. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil), Universidade Federal do Tocantins. Palmas.

Mendonça, L. H. S. e Frazzon, M. E. (2014) Logística urbana no contexto dos planos de mobilidade urbana para as cidades brasileiras e o caso de Florianópolis. *Anais do XXIV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Curitiba.

Ogden, K. W. (1992). *Urban goods movement: a guide to policy and planning*. Editora Ashgate, Inglaterra.

Ogden, K. W. (1997). Urban goods movement and its relation to planning, The Urban Goods and Freight Forecasting Conference, patrocinada pelo Federal Highway Administration, OffIce of Environment and Planning, Statewide and Intermodal Planning Division. New Mexico State University, outubro de 1997.

Oliveira, L. K. (2007) *Modelagem para avaliar a implantação de um sistema de distribuição de encomendas dentro dos conceitos de city logistics***.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina.

Pouyanne, G. (2005) *Land Use Mix and Daily: The case of Bordeaux*. Docteur és Sciencies Economiques. Université Montesquieu-Bordeaux.

Silva, F. O. e Ferreira, W. R. (2016) Logística Urbana e Planejamento Territorial: Uma Abordagem Política. *Revista Geográfica de América Central*, v. 1, n. 56, p. 39 - 55.

Silva, R. C. (2012) *Contribuição ao planejamento do transporte urbano de carga pela análise física do espaço urbano: Estudo da área da rua do catete e largo do machado no Rio de janeiro*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Taniguchi, E. (2011) Concept of logistics. In: Apresentação de slides de palestra do professor Taniguchi no *XXV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET. Disponível em: www.clubbrasil.org/download-3. Acesso em: 10 maio 2017.

Velasques, A. B. A. (2010) *A Concepção de Palmas e a sua Condição Moderna*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Zioni, S. (2009) *Espaços de carga na região metropolitana de São Paulo*. Tese de Doutorado. Universidade Federão de São Paulo.

AS NOVAS ESTRATÉGIAS LOGÍSTICAS UTILIZADAS PARA ATENDER A CLASSE C: UM ESTUDO SOBRE AS CONSEQUÊNCIAS URBANAS E AMBIENTAIS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

Pedro Augusto Parente Dias
José Geraldo Vidal Vieira
Hugo Yoshizaki
Universidade de São Paulo
Escola Politécnica

RESUMO
As pesquisas para o desenvolvimento de uma cidade mais sustentável, com menos trânsito e mais qualidade de vida, apontam a necessidade de elaboração de políticas voltadas para o transporte de carga. O crescimento econômico da Classe C trouxe consigo um aumento no fluxo comercial de redes de varejo localizadas nas áreas periféricas de São Paulo. Para viabilizar o atendimento da demanda, novas estratégias logísticas foram traçadas. Os impactos ambientais, sociais e econômicos precisam ser analisados com mais cautela para proferir diretrizes políticas favoráveis à eficiência do transporte de carga. Para tanto, foi feito um questionário aplicado a lojas de uma grande rede de varejo que se localizam dentro da Zona Máxima de Restrição de Circulação (ZMRC) e a lojas de pequenas redes de varejo que se localizam fora da ZMRC. Os resultados identificaram perfis diferentes de estratégias logísticas, com maior tempo de rota e maiores custos de transporte para o comércio que atende a classe C.

ABSTRACT
The findings of the researches for a more sustainable city, with less traffic and better quality of life, point to the need of new policies for the transport of cargo. The economic growth of Class C brought with it an increase in the commercial flow of retail networks located in the peripheral areas of Sao Paulo. In order to enable demand to be met, new logistic strategies were drawn up. The environmental, social and economic impacts need to be more carefully analyzed to provide policy guidelines favorable to the efficiency of cargo transportation. For this purpose, a questionnaire was applied to stores in a large retail network that are located within the Maximum Circulation Restriction Zone (ZMRC) and small retail stores that are located outside the ZMRC. The results identified different profiles of logistic strategies, with greater route time and higher transport costs for the trade that meets class C.

1. INTRODUÇÃO

A logística empresarial desperta o interesse tanto de empresas quanto do setor público. A tomada de decisões associadas à coordenação da cadeia de suprimentos pode reduzir os custos de uma empresa, mitigar os impactos ambientais e influenciar no planejamento urbano e territorial. Neste sentido, novas técnicas de diversas áreas do conhecimento, provenientes da matemática, estatística, tecnologia da informação e geografia são utilizadas para melhorar a eficiência da cadeia de suprimentos.

A logística empresarial possui três aspectos principais: armazenagem, localização e transporte, ou seja, o setor logístico vai definir os locais das instalações das empresas, quais os modais de transporte realizarão o transporte de mercadorias e o caminho percorrido pela mercadoria, desde as etapas da logística de aquisição de matérias-primas, até a distribuição de mercadorias aos clientes (BALLOU, 2010).

Com relação ao transporte de carga, a utilização dos conhecimentos geográficos para otimizar entregas urbanas é mais recente, e se intensificou diante da modernização tecnológica que trouxe novos recursos que enriquecem a análise geográfica. Os Sistemas de Informação

Geográfica (SIG) são úteis para traçar a melhor rota, rastrear a carga, auxiliar os motoristas na tomada de decisões, avaliar as estratégias logísticas traçadas pela empresa, e simular o efeito de regulamentações do poder público.

O escopo desse artigo se refere à última etapa da entrega de mercadorias em ambientes urbanos, também chamado de *last mile.* Para o estudo de caso sobre as estratégias logísticas utilizadas atualmente no varejo, a delimitação geográfica se refere à Região Metropolitana de São Paulo. Os objetivos desta pesquisa são: reconhecer e caracterizar os canais de distribuição de produtos para o varejo nas áreas periféricas da cidade; comparar o transporte de mercadorias em áreas centrais e periféricas; assinalar os principais fatores que levam a um maior número de quilômetros percorridos e a uma quantidade maior de poluentes emitidos.

A seção 2 deste artigo apresenta a importância da logística empresarial para as condições de transporte para as grandes cidades, principalmente para as classes C, D e E. A seção 3 trata especificamente de entregas de carga urbana, esclarecendo os principais desafios para as empresas e traz exemplos de diretrizes políticas que afetam o transporte de carga. A metodologia (seção 4) aplicada para atingir os objetivos envolve entrevistas, trabalhos de campo e um levantamento de dados sobre redes de varejo com diferentes características. Em seguida, são apresentados os resultados e as considerações finais.

2. A LOGÍSTICA E O PLANEJAMENTO URBANO EM GRANDES CIDADES

As condições do trânsito de São Paulo são problemáticas. Com uma frota de mais de 7.500.000 veículos e uma média de 200 mil carros vendidos por ano na cidade (MEYER, 2014), o município de São Paulo historicamente privilegiou o deslocamento de pessoas através de automóveis particulares, fato notável que complica a situação do tráfego (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011). O dinamismo econômico não só deste município, mas como da RMSP como um todo, contribui para um número elevado de deslocamentos: 43.700.000 diariamente, segundo dados da Pesquisa de Mobilidade do Metrô de São Paulo (2012). Esses números endossam a necessidade de melhoria do trânsito de São Paulo, com políticas planejadas voltadas para os diferentes setores que compõem o tráfego diariamente.

Adicionalmente à intensidade econômica da RMSP, a partir do final da década de 90 e começo dos anos 2000, o país vivenciou o crescimento de uma classe média, tipo “C”, a qual teve aumentado o seu poder aquisitivo em 40% aproximadamente, fato que levou ao aumento do fluxo comercial, trazendo novos desafios para a cadeia de suprimentos e também para as políticas de planejamento urbano (NERI, 2011). Reconhecer os canais de distribuição que atendem ao perfil de consumo dessa classe social é essencial para o planejamento de toda a cadeia de suprimentos.

Para Neri (2011), a pirâmide social do Brasil tem o formato de losango, pois a maior parte da população pertence à classe C, correspondente a famílias que possuem renda média mensal entre R$ 1200,00 e R$ 4500,00. Nos últimos 15 anos, grande parte da sociedade brasileira aumentou o seu poder aquisitivo, e muitos ascenderam das classes D e E para a classe C. Esta ascensão social de milhões de brasileiros impulsionou o mercado varejista, o qual aumentou os lucros e os fluxos comerciais. Dessa maneira, a logística que atende a esse crescente mercado deve ser bem planejada, já que o tráfego de veículos de carga influencia diretamente externalidades negativas, como congestionamento de vias e poluição do ar.

Vale ressaltar que, apesar da recessão dos últimos três anos, dados da APAS (2016) mostram que tanto o faturamento quanto o número de lojas varejistas continuaram crescendo apesar da queda do PIB nacional. Com relação às classes C, D e E, esses dados mostram que essas famílias respondem a 71% do consumo brasileiro, e há interesse por parte do empresariado em buscar formas específicas de atender a essa parcela da população.

As relações entre varejo e manufatura se tornam complexas à medida que aumenta o fluxo de mercadorias. Fatores como: geração de demanda, processamento de pedidos, distribuição física a partir dos varejos e Centros de Distribuição (CD) e serviços de pós-venda (incluindo estratégias de marketing, alocação de pessoal para armazenar e estocar, logística reversa) são importantes para definir estratégias e níveis de serviço logísticos. Entretanto, as melhorias de níveis de serviços logísticos ficam em segundo plano diante do investimento feito na ampliação ou reforma dos espaços da loja ou na contratação de pessoal. (GRÜDTNER, 2010).

Atualmente, as principais tendências na melhoria do transporte de carga estão associadas aos estudos demográficos e ao sistema de transporte como um todo, o que envolve a estrutura urbana. Os estudos demográficos assinalam padrões diferentes de consumo entre as classes sociais, sendo que as classes mais abastadas consomem mais categorias de produtos e produtos de marcas líderes de mercado, enquanto as classes C, D e E, preferem escolher seus produtos de acordo com o preço, ou seja, há estudos que diferenciam os fornecedores das classes A e B, dos fornecedores das classes C, D e E (APAS, 2016).

3. ENTREGAS URBANAS DE CARGA

O problema do trânsito nas grandes cidades é também um problema para o transporte eficiente de cargas, e o poder público deve agir de forma a diminuir o índice de externalidades, ou seja, menos poluentes, menos trânsito e menos acidentes (VASCONCELLOS, 2005). Tal atenção das autoridades voltada ao transporte de carga provém das últimas duas décadas (CHERRET et al., 2012). O novo plano diretor estratégico do município de São Paulo, promulgado através da Lei Nº 16.050/2014 (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2014), aborda aspectos sobre a o transporte de cargas que não são recorrentes em outros planos diretores das cidades brasileiras. Alguns pontos desta lei legitimam ações que devem ser aplicadas pelo poder público em relação ao transporte de cargas. No artigo 225 desta lei, nota-se a importância da sustentabilidade e da qualidade de vida na elaboração de diretrizes para o sistema de transportes. Nesta lei consta que,

> "O Sistema de Mobilidade é definido como o conjunto organizado e coordenado dos modos de transporte, serviços, equipamentos, infraestruturas e instalações operacionais necessários à ampla mobilidade de pessoas e deslocamento de cargas pelo território municipal, visando garantir a qualidade dos serviços, a segurança e a proteção à saúde de todos os usuários, principalmente aqueles em condição de vulnerabilidade social, além de contribuir para a mitigação das mudanças climáticas".
> (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2014, p. 138).

Atualmente os governantes buscam integrar as políticas de transporte público com as políticas do transporte de carga (BALLANTYNE; LINDHOLM; WHITEING, 2013), já que há um conflito diário entre o direito de acessibilidade às lojas e o direito de acessibilidade ao transporte público, e, para reduzi-los, deve-se verificar como eles ocorrem *in loco*, com o intuito de identificar o comportamento dos sujeitos e fazer um dimensionamento político desses conflitos (VASCONCELLOS, 2012).

O transporte de mercadorias é mais complexo em grandes centros urbanos (DABLANC, 2007). As necessidades da participação dos diversos *stakeholders* inseridos no contexto da logística urbana que busquem harmonia nas soluções para o transporte de carga e que auxiliem na resolução de conflitos de interesse entre agente públicos e privados são uma realidade (BALLANTYNE; LINDHOLM; WHITEING, 2013). O principal desafio na administração desses conflitos é concatenar os interesses nos lucros com limites éticos (FREEMAN, 1994). Os motivos primordiais para a existência desses conflitos em logística urbana são: falta de habilidade para traçar diretrizes de transporte por parte do poder público, falta de conhecimentos sobre aspectos essenciais para o transporte de carga, e as restrições e regulamentações para o transporte de carga (BALLANTYNE; LINDHOLM; WHITEING, 2013). Com relação a este último ponto levantado, a aceitação dessas restrições e as mudanças nas operações logísticas decorrentes dessas regulamentações podem variar de empresa para empresa (STATHOPOULOS; VALERI; MARCUCCI, 2011).

Para exemplificar as contradições oriundas de políticas para o transporte de carga, a proibição da circulação de caminhões maiores durante o dia (Três quartos, Toco, *Truck* e Carreta) na cidade de São Paulo. A ZMRC (Figura 1) possui mais de 100 km^2, e é a região com maior dinamismo econômico do município.



Figura 1: Mapa da ZMRC

Nesta região só podem circular durante o dia os pequenos caminhões chamados de VUC (Veículos Urbanos de Carga), cuja definição é dada pelo seu comprimento total, que não deve ultrapassar 7,30 metros. A capacidade desses veículos gira em torno de 3,5 toneladas,

enquanto um caminhão tradicional pode carregar até 8 toneladas a 12 toneladas. O aspecto positivo desta regulamentação é que o tamanho reduzido do VUC atrapalha menos o trânsito no momento de fazer o descarregamento, por ocupar menos espaço e por ter mais facilidade para estacionar (ZAMBUZI, 2015). Holguín-Verás et al. (2014) cita os efeitos negativos desta medida no município de São Paulo, onde uma grande companhia relatou o impacto negativo da utilização dos VUCs para entregas, pois é necessário três VUCs para transportar a mesma quantidade de um caminhão *truck*, ou seja, aumenta a frequência de entrega.

Aperfeiçoar a distribuição logística em meio urbano é uma atividade complexa devido aos altos custos e à exigência de bom nível de serviço (TANIGUCHI et al., 2002). A maior frequência de entrega ocasionada por mais veículos leves, as questões ambientais e as entregas em locais inseguros são fatores que dificultam as operações logísticas urbanas (CRAINIC et al., 2004). Vieira, Carvalho e Fransoo (2015) destacam a influência das ruas estreita, das regulamentações, e o conhecimento limitado dos padrões de trânsito, nas operações logísticas em megacidades. As empresas podem ter maiores ou menores dificuldades em suas atividades logísticas urbanas conforme condições da relação entre fornecedor e varejistas, frequência da necessidade dos clientes e tipo de administração da frota, entre outros (ALLEN et al. 2000).

Blanco e Garza (2012) sugerem a necessidade de caracterizar mais detalhadamente a diversidade de estratégias de venda e distribuição na América Latina, e esta pesquisa atende esta necessidade.

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E COLETA DE DADOS

A metodologia de pesquisa tem base num levantamento de dados junto às empresas do setor varejista e transportadoras.

Para tanto, foi feita a revisão de literatura que serviu de base para elaborar um questionário a ser aplicado aos motoristas (representantes das transportadoras) e aos recebedores (representantes dos varejistas). A realização do levantamento de dados teve por objetivo investigar a percepção das facilidades e dificuldades para o transporte de carga na RMSP, segundo a opinião desses dois atores.

As empresas entrevistadas se encontram na divisão 47 (comércio varejista) da Classificação Nacional das Atividades Econômicas 2.0 (CNAE 2.0), e grupo 471 (comércio varejista com ênfase em produtos alimentícios). Tanto os varejistas quanto os transportadores foram entrevistados no local e a amostra foi por conveniência.

O questionário foi aplicado a 30 motoristas que só entregavam a lojas de pequenas redes e a 29 motoristas de transportadoras que atendem a grandes redes. Este questionário abrange os seguintes itens: tipo de veículo utilizado, quantidade de multas, tempo de rota, localização de CD, estrutura urbana, processamento de pedidos e conferência de mercadorias, roteirização das entregas.

Ainda, durante as entrevistas foram descritos aspectos operacionais que permitem diferenciar os tipos de redes de varejos pesquisados. Foram entrevistados 12 gerentes de lojas de grandes redes varejistas que se localizam no interior da ZMRC, e 12 gerentes de lojas de pequenas

redes de varejo. Foram também realizados trabalhos de campo para acompanhar o descarregamento nestas diferentes redes de varejo. Durante estas entrevistas, pôde-se caracterizar o processamento de pedidos, a conferência de mercadorias, a localização dos CDs, algumas características sobre o estoque da loja, estrutura urbana do entorno da loja.

O questionário foi desenvolvido com base em diversos estudos que mostram a importância de certos indicadores-chave para avaliar os impactos de diferentes estratégias logísticas. Foram selecionados os seguintes atributos para a comparação: tempo de rota (QUIROGA, 2000), tipo de veículo utilizado (HOLGUÍN-VERÁS et al, 2010), quantidade de multas (HOLGUÍN-VERÁS et al, 2014) processamento de pedidos (HOLGUÍN-VERÁS et al. 2014) e restrições para a logística urbana (VIEIRA, CARVALHO, FRANSOO, 2015). Os dados foram transcritos e analisados por meio de análise de frequência.

5. RESULTADOS

Primeiramente, é necessário distinguir os aspectos logísticos das grandes redes de varejo que se localizam primariamente nas áreas centrais, daquelas das pequenas redes de varejo, as quais estão alocadas nas áreas periféricas (fora da ZMRC).

As empresas de grande porte possuem melhores estratégias logísticas, como as entregas de carga em horários noturnos ou direcionar um mesmo motorista para a mesma rota para que este reconheça os obstáculos do caminho (vias proibidas para caminhões, locais de rodízio, ruas estreitas, entre outros). Estas empresas possuem CD próprio o que permite que o processamento e conferência das mercadorias seja feito previamente, diminuindo o tempo de entrega nas lojas, apenas os chamados Produtos de Alto Risco (chocolates, energéticos, por exemplo) são conferidos unitariamente. Além disso, a roteirização dos pontos de parada é mais eficiente, devido à facilidade de adequar as janelas de recebimentos de mercadoria das lojas ao agendamento feito pelo setor de transporte no CD. Outra vantagem é que os seus CDs possuem localização favorável, mais próximas aos centros principais de consumo.

Já as lojas que fazem parte de pequenas redes de varejo e atendem o consumo de grande parte da classe C de São Paulo, possuem dificuldades em desenvolver um esquema de entregas noturnas, pois o setor logístico é terceirizado e as lojas se encontram em regiões mais vulneráveis a assaltos; a roteirização das entregas também é dificultada, pois é feito por um operador logístico, que geralmente atende mais de uma rede de pequeno porte do comércio varejista; este mesmo operador logístico se responsabiliza pelo armazenamento. A localização dos galpões modulares, que funcionam como CDs, ocorre na mesma rodovia dos CDs das grandes redes, porém mais distantes dos principais centros de consumo, o que aumenta os custos de transporte.

O processamento de pedidos para pequenos varejos é mais lento, pois a conferência é mais burocrática, de forma unitária, conferindo a quantidade de unidades de mercadoria, enquanto para as grandes redes a conferência unitária é apenas para produtos de alto risco. Além disso, é recorrente que os gerentes da loja liberem o motorista apenas depois de receberem um documento constando a quantidade de mercadorias que saiu do centro de distribuição e esta quantidade for a mesma que foi conferida manualmente após o descarregamento. A lentidão

e burocracia no processamento de pedidos pode ser justificada pela falta de relações de confiança entre fornecedores e varejistas (VIEIRA, CARVALHO, FRANSOO, 2015).

Visto essas diferenças, o primeiro aspecto que chama a atenção é o tempo médio de rota, pois os motoristas de redes menores de varejo costumam trabalhar uma quantidade de horas significantemente maior do que os motoristas de grandes redes do varejo. Enquanto os motoristas de pequenas redes de varejo dirigem em média 10,76 horas por dia, os motoristas das grandes de varejo dirigem em média 5,77 horas por dia.

Sabendo que caminhões de grande porte (carreta, *truck* e toco) são mais eficientes do que os pequenos veículos de carga (veículo urbano de carga, vans e utilitários), a pesquisa empírica com os motoristas destas diferentes redes do varejo identificou que os veículos de carga utilizados são diferentes, prevalecendo os grandes caminhões, mais eficientes, para as grandes redes do varejo, e os pequenos caminhões para as menores redes de varejo, conforme mostra a Figura 2.

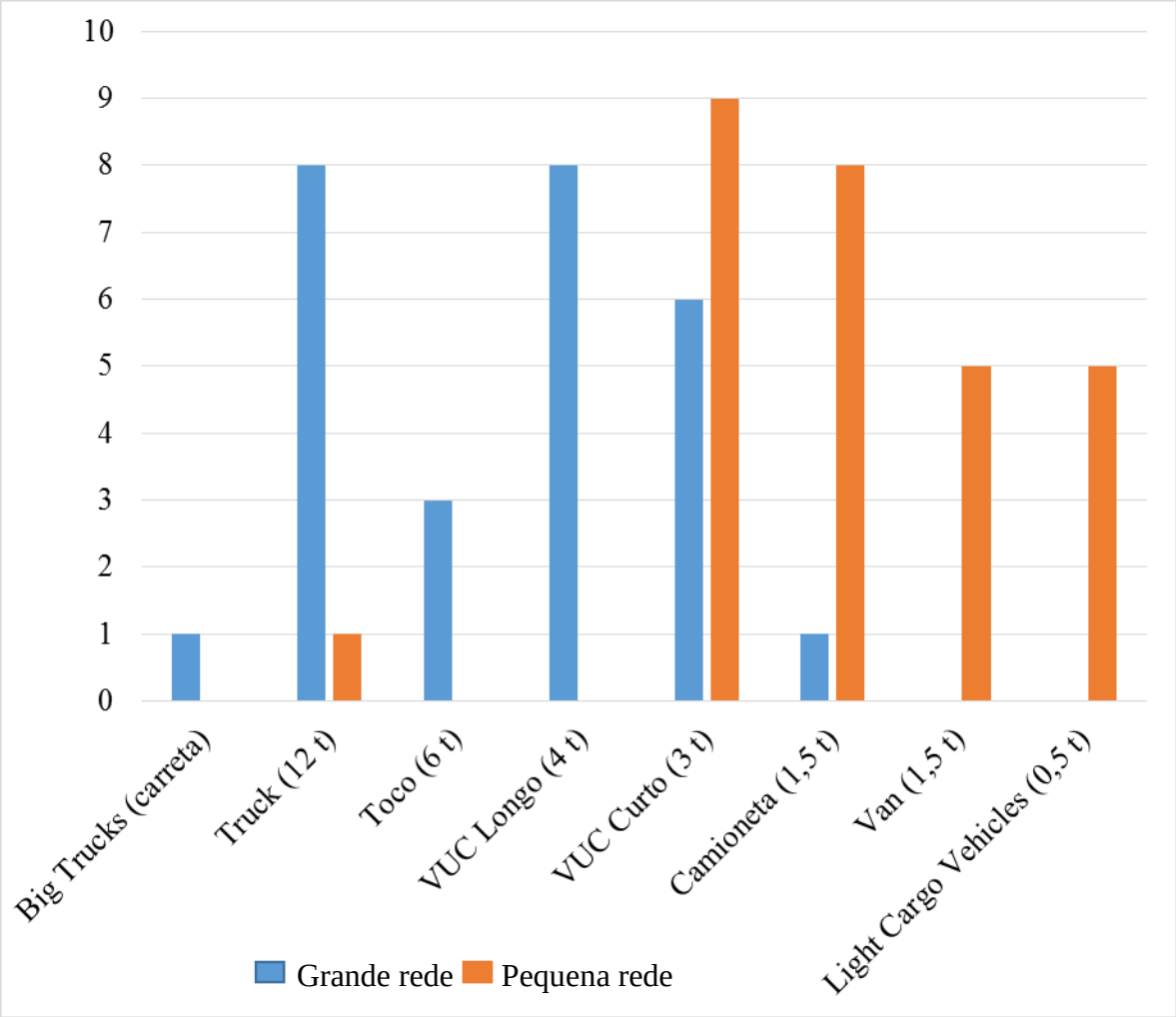


Figura 2: Tipo de veículos utilizados: grande rede de varejo x pequena rede de varejo

Os resultados deste levantamento de dados corroboram as novas estratégias logísticas utilizadas na periferia, onde prevalecem os pequenos veículos de carga (ZIONI, 2010). Esta

escolha pode estar associada à falta de padrão para a roteirização, já que durante as entrevistas com os motoristas destas pequenas redes, foi relatado que eles fazem entregas em diversas regiões da cidade, passando por Vias Estruturais Restritas (VER) que não permitem a circulação de grandes caminhões, incluindo os chamados VUCs (Veículos Urbanos de Carga), além de ter o risco de se adentrarem na ZMRC (Zona Máxima de Restrição de Circulação) onde é permitida a circulação de VUCs, mas não de grandes caminhões. Além disso, a falta de estrutura urbana em regiões periféricas (local inadequado para estacionar e descarregar), ruas estreitas, cruzamentos entre ruas com "ponto cego", alto índice de sinuosidade dificultam o trânsito e o descarregamento de grandes caminhões.

A utilização de veículos de menor porte em pequenos varejos também pode estar associada à falta de espaço para o armazenamento de mercadorias, dificuldades de acesso aos veículos de carga e ao perfil da demanda. Dados da APAS (2016) mostram que os consumidores das classes C, D e E vão ao supermercado com mais frequência. Um dos gerentes entrevistados afirmou que muitos clientes vão todos os dias ao mercado comprar produtos que necessitam de refrigeração, pois não possuem geladeira em casa, e assim vão todos os dias ao mercado para comprar os mantimentos que ficariam armazenados na geladeira.

As diferenças entre as características do espaço geográfico (estrutura e regulamentações) entre o que está dentro da ZMRC e fora da ZMRC são refletidas também no tipo de multa mais emitido para as grandes redes de varejo (restrição à circulação) e as pequenas redes do varejo (estacionamento), como pode ser visualizado na Tabela 1. Vale lembrar que a multa de restrição de acesso (ZMRC e VER) é mais barata (R$ 85,13) do que a de estacionamento (R$ 127,69), cuja consequência é o maior gasto com multas pelas redes de varejo de pequeno porte.

Tabela 1: Tipos de multa cometidas por motoristas de pequenas redes e por grandes redes do varejo

Tipos de multa	Pequenas redes	Grandes redes
Estacionamento	18	4
Restrição	8	13
Rodízio	1	0
Velocidade	3	1
Sem resposta	1	11

Verifica-se o maior número de incidências de multas com relação: (1) "Estacionamento de veículos de carga" em locais não permitidos; (2) restrição de circulação de veículos de carga em vias proibidas ou fora do horário permitido. É fato que as multas referentes a estacionamento em locais não permitidos têm maior incidência em locais onde estão instalados os pequenos varejos, primeiro devido à falta de infraestrutura para carga/descarga e estacionamento de veículos de carga, e em segundo devido à dificuldade de acesso a esses locais, seja por meio de ruas estreitas ou por serem locais de difíceis acessos. O intenso movimento de veículos (de carga e de passeio) nesses locais e também de pessoas contribui

para o trânsito caótico e, consequentemente, observa-se uma maior dificuldade para achar vagas para carga/descarga. O tipo de multa "restrição de circulação por veículos de carga" é mais evidente para os motoristas que atendem a grandes redes, locais onde geralmente estão próximos às ZMRC e VER. Entretanto, nota-se uma grande incidência dessas multas para os motoristas de VUCs que atendem a pequenas redes e que usam as Vias Estruturais Restritas (VER) para cruzar diversas regiões da RMSP. Para evitar tais multas, muitos motoristas usam vias secundárias, o que aumenta a distância das entregas de mercadorias a pequenos varejos localizados na periferia.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O crescimento econômico da Classe C e a expansão do crédito nas últimas décadas trouxe a oportunidade de obter mais ganhos, com uma maior intensidade no fluxo comercial. Para dar sustentação a esta nova possibilidade, aparecem novas estratégias logísticas, com a terceirização dos serviços.

O meio urbano do município de São Paulo é caracterizado por regulamentações que restringem a entrada de grandes caminhões nas regiões centrais. Há, também, proibições de grandes e pequenos caminhões nas vias classificadas como Vias Estruturais Restritas. O rodízio de veículos é outra norma que dificulta a circulação de caminhões. A infração dessas regulamentações gera multas para empresas transportadoras e fornecedoras, principalmente quanto à restrição de circulação e uma provável falta de vagas.

Os objetivos desta pesquisa são: caracterizar os canais de distribuição que atendem a classe C principalmente em regiões periféricas, comparar o transporte de mercadorias entre em áreas centrais e em áreas periféricas; assinalar os principais fatores que levam a um maior número de quilômetros percorridos e a uma quantidade maior de poluentes emitidos.

A utilização de veículos leves é uma das principais características destas novas estratégias logísticas, prevalecendo utilitários e vans, em detrimento de caminhões maiores, tipo *truck* e toco. Estes veículos podem ter mais aptidão para enfrentar as ruas estreitas e sinuosas da periferia, mas os custos sociais oriundos de sua utilização podem ser mais caros.

A falta de interação entre os sujeitos que são atendidos por operadores logísticos é outra característica que atrasa as entregas, pois a conferência é mais lenta e minuciosa, para evitar prejuízos com a falta de mercadorias, ou com avarias e produtos vencidos. Esta falta de confiança dificulta a realização de entregas noturnas, que são tidas como mais eficientes.

O maior número de quilômetros percorridos pode estar associado a diversos fatores. Os centros de distribuição são mais distantes dos padrões de consumo, não há padrões de roteirização devido à precarização do serviço terceirizado, a estrutura urbana da periferia é mais sinuosa, e há falta de reconhecimento dos padrões e normas do trânsito. Estes fatores elevam substancialmente o tempo de rota, e a quantidade de poluentes emitidos.

O reconhecimento de que os problemas deste canal de distribuição encarecem os custos logísticos é importante para enfatizar as dificuldades que as pequenas redes de varejo têm para equiparar ao nível de serviço oferecido ao cliente. Adicionalmente, pode-se inferir que devido ao maior número de quilômetros percorridos e às más condições na estrutura urbana, os custos sociais do transporte de carga que atende a Classe C são mais elevados.

A comparação entre a Zona Máxima de Restrição de Circulação e o restante da cidade, no tocante à classe social presente, estratégias logísticas utilizadas, padrões de consumo, estrutura urbana, custos sociais de transportes, pode reafirmar a lógica da bipolaridade urbana, com características significantemente distintas nestas duas partes de São Paulo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, J.; ANDERSON, S.; BROWNE, M.; JONES, P. (2000). *A framework for considering policies for encourage sustainable urban freight traffic and goods/services flows London***.** University of Westminster. (Report 3: Making urban goods and services operations more sustainable: policy measures and company initiatives).

ASSOCIAÇÃO PAULISTA DE SUPERMERCADOS (2016) *Tendências do consumidor***.** Disponível em: < http://www.apasshow.com.br/wp-content/uploads/2017/05/Pesquisa-Tendencia-de-Consumidor-ok-1.pdf> Acesso: 20/06/2017;

BALLANTYNE, E.; LINDHOLM, M.; WHITEING, A. (2006) A comparative study of urban freight transport planning: addressing stakeholders needs. *Journal of Transport Geography.* v.32. p. 93-101, 2013.

BALLOU, R. (2010) *Gerenciamento da cadeia de suprimentos.* 5. ed. São Paulo: Bookman.

BLANCO, E.; GARZA, J. (2012) Multichannel distribution strategies in Latin America. *4th World Conference on Production & Operations Management.*

BRASIL, PREFEITURA DE SÃO PAULO Lei Nº 16.050/2014. Texto base. Plano diretor estratégico, São Paulo, 2014.

BRASIL, GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO (2012) *Pesquisa de Mobilidade Urbana*. São Paulo: Metrô.

CHERRETT, T.; ALLEN, J.; MCLEOD, F.; MAYNARD, S.; HICKFORD, A.; BROWNE, M. (2012) Understanding urban freight activity - key issues for freight planning. *Journal Transport Geography***.** v. 24, p. 22–32.

CRAINIC, T.; RICCIARDI, N.; STORCHI, G. (2004) Advanced freight transportation systems for congestion urban areas**.** *Transport Research Part C***.** v.12. p. 119-137.

DABLANC, L. (2007) Goods transport in large European cities: difficult to organize, difficult to modernize. *Transport Research Part A: Policy Practice.* v.41, p. 280-285.

FREEMAN, E. (1994) The politics of Stakeholders Theory. *Business Ethics Quartely*. v.4, p. 409-421.

GRÜDTNER, I. (2010) *O crescimento da classe C: mudanças do mercado consumidor e desafios para a cadeia de abastecimento.* Logística Descomplicada.

HOLGUÍN-VERAS, J.; WANG, C.; BROWNE, M.; HODGE, S.; WOJTOWICZ, J. (2014) The New York City off-hour delivery project: lessons for city logistics. *8th International Conference on City Logistics.* p. 36-48.

HOLGUÍN-VERAS, J.; OZBAT, K.; KORNHAUSER, A.; SHORRIS, A.; UKKUSURI, S. (2010) *Integrative freight demand management in the New York City metropolitan area.* United States Department of Transportation (Final Report).

MEYER, R. (2014) O desafio do deslocamento. *Caderno de mobilidade urbana.* n.4.

NERI, M. (2011) *A nova classe média.* Rio de Janeiro: Editora Saraiva.

ORTUZAR, J.; WILLUMSEN, L. (2011) *Modelling Transport***.** 4ªEd. United Kingdom.

QUIROGA, C. (2000) Performance measures and data requirements for congestion management systems. *Transportation Research Part C***.** v. 8, p. 287-306.

STATHOPOULOS, A.; VALERI, E.; MARCUCCI, E. (2011) Urban freight policy innovation for Rome: a stakeholder perspective. *City Distribution and Urban Freight Transport.* p. 1–18.

TANIGUCHI, E.; THOMPSON, R. (2002) Modelling city logistics. *Transportation Research Record.* 1790, p. 45-51.

VASCONCELLOS, E. (2012) *Mobilidade urbana e cidadania.* Rio de Janeiro: SENAC Editoras.

VIEIRA, S. (2009) Como elaborar questionários. Editora Atlas.

VIERA, J.; CARVALHO, C.; FRANSOO, J. (2015) Freight distribution in megacities: perspectives of shippers, logistics services providers and carriers. *Journal of Geography Transport.* v. 46, p. 46-54.

ZAMBUZI, N. (2015) *Metodologia para a avaliação de medidas voltadas à distribuição urbana de carga através do uso da microssimulação de tráfego.* Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

ZIONI, S. (2010) Espaços de carga na Região Metropolitana de São Paulo. *Seminário Nacional Governança Urbana e Desenvolvimento Metropolitano*.

Pedro Augusto Parente Dias (pedro.dias@usp.br)
Departamento de Produção, Escola Politécnica de São Paulo, Universidade de São Paulo
Av. Professor Luciano Gualberto, 380 – São Paulo, SP, Brasil

PERCEPÇÃO DE PROBLEMAS E SOLUÇÕES DE LOGÍSTICA URBANA DE ACORDO COM O SETOR DE ATIVIDADE DO VAREJO

João Paulo Tavares Costa
Matheus Henrique Cardoso dos Santos
Jéssica Monte Neves Carvalho
Lílian dos Santos Fontes Pereira Bracarense
Engenharia Civil
Universidade Federal do Tocantins
Betty Clara Barraza De La Cruz
Arquitetura e Urbanismo
Universidade Federal do Tocantins

RESUMO
A medida que as pesquisas avançam na área de logística urbana, os problemas de transporte são profundamente investigados e novas soluções para desafios do setor são propostas. A busca pela eficiência no transporte urbano de mercadorias perpassa pela gestão de interesses dos diferentes atores envolvidos no processo. Dentre esses atores estão os varejistas, que são decisivos na determinação de como o recebimento de mercadorias deve ocorrer. Busca-se neste trabalho investigar o comportamento e percepção dos varejistas de diferentes setores de atividades, para entender suas diferenças e semelhanças. Os resultados indicam diferenças de percepção entre varejistas de alguns setores e baixa aceitação de algumas medidas alternativas, como recebimento noturno.

ABSTRACT
As the research advance in city logistics topics, the transportation problems are deeply investigated and new solutions to transport challenges are proposed. The search for efficiency in the urban transport of goods requires managing interests of different stakeholders involved in the process. Among these stakeholders are retailers, which are crucial in determining how the receipt of goods should occur. This work investigates the behavior and perception of retailers from different sectors of activities, to understand their differences and similarities. The results indicate differences of perception between retailers of some sectors and low acceptance of some alternative measures, such as night delivery.

1. INTRODUÇÃO

O transporte de carga eficiente tem papel significativo na competitividade de uma área urbana e pode ser, em si mesmo, um elemento importante na economia da região, pela interferência na indústria e nas atividades de comércio, as quais são essenciais à geração de riquezas. O que tem se observado, no entanto, é que embora essa atividade desempenhe papel fundamental nos centros urbanos, tem gerado transtornos à população. O processo acelerado de urbanização, a exigência do mercado e competitividade dos serviços são fatores que influenciam na expansão e manutenção dos impactos negativos advindos do transporte urbano de cargas. Segundo a *European Comission For Energy, Environment and Sustainable Development* (ECEESD, 2005), esses impactos negativos podem ser estruturados por cinco variáveis sensíveis componentes de um círculo vicioso, sendo que tais variáveis não são exclusivas do transporte de cargas, mas, certamente são elementos consideráveis da mobilidade ou imobilidade urbana. Os impactos são: congestionamentos, emissões, ruídos, dano infra estrutural, e ausência/diminuição da segurança.

Nesse sentido, o meio sobre o qual ocorre o transporte das mercadorias – as cidades – contribui, incontestavelmente, na manutenção dos impactos negativos, uma vez que as mesmas não oferecem infraestrutura adequada para a realização dessa atividade. No Brasil, um dos principais problemas enfrentados pelos operadores de transporte é a dificuldade de encontrar um local regulamentado nas regiões centrais para estacionar e carregar/descarregar

sua mercadoria (Oliveira *et al*., 2011). Além disso, a iluminação ruim, a ausência de segurança, o tráfego intenso durante o recebimento são outros fatores que, certamente, agravam essa situação e geram desconforto.

Buscando soluções para a melhoria da distribuição nas cidades, surgiu o conceito de logística urbana, cujos objetivos são apoiar o desenvolvimento sustentável das cidades e buscar soluções para os problemas causados pela distribuição de mercadoria nestes centros. (Oliveira, 2012). No contexto internacional, diversos estudos e pesquisas vêm sendo realizados com o intuito de promover a melhoria na distribuição urbana de cargas. Na maioria das vezes, apresentam propostas de caráter estratégico e tático a serem implementadas pelos diferentes atores sociais relacionados à temática, considerando as particularidades de cada local estudado (Tyan *et al*., 2003; Sinarimbo, 2005; Quack, 2008). Algumas das medidas propostas são: delimitação de carga e descarga, Centro de Distribuição Urbana (CDU), entregas noturnas, janelas de entrega, entre outros.

Nesse panorama, o objetivo do trabalho é investigar e avaliar como varejistas de diversos setores de atividades, cosméticos, farmácia, informática, livraria e papelaria, gêneros alimentícios, vestuário, materiais de construção e outros, percebem os problemas e alternativas de soluções para o transporte urbano de mercadorias. Buscou-se identificar as diferenças entre suas características e demandas e como isso afeta o transporte de mercadorias dentro da logística urbana. O estudo foi embasado por uma revisão bibliográfica acerca dos problemas e soluções de logística urbana com uma metodologia de aplicação de questionários e estudo de caso na cidade de Palmas-TO. A partir dos resultados obtidos, são feitas discussões dos problemas encontrados e propostas as soluções logísticas viáveis dentro do campo estudado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Dutra (2004, p.50) a economia de uma região está fortemente ligada ao movimento de mercadorias: “O transporte de carga eficiente tem papel significativo na competitividade de uma área urbana e pode ser, em si mesmo, um elemento importante na economia da região, tanto em termos da renda criada, quanto no nível de emprego que mantém”.

Apesar da importância econômica da logística, a atividade de transporte de cargas, se não bem gerida, influencia negativamente o ambiente urbano, gerando impactos como congestionamentos, poluição, ruído, vibração, acidentes, entre outros.

Carnielle (2009) diz que a dificuldade de encontrar um ponto de equilíbrio entre os diferentes grupos que atuam neste processo de distribuição de mercadorias é um dos problemas enfrentados pelos administradores públicos. Taniguchi *et al*. (2001) destacam que os principais atores envolvidos com a logística urbana são os embarcadores, transportadores, residentes e a administração pública e cada um deles tem objetivo e interesses diferentes, o que dificulta a escolha de soluções que atendam a todos os interessados.

Um fator agravante dos problemas atuais de logística urbana é o novo metabolismo urbano voltado para o comércio eletrônico e exigência de cada vez mais velocidade nas trocas de mercadorias, suas novas demandas precisam ser atendidas e o poder público não está sabendo agir diante dessa nova realidade (Lima, 2011). Como se pode observar a partir de estudos das cidades europeias de Dablanc (2007), este fator não é apenas da realidade brasileira. Na

Europa, movimentos de mercadorias são largamente incompatíveis à estrutura interna das cidades, as políticas urbanas específicas sobre a mobilidade de mercadorias têm sido bastante ineficientes e a prestação de serviços adequados de logística urbana não acompanha as taxas de crescimento das regiões com economias emergentes.

Além das causas relacionadas à forma das operações urbanas, muito condicionadas pela infraestrutura viária disponível, pela superestrutura física dos operadores logísticos, pelas tecnologias veiculares e pelas características dos fluxos de cargas e suas origens e destinos, encontram-se também problemas relacionados às finalidades das atividades e como elas se inserem nos desejos dos cidadãos usuários ou não destas operações (Lima, 2011). Em meio a isso não se deve esquecer a função das cidades, como comenta a autora Jane Jacobs (2000) elas possuem como característica uma grande diversidade de usos mas seu planejamento deve ser feito de modo a catalisar e nutrir estas relações funcionais e de usos promovendo espaços mais adequados para que impulsionem o desenvolvimento de todas as áreas.

É necessário, então, que os agentes formadores desse sistema logístico urbano levantem ideias e acordos para solucionar os fatores que prejudicam a vitalidade dos centros urbanos. Porém, nem sempre isso ocorre da melhor forma, suscitando outros problemas. Dutra (2004) enfatiza que a estrutura urbana e as medidas que têm sido tomadas para minimizar os problemas reduzem a acessibilidade e diminuem a eficiência logística do sistema de transporte urbano de pessoas e mercadorias, resultando no aumento dos tempos de viagem, baixa qualidade do serviço e, em alguns casos, aumento do número de veículos.

2.1 Soluções logísticas

A Europa possui grandes exemplos de soluções logísticas adotadas. Dentre essas está a consolidação das entregas e o uso de plataformas de cargas que tem a intenção de racionalizar o uso do veículo de carga.

A consolidação de cargas consiste em criar grandes carregamentos, a partir de vários outros pequenos, a fim de obter economia de escala no custo dos fretes e aumentar o nível do serviço ao cliente (Tyan *et al.* 2003). Lopez (2000) afirma que a consolidação de carga propicia: redução do custo de transporte, pela utilização da *box rate* (rateio em função da fração de contêiner ocupado); concorrência entre agentes consolidadores, com transferência de parte das reduções de valor de frete obtidas junto aos transportadores, via ampliação dos serviços prestados ou reduções nos próprios preços; e oferta de infraestrutura operacional de transporte mais ágil e eficiente.

Sinarimbo (2005) detalha possíveis soluções e boas práticas adotadas por transportadores, varejistas e administradores em cidades da Ásia e da Europa, como consolidação de mercadorias em centro de distribuição urbano, entrega noturna, restrições de acesso (baseadas no dia, horário, peso, etc.), faixas dedicadas para o tráfego de mercadorias, entre outros:

- Centro de Distribuição Urbana de Cargas (CDU): Os CDUs se configuram como uma das principais iniciativas da logística urbana para a mitigação dos problemas de transporte de cargas nas grandes cidades, com objetivo de reduzir o número de veículos de carga (Correia *et al.*, 2010). Reduções em externalidades negativas com o uso de CDU foram destacadas por Quak (2008), aumentado os níveis de segurança e a eficiência econômica, quando implantados, segundo aplicação de metodologia proposta pelo autor. Reduções em consumo de combustível e em veículos de carga em

circulação também foram apontadas pelo autor como benefícios que melhoram, ainda que indiretamente, o aspecto econômico do uso de um CDU;

- Restrição horária de circulação: baseado na observação de que a presença de veículos de carga nos horários de pico reduz o nível de serviço de tráfego, políticas de restrição horária têm sido adotadas nos grandes centros urbanos (Oliveira *et al.* 2011);

- Faixa exclusiva para veículo de carga: a segregação do tráfego de veículos leves e pesados vem sendo discutida nos últimos anos, sob o pretexto de melhorias em tempos de viagem, congestionamentos e poluição;

- Pesquisas de opinião (preferências e percepções): devido ao alto grau de complexidade da atividade de distribuição de mercadorias, informações sobre preferências e percepções dos atores envolvidos se tornam essenciais, especialmente pelos interesses, geralmente, divergentes e, muitas vezes, conflitantes.

Para que as soluções logísticas envolvendo os transportes de cargas alcancem seus objetivos é necessário gerir os conflitos de interesse entre os diferentes atores, buscando soluções que integrem as diferentes visões e reduzam os impactos negativos.

3. METODOLOGIA

O escopo deste trabalho compreende avaliar as condições de distribuição e recebimento de mercadorias nos centros comerciais de Palmas, e suas variações de acordo com o setor de atuação da empresa. Para tanto, foi realizada uma pesquisa de campo com os varejistas.

Para a definição da amostra, foi realizado um levantamento dos estabelecimentos comerciais da cidade através de uma base de dados disponibilizada pela prefeitura, sendo encontrados 5.106 estabelecimentos cadastrados. Considerando um intervalo de 95% de confiança e erro amostral de 5%, deveriam ser pesquisados 358 estabelecimentos em todo o município. De posse destes dados, o município foi divido em 5 regiões, de acordo com suas características urbanísticas, sendo estratificada a amostra, proporcionalmente ao número de estabelecimentos totais por região. Inicialmente foram pesquisadas as regiões Centro e Taquaralto, que possuem diferentes características geométricas e populacionais, o que as engloba como boas representantes dos estabelecimentos comerciais de Palmas. Taquaralto é um bairro localizado fora do Plano Diretor, na região sul da cidade, é extremamente adensado e possui um comércio muito movimentado. Enquanto que, a região central em que se trabalhou na pesquisa abrange todas as quadras do entorno da Avenida JK, e Avenida LO-3.

Para a análise da caracterização dos recebimentos, das restrições locais e desafios logísticos enfrentados pelos varejistas quanto ao recebimento de mercadorias, os estabelecimentos foram divididos nos seguintes setores de atuação: cosméticos, farmácias, informática, livraria e papelaria, gêneros alimentícios, vestuário, materiais de construção e outros. Estes setores, abarcam todos dos comércios varejistas da cidade e, portanto, sua representatividade é confiável. Seguindo a estratificação proposta, a Tabela 1 resume o total de estabelecimentos pesquisados nas duas regiões analisadas:

Tabela 1: Relação dos estabelecimentos comerciais varejistas de Palmas nas regiões de Taquaralto e centro

Atividade	Centro		Taquaralto	
	Total	Amostra	Total	Amostra
Cosméticos	76	7	47	4
Farmácias	33	3	41	9
Informática	94	7	21	4
Livraria e Papelaria	57	7	28	3
Gêneros Alimentícios	309	22	319	17
Vestuário	313	25	291	39
Materiais de Construção	92	8	94	5
Outros	833	54	460	38
Total	1807	133	1301	119

O questionário aplicado divide-se em quatro blocos de perguntas: no primeiro bloco é feito o levantamento da caracterização da empresa, coletando algumas informações como nome da empresa, endereço, área e número de funcionários; no segundo bloco, é realizada a caracterização do recebimento de mercadorias, com o levantamento dos veículos utilizados nas entregas, dias e horários de maior fluxo de recebimentos e médias de recebimentos semanais; no terceiro bloco, são classificadas as restrições locais de acordo com seu grau de impactos para os estabelecimentos, de forma que o 10 seja o impacto muito alto; e no último bloco, são avaliados alguns desafios logísticos, em que o entrevistado responde em uma escala de 0 a 10, em quanto concorda com determinadas ideias.

Para fins de análise, foram consideradas as respostas agregadas por setor de atividade, evidenciando-se assim as diferenças e semelhanças entre as práticas adotadas pelos estabelecimentos e percepções dos varejistas em relação aos problemas e desafios logísticos.

4. RESULTADOS

Em geral os respondentes do questionário foram proprietários, gerentes ou funcionários responsáveis pelo recebimento de mercadorias.

Conforme a Figura 1, em maioria, os comerciantes utilizam caminhões semi-leves e médios, com exceção dos de ramo farmacêutico e de informática, que também utilizam muito o transporte por van, correios. O setor de materiais de construção por sua vez utiliza caminhões de porte médio (10 a 15 toneladas). Fator este que é influenciado pelo tipo de mercadoria transportada e devido a isso varia tanto de um tipo de atividade para outra.

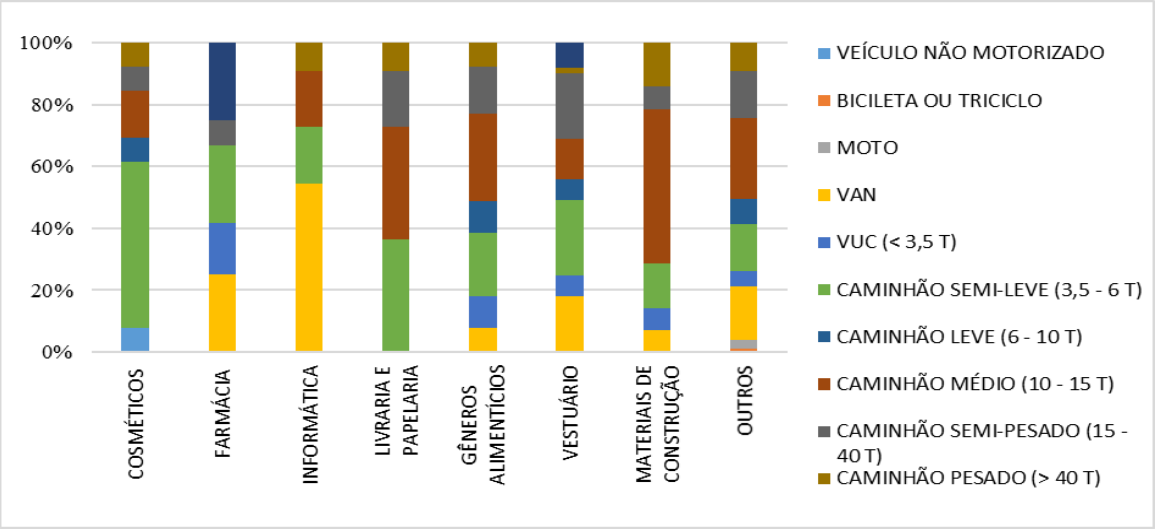


Figura 1: Tipos de veículos mais utilizados para o recebimento de mercadorias

Observa-se, na Figura 2, que dos tipos de atividade pesquisadas, há uma predominancia de estabelecimentos que não possuem nenhum sistema de programação de recebimento de mercadorias, isto demonstra uma tendência uniforme dos comerciantes de Palmas de não se programarem, o que acarreta em mais problemas relacionados a logística, como atrasos de mercadorias, entregas realizadas em horários de pico, falta de vagas disponíveis para realização da descarga, dentre outros.

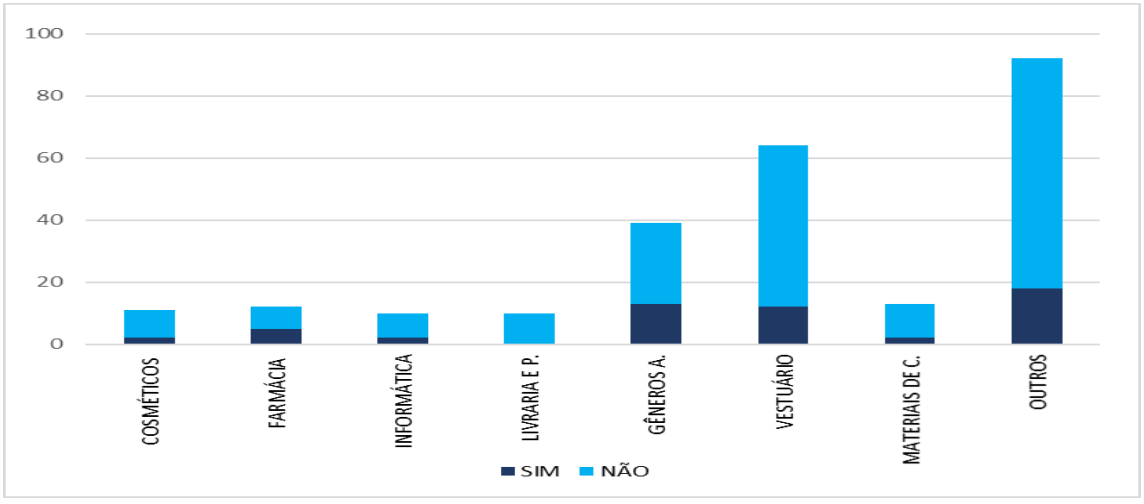


Figura 2: Estabelecimentos que fazem programação do recebimento de mercadorias

Quando analisa-se os dias da semanda com maior número e recebimentos (Figura 3), é possível perceber que os varejistas optam por fazer o recebimento entre segunda e quinta-feira, poucos são os que fazem recebimento às sextas, sábados e domingos, dias em que o fluxo de clientes é maior dificuldando o ato da descarga e movimentação da mercadoria.

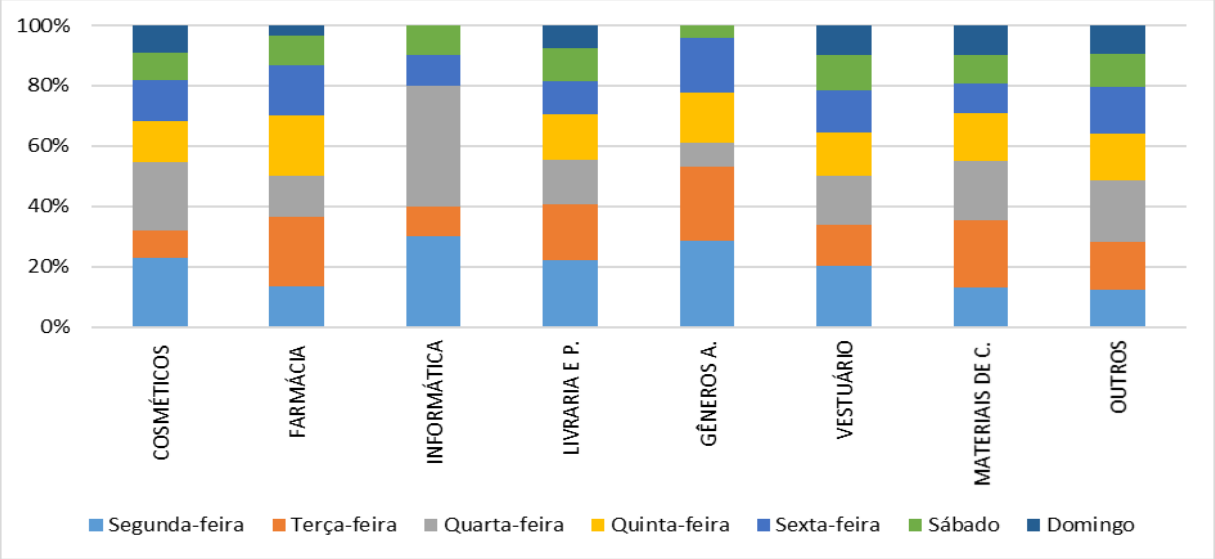


Figura 3: Dia da semana com maior número de recebimentos de mercadorias

Percebe-se por meio dos dados apresentados na Figura 4 que a maioria dos comerciantes recebem as mercadorias somente durante o horário comercial, período da manhã e da tarde, e poucos são os que optam por receber durante o período noturno. Isto ocorre pelo fato de os varejistas não desejarem estender o turno de trabalho somente para fazer os recebimentos.

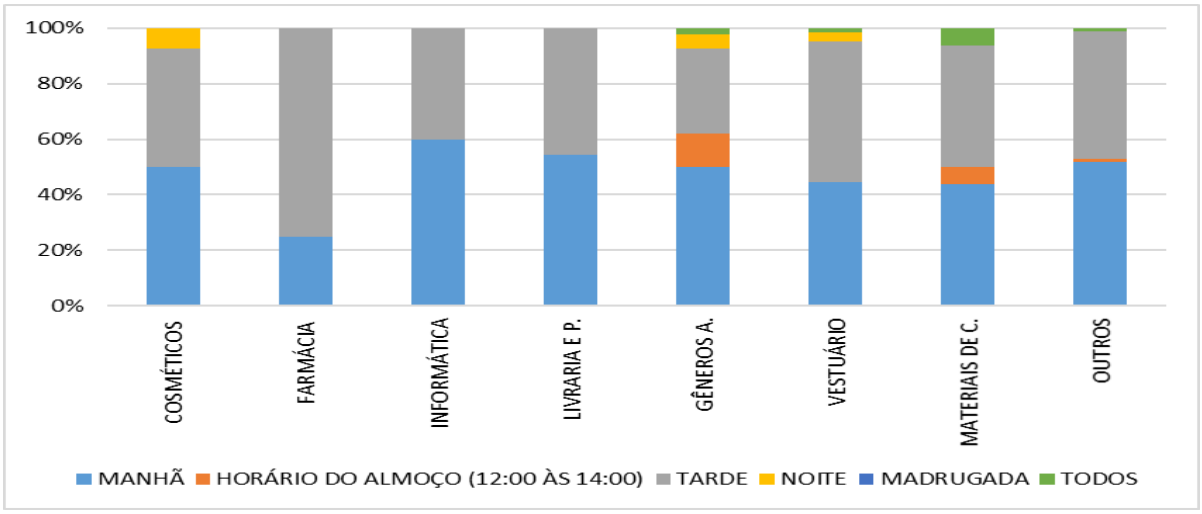


Figura 4: Período com maior número de recebimentos de mercadorias

No terceiro e quarto bloco do questionário são avaliados, respectivamente, a percepção dos varejistas com relação ao impacto das restrições locais ao recebimento de mercadorias e os desafios logísticos para o setor.

Foi solicitado aos respondentes que classificassem o grau de impacto que algumas restrições ofereciam ao recebimento de mercadorias, com notas de 0 a 10, sendo 10 o valor para impacto muito alto. Os resultados foram agregados de acordo com o tipo de atividade do estabelecimento, sendo apresentados na Tabela 2:

Tabela 2: Percepção do impacto causado pelas restrições locais ao recebimento de mercadorias.

Restrições locais		Cosméticos	Farmácia	Informática e Livraria papelaria	Gêneros alimentícios	Vestuário	Materiais de construção	Outro	Total Geral
Falta de local para recebimento de mercadorias (disponibilidade de vagas)	Média	7,0	5,1	6,4	4,6	6,2	5,5	5,5	6,1	5,9
	Desvio padrão	3,7	4,3	3,9	4,2	3,6	3,7	3,9	3,5	3,6
Dificuldade em movimentar as mercadorias desde o ponto de recebimento até o local desejado	Média	4,9	5,7	4,8	4,5	4,6	4,5	3,6	3,4	4,2
	Desvio padrão	4,4	4,1	3,4	3,4	3,5	3,7	3,6	3,6	3,6
Trânsito intenso no período de recebimento	Média	6,5	6,9	6,9	4,4	5,4	6,0	6,5	5,5	5,8
	Desvio padrão	4,3	2,4	3,1	3,1	3,8	3,8	3,6	3,4	3,5
Falta flexibilidade para recebimento em outro horário	Média	3,6	4,7	5,3	2,9	4,4	3,2	3,3	4,1	3,9
	Desvio padrão	4,1	4,2	3,5	2,5	3,7	3,5	2,8	3,6	3,6
Baixa quantidade de empregados auxiliando no recebimento	Média	4,7	6,1	3,0	3,0	2,9	2,8	4,2	3,7	3,4
	Desvio padrão	5,2	4,2	4,7	3,1	3,4	3,2	2,6	3,2	3,4

Observa-se que, de modo geral, as restrições consideradas mais impactantes por todos os estabelecimentos foram a disponibilidade de vagas para carga e descarga e trânsito intenso no período de recebimento. A restrição considerada menos impactante refere-se ao número de empregados auxiliando no recebimento. Os desvios padrão observados indicam grande variabilidade de respostas, indicando alguma falta de consenso entre os respondentes, mesmo se tratando do mesmo tipo de estabelecimento.

Em relação aos desafios logísticos, foi solicitado aos respondentes que informassem o grau de concordância com algumas alternativas de intervenções de logística urbana, sendo 10 a nota máxima indicando concordância, e 0 a nota de máxima discordância. Os resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Percepção sobre os desafios logísticos para o recebimento de mercadorias.

Desafios logísticos		Cosméticos	Farmácia	Informática	Livraria e papelaria	Gêneros alimentícios	Vestuário	Materiais de construção	Outro	Total Geral
Recebimento noturno	Média	2,5	2,7	1,5	1,5	2,9	1,1	1,0	1,0	1,5
	Desvio padrão	4,1	4,1	3,2	3,2	3,9	2,4	2,8	2,4	3,0
Incentivo monetário do governo aos recebimentos fora de horários de pico (ex. Noturno)	Média	3,9	5,1	6,7	2,5	3,8	3,4	1,5	3,2	3,5
	Desvio padrão	4,4	4,6	3,9	3,7	4,2	4,0	3,2	4,2	4,1
Interferência da segurança (roubo de carga, assalto e falta de policiamento) no recebimento de mercadorias	Média	3,7	4,1	2,6	2,7	5,0	4,4	4,9	4,7	4,5
	Desvio padrão	4,4	4,3	3,7	3,7	4,1	4,1	4,3	4,1	4,1
Adequação da iluminação das ruas	Média	5,4	5,8	6,6	5,9	5,4	6,4	7,2	5,8	6,0
	Desvio padrão	4,7	3,9	4,6	3,8	4,3	3,6	2,2	3,9	3,9
Adequação do espaço disponível para carga e descarga	Média	2,8	3,9	4,8	4,2	2,9	3,5	5,4	4,2	3,8
	Desvio padrão	3,7	4,6	4,4	4,1	3,9	3,8	4,1	4,1	4,0
Satisfação quanto à regulamentação e sinalização (demarcação de vagas de carga e descarga)	Média	2,4	3,4	3,5	2,2	1,5	2,8	2,8	2,6	2,6
	Desvio padrão	4,1	4,5	3,7	3,5	2,9	3,7	3,8	3,6	3,6
Existência de problemas de ruídos emitidos durante o recebimento	Média	4,8	5,5	8,4	8,1	7,5	7,2	4,8	7,1	7,0
	Desvio padrão	4,6	5,0	3,2	3,6	3,7	3,9	4,8	4,1	4,1
Restrição de acesso a veículos de carga em áreas centrais	Média	3,4	6,9	5,6	4,6	5,9	5,6	4,4	5,6	5,5
	Desvio padrão	4,1	3,8	3,9	4,0	4,4	4,3	4,6	4,2	4,2

Considerando que notas médias abaixo ou iguais a 5,0 expressam discordância, e superiores a 5,0 expressam concordância, observa-se coerência entre as avaliações feitas por varejistas de diferentes tipos de estabelecimentos. A exceção ocorre na avaliação sobre incentivo monetário ao recebimento noturno, na qual comerciantes do ramo farmacêutico e de informática se mostraram mais favoráveis, enquanto os demais se mostraram contrários à medida. Observa-se que, no geral, a alternativa sobre a qual os respondentes mais discordaram foi o recebimento noturno, embora o trânsito intenso no horário de recebimento tenha sido uma das restrições mais impactantes. Essa discordância diminui, quando considerado incentivo monetário para o recebimento fora de horários de pico. A questão sobre a qual os respondentes mais concordaram foi em relação a existência de problemas de ruído durante as operações de recebimento da carga, com exceção dos estabelecimentos de materiais de construção e cosméticos, que discordaram um pouco dessa existência. Os respondentes também demonstraram insatisfação em relação à demarcação de vagas de carga e descarga e ao espaço disponível para essas operações.

A análise inicial indicou que parece existir uma tendência entre as avaliações dos diferentes tipos de estabelecimentos. Com objetivo de verificar se essa tendência de posicionamento uniforme entre os diferentes tipos de estabelecimentos realmente existe, aplicou-se uma análise de correlação para medir o grau de relacionamento entre os pares de tipos de estabelecimentos, cujos resultados estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Correlação entre os tipos de estabelecimentos a partir da percepção sobre impacto das restrições locais.

	Cosméticos	*Farmácia*	*Informática*	*Livraria e papelaria*	*Gêneros alimentícios*	*Vestuário*	*Materiais de construção*
Cosméticos	1,000						
Farmácia	0,384	1,000					
Informática	0,651	0,053	1,000				
Livraria e papelaria	0,803	0,284	0,646	1,000			
Gêneros alimentícios	0,735	0,135	0,927	0,765	1,000		
Vestuário	0,871	0,355	0,873	0,907	0,872	1,000	
Materiais de construção	0,886	0,609	0,686	0,584	0,592	0,811	1,000

A interpretação do valor do coeficiente de correlação (ρ) depende dos objetivos de sua utilização, e de acordo com Callegari-Jacques (2003), podem ser usadas as seguintes referências para uma avaliação qualitativa do coeficiente de correlação:

se $0,0 < \rho < 0,3$, existe fraca correlação linear;
se $0,3 < \rho < 0,6$, existe moderada correlação linear;
se $0,6 < \rho < 0,9$, existe forte correlação linear;
se $0,9 < \rho < 1,0$, existe correlação linear muito forte.

Observa-se que, com exceção dos estabelecimentos do tipo farmácia e lojas de materiais de construção, os estabelecimentos apresentaram coeficientes de correlação acima de 0,6, o que reflete o fato de todos os estabelecimentos serem afetados pelas restrições locais. Porém observa-se uma correlação mais forte, próxima de 0,9, entre os estabelecimentos do tipo vestuário, papelaria, informática e gêneros alimentícios. Os resultados indicam que o tipo de mercadoria e consequentemente suas características de manuseio e transporte dos estabelecimentos do tipo farmácia e lojas de materiais de construção interferem na forma como os varejistas percebem as restrições locais.

O mesmo teste foi aplicado considerando a avaliação dos respondentes sobre as alternativas de logística urbana. Os resultados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Correlação entre os tipos de estabelecimentos a partir da percepção sobre desafios logísticos.

	Cosméticos	*Farmácia*	*Informática*	*Livraria e papelaria*	*Gêneros alimentícios*	*Vestuário*	*Materiais de construção*
Cosméticos	1,000						
Farmácia	0,669	1,000					
Informática	0,738	0,757	1,000				
Livraria e papelaria	0,747	0,661	0,816	1,000			
Gêneros alimentícios	0,781	0,756	0,646	0,808	1,000		
Vestuário	0,840	0,821	0,788	0,912	0,876	1,000	
Materiais de construção	0,611	0,484	0,395	0,678	0,492	0,744	1,000

Novamente, os tipos de estabelecimento que apresentaram maiores correlações foram Livraria e papelaria e informática, vestuário, gêneros alimentícios, cosméticos e farmácia. O tipo de materiais de construção apresentou fraca correlação com os demais.

Por fim, foi realizado o teste de correlação considerando as duas avaliações. O resultado é apresentado na Tabela 6. Considerando os dois temas de percepção analisados, observa-se que os tipos de estabelecimento com correlação mais forte são vestuário, informática, livraria e papelaria e gêneros alimentícios, sendo o tipo de percepção menos correlacionada com os demais, o tipo de materiais de construção.

Tabela 6 Correlação entre os tipos de estabelecimentos a partir da percepção sobre restrições locais e desafios logísticos.

	Cosméticos	*Farmácia*	*Informática*	*Livraria e papelaria*	*Gêneros alimentícios*	*Vestuário*	*Materiais de construção*
Cosméticos	1,000						
Farmácia	0,641	1,000					
Informática	0,583	0,600	1,000				
Livraria e papelaria	0,520	0,547	0,778	1,000			
Gêneros alimentícios	0,641	0,584	0,702	0,785	1,000		
Vestuário	0,665	0,677	0,805	0,892	0,872	1,000	
Materiais de construção	0,626	0,527	0,457	0,643	0,519	0,750	1,000

Essa análise demonstra que pode haver diferença de avaliação e posicionamento sobre problemas e soluções relacionados à logística urbana entre estabelecimentos de setores de atividades distintos, sendo que as especificidades que determinados setores possuem devem ser estudadas a fim de se propor soluções mais adequadas aos reais problemas vivenciados.

Ressalta-se que outras análises estatísticas mais completas devem ser feitas para aferir os resultados da análise de correlação, mas devido ao número de amostras ser pequeno, quando estratificada, não foi possível aplicar testes mais robustos. A análise de correlação fornece uma visão exploratória para o tema, que deve ser investigado mais detalhadamente em

estudos futuros.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou investigar diferenças e semelhanças em relação ao comportamento e a percepção de varejistas de diferentes setores de atividades. As análises mostraram que existem diferenças em relação aos tipos de veículos utilizados e consequentemente as necessidades para melhorar o serviço desses veículos são diferentes. As percepções quanto aos problemas e soluções logísticas também varia entre os diferentes setores. Embora análises estatísticas mais detalhadas devam ser feitas, requerendo uma amostra mais numerosa de todos os setores, os resultados indicaram ser importante considerar as características de diferentes grupos de varejistas ao propor uma solução de logística urbana. É possível complementar a afirmação de Taniguchi *et al.* (2001) sobre os diferentes atores, considerando diferentes grupos de varejistas com interesses distintos, apontando para a necessidade de mais pesquisas que explorem as diferenças de comportamento e percepção desses atores.

Foi possível observar ainda uma baixa aceitação dos varejistas com relação a algumas alternativas propostas, destacando-se o recebimento noturno. Mesmo identificando como um problema impactante o trânsito intenso no momento do recebimento, esse impacto parece não ser o suficiente para que os varejistas apoiem o recebimento noturno.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Boerkamps, J.; Binsbergen, A. (1999). GoodTrip - a new approach for modelling and evaluation of urban goods distribution. Traffic and Road. Department of Technology and Society LTH. Urban Transport Systems. *2nd KFBResearch Conference*. Lund, Sweden, 7-8 June, 1999.

Callegari-Jacques, S. M. (2003) *Bioestatística: princípios e aplicações*. Porto Alegre: Artemed, 2003. 255p

Carnielle, L.G (2009) *Proposta de um sistema de análise da logística urbana para cidades de médio e pequeno porte*. Dissertação [Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo], São Carlos.

Correia, V. A; L. K. Oliveira e G. R. Mateus (2010) Análise econômica e ambiental da implantação de um CDU para Belo Horizonte. *Anais do XXIV ANPET*. Salvador, 29 novembro-03 dezembro.

Dablanc, L. (2007) Goods transport in large European cities: Difficult to organize, difficult to modernize. In:*Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 41, n. 3, p. 280–285.

Dutra, N. G. S. (2004) *O enfoque de "city logistics" na distribuição urbana de encomendas*. Tese doutorado. Orientador Antonio Galvão Naclério Novaes. PPGEP/UFSC. Florianópolis: 2004.

ECEESD (2005) *City Freight – Inter and Intra City Freight Distribution Networks*: Final Report. Paris. Relatório Técnico.

Jacobs, J. (2000) *Morte e vida de grandes cidades*. Martins Fontes, São Paulo.

Lima Jr., O. F.(2011) A Inovação Frugal: A nova rota da logística urbana Repensando estratégias e operações. *Mundo Logística*, 2011.

Lopez, J.M. C. (2000) *Os custos logísticos do comércio exterior brasileiro*. Aduaneiras, São Paulo.

Sinarimbo, N. G. (2005) *Freight transport management in the Central Business District:* an empirical analysis of traffic and environmental impacts of cooperative delivery system. Thesis. Tokyo University.

Oliveira, L. K. (2012) Discutindo as boas práticas de logística urbana para a realidade brasileira: um estudo prospectivo. [UFMG]. *Anais do XXVI ANPET*. Joinville, 28 outubro-01 novembro.

Oliveira, L. K.; N. G. S. Dutra; V. A. Correia; W. A. Pereira Neto e A. L. Guerra (2011) Adoption Assessment by Carriers and Retailers to Use an Urban Consolidation Center– A Case Study in Brazil. *Proceeding of the 7th City Logistics Conference*. Mallorca.

Quak, H. (2008*) Sustainability of urban freight transport retail distribution and local regulations in cities*. Thesis (Ph.D. in Management), Erasmus Research Institute of Management (ERIM), EUR, Rotterdam.

Taniguchi, E. Thompson, R.G. Yamada, T., (2001). *City logistics network modelling and intelligent transport systems*. Oxford: Elsevier

Tyan, J. C.; F. Wang e T. C. Du. (2003) An evaluation of freight consolidation policies in global third party logistics. *International Journal of Management Science*. v. 31, p. 55-62.

PROPOSTA DE MÉTODO DE AVALIAÇÃO E COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE MALHAS VIÁRIAS PARA DISTRIBUIÇÃO URBANA DE CARGA UTILIZANDO CRITÉRIOS DE IMPEDÂNCIA

Julia Coutinho Amaral
Claudio Barbieri da Cunha
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

RESUMO
O transporte de carga urbano, apesar de ser essencial para as atividades da cidade, ocupa o segundo plano nas políticas de mobilidade, que focam no transporte de pessoas. As medidas elaboradas para carga nem sempre direcionam para sua eficiência. O objetivo deste artigo é apresentar um método que permita avaliar e comparar a oferta de malhas viárias de cidades do ponto de vista de sua eficiência quanto à distribuição de última milha, de modo a oferecer uma ferramenta para auxiliar a tomada de decisões estratégicas referentes ao transporte de carga urbano. Os autores apresentam uma revisão bibliográfica sobre métodos de comparação e caracterização de cidades, uma descrição do método proposto e resultados para a aplicação em duas regiões da cidade de São Paulo.

ABSTRACT
Despite being essential to cities' activities, urban freight transport is overshadowed by passenger transport in urban mobility policies. Freight transportation policies do not necessarily focus on its efficiency. This paper proposes a method to evaluate and compare street networks regarding its role in last mile distribution efficiency, in order to support urban freight strategy decision making. The authors present a literature review on characterization and comparisons of cities, a description of the proposed method and the results for an application in Sao Paulo.

1. INTRODUÇÃO

A distribuição de carga é uma atividade essencial para a dinâmica urbana, já que as atividades econômicas e sociais e até mesmo a sobrevivência dos habitantes da região urbana dependem do abastecimento de mercadorias. Por outro lado, a disputa de espaço viário com carros e veículos de transporte coletivo que transportam pessoas faz com que o transporte de carga não seja priorizado no planejamento de mobilidade das cidades. Apesar do número de pesquisas relacionadas à sustentabilidade do transporte de carga urbano estar aumentando, as políticas de mobilidade urbana ainda são baseadas na associação direta da distribuição de carga com os impactos negativos gerados pela circulação de veículos pesados na cidade, fazendo com que as autoridades adotem políticas restritivas que nem sempre contribuem para eficiência da atividade (Lindholm e Blinge, 2014).

Os principais impactos negativos normalmente associados ao transporte de carga são os congestionamentos, a poluição sonora e visual e a emissão de poluentes no ar. Em uma primeira impressão, esses impactos são potencializados pela natureza dos veículos que realizam o transporte de carga, pois estes possuem maiores dimensões e, em geral, desenvolvem menores velocidades que os veículos que transportam passageiros (Zambuzi, 2015). Com essas características em vista, as políticas implementadas pelas autoridades visam restringir a circulação de determinados veículos de carga em horários e regiões da cidade que mais sofrem com altas taxas de congestionamento e poluição, a fim de priorizar o fluxo de passageiros. Porém, como discutido por Holguín-Veras *et al.* (2017), a implantação de políticas de restrição de circulação não resulta na redução dos congestionamentos e da poluição como seria esperado, já que as entregas continuam sendo feitas por veículos menores que substituem os que foram restritos, aumentando o número total de milhas percorridas por

veículos de carga e gerando ainda mais congestionamentos e poluição.

Por se tratar de uma atividade que gera impactos negativos no ambiente ao mesmo tempo em que é essencial para a vida urbana, é importante estudar os aspectos que influenciam a distribuição de última milha, a fim de buscar a minimização dos seus impactos. Fatores como uso do solo, disponibilidade de vagas, malha viária existente, distribuição das atividades comerciais e políticas de restrição de circulação de veículos atingem diretamente a eficiência das entregas, gerando impactos negativos à população que necessita de insumos e que sofre as consequências de um trânsito congestionado. Devido ao grande número de externalidades, a tarefa de analisar as cidades e os desafios da logística urbana é complexa e extensa. Essa complexidade chama atenção para a necessidade do uso de métodos e modelos que permitam uma análise objetiva do ambiente em questão, auxiliando no diagnóstico de problemas e direcionando a criação de propostas e políticas que aumentem a eficiência da distribuição na última milha.

Nesse contexto, o objetivo deste artigo é apresentar um método para comprar e avaliar regiões urbanas quanto à dificuldade imposta pela oferta de malha viária na circulação dos veículos que realizam operações de carga e descarga. Busca-se (i) identificar regiões ou áreas de cidades onde o sistema viário impõe maiores dificuldades à circulação de veículos de entrega, para que elas possam ser priorizadas e analisadas mais detalhadamente; (ii) comprar a sua eficiência com modos não motorizados, que também podem ser usados como alternativa para entrega de carga; e (iii) possibilitar a comparação de diferentes regiões de uma mesma cidade ou até mesmo de diferentes cidades ao redor do mundo. Sendo assim, é necessário que o método seja geral, ou seja, possa ser aplicado a qualquer cidade do mundo, não dependa de coleta de dados de campo, nem de recursos específicos de obtenção restrita como imagens de satélite e que possa ser automatizado, para eliminar qualquer necessidade de manipulação manual e permitir a avaliação de áreas em diferentes regiões do mundo com maior amplitude geográfica.

A ideia é que o método proposto possa embasar a tomada de decisões tanto de empresas quanto do setor público. A identificação de áreas mais críticas em termos da complexidade da distribuição na última milha permitiria que empresas atribuíssem uma atenção mais cuidadosa no planejamento das suas operações nesses locais, e que o setor público pudesse planejar e realizar ações e políticas direcionadas a mitigação das dificuldades observadas. Além disso, a análise comparativa da complexidade da distribuição urbana entre diferentes cidades possibilitaria uma melhor avaliação prévia da efetividade de medidas e políticas voltadas à logística urbana, contribuindo para o maior sucesso dessas iniciativas e evitando a adoção em ambientes muito distintos daqueles para as quais foram elaboradas inicialmente.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta a revisão bibliográfica sobre o assunto; na sequência, a seção 3 discorre sobre o método proposto para avaliar e comparar cidades quanto à complexidade da distribuição urbana de carga; na seção 4 são apresentados os resultados da aplicação desse método para duas áreas da cidade de São Paulo; por fim, a seção 5 traz as considerações finais do trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para a revisão bibliográfica, buscou-se reunir publicações cujo escopo envolve a caracterização de cidades e análise de redes urbanas, a fim de identificar abordagens que

possam ser adaptadas para a proposta deste artigo.

Nesse contexto, um dos trabalhos relevantes é o de Mohareji e Gudmundsson (2014), que propõem um método para acompanhar o desenvolvimento urbano de cidades ao longo do tempo utilizando informações da malha viária. O método quantifica as características geométricas da malha viária e é aplicado na análise da evolução das malhas de três cidades: Sheffield (Reino Unido), Khorramabad (Irã) e Kerman (Irã). As três cidades possuem geografias diferentes, pois Sheffield está localizada em uma região de colinas e vales com poucas restrições de relevo; Khorramabad possui a maior restrição geográfica, já que está localizada em um vale estreito; e Kerman está localizada em uma região desértica plana que não apresenta restrições físicas para seu desenvolvimento espacial. Os autores utilizaram orientação (azimutes) e comprimento dos segmentos das vias para caracterizar o crescimento das cidades ao longo tempo e os resultados sugerem que a distribuição da malha viária é diretamente afetada pela geografia do local. A cidade com maior restrição espacial apresentou maior aumento na entropia da orientação das vias e menor aumento na entropia do comprimento dos segmentos de via, o contrário da cidade localizada na área desértica sem barreiras físicas para seu desenvolvimento. Sheffield que possui geografia intermediária em relação às duas cidades do Irã apresentou resultados intermediários em relação às entropias de orientação e de comprimento. Os resultados do método mostraram-se coerentes com as características geográficas das regiões onde se encontram as cidades estudadas, porém os autores utilizam as características espaciais de malhas viárias para relacionar à geografia apenas e não discutem o uso e a influência das malhas nas respectivas cidades, objetivo deste artigo.

As malhas viárias também podem ser estudadas em sua forma simplificada, chamadas de redes viárias. Jiang e Claramunt (2004) propõem uma análise topológica de redes urbanas através de uma representação gráfica dual. Nessa representação, os nós representam as ruas e os arcos, os cruzamentos de ruas. Para analisar a estrutura da rede viária a partir dessa representação são computadas algumas medidas topológicas como conectividade das vias, comprimento médio de caminho e coeficiente de aglomeração. Os experimentos foram feitos em três cidades, mostrando que as redes urbanas apresentam características de redes de "pequeno mundo", ou seja, redes nas quais poucos nós possuem muitos vizinhos, mas o número médio de ligações necessárias para conectar dois nós quaisquer é baixo; além disso, não exibem características de redes sem escala, isto é, redes nas quais as ligações seguem uma lei de potência, e nós com alto grau de conectividade têm a tendência de se conectarem entre si. Essas propriedades topológicas são de interesse para estudos de áreas urbanas em geral, porém a representação gráfica depende da maneira que as ruas são identificadas na cidade estudada, dificultando a padronização do método e limitando as possibilidades de comparação entre locais diferentes, já que a identificação de vias e suas nomenclaturas são processos que mudam de acordo com a cultura local. Além disso, o processo é feito de maneira manual, com dificuldade para uma automatização e generalização de modo a possibilitar a sua aplicação de maneira mais generalizada para diferentes cidades em diversas partes do mundo.

Assim como Jiang e Claramunt (2004), Porta *et al.* (2006) propõem a construção do grafo dual, no qual as ruas são representadas por nós e os cruzamentos por arcos, porém, esse grafo é construído com base na continuidade das vias e não na nomenclatura das ruas e são considerados seis casos de cidades com origens históricas, desenvolvimento urbano e padrões de distribuição viária diferentes. Os autores realizam um estudo comparativo de algumas

propriedades estruturais dos grafos duais, como número de nós e arcos e número médio de ligações por nós. Várias técnicas de análise de redes são aplicadas: comprimento de caminho mínimo, correlação de grau, coeficiente de aglomeração e eficiência global e local. Os resultados mostram que todas as redes urbanas estudadas têm propriedades características de redes "de mundo pequeno", assim como os resultados de Jiang e Claramunt (2004), mas neste caso, devido à abordagem de construção de grafos duais baseada em continuidade das vias, os resultados apontam que as redes urbanas também têm características de redes sem escala, devido a uma tendência hierárquica em que poucas ruas e avenidas principais possuem muitas conexões e outras vias menos importantes são menos conectadas. Esse estudo é feito considerando apenas topologia, perdendo a grandeza da distância real entre os nós, o que torna o método pouco apropriado para problemas de distribuição urbana de carga. Os autores concluem que a abordagem dos grafos duais complementa e apresenta vantagens em relação a estudos que utilizam apenas a rede espacial. A utilização desse método para áreas mais amplas de uma cidade é complexa, dada a dificuldade de sistematização e automatização do procedimento de construção de grafos duais.

Crucitti et al. (2006) estudaram malhas de cidades no espaço geográfico e propõem quatro índices de centralidade espaciais para caracterizar a estrutura viária. São eles: (i) centralidade de proximidade ("closeness centrality"), que mede a proximidade de um nó em relação aos demais através dos caminhos mais curtos; (ii) centralidade de intermediação ("betweenness centrality"), que mede a participação de um nó na ligação entre todos os outros nós da rede; (iii) centralidade de "retilinidade" ("straightness centrality"), que é a razão entre a distância em linha reta (euclidiana) e a distância na rede; e (iv) centralidade de informação ("information centrality"), que mede a diferença de eficiência da rede no caso de desligamento de um nó. Na sequência, é feita uma análise de agrupamentos hierárquica baseada na distribuição das centralidades. O resultado aponta para duas principais classes de cidade, que são as cidades que cresceram por um processo histórico e sem controle de nenhum tipo de agência reguladora e as cidades que foram planejadas e que costumam apresentar um padrão de grade regular. Apesar da proposta dos autores incluir medidas de distância, que são perdidas nas análises topológicas de redes duais citadas anteriormente, a análise é feita em malhas contidas em áreas de uma milha quadrada, fazendo com que a aplicação para o problema deste artigo, que almeja analisar áreas maiores, seja inviabilizada.

Strano et al. (2012) também utilizam índices de centralidade para caracterizar vias. Os autores chamam a atenção para o fenômeno de urbanização e a falta de uma forma adequada para caracterizar o processo quantitativamente. Dessa forma, sugerem a utilização de índices de centralidade para identificar vias de "alta centralidade", ou seja, vias principais de uma região urbana. A área de estudo do artigo é a região norte de Milão (Itália), a qual os autores analisam 200 anos de evolução de sua malha viária. Os resultados apontam que as vias de alta centralidade são estáveis, pois permanecem as mesmas ao longo dos anos, como uma espinha dorsal para o desenvolvimento urbano, e confirmando a importância das raízes históricas para o desenvolvimento da cidade. Além disso, identifica-se que o processo de urbanização é marcado pela densificação de vias, que corresponde ao surgimento de novas vias locais nas regiões urbanas, e pela evolução do uso do solo impulsionada pelo surgimento dessas novas vias. Apesar do método proposto no artigo não tratar diretamente de uma aplicação para o problema de distribuição urbana, foco deste artigo, a identificação empírica desses mecanismos simples e elementares sugere a existência de propriedades gerais para o processo de urbanização e abre portas para um modelo quantitativo para descrever as cidades.

Louf e Barthemely (2014) propõem um método quantitativo para caracterizar e cidades de acordo com o seu padrão viário. A proposta é utilizar as características dos quarteirões para constituir uma forma de impressão digital da cidade, ou seja, um atributo único para cada cidade. O primeiro passo é calcular um fator de forma para os quarteirões que consiste na razão entre a área do quarteirão e a área do círculo que o circunscreve. A distribuição de probabilidade do fator de forma dos quarteirões da cidade é o que define a sua impressão digital. Os autores aplicam esse método para 131 cidades ao redor do mundo e utilizam esses dados em um método de "clusterização" hierárquico simples para identificar grupos de cidades com características semelhantes. Através do dendograma resultante, são identificadas quatro principais famílias de cidades caracterizadas pela abundância de quarteirões de determinada área e determinada forma. Os autores chamam a atenção para o fato das cidades norte-americanas e europeias estarem alocadas em grupos diferentes, o que ressalta quantitativamente as diferenças dos padrões urbanos típicos das regiões. O método apresenta uma maneira direta e simples de caracterizar cidades, porém não é explorado do ponto de vista da acessibilidade de regiões e circulação nas vias, o que dificulta a sua aplicação para os objetivos deste trabalho.

3. MÉTODO PROPOSTO

O método proposto é inspirado em um índice de centralidade de Crucitti *et al*. (2006): o "*straightness centrality index*", ou índice de "retilinidade" em sua adaptação para o português. A principal diferença deste para o outro é que neste artigo ele é aplicado para pontos gerados aleatoriamente em uma área e as distâncias em rede calculadas para a elaboração dos índices leva em consideração regras de circulação para diferentes modos de transporte.

A geração de pontos aleatórios é realizada através de um comando de um software de sistema de informação geográfica (QGIS, 2017), o qual gera um conjunto de pontos distribuídos em uma área dados um polígono que restrinja os seus limites, o número de pontos desejados e uma distância mínima entre os pontos. Essa abordagem foi escolhida por ser uma maneira simples de simular pontos de entrega em uma região da cidade e por não depender de nenhum tipo de coleta de dados, bastando apenas estipular a densidade de pontos de entrega do tipo de cadeia de suprimentos que se deseja estudar e definir a área de estudo para gerar a localização dos pontos. O resultado da aplicação do comando é um banco de dados no qual cada observação representa um ponto do conjunto, caracterizado por um número de identificação e por coordenadas geográficas (latitude e longitude). O programa ainda permite que o usuário realize alterações manuais na localização das observações através da visualização em um mapa; um recurso útil para remanejamento de pontos que estejam em locais indesejados. A Figura 1, a seguir, ilustra um exemplo de situação na qual os pontos devem ser remanejados manualmente; primeiro a localização aleatória gerada pelo software em cima de um corpo d'água, depois o reposicionamento no espaço urbano.

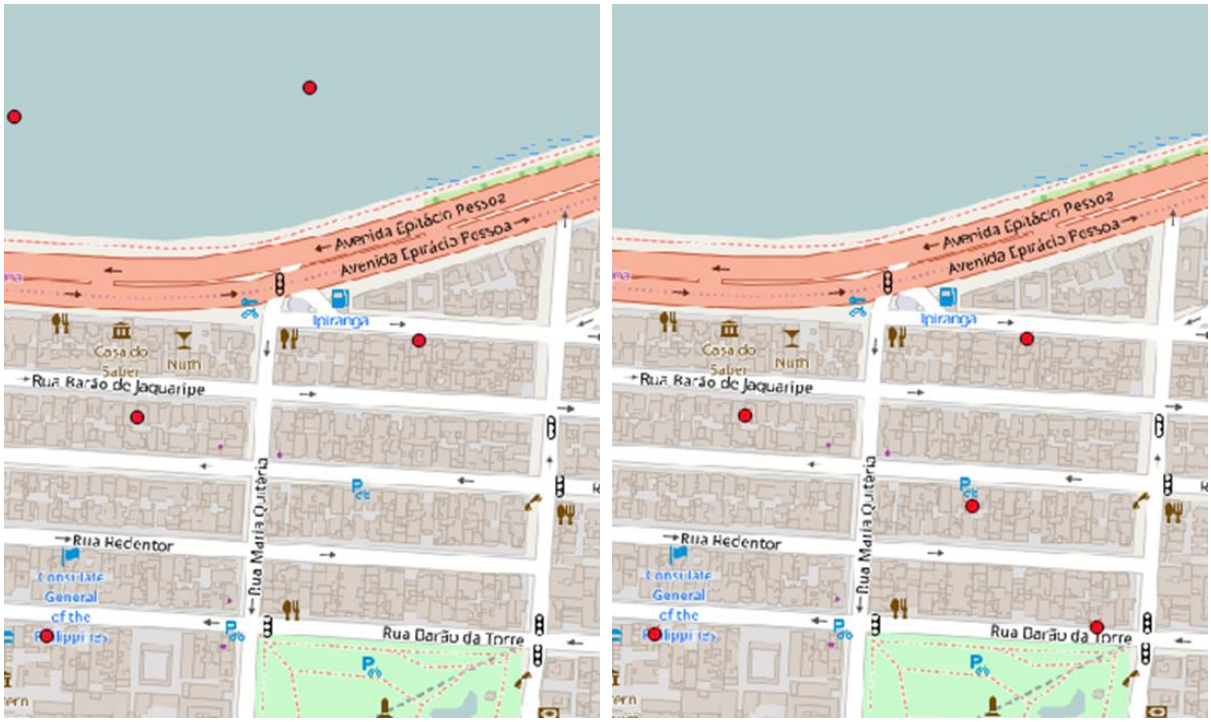


Figura 1: Antes e depois do ajuste manual dos pontos gerados aleatoriamente.

Tendo o banco de dados de pontos que simulam locais de entrega em mãos, o próximo passo do método é estudar os caminhos na malha viária da cidade que conectam esses locais. Os roteiros de entrega costumam agrupar locais próximos, a fim de minimizar a distância e o tempo despendido com deslocamentos, portanto não há a necessidade de analisar a rota entre todos os pontos do banco de dados, e sim apenas de pontos que estão próximos entre si. Sendo assim, é proposto que se estabeleça uma distância linear máxima entre localidades que se deseja estudar. Propõe-se que se estabeleça um raio máximo de busca a partir de cada localidade, dessa maneira cada ponto do banco de dados é visto como centro desse raio de busca e como origem de viagem; os outros pontos que estão dentro do raio pré-estabelecido são os destinos. Esse procedimento é aplicado para todas as observações, fazendo com que o resultado seja uma matriz de distâncias incompleta, na qual as origens e os destinos são os pontos que compõe os dados iniciais.

As distâncias dessa matriz origem-destino são computadas através da ferramenta Google Maps Directions API, que recebe como dados de entrada as coordenadas geográficas de um ponto de origem e outro de destino e o modo de transporte desejado para a realização do percurso, e retorna todos os parâmetros referentes à rota em questão: distância a ser percorrida, tempo de viagem e traçado. Para cada combinação origem e destino estudada, são feitas três solicitações variando o modo de transporte: carro, bicicleta e a pé. Neste estudo, não é simulado um momento específico de saída para a realização dos percursos, sendo assim o resultado do Google Maps é o caminho que geraria o menor tempo de viagem baseado na média histórica de tempos de viagem do local.

As distâncias resultantes são usadas para calcular os índices de "retilinidade", que consistem no quociente (d_{ij}^{r}/d_{ij}^{Eucl}) entre distância real entre i e j (d_{ij}^{r}), obtida através do Google Maps, e distância euclidiana (d_{ij}^{Eucl}), calculada através da aproximação da fórmula de Haversine,

que permite calcular a distância entre dois pontos em uma esfera, demonstrada por Robusto (1957). É importante ressaltar que a distância euclidiana não é a distância linear entre os pontos do conjunto inicial, pois como são gerados de maneira aleatória, não estão necessariamente próximos do espaço viário. Essa característica da base de dados não é um impasse para a aplicação da ferramenta do Google Maps que identifica a rota chegando o mais próximo o possível do local exato indicado, porém cria a necessidade de utilizar a distância euclidiana entre os pontos extremos da rota calculada para não enviesar a interpretação dos índices calculados.

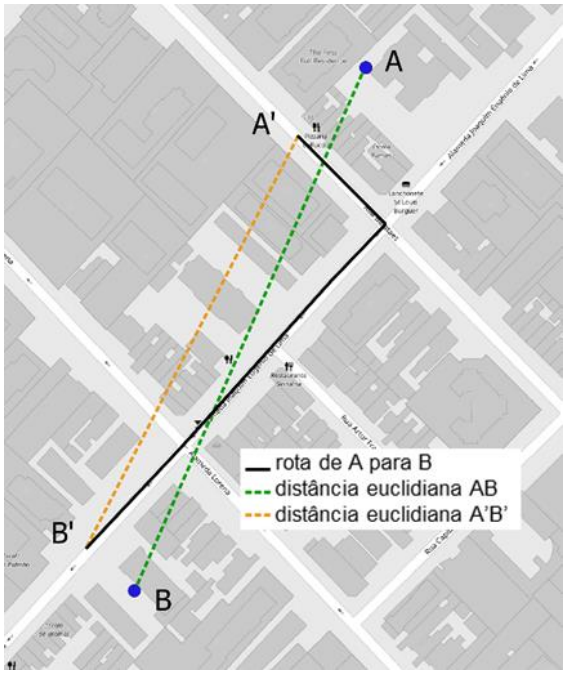


Figura 2: exemplo de origem e destino com representação gráfica das distâncias.

A Figura 2 ilustra o conceito de distância euclidiana utilizado; os pontos A e B são exemplos do conjunto aleatório utilizado na análise e estão localizados a certa distância do viário; os pontos A' e B' são os locais mais próximos com acesso à malha viária. A rota fornecida pelo Google Maps tem os pontos A' e B' em seus extremos e é com esses extremos que se determina a distância euclidiana, ilustrada na Figura 2 pelo tracejado laranja, e que é utilizada como denominador no cálculo do índice de "retilinidade". Esse processo garante que os valores obtidos pela divisão entre distância real e euclidiana sejam sempre maiores ou iguais a um. Sendo assim, quanto maior seu valor, menor a eficiência da malha viária disponível para realizar a ligação entre os dois locais.

Definidas as distâncias reais para os modos carro, bicicleta e a pé, assim como as distâncias euclidianas correspondentes a cada rota como ilustrado na Figura 2, basta calcular os quocientes que equivalem aos índices de "retilinidade" para cada par de pontos. Cada par de pontos tem dois índices referentes ao modo carro, outros dois para o modo bicicleta e um para o modo a pé. Isso se dá ao fato de que a distância real de *i* para *j* não é equivalente à distância real de *j* para *i* para os modos carro e bicicleta que dependem da direção de tráfego permitida nas vias. Já para o trajeto feito por pedestres, o caminho não sofre alteração ao se alternar a origem com o destino.

O processo descrito acima sumariza o método proposto. Ao seu final, o resultado é um banco de dados no qual cada observação corresponde a uma combinação origem e destino definidos pelos pontos do conjunto inicial, além de três índices de "retilinidade" calculados pelas distâncias necessárias para conectar a origem com o destino através da malha viária disponível pelos modos motorizado e não motorizados: bicicleta e a pé. Com esses dados é possível elaborar gráficos e mapas a fim de visualizar as áreas onde a malha viária é menos eficiente. Além dos índices atribuídos às rotas, é possível gerar índices para caracterizar a região estudada como um todo, basta calcular a média ponderada pelas distâncias dos índices de "retilinidade" de todas os pares origem-destino da região, ou simplesmente calcular a razão entre a soma de todas as distâncias reais e a soma de todas as distâncias euclidianas. O resultado dessa média ponderada é chamado de índice de "retilinidade" médio e são atribuídos três índices de "retilinidade" médios referentes aos três modos de transporte estudados para cada conjunto de dados em que se aplica o método. Esses resultados serão apresentados e discutidos com mais profundidade na seção a seguir, com a elaboração do estudo de caso para a cidade de São Paulo.

4. RESULTADOS

O método proposto foi aplicado em duas regiões da cidade de São Paulo. A primeira, chamada de Região A, compreende uma área mais central da cidade com aproximadamente 17,9km², que inclui os bairros Pinheiros, Jardins, Cerqueira César, Consolação, Bela Vista, Paraíso, Itaim Bibi e Ibirapuera, e é cortada por avenidas arteriais como, por exemplo, a Avenida Paulista, a Avenida Nove de Julho e a Avenida Brasil. A segunda, Região B, é menor, com 11,8km², localizada na zona sul da cidade entre os bairros Moema, Indianópolis, Brooklin e Campo Belo, e cortada pelas avenidas Ibirapuera, dos Bandeirantes, Santo Amaro e Roberto Marinho. Ambas as regiões apresentam fluxos de trânsito carregados e uso do solo misto, dividido entre as atividades comercial e residencial, sendo que a distribuição dos quarteirões da segunda região apresenta um padrão mais regular de tamanho e forma devido à configuração em grade das vias locais.

A Tabela 1 resume as principais características quantitativas das regiões estabelecidas para a análise. Os dados de oferta de malha viária e cicloviária foram obtidos na plataforma de dados abertos GeoSampa e processados com o software QGIS.

Tabela 1: Características quantitativas das regiões de estudo.

	Área (m²)	Densidade de Vias (m/km²)	Densidade de Ciclofaixas (m/km²)	Nº de pontos gerados
Região A	17,9	15806,5	1434,0	230
Região B	11,8	17636,6	909,4	150

Com os limites das regiões estudadas definidos, foram gerados pontos aleatórios pelo comando do software QGIS, como descrito na seção 3. Por se tratar de um estudo exploratório, a densidade de pontos foi escolhida com o intuito de se obter uma cobertura homogênea das áreas estudadas. Após alguns testes, foi estabelecido pelo critério de avaliação visual de homogeneidade da distribuição resultante o número total de 230 pontos para a Região A e 150 para a Região B, ambos com uma distância mínima de 200m entre si. Dessa forma, a densidade de pontos em ambas as áreas é considerada equivalente, resultando em valores entre 12 e 13 pontos/km². As análises foram conduzidas em dois conjuntos de pontos distintos para cada região, a fim de avaliar se a aleatoriedade dos conjuntos gerados modifica

os resultados obtidos. A distância linear máxima para se computar rota em entre dois pontos foi estabelecida em 500m.

Tabela 2: Resultados do Índice de "Retilinidade" Médio (IRM) para as regiões

		Nº de combinações OD	IRM carro	IRM bicicleta	IRM a pé	IRM carro / IRM bicicleta	IRM carro / IRM a pé
Região A	Conjunto 1	2050	2,75	1,83	1,43	1,51	1,93
	Conjunto 2	2044	2,85	1,89	1,43	1,51	2,00
Região B	Conjunto 1	1262	2,10	1,75	1,39	1,20	1,51
	Conjunto 2	1284	2,11	1,73	1,39	1,22	1,52

A Tabela 2 apresenta os índices de "retilinidade" médios das regiões (IRM), onde se pode notar que a variação de uma mesma variável entre os conjuntos gerados para cada região é muito pequena, inferior a 5%, validando a relevância da amostra gerada aleatoriamente. Percebe-se que os resultados de IRM são maiores na Região A para todos os modos, em especial para carro, o que pode ser explicado pela menor oferta viária por área, observada na Tabela 1, pela distribuição mais heterogênea das ruas, ou ainda pelo maior número de avenidas arteriais do que na Região B.

As razões entre IRMs apresentadas nas duas colunas a esquerda da tabela 2 foram acrescentadas para comparar a eficiência entre modos motorizado e não motorizado. Apesar dos resultados indicarem mais eficiência geral da circulação na Região B, a razão entre IRM carro e IRM bicicleta para Região B apontam que a eficiência relativa entre bicicleta e carro é menor do que na Região A. Os valores obtidos apontam que na Região A as distâncias percorridas por veículos motorizados são em média 151% maiores do que as percorridas por bicicleta, enquanto na Região B esse número é cerca de 120%. Isso significa que se por exemplo uma operação motorizada, ao optar substituir o meio de transporte por bicicleta deve esperar uma maior redução percentual das distâncias totais percorridas na Região A do que na Região B. Esse resultado está coerente com a oferta cicloviária por área apresentada na Tabela 1. A razão entre IRM carro e IRM a pé têm interpretação análoga à razão entre IRM carro e IRM bicicleta, porém também pode ser utilizada como uma maneira de inferir sobre as regras de trânsito do local. Os veículos motorizados devem obedecer a regras de circulação como mão-de-direção das vias e proibições de conversão, que não se aplicam a pedestres, portanto quanto maior o número da razão entre esses índices, maior o número provável de restrições impostas aos veículos que circulam na região. No caso, como se pode ver na Tabela 2, a Região A apresenta o maior valor.

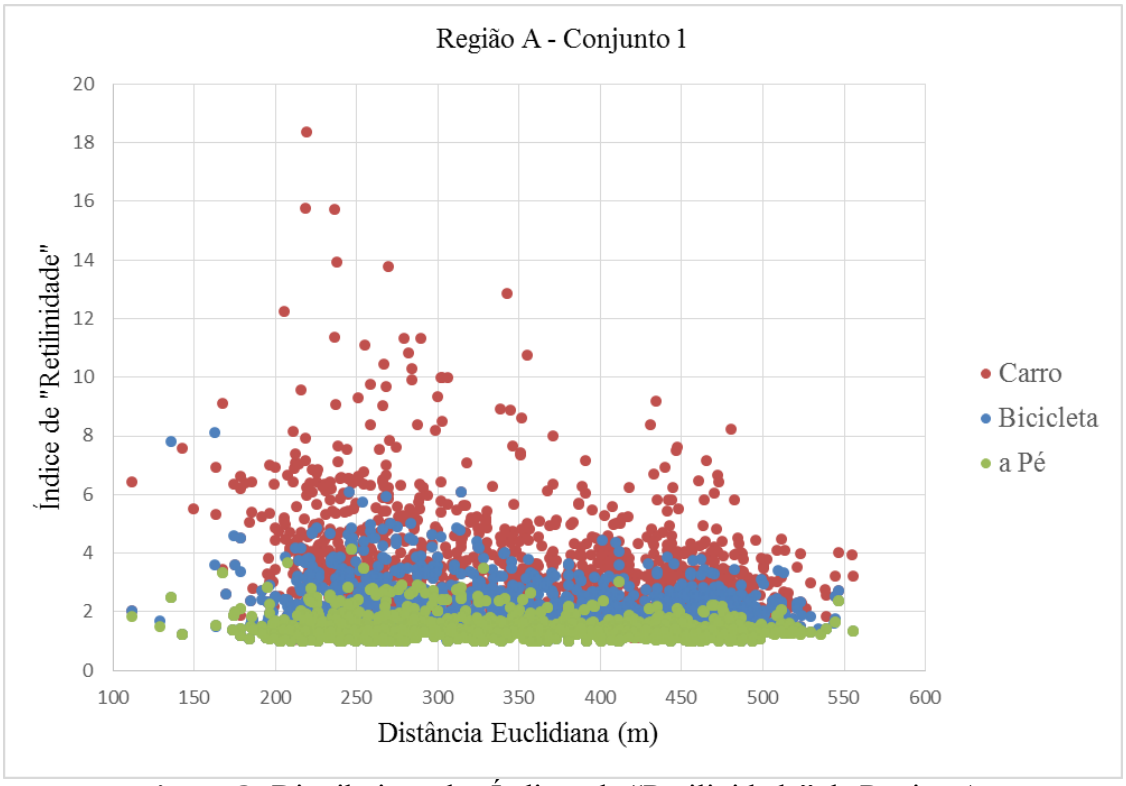


Figura 3: Distribuição dos Índices de "Retilinidade" da Região A.

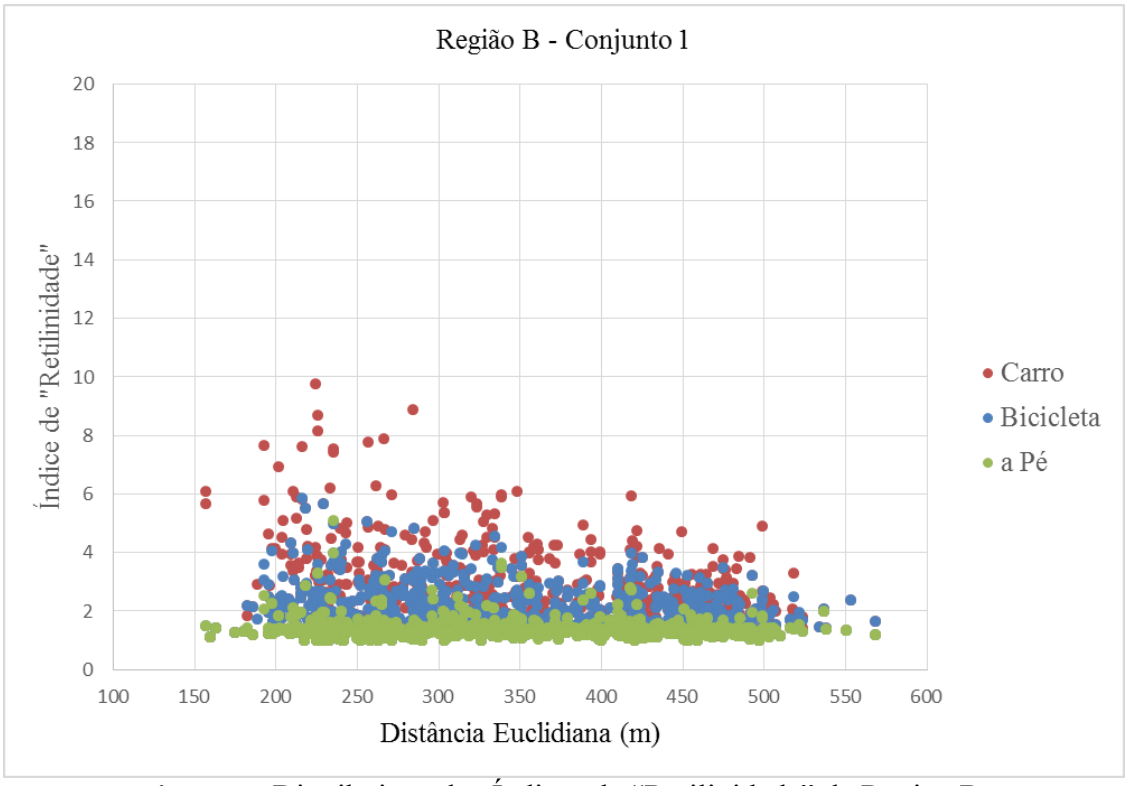


Figura 4: Distribuição dos Índices de "Retilinidade" da Região B.

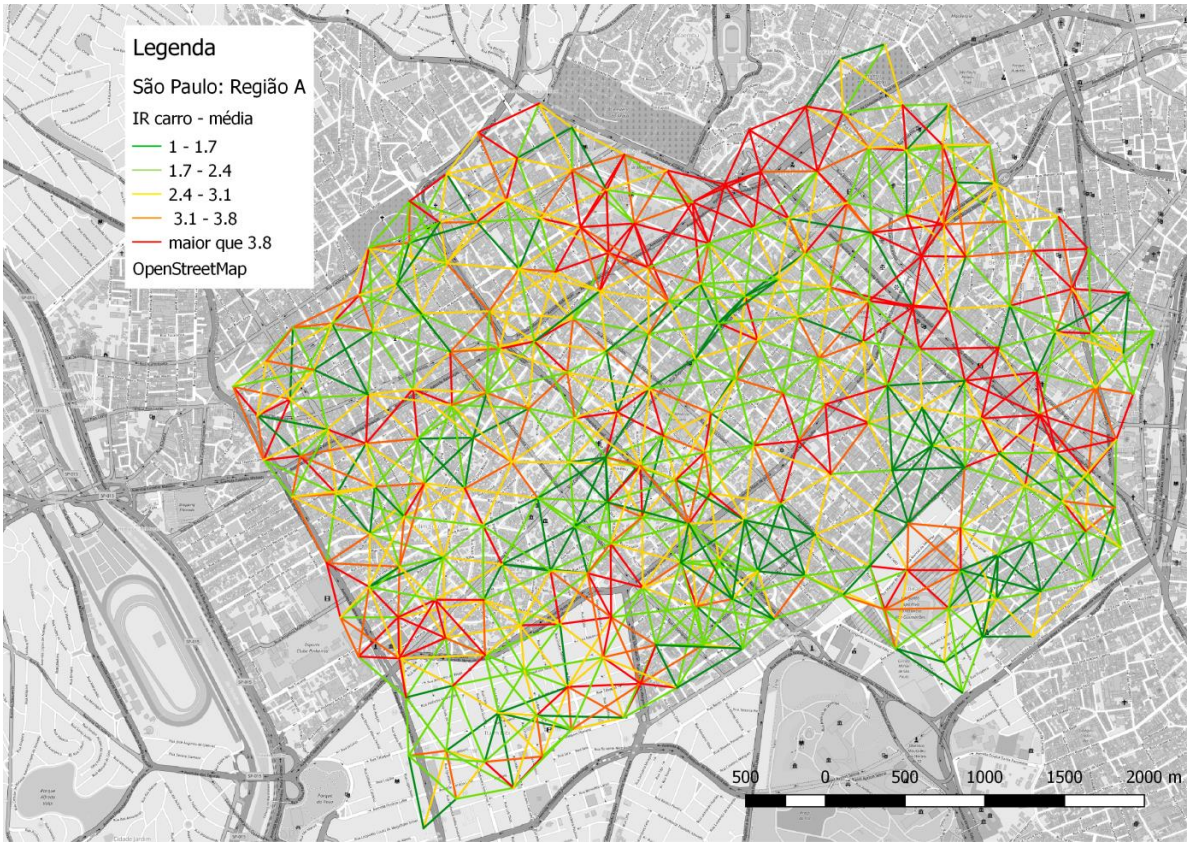


Figura 5: Média do índice de "retilinidade" (IR) de cada ligação na Região A.

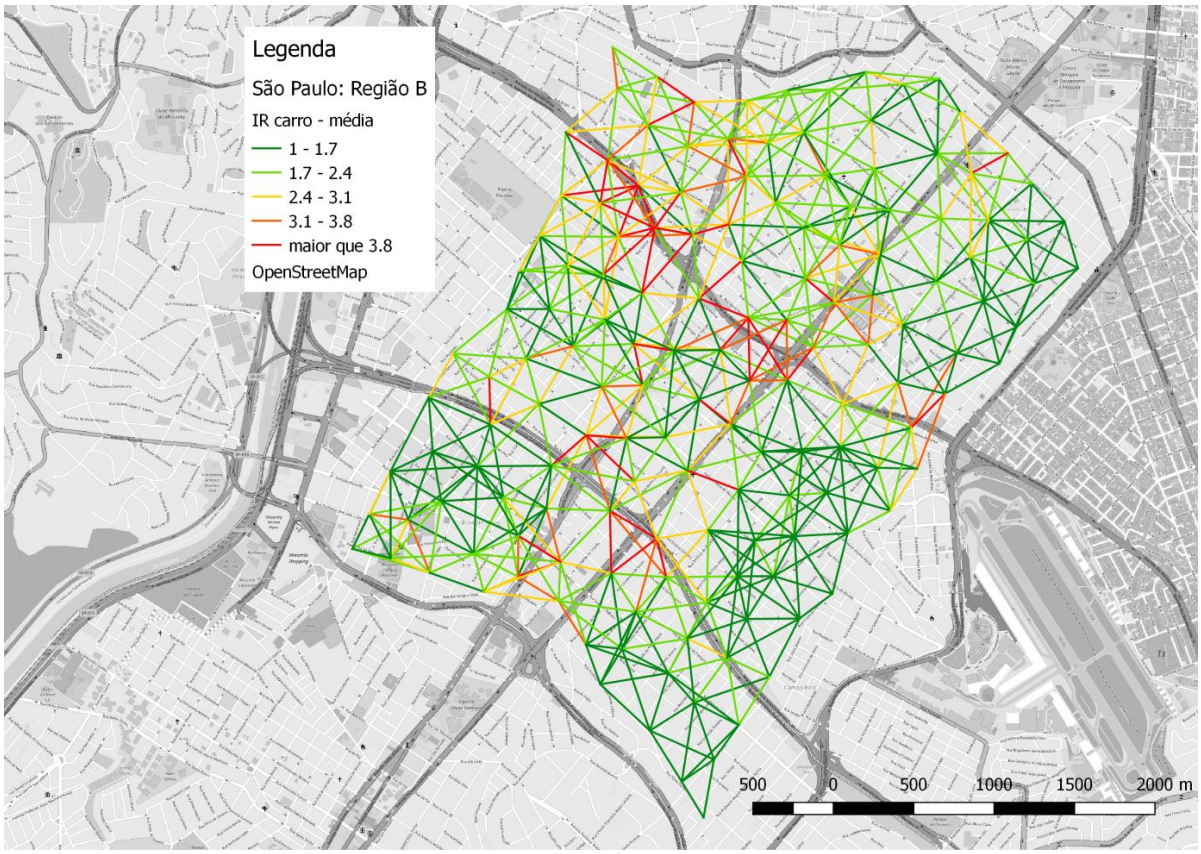


Figura 6: Média do índice de "retilinidade" (IR) de cada ligação na Região B.

Os gráficos das Figuras 3 e 4 apresentam as distribuições referentes ao Conjunto 1 das Regiões A e B; com eles é possível visualizar as observações que geraram dados apresentados na Tabela 2. Observa-se que a distribuição da Região A apresenta maior amplitude nos valores dos índices e que existe uma tendência a uma maior variação do índice de "retilinidade" quanto menor a distância euclidiana. Nota-se que, apesar dos pares de pontos aleatórios utilizados para computar as rotas estarem a uma distância mínima de 200m e a uma distância máxima de 500m entre si, algumas observações do gráfico fogem essa faixa no eixo da distância euclidiana; isso se dá ao fato dos extremos da rota não serem equivalentes aos pontos de entrada, como representado na Figura 2. Além disso, a distribuição das observações corrobora as análises baseadas nos IRMs sobre a eficiência relativa entre os modos motorizado e não motorizado, já que a distribuição dos pontos referentes a bicicleta e carro são mais próximas no gráfico da Região B.

A visualização dos resultados também pode ser feita através de uma rede em um mapa, como exemplificado nas Figuras 5 e 6. Cada ligação é definida por um par de pontos, ou seja, duas combinações origem-destino, portanto neste exemplo foi escolhido atribuir para cada ligação a média do índice de "retilinidade" entre os valores de "ida" e "volta" referentes à ligação. Percebe-se uma maior concentração de arestas vermelhas, laranjas e amarelas próxima das vias arteriais, o que mostra indícios do efeito barreira das grandes avenidas no espaço urbano. O recurso de visualização dos resultados através de um mapa auxilia no diagnóstico de áreas mais problemáticas para circulação dos veículos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados do estudo de caso das duas regiões de São Paulo reforçam o caráter promissor do método. A caracterização das regiões através dos índices de "retilinidade" médios (IRM) são coerentes com as características observadas nos locais estudados e a visualização espacial dos resultados evidencia que os resultados dos índices para as observações estão relacionados com o ambiente urbano.

Os próximos passos deste trabalho incluem uma análise mais detalhada das microregiões identificadas como mais problemáticas do ponto de vista da eficiência da malha viária, incluindo, possivelmente, tempos de viagem além da distância como elemento de impedância da circulação dos veículos; e deve-se buscar também a aplicação do método em mais localidades, inclusive outras cidades, a fim de coletar dados para uma investigação com significância estatística dos indícios de correlação entre as características quantitativas das malhas viárias locais com os índices calculados pelo método proposto que foram levantados por este artigo. Além disso, seria interessante conduzir análises com densidades de pontos diferentes para investigar a influência da densidade dos potenciais pontos de entrega na operação de última milha.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES pelo financiamento da pesquisa através de uma bolsa de mestrado e ao CNPq por uma bolsa de produtividade (PQ).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Crucitti, P.; V. Latora e S. Porta (2006) Centrality measures in spatial networks of urban streets. *Physical Review E*, v. 73, n. 3, p. 036125.

GeoSampa (2017). Mapa Digital da Cidade de São Paulo. Disponível em: <http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/>. Acesso em 6 de julho de 2017.

Google Maps Directions API (2017) Google Maps APIs, documento de referência para desenvolvedores.

Disponível em: < https://developers.google.com/maps/documentation/directions/start?hl=pt-br >. Acesso em 3 de julho de 2017.

Holguín-Veras, J.; J. A. Leal e B. B. Seruya (2017). Urban freight policymaking: The role of qualitative and quantitative research. *Transport Policy*, v. 56, p. 75-85.

Jiang, B. e C. Claramunt (2004) Topological analysis of urban street networks. *Environment and Planning B: Planning and design*, v. 31, n. 1, p. 151-162.

QGIS 2.18 (2017). QGIS, um Sistema e informação geográfica livre e aberto. Disponível em: < http://www.qgis.org/pt_BR/site/>. Acesso em 3 de julho de 2017.

Lindholm, M. E. e M. Blinge (2014). Assessing knowledge and awareness of the sustainable urban freight transport among Swedish local authority policy planners. *Transport policy*, v. 32, p. 124-131.

Louf, R. e M. Barthelemy (2014). A typology of street patterns. *Journal of The Royal Society Interface*, v. 11, n. 101, p. 20140924.

Mohajeri, N. e A. Gudmundsson (2014). The evolution and complexity of urban street networks. *Geographical Analysis*, v. 46, n. 4, p. 345-367.

Porta, S.; P. Crucitti e V. Latora (2006) The network analysis of urban streets: a dual approach. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v. 369, n. 2, p. 853-866.

Robusto, C. C. (1957) The cosine-haversine formula. *The American Mathematical Monthly*, v. 64, n. 1, p. 38-40.

Strano, E.; V. Nicosia; V. Latora; S. Porta e M. Barthélemy (2012). Elementary processes governing the evolution of road networks. *Scientific reports*, v. 2.

Zambuzi, N. (2015). Metodologia para a avaliação de medidas voltadas à distribuição urbana de cargas através do uso da microssimulação de tráfego. *Tese de doutorado*. Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da USP, São Paulo, SP, Brasil.

UMA HEURÍSTICA *VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH* PARA OTIMIZAR A TABELA DE HORÁRIOS INTEGRADA À PROGRAMAÇÃO DE ÔNIBUS URBANO

Caio Amaral Nakao
Universidade Federal de Ouro Preto - Departamento de Engenharia de Controle e Automação
Gustavo Peixoto Silva
Universidade Federal de Ouro Preto - Departamento de Computação

RESUMO
O Desenho de Redes de Transporte Público deve definir os itinerários dos ônibus, as tabelas de horários de partida das viagens (TH) e a frota necessária para cumprir as viagens programadas. A rede criada deve minimizar os custos dos operadores e dos usuários. O custo dos operadores é dado pela frota e deslocamentos ociosos, enquanto o custo dos usuários é dado pelo tempo de espera no terminal, tempo de viagem e transferências de linhas. Este trabalho apresenta uma metaheurística *Variable Neighborhood Search* (VNS) para minimizar o custo com a frota adequando a TH predefinida. São realizadas pequenas variações na TH, sem comprometer a qualidade do serviço. O procedimento permite gerar THs semelhantes à original, mas com um custo operacional inferior. A VNS foi testada com dados de empresas de ônibus urbano, sendo possível reduzir os custos operacionais do sistema, e mesmo a frota em operação, mantendo a qualidade do serviço.

ABSTRACT
The Public Transport Networks Design must define the bus routes, the trip timetable (TT) and the fleet to perform all scheduled trips. The network must be created minimizing the costs of operators and users. The operator cost is given by operational fleet and dead runs, while the user cost is given by waiting time at terminals, travel time and line transfers. This work presents a Metaheuristic Variable Neighborhood Search (VNS), to minimize the operator costs by adaptations made in a pre-defined timetable. Thus, small variations are made in the TT, without compromising the quality of service. The procedure is able to generate TTs similar to the original one, but with a lower operating cost. The VNS has been tested with data from urban bus companies, showing that it is possible to reduce the operating costs of the system, and even to reduce the operating fleet keeping the service quality.

1. INTRODUÇÃO

A operação de uma empresa que atua no sistema de transporte público conta com diversas situações nas quais surgem problemas de otimização combinatória. Uma empresa deste setor deve realizar um conjunto de viagens contidas na Tabela de Horários (TH) de cada linha, fornecida pelo órgão gestor local. A TH contém os horários de partida das viagens, de cada linha na qual ela atua. Para cada linha são conhecidos os pontos iniciais e finais e os horários de partida das viagens. A duração de cada viagem é estimada de acordo com dados estatísticos, permitindo definir o horário de término de cada viagem. A partir da TH de uma empresa, é colocado o Problema de Programação dos Veículos - PPV (*vehicle scheduling problem*) que além da TH, tem com entrada as distâncias entre os diferentes terminais de operação e a garagem, e as regras operacionais da empresa. Uma solução do PPV tem como resultado a frota mínima que deve entrar em operação para que as viagens sejam realizadas, respeitando os seus horários de partida. A solução fornece ainda a alocação das viagens aos respectivos veículos, detalhando a operação da frota. Para que o problema não se torne muito restrito e possibilite a minimização na frota, é necessário flexibilizar a operação no sentido de permitir que um mesmo veículo atue em diferentes linhas durante o dia. Este é um problema clássico muito estudado, mas que deve considerar restrições específicas das empresas em questão (Freling *et al*., 2001; Silva, 2001; Silva e Cunha, 2010).

Para diferentes THs existem diferentes soluções do PPV. Neste trabalho foi implementada a metaheurística *Variable Neighborhood Search* - VNS (Mladenovic e Hansen, 1997), que tem como entrada uma TH inicial, partir da qual são realizadas pequenas modificações que não

comprometem a qualidade do serviço. Posteriormente é resolvido o respectivo PPV e observado se houve uma redução dos custos com a frota, mediante tais modificações na TH. Este é o problema de otimização da Tabela de Horários integrada à resolução do Problema de Programação de Veículos. Nesse sentido, uma TH será melhor do que outra se o custo operacional da frota mínima for menor do que o custo operacional da outra. Considerando pequenas variações nos horários de partida das viagens, tal que a qualidade do serviço não seja comprometida, é possível gerar tabelas de horários semelhantes à tabela original, mas com um custo operacional inferior. A metaheurística VNS foi testada com dados reais de uma série de empresas que atuam na região metropolitana de Belo Horizonte, mostrando que é possível reduzir os custos do sistema, e em determinados casos, reduzir a frota em operação.

Este trabalho está divido da seguinte forma: na Seção 2 é realizada uma breve revisão da literatura sobre o tema, na Seção 3 é apresentado o problema e a sua forma de representação. A metaheurística VNS aplicada ao problema esta descrita na Seção 4, e os resultados são apresentados na Seção 5. Finalmente, são apresentadas as conclusões do trabalho na Seção 6.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Furth e Wilson (1981) propuseram um modelo de programação matemática para determinar a frequência dos veículos e com isso gerar a TH de uma linha de ônibus urbano. O modelo tem como objetivo maximizar a facilidade de deslocamento e minimizar os tempos de espera do usuário, considerando limitações de recursos financeiros, o tamanho da frota, a capacidade dos veículos e o tempo máximo de espera entre duas viagens consecutivas. O problema é formulado com um modelo de Programação Não-Linear e é resolvido com a técnica de sucessivas aproximações lineares.

Ceder *et al.* (2001) apresentam uma metodologia para maximizar a sincronização das THs, sendo que o máximo de sincronização é obtido maximizando o número de chegadas simultâneas dos ônibus nos terminais de transferências de uma rede. Isto possibilita a transferência de passageiros de uma rota para outra com tempo mínimo de espera nos terminais. A ideia é maximizar o número de vezes que um passageiro desce de um ônibus no ponto de transferência e, imediatamente, pega outro ônibus que também acabou de chegar. Os autores apresentam um procedimento matemático para que a sincronização máxima possa ser empregada como ferramenta para o programador no processo de criação das THs. A função objetivo trata de maximizar o número de chegadas simultâneas de ônibus nos nós da rede.

Ceder (2001) propõe uma metodologia para definir a TH utilizando uma técnica de informação gráfica que permite analisar possíveis mudanças nos horários de partida dos veículos e obter o imediato *feedback* da demanda média esperada de passageiros. São apresentados três procedimentos para melhorar a correspondência entre os horários de partida dos veículos com a demanda de passageiros e ao mesmo tempo minimizar recursos, dado pela frota em operação. Os procedimentos se baseiam na demanda de passageiros observada, na demanda desejada e no número mínimo de viagens no intervalo, sendo que os dois últimos são parâmetros da empresa. A TH resultante do primeiro procedimento apresenta partidas de ônibus igualmente espaçadas. No segundo procedimento, as partidas, em média, possibilitam alcançar a ocupação desejada nos ônibus, num determinado intervalo. Finalmente, no terceiro procedimento, as partidas são tais que, em média, não há situações de superlotação.

Após definir as THs das linhas de uma dada empresa, é necessário estipular a frota mínima necessária para realizar todas as viagens com o menor custo possível, ou seja, resolver o PPV para o conjunto de todas as THs de uma dada empresa. A resolução do PPV consiste em: a) determinar o mínimo de veículos necessários para realizar todas as viagens, e b) definir a sequência das viagens a serem executadas por cada veículo da frota, tal que o custo da operação seja minimizado (Bodin *et al*., 1983). Este problema é trivial quando o número de linhas é reduzido e a operação é simplificada. Mas ele se complica à medida que o número de viagens aumenta, quando é permitido que os veículos troquem de linha durante a operação, e quando há restrições de tempo de operação. Para os casos mais complexos a utilização de métodos matemáticos pode levar a uma redução no custo operacional da programação, ou mesmo no número de veículos necessários (Daduna e Paixão, 1995).

O PPV pode ser resolvido com métodos exatos que utilizam principalmente algoritmos de fluxo em redes (Bodin *et al*. 1983, Carraresi e Gallo, 1984 e de Daduna e Paixão 1995). Isto se deve pela eficiência de tais modelos em representar o problema e na simplicidade de implementação dos algoritmos de fluxo em redes, os quais na sua maioria apresentam complexidade polinomial. Dentre os modelos de fluxo em redes, destaca-se o modelo de pseudo-designação (Gavish *et al*., 1978), o qual foi utilizado por Silva e Gualda (2002) para implementar o método de geração de arcos, no sentido de Freling *et al*. (2001). Desta forma, Sila e Gualda (2002) obtiveram soluções exatas de problemas reais de grande porte por meio do método denominado *ArcGen*. Por outro lado, os métodos exatos não são capazes de incorporam restrições de ordem operacional que surgem na prática (Bodin *et al.* 1983). Exemplos dessas restrições são: limitar o número máximo de trocas de linhas que um veículo pode realizar durante a operação, o tempo máximo que um veículo permanece em operação, entre outras.

Ao incluir restrições operacionais ao modelo exato, o PPV se torna NP-Completo impossibilitando a sua resolução em tempo de processamento razoável. Neste sentido, as metaheurísticas se aplicam perfeitamente à resolução do problema. Souza *et al.* (2007) abordaram o PPV utilizando a metaheurística ILS, obtendo resultados significativos. Silva e Cunha (2009) resolveram o PPV utilizando a heurística GRASP com a técnica de busca local *Very Large-scale Neighborhood Search* - VLNS (Ahuja *et al*., 2002), obtendo resultados muito próximos do ótimo. O diferencial deste trabalho está justamente no método de busca, o qual explora uma região muito mais ampla do que as heurísticas clássicas de busca local.

Em um Sistema de Transporte Público surge uma dualidade entre o nível do serviço prestado ao usuário e o custo operacional atribuído às empresas. No nível operacional, esta dualidade é representada pelo problema de definição da Tabela de Horários e de Programação dos Veículos. Na definição da TH, procura-se maximizar o número de passageiros beneficiados com transferências rápidas e pouco tempo de espera nos terminais. Por outro lado, no PPV, procura-se minimizar os custos operacionais com a diminuição da frota e os dos tempos de espera dos veículos nos terminais. Nota-se que estas duas etapas tem objetivos conflitantes e podem ser resolvidas de forma integrada para que se encontrem soluções mais balanceadas entre os dois interesses envolvidos. A seguir são apresentados trabalhos voltados para este problema: resolver de forma integrada a definição da TH e a resolução do PPV.
Krishna Rao *et al*. (2000) usaram Algoritmos Genéticos (AG) para, sequencialmente, definir as rotas e programar os veículos por meio de duas implementações diferentes: a rede ótima é

obtida na primeira aplicação, a qual é o dado de entrada para o segundo AG, que busca pelo conjunto ótimo de frequência das linhas.

O trabalho de Silva *et al.* (2005) trata do PPV considerando pequenas modificações na tabela de horários. Neste trabalho o PPV é resolvido repetidas vezes, tendo como entrada diferentes tabelas de horários. Os resultados mostram que pequenas variações na tabela de horários podem levar a uma redução no custo operacional da frota. O trabalho de Silva *et al.* (2005) serviu como base para o desenvolvimento da implementação apresentada neste trabalho.

Michaelis e Schöbel (2009) sugerem reordenar a sequência clássica das etapas do planejamento. Na abordagem proposta pelos autores, inicialmente é definida a rota dos veículos, para então dividi-las em linhas e finalmente definir a TH. Os autores afirmam que a vantagem desta abordagem é que os custos podem ser controlados durante todo o processo, enquanto o objetivo em todas as etapas é orientado ao usuário. No trabalho é apresentado um modelo integrado que representa a abordagem proposta. Os autores apresentam também uma heurística que é aplicada a um estudo de caso da cidade de Göttingen, na Alemanhã.

Ibarra-Rojas *et al.* (2014) apresentam dois modelos de Programação Linear, uma para a definição da TH e outro para resolver o PPV. Os modelos são combinados em um modelo integrado bi-objetivo. Os autores utilizam um método do tipo *e-constraint* para resolver conjuntamente os dois problemas. O modelo permite analisar o *trade-off* entre estes dois critérios em termos de fronteira de Pareto. Experimentos numéricos mostram que a abordagem pode ser utilizada para resolver cenários com até 50 linhas de ônibus.

A revisão da literatura mostrou que existem poucos trabalhos voltados para a resolução integrada da definição da TH com a resolução do PPV. Assim, o presente trabalho explora esta integração utilizando a mesma estratégica proposta por Silva *et al.* (2005), sendo que no trabalho atual foi implementada a metaheurística *Variable Neighborhood Search* - VNS (Mladnovic e Hansen, 1997), explorando diferentes estruturas de vizinhança.

3. REPRESENTAÇÃO DO PROBLEMA INTEGRADO

O problema de definir a TH integrada à resolução do PPV trabalha tanto com uma Tabela de Horários quanto com a frota mínima. A seguir são apresentados os elementos que representam o problema assim como a forma de resolução do mesmo, implementada neste trabalho.

3.1 Uma Solução para o Problema Integrado

Uma solução *Ts* para o problema integrado se constitui em uma TH contendo todos os dados referentes às viagens, a partir da qual é encontrada a programação ótima para o PPV, a qual garante realizar todas as viagens com o menor custo possível. A cada solução *Ts* está associado um único custo, que diz respeito ao custo total da frota que executará a TH associada à solução.

3.2 Função Objetivo de uma Solução

O valor da função objetivo, $f(Ts)$, de uma solução *Ts* é obtida pelo custo operacional da programação ótima dos veículos. O cálculo da função objetivo $f(Ts)$, de uma solução *Ts* leva em conta o número de veículos necessários, o tempo total de viagens ociosas e o tempo total de espera no terminal. Assim, o valor de $f(Ts)$ pode ser calculado pela seguinte equação:

$$f(Ts) = Custo\_Fixo \times Tot\_vc + \alpha \times Total\_vgs\_ociosas + \beta \times Tot\_temp\_espera \quad (1)$$

Na expressão (1), o *Custo_Fixo* se refere ao custo de um veículo e *Tot_vc* ao total de veículos da solução. *Total_vgs_ociosas* contém o tempo total que os veículos fazem deslocamentos sem levar passageiros, que são viagens entre a garagem e os pontos iniciais e finais das linhas, e deslocamentos entre pontos finais e iniciais quando o veículo faz uma troca de linha de terminais distintos. O coeficiente α é o peso atribuído ao *Total_vgs_ociosas*. A grandeza *Total_temp_espera* se refere ao tempo que os veículos ficam parados nos terminais entre uma viagem e outra, sem que a tripulação seja dispensada de suas atividades e β é o seu peso. Os coeficientes α e β representam o custo de cada hora de viagem ociosa e o custo de cada hora de espera respectivamente.

3.3 Restrições do Problema Integrado

As restrições do problema são as mesmas quanto à definição da TH, acrescidas das restrições inerentes à resolução do PPV. A definição da TH inicial é dada pelo intervalo entre os horários de partida das viagens, também denominado *headway*. O *headway* garante uma qualidade no nível do serviço prestado. A quebra na rigidez deste intervalo associada à possibilidade dos veículos operarem em mais de uma linha pode levar à redução dos custos fixos e variáveis com a frota. Entretanto, para que a qualidade do serviço seja preservada, foi estabelecido um limite máximo na variação do *headway*. Neste trabalho este valor foi de três minutos, logo qualquer viagem da TH pode ter seu horário de partida adiantado ou atrasado em, no máximo, três minutos.

As restrições consideradas na resolução do PPV foram: *i*) um veículo deve permanecer, no mínimo, trinta minutos na garagem, por dia; *ii*) um veículo não pode realizar mais de uma viagem ao mesmo tempo; *iii*) um veículo não deve ficar mais que duas horas parado em um terminal esperando pela próxima viagem. Se o tempo de espera exceder esse limite, o veículo deve ser recolhido para a garagem até o início da próxima viagem. Neste caso, que o veículo estará fazendo uma *dupla pegada*; *iv*) cada veículo pode fazer um dado número máximo de trocas de linha; e *v*) todas as viagens da TH devem ser realizadas por algum veículo da frota.

4. A METAHEURÍSTICA *VNS* PARA A RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

Abaixo serão descritas as etapas que compõem a metaheurística VNS desenvolvidas para resolver o Problema Integrado.

4.1 Solução Inicial

A solução inicial consiste em uma tabela (TH), provenientes do órgão gestor, contendo os horários de partida de cada viagem sob a responsabilidade da empresa. A partir desta TH, é resolvido o PPV por meio do método exato *ArcGen* (Silva, 2001), produzindo a solução ótima. Estes dois elementos constituem em uma solução inicial para o problema.

4.2 Estruturas de Vizinhança

É definido como vizinho *Ts'* de uma solução *Ts*, uma tabela de horário que contem as mesmas viagens, mas que difere em Δ minutos o horário de partida e consequentemente, o horário de chegada em um dado número de viagem. Seja *d* sorteado aleatoriamente em $[-\Delta, \Delta]$ e *k* uma dada quantidade de viagens sorteadas aleatoriamente da TH corrente. Uma solução vizinha *Ts'* é obtida realizando modificações nos horários de partida das *k* viagens em *d* unidades. A partir da nova TH é resolvido o PPV associado, encontrado a frota mínima para realizar todas as viagens da TH modificada. Esta nova solução do PPV fornece o valor da solução vizinha, dada pela expressão (1).

4.3 Critérios de Aceitação e de Parada

Nesta implementação, foi utilizado o critério de aceitação determinístico, ou seja, uma nova solução só será aceita se ela for melhor do que a melhor solução conhecida, isto é, se o custo mínimo do PPV, retornado pelo método *ArcGen*, for inferior ao da melhor solução conhecida. Foi considerado como critério de parada o tempo de processamento dado por:

$$\textit{Tempo máximo de processamento} = 3{,}47 \times n^{o}\textit{ de viagens} \quad (2)$$

Com a expressão (2), tempo de processamento é diretamente proporcional ao tamanho do problema. O multiplicador do número de viagens foi definido empiricamente a partir de testes computacionais realizados com um subconjunto das instâncias estudadas.

4.4 Implememtação da Metaheurística *Variable Neighborhood Search*

A partir da TH de responsabilidade da empresa, o modelo tenta encontrar uma solução melhor fazendo alterações no horário de partida das viagens e avaliando os custos da frota mínima necessária para operar a nova tabela, ou seja, resolvendo o respectivo PPV. A TH que produzir o PPV de menor custo será escolhida. No Algoritmo 1 é apresentado o pseudocódigo da metaheurística VNS para resolver o problema. Nas linhas de 3 a 5 são definidas as inicializações de cada iteração. No laço mais externo (linhas 6 a 25) é realizada a variação no número de viagens a serem modificadas e no laço mais interno (linhas 9 a 19) ocorre a variação na modificação de cada viagem escolhida aleatoriamente. Caso uma nova TH, denotado no código por *ts*, produza uma frota mais econômica, então corre um retorno de delta ao valor inicial (linhas 13 a 15). A quantidade de viagens modificadas é atualizada nas linhas 20 a 24, retornando ao valor inicial se houve alguma melhora no laço mais interno, ou incrementado seu valor.

```
Algoritmo Tabela Horarios Integrada ao PPV (ts: tabela de horários inicial)
1.  tot_trip := total de viagens na tabela ts;
2.  enquanto (critério de parada não for satisfeito) faça
3.      ts := melhor tabela de horários corrente;
4.      fo(ts) := Resolve PPV(ts);
5.      vgs_modificadas := 0.15*tot_trip;
6.      enquanto vgs_modificadas <= 0.60*tot_trip) faça
7.          delta := 1;
8.          melhorou := falso;
9.          enquanto (delta <= 3) faça
10.             ts':= geraVizinho_Randomico(ts, vgs_modificadas, delta);
11.             fo(ts'):= Resolve PPV(ts');
12.             se(fo(ts') < fo(ts)) então
13.                 ts := ts';
14.                 delta := 1;
15.                 melhorou := verdade;
16.             senão
17.                 delta := delta+1;
18.             fim-se
19.         fim-enquanto
20.         se (melhorou) então
21.                 vgs_modificadas := 0.15*tot_trip;
22.         senão
23.                 vgs_modificadas := 1.1*vgs_modificadas;
24.         fim-se
25.     fim-enquanto
26. fim-enquanto
27. retorna(ts, fo(ts))
```

Algoritmo 1. Pseudocódigo da implementação do VNS

A geração de uma nova TH, semelhante à tabela corrente *ts* é detalhada no Algoritmo 2, sendo que *vgs_modificadas* contém o número de viagens que sofrerão alteração e *delta* o tempo máximo que essas viagens serão alteradas.

```
geraVizinho_Randomico(ts, vgs_modificadas, delta)
 1. Lista_modificadas := ∅;
 2. Enquanto |Lista_modificadas| < vgs_modificadas faça
 3.   Sortear aleatoriamente i ∈ ts;
 4.   Sortear aleatoriamente d ∈ [-delta, delta]
 5.   Horário de partida de i := Horário de partida de i + d;
 6.   Horário de chegada de i := Horário de chegada de i + d;
 7.   Retira i de ts;
 8.   Incluir i em Lista_modificadas;
 9. Fim_enquanto
10. Retorna(ts ∪ Lista_modificadas)
```

Algoritmo 2. Procedimento que gera uma tabela vizinha de *ts*

A resolução do PPV nas linhas 4 e 11 do Algoritmo 1 se dá pela aplicação do modelo de Fluxo em Redes com geração de arcos, denominado *ArcGen*.

5. TESTES COMPUTACIONAIS E RESULTADOS OBTIDOS

Foram realizados testes computacionais com uma série de problemas associados a oito empresas que operam na cidade de Belo Horizonte. Para cada empresa, foram considerados os dados dos dias úteis, dos sábados e dos domingos, que normalmente apresentam THs diferentes. Para o cálculo da FO, dada pela expressão (1), foram adotados os valores *Custo_fixo* = 5.000, $\alpha = 4$ e $\beta = 1$, de acordo com e Silva e Gualda (2002). Nas tabelas abaixo são apresentados os resultados obtidos utilizando a TH original como entrada para a resolução exata do respectivo PPV, utilizando o método *ArcGen*. A linha da TH Otimizada são apresentadas as características da melhor solução obtida com as modificações na TH original. Para cada caso são apresentados: o valor da FO associada à solução ótima, seguida das características da solução, ou seja, o total de veículos, o tempo de espera, o tempo de viagens ociosas e número de retornos à garagem.

A metaheurística proposta neste trabalho foi implementada na linguagem C/C++ e os testes foram executados em um computador com um processador Intel Core i7 3370 CPU @ 3.40GHz, memória RAM de 8,0 GB e sistema operacional Windows 10 Pro de 64 Bits.

5.1 Testes para Dias Úteis

Nas Tabelas 1, 2 e 3 são apresentados os resultados obtidos com as THs dos dias úteis, sábados e domingos respectivamente. Para cada empresa é informado o total de viagens contidas na TH, os dados da TH após o processo de otimização (TH Otimizada) e os dados da TH original (Original). Para a empresa G02, por exemplo, são executadas 260 viagens nos dias úteis, a FO passou de 48.454, sem modificações nas viagens, para 47.139 após as modificações. A solução para a tabela otimizada conseguiu reduzir a frota em uma unidade, passando de 40 para 39, e ainda foi possível reduzir em 1 hora e 16 minutos o tempo de espera no terminal e em 58 minutos de viagens ociosas. Em termos de qualidade da solução, houve um aumento de um retorno à garagem por parte dos veículos, mostrado na coluna Rets. Estão destacados em negrito os casos em que foram observadas as maiores reduções de custo.

Tabela 1. Resultados Obtidos para os Dias Úteis

Empresa		Melhor FO	N° Veículos	Espera Terminal (hh:mm)	Viagem Ociosa (hh:mm)	Rets
G02 260 viagens	TH Otimizada	47.139	39	27:43	36:20	20
	Original	48.454	40	28:59	37:18	21
G27 98 viagens	TH Otimizada	14.793	13	12:02	3:48	6
	Original	15.012	13	13:16	4:00	7
G46 505 vgs	TH Otimizada	57.080	47	52:16	40:52	22
	Original	58.471	48	53:43	41:22	24
G48 468 vgs	TH Otimizada	38.542	31	70:09	25:36	7
	Original	40.212	32	73:59	27:13	9
G61 1.038 vgs	**TH Otimizada**	**86.028**	**70**	**94:42**	**67:54**	**29**
	Original	**88.341**	**72**	**98:32**	**68:34**	**29**
G69 639 vgs	**TH Otimizada**	**67.031**	**55**	**71:11**	**50:10**	**21**
	Original	**69.434**	**57**	**74:37**	**50:45**	**22**
G99 293 vgs	TH Otimizada	29.344	24	37:40	20:39	8
	Original	30.634	25	39:49	20:57	9
G115 206 vgs	TH Otimizada	30.694	26	18:52	21:36	10
	Original	32.075	27	20:45	22:48	11

5.2 Testes para o Sábado

Assim como ocorreu com dados dos dias úteis, ao otimizar a tabela de horários executada aos sábados, foi possível obter resultados consideráveis, como pode ser observado, em especial, nas empresas G46 e G61, nas quais o número de veículos na frota diminuiu em 3 unidades.

Tabela 2. Resultados para o Sábado

Empresa		Melhor FO	N° Veículos	Espera Terminal (hh:mm)	Viagem Ociosa (hh:mm)	Rets
G02 172 vgs	TH Otimizada	25.332	22	24:36	15:06	2
	Original	26.536	23	27:44	15:14	2
G27 69 viagens	TH Otimizada	7.944	7	11:52	1:36	1
	Original	8.406	7	14:43	2:00	3
G46 372 viagens	**TH Otimizada**	**31.157**	**26**	**52:20**	**17:34**	**3**
	Original	**34.313**	**29**	**53:13**	**18:23**	**3**
G48 359 viagens	TH Otimizada	24.050	19	61:40	14:55	0
	Original	25.339	20	65:54	15:12	0
G61 769 viagens	**TH Otimizada**	**51.701**	**43**	**84:01**	**35:30**	**3**
	Original	**55.285**	**46**	**94:12**	**35:13**	**3**
G69 441 viagens	TH Otimizada	35.138	29	65:06	22:07	1
	Original	37.118	30	78:24	21:35	3
G99 191 viagens	TH Otimizada	14.610	12	31:36	7:53	0
	Original	14.904	12	33:09	8:33	1
G115 130 viagens	TH Otimizada	15.325	13	19:52	9:00	2
	Original	16.759	14	25:16	9:36	2

5.3 Testes para o Domingo

Ao modificar as tabelas de horário do Domingo, foi verificada uma redução em 2 veículos para as empresas G46 e G69, nas demais empresas, embora não tenha havido uma redução da frota, o valor da FO diminuiu devido à redução em algum dos outros parâmetros da função objetivo, como o tempo de espera no terminal e/ou viagem ociosa.

Tabela 3. Resultados para o Domingo

Empresa		Melhor FO	N° Veículos	Espera Terminal (hh:mm)	Viagem Ociosa (hh:mm)	Rets
G02 90 vgs	TH Otimizada	12.168	10	20:47	7:32	1
	Original	13.340	11	22:54	7:54	1
G27 52 vgs	TH Otimizada	5.693	5	10:32	1:00	0
	Original	6.143	5	15:38	1:12	1
G46 286 vgs	**TH Otimizada**	**24.151**	**20**	**48:01**	**12:46**	**1**
	Original	**26.481**	**22**	**52:54**	**13:45**	**0**
G48 298 vgs	TH Otimizada	20.312	16	50:55	12:28	1
	Original	20.538	16	55:07	12:15	1
G61 538 vgs	TH Otimizada	29.328	23	79:02	18:52	0
	Original	30.963	24	86:29	19:24	1
G69 332 vgs	**TH Otimizada**	**26.113**	**21**	**56:03**	**16:55**	**1**
	Original	**28.853**	**23**	**60:39**	**18:44**	**3**
G99 115 vgs	TH Otimizada	7.031	5	29:42	3:15	0
	Original	7.225	5	33:16	3:05	0
G115 108 vgs	TH Otimizada	13.691	12	12:39	7:48	1
	Original	14.975	13	16:09	8:24	1

5.4 Análise dos Resultados

Nas Tabela 2 e 3 há alguns casos (G61 e G69 na Tabela 2 e G48 e G99 na Tabela 3) em que o número de retornos se mantém ou até diminuem, mas o tempo total das viagens ociosas aumenta. Isso se deve pelo aumento no número de troca de terminais realizado pelos veículos como forma de aumentar a utilização dos mesmos. Nas Tabelas 4, 5 e 6 são mostradas as características das melhores soluções. Para cada empresa, são apresentados o total de viagens, o número de viagens que tiveram seus horários de partida modificados e quanto este número representa do total de viagens. Também foi verificado o número de viagens cujos horários de partida foram postergado e o tempo total de postergação. Da mesma forma, foi computado o número de viagens cujos horários de partida foram antecipados e o tempo total de antecipação. Finalmente, são apresentados o percentual de melhora obtido na FO e o tempo médio de modificação, em módulo.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados obtidos para os dias úteis. Com exceção da empresa G61, houve modificação em aproximadamente 80% das viagens de suas respectivas THs. Entretanto, o tempo médio dessas modificações é inferior a 2 minutos.

Para o sábado, como pode ser observado na Tabela 5, todas as empresas sofreram modificações expressivas em suas tabelas de horários. No mínimo 79% das viagens sofreram alteração na empresa G02, com um tempo médio de modificação abaixo dos 2 minutos.

Tabela 4. Descrição dos Resultados dos Dias Úteis

Empresa	Total de viagens	Nº de viagens modificadas	% de viagens modificadas	N° de viagens postergadas	Tempo total de postergação (min)	N° de viagens antecipadas	Tempo total de antecipação (min)	% de melhora	Tempo médio de modificação (min)
G02	260	214	82,31%	101	182	113	211	2,71%	1,84
G27	98	84	86,73%	32	58	52	91	1,46%	1,77
G46	505	392	77,62%	188	298	204	320	2,38%	1,58
G48	468	391	83,55%	200	356	191	341	4,15%	1,78
G61	1.038	373	35,93%	192	204	181	199	2,62%	1,08
G69	639	520	81,38%	252	447	268	488	3,46%	1,80
G99	293	237	80,89%	115	202	122	218	4,21%	1,77
G115	206	164	79,61%	70	122	94	173	4,31%	1,80

Encontram-se em destaque os resultados da empresa G61 na Tabela 4, pois verificou-se que a metaheurística modificou apenas 35,93% das viagens da TH, e em média 1,08 minutos cada viagem daquele tipo de dia. Desta forma foi alcançando 2,62% de melhoria da FO. Por outro lado, para a TH dos sábados e dos domingos, as modificações estão em aproximadamente 80% das viagens, e em média 1,8 minutos cada viagem, obtendo uma redução de aproximadamente 5% da FO em média. Este resultado leva a acreditar que ao aumentar o número de modificações pode-se obter maiores economias operacionais.

Tabela 5. Descrição dos Resultados do Sábado

Empresa	Total de viagens	Nº de viagens modificadas	% de viagens modificadas	N° de viagens postergadas	Tempo total de atrasos (min)	N° de viagens antecipadas	Tempo total de antecipação (min)	% de melhora	Tempo médio de modificação (min)
G02	172	136	79,07%	74	124	62	111	4,54%	1,73
G27	69	63	91,30%	27	48	36	65	5,50%	1,79
G46	372	309	83,06%	144	265	165	285	9,20%	1,78
G48	359	292	81,34%	134	242	158	284	5,09%	1,80
G61	769	635	82,57%	337	623	298	507	6,48%	1,78
G69	441	360	81,63%	183	342	177	307	5,33%	1,80
G99	191	167	87,43%	73	132	94	178	1,97%	1,86
G115	130	107	82,31%	57	103	50	97	8,56%	1,87

Para o dia de Domingo, a maior parte das viagens presentes foram modificadas, com destaque para G27, que houve o maior percentual de modificações e obtive uma melhora de cerca de 7% no valor de seu custo operacional (FO). Isto pode ser visto na Tabela 6.

Tabela 6. Descrição dos Resultados do Domingo

Empresa	Total de viagens	Nº de viagens modificadas	% de viagens modificadas	Nº de viagens postergadas	Tempo total de atrasos (min)	Nº de viagens antecipadas	Tempo total de antecipação (min)	% de melhora	Tempo médio de modificação (min)
G02	90	74	82,22%	36	74	38	75	8,79%	2,01
G27	52	46	88,46%	25	42	21	40	7,33%	1,78
G46	286	224	78,32%	110	207	114	208	8,80%	1,85
G48	298	231	77,52%	115	207	116	215	1,10%	1,83
G61	538	429	79,74%	209	374	220	410	5,28%	1,83
G69	332	273	82,23%	154	283	119	198	9,50%	1,76
G99	115	93	80,87%	46	86	47	93	2,69%	1,92
G115	108	85	78,70%	38	66	47	78	8,57%	1,69

6. CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta uma implementação da metaheurística VNS que otimiza, de forma integrada, a definição da Tabela de Horários (TH) das viagens da uma empresa com a resolução do Problema de Programação de Veículos (PPV). Nesta implementação do VNS, são realizadas pequenas alterações nas viagens da TH e posteriormente é resolvido, de forma exata, o respectivo PPV. A TH cuja respectiva solução do PPV alcançar o menor valor representa a melhor combinação para o problema integrado.

Como pode ser visto na apresentação dos resultados, mesmo quando grande parte das viagens contidas na TH sofrem modificações, o tempo médio das alterações é pequeno, sempre inferior a 2 minutos, o que mostra que um número grande de pequenas modificações na TH pode gerar uma nova solução com custo relativamente menor do o custo da TH original. Para os dias úteis, as reduções obtidas com as soluções otimizadas variaram entre 1,46% e 4,31%, para os sábados variaram entre 1,97% e 9,2% e para os domingos, entre 1,1% e 9,5%.

Em alguns casos, apesar da redução do valor da FO em percentual à original ser pequeno, deve ser destacado que houve redução no número de veículos. Assim, essa economia no custo operacional pode ser maior ao ser aplicada, pois como haverá menos veículos, a programação da tripulação também será reduzida, gerando uma economia em cascata.

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que o método proposto e a metaheurística VNS, implementada neste trabalho, se mostraram bastante eficiente para otimizar o problema integrado da definição da TH com a resolução do PPV. Esta abordagem integrada pode levar a uma economia significativa na operação de um Sistema de Transporte Público, sem que a qualidade do serviço prestado seja comprometida. Resultados desta natureza podem beneficiar ambas as partes envolvidas, ou seja, os usuários e os operadores do sistema.

Agradecimentos
Os autores agradecem à UFOP e à FAPEMIG pelo apoio recebido para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahuja, R. K., Ergun, Ö., Orlin, J. B. e Punnen, A. P. (2002) A survey of very large-scale neighborhood search techniques. Discrete Applied Mathematics, 123(1-3), 75–102.

Bodin, L., Golden, B., Assad, A. e Ball, M. (1983) Routing and scheduling of vehicles and crews: The state of the art. Computers and Operations Research, 10, 63-211.

Carraresi, P. e Gallo, G. (1984) A multi-level bottleneck assignment approach to the bus drivers' rostering problem. European Journal of Operational Research, 16(2), 163–173.

Ceder, A. (2001) Bus timetables with even passenger loads as opposed to even headways. Transportation Research Record 1760, 28-33.

Ceder, A., Golany, B. e Tal, O. (2001) Creating bus timetables with maximal synchronization. Transportation Research Part A, 35, 913-928.

Ceder, A., Hassold, S. e Dano, B. (2013) Approaching even-load and even-headway transit timetables using different bus size. Public Transport, 1-25. Spring Verlag.

Daduna, J. R e Paixão, J. M. P. (1995) Vehicle scheduling for public mass transport- an overview. In: Daduna, J. R., I. Branco e J. M. P. Paixão (eds.), Computer-Aided Transit Scheduling, Lectures Notes in Economics and Mathematical Systems. Springer Verlag, Berlin, Alemanha.

Dell'Amico, M., Fischetti, M. e P. Toth (1993) Heuristic algorithm for the multiple depot vehicle scheduling problem. Management Science, v.39, p.115-125.

Freling, R., Wagelmans, A. P. M. e Paixão, J. M. P. (2001) Models and Algorithms for Single-Depot Vehicle Scheduling. Transportation Science, 35(2), 165–180.

Furth, P. G. e Wilson, N. H. M. (1981) - Setting Frequencies on Bus Routes: Theory and Practice. Transportation Research Record, 818, 1-7.

Gavish, B., Schweitzer, P. e Shlifer, E (1978) Assigning buses to schedules in a metropolitan area. Computers and Operations Research, 5, 129-138.

Ibarra-Rojas, O. J., Giesen, R. e Rios-Solis, Y. A. (2014). An integrated approach for timetabling and vehicle scheduling problems to analyze the trade-off between level of service and operating costs of transit networks. Transportation Research Part B: Methodological, 70, 35-46.

Krishna Rao, K. V., Muralidhar, S. e Dhingra, S. L. (2000). Public transport routing and scheduling using Genetic Algorithms. In 8th International Conference on Computer Aided Scheduling of Public Transport, Berlin, Germany.

Michaelis, M. e Schöbel, A. (2009). Integrating line planning, timetabling, and vehicle scheduling: a customer-oriented heuristic. Public Transport, 1(3), 211.

Mladenovic, N. e Hansen, P. (1997) Variable neighborhood search. Computers and Operations Research, (24), 1097–1100.

Silva, G. P. (2001) Uma metodologia baseada na técnica de geração de arcos para o problema de programação de veículos. Universidade de São Paulo - USP, São Paulo.

Silva, G. P. e Gualda, N. D. F. (2002) O Método *ArcGen* para Programação de Veículos: Um Estudo de Caso da Cidade de Belo Horizonte. Transporte em Transformação VI - Prêmio CNT de Produção Acadêmica de 2001. Editora Universidade de Brasília, 108-126.

Silva, G. P., Souza, M. J. F. e Gomes, H. C. (2005) Otimização Integrada da Tabela de Horários com a Programação dos Veículos no Sistema de Transporte Público. In: Anais do XIX Congresso da ANPET, 680–691.

Silva, G. P. e Cunha, C. B. (2009) Aplicação da técnica de busca em vizinhança de grande porte para otimizar a frota de empresas de transporte público. In: Anais do XLI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Porto Seguro-BA.

Silva G. P. e Cunha, C. B. (2010) Uso da Técnica de Busca em Vizinhança de Grande Porte para a Programação da Escala de Motoristas de Ônibus Urbano. Transportes, 18, 64–75.

Souza, M. J. F., Silva, G., P. e Simões, E. M. (2007) Programação de Ônibus Urbano: Uma abordagem heurística. Transporte em Transformação XI - Trabalhos Vencedores do Prêmio CNT - Produção Acadêmica 2006, 39–57.

A HEURÍSTICA *ADAPTIVE LARGE NEIGHBORHOOD SEARCH* APLICADA AO PROBLEMA DE PROGRAMAÇÃO DE TRIPULAÇÕES

Leandro do Carmo Martins
Gustavo Peixoto Silva
Universidade Federal de Ouro Preto
Departamento de Computação

RESUMO
O Problema de Programação de Tripulações (PPT) consiste em minimizar o custo total com as tripulações que conduzirão uma frota de uma empresa de transporte público por ônibus urbano. Neste trabalho é apresentada a resolução do PPT por meio da heurística *Adaptive Large Neighborhood Search* (ALNS), que é caracterizada pela destruição e reparo da solução, através de heurísticas de remoção e inserção. A escolha dos pares de heurísticas utilizadas em cada iteração se baseia em pesos ajustados dinamicamente em função de suas eficiências ao longo da busca. A implementação foi testada com dados reais de uma empresa que opera em Belo Horizonte-MG, e gerou soluções superiores às adotadas pela empresa e também superiores às soluções geradas por outros métodos da literatura.

ABSTRACT
The crew scheduling problem (PPT) consists of minimizing the total cost involved with the crews that will drive a fleet of an urban bus public transportation company. This work presents a PPT resolution through the Adaptive Large Neighborhood Search (ALNS) heuristic, which is characterized by the destruction and repair of the solution, through removal and insertion heuristics. The pair of heuristics choose in each iteration is based on dynamically adjusted weights, computed bearing in mind the efficiency of each method over the search. The implementation was tested with the data of a company that operates in Belo Horizonte-MG, and has generated solutions better than those adopted by the company and also better than the solutions generated by other methods on the literature.

1. INTRODUÇÃO

O planejamento do Sistema de Transporte Público é um processo complexo e dividido em etapas, que envolve tanto as empresas de transporte quanto o poder público. Este planejamento é composto por cinco etapas: *i*) a definição das rotas dos ônibus, *ii*) a criação dos quadros de horários das linhas para todos os dias da semana, *iii*) a programação dos veículos que realizarão as viagens, *iv*) a programação diária das tripulações que conduzirão a frota em operação, e *v*) o rodízio das tripulações ao longo de um dado período de planejamento (Bodin *et al.*, 1983).

Dentre as etapas do planejamento, as empresas devem realizar a programação dos veículos, das tripulações e o rodízio das tripulações. Ou seja, definir o tamanho da frota, o número de tripulações (motorista e cobrador) e os períodos de trabalho das tripulações de forma que as viagens sejam executadas com o menor custo. Esta é uma tarefa de grande complexidade para a qual podem ser utilizados métodos de otimização na sua resolução (Wren, 2004). A realização das viagens leva à definição de uma escala de trabalho para as tripulações, gerando o *Problema de Programação de Tripulações* (PPT). Este problema consiste em determinar o número mínimo de tripulações e as viagens que elas devem executar em um dia de trabalho. O objetivo é minimizar o número de tripulações e o total de horas extras pagas (Bodin *et al.*, 1983).

O PPT tem como dados de entrada a programação dos veículos do referido dia em questão, dia útil, sábado ou domingo/feriado. A programação dos veículos define os *blocos dos veículos*, ou seja, o conjunto das viagens executadas por cada veículo. Os blocos são divididos em *tarefas*, que

são um conjunto de viagens que devem ser executadas por uma tripulação, por não haver condições de troca da tripulação. As condições necessárias para a troca de tripulações definem uma *oportunidade de troca* (OT), ou seja, um intervalo de tempo mínimo entre duas viagens, que deve ocorrer em um local apropriado (Silva *et al.*, 2006). As tarefas apresentam um ponto inicial e final, e um horário de início e de término. Além disso, as tarefas estão associadas a um veículo. Um conjunto de tarefas executadas por uma tripulação constitui uma *jornada*. Desta forma, uma tripulação está associada a uma jornada e vice-versa e, portanto, são consideradas sinônimos.

As jornadas podem ser classificadas em *simples* ou *dupla pegada*. Uma dupla pegada é dividida em duas etapas, com um intervalo superior a duas horas entre elas. Isso ocorre devido aos picos de demanda de viagens ao longo do dia. O intervalo superior a duas horas não é considerado como hora trabalhada. Uma jornada simples não apresenta uma interrupção deste tipo. As horas extras correspondem ao tempo trabalhado que excede a duração normal de uma jornada diária. A construção das jornadas deve satisfazer um conjunto de restrições legais e operacionais, tornando o PPT um problema *NP-Completo* (Fischetti *et al*., 1987). Para o caso estudado, foram consideradas as seguintes restrições: *i*) as jornadas tem uma remuneração fixa por seis horas e quarenta minutos, que define a duração normal de trabalho; *ii*) as jornadas não podem ter mais que duas horas extras por dia; *iii*) o intervalo entre o fim da jornada e o seu início no dia seguinte deve ser maior do que onze horas; *iv*) o número de troca de veículos, realizadas em uma jornada, é limitado; e 5) a troca de terminal só é permitida em uma jornada do tipo dupla pegada.

Neste trabalho é apresentada uma heurística *Adaptive Large Neighborhood Search* (ALNS) para resolver o PPT. A ALNS é caracterizada pela destruição e reparo da solução corrente, por meio de heurísticas de remoção e inserção de tarefas. A escolha das heurísticas em cada iteração é realizada por meio de um peso ajustado dinamicamente que se baseia na eficiência de cada heurística ao longo da busca. A ALNS foi testada com dados reais de uma empresa de médio porte que atua na cidade de Belo Horizonte, e as soluções obtidas superaram as soluções adotadas pela empresa e também as soluções obtidas por outros métodos da literatura.

Este trabalho está dividido da seguinte forma: na Seção 2 é apresentada uma breve revisão bibliográfica sobre o PPT. Na Seção 3 é descrito como a ALNS foi implementada para resolver o PPT. Na Seção 4 são apresentados os resultados obtidos nos experimentos computacionais e a discussão destes resultados. Finalmente, na Seção 5, são apresentadas as conclusões do trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A abordagem exata clássica formula o PPT como um problema de cobertura ou de particionamento e utiliza a técnica de geração de colunas para resolvê-lo. Lourenço *et al.* (2001) formulam o PPT como um problema de cobertura, considerando várias funções objetivo. Os autores apresentam metaheurísticas multi-objetivo para resolver o PPT visto que o problema apresenta objetivos conflitantes. As metaheurísticas se baseiam na Busca Tabu e nos Algoritmos Genéticos (AG), e tem como procedimento interno um GRASP mono-objetivo. Para os problemas considerados, a Busca Tabu e os AG geraram bons resultados em um tempo razoável.

Silva e Cunha (2010) apresentam uma abordagem para o PPT baseada na metaheurística GRASP, tendo como busca local o *Very Large-Scale Neighborhood Search* (VLNS). Nesta abordagem,

uma solução vizinha é obtida pela realocação e/ou troca das tarefas entre duas ou mais jornadas, podendo envolver todas as jornadas. A pesquisa na vizinhança se dá por meio de um *grafo de melhoria*. Neste grafo é feita uma busca por um *ciclo válido*, que é um ciclo negativo que leva à redução do custo da solução. Ao encontrar um ciclo válido, são realizadas as trocas das tarefas no ciclo e o grafo é atualizado. A busca se encerra quando nenhum ciclo negativo for encontrado. Os testes computacionais mostraram que a abordagem produz melhoras significativas.

Reis e Silva (2012) exploram diferentes métodos de Busca Local associados à metaheurística *Variable Neighborhood Search* (VNS) para resolver o PPT. As soluções vizinhas de uma solução são obtidas devido à realocação e/ou trocas de tarefas entre duas tripulações e são adotados os métodos de busca local *Variable Neighborhood Descent* (VND) e o VLNS (Silva e Cunha, 2010). Nos testes computacionais, são permitidas uma ou duas trocas de veículos por jornada e ainda cenários onde as duplas pegadas são mais caras, para controlar a sua ocorrência. Ambas as técnicas superaram a solução da empresa e a técnica VNS-VLNS superou o VNS clássico.

Chen e Shen (2013) apresentam uma nova estratégia de geração de colunas. Normalmente, as colunas adicionadas ao problema principal são determinadas com a resolução de subproblemas com alto custo computacional. Por isso, os autores propõem que um conjunto grande de jornadas seja considerado. Estas jornadas, chamado *shift-pool*, são geradas com características desejadas. Durante a geração das colunas, o subproblema é resolvido até que não existam mais colunas com reduções de custo na *shift-pool*. A ideia permite reduzir o tempo de processamento do PPT. Nos experimentos são consideradas instâncias de até 701 viagens, 55 veículos e duas garagens. Os resultados mostram que o algoritmo proposto supera a geração de colunas tradicional.

Souza (2014) apresenta um modelo híbrido de Programação Linear Inteira em conjunto com a metaheurística *Late Acceptance Hill Climbing* (LAHC) para resolver o PPT. É apresentado um modelo compacto que, ao contrário dos modelos clássicos de geração de colunas, onde jornadas devem ser geradas a *priori*, o modelo apresenta restrições que permite a resolução do PPT a partir das tarefas a serem realizadas. A LAHC é utilizada para resolver problemas de maiores dimensões. Assim, partindo de uma solução gerada pela LAHC, a solução é particionada em conjuntos menores que são submetidos ao método exato. O modelo foi testado com problemas reais e se mostraram eficientes, embora conte com um tempo de processamento elevado.

Silva e Silva (2015) aplicam a metaheurística *Guided Local Search* (GLS) para resolver o PPT. A GLS se caracteriza pela construção de uma sequência de soluções, realizando uma busca na solução corrente. Ela se diferencia das demais metaheurísticas por penalizar características indesejáveis na solução corrente para escapar de ótimos locais. Desta forma, ao encontrar um ótimo local, a GLS seleciona alguns atributos da solução e os penalizam, fazendo que a solução deixe de ser um ótimo local e que a busca possa se mover para outro ótimo local. O processo se repete até que o critério de parada seja satisfeito. A GLS foi combinada com o método de busca local *Variable Neighborhood Descent* (VND), produzindo resultados similares aos da literatura.

Song *et al.* (2015) tratam o PPT com um AG com recombinação de genes. A recombinação é responsável pela reconstrução de jornadas, capaz de reduzir o número de jornadas. São utilizadas listas tabu e não tabu para a construção das soluções iniciais. O método da roleta foi adotado para

selecionar os indivíduos para o *crossover*, caracterizado por dois pontos de corte. A mutação consiste na reconstrução de n jornadas escolhidas aleatoriamente. Elas são divididas em segmentos que são reconstruídos e substituídos. O método foi capaz de reduzir mais de 30 jornadas quando tem-se um grande número de tarefas, sendo um algoritmo muito rápido.

A heurística *Adaptive Large Neighborhood Search* (ALNS) foi proposta por Ropke e Pisinger (2006a) para resolver o Problema de Coleta e Entrega com Janelas de Tempo. Ela parte de uma solução inicial e aplica mecanismo do tipo destrói-reconstrói para encontrar soluções melhores. As heurísticas de remoção e inserção são escolhidas a partir de estatísticas recolhidas durante o processo. Em cada iteração, uma heurística de remoção e uma de inserção é escolhida e o par é aplicado. Os pesos são ajustados dinamicamente, dado o sucesso da nova solução gerada. A ALNS foi capaz de melhorar as soluções conhecidas na literatura em mais de 50% dos problemas, indicando a vantagem de utilizar várias heurísticas de remoção e inserção na busca.

Os autores integraram novas heurísticas de remoção à ALNS. Três novas heurísticas de remoção: *Cluster*, *Neighbor Graph* e *Request Graph* foram propostas e o problema passou a cobrir uma classe de Problemas de Roteamento de Veículos (Ropke e Pisinger, 2006b). Posteriormente, abrangendo diferentes variantes do Problema, foram propostas três heurísticas de remoção: *Time-oriented*, *Node-pair removal* e *Historical request-pair* (Pisinger e Ropke, 2007).

Como o problema de coleta e entrega com janela de tempo é semelhante ao PPT, levanta-se a hipótese se a ALNS pode ser eficiente na sua resolução. Desta forma, este trabalho apresenta as adaptações realizadas na ALNS para resolver o PPT, assim como os resultados obtidos.

3. *ADAPTIVE LARGE NEIGHBORHOOD SEARCH* APLICADA AO PPT

A ALNS inicia sua busca a partir de uma solução inicial viável e opera com diferentes métodos que destroem e reparam a solução. Um peso é inicialmente atribuído a cada heurística de remoção e inserção, com o intuito de encontrar o par mais eficiente para o problema. Os pesos são ajustados dinamicamente, baseados na eficiência de cada método ao longo da busca.

3.1. Solução Inicial

A ALNS inicia sua busca a partir de uma solução viável. A solução inicial do PPT foi gerada de maneira gulosa. Inicialmente as tarefas são ordenadas pelo horário de início. A primeira tarefa t_i é alocada na primeira jornada. A próxima tarefa t_j é aquela que leva ao menor acréscimo na função objetivo e respeita as seguintes restrições: *i*) pertence ao mesmo veículo de operação de t_i; *ii*) o horário de início de t_j é maior ou igual ao horário de término de t_i; e *iii*) o ponto de início de t_j é igual ao ponto de término de t_i. A última tarefa alocada passa a ser a nova tarefa t_i, e o processo se repete até que o tempo máximo da jornada seja atingido. Caso o tempo máximo permitido para uma jornada, considerando horas extras, seja atingido, uma nova jornada é inicializada e o processo se repete até que todas as tarefas tenham sido alocadas.

3.2. Função Objetivo

Considere $j_i, i = 1, \ldots, n$, as jornadas de uma solução s, a serem realizadas durante um determinado dia. Então, o custo diário de execução das jornadas é calculado pela expressão:

$$Custo\ (s) = \sum_{i=1}^{n} CustoFixo\ + w_i \times HE\ (j_i) + w_2 \times DP\ (j_i) \quad (1)$$

O *CustoFixo* está associado ao custo de uma tripulação, $HE(j_i)$ é o tempo total de horas extras da jornada j_i e $DP(j_i) = 1$ se j_i for uma jornada do tipo dupla pegada, caso contrário $DP(j_i) = 0$. As constantes w_1 e w_2 são ajustadas de acordo com a realidade da empresa.

A equação de custo (1) foi utilizada considerando os seguintes valores: *CustoFixo* = 10.000, w_1 = 4 e, w_2 = 600 e w_2 = 5.000, de modo que o método possa ser comparado com outros autores que utilizaram os mesmos dados e regras operacionais. Dessa forma, o custo da tripulação é elevado para haver uma redução no número de duplas, seguindo pela redução das duplas pegadas e finalmente, das horas extras.

3.3. Heurísticas Destrutivas

Foram implementadas quatro heurísticas destrutivas, sendo três baseadas naquelas propostas por Ropke e Pisinger (2006a), e uma delas foi proposta neste trabalho. No PPT, os elementos removidos e reinseridos na solução são as tarefas das tripulações. Assim, uma heurística destrutiva deve remover uma quantidade pré-definida *q* de tarefas de uma dada solução.

3.3.1. Remoção Randômica

A Remoção Randômica é caracterizada pela remoção de *q* tarefas escolhidas aleatoriamente. Inicialmente é sorteada uma jornada e dela é removida uma tarefa.

3.3.2. Remoção de Pior Posição

Na Remoção de Pior Posição, a cada iteração é removida a tarefa que produz a maior diferença entre o valor da FO com a tarefa e o valor da FO sem a tarefa na solução. O *pior custo* de uma tarefa *i* em uma solução *s* é dado por $custo\_pior(i,s) = f(s) - f_{-i}(s)$, onde $f_{-i}(s)$ é o custo da solução *s* sem a tarefa *i*. Esta remoção tenta realocar tarefas que causam grande impacto na FO.

3.3.3. Remoção Shaw

A Remoção *Shaw* tem como objetivo remover tarefas similares, para que sejam facilmente realocadas, na busca por soluções melhores. A semelhança de duas tarefas é fornecida pela medida de *similaridade*. Duas tarefas são similares se elas iniciarem e finalizarem no mesmo local, pois é impossível realizar a troca de tarefas com locais distintos de início e término. A similaridade entre duas tarefas *i* e *j* é dada por:

$$similaridade(i,j) = \alpha\left(\left|st_i - st_j\right| + \left|et_i - et_j\right|\right) + \beta\left(\left|(et_i - st_i) - \left(et_j - st_j\right)\right|\right) \quad (2)$$

Em (2), st_i corresponde à hora inicial e et_i à hora final da tarefa *i*. A primeira parcela de (2) considera a proximidade do horário do início e do final das tarefas, enquanto a segunda parcela considera a proximidade da duração das duas tarefas. Desta forma, quanto menor o valor de (2), maior a similaridade entre as tarefas *i* e *j*. Os pesos α e β são usados para calibrar a similaridade. O procedimento remove aleatoriamente a primeira tarefa. As demais tarefas são escolhidas de acordo com a similaridade em relação a uma tarefa já removida. Determinadas tarefas podem não ter *q*-1 tarefas similares, por não existirem *q*-1 tarefas que iniciam e terminam no mesmo local. Neste caso, a quantidade *q* de tarefas removida passa a ser a quantidade possível de remoção.

3.3.4. Remoção Média

Como um dos objetivos do PPT é minimizar o número de horas extras, é interessante que as jornadas tenham durações semelhantes. Assim, é proposto neste trabalho o método de Remoção Média. Nesta, são removidas tarefas das jornadas cujos tempos de duração excedem a duração média. São removidas tarefas que esteja na primeira ou na última posição da jornada. A escolha é aleatória a cada remoção. Não é removida uma tarefa no interior da jornada, visto que ela não diminui a duração da jornada e pode aumentar sua ociosidade interna.

3.4. Heurísticas Construtivas

Para reparar as soluções foram adaptadas duas heurísticas com base naquelas propostas por Ropke e Pisinger (2006a). Para o PPT, *inserir uma tarefa em uma posição* é o mesmo que inserir uma tarefa em uma determinada posição de uma jornada, devido à ordem cronológica das tarefas. Quando a inserção de novas tarefas nas jornadas existentes não for possível, é criada uma nova jornada e a tarefa é inserida nela. Durante a reconstrução das jornadas, pode ocorrer trocas de veículos. A quantidade máxima de trocas de veículos é definida a *priori*. No caso estudado, foram permitidas até 2 trocas de veículo por jornada.

3.4.1. Inserção Gulosa

O método insere uma tarefa em sua posição mais barata na solução. Para cada tarefa *i*, é verificada, dentre as possibilidades de inserção, aquela que resulta no menor custo. Esta posição é denominada *posição de custo mínimo*, c_i. Por fim, é inserida a tarefa *i* com o menor valor de c_i.

3.4.2. Inserção de Arrependimento

As heurísticas de arrependimento fazem uma espécie de avaliação do tipo "olhar à frente" ao selecionar uma tarefa. Seja $f_\Delta(i,k)$ a mudança no valor da FO devido à inserção da tarefa *i* em sua *k-ésima* posição válida mais barata. Então, o valor da inserção 2-arrependimento é dado por $c_i^* = f_\Delta(i,2) - f_\Delta(i,1)$. Em cada iteração, é inserida a tarefa *i* que maximize c_i^*. Desta forma, é escolhida a tarefa que produzir o maior impacto na FO caso ela não seja alocada na melhor posição e tenha que ser inserida na segunda melhor posição.

3.5. Escolha das Heurísticas de Remoção e Inserção

Definidas as heurísticas que destroem e reconstroem uma solução, o próximo passo é escolher um par de heurísticas para modificar a solução corrente. Um único par de heurísticas poderia ser utilizado durante a busca. No entanto, é interessante que todas as heurísticas sejam utilizadas, visto que cada uma delas pode ser mais adequada em um determinado momento da busca. Acredita-se que esta alternância resulta numa aplicação mais robusta (Ropke e Pisinger, 2006a).

A escolha das heurísticas que formam o par é independente, e a seleção de cada uma se dá pelo princípio de seleção da roleta. A cada heurística é atribuído um peso, e o sorteio é dado em função de sua probabilidade de escolha. Considerando um conjunto de k heurísticas, com pesos w_i, $i \in \{1, 2, \dots, k\}$, uma heurística j é selecionada com probabilidade $w_j / \sum_{i=1}^{k} w_i$. Suponha um gráfico de pizza onde a cada heurística é atribuído um espaço proporcional ao seu peso. Uma roleta exterior é colocada sobre o gráfico e uma heurística é selecionada. Quanto maior o peso da

heurística, maior seu espaço no gráfico e, portanto, maior sua chance de ser escolhida. O peso está diretamente relacionado com a eficiência da heurística.

3.6. Ajuste Adaptativo dos Pesos

Os *pesos* das heurísticas representam sua eficiência no processo de busca da ALNS. Os pesos são ajustados com estatísticas de iterações anteriores. Uma *pontuação* mede o desempenho da heurística em uma dada iteração. A busca é dividida em *segmentos* e iterações. Assim, definem-se os critérios de parada do algoritmo. No início de cada segmento, a pontuação de cada heurística é definida como zero, e é aumentada durante a busca em três situações diferentes. No primeiro caso, aumenta-se σ_1 quando a heurística é capaz de encontrar uma nova solução global *s**. Aumenta-se em σ_2 quando a heurística é capaz de encontrar uma solução *s'* ainda não encontrada e que seja melhor do que a solução atual *s*. No último caso, aumenta-se em σ_3 quando a heurística é capaz de encontrar uma solução *s'* ainda não encontrada e que seja pior que a solução atual *s*, porém ainda aceita pelo critério de aceitação. Como a situação associada a σ_1 é mais atraente que a situação caracterizada por σ_2 que, por sua vez, é mais atraente que a situação caracterizada por σ_3, é razoável que $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$. Apesar de serem preferíveis as heurísticas que melhoram a solução, é também interessante utilizar heurísticas que possam diversificar a busca, encorajando as heurísticas a explorarem novas regiões.

Em cada iteração da ALNS são aplicadas uma heurística de remoção e uma heurística de inserção. Como ambas são responsáveis pela geração de uma nova solução, a pontuação das mesmas é atualizada na mesma quantidade, pois não é possível garantir qual das duas foi o fator de sucesso da operação. No fim de cada segmento, os pesos das heurísticas são atualizados.

Assim como as pontuações são inicializadas com o valor zero para cada heurística, os respectivos pesos são inicializados com valor 1. No final de cada segmento, novos pesos são calculados utilizando as pontuações salvas. As pontuações, por sua vez, são atualizadas no fim de cada iteração, e são zeradas ao iniciar um novo segmento. Sendo $w_{i,j}$ o peso da heurística *i* utilizado no segmento *j*, o peso da heurística *i* a ser utilizado no segmento *j*+1 é calculado como:

$$w_{i,j+1} = w_{i,j}(1 - r) + r\frac{\pi_i}{\theta_i} \quad (3)$$

Em (3), π_i é a pontuação obtida pela heurística *i* durante seu último segmento, e θ_i é a quantidade de vezes que a heurística *i* foi utilizada durante o último segmento. O *fator de reação r* controla a influência dos pesos anteriores nos próximos pesos. Se $r = 0$, os pesos anteriores são repetidos. Se $r = 1$, os pesos do segmento anterior são totalmente descartados. Um valor entre 0 e 1 para *r* resulta em novos pesos que consideram o desempenho das heurísticas no segmento anterior.

3.7. Critério de Aceitação

Foi utilizado o critério de aceitação da metaheurística *Simulated Annealing*. Dessa forma, uma solução *s'* será aceita se for melhor do que *s*. Se *s'* for pior do que *s*, *s'* será aceita com probabilidade $e^{-(f(s')-f(s))/T}$, onde $T > 0$ representa a temperatura atual. A temperatura *T* inicia em t_0 e diminui a cada iteração pela expressão $T = T \times c$, onde $0 < c < 1$ é a *taxa de resfriamento*. Uma boa escolha de t_0 deve estar relacionada ao problema, portanto, a obtenção da temperatura inicial levou em consideração as características de cada instância. Neste trabalho a temperatura inicial permitiu que pelo menos 70% das soluções vizinhas fossem aceitas.

3.8. Método para Minimizar o Número de Jornadas

O método utilizado para minimizar o número de jornadas parte de uma solução inicial viável s_i. Para cada jornada de s_i, todas as suas tarefas são removidas e a heurística de Inserção Gulosa tenta reinseri-las nas jornadas existentes, criando uma nova solução *s'*. Se o número de jornadas de *s'* for menor do que em s_i, *s'* é aceita e a busca se reinicia a partir da primeira jornada da nova solução. Caso contrário, passa-se para a jornada seguinte. O procedimento é encerrado quando todas as jornadas foram consideradas no processo de destruição e reconstrução da solução, e o número de jornadas não foi reduzido. O método de minimização de jornadas é aplicado na solução inicial, antes de realizar a busca ALNS. Assim, espera-se que a ALNS possa reduzir os custos variáveis da solução, visto que o número de jornadas já foi minimizado.

4. EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS

Os experimentos computacionais foram realizaddos com dados de uma empresa que opera em Belo Horizonte, MG. Os testes foram realizados em um computador com Intel Core i7-4770, 8 GB de RAM, Ubuntu 16.04, e o algoritmo foi desenvolvido em C++. Os dados fornecidos são: a quantidade de tarefas de cada dia de uma semana, com os seus horários de início e término, ponto inicial e final, e veículo de operação. Na Tabela 1 consta a quantidade de tarefas a serem executadas em cada dia da semana estudada.

Tabela 1. Quantidade de tarefas a serem executadas nos dias úteis, sábados e domingos

	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sab	Dom
Total de Tarefas	705	674	814	872	787	644	345

4.1. Calibragem dos Parâmetros

A heurística ALNS conta com uma série de parâmetros a serem definidos. Primeiro, deve-se definir a quantidade q de tarefas a serem removidas e reinseridas na solução, controlada pelo parâmetro ξ. Em cada iteração, escolhe-se aleatoriamente um número q tal que $0{,}008m \leq q \leq \xi m$, onde m representa a quantidade de tarefas do problema. O critério de aceitação de uma solução é controlado por uma temperatura inicial t_0, resfriada a uma taxa c. A heurística Remoção *Shaw* é controlada pelos parâmetros α, β e p_{shaw}, enquanto a heurística Remoção de Pior Posição é controlada apenas pelo parâmetro p_{pior}. Também devem ser definidos os parâmetros σ_1, σ_2, σ_3 e r, utilizados no ajuste adaptativo dos pesos. O critério de parada da ALNS é definido pela quantidade de segmentos, cada um constituído por 100 iterações.

Dentre os parâmetros considerados, calibrou-se os parâmetros t_0, ξ e r, enquanto o restante dos parâmetros foram definidos de acordo com Ropke e Pisinger (2006a). Após a realização de diversos testes computacionais e do teste estatístico de Kruskal-Wallis, chegou-se à configuração final dos parâmetros, representada pelo vetor (%t_0, ξ, c, α, β, p_{shaw}, p_{pior}, σ_1, σ_2, σ_3, r) = (0.781, 0.025, 0.99975, 1, 1, 6, 6, 20, 10, 5, 0.8) para os dias úteis e por (%t_0, ξ, c, α, β, p_{shaw}, p_{pior}, σ_1, σ_2, σ_3, r) = (1.563, 0.05, 0.99975, 1, 1, 6, 6, 20, 10, 5, 0.8) para o fim de semana. Essas foram as configurações utilizadas para medir o desempenho da ALNS implementada.

4.2. Resultados

Quatro cenários distintos foram analisados: os cenários $1TV_{600}$ e $1TV_{5.000}$ que permitem, no máximo, uma troca de veículos por jornada e as duplas pegadas com pesos 600 e 5.000,

respectivamente, e os cenários $2TV_{600}$ e $2TV_{5.000}$ que permitem até duas trocas de veículos por jornadas com os mesmos pesos das duplas pegadas. Para cada problema e cenário, a ALNS foi executada 10 vezes, cada uma limitada a 1 hora de duração. Os resultados obtidos foram comparados com aqueles obtidos pelos métodos GRASP (Silva e Cunha, 2010), VNS-VLNS (Reis e Silva, 2012) e GLS (Silva e Silva, 2015). As diferentes abordagens consideradas em cada cenário de testes são justificadas pelas configurações de cenário adotadas pelos autores dos métodos considerados.

Nas Tabelas 2 e 3 são apresentados os resultados referentes aos cenários de peso 600 e 5.000 para as duplas pegadas, respectivamente. Para a ALNS são apresentados o valor da FO da melhor solução (Melhor FO) obtida, e seu detalhamento em quantidade de jornadas (#Jornadas), de duplas pegadas (#DP) e horas extras (HE). Na última linha é apresentado o *gap,* dado por $gap = (s_{alns} - s_{melhor})/s_{melhor}$, onde s_{alns} é o valor da FO da melhor solução obtida pela ALNS e s_{melhor} é o valor da FO da melhor solução conhecida para o problema e cenário de testes. Um *gap* negativo (em verde) significa que a ALNS superou a melhor solução. Um *gap* positivo (em vermelho) significa que a ALNS gerou solução pior que a melhor solução. Os valores em negrito são as melhores soluções encontradas por problema.

Tabela 2. Resultados obtidos pela ALNS, GRASP, VNS-VLNSe GLS no cenário $1TV_{600}$

	Dados	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
ALNS	**Melhor FO**	**1.204.500**	**1.162.832**	1.385.804	**1.505.896**	**1.433.608**	**1.050.576**	565.812
	#Jornadas	117	113	135	147	141	101	55
	#DP	21	16	18	16	14	28	10
	HE	91:15:00	96:48:00	104:11:00	109:34:00	105:02:00	99:04:00	40:53:00
GRASP	**Melhor FO**	1.264.836	1.265.880	1.462.384	1.564.420	1.510.520	1.131.272	590.716
	#Jornadas	124	125	144	154	149	111	58
	#DP	14	7	11	12	10	15	7
	HE	68:29:00	48:40:00	65:46:00	71:45:00	60:30:00	51:08:00	27:09:00
VNS-VLNS	**Melhor FO**	1.223.556	1.191.952	**1.380.000**	1.517.168	1.435.332	1.089.764	**562.444**
	#Jornadas	120	117	135	149	141	107	55
	#DP	19	14	19	17	14	10	7
	HE	50:39:00	56:28:00	77:30:00	70:42:00	70:33:00	57:21:00	34:21:00
GLS	**Melhor FO**	1.253.532	1.222.920	1.417.292	1.557.100	1.474.588	1.104.096	581.468
	#Jornadas	123	120	139	153	145	108	57
	#DP	23	23	14	22	19	17	9
	HE	40:33:00	38:00:00	78:43:00	57:55:00	54:57:00	57:54:00	74:14:00
Empresa	**Melhor FO**	1.364.404	1.322.420	1.518.460	1.651.256	1.576.564	1.253.100	686.468
	#Jornadas	134	130	149	162	155	124	68
	#DP	6	3	5	4	1	0	0
	HE	86:41:00	85:55:00	106:05:00	120:14:00	108:11:00	54:35:00	26:57:00
GAP		**-1,58%**	**-2,50%**	**0,42%**	**-0,75%**	**-0,12%**	**-3,73%**	**0,60%**

Ao analisar o primeiro cenário, a ALNS gerou as melhores soluções para os problemas da segunda-feira, terça-feira, quinta-feira, sexta-feira e sábado. Para a quarta-feira e domingo, as soluções obtidas pela ALNS foram as segundas melhores e, no máximo, 0,6% piores que as melhores soluções. Nota-se que a maioria das soluções obtidas apresentam um número menor de jornadas do que dos demais métodos. Essa redução se explica pelo aumento de horas extras, que representa o *trade-off* do problema: ao diminuir o número de jornadas, há um aumento de horas extras, uma vez que um número menor de tripulações deve realizar as mesmas tarefas.

Tabela 3. Resultados obtidos pela ALNS, VNS-VLNS e GLS no cenário $1TV_{5.000}$

	Dados	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
ALNS	**Melhor FO**	**1.256.628**	**1.202.692**	**1.440.876**	**1.565.016**	1.471.920	**1.127.876**	602.836
	#Jornadas	120	115	138	151	141	105	57
	#DP	7	6	7	6	7	11	5
	HE	90:07	94:33	107:49	104:14	112:10	95:19	32:39
VNS-VLNS	**Melhor FO**	1.270.628	1.213.176	1.471.176	1.583.644	**1.471.100**	1.152.552	**601.296**
	#Jornadas	120	114	140	148	139	109	57
	#DP	11	11	11	17	12	10	5
	HE	65:07	75:44	67:24	77:41	87:55	52:18	27:35
GLS	**Melhor FO**	1.276.280	1.216.340	1.455.988	1.581.920	1.478.832	1.146.440	601.560
	#Jornadas	120	116	139	150	142	110	57
	#DP	12	8	10	13	8	7	5
	HE	67:50	68:05	66:37	70:30	78:28	47:40	27:20
Empresa	**Melhor FO**	1.390.804	1.335.620	1.540.460	1.668.856	1.580.964	1.253.100	686.468
	#Jornadas	134	130	149	162	155	124	68
	#DP	6	3	5	4	1	0	0
	HE	86:41	85:55	106:05	120:14	108:11	54:35	26:57
GAP		**-1,102%**	**-0,864%**	**-1,038%**	**-1,069%**	**+0,056%**	**-1,619%**	**+0,256%**

No segundo cenário, há uma redução no número de duplas pegadas, comparadas às soluções do cenário anterior. Assim, foram geradas soluções com o número de duplas pegadas próximas ao valor desejado pela empresa, de no máximo 20%. Na Tabela 3, a ALNS gerou os melhores resultados para os problemas da segunda, terça, quarta, quinta e sábado. Para a sexta e domingo, as soluções do ALNS foram, no máximo, 0,3% piores que as melhores soluções.

Na prática, é aceitável que as tripulações realizem até duas trocas de veículos por jornada. As trocas são limitadas pela dificuldade de controlar danos nos veículos, causados pelas tripulações. Os resultados deste cenário são apresentados nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4. Resultados obtidos pela ALNS, GRASP e VNS-VLNS no cenário $2TV_{600}$

	Dados	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
ALNS	**Melhor FO**	**1.210.492**	**1.152.376**	**1.389.968**	**1.510.252**	**1.425.480**	**1.055.260**	565.608
	#Jornadas	118	112	136	148	139	102	55
	#DP	17	17	13	13	15	20	10
	HE	84:33	92:24	92:22	93:33	110:20	96:55	40:02
GRASP	**Melhor FO**	1.264.386	1.265.916	1.457.172	1.563.532	1.508.884	1.131.828	591.060
	#Jornadas	124	125	143	154	149	111	58
	#DP	14	7	12	11	9	14	8
	HE	66:32	48:49	83:13	70:33	56:11	55:57	26:05
VNS-VLNS	**Melhor FO**	1.223.556	1.189.408	1.393.920	1.515.196	1.437.060	1.089.764	**562.444**
	#Jornadas	120	117	137	149	141	107	55
	#DP	19	10	15	17	17	10	7
	HE	50:39	55:52	62:10	53:36	56:18	43:12	34:21
Empresa	**Melhor FO**	1.364.404	1.322.420	1.518.460	1.651.256	1.576.564	1.253.100	686.468
	#Jornadas	134	130	149	162	155	124	68
	#DP	6	3	5	4	1	0	0
	HE	86:41	85:55	106:05	120:14	108:11	54:35	26:57
GAP		**-1,079%**	**-3,214%**	**-0,284%**	**-0,327%**	**-0,812%**	**-3,270%**	**+0,563%**

Na Tabela 4, nota-se que a ALNS gerou soluções melhores para todos os dias úteis e o sábado. A solução do ALNS foi apenas 0,6% pior que a melhor solução do domingo. Assim com no cenário anterior, a redução de jornadas do ALNS se deve ao aumento das horas extras em cada solução.

Tabela 5. Resultados obtidos pela ALNS e VNS-VLNS no cenário $2TV_{5.000}$

	Dados	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
ALNS	**Melhor FO**	**1.252.288**	**1.200.932**	**1.435.604**	**1.573.848**	1.471.984	**1.108.708**	599.496
	#Jornadas	121	116	138	152	141	104	56
	#DP	4	4	6	6	7	9	6
	HE	92:52	87:13	106:41	99:22	112:26	98:47	39:34
VNS-VLNS	**Melhor FO**	1.264.724	1.220.112	1.449.952	1.580.160	**1.461.288**	1.141.916	**597.496**
	#Jornadas	121	118	139	150	139	110	58
	#DP	12	8	11	14	10	11	6
	HE	51:34	58:25	58:19	58:33	66:05	49:39	27:12
Empresa	**Melhor FO**	1.390.804	1.335.620	1.540.460	1.668.856	1.580.964	1.253.100	686.468
	#Jornadas	134	130	149	162	155	124	68
	#DP	6	3	5	4	1	0	0
	HE	86:41	85:55	106:05	120:14	108:11	54:35	26:57
GAP		-0,993%	-1,597%	-0,999%	-0,401%	+0,736%	-2,995%	+0,335%

Analisando a Tabela 5, nota-se que a ALNS gerou os melhores resultados para os problemas da segunda-feira, terça-feira, quarta-feira, quinta-feira e sábado. Para a sexta-feira e domingo, as soluções do ALNS foram, até 0,7% piores que as melhores soluções geradas.

Analisando a qualidade das soluções do ALNS nos quatro cenários, apenas o problema do sábado, nos Cenários $1TV_{600}$ e $2TV_{600}$ apresentou uma quantidade de jornadas com dupla pegada superior aos 20%, indesejável pelas empresas. As demais soluções contam com o número de duplas pegadas inferior a 20% das jornadas. Outro fator a ser notado é que nos quatro cenários, a ALNS superou a solução adotada pela empresa em todos os dias analisados.

Tabela 6. Comparação do custo das melhores soluções obtidas nos cenários considerados

	$1TV_{600}$	$2TV_{600}$	$1TV_{5.000}$	$2TV_{5.000}$
Segunda	1.211.836	**1.203.568**	1.261.280	**1.257.688**
Terça	1.169.944	**1.153.616**	1.201.956	**1.197.704**
Quarta	**1.384.688**	1.388.460	**1.431.336**	1.439.944
Quinta	1.514.668	**1.513.188**	**1.564.068**	1.575.324
Sexta	**1.431.040**	1.431.724	1.475.376	**1.469.816**
Sábado	**1.053.000**	1.055.320	1.126.256	**1.117.452**
Domingo	565.224	**564.696**	599.212	**594.592**

Na Tabela 6, considerando o cenário V_{600}, nota-se que a flexibilidade com as trocas de veículos não levou a um impacto significativo nos custos. Para três dos sete problemas, foram obtidas soluções mais baratas ao permitir uma troca de veículo/jornada. Para os outros problemas, se destacam as soluções que permitem realizar até duas trocas. Isto pode ser explicado pela redução do custo para as duplas pegadas, o que tende a aumentar seu número na solução. Para o segundo cenário (V_{5000}) nota-se a influência de se realizar mais trocas de veículos. Neste caso, apenas dois problemas apresentaram soluções melhores com até uma troca de veículo/jornada. Como o valor das duplas pegadas é mais elevado, as soluções tendem a executar mais trocas de veículos para reduzir os custos.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta uma implementação da heurística *Adaptive Large Neighborhood Search* para resolver o PPT. Algumas heurísticas de remoção e inserção foram adaptadas ao contexto do PPT, e uma nova heurística de remoção de tarefas foi proposta: a Remoção Média. Uma série de parâmetros utilizados pela ALNS foi calibrada e a melhor configuração foi selecionada, a partir de testes estatísticos, para realizar os testes de desempenho. Nas instâncias de teste, a ALNS foi capaz de gerar bons resultados e superou as abordagens mais competitivas na maioria dos problemas. Foram geradas, no mínimo, 71% e, no máximo, 86% das melhores soluções ao considerar o conjunto dos 7 problemas resolvidos.

Conclui-se portanto que a ALNS é uma eficiente metodologia de resolução de problemas do tipo do PPT. Sua superioridade ao resolver estes problemas pode ser explicada pela sua característica adaptativa, o que a torna mais robusta e adaptável a intâncias de diferentes características.

Agradecimentos
Os autores agradecem à UFOP, à FAPEMIG e ao CNPq pelo apoio recebido para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahuja, R. K., Ergun, Ö., Orlin, J. B. e Punnen, A. P. (2002) A survey of very large-scale neighborhood search techniques. Discrete Applied Mathematics, 123(1-3), 75–102.

Bodin, L., Golden, B., Assad, A. e Ball, M. (1983) Routing and scheduling of vehicles and crews: The state of the art. Computers and Operations Research, 10, 63-211.

Chen, S. e Shen, Y. (2013) An improved column generation algorithm for crew scheduling problems. Journal of Information and Computational Science, 10(1), 175–183.

Fischetti, M., Martello, S. e Toth, P. (1987) The fixed job schedule problem with spread-time constraints. Operations Research, 35(6), 849–858.

Lourenço, H. R., Paixão, J. P. e Portugal, R. (2001) Multiobjective metaheuristics for the bus driver scheduling problem. Transportation science, INFORMS, 35(3), 331–343.

Pisinger, D. e Ropke, S. (2007) A general heuristic for vehicle routing problems. Computers & operations research, Elsevier, 34(8), 2403–2435.

Reis, A. S., Silva, G. (2012) Um Estudo de Diferentes Métodos de Busca e a Metaheurística VNS para Otimizar a Escala de Motoristas de Ônibus Urbano. Transporte em Transformação XVI - Trabalhos vencedores do Prêmio CNT Produção Acadêmica.

Ropke, S. e Pisinger, D. (2006a) An adaptive large neighborhood search heuristic for the pickup and delivery problem with time windows. Transportation science, Informs, 40(4), 455–472.

Ropke, S. e Pisinger, D. (2006b) An unified heuristic for a large class of vehicle routing problems with backhauls. European Journal of Operational Research, Elsevier, 171(3), 750–775.

Silva, G. P. e Cunha, C. B. (2010) Uso da Técnica de Busca em Vizinhança de Grande Porte para a Programação da Escala de Motoristas de Ônibus Urbano. Transportes, 18, 64-75.

Silva, G. P., Souza, M. J. F. e von Atzingen, J. (2006) Métodos exatos para resolver o problema de programação da tripulação. Transportes, 14(1), p. 25-32.

Silva, T. A. e Silva, G. P. (2015) O uso da metaheurística Guided Local Search para resolver o Problema de Escala de Motoristas de Ônibus Urbano. Transportes, 23, 105-116.

Song, C., Guan, W., Ma, J. e Liu, T. (2015) Improved genetic algorithm with gene recombination for bus crew-scheduling problem. Mathematical Problems in Engineering, 2015, 1. Hindawi Publishing Corporation.

Souza, D. S. (2014), Uma Abordagem Híbrida para Resolver o Problema da Escala de Motoristas de Ônibus Urbano. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Ouro Preto.

Wren, A. (2004) Scheduling vehicles and their drivers – Forty years' experience. Technical Report, School of Computing Studies, Leeds University, England.

METAHEURÍSTICA DE BUSCA EM VIZINHANÇA VARIÁVEL PARA O PROBLEMA DE *BIN PACKING* COM CONFLITOS ENTRE CATEGORIAS

Luiz Felipe Oliveira Moura Santos
Hugo Tsugunobu Yoshida Yoshizaki
Renan Sallai Iwayama
Claudio Barbieri da Cunha
Universidade de São Paulo
Escola Politécnica

RESUMO
Problemas de *Bin Packing* com Conflitos (BPC) são aqueles em que um conjunto de itens deve ser alocado no menor número possível de *bins*, respeitando-se suas capacidades e desde que não existam conflitos entre itens em cada *bin*. É um problema comum na distribuição física de produtos, onde diferentes entregas devem ser agrupadas em um mesmo veículo, antes da roteirização dos veículos. O objetivo deste trabalho é introduzir uma nova variante do problema, o problema de *Bin Packing* com Conflitos entre Categorias (BPCC), em que os itens são separados em categorias conflitantes, e apresentar uma metaheurística baseada em Busca em Vizinhança Variável para resolvê-lo eficientemente. Testes computacionais mostram que a heurística proposta apresenta bons resultados para instâncias difíceis da literatura. Entretanto, testes mais aprofundados devem ser conduzidos para aproveitar seu alto potencial de melhoria.

ABSTRACT
Bin Packing with Conflicts (BPC) are those in which a quantity of items must be packed in the least number of bins, not exceeding the bins capacity and no items are in conflict with each other. It's a common problem in physical distribution of products before the vehicle routing problem, where several deliveries must be assigned to the same vehicle. The objective of this paper is to introduce a new variant of this problem, the Bin Packing with Categories Conflicts (BPCC), in which items are given in conflicting categories, and to propose a variable neighborhood search (VNS) metaheuristics to solve it efficiently. Computational tests showed this metaheuristic achieved good results for hard instances of the literature, in almost instantaneous times. However, additional tests should be made to seize its high potential for improvement.

1. INTRODUÇÃO

Problemas de empacotamento de itens em caixas (*bins*), como no de agrupamento de entregas em veículos ocorrem diariamente e em escala global nas empresas, tanto no contexto de produção quanto distribuição. São denominados pela literatura como Problemas de Bin Packing (BPP) e pertencem à classe de problemas da mochila (*knapsack problems*, do inglês) (Martello e Toth, 1990a). Os BPP possuem natureza combinatória, sendo considerados pela literatura como fortemente *NP-Hard*, problemas complexos e de difícil solução ótima (Delorme *et al.* 2016; Fleszar e Hindi, 2002; Martello e Toth, 1990a).

Quando existem itens incompatíveis (ou em conflito) uns com os outros, que não podem estar simultaneamente no mesmo *bin*, o problema é chamado de Problema de *Bin Packing* com Conflitos (BPC). Em um BPC, são dados um conjunto $V = \{1, 2, \ldots, n\}$ de itens, com cada item i tendo um peso w_i, e um grafo de conflitos $G = (V, E)$, onde E é o conjunto de arestas tais que $(i,j) \in E$ se e somente se os itens i e j estão em conflito (Fleszar e Hindi, 2002; Gendreau *et al.*, 2004; Jansen, 1999; Fernandes-Muritiba *et al.*, 2010). O objetivo do problema é alocar cada item a um *bin* utilizando o menor número de *bins* possível, respeitando-se suas capacidades e que itens em conflitos não estejam no mesmo *bin*. Nesta variante do problema os conflitos são dados de maneira pareada entre os itens.

Em problemas reais, é comum encontrar casos em que os itens se agrupam naturalmente dado sua natureza ou pela família de produtos a que pertencem, ao mesmo tempo em que alguns

destes grupos sejam incompatíveis entre si. Um exemplo é a distribuição física de produtos, em que produtos alimentícios não podem ser transportados no mesmo veículo que produtos de limpeza por motivos de contaminação. Outro exemplo são os produtos que não devem ser transportados juntos com outros refrigerados ou congelados, para que não haja alterações em suas características dada a baixa temperatura dos veículos.

Assim sendo, introduzimos o Problema de *Bin Packing* com Conflitos entre Categorias (BPCC), um caso especial do BPC em que os itens estão divididos em categorias. No BPCC, são dados um conjunto $C = \{1, 2, ..., m\}$ de categorias e um conjunto $V = \{1, 2, ..., n\}$ de itens, com cada item j tendo um peso w_j e pertencendo a uma categoria cat_j, e um grafo de conflitos $G_{BPCC} = (C, E_{cat})$, onde E_{cat} é o conjunto de arestas tais que $(k,l) \in E$ se e somente se as categorias k e l estiverem em conflito. Assim como o BPC, o objetivo também é minimizar o número de *bins* utilizados respeitando-se as capacidades e a inexistência de conflitos em cada bin.

No contexto da logística, veículos de carga podem fazer entregas a diversos clientes em uma única corrida, realizando múltiplas paradas antes de retornar à sua base (Taniguchi *et al.*, 2014). Assim, como as cargas destinadas a cada cliente geralmente não são suficientes para o aproveitamento total da capacidade dos veículos e são constituídas por uma grande variedade de produtos (Blanco e Fransoo, 2013; Reis e Cunha, 2011), os problemas de *bin packing* em geral são úteis na etapa de alocação dessas cargas utilizando a menor frota de veículos possível (Cunha *et al.*, 2008).

Por pertencerem à classe de BPP, tanto o BPC quanto o BPCC também são problemas fortemente *NP-Hards* (Delorme *et al.*, 2016), tornando difícil a obtenção de soluções ótimas para grandes instâncias em tempos praticáveis de processamento. Como o agrupamento de entregas em veículos antecede o problema de roteamento de veículos (VRP, do ingês *vehicle routing problem*) na distribuição física de produtos, deve ser feita rapidamente para dar sequência aos demais processos logísticos. Desta forma, pode-se recorrer a heurísticas e metaheurísticas para a obtenção de boas soluções em tempos práticos.

Heurísticas simples como a *First Fit Decreasing* (FFD) ou a *Best Fit Decreasing* (BFD) são amplamente utilizadas (Delorme *et al.*, 2016; Scholl *et al.*, 1997) dada a facilidade para obtenção de soluções iniciais para o BPP. Para a melhoria destas soluções iniciais, diversos autores propuseram metaheurísticas tanto para o BPP quanto para variações do problema. Alguns exemplos são algoritmos evolucionários (Stawowy, 2008), algoritmos genéticos (Quiroz-Castellanos *et al.*, 2015), buscas Tabu (Scholl *et al.*, 1997), ou mesmo *weighted annealing* (Loh *et al.*, 2008), metaheurística derivada de *simulated annealing*.

Apesar da literatura dos BPP ser extensa, os estudos focados nos problemas de *bin packing* com conflitos ainda são escassos. Até o momento, não há registros de propostas semelhantes à apresentada por este trabalho com a introdução de categorias conflitantes, um *gap* na literatura dos BPP. Assim, este trabalho tem como objetivos: (1) introduzir o Problema de *Bin Packing* com Conflitos entre Categorias (BPCC) e sua modelagem matemática; (2) propor uma metaheurística eficiente baseada em Busca em Vizinhança Variável (VNS, do inglês *variable neighborhood search*) para a obtenção de bons resultados em tempos práticos, aplicados ao contexto da distribuição física de produtos.

O trabalho está organizado da seguinte forma. A Seção 2 apresenta o BPCC e uma breve revisão

da literatura sobre os temas abordados. Informações detalhadas sobre a metaheurística VNS são descritas na Seção 3. Já a Seção 4 contém os experimentos computacionais e seus resultados aplicados em instâncias difíceis da literatura. Por fim as conclusões obtidas são apresentadas na Seção 5.

2. PROBLEMA DE BIN PACKING COM CONFLITOS ENTRE CATEGORIAS (BPCC)

Nos Problemas de *Bin Packing* com Conflitos (BPC), conflitos são dados de maneira pareada entre os itens. A modelagem de programação linear inteira do BPC pode ser encontrada em Gendreau *et al.* (2004) e Fernandes-Muritiba *et al.* (2010). Nesta seção, introduzimos o Problema de *Bin Packing* com Conflitos entre Categorias (BPCC), uma classe especial do BPC em que os itens são organizados em categorias conflitantes, algo recorrente na distribuição física de produtos.

É importante notar que o BPCC pode ser representado também pela modelagem do BPC, bastando considerar que todos os itens de cada categoria possuem os mesmos conflitos com os itens das demais categorias.

Para o BPCC, os conflitos são entre categorias de itens e não entre itens individuais. Para isso, são dados um conjunto de n itens, indexados por $j \in \{1, 2, \ldots, n\}$, com pesos w_j, > 0 e pertencentes cada um a uma categoria $cat_j \in \{1, 2, \ldots, m\}$, $m < n$. É dada também uma matriz $C_{m \times m}$ constituída de valores $c^{kl} = 1$, se a categoria k é compatível com a categoria l; ou $c^{kl} = 0$, caso contrário, representando os conflitos entre as categorias de itens k e l e obtida pelo grafo de conflitos $G_{BPPCC} = (C, E_{Cat})$. Cada item deve ser alocado a um bin $i \in \{1, 2, \ldots, n\}$, utilizando-se o menor número possível de *bins*, respeitando a capacidade b dos *bins*, e desde que não existam itens de categorias conflitantes em um mesmo *bin*. São definidos também m subconjuntos J^k de J, em que $cat_j = k$, $\forall j \in J^k$. As variáveis do problema são: $y_i = 1$, se o bin i é usado, 0 caso contrário; $x_{ij} = 1$, se o item j é alocado ao *bin* i, 0 caso contrário; $f_i^k = 1$, se há ao menos um item da categoria k no *bin* i, 0 caso contrário. Desta forma, obtemos o seguinte modelo de programação inteira:

$$min\ z = \sum_{i=1}^{n} y_i \tag{1}$$

Sujeito a:

$$y_i * b \geq \sum_{j \in J} x_{ij} * w_j \qquad \forall i \in \{1,2,\ldots,n\} \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1 \qquad \forall j \in \{1,2,\ldots,n\} \tag{3}$$

$$f_i^k * M \geq \sum_{j \in J^k} x_{ij} \qquad \forall i \in \{1,2,\ldots,n\}, \forall k \in \{1,2,\ldots,m\} \tag{4}$$

$$f_i^k + f_i^l \leq 1 \qquad \forall i \in \{1,2,\ldots,n\}, \forall k,l \in \{1,2,\ldots,m\} \mid c^{kl} = 0 \tag{5}$$

$$y_i \geq y_s \qquad \forall i,s \in \{1,2,\ldots,n\}, i < s \tag{6}$$

$$y_i, x_{ij}, f_i^k \in \{0,1\} \qquad \forall i,j \in \{1,2,\ldots,n\}, \forall k \in \{1,2,\ldots,m\} \tag{7}$$

A função objetivo (1) minimiza o número de *bins* utilizados. (2) são as restrições de capacidade, que limitam o peso total alocado a um *bin* utilizado. (3) garantem que cada item seja alocado a apenas um bin. As restrições (4) ligam as variáveis x_{ij} e f_i^k, de forma que se um item da categoria *k* é alocado ao bin *i*, f_i^k vale 1, e onde *M* é um grande valor, como o número de itens *n*. (5) garantem que para cada par de categorias incompatíveis, no máximo uma delas está presente em um *bin*, para cada *bin* usado. As restrições (6) não são obrigatórias, mas buscam reduzir o espaço de soluções, garantindo que *bins* vazios sejam os últimos, e não entre os *bins* utilizados. Por fim, (7) define todas as variáveis binárias.

2.1. *Lower Bounds*

Diferentes métodos para a obtenção de *lower bounds* já foram apresentados pela literatura de BPP. Um dos métodos mais simples é partir do arredondamento para cima da soma do peso de todos os itens dividida pela capacidade dos *bins*, sendo chamado *lower bound* contínuo (Martello e Toth, 1990b). Entretanto, segundo Fernandes-Muritiba *et al.* (2010), qualquer *lower bound* do BPP é válido para o BPC, mas quando aplicados ao BPC são arbitrariamente ruins, sendo suficiente considerar uma instância com *bins* de capacidade 1 e itens com pesos $w_i \ll 1$, $\forall i$.

Dado que um problema BPCC pode ser facilmente transformado em um problema BPC, os *lower bounds* do BPP também podem ser considerados ruins para o BPCC, assim como qualquer *lower bound* do BPC pode ser considerado válido para o BPCC.

Gendreau *et al.* (2004) apresentaram o *lower bound* de empacotamento forçado para o BPC, primeiro determinando um grande clique (subgrafo completo) e alocando um conjunto de itens mutuamente conflitantes a diferentes *bins*. Para um determinado nível de peso l, é considerado um conjunto I_l de itens não alocados, cujos pesos são no mínimo l mas menores que a capacidade residual de pelo menos um *bin*, e um conjunto K_l de *bins* com capacidade residual suficiente para acomodar os itens de I_l. Segundo os autores, o *lower bound* pode ser calculado pelo peso total z_l dos itens de I_l que não cabem em nenhum dos *bins* existentes e resolvendo um Problema de Transporte com "conjunto de origem" I_l e "conjunto de destino" K_l e custos de transporte apropriadamente determinados.

Fernandes-Muritiba *et al.* (2010) introduziram novos *lower bounds* para o BPC, incluindo uma melhoria ao *lower bound* de empacotamento forçado proposto por Gendreau *et al.* (2004). Outro método proposto pelos autores é uma relaxação substituta de restrições do BPC, para se obter uma instância do *Two-Vector Packing Problem* (TVPP), generalização do BPP em que os itens possuem duas dimensões de peso e os *bins* duas capacidades correspondentes, e em seguida um *bound* válido para o BPC através de um procedimento TVPP. Os autores também propuseram um *lower bound* a partir da modelagem do BPC como um problema de *set covering* (SC) e relaxando as restrições de integralidade, chegando a bons resultados.

Khanafer *et al.* (2010) propuseram novos *lower bounds* utilizando a generalização das chamadas funções duais-viáveis (DFF, do inglês *dual-feasible functions*), também abordadas por Ferndandes-Muritiba *et al.* (2010). Entretanto, os resultados obtidos usando tais funções não foram satisfatórios, dados que foram projetadas para o problema de *bin packing* sem restrições.

2.2. *Upper Bounds*

Upper bounds para o BPP são quaisquer soluções viáveis para o problema. Podem ser obtidos a partir de heurísticas contrutivas simples ou utilizando métodos mais sofisticados como as metaheurísticas, que geram limitantes melhores, mais próximos dos ótimos.

2.2.1. Heurísticas Construtivas

Diversas heurísticas construtivas clássicas foram propostas por Johnson (1974) para o BPP, como a *First Fit Decreasing* (FFD), em que os items são ordenados em ordem não-crescente de pesos e alocados um a um no primeiro *bin* que os caibam. Caso não existam *bins* com capacidade suficiente para o item, um novo *bin* é criado.

A *First Fit Decreasing with Conflicts* (FFDC), proposta por Gendreau *et al.* (2004) é uma adaptação do algoritmo da FFD: considere cada item por vez e o aloque ao primeiro *bin* com capacidade residual suficiente e em que não exista conflito com os itens já alocados. Fernandes-Muritiba *et al.* (2010) adaptaram também a *Best Fit Decreasing with Conflicts* (BFDC), em que os itens são alocados a um *bin* viável em que o peso total resultante seja máximo, e a *Worst Fit Decreasing with Conflicts* (WFDC), de maneira similar a BFDC mas que o peso total resultante seja mínimo.

Gupta e Ho (1999), por sua vez, propuseram um algoritmo heurístico baseado na minimização das capacidades residuais dos *bins*, chamada de *Mininum Bin Slack* (MBS).

2.2.2. Metaheurísticas

Embora as soluções obtidas pelas heurísticas construtivas simples sejam rapidamente obtidas, muitas vezes são de má qualidade e servem apenas de solução inicial para uma metaheurística mais eficiente.

Khanafer *et al.* (2010) propuseram um procedimento *branch-and-bound* e um critério de dominância para reduzir o espaço de busca de soluções do BPP. O critério estabelece que se for possível extrair um conjunto de pequenos itens de um *bin* e substituí-los por um único item livre do mesmo peso, então pode ser mais fácil melhorar a solução. É pressuposto muitas vezes correto, dado que é mais fácil empacotar um conjunto de itens pequenos nos *bins* restantes do que encontrar algum bin com capacidade residual para o item maior.

Fleszar e Hindi (2002) desenvolveram um novo algoritmo de alta qualidade (*Perturbation-MBS*), adaptado do MBS de Gupta e Ho (1999) e que se baseia em uma busca em vizinhança variável e limites inferiores. Uma nova solução é construída sucessivamente perturbando-se a solução atual. Loh *et al.* (2008) propuseram o *weighted annealing*, adaptação da metaheurística *simulated annealing* para o BPP. Ao modificar o espaço de soluções com novos pesos para os itens de acordo com a ocupação dos *bins* busca-se transpor mínimos locais e, conforme o procedimento evolui, as distorções tornam-se cada vez menores.

Stawowy (2008), por sua vez, aplica um algoritmo evolucionário na resolução do BPP. O autor busca codificar a solução em um vetor único de itens com delimitadores que representam os *bins*. O autor também concluiu que o uso das heurísticas construtivas FF, FFD e BFD como soluções iniciais não apresentam diferenças significativas na qualidade das soluções geradas. Quiroz-Castellanos *et al.* (2015) também propuseram uma metaheurística para o BPP. O método proposto pelos autores é baseado em um algoritmo genético e é chamado de *Grouping*

Genetic Algorithm with Controlled Gene Transmission (GGA-CGT). O algoritmo promove a transmissão dos melhores genes dos cromossomos sem a perda do balanço entre a pressão seletiva e a diversidade da população.

Entretanto, nenhum dos métodos de solução apresentados são para o BPCC, mas seus conceitos podem ser adaptados. Assim, na próxima seção propomos um método baseado em Busca em Vizinhança Variável para resolver o BPCC aqui introduzido.

3. BUSCA EM VIZINHANÇA VARIÁVEL

A Busca em Vizinhança Variável (VNS, do inglês *variable neighbourhood search*), proposta por Mladenović e Hansen (1997), é uma metaheurística que explora o espaço de soluções por meio de trocas de vizinhanças (Hansen e Mladenović, 2001). Parte-se de uma solução inicial e são feitas modificações locais que melhorem o valor da função objetivo, até um mínimo local. Em seguida são realizadas sistematicamente trocas de vizinhanças e buscas locais a procura de melhores soluções.

Alguns autores já utilizaram a VNS em problemas clássicos de *bin packing* (Cunha *et al.*, 2008; Fleszar e Hindi, 2002) e em algumas de suas variações, como o *bin packing* com *bins* de tamanhos variáveis (VSBPP, do inglês *variable sized bin packing problem*) (Hemmelmayr *et al.*, 2012; Reis e Cunha, 2011) e o problema de *bin packing bi-dimensional* (2BPP) (Reis e Cunha, 2015), obtendo bons resultados. Entretanto, não foram encontrados estudos de seu uso aplicados a problemas de *bin packing* com conflitos.

Na VNS, é dada uma solução inicial x_0, obtida por heurísticas simples como as mencionadas em 2.3, e um conjunto finito e pré-selecionado de estruturas de vizinhança $\mathcal{N}_k = (k_1, k_2, \ldots, k_{max})$, sendo $\mathcal{N}_k(x)$ o conjunto de soluções na *k-ésima* vizinhança de *x*. A heurística construtiva utilizada para a obtenção da solução inicial neste trabalho é a FFD, adaptada para o uso com categorias conflitantes. Chamada de FFDCC (do inglês *first fit decreasing with categories conflicts*), primeiro as categorias são ordenadas de maneira não-crescente por graus de incompatibilidade e em seguida os itens de cada categoria são ordenados também de forma não-crescente pelos seus pesos. Após ordenados, cada item da fila é alocado ao primeiro *bin* que possuir capacidade residual suficiente para acomodá-lo, desde que não existam naquele *bin* itens de categorias conflitantes com a categoria do item em questão. Quando todos os itens estiverem alocados a algum *bin* a solução foi obtida.

De acordo com Fleszar e Hindi (2002), um fator crucial é a escolha da função objetivo a ser utilizada nas comparações entre as soluções encontradas. No problema de BPCC, assim como no BPP clássico, o valor da função objetivo de uma solução (número de *bins* utilizados) pode ter muitas combinações diferentes das variáveis envolvidas, ao mesmo tempo que nem todas estas soluções apresentam a mesma qualidade. Um exemplo de solução com valores iguais mas qualidades distintas é o caso de uma solução x_1 com *z bins* utilizados, mas a maioria com alto percentual de ocupação e apenas alguns pouco ocupados, e uma solução x_2 com a mesma quantidade *z* de *bins*, mas todos com valores médios de utilização em cada *bin*. Neste caso, a solução x_2 pode ser mais indesejada do que x_1, pois geralmente busca-se uma maioria de *bins* densos e apenas alguns *bins* pouco ocupados, pois permite maior flexibilidade na alocação de itens pesados. Desta forma, a função objetivo escolhida para a VNS busca justamente a obtenção de *bins* mais densos, dada pela expressão (8) e doravante chamada de função *fitness f (x)*.

$$\max f(x) = \sum_{j=1}^{b} \left(\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{w_{ij}}{C} \right)^2 \right) \quad (8)$$

No algoritmo da VNS para o BPCC aqui proposto, é utilizado o método adaptativo *ChooseNeighbourhood* (s_1, s_2, s_3) (Hemmelmayr *et al.*, 2012)**,** que escolhe aleatoriamente uma estrutura de vizinhança a ser utilizada, com probabilidades baseadas nos *scores* s_1, s_2 e s_3, computados a partir do número de iterações bem-sucedidas obtidas pela estrutura de vizinhança utilizada. Assim, durante o *loop* principal da VNS, são realizados os seguintes três métodos principais da VNS (Hansen e Mladenović, 2001):

- *Shaking (x, k):* uma solução *x'* é gerada aleatoriamente pela *k-ésima* vizinhança de *x*, por exemplo $\mathcal{N}_k$ *(x)*;
- *Local Search (x')*: busca local realizada em *x'*, a procura de um mínimo local *x''*;
- *Move or not ( ):* se o mínimo local encontrado for melhor do que a solução incumbente, $f(x'') > f(x_{best})$, o mesmo é aceito $(x_{best} \leftarrow x'')$, a solução incumbente é atualizada $(x \leftarrow x_{best})$ e o score da *k-ésima* vizinhança utilizada é incrementado $(s_k \leftarrow s_k + 1)$. Em seguida o processo é reiniciado fazendo $k \leftarrow$ *ChooseNeighbourhood* (s_1, s_2, s_3).

O algoritmo em pseudocódigo da VNS proposta é apresentado na Figura 1, e em seguida são detalhados os operadores de *Shaking(x, k)* e *LocalSearch (x')*.

Início: VNS para o BPCC.
1: **Entrada**: Uma instância do problema, estruturas de vizinhança $\mathcal{N}_k, k \in (1,2,3)$ e uma solução inicial x_0;
2: $x \leftarrow x_0$;
3: $x_{best} \leftarrow x$
4: $s_1 \leftarrow 1; s_2 \leftarrow 1; s_3 \leftarrow 1;$
5: **Enquanto** (Critério de parada não satisfeito) **faça**
6: $k \leftarrow ChooseNeighbourhood\ (s_1, s_2, s_3)$;
7: $x' \leftarrow Shaking(x, k)$;
8: $x'' \leftarrow LocalSearch(x')$;
9: **Se** $f(x'') > f(x_{best})$ **então**
10: $x_{best} \leftarrow x''$;
11: $s_k \leftarrow s_k + 1$;
12: **Fim − se**;
13: $x \leftarrow x_{best}$
14: **Fim − enquanto**;
15: **Saída**: Melhor solução encontrada (x_{best}).
Fim: VNS para o BPCC.

Figura 1: Pseudocódigo com a estrutura da metaheurística VNS proposta

3.1. *Shaking*

São utilizadas três estruturas de vizinhança distintas $\mathcal{N}_k$, $k \in (1, 2, 3)$, para esta metaheurística. O operador $\mathcal{N}_1$ move a solução incumbente para uma vizinhança determinando aleatoriamente uma categoria a ser esvaziada de todos os *bins* da solução corrente. Em seguida, os itens sem *bins* são novamente alocados segundo a FFDCC. O operador $\mathcal{N}_2$, por sua vez, determina duas categorias aleatórias para serem esvaziadas de todos os *bins*. Então, os itens desalocados são novamente destinados a algum *bin* segundo a FFDCC.

Já o operador $\mathcal{N}_3$ explora vizinhanças mais distantes, com dois fatores aleatórios envolvidos. Primeiramente, é sorteada uma quantidade de *bins* para serem totalmente esvaziados e apagados, respeitando um parâmetro α de percentual máximo de bins que podem ser esvaziados. O segundo fator aleatório é durante a escolha de quais são os *bins* que serão apagados. A escolha é feita aleatoriamente dentre todos os *bins* existentes. Caso os operadores tenham obtido soluções melhores, seus *scores* são incrementados para terem uma maior probabilidade de serem sorteados novamente em iterações futuras.

Neste trabalho, as etapas aleatórias dos três operadores em questão foram implementadas utilizando o método de congruência linear para a geração dos números aleatórios (pseudoaleatórios) (Brunner e Uhl, 1999). O método utiliza a relação de recorrência linear dada pela equação (9), onde *a* e *c* assumem valores fixos, *m* é algum módulo escolhido e x_0 é um número inicial, conhecido por semente.

$$x_{n+1} = a\, x_n + c \pmod{m} \tag{9}$$

3.1. *Local Search*

A busca local do método procura obter *bins* mais densos, movendo itens de *bins* pouco ocupados para outros mais cheios. Para isso, é determinado um parâmetro β, que indica um percentual mínimo de ocupação aceito.

O procedimento percorre todos os *bins* utilizados da solução incumbente, examinando os pouco ocupados $(Ocupação_{\%} < \beta)$ e ignorando os demais. Em seguida, para cada *bin* examinado, é verificada a possibilidade de se mover os itens deste bin_A para outro com melhor ocupação bin_B. Entretanto, o movimento somente é realizado caso satisfaça três condições: (1) a capacidade disponível do bin_B depois do movimento seja menor do que a capacidade disponível do bin_A antes do movimento; (2) as capacidades de ambos os *bins* não sejam excedidas; (3) o movimento não gere conflitos entre itens. Se as três condições forem satisfeitas, o movimento é realizado e o próximo item do bin_A é analisado. Caso contrário, o próximo item do bin_A também é examinado, verificando novamente a possibilidade de movê-lo para outro *bin*. O procedimento se encerra quando não existirem mais itens que possam ser movidos em todos os *bins* com percentual de ocupação menor que β.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O algoritmo de VNS para o BPPCC aqui apresentado foi implementado em C++ e executado em um Intel® Core™ i5-4690 CPU @ 3.5GHz com 16 GB RAM. Para ser testado, foram utilizadas as instâncias difíceis *Augmented Non-IRUP* (ANI) e *Augmented IRUP* (AI) (Delorme *et al.*, 2016) e a matriz de compatibilidades entre categorias apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Matriz de compatibilidades entre categorias utilizada nos testes

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1	0	1	0	0	0
C2	0	1	0	1	1	1
C3	1	0	1	1	0	0
C4	0	1	1	1	1	1
C5	0	1	0	1	1	0
C6	0	1	0	1	0	1

Em *survey* sobre problemas de *bin packing* e problemas de corte (CSP, do inglês *cutting stock problem*), Delorme *et al.* (2016) elencaram as diversas instâncias utilizadas nos BPP pela literatura, como Falkenauer (1996) e Scholl *et al.* (1997). Além do *survey*, os autores também contribuíram com dois novos conjuntos de instâncias (ANI e AI) para testes, consideradas difíceis para a solução ótima.

As instâncias ANI são compostas por 5 conjuntos de 50 instâncias cada, com $n \in \{201, 402, 600, 801, 1002\}$. Para cada um dos conjuntos de instâncias ANI foi imposta uma capacidade máxima para os *bins* de 2500, 10000, 20000, 40000 e 80000, respectivamente. Estas instâncias foram derivadas de um *benchmark* proposto por Caprara *et al.* (2015). Delorme *et al.* (2016) também apresentaram as instâncias AI, outros 5 conjuntos de 50 instâncias cada, porém mais "fáceis" de serem resolvidas. Cada conjunto destes possui um item a mais do que a instância ANI correspondente, oriundo da quebra de um dos itens originais em dois itens diferentes.

No entanto, as instâncias difíceis propostas por Delorme *et al.* (2016) são para o BPP e não para o BPC ou BPCC. Existem também instâncias específicas para o BPC, como as de Fernandes-Muritiba *et al.* (2010), porém são apresentadas com conflitos entre pares de itens, de difícil categorização visando manter os conflitos originais. No pior caso da adaptação destas instâncias para o BPCC, cada item deveria ser atribuído a uma categoria diferente, resultando em um número de categorias igual ao número de itens, o que não justifica seu uso para o BPCC. Desta forma, as instâncias escolhidas para os testes computacionais foram as ANI e AI de Delorme *et al.* (2016), devido a sua complexidade e por serem facilmente adaptadas para o BPCC, atribuindo cada item a uma categoria.

Em cada uma das instâncias AI e ANI, a soma do peso de todos os itens resulta em um valor inteiro múltiplo da capacidade dos *bins*. Como não é comum que os veículos trafeguem com 100% da capacidade utilizada na distribuição física de produtos, cada instância também foi testada com quatro fatores de capacidade: 100%, 120%, 150% e 200%. Nos testes computacionais, apenas os conjuntos de 50 instâncias AI ($n = 202$) e 50 instâncias ANI ($n = 201$) foram testadas, para os quatro fatores de capacidade dados, totalizando 400 instâncias.

O modelo de programação inteira do problema foi montado no pacote de otimização Gurobi© 7.0 para a solução ótima das 400 instâncias. O *software* foi capaz de determinar os valores ótimos para todas as instâncias AI e ANI com fatores de capacidade 120%, 150% e 200%, porém falhou em obter os valores ótimos para as instâncias com fator de capacidade 100% em um tempo limite de 10 minutos por instância. Nas instâncias em que não foi possível a obtenção dos ótimos, foram utilizados os *lower bounds* contínuos do BPP para as análises do desempenho da VNS.

Os resultados finais obtidos pela execução do modelo de programação inteira no Gurobi© e pela execução da metaheurística VNS proposta são apresentados na Tabela 2. Foram realizadas 5000 iterações, utilizando os parâmetros $\alpha = 0,2$ e $\beta = 0,85$.

Tabela 2: Resultados Finais

				Gurobi© 7.0				VNS			
Tipo Inst.	# Itens	Fator Cap.	# Inst.	# Ótimos	*Gap* Médio (%)	Tempo (s)		# Ótimos	*Gap* Médio (%)	Tempo (s)	
						Média	Desv. Pad.			Média	Desv. Pad.
AI	202	1	50	0	[**]1,52	–	–	[*]0	[**]1,52	0,64	0,11
		1,2	50	50	0	123,99	110,55	[*]49	[***]0,0364	0,60	0,10
		1,5	50	50	0	56,87	34,02	50	0	0,52	0,10
		2	50	50	0	32,07	14,42	50	0	0,44	0,07
ANI	201	1	50	0	[**]1,52	–	–	[*]50	0	0,66	0,11
		1,2	50	50	0	129,19	117,63	50	0	0,61	0,11
		1,5	50	50	0	51,73	29,18	50	0	0,52	0,10
		2	50	50	0	36,21	18,78	50	0	0,44	0,10

[*] Utilizado o *Lower Bound* (LB) contínuo do BPP;

[**] O objetivo de nenhuma das instâncias se igualou ao LB. Todas as instâncias tiveram o mesmo *gap* (1 *bin*);

[***] A única instância que não convergiu apresentou *gap* de 1,82% (1 *bin*).

Pode-se notar que a VNS proposta apresentou bons resultados, convergindo para a solução ótima em 299 das 300 instâncias (99,67%) com fatores de capacidade 120%, 150% e 200%. Nestes 300 casos, os tempos de execução da VNS foram muito menores do que a solução do modelo de programação inteira, convergindo em menos de 1 segundo para todas as instâncias.

No caso das instâncias ANI com fator de capacidade 100%, apesar do Gurobi© não ter sido capaz de obter os ótimos, a VNS convergiu para o ótimo em todas as instâncias em menos de 1 segundo, dado que a solução foi igual aos *lower bounds*. Já para as instâncias AI com fator de capacidade 100%, em que também não foram obtidos os ótimos, a VNS não foi capaz de igualar a solução com o *lower bound* utilizado em nenhuma das 50 instâncias. Entretanto, não se pode afirmar que *lower bound* utilizado tenha sido ruim ou que a metaheurística seja ruim, já que o valor ótimo é desconhecido.

Como as etapas aleatórias presentes no *Shaking* da VNS são baseadas em sementes iniciais, os resultados de cada instância foram gerados para oito sementes diferentes, de forma a analisar a influência da escolha da semente nos resultados. Para as 400 instâncias testadas, os resultados finais obtidos para as funções objetivos em quantidades de *bins* utilizados (Equação 1) das instâncias foram todos iguais. Entretanto, as soluções obtidas por cada semente não foram as mesmas, já que apresentaram valores das funções *fitness* (Equação 8) diferentes. Os tempos apresentados na Tabela 2 para a VNS são as médias e desvios-padrões entre as execuções por cada semente.

No geral, a VNS proposta apresentou bons resultados, mas apresenta limitações. Como foi testada apenas com as menores instâncias AI e ANI, não se pode afirmar que o bom desempenho seria mantido para instâncias maiores (com mais itens ou mais categorias conflitantes, por exemplo).

5. CONCLUSÕES

A formulação do Problema de *Bin Packing* com Conflitos entre Categorias pode ser uma maneira útil de abordar problemas específicos. Do ponto de vista prático para a distribuição física de produtos, a metaheurística VNS proposta se mostra uma alternativa válida para a alocação de entregas a veículos, dado que obteve bons resultados para as instâncias testadas em tempos de execução quase instantâneos.

Apesar dos bons resultados obtidos, a VNS ainda deve ser testada mais profundamente. Sua aplicação nas demais instâncias AI e ANI com mais itens é um ponto de partida. Testes computacionais com uma matriz de compatibilidades mais densa ou com mais categorias também contribuiria para uma avaliação mais profunda da VNS.

Embora vários valores para os parâmetros α e β e número de iterações terem sido testados, essa calibragem não foi feita exaustivamente nos testes computacionais. Assim, a utilização de outros parâmetros ou critérios de parada poderia contribuir para a obtenção de resultados melhores. Outra possibilidade para a melhoria do desempenho seria a implementação de novos operadores de vizinhança e de busca local, de modo a auxiliar o escape de grandes vales de ótimos locais.

Assim, pode-se concluir que embora a VNS proposta apresente oportunidades de melhoria e tenha obtido bons resultados para as instâncias testadas, testes mais profundos devem ser conduzidos para uma avaliação mais compreensiva da mesma.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Blanco, E.E. e J.C Fransoo (2013) *Reaching 50 million nanostores Retail distribution in emerging megacities*. Beta Working Paper series 404. Eindhoven, Netherlands.

Brunner, D. e A. Uhl (1999) Optimal multipliers for linear congruential pseudo-random number generator with prime moduli: parallel computation and properties. *BIT Numerical Mathematics*, v. 39, n. 2, p. 193–209. doi:10.1023/A:1022333627834

Caprara, A., M. Dell'Amico, J.C. Díaz-Díaz, M. Iori e R. Rizzi (2015) Friendly bin packing instances without Integer Round-up Property. *Mathematical Programming*, 150(1), 5–17. doi:10.1007/s10107-014-0791-z

Cunha, C.B., G. Mainieri, H.T.Y. Yoshizaki, L. Maluta e L.R. Henriques (2008) Heurísticas para o problema de bin-packing no contexto da distribuição física de produtos. *Anais do XL Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, SBPO, João Pessoa, PB, p. 712–723.

Delorme, M., M. Iori e S. Martello (2016) Bin packing and cutting stock problems: Mathematical models and exact algorithms. *European Journal of Operational Research*, v. 255, n. 1, p. 1–20. doi:10.1016/j.ejor.2016.04.030

Falkenauer, E. (1996) A hybrid grouping genetic algorithm for bin packing. *Journal of Heuristics*, v. 2, n. 1, p. 5–30. doi:10.1007/BF00226291

Fernandes-Muritiba, A.E., M. Iori, E. Malaguti e P. Toth (2010) Algorithms for the Bin Packing Problem with Conflicts. *INFORMS Journal on Computing*, v. 22, n. 3, p. 401–415. doi:10.1287/ijoc.1090.0355

Fleszar, K. e K.S. Hindi (2002) New heuristics for one-dimensional bin-packing. *Computers & Operations Research*, v. 29, n. 7, p. 821–839. doi:10.1016/S0305-0548(00)00082-4

Gendreau, M., G. Laporte, e F. Semet (2004) Heuristics and lower bounds for the bin packing problem with conflicts. *Computers & Operations Research*, v. 31, n. 3, p. 347–358. doi:10.1016/S0305-0548(02)00195-8

Gupta, J.N.D. e J.C. Ho (1999) A new heuristic algorithm for the one-dimensional bin-packing problem. *Production Planning & Control*, v. 10, n. 6, p. 598–603. doi:10.1080/095372899232894

Hansen, P. e N. Mladenović (2001) Variable neighborhood search: Principles and applications. *European Journal of Operational Research*, v. 130, n. 3, p. 449–467. doi:10.1016/S0377-2217(00)00100-4

Hemmelmayr, V., V. Schmid e C. Blum (2012) Variable neighbourhood search for the variable sized bin packing problem. *Computers & Operations Research*, v. 39, n. 5, p. 1097–1108. doi:10.1016/j.cor.2011.07.003

Jansen, K. (1999) An approximation scheme for Bin Packing with Conflicts. *Journal of Combinatorial Optimization*, v. 3, n. 4, p. 363–377. doi:10.1023/A:1009871302966

Johnson, D.S. (1974) Approximation algorithms for combinatorial problems. *Journal of Computer and System Sciences*, v. 9, n. 3, p. 256–278. doi:10.1016/S0022-0000(74)80044-9

Khanafer, A., F. Clautiaux e E. Talbi (2010) New lower bounds for bin packing problems with conflicts. *European Journal of Operational Research*, v. 206, n. 2, p. 281–288. doi:10.1016/j.ejor.2010.01.037

Loh, K.H., B. Golden e E. Wasil (2008) Solving the one-dimensional bin packing problem with a weight annealing heuristic. *Computers & Operations Research*, v. 35, n. 7, p. 2283–2291. doi:10.1016/j.cor.2006.10.021

Martello, S. e P. Toth (1990a) *Knapsack problems: algorithms and computer implementations*. (1º ed). John Wiley & Sons, Chichester, England.

Martello, S. e P. Toth (1990b) Lower bounds and reduction procedures for the bin packing problem. *Discrete Applied Mathematics*, v. 28, n. 1, p. 59–70. doi:10.1016/0166-218X(90)90094-S

Mladenović, N., e Hansen, P. (1997) Variable neighborhood search. *Computers & Operations Research*, 24(11), 1097–1100. doi:10.1016/S0305-0548(97)00031-2

Quiroz-Castellanos, M., L. Cruz-Reyes, J. Torres-Jimenez, C. Gómez, H.J.F. Huacuja e A.C.F. Alvim (2015) A grouping genetic algorithm with controlled gene transmission for the bin packing problem. *Computers & Operations Research*, v. 55, p. 52–64. doi:10.1016/j.cor.2014.10.010

Reis, J.V.A. e C.B. Cunha (2011) Uma nova heurística baseada na meta-heurística VNS para o problema de agrupamento de entregas em veículos de uma frota heterogênea. *Transportes*, v. 19, n. 3, p. 75–84. doi:10.14295/transportes.v19i3.213

Reis, J.V.A. e C.B. Cunha (2015) Uma meta-heurística de busca decomposta em vizinhança variável para o problema bidimensional de agrupamento de entregas em veículos de uma frota heterogênea. *Journal of Transport Literature*, v. 9, n. 1, p. 40–44. doi:10.1590/2238-1031.jtl.v9n1a8

Scholl, A., R. Klein e C. Jürgens (1997) Bison: A fast hybrid procedure for exactly solving the one-dimensional bin packing problem. *Computers & Operations Research*, v. 24, n. 7, p. 627–645. doi:10.1016/S0305-0548(96)00082-2

Stawowy, A. (2008) Evolutionary based heuristic for bin packing problem. *Computers & Industrial Engineering*, v. 55, n. 2, p. 465–474. doi:10.1016/j.cie.2008.01.007

Taniguchi, E., R.G. Thompson e T. Yamada (2014) Recent trends and innovations in modelling city logistics. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 125, p. 4–14. doi:10.1016/j.sbspro.2014.01.1451

Luiz Felipe Oliveira Moura Santos (luiz.fel.moura@usp.br)
Hugo Tsugunobu Yoshida Yoshizaki (hugo@usp.br)
Departamento de Engenharia de Produção, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo
Av. Prof. Almeida Prado, Travessa 2, nº 128 – São Paulo, SP, Brasil

Renan Sallai Iwayama (renan.siw@usp.br)
Claudio Barbieri da Cunha (cbcunha@usp.br)
Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo
Av. Prof. Almeida Prado, Travessa 2, nº 83 – São Paulo, SP, Brasil

CW-GRASP: UMA ABORDAGEM EFICIENTE PARA O PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS CAPACITADO

Renan Sallai Iwayama[a]
Rafael Buback Teixeira[b]
Priscila Coutinho Costa[a]
Claudio Barbieri da Cunha[a]
a Programa de Graduação em Engenharia de Sistemas Logísticos, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP
b Departamento de Engenharia de Produção, Instituto Federal do Espirito Santo, Cariacica, ES

RESUMO
Uma das variações do problema de roteirização de veículos mais conhecidas na literatura é o problema de roteirização de veículos capacitado - CVRP, cuja resolução tem sido estudada através de diferentes métodos exatos, heurísticos e meta-heurísticos. Esse artigo propõe uma abordagem de solução, combinando a heurística construtiva clássica das economias de Clarke e Wright (1964) com a meta-heurística GRASP de Feo e Resende (1989), seguido de um procedimento de busca local. Esse método foi comparado em termos de tempo computacional e diferença média das soluções obtidas no *set P* de instâncias propostos por Augerat (1995). Os resultados indicam que a heurística proposta é um método eficiente para a resolução do CVRP.

ABSTRACT
One of the most well-known variants of the vehicle routing problem (VRP) in the literature is the capacitated vehicle routing problem(CVRP), whose resolution has been studied through different exact, heuristic and metaheuristic methods. In this article, we propose an approach to solve it, which combines the classical constructive economies heuristic by Clarke and Wright (1964) with the GRASP metaheuristic proposed by Feo and Resende (1989), followed by a local search procedure. This method was compared in terms of computational time and mean difference of solutions obtained in the set P of instances proposed by Augerat (1995). The results indicate that the proposed heuristic is an efficient method for the resolution of CVRP.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Cunha (2000), procedimentos heurísticos são frequentemente desenvolvidos para a resolução de problemas de roteirização de veículos - VRP dada a sua relevância no contexto logístico e a complexidade matemática envolvida, tornando impossível a obtenção de soluções ótimas para muitas instâncias encontradas em situações reais na indústria. O problema de roteirização de veículos capacitado – CVRP é uma das variações do VRP mais conhecidas na literatura, cuja resolução tem sido estudada através de diferentes métodos exatos, heurísticos e meta-heurísticos.

Para a solução desse problema, Clarke e Wright (1964) propuseram um algoritmo conhecido como o método das economias, que se destacou pela sua simplicidade e facilidade de implementação. Ao longo do tempo, diferentes adaptações foram desenvolvidas (Altinel e Oncan, 2005; Gaskell, 1967; Golden *et al*., 1977; Nelson *et al.*, 1985; Paessens, 1988). Contudo, o método das economias ainda é pouco explorado em combinação com o procedimento *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure* – GRASP, meta-heurística que busca resultados próximos ao ótimo de forma aleatória (Feo e Resende, 1989). Prins *et al.* (2006) implementaram um procedimento similar com base em uma versão estendida e aleatória do algoritmo de CW a fim de resolver um problema de roteamento e localização - LRP com depósitos e veículos capacitados. Já Solano-Charris *et al*. (2014) utilizaram estes mesmos procedimentos para um problema robusto de roteirização de veículos – RVRP com custos e tempos de viagens indefinidos.

O presente artigo traz uma abordagem para o problema CVRP, combinando o método das economias com a meta-heurística GRASP, seguido por operadores de melhoria local de fácil

implementação. Cabe salientar que a escolha da linguagem de programação para implementação das soluções heurísticas é um ponto de decisão extremamente relevante no critério eficiência de implementação e tempo de execução do código.

A seção 2 deste artigo trata sobre a revisão da literatura, retomando conceitos e aplicações referentes ao tema proposto. Em seguida, a seção 3 apresenta a heurística CW-GRASP desenvolvida. E, por fim, a seção 4 expõe os resultados dos testes computacionais obtidos, seguida pela seção 5, que dispõe as considerações finais do artigo.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A roteirização de veículos é, conforme apontou Assad (1988), uma das histórias de grande sucesso da Pesquisa Operacional nas últimas décadas. De acordo com Cunha (2000), esse interesse decorre da combinação da importância cada vez maior, no contexto logístico, dos problemas de roteirização de veículos (VRP) com a complexidade matemática envolvida (problema combinatório do tipo NP-Difícil), o que torna impossível a obtenção de soluções ótimas para algumas instâncias encontradas em empresas do mercado, trazendo assim o desafio do desenvolvimento de heurísticas eficientes na resolução desse tipo de problema. Golden *et al.* (2008) apresentam descrições detalhadas de diversas variações do VRP.

A principal particularidade do CVRP é a sua restrição de capacidade de carga dos veículos, que pode ser formalmente definido dado um grafo não direcionado R = {N, A} com N = {0, 1, …, *n*, …, |N|} o conjunto de nós, e A = {(*i*, *j*): *i*, *j* ∈ N | *i* ≠ *j*} o conjunto de arcos. O depósito é o nó representado pelo subconjunto DP ∈ N, local onde é disponibilizada uma frota de veículos com capacidade *C*, que por sua vez é representada pelo conjunto V = {0, 1, ..., *v*, ..., |V|}. Os demais nós representam pedidos de clientes e podem ser agrupados no subconjunto N+ = N \ DP. Cada nó possui como atributos a quantidade de produto $Q_{i,}$ $i \in N^{+}$ e sua respectiva coordenada geográfica $X_{i,}$ $i \in R$ e $Y_{i,}$ $i \in R$.

Dessa forma, o CVRP consiste na definição de qual nó será atendido por qual veículo e em qual sequência, de maneira a satisfazer a demanda de cada nó e respeitando a restrição de capacidade do veículo. O objetivo do problema visa tanto a minimização do número de rotas formadas, como da distância total das rotas, ou uma combinação de ambos.

O CVRP também é um problema de otimização combinatório NP-difícil, pois deriva tanto do clássico TSP (*travelling salesman problem*) como do problema de empacotamento (no qual minimiza-se a quantidade de recipientes necessários para comportar um determinado conjunto de objetos). Portanto, em casos práticos são adotados procedimentos heurísticos que se apoiam em abordagens intuitivas, na qual a estrutura particular do problema possa ser considerada e explorada de forma inteligente para a obtenção de uma solução adequada (Cunha, 1997).

As estratégias heurísticas são simples, fáceis de implementar e obtém boas soluções com baixo tempo de execução; contudo, possuem limitada capacidade de exploração e de melhoria das soluções se comparadas com meta-heurísticas (Altinel e Oncan, 2005). A literatura apresenta diversas estratégias heurísticas para a resolução do VRP, sendo destacado o algoritmo proposto por Clarke e Wright (1964), conhecido como método das economias. Este método é simples e de fácil implementação e, ao longo do tempo, passou por diferentes adaptações (Altinel e Oncan, 2005; Gaskell, 1967; Golden *et al.*, 1977; Nelson *et al.*, 1985; Paessens, 1988). Segundo Laporte *et al.* (2000), esses estudos buscaram a redução de tempos computacionais e de

requisitos de memória, o que hoje tem sido cada vez menor essa preocupação, visto os avanços da tecnologia.

2.1. Algoritmo Clarke & Wright

Segundo Laporte *et al.* (2000), uma das heurísticas construtivas mais conhecidas para o CVRP é o método das economias proposto por Clarke e Wright (1964). O método clássico consiste em reduzir os custos de transporte combinando duas rotas em uma, como ilustrado na figura abaixo, onde o ponto 0 representa o depósito.

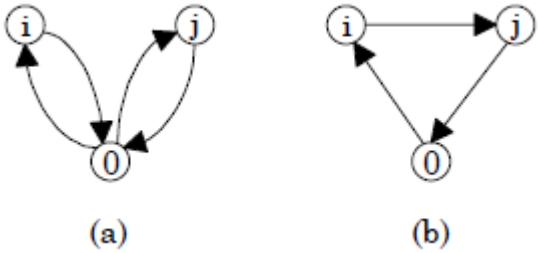


Figura 1: Ilustração do conceito de economia
Fonte: Lysgaard (1997)

Enquanto a Figura 1(a) ilustra os clientes *i* e *j* sendo visitados em rotas separadas, a Figura 1(b) apresenta, como alternativa, esses clientes sendo atendidos de forma sequencial *i*-*j*, por exemplo. Como os custos de transporte são dados, pode ser calculado o custo total de transporte em cada situação. A expressão 1 abaixo é referente à figura 1(a).

$$D_a = c_{0i} + c_{i0} + c_{0j} + c_{j0} \quad (1)$$

em que D_a: custo total de transporte
c_{0i}: custo de transporte entre o depósito 0 e o cliente *i*;
c_{i0}: custo de transporte entre o cliente *i* e o depósito 0;
c_{0j}: custo de transporte entre o depósito 0 e o cliente *j*;
c_{j0}: custo de transporte entre o cliente *j* e o depósito 0.

De forma equivalente, o custo total de transporte da Figura 1(b) é dado pela expressão (2):

$$D_b = c_{0i} + c_{ij} + c_{j0} \quad (2)$$

em que D_b: custo total de transporte

Portanto, combinando as duas rotas em uma conforme Figura 1(b), é obtido uma economia *Sij* dada pela expressão (3):

$$S_{ij} = D_a - D_b = c_{i0} + c_{0j} - c_{ij} \quad (3)$$

em que S_{ij} é a economia em custo total de transporte entre o cenário ‘a’ e ‘b’.

Se o resultado de *Sij* for relativamente alto, *Sij* é vantajoso em relação aos custos para atender os clientes *i* e *j* através de uma mesma rota, sendo que a ordem de atendimento deve ser primeiro *i*, depois *j*.

Clarke e Wright (1964) desenvolveram duas versões de algoritmo de economia: a versão sequencial, que constrói estritamente uma rota por vez; e a paralela, que constrói rotas simultaneamente. A primeira etapa destes algoritmos consiste em calcular para cada par de clientes cuja soma das demandas não excede a capacidade do veículo, obtendo uma economia resultante de sua combinação, ordenando-as de forma decrescente. Com isso, é avaliada a inserção desses clientes na rota, seguindo a ordem mencionada, a fim de obter a maior economia possível. Ao avaliar um par de clientes *i-j*, é importante garantir que nenhuma conexão definida anteriormente se desassocie e que a demanda total dos clientes não exceda a capacidade total do veículo. Assim sendo, as duas rotas que visitam *i* e *j* são combinadas, de forma que *j* é visitado imediatamente depois de *i*.

A versão sequencial do algoritmo requer que a lista dos pares de clientes ordenados por economia seja revisitada cada vez que não for possível adicionar um novo cliente à rota até que todos os clientes estejam alocados. Isto se deve ao fato de que as combinações que antes não eram viáveis, podem se tornar viáveis na próxima sequência. Já no caso da versão paralela, somente uma passagem por esta lista é necessária. Por fim, segundo Clarke e Wright (1984), a versão paralela gera melhores resultados.

2.2. Metaheurística GRASP

Dentre diversas heurísticas existentes na literatura, o procedimento GRASP (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*), proposto por Feo e Resende (1989), é uma meta-heurística que utiliza os benefícios da randomização na busca de obter um bom resultado após um determinado número de iterações. Esse procedimento pode ser aplicado tanto em uma heurística construtiva como numa de melhoria.

A Figura 2 ilustra o procedimento genérico onde, com base nos dados iniciais, é executada diversas iterações, repetidamente, iniciando com a criação de uma solução incumbente gulosa. Com base nessa solução, é executada uma busca local. Uma melhor solução é evidenciada sempre quando for identificada em alguma iteração até que o critério de parada seja satisfeito. Este critério de parada pode ser considerado como número máximo de iterações, tempo máximo de execução ou distância de um valor alvo. Outros critérios de parada mais sofisticados também podem ser utilizados.

```
procedure grasp()
1       InputInstance();
2       for GRASP stopping criterion not satisfied →
3               ConstructGreedyRandomizedSolution(Solution);
4               LocalSearch(Solution);
5               UpdateSolution(Solution,BestSolutionFound);
6       end for;
7       return(BestSolutionFound);
end grasp;
```

Figura 2: Pseudocódigo genérico do procedimento GRASP
Fonte: adaptado de Feo e Resende (1989)

3. HEURÍSTICA CW-GRASP

A heurística CW-GRASP proposta nesse artigo é uma junção do método das economias proposto por Clarke e Wright (1964) e da heurística GRASP proposta por Feo e Resende (1987). Essa adaptação ocorre principalmente na construção da solução aleatória, antes da busca local. Nesse momento, é utilizada uma heurística adaptada do método das economias de Clarke e

Wright (1964), conforme procedimento *CW_Random_Parallel* apresentado na Figura 3, especificamente nas linhas 3 e 4.

A escolha do próximo par de nós a serem analisados para uma possível combinação de rotas é realizada de forma aleatória com base na escolha dos primeiros elementos do conjunto de tuplas 'S' que são ordenadas da maior à menor economia de acordo com o procedimento Savings_Computation apresentado na Figura 4; este procedimento é executado uma única vez para qualquer número de soluções aleatórias a serem obtidas dada uma única instância. O parâmetro *nRCL* determina o tamanho da lista restrita de candidatos a serem considerados na escolha do par de economias.

O procedimento *Savings_Computation* calcula a economia para cada par de nós desde que a soma das demandas seja menor ou igual a capacidade. O procedimento *CW_Random_Parallel* inicia uma solução na qual cada nó é atendido por uma rota exclusiva a partir do depósito. Nas linhas de 5 a 7, duas rotas são combinadas para o par de nós em análise, caso ambos elementos do par sejam extremos em suas respectivas rotas e somente se a demandas combinadas de ambas rotas não ultrapassarem a capacidade. Caso contrário, este par de nós é desconsiderado, além dos casos nos quais um dos elementos já esteja dentro de alguma rota.

```
Procedure CW_Random_Parallel (nRCL, S, Solution);
1       set S' = {}, RCL = 0
2       while S not empty
3               n = discrete_uniform(1,min{nRCL,|S|})
4               choice   (S$,(i,j)) of the first n elements of S
5               if exist two routes where starting with (0,j)
                and ending with (i,0) or instead without overcapacity
6                       Combine_routes((i,j),Solution)
7               end if
8               remove (S$,(i,j)) from S
9               if not exist a route where connecting with (i,k) or (k,j)
10                      insert (S$,(i,j)) from S
11              end if
12              if S is empty and S' is not empty
13                      S = S'
14      end while
15      return(Solution)
end CW_Random_Parallel;
```

Figura 3: Pseudocódigo do algoritmo CW aleatório estendido
Fonte: adaptado de Clark e Wright (1964)

```
Procedure Savings_Computation (S);
1       set S = {}
2       for each pair of nodes (i,j), except i = j
3           if demand combined of i and j doesn't exceed capacity
4               S$ = Ci0 + C0j - Cij
5               insert (S$, (i,j)) in S
6       end for
7       order_savings_descending_order(S)
8       return(S)
end Savings_Computation;
```

Figura 4: Pseudocódigo do cálculo das economias do algoritmo CW
Fonte: adaptado de Clark e Wright (1964)

A heurística *CW-GRASP* proposta é apresentada no pseudocódigo da Figura 5. Nessa heurística, é definida uma solução básica inicial (*ISolution*) e o conjunto de tuplas (S) que contém os pares de nós, ordenados da maior para menor economia em distância, conforme ilustrado na 4. Em seguida, é iniciado o bloco de instruções (linhas de 6 a 12) baseado na heurística GRASP, tendo um critério de parada definido. Seguindo os passos da heurística, uma nova solução aleatória e incumbente (*Solution*) é gerada com base na solução básica inicial (*ISolution*), para um dado tamanho de lista (*nRCL*) e conjunto de tuplas (S), conforme procedimento *CW_Random_Parallel*. Assim, se satisfeito o critério de qualidade da solução, é realizada uma busca local até que que nenhuma melhoria ainda seja possível. Ao final, após o critério de parada ser satisfeito, é retornada a melhor solução.

```
Procedure CW-GRASP (nRCL, Solution);
1       set S, ISolution = {};
2       for each node as i
3               insert (0,i,0) in ISolution
4       end for
5       Savings_Computation(S)
6       while CW-GRASP stopping criterion not satisfied
7               Solution = ISolution
8               CW_Random_Parallel (nRCL, S, Solution);
9               if quality criterion is satisfied
10                      LocalSearch(Solution);
11                      UpdateSolution(Solution, BestSolutionFound);
12      end while;
13      return(BestSolutionFound)
end CW-GRASP;
```

Figura 5: Pseudocódigo da heurística CW-GRASP proposta
Fonte: própria autoria

Para aplicação da heurística proposta para o problema CVRP é importante definir os critérios de qualidade de uma solução. Dois objetivos são identificados para a melhoria de uma solução:

a) Redução da distância referente ao custo de deslocamento do veículo;
b) Redução do número de veículos referente ao custo fixo do veículo.

O algoritmo de economias (Clarke e Wright, 1964) gera soluções iniciais buscando uma redução da distância total percorrida com a utilização mínima de número de veículos, com base nas melhorias calculadas. Com a adaptação proposta neste artigo, que insere uma pequena aleatoriedade na geração dessas soluções, uma vizinhança de soluções iniciais próximas podem ser visitadas esperando aumentar a qualidade da solução inicial obtida e, consequentemente, uma melhor solução após a busca local realizada.

Com a expectativa de que o método de economias somado à adaptação proposta proporcione soluções com número de veículos próximo ao ótimo global, a busca local proposta considera somente um tipo de movimento com o único objetivo de reduzir as distâncias percorridas referente ao custo de deslocamento. O movimento proposto na busca local é conhecido como *swap* (troca) de dois nós em rotas distintas. No exemplo, conforme ilustrado na Figura 6, os nós 4 e 5 são selecionados para a troca e fazem parte das rotas #1 e #2, respectivamente. As transformações são (2,4) → (2,5), (4,0) → (5,0), (0,5) → (0,4) e (5,6) → (4,6). Assim, a rota #1 passa a atender o nó 5 e a rota #2 passa a atender o nó 4.

Este procedimento executa todos os testes possíveis entre pares de nós que estejam em rotas distintas e que respeitem a capacidade dos veículos, buscando o movimento que traz maior redução da distância percorrida na solução incumbente. Essa varredura é repetida até não haver mais nenhuma possibilidade de melhoria.

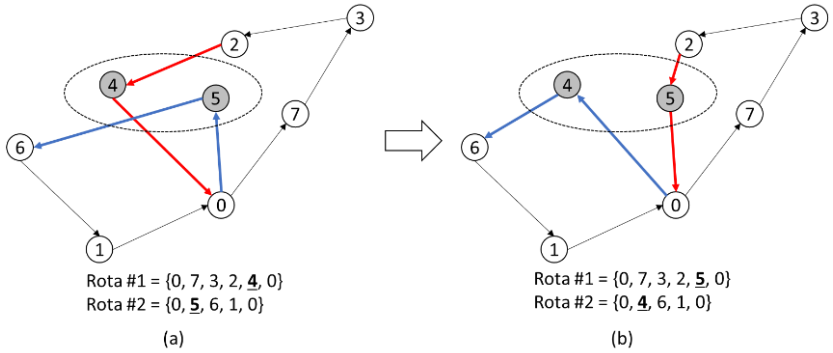


Figura 6: Exemplo de movimento de troca em rotas diferentes
Fonte: própria autoria

4. TESTES COMPUTACIONAIS

Foram selecionadas 24 instâncias da pesquisa de Augerat (1995) disponíveis no *Set P* da biblioteca CVRPLIB (http://vrp.atd-lab.inf.puc-rio.br). As instâncias possuem de 16 a 101 nós e estão nomeadas conforme padrão P_nN_kK, onde N representa o número de nós e K representa o número de rotas para a melhor solução conhecida (BKS) por Augerat (1995). Para execução da heurística CW-GRASP proposta foram consideradas 10 replicações com diferentes sementes para geração de número pseudoaleatórios. A lista restrita de candidatos foi fixada em 5 maiores economias disponíveis.

Como critério de parada, foram consideradas um máximo de 1.000 iterações. Todas as distâncias calculadas foram arredondadas para o inteiro mais próximo; por exemplo: 4,5 → 5,0. O critério de qualidade da solução é, em primeiro plano, a quantidade de rotas obtida na solução incumbente. Se a quantidade de rotas for maior que a melhor solução obtida, a solução é considerada de baixa qualidade e então descartada. Caso contrário, somente soluções incumbentes até 10% maiores do que a melhor solução, em termos de distância, são consideradas como de boa qualidade. Logo, para as soluções de boa qualidade são realizados os procedimentos de busca local.

A heurística CW-GRASP proposta foi implementada em linguagem C++. Para fins de testes foi utilizado um computador com processador Intel® Core™ i7-4500U CPU @ 1,80GHz e 8Gbytes de memória RAM.

A Tabela 1 apresenta os resultados de distância total para cada umas das instâncias consideradas, com comparações entre o resultado da melhor solução obtida (BKS) pelo Augerat (1995), do algoritmo das econômicas (CW) de Clarke e Wright (1964) e da heurística proposta CW-GRASP.

O CW-GRASP consegue resultados melhores em todas as instâncias e replicações em comparação com o CW, exceto a instância P-n22-k8.vrp que obteve resultado equivalente. O CW-GRASP consegue um resultado médio 4,1% menor em relação ao CW.

Comparando o resultado do CW-GRASP com o BKS de Augerat (1995), foi observado que, no pior caso, o resultado ficou, em média, 6,7% maior. De maneira geral, o resultado médio foi 2,1% maior. Nas instancias P-n16-k8, P-n22-k8, P-n55-k8 e P-n55-k15, foram encontradas soluções com distância total menor do que BKS.

Instância	BKS Augerat	CW	CW-GRASP				
			Min	Média	Máx	% Dif BKS	% Dif CW
P-n16-k8	450	472	450	450	450	-	-4,7%
P-n19-k2	212	237	219	223	226	5,4%	-5,7%
P-n20-k2	216	234	216	217	222	0,6%	-7,1%
P-n21-k2.vrp	211	236	213	215	217	2,0%	-8,8%
P-n22-k2.vrp	216	240	217	221	225	2,3%	-8,0%
P-n22-k8.vrp	603	590	590	590	590	-2,2%	-
P-n23-k8.vrp	529	537	534	534	534	0,9%	-0,6%
P-n40-k5.vrp	458	501	470	475	482	3,7%	-5,2%
P-n45-k5.vrp	510	567	513	519	523	1,7%	-8,5%
P-n50-k10.vrp	696	724	706	706	708	1,5%	-2,4%
P-n50-k7.vrp	554	584	562	564	571	1,9%	-3,4%
P-n50-k8.vrp	631	641	632	634	640	0,5%	-1,1%
P-n51-k10.vrp	741	767	745	749	755	1,1%	-2,4%
P-n55-k10.vrp	694	727	701	708	713	2,0%	-2,6%
P-n55-k15.vrp	989	982	954	956	960	-3,3%	-2,6%
P-n55-k7.vrp	568	626	581	586	594	3,2%	-6,4%
P-n55-k8.vrp	588	621	585	591	597	0,6%	-4,8%
P-n60-k10.vrp	744	802	768	777	780	4,4%	-3,1%
P-n60-k15.vrp	968	1.015	987	992	997	2,5%	-2,2%
P-n65-k10.vrp	792	842	809	820	824	3,5%	-2,6%
P-n70-k10.vrp	827	883	842	849	853	2,6%	-3,9%
P-n76-k4.vrp	593	657	626	633	636	6,7%	-3,7%
P-n76-k5.vrp	627	684	658	660	661	5,3%	-3,5%
P-n101-k4.vrp	681	755	706	712	717	4,6%	-5,7%

Tabela 1: Distância total da solução

A Tabela 2 apresenta o número de rotas geradas para cada uma das instâncias. É observado que houve equivalência ou redução do número de rotas para a heurística CW-GRASP em comparação com o CW. Somente quatro instâncias tiveram quantidade de rotas superior ao BKS, em todas as replicações relacionadas; em comparação também com a distância total, as instâncias P-n22-k8 e P-n55-k15 tiveram aumento da quantidade de rotas com redução da distância total. É observado uma parcela de 60% de replicações referentes à instância P-n60-k15 gerou quantidade de rotas equivalente ao BKS. Considerando especificamente a instância P-n55-k8.vrp, a heurística proposta encontrou uma solução melhor em relação ao BKS, tanto em termos de quantidade de rotas quanto em termos de distância total.

Os resultados indicam que a heurística proposta é um método eficiente para a resolução do CVRP, tanto em termos de quantidade de rotas quanto em termos de distância total. Em termos

de tempo computacional, é observado valores inferiores a 30 segundos, conforme Tabela 3, o que torna a heurística proposta interessante para aplicações práticas. A variabilidade entre as replicações está na ordem de 11%, reportada pelo desvio padrão.

Instância	BKS Augerat	CW	CW-GRASP				
			Min	Média	Máx	Dif BKS	Dif CW
P-n16-k8.vrp	8	9	8	8,0	8	-	-1,0
P-n19-k2.vrp	2	2	2	2,0	2	-	-
P-n20-k2.vrp	2	2	2	2,0	2	-	-
P-n21-k2.vrp	2	2	2	2,0	2	-	-
P-n22-k2.vrp	2	2	2	2,0	2	-	-
P-n22-k8.vrp	8	9	9	9,0	9	1,0	-
P-n23-k8.vrp	8	9	9	9,0	9	1,0	-
P-n40-k5.vrp	5	5	5	5,0	5	-	-
P-n45-k5.vrp	5	5	5	5,0	5	-	-
P-n50-k10.vrp	10	11	10	10,0	10	-	-1,0
P-n50-k7.vrp	7	7	7	7,0	7	-	-
P-n50-k8.vrp	8	9	9	9,0	9	1,0	-
P-n51-k10.vrp	10	11	10	10,1	11	0,1	-0,9
P-n55-k10.vrp	10	10	10	10,0	10	-	-
P-n55-k15.vrp	15	17	16	16,0	16	1,0	-1,0
P-n55-k7.vrp	7	7	7	7,0	7	-	-
P-n55-k8.vrp	8	7	7	7,0	7	-1,0	-
P-n60-k10.vrp	10	11	10	10,0	10	-	-1,0
P-n60-k15.vrp	15	16	15	15,6	16	0,6	-0,4
P-n65-k10.vrp	10	10	10	10,0	10	-	-
P-n70-k10.vrp	10	11	10	10,0	10	-	-1,0
P-n76-k4.vrp	4	4	4	4,0	4	-	-
P-n76-k5.vrp	5	5	5	5,0	5	-	-
P-n101-k4.vrp	4	4	4	4,0	4	-	-

Tabela 2: Número de rotas obtidas

Instância	Tempo de execução (s)		Instâncias	Tempo de execução (s)	
	Média	Desvio Padrão		Média	Desvio Padrão
P-n16-k8.vrp	0,04	0,01	**P-n51-k10.vrp**	1,18	0,46
P-n19-k2.vrp	0,12	0,03	**P-n55-k10.vrp**	2,22	0,04
P-n20-k2.vrp	0,13	0,02	**P-n55-k15.vrp**	1,03	0,02
P-n21-k2.vrp	0,16	0,02	**P-n55-k7.vrp**	3,33	0,30
P-n22-k2.vrp	0,18	0,02	**P-n55-k8.vrp**	2,83	0,21
P-n22-k8.vrp	0,22	0,01	**P-n60-k10.vrp**	1,94	0,04
P-n23-k8.vrp	0,27	0,03	**P-n60-k15.vrp**	1,85	0,69
P-n40-k5.vrp	1,34	0,10	**P-n65-k10.vrp**	3,56	0,08
P-n45-k5.vrp	1,58	0,27	**P-n70-k10.vrp**	1,60	0,09
P-n50-k10.vrp	0,83	0,25	**P-n76-k4.vrp**	8,12	0,20
P-n50-k7.vrp	2,33	0,07	**P-n76-k5.vrp**	5,94	0,08
P-n50-k8.vrp	2,06	0,03	**P-n101-k4.vrp**	22,64	1,34

Tabela 3: Tempo computacional para heurística CW-GRASP

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi proposta a heurística CW-GRASP que permite varredura da vizinhança na busca de soluções em sinergia com o um algoritmo das economias proposto por Clarke e Wright (1964) e da heurística GRASP proposta por Feo e Resende (1989). A implementação considerou aleatoriedade no algoritmo CW em conjunto com as iterações GRASP e movimento de melhoria por trocas de nós entre rotas. Os resultados obtidos demonstraram a eficiência da estratégia na obtenção de boas soluções.

Como futuros estudos, é pretendido estender a heurística proposta com novo cálculo modificado de economias, implementação de novos operadores de busca local e a integração com outras meta-heurísticas de busca, como *Simulated Anealling* e Busca Tabu.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Altinel, I. K. e Oncan, T. (2005) A new enhancement of the Clarke and Wright savings heuristic for the capacitated vehicle routing problem. *Journal of the Operational Research Society*, 56, 954-961.

Assad, A.A. (1988) Modeling and implementation issues in vehicle routing. *Vehicle Routing: Methods and Studies*, Amsterdam, p. 7-46.

Augerat. P. (1995) Approche polyèdrale du probl_eme de tournèes de véhicules. Modélisation et simulation. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, Français.

Bodin, L.D., B. Golden, A. Assad e M. Ball (1983) Routing and scheduling of vehicles and crews: The state of the art. *Computers and Operations Research*, vol.10, n.2.

Clarke, G. e J. W. Wright (1964) Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research*, Vol. 12, pp. 568-581.

Cunha, C.B. (1997) Uma contribuição para o problema de roteirização de veículos com restrições operacionais. São Paulo: EPUSP, Departamento de Engenharia de Transportes. 222p. (Tese de Doutoramento).

Cunha, C. B. (2000) Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais. *Transportes*, vol. 8, nº 2, p. 51-74.

Feo, T. A. e M. G. C. Resende (1989) Greedy randomized adaptive search procedures. *Journal of Global Optimization*, 6, p. 109-133.

Gaskell, T.J. (1967) Bases for vehicle fleet scheduling. *Operational Research Quarterly*, Vol. 18, p. 281-295.

Golden, B. L., T. L. Magnanti e H. Q. Nguyen (1977) Implementing vehicle routing algorithms. *Networks*, 7, p. 113-148.

Golden, B. L., S. Raghavan e E. A. Wasil (2008) The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and Recent Challenges. *Operations Research Computer Science Interfaces*, Springer, New York.

Laporte, G., M. Gendreau; J.Y. Potvin e F. Semet (2000) Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem. *International Transactions in Operational Research*, v.7, n4/5, p.285-300.

Lysgaard, J. (1997) Clarke & Wright's savings algorithm. The Aarthus School of Business, Department of Management Science and Logistics.

Nelson M. D., K. E. Nygard, J. H. Griffin e W. E. Shreve (1985) Implementation techniques for vehicle routing problem. *Computers and Operations Research*, 12, 273-283.

Paessens H. (1988) The savings algorithm for the vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 34, 366-344.

Prins, C., C. Prodhon e R. W. Calvo (2006) Solving the capacitated location-routing problem by a GRASP complemented by a learning process and a path relinking. *4OR*, Vol. 4, p. 221–238.

Solano-Charris, E. L., C. Prins e A. C. Santos (2014) Heuristic Approaches for the Robust Vehicle Routing Problem. Em: Fouilhoux P., L. Gouveia, A. Mahjoub e V. Paschos (eds) Combinatorial Optimization. ISCO 2014. Lecture Notes in Computer Science, vol 8596. Springer, Cham.

A PESQUISA OPERACIONAL COMO FERRAMENTA DE APOIO À ELABORAÇÃO DE ROTEIROS TURÍSTICOS

Admilson Alcântara da Silva
Reinaldo Morabito
Vitória Pureza
Universidade Federal de São Carlos
Departamento de Engenharia de Produção

RESUMO
Este trabalho aborda o problema de elaboração de roteiros turísticos, levando-se em conta parâmetros como custos, distâncias e valoração dos turistas das atrações oferecidas, assim como suas preferências em relação à ordem de visita dessas atrações. O problema é descrito por um modelo de otimização que visa obter roteiros que maximizem a satisfação dos turistas e minimizem os custos envolvidos, e cuja resolução pode ser feita tanto por meio de técnicas de programação matemática como pela aplicação de um algoritmo de busca tabu. São reportados resultados com instâncias geradas aleatoriamente e com base em dados reais, não se tendo conhecimento de trabalhos na literatura explorando este problema nesta mesma linha de pesquisa.

ABSTRACT
This work addresses the problem of elaborating touristic itineraries, taking into account costs, distances and the valuation of the attractions by the visitors, as well as their preferences regarding the order of visit of these attractions. The problem is described by an optimization model, which aims to generate itineraries that maximize the customers' satisfaction and minimize the travel costs, either by means of mathematical programming, or by applying a tabu search algorithm. We present results with these two solution approaches for sets of instances based on randomly generated and real data. As far as we know, there is no similar work reported in the literature.

1. INTRODUÇÃO

A Organização Mundial do Turismo (OMT, 2014) estima que as atividades turísticas sejam diretamente responsáveis por 6% a 8% dos empregos gerados no mundo. No Brasil, essas atividades movimentaram cerca de 11,9 bilhões de reais em 2014, representando um mercado de seis milhões de turistas viajando pelo país (MTUR, 2015). Esses dados motivam e justificam iniciativas que levem a melhorias do setor, e em particular, na elaboração de roteiros turísticos.

Um roteiro turístico pode ser definido como o itinerário planejado de uma atividade turística, que engloba a descrição pormenorizada dos atrativos e atividades dos destinos visitados, bem como o período de duração e a especificação dos horários e serviços inclusos. O roteiro constitui a viagem e a estada com uma sequência de atividades realizadas em um destino ou em várias localidades. No caso de agências turísticas, o primeiro passo de sua montagem consiste no levantamento das preferências dos visitantes. Segundo Silva (2017), cada público alvo tem diferentes níveis de interesse nas atrações disponíveis, e muitas vezes, expressam preferências também em relação à ordem em que essas visitas devem ocorrer durante o passeio. Por exemplo, certos públicos priorizam vistas à museus, enquanto outros desejam apenas que tais visitas ocorram no início do itinerário. Além disso, uma parcela não desprezível dos turistas aceitaria pagar em certa medida por mudanças no roteiro e/ou na ordem das visitas. Faz-se então importante, valorar as preferências de atrações e de sua ordem e confrontá-las aos custos envolvidos, de maneira a permitir a elaboração de roteiros que simultaneamente maximizem a satisfação dos clientes e minimizem os custos.

Alinhado a este interesse, Silva, Morabito e Pureza (2016) propõem um modelo de programação matemática baseado em formulações de duas variantes do Problema do Caixeiro Viajante para

apoio à elaboração de roteiros turísticos. O presente artigo dá continuidade ao estudo, com a proposição de um algoritmo de busca tabu (GLOVER e LAGUNA, 2007). Métodos heurísticos se fazem necessários para o tratamento de instâncias de maior porte, pois assim como a maioria dos problemas de roteamento de interesse, o Problema do Caixeiro Viajante e ambas as variantes pertencem à classe NP-hard, sendo, portanto, considerados de difícil resolução. Ressalta-se que tanto quanto sabido, não são reportados estudos em roteiros turísticos que utilizem abordagens de otimização na mesma linha de pesquisa explorada neste trabalho.

A estruturação do restante deste artigo é descrita como se segue. Na Seção 2 faz-se um breve resumo sobre o Problema do Caixeiro Viajante e suas variantes que resultaram no modelo que descreve o problema de elaboração de roteiros turísticos. A modelagem matemática é revista na Seção 3. Na Seção 4 é descrita a abordagem heurística proposta. A Seção 5 apresenta os resultados e análises dos resultados computacionais com instâncias geradas aleatoriamente e com base em dados reais. Finalmente, a Seção 6 apresenta as conclusões e algumas perspectivas de pesquisa futura.

2. A ELABORAÇÃO DE ROTEIROS TURÍSTICOS SOB A ÓTICA DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE

O Problema do Caixeiro Viajante (TSP – *Traveling Salesman Problem*) consiste em definir uma rota de distância mínima que visite exatamente uma vez *n* pontos distribuídos no espaço bidimensional, retornando-se então ao ponto de partida. O TSP é um dos problemas mais estudados em otimização de redes e tem uma ampla variedade de aplicações práticas (CHRISTOFIDES, 1979) (APPLEGATE et. al., 2006) e que muitas vezes transcendem o escopo logístico. Desde o trabalho seminal de Dantzig e colaboradores (DANTZIG, FULKERSON e JOHNSON, 1954; DANTZIG e RAMSER; 1959), uma variedade de modelos e métodos de solução vêm sendo propostos para representar e resolver de forma eficaz instâncias de diferentes portes. Muitas variantes do TSP são reportadas na literatura e modelos de programação matemática são frequentemente a base da maioria destas variantes.

Duas variantes do Problema do Caixeiro Viajante são particularmente relevantes para a presente pesquisa, especificamente, um tipo de Problema do Caixeiro Viajante com Lucros (TSPP – *Traveling Salesman Problem with Profits*) conforme discutido em Feillet, Dejax e Gendreau (2005), e o Problema do Caixeiro Viajante com Prêmios de Prioridade (TSPPP – *Traveling Salesman Problem with Priority Prizes*), proposto em Pureza, Morabito e Luna (2017). O TSPPP pode ser visto como uma extensão do TSP clássico, em que todos os pontos precisam ser visitados, mas a ordem das visitas é considerada na função objetivo do problema. Especificamente, um valor de prêmio p_{ki} é recebido se o ponto i é visitado na ordem k da rota, enquanto um custo de viagem c_{ij} incorre devido ao percorrimento do trecho entre i e j. Ressalta-se que pode-se incluir um prêmio p_i que o caixeiro viajante recebe ao visitar o ponto *i*, independentemente de ordem *k*, além do prêmio de prioridade p_{ki} que ele recolhe visitar o ponto *i* na *k*-ésima posição da rota. A variante TSPP aqui considerada, associa, por sua vez, um prêmio p_i a cada ponto *i*, e consiste em obter uma rota que visite o subconjunto de pontos que maximiza o prêmio total ao mesmo tempo que os custos de viagem são minimizados. Em outras palavras, não é necessário visitar todos os pontos.

O problema de elaboração de roteiros turísticos pode ser formulado pela combinação de aspectos das duas variantes supracitadas. Dado um conjunto de atrações turísticas disponíveis, valores de prêmio p_i coletados quando a atração i é visitada, valores de prêmio p_{ki} coletados

quando a atração i é visitada na ordem k do roteiro, e custos de viagem c_{ij} entre os pontos i e j, ele consiste na obtenção de uma rota que visite um subconjunto de atrações que maximiza o lucro total, resultado da diferença dos prêmios coletados e dos custos de viagem. Este problema é aqui denominado Problema do Caixeiro Viajante com Lucros e Prêmios de Prioridade (TSPPPP – *Traveling Salesman Problem with Profits and Priority Prizes*) Note que o TSPPPP adota uma função objetivo mais geral que o TSP, com critérios opostos, à procura de soluções que, de alguma forma considerem a qualidade de serviço aos clientes e as prioridades de entrega, maximizando os prêmios recebidos e minimizando os custos de entrega do serviço.

3. DEFINIÇÃO E FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

O TSPPPP pode ser representado por um grafo completo com n nós, tal que o primeiro nó ($i = 1$) representa o ponto de partida do cliente (por exemplo, o hotel onde ele está hospedado), os demais $n - 1$ nós representam as atrações disponíveis e cada arco (i,j) representa o caminho entre os nós i e j. O problema pode ser formulado como um modelo de programação inteira mista (com $x_{ii} = 0$), como se segue:

Parâmetros

p_{ki}: valoração (prêmio) do turista ao visitar o nó i $(i = 1, \dots, n)$ na ordem k $(k = 1, \dots, n)$.
p_i: prêmio ao visitar o nó i, independente de sua ordem de visita.
c_{ij}: custo de viagem do nó i ao nó j $(j \neq i)$.

Variáveis de decisão

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & se\ o\ arco\ (i,j)\ é\ percorrido \\ 0, & caso\ contrário \end{cases}$$

$$y_{ki} = \begin{cases} 1 & se\ o\ nó\ i\ é\ visitado\ na\ ordem\ k \\ 0 & caso\ contrário \end{cases}$$

z_i: variável auxiliar para evitar subciclos

$$\text{Max } f = \sum_k \sum_i (p_{ki} + p_i) y_{ki} - \sum_i \sum_{i \neq j} \sum_j c_{ij}\, x_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_{\substack{i \\ i \neq j}} x_{ij} = \sum_k y_{kj}\,, \forall_j \quad (2)$$

$$\sum_{\substack{i \\ i \neq 1}} x_{i1} = 1 \quad (3)$$

$$\sum_{\substack{j \\ j \neq i}} x_{ij} = \sum_k y_{ki}\,, \forall_i \quad (4)$$

$$\sum_{\substack{j \\ j \neq 1}} x_{1j} = 1 \quad (5)$$

$$z_i - z_j + n x_{ij} \leq n - 1, \forall_i, \forall_j, i \neq j, i \neq 1 \quad (6)$$

$$x_{1j} = y_{1j,}\, \forall_j \quad (7)$$

$$x_{ij} \geq y_{(k-1),i} + y_{kj} - 1, \forall_i, \forall_j, \forall_k, k \neq 1 \quad (8)$$

$$\sum_i y_{ki} \geq \sum_j y_{k+1,j}, \forall_k, k \neq n \quad (9)$$

$$\sum_k y_{ki} \leq 1, \forall_i \quad (10)$$

$$\sum_i y_{ki} \leq 1, \forall_k \quad (11)$$

$$x_{ij},\ y_{ki} \epsilon \{0,1\} \quad (12)$$

$$z_i \ \ irrestrito$$

A função objetivo (1) maximiza os prêmios recebidos nas visitas aos nós, tanto pela visita em si como pela ordem da visita, decrementados pelos os custos de transporte incorridos nas visitas. As igualdades (2) e (4) consistem de restrições de atribuição e acoplamento das variáveis *x* e *y*. As igualdades (4) asseguram que um único arco emerge de um nó se este for visitado, enquanto as igualdades (2) asseguram que único arco incide em um nó se este for visitado. As igualdades (3) e (5) garantem que o roteiro comece e termine no ponto de partida (nó 1). As restrições (6) evitam subciclos. As restrições (7) e (8) também acoplam as variáveis *x* e *y*. As restrições (9) a (11), embora não necessárias para garantir a factibilidade das soluções, evitam simetrias (soluções factíveis equivalentes) e desta maneira, melhoram o desempenho de métodos de programação matemática. Finalmente, as restrições (12) definem o domínio das variáveis de decisão.

Convém ressaltar que diferentemente do TSPPP, o TSPPPP não requer que todos os nós sejam visitados no roteiro, mas apenas aqueles que maximizam o valor da função objetivo. E diferentemente do TSPP, o TSPPP considera prêmios de prioridade no roteiro do turista, além dos prêmios de visita.

4. A ABORDAGEM HEURÍSTICA

Dadas as dificuldades intrínsecas na resolução de instâncias maiores do TSPPPP com métodos exatos, propõe-se um algoritmo heurístico capaz de fornecer soluções de alta qualidade em tempos computacionais relativamente curtos para todas as instâncias abordadas. O algoritmo baseia-se na abordagem de busca tabu adaptativa proposta em França, Sosa e Pureza (1999) para o Problema de Agrupamento Capacitado e posteriormente aplicada em Pureza, Morabito e Reimann (2012) para o Problema de Roteamento de Veículos com Janelas de Tempo e Múltiplos Entregadores, e em Pureza, Morabito e Luna (2017) para o Problema do Caixeiro Viajante com Prêmios de Prioridade. A abordagem consiste em um mecanismo integrado de intensificação/diversificação que altera a regra de ativação tabu (GLOVER & LAGUNA, 1997) de acordo com os padrões de trajetória de busca (a curva do valor da solução versus iteração) durante a busca local. Basicamente, assume-se que os padrões de trajetória de busca refletem o nível de restritividade imposto pelos valores dos parâmetros tabu, ou seja, pelo período tabu e pela regra de ativação tabu, de maneira que o foco do algoritmo é o de alterar os níveis de restritividade de forma a intensificar a exploração quando as trajetórias identificam regiões possivelmente promissoras, e promover a diversificação da busca para outras partes do espaço de solução se as chances da melhoria parecem mínimas.

4.1 Padrões de trajetória

Para identificar um padrão de trajetória, o processo de busca é dinamicamente dividido em

estágios e para cada dois estágios consecutivos g - *1* e g, o valor médio da solução no estágio g (μ_g) é comparado com o valor médio da solução no estágio g -1 ($\mu_{g\text{-}1}$). Se esses valores médios forem aproximadamente iguais e o coeficiente de variação das médias dos dois estágios estiver próximo de zero, entende-se que a busca descreve uma trajetória estagnada. Por outro lado, se μ_g é maior que $\mu_{g\text{-}1}$, uma trajetória de ascensão está ocorrendo. Similarmente, uma trajetória descendente é identificada se μ_g é menor do que $\mu_{g\text{-}1}$.

Uma vez que o padrão de trajetória é identificado, alterações nos níveis de restritividade são prescritas para iterações τh, em que h é um número inteiro gerado aleatoriamente em uma faixa pré-especificada [h_{min}, h_{max}] e τ é um fator de ajuste associado ao padrão de trajetória observado. Antes da avaliação da trajetória, verifica-se se houve melhora na última etapa. Neste caso, os níveis de restritividade e o valor do fator de ajuste também são definidos de forma apropriada. Ou seja, a abordagem reage a fases de melhoria, estagnação, trajetórias ascendentes e trajetórias descendentes, o implica em quatro valores de fator de ajuste τ possíveis para definir a duração da aplicação das alterações nos níveis de restritividade. O período de aplicação corresponde a um novo estágio g +1 e uma vez que este termina, uma nova avaliação de padrão de trajetória é realizada usando os valores médios dos estágios g e g + 1, e assim por diante.

A Figura 1a ilustra a identificação de uma trajetória descendente no estágio de busca g ($\mu_{g-1} > \mu_g$) e a consequente prescrição de redução dos níveis de restritividade. A Figura 1b mostra o impacto da redução desses níveis no estágio g+1. Quando uma nova avaliação do padrão de trajetória é realizada após $\tau \times h_{g+1}$ iterações, μ_{g+1} é comparada a μ_g,indicando uma trajetória ascendente. Note que no caso do TSPPPP, trajetórias ascendentes e fases de melhoria indicam regiões promissoras para as quais se prescreve nenhuma mudança ou a redução dos níveis de restritividade, enquanto que para trajetórias descendentes, a restritividade imposta pelos parâmetros tabu é levemente relaxada para interromper a diversificação. Por fim, quando ocorre estagnação na busca, são impostos altos níveis de restritividade, visando a diversificação.

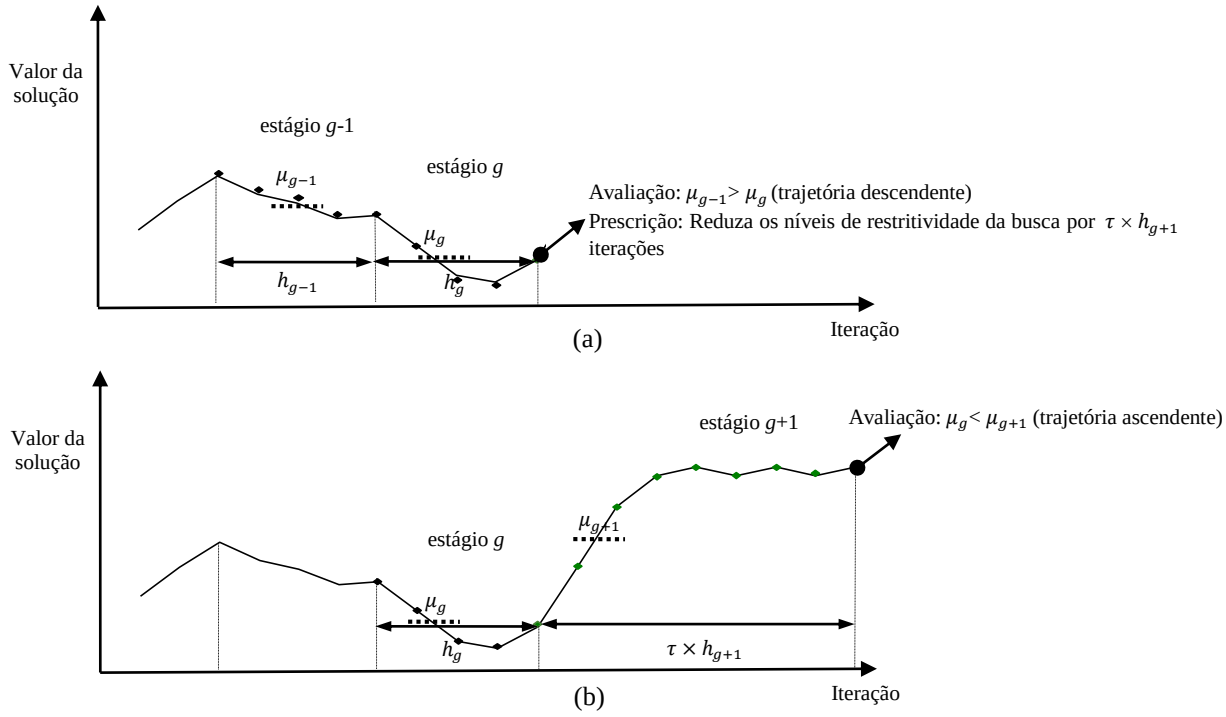


Figura 1: Mecanismo de intensificação/diversificação.

4.1 Descrição do algoritmo

Uma descrição do algoritmo de busca tabu para o TSPPPP (doravante referenciado como algoritmo TS) é apresentada a seguir:

1. Seja n o número total de nós a serem considerados no roteamento.
2. (Construção da rota) A partir de uma rota parcial S, compreendendo um nó escolhido aleatoriamente i ($i \neq 1$) e o nó 1 fixado na n-ésima posição da rota, expanda S selecionando o nó não roteado j e sua posição de inserção que resulta no maior lucro. Repita a etapa até que todos os nós sejam roteados.
3. Inicialize a iteração atual, defina os parâmetros tabu padrão e aplique a busca local para dois estágios consecutivos g - 1 e g.
4. Repita até que o tempo máximo de execução $T_{\max}$ seja atingido:
   4.1 Se nenhuma melhoria da solução tiver sido obtida no estágio g, identifique o padrão de trajetória atual descrito pelos estágios g-1 e g.
   4.2 Defina os parâmetros tabu de acordo com o padrão de trajetória ou fase de melhoria. Aplique a busca local para o número prescrito de iterações, obtendo um novo estágio de busca g + 1. Faça g - 1 = g e g = g + 1.
5. Retorne a melhor solução encontrada.

As rotas iniciais produzidas pela heurística de construção (passo 2) são melhoradas aplicando quatro tipos de movimentos. Dois deles, troca de arcos 2-OPTe troca de posição de dois nós, são utilizados em Pureza, Morabito e Luna (2017) para o TSPPPP. O terceiro e quarto movimentos, por sua vez, consistem respectivamente na remoção de um nó da rota para o conjunto de nós não roteados US, e na reinserção de um nó do conjunto US para a posição da rota que resulta no maior lucro total. Note que esses dois últimos movimentos são necessários para o TSPPPP, uma vez que este admite rotas com um número de nós menor que n.

No caso dos movimentos 2-OPTe troca, os arcos excluídos (adicionados) são rotulados como tabu-ativos pelo período tabu determinado aleatoriamente na faixa sempre que um novo movimento prescreve sua adição (remoção), e conforme mencionado na seção anterior, os níveis de restritividade são manipulados pela regra de ativação tabu. Esta última prescreve o número tolerável de arcos tabu-ativos para cada um dos dois tipos de movimento em um determinado estágio de busca. Observe que quanto menor for o valor de tolerância, mais restrito é o processo de busca. Valores de tolerância para 2- OPT e troca são dados pelos parâmetros TL e TE, respectivamente. No caso do movimento de remoção (reinserção) de um nó, sua reinserção (remoção) é rotulada como tabu-ativa, e o número de nós tabu-ativos tolerados por um destes dois tipos de movimento são dados pelos parâmetros TR (remoção) e TA (reinserção). A duração (número de iterações) do status tabu-ativo de um dado arco ou nó é selecionada aleatoriamente no intervalo $[t_{min}, t_{max}] = [10, 20]$.

No passo 3, os valores iniciais de tolerâncias (TL, TE, TR, TA) = (1, 1, 1, 1) são aplicados nos dois primeiros estágios de pesquisa. O primeiro estágio compreende todas as soluções entre a solução de partida e o primeiro ótimo local, enquanto o segundo estágio começa com a solução que se segue ao primeiro ótimo local e termina com a solução obtida h iterações à frente, sendo h aleatoriamente gerado no intervalo $[h_{min}, h_{max}] = [50, 100]$, também utilizado para gerar os comprimentos dos demais estágios.

No passo 4.2, se alguma melhoria da solução é obtida no último estágio, valores de tolerância (TL, TE, TR, TA) e fator de ajuste τ passam a ser iguais a (1, 2, 1, 1) e 0,1, respectivamente. Esses valores de tolerância visam intensificar a exploração em regiões possivelmente

promissoras. Embora não pareçam altos, valores maiores quase invariavelmente levam à ciclagem. Usa-se um valor baixo para τ (resultando em um número relativamente pequeno de iterações) porque, em alguns casos, há geralmente apenas alguns movimentos de melhoria subsequentes.

Tolerâncias baixas (TL, TE, TR, TA) = (0, 1, 0, 0) e $\tau = 0{,}5$ são impostos quando ocorre a estagnação da busca, especificamente, quando o valor absoluto do percentual do desvio da solução entre a média da fase atual e solução da média da fase anterior é inferior ou igual a 5%, e o coeficiente de variação das médias dos dois estágios é inferior ou igual a 0,2. Ou seja, a estagnação é identificada quando $\left|\frac{\mu_{g-1}-\mu_g}{\mu_{g-1}}\right| \leq 0{,}05$ com $\sigma/\mu \leq 0{,}2$.

Se o valor médio da solução aumenta (trajetória ascendente e possivelmente região promissora), não são aplicadas alterações de tolerância, porém faz-se $\tau = 2$. Finalmente, se o valor médio da solução diminui, as tolerâncias são definidas como (TL, TE, TR, TA) = (0, 1, 0, 0) e faz-se $\tau = 1$.

5. EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS

Com o propósito de verificar a aplicabilidade da programação matemática e do algoritmo TS na elaboração de roteiros turísticos, foram realizados experimentos computacionais com instâncias geradas aleatoriamente e com uma instância baseada em dados reais da cidade de Belém, coletados no estudo de caso de Silva (2017). O objetivo dos experimentos com instâncias aleatórias é verificar se as soluções são obtidas em tempo computacional aceitável, e se a quantidade de nós que o modelo suporta corresponde à quantidade de pontos turísticos visitados em um roteiro turístico usual. Os testes com a instância baseada em dados reais visam, por sua vez, comparar roteiros produzidos com o modelo e que consideram a valoração das atrações pelos clientes com um roteiro comercial praticado por agências de turismo.

O modelo TSPPPP foi implementado na linguagem de modelagem GAMS e resolvido com o *solver* CPLEX 24.0.2. O algoritmo de busca tabu, por sua vez, foi codificado e resolvido em Borland Delphi. Todos os experimentos foram realizados em um computador Intel i5, 2,6 GHz e 4 GB RAM.

5.1 Instâncias geradas aletoriamente

A distribuição uniforme foi selecionada para gerar custos de viagem (c_{ij}) e prêmios de visita e ordens de visita (p_i *e* p_{ki}, respectivamente). Especificamente, p_i foi gerado no intervalo (-100,100) e p_{ki} no intervalo (0,100). Note que valores de p_i negativos e de grande magnitude indicam alto grau de rejeição na seleção da atração.

Dez instâncias foram geradas e para cada número n de nós ($n = 10, 20, 30, 50, 100, 200$) e o *solver* CPLEX foi aplicado a cada instância por 3600 segundos. A Tabela 1 apresenta os resultados médios ($\overline{f}$ e $\overline{CPU}$ em segundos) para cada valor de n, assim como o desvio percentual médio do valor da função objetivo das soluções de TS em relação ao obtido com programação matemática.

Tabela 1: Resultados computacionais médios com instâncias aleatórias.

n		Modelo TSPPP com GAMS/CPLEX	Algoritmo *TS*	$\frac{(\overline{f_{TS}} - \overline{f_{Modelo}})}{\overline{f_{Modelo}}} \times 100$ (%)
10	$\overline{f}$	799,06	799,06	0
	$\overline{CPU}$ (s)	0,13	0,01	
20	$\overline{f}$	1.830,1	1.830,1	0
	$\overline{CPU}$ (s)	5,0	0,01	
30	$\overline{f}$	2.568,9	2.568,9	0
	$\overline{CPU}$ (s)	411,1	0,06	
50	$\overline{f}$	4.441,8	4.441,8	0
	$\overline{CPU}$ (s)	3598,1	2,74	
100	$\overline{f}$	585,47	2378,9	+ 306,3
	$\overline{CPU}$ (s)	4403,37	1,97	
200	$\overline{f}$	Soluções factíveis não encontradas	5236,4	-
	$\overline{CPU}$ (s)	3600	35,17	

Conforme observado na Tabela 1, ambas a programação matemática e o algoritmo tabu apresentam desempenho comparável no tratamento de instâncias com $n = 10$ e $n = 20$. Para essas duas classes de exemplos, todas as soluções obtidas são comprovadamente ótimas, com alguma vantagem para o algoritmo TS em função dos tempos computacionais menores. A partir desses tamanhos de instância, TS se mostra mais bem sucedido, seja em relação a tempos computacionais ($n = 30, 50$), seja em relação à qualidade das soluções ($n = 100$). Para $n = 200$, nenhuma solução factível para as dez instâncias geradas foi obtida pelo *solver* CPLEX em 3600 segundos de processamento, revelando suas dificuldades intrínsecas de tratamento de instâncias de médio e grande porte.

5.2 Instância baseada em dados reais

Nesta seção, são utilizados os dados coletados em um estudo de caso realizado em Belém do Pará e reportados em Silva (2017), a fim de analisar os roteiros turísticos obtidos via programação matemática. Para tal, são considerados cinco exemplos, sendo que nos dois primeiros, considera-se um roteiro já comercializado por agências de turismo, e aqui denominado de roteiro R. Desta forma é possível comparar o roteiro R, correntemente praticado, com aqueles produzidos com o modelo TSPPPP e que considera a valoração das atrações pelos clientes.

O roteiro R contempla sete nós, sendo o nó 1 o ponto de saída e fim do roteiro, e seis nós correspondentes às seguintes atrações turísticas de Belém: Estação das docas (nó 2), Ver-o-

Peso (nó 3), Forte do Castelo (nó 4), Santuário Basílica de Nazaré (nó 5), Museu Emílio Goeldi (nó 6) e Praça da República (nó 7). No exemplo 1, à cada par de nós foram atribuídos custos de viagem correspondentes às tarifas de taxi, e a cada atração turística, os prêmios de visita sugeridos pelos turistas entrevistados no estudo de caso. No exemplo 2, além dos custos e dos prêmios de visita, incluiu-se os prêmios de prioridade também atribuídos pelos turistas.

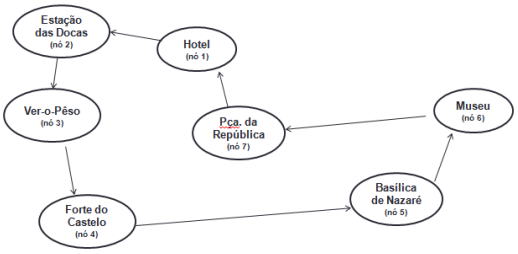
No exemplos 3 a 5, a elaboração dos roteiros considera atrações turísticas consideradas preferenciais por classes selecionadas de turistas entrevistados. Especificamente:

- Exemplo 3 (turistas do gênero feminino): Polo Joalheiro (nó 2), Santuário Basílica de Nazaré (nó 3), Igreja de Santo Alexandre (nó 4), Praça Dom Frei Caetano (nó 5), Igreja da Sé (nó 6) e Forte do Presépio (nó 7)
- Exemplo 4 (turistas com renda de 3 a 5 salários mínimos): Polo Joalheiro (nó 2), Casa Rosada (nó 3), Palacete Pinho (nó 4), Santuário Basílica de Nazaré (nó 5), Praça Dom Frei Caetano (nó 6) e Igreja da Sé (nó 7)
- Exemplo 5 (turistas com renda de 8 a 12 salários mínimos): Pólo Joalheiro (nó 2), Santuário Basílica de Nazaré (nó 3), Igreja de Santo Alexandre (nó 4), Praça Dom Frei Caetano (nó 5), Casa Rosada (nó 6) e Ver-o-peso (nó 7).

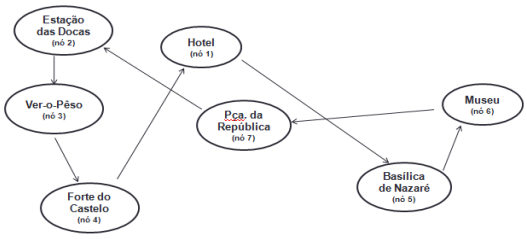
Assim como nos exemplos 1 e 2, à cada par de nós desses 3 exemplos foram atribuídos custos de viagem correspondentes às tarifas de taxi, enquanto os prêmios de visita e de prioridade foram fornecidas pela classe de turistas associada. A Figura 1 ilustra o roteiro R e os roteiros obtidos com o modelo TSPPPP nos exemplos 1 a 5. Em todos os exemplos, soluções ótimas foram obtidas em menos de 1 segundo de processamento.

Enquanto o custo de viagem para completar o roteiro comercial R é igual a R$71, o custo de viagem do roteiro com a valoração de prêmios de visita (exemplo 1) é de R$ 68. Ou seja, a programação matemática não só produziu um roteiro de menor custo como elevou o nível de serviço, ao levar em consideração as preferências dos turistas. No exemplo 2, o custo de viagem é de R$ 69, ou seja, a inclusão de mudanças na ordem de visita devido a prêmios de prioridade trouxe um aumento de custo apenas marginal.

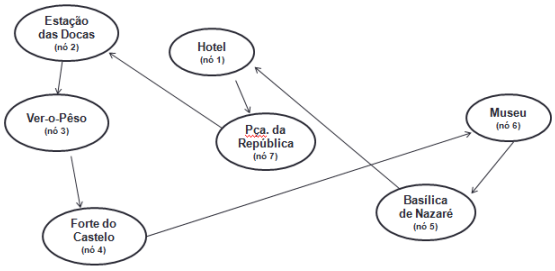
Para o exemplo 3, o custo de viagem (R$74) é um pouco maior do que o custo do roteiro R, no entanto, os prêmios coletados (416,3) são substancialmente maiores do que o que seria obtido com R (370,7). Afinal, neste exemplo, os turistas do gênero feminino visitam os nós de sua preferência, aumentando o valor dos prêmio total coletado. Resultados similares são também obtidos para os exemplos 4 e 5. Por exemplo, o custo de viagem para completar o roteiro preferencial de turistas com renda de 8 a 12 salários mínimos (R$79,9) é maior do que o custo para completar o roteiro R, porém o prêmio total coletado é maior (432,2).



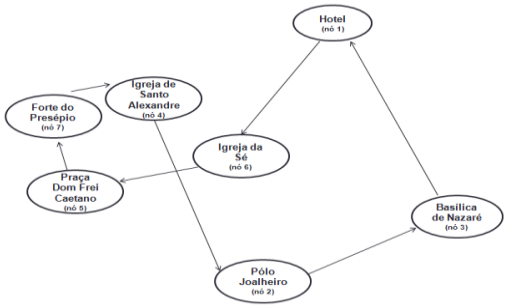
Roteiro comercial R



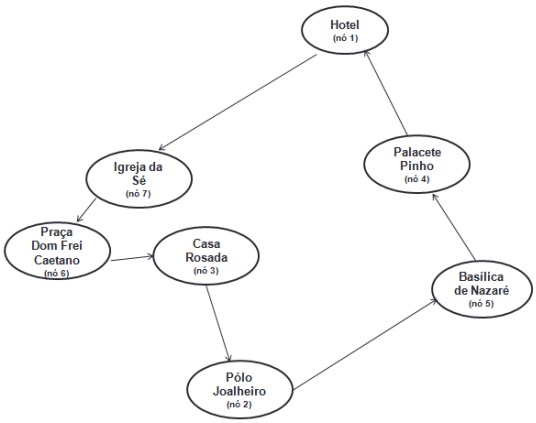
Exemplo 1



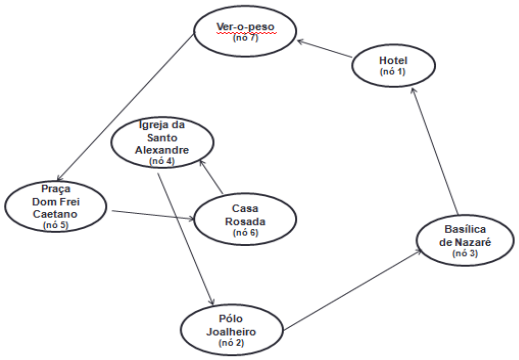
Exemplo 2



Exemplo 3



Exemplo 4



Exemplo 5

Figura 2: Roteiros turísticos obtidos nos experimentos com dados reais coletados na cidade de Belém.

6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS DE PESQUISA FUTURA

Este artigo abordou o problema de elaboração de roteiros turísticos por meio de técnicas de pesquisa operacional. O problema consiste em obter roteiros que visitem um subconjunto de atrações turísticas de forma a maximizar o atendimento às preferências dos turistas e minimizar os custos envolvidos. Neste sentido, foi revisitado o modelo TSPPPP de Silva, Morabito e Pureza (2016), e proposto um algoritmo de busca tabu.

Resultados com instâncias geradas aleatoriamente indicam que tanto a programação matemática como a metaheurística são capazes de obter soluções de alta qualidade em um curto

tempo computacional para instâncias até 20 atrações turísticas. Para instâncias de maior porte, o algoritmo de busca tabu apresenta melhor desempenho. Resultados com instâncias baseadas em dados reais, por sua vez, confirmam que a consideração da valoração dos turistas, tanto na seleção de atrações como na ordem das visitas, pode resultar em roteiros turísticos diferentes praticados por agências. Nota-se também que como a valoração depende de características tais como gênero e renda do cliente, roteiros diferentes são também obtidos. Ressalta-se ainda que as roteiros obtidos foram analisadas e validadas por operadores turísticos, indicando o potencial da aplicação das abordagens propostas.

Como perspectivas de pesquisa futura, sugere-se que este estudo seja aplicado a outros municípios e roteiros turísticos da região, e de outras estados do Brasil. Sugere-se também que o modelo TSPPPP seja estendido para incluir decisões de programação (*scheduling*) dos roteiros, ou seja, considerando tempos de permanência em cada atração turística e de deslocamento.

Agradecimentos
Os autores agradecem o apoio do CNPq e da Fapesp, assim como os valiosos comentários dos dois revisores anônimos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Applegate, D.L.; Bixby, R.E.; Chvatal, V.; Cook, W.J (2006) *The Traveling Salesman Problem: A Computational Study*. Princeton University Press, 2006.

Christofides, N. (1979) *The Traveling Salesman Problem*. Wiley Chichester.

Dantzig, R.; Fulkerson, R. e Johnson, S. (1954) Solution of a large-scale traveling salesman problem. *Operations Research*, 2:393-410.

Dantzig, G. e J. Ramser (1959) The truck dispatching problem. *Operations Research*, 12:81-91.

Feillet, D.; P. Dejax, P. e M. Gendreau. (2005) Traveling Salesman Problems with Profits. *Transportation Science*, v. 39, n. 2, p. 188-205.

França, P.M.; N.M. Sosa e V. Pureza (1999) An adaptive tabu search algorithm for the capacitated clustering problem. *International Transactions in Operational Research*, 6, 665-678.

Glover, F. e M. Laguna (1997) *Tabu Search*. Kluwer Academic Publishers, Massachusetts.

MTUR (2015) *Documento referencial do turismo no Brasil*. Ministério do Turismo, Brasília.

OMT (2014) *Estatísticas e Indicadores do Turismo Mundial*.

Pureza, V.; R. Morabito, R. e H.P. Luna (2017) Modeling and solving the traveling salesman problem with priority prizes. Submetido a *Mathematical Problems in Engineering*.

Pureza, V.; R. Morabito e M. Reimann (2012) Vehicle routing with multiple deliverymen: Modeling and heuristic approaches for the VRPTW. *European Journal of Operational Research*, vol. 218, pp. 636-647.

Silva, A.A. (2017) *Abordagens de otimização para apoiar a elaboração e análise de roteiros turísticos: um estudo de caso no estado do Pará*. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

Silva, A.A.; R. Morabito e V. Pureza (2016) Método de otimização para apoiar a elaboração e análise de roteiros turísticos. *Anais do XXIII SIMPEP – Simpósio de Engenharia de Produção*.

Admilson Alcântara da Silva (admilson.alcantara@yahoo.com.br)
Reinaldo Morabito (morabito@dep.ufscar.br)
Vitória Pureza (vpureza@dep.ufscar.br)
Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos
Rodovia Washington Luís, km 235, s/n - São Carlos, SP, Brasil

HUB PORT DO NORDESTE: ANÁLISE ESTRATÉGICA DOS TERMINAIS DE CONTÊINER DOS PRINCIPAIS PORTOS DA REGIÃO

Mariana Prysthon Moraes
Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Tecnologia e Geociências

RESUMO
O meio de transporte marítimo apresenta-se como um dos mais importantes, dado ao trâmite de cargas mais eficiente que influencia no mercado econômico mundial. Uma vez identificada a importância do setor portuário na sua área de influência, observa-se que o avanço de um porto pode carretar no desenvolvimento da região. Reconhecido o déficit da região Nordeste do Brasil, experiências de aumento na comercialização de cargas poderia beneficiar o cenário atual. Assim, o incentivo ao planejamento e desenvolvimento portuário pode tornar concreto maiores investimentos na região, permitindo que os portos se desenvolvam como concentradores de carga. Tendo em vista a inserção do mercado Nordestino no âmbito mundial, propõe-se uma análise estratégica dos portos mais importantes da região, o Porto de Suape, o Porto de Salvador e o Porto de Pecém, incentivando o aumento da participação no mercado internacional, adotando o conceito "*hub port*".

ABSTRACT
The maritime transport is one of the most important way of transportation, because of the high efficiency in distribution of goods which have influence in the world's economic market. Once identified the importance of the port's sector in its hinterland, it's established that the advance of a port can guide the development of the region. The deficit of the Northeast Region of Brazil is recognized, the experiences in increasing the trade of goods could benefit the current scenario. Also, encouraging port planning and development can attract investments to the region, allowing ports to improve as hub ports. In order to insert the Northeastern's market into the world's market, It's proposed a strategic analysis of the most important ports in the region: the Port of Suape, the Port of Salvador and the Port of Pecém, to fortify the participation of ports in the international market, adopting the concept of hub port.

1 INTRODUÇÃO

A eficiência no transporte em escala é extremamente importante para a indústria e logística, e é o transporte hidroviário que detém os menores custos operacionais com grande capacidade de carga, como resultado, é o modal que mais influencia no mercado nacional e internacional. Os portos são pontos estratégicos de desenvolvimento socioeconômico de uma localidade, de uma região ou de um país. Assim, para acompanhar a difusão mundial deste meio de transporte, o mercado tende a aumentar investimentos em controle marítimo, estimulando a implantação de vários portos por todo o mundo.

O transporte marítimo é um setor de infraestrutura multimodal que interliga as regiões do Brasil através dos recursos hídricos, que se encontram em abundância no país. É por este motivo que nos últimos anos, a indústria e mercado do Norte e Nordeste se desenvolveram rapidamente, contribuindo para os investimentos econômicos do país. Entretanto, atualmente os portos do Nordeste buscam a consolidação e expansão no mercado regional, nacional e mundial, fato que gera competitividade entre os principais portos da região.

A elaboração deste trabalho tem como justificativa a identificação dos requisitos necessários para a consolidação e desenvolvimento dos portos do Nordeste, buscando a compreensão dos fatores que são favoráveis e dos limitantes ao desafio de ser um Porto concentrador de cargas, em que serão representados através de uma matriz SWOT. Serão analisados os principais portos em movimentação de contêineres da região: Suape (PE), Salvador (BA) e Pecém (CE).

O conceito de "*hub port*" consiste em um porto concentrador de cargas e de linhas de navegação, o que envolve estratégia comercial tanto em um âmbito de impacto econômico em terra, quanto de influência no mercado marítimo. Foram analisadas questões econômicas, socioeconômicas, localização nacional e internacional, relação porto-cidade, futura e atual integração com modais de transporte, infraestrutura, índices de desempenho e planos de desenvolvimento portuário, que serão apresentados de maneira sucinta neste documento. Em função das informações analisadas será possível a realização de um diagnóstico por meio da análise da matriz SWOT, sugerindo sugestões para o avanço operacional necessário para possível determinação de um *hub port* no Nordeste.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A análise sobre o desenvolvimento portuário tem como motivador o crescimento da economia em escala e então a intensificação da movimentação de mercadorias. Logo as administrações portuárias se preocupam em avaliar seus desempenhos, para identificar se estão sendo eficientes e eficazes perante o mercado e concorrentes.

Com isto em vista, é relevante elaborar um método de mensuração e análise de desenvolvimento portuário, com a finalidade de identificar pontos fortes e fracos, estimulando as administrações a criarem planejamentos focados em aperfeiçoar os fortes e melhorar os fracos.

Assim, serão analisados os Portos que se destacam na região Nordeste, e que marcam a competitividade entre este modal no transporte de cargas conteinerizadas. Estes portos são: Suape (PE), Pecém (CE) e Salvador (BA). Para a compilação das informações será utilizada a análise SWOT, método que facilita a comparação. Mesmo que abordados de maneira sucinta neste documento, a análise realizada levou em conta os objetivos específicos listados abaixo:

- Análise econômica e socioeconômica;
- Relação porto-cidade;
- Caracterização dos acessos portuários;
- Identificação das áreas de influência dos portos;
- Identificação das infraestruturas;
- Análise dos índices de desempenho;
- Identificação dos navios-tipos;
- Movimentação de cargas; e
- Análise estratégica dos portos.

O transporte marítimo é a representação da comercialização mundial dos países, as toneladas movimentadas refletem a importância da região em âmbito mundial. Com isto, é possível analisar economicamente a situação de cada região em que os portos abordados estão inseridos. Melhores condições de vida de uma sociedade estão diretamente atreladas ao desenvolvimento econômico da região. Com o intuito de entender a correlação, foram analisadas taxas de crescimento populacional, renda per capita, taxa de alfabetização e índice de desenvolvimento humano médio.

O Complexo de Suape surgiu com um conceito de porto-indústria, como instituição pública em 1978, por meio da Lei Estadual nº 7.763, que criou a empresa SUAPE - Complexo Industrial Portuário. Hoje, é administrado pela estatal chamada SUAPE – Complexo

Industrial Portuário Governador Eraldo Gueiros, vinculada à Secretaria de Desenvolvimento Econômico de Pernambuco, por autorização do Governo Federal. Um indício de que o Porto de Suape está crescendo é com o chamado Tecon II, que será instalado numa área com 900 metros de cais, com 2 berços de atracação, e com uma retroárea de 250 mil m2.

Mesmo em meio à crise econômica no país, Salvador continuou a receber mais investimentos, e em 2015 se instalaram duas empresas: a multinacional Basf e Depot Salvador, ainda teve a ampliação da Gamesa. Como indício de investimentos em expansão do terminal, em 2016 o TECON Salvador e o Porto de Salvador assinaram um aditivo contratual com o Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil que vai permitir a ampliação do cais principal de 377 m para 800 m nos próximos anos.

Governo do Estado do Ceará está investido fortemente no Porto de Pecém com intuito de torna-lo um concentrador de cargas, uma das tentativas conta com a parceria entre o Porto cearense e o Porto de Roterdã, na Holanda. Após a ampliação do Canal do Panamá, o governo cearense acredita que oportunidades virão já que agora o porto se encontra na rota dos maiores cargueiros do mundo. Com o objetivo de expansão, foi proposta a construção de três novos berços na obra conhecida como fase 2 do TMUT. A obra é, em resumo, o prolongamento do TMUT, até então com 2 berços (Cais 5 e 6) com extensão total de 690 m, vale ressaltar que os berços são de múltiplo uso.

Foram realizadas análises de movimentação de contêineres para os três portos em questão, para o mesmo período de tempo, primeiro semestre de 2017. Tem-se que o Porto de Suape teve um crescimento de 22,63% na movimentação de contêineres, totalizando 260 mil TEUs, movimentando principalmente plásticos, cereais e produtos químicos. No que se refere à Porto de Salvador observa-se uma queda na movimentação de 0,76%, o que resultou em 169 mil TEUs movimentados no mesmo período, se destacando também os plásticos cereais e produtos químicos. Por fim, Pecém teve um crescimento na movimentação de 20,82% resultando em 98 mil TEUs movimentados, sendo a carga principalmente de sal, enxofre, terras e pedras, além de cereais e plásticos. É perceptível a competitividade inclusive nos tipos de cargas movimentadas pelos três.

3 ANÁLISE ESTRATÉGICA

Após a realização de vários aspectos citados anteriormente, foi proposta uma análise estratégica entre os Portos de Suape, Salvador e Pecém. Com isto foi possível iniciar uma análise comparativa, cujo objetivo foi identificar e avaliar os pontos positivos e negativos dos portos, tanto no que se refere ao seu ambiente interno quanto ao externo.

Neste contexto, busca-se delinear os principais pontos estratégicos dos portos buscando melhorar da eficiência logística, autosustentação das autoridades portuárias e adequação de um modelo de gestão condizente com melhorias institucionais, que tragam possibilidades de redução dos custos logísticos nacionais. Será utilizada a análise SWOT, escolhida por sintetizar as análises citadas, auxiliando na identificação dos pontos estratégicos, e posterior comparação das matrizes para consolidar os resultados. Esta forma de análise está prevista nos Planos Mestre dos Portos, serão consideradas algumas diretrizes contempladas nos PMs, julgadas relevantes para este estudo, além de pontos adicionais discutidos ao longo deste trabalho.

3.1 Porto de Suape

3.1.1 Pontos positivos – Ambiente Interno

Concepção de Porto-indústria: A estrutura portuária dá suporte às necessidades de recepção de insumos e expedição de produtos a um Complexo Industrial localizado próximo ao Porto. Integração indústria e porto, minimizando custos e aumentando produtividade, além de atrair maiores investimentos.

Terminal especializado em contêiner: Tecon Suape é referência de terminal especializado. Ocupa grande área com dois berços exclusivos e um cais público adjacente. Ainda, existe o projeto da construção do novo terminal, Tecon II.

Relação porto-cidade: O Porto não enfrenta conflitos entre a área portuária e o espaço urbano, por conta da distância ao centro urbano. Este fato possibilita vastas áreas disponíveis para expansão.

Águas abrigadas naturalmente: Pelo porto interno estar localizado em um estuário, o porto é naturalmente abrigado por arrecifes, minimizando problemas na atracação e operação portuária.

Profundidade de acesso e atracação: O porto dispõe de calado suficiente para a movimentação de grandes navios, possui baixo índice de sedimentação, além de já terem planejamentos para o da profundidade.

Ampla retroárea contígua ao cais: A retroárea do Tecon dispõe de uma ampla área de armazenagem, além da proximidade ao cais, aumentando produtividade.

Índices de desempenho: Em relação aos outros portos em análise, os índices de desempenho do Porto de Suape, como prancha média, consignação e tempo médio de serviço se destacaram. Ainda, o Tecon Suape não está operando com a produtividade máxima, e o novo terminal conta com superestruturas ainda mais modernas.

3.1.2 Pontos negativos – Ambiente Interno

Decisões centradas em Brasília: Desde a publicação da Lei dos portos o Porto de Suape perdeu a autonomia de gestão portuária, descentralizado do estado as decisões, e com isto aumentando a burocracia quanto à concessões e licitações.

Abertura de acesso hidroviário: A entrada do Porto atualmente é caracterizada por uma abertura de 250 m com a proteção de dois cabeços, o que resulta na limitação na entrada de navios que possam vir a circular futuramente no porto.

Ferrovias inativas: Existem linhas de ferrovias presentes no porto entretanto estas estão inativas, e completamente desgastadas devido ao desuso da estrutura. Com a chegada da Transordestina, ainda deverão ser realizados vários projetos para a recuperação da ferrovia.

3.1.3 Pontos positivos – Ambiente Externo

Índices socioeconômicos: A AID do Porto de Suape se destaca entre os três portos analisados por conta dos maiores índices de renda per capita e IDHM, demonstrando que é o que mais tem potencial de desenvolvimento.

Localização privilegiada: Está em uma ponta do Brasil, localizado a nordeste, que conecta o norte do país ao sul, além de estar mais próximo da Europa e África.

Acessos rodoviários duplicados: As vias rodoviárias que dão acesso ao entorno portuário encontram-se duplicadas e em boas condições tráfego, além da existência de uma Via Expressa.

Perspectiva de crescimento da demanda: Existe uma forte perspectiva de crescimento na movimentação de contêineres no porto, principalmente devido aos vários investimentos realizados na implantação de empreendimentos no interior do estado.

Movimentação de cargas: Porto se destacou na movimentação de cargas, tanto na quantidade de TEUs quanto na porcentagem de crescimento.

3.1.4 Pontos negativos – Ambiente Externo

Concorrência portuária regional: o crescimento econômico na região nordeste com as obras de infraestrutura logística em andamento em toda a região.

Baixo índice de exportação a longo curso: Identificou-se que atualmente o Porto de Suape é o que menos exporta carga para fora do Brasil, cerca de 10%.

3.2 Porto de Salvador

3.2.1 Pontos positivos – Ambiente Interno

Terminal especializado em contêiner: O Tecon Salvador é um terminal especializado. Tem grande retroárea e dois berços exclusivos, além disto, existe o projeto de expansão do cais para a criação de um novo berço.

Águas abrigadas naturalmente: Por estar localizado em uma baía, o porto não apresenta problemas quanto à fortes correntes e oscilações de marés que possam afetar a atracação, navegabilidade e operação portuária.

Boa navegabilidade de acesso: O acesso ao Porto é feito no interior da baía, o que já acarreta em vantagem na navegabilidade na entrada do porto devido à característica de água abrigadas.

Ampla retroárea contígua ao cais: A retroárea do Tecon dispõe de uma ampla área de armazenagem, contígua ao cais, otimizando a produtividade do terminal.

3.2.2 Pontos negativos – Ambiente Interno

Decisões centradas em Brasília: Desde a publicação da Lei dos portos o Porto de Salvador também depende das decisões realizadas em Brasília, desassociando o estado das decisões, grande burocracia quanto à concessões e licitações.

Relação porto-cidade: O Porto enfrenta conflitos entre a área portuária e o espaço urbano, característica de portos antigos que subsidiaram o crescimento da cidade que hoje estrangula o espaço do porto.

Retroárea do novo berço não contígua ao cais: A retroárea proposta para o novo berço do Tecon Salvador não é contígua ao cais, logo a produtividade pode não alcançar o nível ótimo.

Profundidade de atracação: Os calados atuais dos berços do terminal de contêineres são considerados para um navio tipo panamax, enquanto que os outros dois portos já atendem post-panamax.

Condições e vias internas insatisfatórias: Com a distribuição das vias internas limitada por conta do avanço do centro urbano na área portuária, não existe grande área de circulação dos caminhões, desgastando excessivamente as poucas opções existentes.

Índices de desempenho: A consignação e o tempo médio de serviço são insatisfatórios. O tempo de operação alto, causados por congestionamentos de caminhões transportadores, devido à localização do porto no centro urbano.

3.2.3 Pontos positivos – Ambiente Externo

População da AID: Devido à localização do Porto em centro urbano, a população tem grande representatividade na demanda direta do porto.

Capacitação: A AID do Porto de Salvador, dentre os três portos analisados, é o que possui taxas mais altas de alfabetização, por estar no centro urbano.

Acessos rodoviários em boas condições: As vias rodoviárias que dão acesso ao entorno portuário encontram-se em boas condições tráfego.

Alto índice de exportação a longo curso: O Porto de Salvador é, dentre os três em análise, o que mais exporta cargas para fora do Brasil, cerca de 44%. Apresentando uma característica mais avançada de comércio externo. Só para a China foi o correspondente à 314 mil toneladas no ano de 2016.

Perspectiva de crescimento da demanda: Existe uma perspectiva de crescimento na movimentação de contêineres no porto, principalmente devido à forte atividade industrial implantada na região.

3.2.4 Pontos negativos – Ambiente Externo

Concorrência portuária regional: o crescimento econômico na região nordeste com as obras de infraestrutura logística em andamento em toda a região.

Acesso ferroviário desativado: O acesso ferroviário que conecta os portos de Salvador e de Aratu-Candeias foi desativado.

Acesso dificultado ao Porto: Devido à localização no centro urbano, e mesmo com acesso sendo feito por uma Via Expressa chamada Baía de Todos os Santos, o tráfego da cidade entra em conflito com o tráfego de cargas.

Movimentação de cargas: A movimentação de contêiner não está atendendo às expectativas de crescimento do terminal, resultando em um crescimento negativo no primeiro semestre de 2017.

3.3 Porto de Pecém

3.3.1 Pontos positivos – Ambiente Interno

Terminal de uso privado: A gestão portuária é realizada de forma menos burocrática do que em um Porto público. Não existe arrendatário de áreas, a operação de embarque e desembarque é feita por empresas privadas credenciadas pela administração como prestadores de serviço operacional

Relação porto-cidade: O Porto não enfrenta conflitos entre a área portuária e o espaço urbano, por conta da distância ao centro urbano. Este fato possibilita vastas áreas disponíveis para expansão.

Profundidade de acesso e atracação: Devido à localização dos berços serem externos, o porto dispõe de calado suficiente para a movimentação de grandes navios, calado natural, as instalações de atracação estão diretamente localizadas em mar aberto.

Condições e vias internas satisfatórias: Vias rodoviárias internas em bom estado de conservação, com plano de circulação bem definido.

3.3.2 Pontos negativos – Ambiente Interno

Terminal descentralizado: A movimentação de contêineres em Pecém ocorre no Terminal de múltiplas utilidades, operando várias cargas além de contêineres. Esta questão de não exclusividade pode acarretar problemas de produtividade.

Retroárea não contígua ao cais: Os berços de movimentação de contêiner são localizados em uma estrutura que saca para o mar, a retroárea se localiza na costa dispondo de uma ampla área de armazenagem. Como resultado, mantém-se uma longa distância da área de carregamento/descarregamento e a área de armazenagem da carga, reduzindo a produtividade.

Índices de desempenho: A prancha média dos serviços se demonstrou insatisfatória, podendo já ser uma consequência da área de armazenagem não contígua ao cais, além da necessidade de infraestruturas mais modernas.

3.3.3 Pontos positivos – Ambiente Externo

Localização privilegiada: É o porto, dentre os três, localizado mais próximo ao canal do Panamá e aos Estados Unidos.

Atividade industrial: Ao entorno de porto e em sua área de influência existe muita perspectiva de instalação de indústrias que alavancarão a movimentação de cargas.

Acesso ferroviário: É o trecho da Transnordestina que se encontra mais avançado nas obras de construção. Apesar dos atrasos referentes à implantação do empreendimento, especula-se que a ferrovia ficará pronta mais rápida no trecho que chega à Pecém.

Movimentação de cargas: Mesmo com a baixa movimentação de contêineres, o terminal vem surpreendendo com o crescimento e os investimentos na movimentação da carga. Inclusive chama a atenção pelo fato de focar em um tipo de carga diferenciada que é o sal, enxofre, terras e pedras do capítulo-SH2.

3.3.4 Pontos negativos – Ambiente Externo

Concorrência portuária regional: o crescimento econômico na região Nordeste com as obras de infraestrutura logística em andamento em toda a região.

Distância em relação aos Estados economicamente mais dinâmicos: A localização do Porto é considerada muito longe dos Estados mais produtivos do país, o que poderia gerar dificuldade na movimentação da carga por terra.

Acessos rodoviários: As várias opções de acesso ao porto formam um ponto de estrangulamento, gerando alto volume de tráfego e dificultando a logística de transportes na região.

Perspectiva de crescimento da demanda: A perspectiva de crescimento na movimentação de contêineres no porto, em relação aos outros dois portos em estudo, é baixa.

3.4 Matriz SWOT

Em sequência serão apresentadas as matrizes SWOT resultantes de cada análise realizada para cada um dos portos em estudo, estas estão representadas em forma de tabela e servem de resumo para a análise realizada, facilitando o método comparativo.

Tabela 1: Matriz SWOT - Porto de Suape

	Pontos Positivos	Pontos Negativos
Ambiente interno	Concepção de Porto indústria Terminal especializado em contêiner Relação porto-cidade Águas abrigadas naturalmente Profundidade de acesso e atracação Ampla retroárea contígua ao cais Índices de desempenho	Decisões centradas em Brasília Abertura de acesso hidroviário Ferrovias inativas
Ambiente Externo	Índices socioeconômicos Localização privilegiada Acessos rodoviários duplicados Perspectiva de crescimento da demanda Movimentação de cargas	Concorrência portuária regional Baixo índice de exportação a longo curso

Tabela 2: Matriz SWOT - Porto de Salvador

	Pontos Positivos	Pontos Negativos
Ambiente interno	Terminal especializado em contêiner: Águas abrigadas naturalmente Boa navegabilidade de acesso Ampla retroárea contígua ao cais	Decisões centradas em Brasília Relação porto-cidade Retroárea do novo berço não contígua ao cais Profundidade de atracação Condições e vias internas insatisfatórias Índices de desempenho
Ambiente Externo	População da AID Capacitação Acessos rodoviários em boas condições Alto índice de exportação a longo curso Perspectiva de crescimento da demanda	Concorrência portuária regional Acesso ferroviário desativado Acesso dificultado ao Porto Movimentação de cargas

Tabela 3: Matriz SWOT - Porto de Pecém

	Pontos Positivos	Pontos Negativos
Ambiente interno	Terminal de uso privado Relação porto-cidade Profundidade de acesso e atracação Condições e vias internas satisfatórias	Terminal descentralizado Retroárea não contígua ao cais Índices de desempenho
Ambiente Externo	Localização privilegiada Atividade industrial Acesso ferroviário Movimentação de cargas	Concorrência portuária regional Distância em relação aos Estados economicamente mais dinâmicos Acessos rodoviários Perspectiva de crescimento da demanda

3.5 Soluções estratégicas

Dando continuidade à análise estratégica dos portos, a descrição dos pontos positivos, tanto no ambiente interno quanto no externo, esclareceu os pontos favoráveis que cada porto tem para se tornar concentrador de cargas.

Por outro lado, foram ressaltados os pontos negativos, igualmente no ambiente interno e externo, identificados como limitantes dos portos à obtenção da denominação *hub port.*
Em função dessas informações, será possível realizar um diagnóstico com propostas de soluções para os limitantes listados, objetivando avanços operacionais, autosustentação das autoridades portuárias, modelos de gestão planejados condizentes às melhorias institucionais, trazendo redução nos custos e aumento de índices desempenho, atraindo as principais rotas do mercado mundial.

3.5.1 Porto de Suape

Quanto à concentração das decisões em Brasília, a Autoridade Portuária de Suape deve recuperar a autonomia em breve, e então poderá atuar com gestão focada sobre resultados de lucro, e redução de custos fixos, garantindo através de concessões e licitações (formas mais fortes de arrecadação) a sustentabilidade financeira além de realizar investimentos futuros;

Com o objetivo de aumento ainda mais dos índices e desempenho, para alcançar níveis internacionais, os novos contratos firmados pelo porto deverão ter cláusulas específicas estabelecendo padrões mínimos de eficiência e produtividade.

Limitantes operacionais deverão ser revistos, um exemplo é a abertura da entrada do porto onde deve-se propor uma alternativa para aumentar a largura, possibilitando a entrada de navios maiores. Os cabeços instalados na abertura, foram uma solução proposta para certificar a estabilidade dos arrecifes, entretanto atualmente limita a entrada de navios maiores.

No que se refere às ferrovias inativas, é necessário a criação de soluções desde já para o reaproveitamento das estruturas férreas existentes.

Para aumento das exportações de longo curso, o porto deverá criar maiores vínculos comerciais junto a armadores, agentes e operadores de contêineres, uma vez que a perspectiva para a movimentação de cabotagem desta carga já é vultuosa, estimulando a troca de mercadorias a longo curso;

3.5.2 Porto de Salvador

Se faz necessário recuperar a autonomia portuária, com objetivo de maior liberdade no planejamento de gestão focada em resultados, buscando a redução de custos e então sustentabilidade financeira.

Quanto a relação porto-cidade, uma solução já iniciada foi a expansão portuária para um novo porto um pouco mais longe do centro urbano, criando um novo clusters de granéis líquidos, o que desafogou a concentração na região do porto de salvador. A solução para contêineres poderia ser deslocar todas as outras cargas para uma extensão do porto, ou até mesmo expandir os terminais de contêineres para outro ponto onde haja possibilidades de expansão e criação de um cluster de contêiner, prevendo vasta área disponível para expansão. Buscar, junto à prefeitura, o desenvolvimento de políticas que reduzam os impactos da dinâmica urbana sobre a atividade portuária, bem como o inverso;

Não existindo a possibilidade de construir cais novos com retroáreas contíguas, investir nos equipamentos que compensem a distância entre a área de carregamento/descarregamento e a área de armazenagem.

São necessário planos de investimentos em dragagem do Porto, para viabilizar a entrada de futuros navios-tipos, não limitando os calados. Realizar melhorias na pavimentação das vias internas do Porto de Salvador, para proporcionar maior fluidez ao tráfego interno;

Acompanhar e contribuir com esforços para ampliação da movimentação de contêineres no porto e modernização da infraestrutura, face à projeção de cargas conteinerizadas e com o objetivo de aumentar a produtividade e diminuir os tempos de operação;

Iniciar a reestruturação da via ferroviária, a fim de estimular a conexão entre os dois portos,Salvador e Aratu-Candeias) e possibilitar expansão, como solução da relação porto-cidade.

Criar alternativas de circulação entre o espaço urbano e o porto, com o intuito de minimizar os conflitos de tráfego, resultando em maiores possibilidades de acesso ao porto.

3.5.3 Porto de Pecém

Com a implantação da APM Terminals espera-se crescimento na movimentação de contêineres, A empresa é o principal operador portuário credenciado pela Cearáportos em Pecém. Todas essas medidas já visam a modernização e o aumento dos índices de desempenho. Com a separação de dois berços prioritários na movimentação de contêineres, previsto no PM, é possível que seja suficiente para resolver a descentralização da movimentação de contêineres.

Quanto à retroárea não contígua ao cais, deve-se pensar na produtividade no transporte da carga dos berços de carregamento/descarregamento para a retroárea. Uma forma pode ser com a modernização dos cais como proposto pela empreendedora APM Terminals.

No que se refere aos índices de desempenho, com os investimentos na centralização da movimentação de cargas conteinerizadas e modernização dos berços, pode resultar no aumento da produtividade e diminuição do tempo de operação.

A Cearáportos deve monitorar os tempos de armazenagem das cargas, para que se possível realizar planejamentos com o intuito de otimizar a eficiência no carregamento/descarregamento e na armazenagem das cargas.

Devem ser realizados esforços comerciais junto a armadores, agentes e operadores de contêineres, dada a importância deste tipo de carga para o terminal. Poderão ser concedidos incentivos para a implantação de novas indústrias e empresas para se instalarem na região, possibilitando o desenvolvimento econômico regional e o aumento das perspectivas na movimentação de contêineres no terminal.

4 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Uma vez analisados os principais portos da região Nordeste do Brasil, foi possível destacar as vantagens de cada um e propor soluções para contornar os limitantes ao desenvolvimento portuário. Os resultados da análise estratégica, servirão de estimuladores de crescimento dos portos em busca de se tornarem concentradores de carga. As críticas obtidas contribuíram para uma avaliação dos elementos relevantes dos portos em busca de se tornarem *hub ports*.

É perceptível que as melhoras propostas para os diferentes portos seguem uma mesma tendência. A partir destas informações, os portos poderão iniciar planejamentos embasados em melhorias operacionais, institucionais, políticas, gerando redução nos custos para atrair rotas mundiais. Os resultados gerados pelo investimento e busca do desenvolvimento portuário, podem subsidiar iniciativas governamentais para a criação de planos e projetos.

Ademais, as soluções propostas devem ser acompanhadas, para a identificação e classificação da evolução gerada pelas proposições, e para o diagnóstico de novos limitantes que podem surgir com o tempo, permitindo gerar sempre novas análises estratégicas adaptadas às mudanças.

Um planejamento satisfatório e atualizado pode melhorar os pontos fracos e ressaltar os pontos positivos, resultando no desenvolvimento harmonizado do porto em busca de se tornar concentrador de cargas. Em um ponto de vista acadêmico, esta análise contribuirá para diagnósticos estratégicos portuários sobre fatores de infraestrutura, operacionais e gerenciais,

estimulando novas táticas de investimentos, planejamentos e pesquisas para a expansão e modernização dos portos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Assessoria de Comunicação Social. Disponível em: <http://www.portosdobrasil.gov.br/sobre-1/institucional>
Complexo Industrial Portuário Suape. Disponível em: <http://www.suape.pe.gov.br/>
Companhia das Docas do Estado da Bahia. Disponível em: <http://www.codeba.com.br/>
Governo do Estado do Ceará. Disponível em: <http://www2.cearaportos.ce.gov.br/>
IBGE - *Instituto Brasileiro de Geografia e estatística.* SIDRA – *Sistema IBGE de Recuperação Automática.* Disponível em: < https://sidra.ibge.gov.br/>
Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. Disponível em: <www.atlasbrasil.org.br/>
ANTAQ - *Definições de termos e conceitos técnicos*. Disponível em :< http://www.antaq.gov.br/portal/anuarios/portuario2009/termos.htm>
PIANC/ *Report nº121-2014* - Canais de Acesso – Um Guia para Projetos
Loredo, Marcelo. *Os hub ports no norte da Europa e no Brasil: realidades, ideais e comparações.* MBA PORTOS E LOGÍSTICA - Rio de Janeiro, 2004.
BASTOS, Marcelo. *Análise SWOT (matriz).* Disponível em <http://www.portal-administracao.com/2014/01/analise-swot-conceito-e-aplicacao.html>(Acesso em março, 2017).
LIMA, Eriksom. *Diretrizes estratégicas para os portos do Nordeste*. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, 1999.
DAUER, Vandressa; PATRICIO Davi. *Trabalho de Iniciação Científica A importância do porto concentrador de cargas para a atividade portuária brasileira*. Itajaí, 2014.
MONIÉ Frédéric; VIDAL, Soraia. *Cidades, portos e cidades portuárias na era da integração produtiva*. Rio de Janeiro, 2006.
Site Portogente, 2010. Disponível em: <https://portogente.com.br/noticias/transporte-logistica >(Acesso em abril, 2017).
BRASIL. *Lei dos Portos.* Lei nº 12.815, de 05 de junho de 2013.
BRASIL. *Presidência da República Secretaria de Portos.* Portaria nº 3, de 07 de janeiro de 2014.
LACERDA, Sander Magalhães. *Navegação de cabotagem: regulação ou política industrial?* BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 19, p. 49-66, mar. 2004
NETO, Ricardo Ferreira. *Análise do transporte de carga marítimo brasileiro de longo curso com relação à participação e a perda de espaço no cenário mundial.* COPPE/UFRJ Rio de Janeiro, 2010.
PIGNA, Franc. The City-Port Relationship: Its evolution, changing dynamics and challenges for port authorities, Florida USA.
SUAPE. *Plano Mestre do Porto de Suape (PM).* Laboratório de Transportes e Logística – labtrans. Florianópolis SC, 2016.
SALVADOR. *Plano Mestre do Porto de Salvador (PM).* Laboratório de Transportes e Logística – labtrans. Florianópolis SC, 2015.
PECÉM. *Plano Mestre do Porto de Pecém (PM).* Laboratório de Transportes e Logística – labtrans. Florianópolis SC, 2015.
SUAPE. *Plano de Desenvolvimento e Zoneamento do Porto de Suape (PDZ).* Pernambuco, 2009.
Silva, Bruno. *Relação Porto-Cidade*. Brasil, 2014. Disponível em: < http://www.portosdobrasil.gov.br/assuntos-1/meio-ambiente/relacao-porto-cidade > (Acesso em maio, 2017).
RIOS, Ricardo. *Os Portos de Salvador e Aratu: organização e dinâmica atual nos contextos urbano e metropolitano.* Universidade Federal da Bahia, BA, 2008.
Ferrovia Nova Transnordestina - Missão Velha - Pecém – CE . Disponível em: < http://www.pac.gov.br/obra/15385 > (Acesso em maio, 2017).
HENRY, Raul. *Lançado edital para atualizar estudos do novo Tecon do Porto de Suape.* Suape - PE, 2017. Disponível em: < http://www.pe.gov.br/blog/2017/04/04/lancado-edital-para-atualizar-estudos-do-novo-tecon-do-porto-de-suape/ >
AZENHA, Catia. *O Porto do Pecém – CE e as suas relações com o Brasil: definição de uma hinterlândia*. Universidade Federal do Ceará (UFC), fortaleza, CE, 2015.
EIA/RIMA *implantação da Ferrovia EF 354*. VALEC e Serviços Técnicos de Engenharia S.A. Vilhena, RO, 2009.

Mariana P. Moraes (marianaprysthon@gmail.com)
Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco
Av. da Arquitetura, s/n – Recife, PE, Brasil

METODOLOGIA DE DEFINIÇÃO DE REDE LOGÍSTICA INTEGRADA PARA ARMAZENAMENTO E ESCOAMENTO DE COMMODITIES AGRÍCOLAS

Isaque Daniel Rocha Eberhardt
Sérgio Ronaldo Granemann
Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia

RESUMO
Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma metodologia para definição de rede logística integrada para armazenamento e escoamento de commodities agrícolas. A metodologia pressupõe um conjunto de etapas que permitem produzir uma rede logística integrada capaz de minimizar o custo logístico total do sistema. Para tanto, são adotadas sete etapas, quais são elas: 1) elaboração ou preparação dos dados, 2) estudo da rede logística atual baseado em demanda-oferta, 3) definição da configuração das localizações obtidas, 4) aplicação de uma heurística para *clusterizar* as regiões, 5) elaboração de uma ranqueamento das possíveis localizações, 6) dimensionamento da rede logística integrada,7) análise de resultados. A metodologia está em fase de implementação com todas as etapas testadas para uma porção do estado do Mato Grosso, utilizando a produção de soja e milho como cultivos a serem cobertos por uma infraestrutura logística integrada ótima.

DIRECIONAMENTO PARA SISTEMA DE INFORMAÇÃO PARA LOGÍSTICA REVERSA DE VEÍCULOS EM FIM DE VIDA ÚTIL NO DISTRITO FEDERAL

Luiza Lavocat Galvão de Almeida Coelho
Adelaida Pallavicini Fonseca
Milton Jonas Monteiro
Programa de Pós-Graduação em Transportes
Universidade de Brasília

RESUMO
Em âmbito nacional, a Lei 12.305/ 2010 deu um direcionamento no que diz respeito à logística reversa de determinados produtos. Ela aborda orientações para pneus, combustíveis, lubrificantes, mas nada particularmente destinado a veículos. Para os veículos em fim de vida útil, a Lei 12.977/ 2014 disciplinou a atividade de desmontagem de veículos automotores. Inúmeros são os desafios relacionados a essa atividade, entre eles a utilização de sistema de informação para integrar os atores envolvidos, otimizar os processos realizados e conquistar a credibilidade do consumidor. Nesse sentido, foram estipuladas leis e regulamentações federais e estaduais que impõem a utilização de um sistema de informação na logística reversa de veículos em fim de vida útil. Assim, esse artigo tem como objetivo direcionar um sistema de informação para o setor do Distrito Federal. As propostas proporcionam ao órgão executivo de trânsito insumos para publicar portarias de orientação, registro, controle e fiscalização do setor.

ABSTRACT
At the national level, Law 12,305/2010, the National Policy on Solid Waste, gave an effective direction with regard to the reverse logistics of certain products. It addresses guidelines for tires, fuels, lubricants, but nothing particularly aimed at older vehicles. For end-of-life vehicles, in 2014, Law12.977/2014 regulated and disciplined the dismantling of land vehicles. There are many challenges related to this activity, among them the use of information system to integrate the actors involved, optimize the processes performed and win the credibility of the consumer. In this sense, federal and state laws and regulations have been stipulated that require the use of an information system in the reverse logistics of end-of-life vehicles. Thus, this paper aims to propose an information system for this sector of Distrito Federal. The proposal provides the transit executive body with greater inputs for issuing guidance, registration, control, and oversight mandates for the sector.

1. INTRODUÇÃO

A Logística Reversa (LR) consiste em planejar, implementar e controlar, efetiva e eficientemente, o fluxo de material e das informações relacionadas a ele do ponto de consumo para o ponto de origem, com o propósito de adicionar valor ou dar a destinação adequada (Rogers e Tibben-Lemble, 1999). Para isso, dado o envolvimento de grande número de partes interessadas e uma incerteza inerente ao retorno de materiais, torna-se importante o planejamento do processo, o detalhe na troca de informação, a coordenação das transações e a correta tomada de decisão. Essas ações são razoavelmente inseparáveis do suporte de um sistema de informação e o colocam como ator crucial para o sucesso da LR de determinado material (Langnau, 2001; Daugherty *et al.*, 2002; Yuan e Cheng, 2009; Lambert *et al.*, 2011; Lee e Lam, 2012; Shi *et al*., 2012).

As regulamentações da LR de veículos em fim de vida útil em nível federal – Lei 12.977/2014 e Resolução CONTRAN 530/2015 –, bem como estadual, já existente em São Paulo– Lei 15.276/ 2014, Decreto 60.150/ 2014 e Portaria DETRAN-SP 510/ 2015 –, determinam a utilização de um sistema de informação para registro, acompanhamento e controle das atividades desenvolvidas. Daí o objetivo deste artigo em direcionar orientações para um sistema de informação para LR de veículos em fim de vida útil no âmbito específico do Distrito Federal.

2. GERENCIAMENTO DA INFORMAÇÃO PARA LOGÍSTICA REVERSA DE VEÍCULOS EM FIM DE VIDA ÚTIL

2.1. Exigências legais e normativas

A primeira legislação federal específica para reaproveitamento de veículos leves em fim de vida útil foi a Lei 12.977 de 20 de maio de 2014. Ademais, as Resoluções CONAMA 362/ 2005, 401/ 2008, 416/ 2009 e a Instrução Normativa IBAMA 13/2012 abordaram a maneira como deve ocorrer o recolhimento, o tratamento, o gerenciamento e a destinação final de determinados desses materiais. No entanto, exclusivamente sobre veículos em fim de vida, anterior à Lei 12.977/ 2014 e que tenha realmente sido implementada, apenas a Lei 15. 276 de 02 de janeiro de 2014 do estado de São Paulo, publicada com meses de antecedência.

É recente o envolvimento do Brasil com o gerenciamento do ciclo de vida dos produtos e, principalmente, com os veículos em fim de vida útil. De toda forma, observa-se que algumas das exigências observadas pelas boas práticas internacionais foram levadas em consideração: necessidade de registro oficial das empresas participantes do sistema de reaproveitamento de veículos; exigência da emissão de documento de confirmação da baixa do registro do veículo para início da desmontagem; integração das informações sobre os fluxos de movimentação e de transformação de materiais através de uma base de dados para rastreabilidade; divulgação das informações das empresas registradas em ambiente público de forma a incentivar a fiscalização por terceiros. Portanto, percebe-se a necessidade da proposição deste trabalho.

2.2. Sistemas de gerenciamento e de armazenamento da informação

Os sistemas de gerenciamento e de armazenamento da informação são, portanto, essenciais para o sucesso de uma LR, independentemente do produto que reaproveitam (Langnau, 2001; Yuan; Cheng, 2009; Lambert *et al.*, 2011). Nesse sentido, Coelho *et al.*, (2016) analisaram o sistema de informação proposto pelas legislações estaduais já citadas para o controle das informações do reaproveitamento de veículos leves em fim de vida útil no estado de São Paulo, de acordo com a literatura relacionada.

Na Figura 1 é apresentado o mapa conceitual do sistema de informação do DETRAN-SP e, percebe-se que a própria instituição é a que possui maior número de relacionamentos e que, além de receber grande parte das informações, tem a responsabilidade de disseminá-las para os demais atores (COELHO *et al.*, 2016). Isso atende ao exposto por Shi *et al.* (2012) sobre a necessidade de a gestão do sistema ser feita por empresa com funções centrais dentro do fluxo de relacionamentos, para que ela seja capaz de liderar, coletar e integrar as informações.

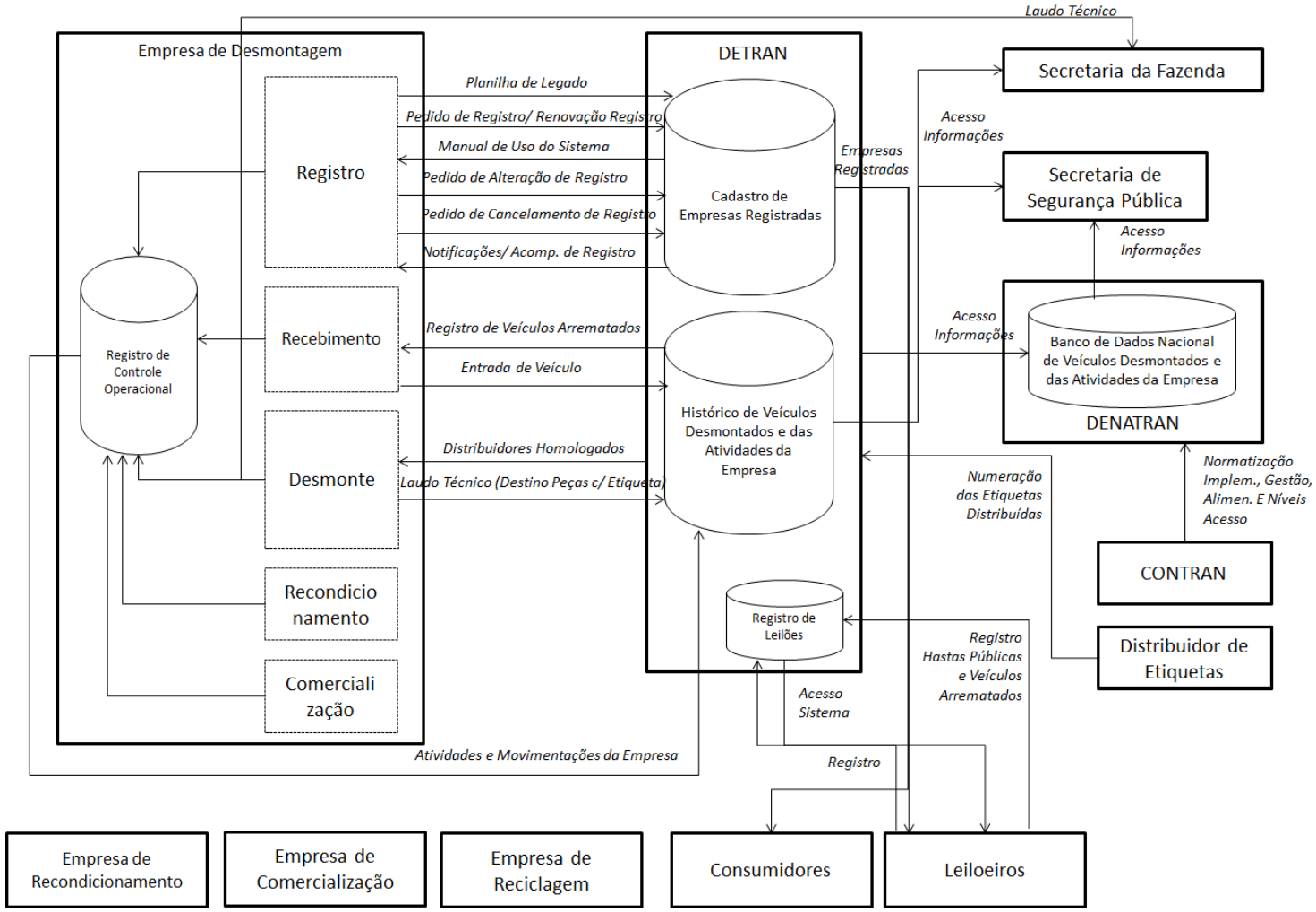


Figura 1: Mapa conceitual do sistema de informação do estado de São Paulo para logística reversa de veículos em fim de vida útil

Fonte: Coelho *et al.*, 2016

3. MÉTODO

Esse artigo foi parte de um estudo mais amplo de dissertação de mestrado (Coelho, 2017), na qual foi adotado o método *design science research* (Dresch *et al.*,2015). Sendo assim, compreendeu etapas como identificação do problema, a partir da Lei 12.977/ 2014 e da constatação da realidade das empresas de reaproveitamento do Distrito Federal (DF); conscientização do problema e revisão da literatura; identificação dos modelos e das classes de problemas existentes; desenvolvimento e proposição de modelo para resolver o problema.

Nesse contexto, foi realizada uma pesquisa documental, visto que fez um levantamento de informações a partir de regulamentações federais e estaduais e as discutiu com base do que foi levantado pela revisão bibliográfica. A abordagem foi qualitativa, visto que não houve dados numéricos, tampouco análise estatística. Outras técnicas de coleta de dados utilizadas foram entrevistas, observação, registros empresariais e documentos como relatórios e estudos.

4. DIRECIONAMENTO PARA O SISTEMA DE INFORMAÇÃO

Os centros de reaproveitamento devem coletar dados desde o início da operação, para que eles possam partir tomar decisões amparadas quantitativamente. Sugere-se que esse levantamento de dados seja realizado em conjunto com o preenchimento dos documentos do próprio processo de transformação dos veículos em fim de vida útil – aquisição, recebimento, liberação, despoluição, desmontagem, análise da qualidade, armazenamento e saída. Sendo assim, a Figura 2 reforça quais são esses documentos e em que atividades eles são elaborados ou obtidos.

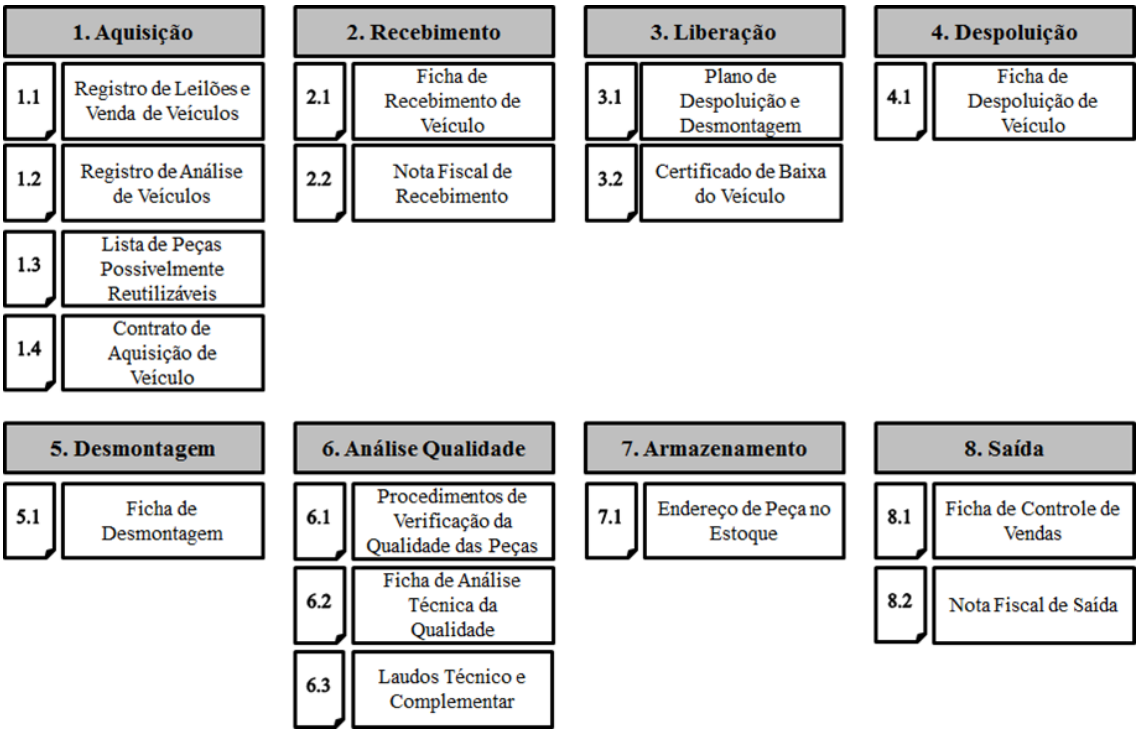


Figura 2: Documentos do processo de reaproveitamento de veículos leves proposto
Fonte: Coelho, 2017

Esses documentos são apenas registros físicos do que deve ser inserido nos sistemas de controle operacional e/ou de fiscalização do DETRAN-DF. O modelo optou por essa orientação visto que não há disponibilidade de um computador por área de operação, tampouco por colaborador, e que as condições da Internet podem não ser as mais desejáveis.

Yi e Park (2015) solicitam que haja um *tablet* nas áreas de transformação para coleta de dados, mas o modelo não considera ser fundamental para o estágio inicial. Sendo assim, para evitar que os dados sejam perdidos por qualquer motivo, o modelo propõe que os documentos sejam em versão física, para preenchimento manual no local da operação, e que, em seguida, tenham seus dados digitalizados no computador da área administrativa do centro de reaproveitamento.

Cada um dos documentos é responsável pelo registro de diferentes dados, que normalmente são específicos para um veículo, que está em transformação no momento do preenchimento. Após a repetição da coleta desses dados para um grupo de veículos, eles podem ser consolidados e, então, é possível obter informações que são importantes para o gerenciamento do centro de reaproveitamento e para o cálculo das variáveis-chave identificadas no diagrama de laço causal, mostrado anteriormente. Sendo assim, a Tabela 1 apresenta, a partir dos documentos de registro, quais os dados coletados e as informações que podem ser consolidadas.

Tabela 1: Dados coletados por documento de registro

Documentos de Registro	Dados Coletados	Informações Consolidadas
1.1 Registro de Leilões e Venda de Veículos		- lista de instrumentos de divulgação de leilões e venda de veículos para desmontagem - frequência de atualização dos instrumentos listados
1.2 Registro de Análise de Veículos	- dados do veículo analisado - dados do leilão ou do local de venda do veículo analisado - parecer da análise da documentação do veículo - parecer da análise das condições técnicas do veículo	- total de veículos analisados *- taxa de veículos com documentação regularizada* *- taxa de veículos com boas condições técnicas*
1.3 Lista de Peças Possivelmente Reutilizáveis	- peças possivelmente reutilizáveis do veículo	- lista de peças mais recorrentes como possivelmente reutilizáveis
1.4 Contrato de Aquisição de Veículo	- dados do veículo (proprietário, montadora, modelo, placa, RENAVAM) - valor do veículo adquirido - local de origem do veículo - data de aquisição - data de saída do local de origem	*- taxa de veículos adquiridos fora do DF* - valor médio de aquisição dos veículos em fim de vida - local de origem mais recorrente
2.1 Ficha de Recebimento de Veículo	- data de recebimento no destino do veículo - horário de início da verificação para recebimento - horário de término da verificação para recebimento - parecer da verificação para recebimento do veículo - data da solicitação do Certificado de Baixa do veículo	*- tempo de trajeto* *- tempo de verificação recebimento* *- taxa de aprovação da verificação do veículo*
2.2 Nota Fiscal de Recebimento	- número da nota fiscal de recebimento do veículo	
3.1 Plano de Despoluição e Desmontagem	- orientações para despoluição e desmontagem, específicas para o veículo, com base no modelo	
3.2 Certificado de Baixa do Veículo	- data de obtenção do Certificado de Baixa do veículo	*- tempo de emissão da baixa do veículo*

continua

continuação

Documentos de Registro	Dados Coletados	Informações Consolidadas
4.1 Ficha de Despoluição de Veículo	- horário de início da despoluição - horário de término da despoluição - volume dos fluidos recolhidos	*- produtividade dos recursos despoluição* - quantidade de volume médio de fluidos no centro de reaproveitamento - espaço necessário para armazenamento de fluidos
5.1 Ficha de Desmontagem de Veículo	- horário de início da desmontagem - horário de término da desmontagem - quantidade de peças desmontadas	*- produtividade dos recursos desmontagem*
6.1 Procedimentos Verificação Qualidade das Peças		- requisitos de qualidade para reutilização peças - verificações capazes de atestá-las e os seus níveis de aceitação
6.2 Ficha de Análise Técnica da Qualidade	- horário de início da análise técnica da qualidade - horário de término da análise técnica da qualidade - quantidade de peças analisadas - parecer de classificação das peças desmontadas em reutilizáveis, não reutilizáveis ou passíveis de reutilização - horário de início do tratamento das peças passíveis de reutilização - horário de término do tratamento das peças passíveis de reutilização - parecer de classificação das peças tratadas em reutilizáveis ou não reutilizáveis - parecer da estratégia de gerenciamento para não reutilizáveis	*- produtividade dos recursos da análise técnica* *- taxa de aprovação da desmontagem* *- taxa de reprovação da desmontagem* *- taxa passíveis de reutilização* *- produtividade dos recursos do tratamento* *- taxa de aprovação tratamento* *- taxa de reprovação tratamento* *- histórico de peças encaminhadas para estratégia de gerenciamento*
6.3 Laudos Técnico e Complementar	- descrição do processo de reaproveitamento do veículo	
7.1 Endereço de Peça no Estoque	- entrada e endereço de peças reutilizáveis	*- estoque de peças reutilizáveis*
8.1 Ficha de Controle de Vendas	- data de divulgação peça reutilizável no e-commerce - número de clientes que procuraram o e-commerce - número de clientes atendidos pelo centro no e-commerce - número de clientes que procuraram o centro em venda direta - número de clientes atendidos pelo centro em venda direta - peças vendidas - valor de venda da peça	*- demanda de peças reutilizáveis no centro* *- nível de serviço do centro* *- histórico de peças vendidas* *- giro médio do estoque* - valor médio de venda das peças
8.2 Nota Fiscal de Saída	- número da nota fiscal de saída do veículo	

Fonte: Coelho, 2017

Parte das informações consolidadas mostradas na Tabela 1 estão em destaque porque representam as variáveis-chave do processo e, por isso, elas serão descritas detalhadamente.

4.1. Taxa de veículos com documentação regularizada e em boas condições técnicas

O documento de Registro de Análise de Veículos arquiva os dados sobre a pesquisa que é realizada pelo centro de reaproveitamento para aquisição de veículos leves em fim de vida útil. A partir desse registro de todos os veículos analisados, é possível calcular a taxa de veículos com documentação regularizada e a de veículos em boas condições técnicas, conforme mostram as Equações 1 e 2, respectivamente.

$$\text{Taxa de veículos com doc. regularizada} = \frac{\text{Total de veículos com doc. regularizada}}{\text{Total de veículos analisados}} \quad (1)$$

$$\text{Taxa de veículos com boas cond. técnicas} = \frac{\text{Total de veículos com boas cond. técnicas}}{\text{Total de veículos analisados}} \quad (2)$$

Sabe-se que essas taxas são apenas para o centro de reaproveitamento na qual a coleta de dados será realizada, mas elas já podem indicar uma estimativa em relação às do mercado inteiro.

4.2. Taxa de veículos adquiridos fora do DF

Do total de veículos adquiridos, parte tem o local de origem fora do DF. Isso ocasiona impactos – a necessidade de terceiro para obtenção, de transporte para recebimento, tempo de espera para recebimento – que podem, inclusive, inviabilizar a obtenção do veículo em fim de vida útil. A partir do local de origem contido no documento de Contrato de Aquisição de Veículo de todos os veículos adquiridos, é possível calcular a Taxa de veículos adquiridos fora do DF de acordo com a Equação 3.

$$\text{Taxa de veículos adquiridos fora do DF} = \frac{\text{Total de veículos adquiridos fora do DF}}{\text{Total de veículos adquiridos}} \quad (3)$$

4.3. Tempo de trajeto

É interessante conhecer o tempo de trajeto do transporte de um veículo para, em estágios posteriores, o centro de reaproveitamento poder realizar atividades de planejamento e controle da produção, a partir do prazo para chegada de um veículo comprado em determinada localidade. Ele pode ser calculado pela subtração da data de recebimento do veículo no destino pela data de saída do local de origem (Equação 4), dados contidos nos respectivos documentos: Ficha de Recebimento de Veículo e Contrato de Aquisição de Veículo.

$$\text{Tempo de trajeto de transporte} = \text{Data de recebimento no destino} - \text{Data de saída da origem} \quad (4)$$

4.4. Tempo e taxa de aprovação da verificação de recebimento

A primeira tarefa da atividade de recebimento é a verificação do veículo recebido e da sua documentação em relação ao Contrato de Aquisição de Veículo. Ela é realizada com a Lista de Peças Possivelmente Reutilizáveis, inicialmente preenchida justamente na atividade de aquisição. Na Ficha de Recebimento de Veículo, então, são registrados os dados de início e término dessa verificação, bem como o seu parecer (aprovado ou reprovado). Sendo assim, é possível calcular o tempo de verificação e a taxa de aprovação dessa verificação de acordo com as Equações 5 e 6, respectivamente.

$$\text{Tempo da verificação do recebimento} = \text{Término da verificação} - \text{Início da verificação} \quad (5)$$

$$\text{Taxa de aprovação da verificação do receb.} = \frac{\text{Total de veículos aprovados na verificação}}{\text{Total de veículos verificados}} \quad (6)$$

4.5. Tempo de emissão do certificado de baixa do veículo

O tempo de emissão do Certificado de Baixa do Veículo pelo DETRAN-DF pode ser calculado através da diferença da data da solicitação do Certificado de Baixa do veículo registrada na Ficha de Recebimento de Veículo e da data de obtenção do Certificado de Baixa do veículo, expressa no próprio documento. A Equação 7 identifica a operação.

$$\text{Tempo de emissão do Certif. Baixa} = \text{Data da solicitação} - \text{Data da obtenção do Certif. Baixa} \quad (7)$$

Conforme comentado, esse tempo é importante tendo em vista que obriga o centro de reaproveitamento a permanecer com o veículo estocado, visto que é proibido desmontar veículos que não possuam esse documento.

4.6. Produtividade dos recursos de despoluição, desmontagem, análise técnica e tratamento

As produtividades dos recursos das atividades de transformação – despoluição, desmontagem, análise técnica e tratamento – podem ser calculadas tendo em vista a quantidade de veículos ou peças que eles conseguem processar por unidade de tempo determinada, obtida das Fichas de Despoluição, de Desmontagem e de Análise Técnica da Qualidade de Veículo.

$$\text{Produtividade dos recursos} = \frac{\text{Total de veículos ou peças transformados}}{\text{Tempo determinado dos recursos de transformação}} \quad (8)$$

A consolidação desses dados pode contribuir com a avaliação de custo e benefício que o modelo sugere que seja feita para a aplicação das técnicas de renovação, reparação, recondicionamento e de novos testes de verificação da qualidade, por exemplo.

4.7. Taxas de aprovação, de reprovação; de peças passíveis de reutilização da desmontagem e taxa de aprovação do tratamento

A análise da qualidade prevê um documento chamado Ficha de Análise Técnica da Qualidade do Veículo, na qual são registrados as quantidades de peças e os pareceres de classificação após a realização dos testes de verificação da qualidade, bem como os dados similares referentes à aplicação das técnicas de tratamento nas peças passíveis de reutilização.

As taxas de aprovação, reprovação e de peças passíveis de reutilização da desmontagem podem ser calculadas de acordo com as Equações 9, 10 e 11. Observa-se que elas são complementares e, portanto, o somatório delas é igual a 1.

$$\text{Taxa de aprovação da desmontagem} = \frac{\text{Total de peças aprovadas na desmontagem}}{\text{Total de peças retiradas de veículos}} \quad (9)$$

$$\text{Taxa de reprovação da desmontagem} = \frac{\text{Total de peças reprovadas na desmontagem}}{\text{Total de peças retiradas de veículos}} \quad (10)$$

$$\text{Taxa peças passíveis de reutilização} = 1 - \text{Taxa aprovação} - \text{Taxa reprovação desmontagem} \quad (11)$$

Já a taxa de aprovação do tratamento, considera apenas as peças passíveis de reutilização que passaram por tratamento (renovação, reparação, recondicionamento) e, então, novos testes de verificação da qualidade foram realizados para classificação definitiva em peças reutilizáveis (aprovadas) ou não reutilizáveis (reprovadas). O raciocínio de cálculo utilizado é similar ao anterior, mas é mostrado nas Equações 12 e 13 abaixo.

$$\text{Taxa de aprovação do tratamento} = \frac{\text{Total de peças aprovadas após tratamento}}{\text{Total de peças passíveis de reutilização}} \quad (12)$$

$$\text{Taxa de reprovação do tratamento} = 1 - \text{Taxa de aprovação do tratamento} \quad (13)$$

4.8. Demanda de peças reutilizáveis do centro, histórico de peças reutilizáveis vendidas e nível de serviço do centro

A demanda total de peças reutilizáveis existente no DF é uma variável exógena ao centro de reaproveitamento, entretanto, a sua parcela específica pode ser estimada a partir do número de clientes que o procuraram, seja pelo e-commerce ou pela venda direta. Esse dado é registrado na Ficha de Controle de Vendas.

Já as peças reutilizáveis vendidas, registradas no mesmo documento e confirmadas pela emissão da nota fiscal, indicam a parte da demanda que procurou o centro de reaproveitamento e foi atendida. A partir destas duas informações é possível calcular o nível de serviço do centro, conforme a Equação 14 indica.

$$\text{Nível de serviço do centro} = \frac{\text{Número de clientes interessados e atendidos}}{\text{Total de clientes interessados}} \quad (14)$$

4.9. Estoque de peças reutilizáveis e giro de estoque do centro

As peças reutilizáveis em estoque são registradas no documento de Endereço de Peça no Estoque, desde o armazenamento até que sejam vendidas. Pode ser que essa informação sinalize um grupo de materiais que simplesmente não é procurado. Nesse caso, orienta-se que outras estratégias de gerenciamento sejam selecionadas a ele.

A partir desse dado é possível calcular o estoque médio de peças por determinado período de tempo e, consequentemente, com a informação do número de peças vendidas no mesmo tempo, o giro de estoque do centro de reaproveitamento (Equação 15). Esses dados são diretamente utilizados para a tomada de decisão sobre a aquisição ou não de veículos em fim de vida como matéria prima.

$$\text{Nível de serviço do centro} = \frac{\text{Peças reutilizáveis vendidas}}{\text{Estoque médio de peças reutilizáveis}} \quad (15)$$

Esse conhecimento permite que o empresário se atente à formação de estoque e não imobilize recursos em estoque nos períodos de baixa demanda, por exemplo.

4.10. Peças encaminhadas para estratégia de gerenciamento

A informação sobre as peças não reutilizáveis encaminhadas para a estratégia de gerenciamento é obtida da Ficha de Análise Técnica da Qualidade, que registra a definição da estratégia a ser tomada para as peças dessa classificação. A determinação do volume desse tipo de material é importante para posterior fortalecimento da cadeia de reaproveitamento, visto que pode comprovar a existência de demanda para empresas de reciclagem, recuperação ou destinação final adequada.

Sobre o controle das informações de uma maneira geral, não é a intenção desse artigo esgotar as orientações sobre as melhores alternativas para o centro de reaproveitamento, mas apenas dar direcionamentos aos interessados em implementar o modelo proposto e aos trabalhos futuros. De toda forma, uma última consideração merece destaque e ela diz respeito à integração entre os sistemas de informação.

Tudo o que foi proposto no modelo é com o intuito de melhorar o gerenciamento da sua operação, entretanto, os objetivos do DETRAN-DF são outros, relacionados à fiscalização de determinadas atividades. Sendo assim, pode ser que nem todas as informações coletadas precisem ser registradas no sistema de informação do órgão executivo de trânsito.

Nesse contexto, ressalta-se a importância de integração entre os sistemas, para que os dados registrados no sistema de controle operacional necessários ao DETRAN-DF sejam simplesmente encaminhados, sem qualquer atividade repetitiva de digitação. Por isso, o modelo orienta que o sistema próprio do centro de reaproveitamento seja escolhido de acordo com a sua possibilidade de comunicação com o do órgão executivo de trânsito.

A Figura 3 ilustra a integração esperada entre o sistema de controle operacional próprio, no qual são inseridos os dados dos documentos preenchidos no processo de reaproveitamento de veículos leves em fim de vida útil e o sistema de fiscalização do DETRAN-DF.

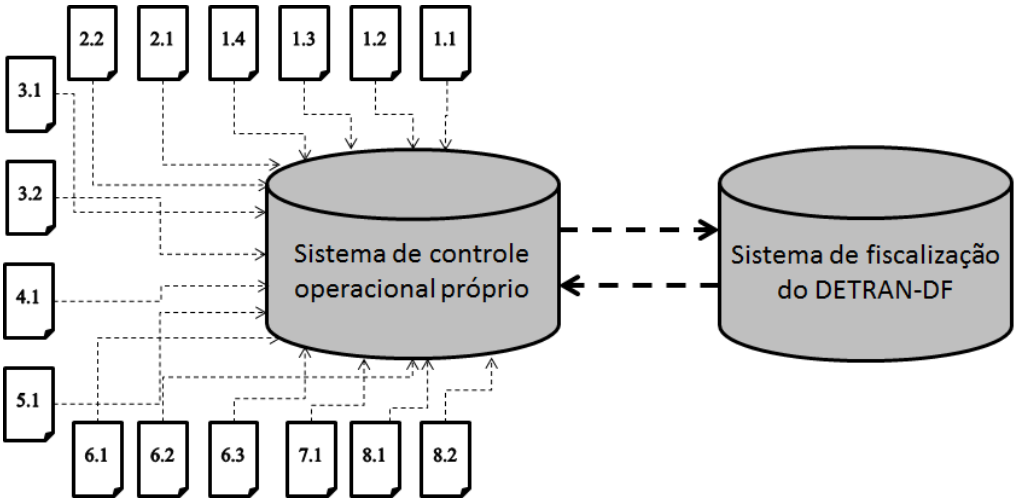


Figura 3: Integração dos sistemas de informação do centro de reaproveitamento proposto

Fonte: Coelho, 2017

Dessa maneira, o controle das informações atende à característica de integração, reforçada por Coelho *et al.*, (2016) quando analisaram o sistema de informação do DETRAN-SP.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O artigo atendeu ao objetivo definido de apresentar direcionamentos para um sistema de informação para a logística reversa de veículos em fim de vida útil em um centro de reaproveitamento considerando as exigências legais aplicáveis, as boas práticas internacionais e nacionais e as peculiaridades do local delimitado (Distrito Federal). De toda forma, é necessário ressaltar alguns aspectos relacionados ao contexto de implementação de um sistema de informação dessa natureza e que a tornam um desafio, bem como sugerir pesquisas futuras.

Diversos são os atores no processo de reaproveitamento de veículos em fim de vida útil. Parte deles dizem respeito à normatização, implementação e controle das informações contidas no sistema: DETRAN, DENATRAN, CONTRAN, Secretarias da Fazenda e de Segurança Pública. Outra parte está relacionada às atividades da cadeia de logística reversa dos veículos em si: empresas de desmontagem, recondicionamento, comercialização, reciclagem, leiloeiros, distribuidores de etiquetas e consumidores. Sendo assim, é necessário envolvimento entre esses atores, de modo a cumprir as condições normativas com integração de sistemas.

Também é importante pontuar as seguintes necessidades e dificuldades: integração de bancos de dados das atividades realizadas dentro dos centros e entre os diferentes atores; existência de bancos de dados com funções de consolidação das informações de variados centros de reaproveitamento e divulgação para interessados (clientes); modelagem e implementação de fluxos de controle e fiscalização; utilização de tecnologia para melhorar o compartilhamento de informação.

Dessa maneira, fica claro que o artigo apenas inicia a discussão de um assunto emergente no país e que ainda pode se disseminar por diferentes pesquisas. Nesse sentido, primeiramente propõe-se que sejam estudadas as condições dos centros de reaproveitamento de outros estados no que diz respeito a sistemas de informação, no intuito de compará-las às do Distrito Federal e verificar quais as diferenças e similaridades de direcionamentos propostos.

Em seguida, é possível analisar e discutir quais as possibilidades de integração nacional dos sistemas de informação dos centros de reaproveitamento e quais os benefícios oriundos dessa condição. E, por fim, prevê-se a necessidade de aprofundamento da pesquisa para um nível de aprofundado detalhamento desses sistemas de informação, para que eles sejam realmente desenvolvidos e implementados de maneira satisfatória e, portanto, que atendam às expectativas de melhoria na gestão da LR dos veículos em fim de vida útil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. (2010) *Lei n. 12.305, de 02 de agosto de 2010*. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei 9605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

BRASIL. (2014) *Lei n. 12.977, de 20 de maio de 2014*. Regula e disciplina a atividade de desmontagem de veículos automotores terrestres; altera o art. 126 da Lei 9503, de 23 de setembro de 1997 – Código de Trânsito Brasileiro; e dá outras providências.

COELHO, L. L. G. A.; GONZALES-TACO, P. W.; FONSECA, A. P. (2016) *Análise do sistema de informação da logística reversa de veículos em fim de vida útil proposto por legislação para o estado de São Paulo.* XXX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET. Logística, Sistema de Informação e Simulação em Logística. Rio de Janeiro.

COELHO, L. L. G. A. (2017). *Proposta de Modelo de Centro de Reaproveitamento para Veículos Leves em Fim de Vida Útil: Análise do Distrito Federal* T.DM-004/2017, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 135p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. *Instrução Normativa n. 13, de 18 de dezembro de 2012*.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. *Resolução n. 362, de 23 de junho de 2005*. Dispõe sobre o recolhimento, coleta e destinação final de óleo lubrificante usado ou contaminado.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. *Resolução n. 401, de 4 de novembro de 2008*. Estabelece os limites máximos de chumbo, cádmio e mercúrio para pilhas e baterias comercializadas no território nacional e os critérios e padrões para o seu gerenciamento ambientalmente adequado, e dá outras providências.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. *Resolução n. 416, de 01 de outubro de 2009*. Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambiental adequada, e dá outras providências.

CONTRAN. (2015) Resolução 530, de 14 de maio de 2015. Regulamenta a Lei nº 12.977, de 20 de maio de 2014, que regula e disciplina a atividade de desmontagem de veículos automotores terrestres.

DAUGHERTY P. J.;MYERS, M, Richey R. (2002) *Information support forreverse logistics: the influence of relationship commitment*. J BusLogist 23(1):85–106.

DETRAN. (2015) *Portaria 510, de 16 de novembro de 2015*.

DRESCH, A; LACERDA, D. P.; ANTUNES, J. A. V. (2015) Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. Porto Alegre: Bookman.

LAMBERT, S.; RIOPEL, D.; ABDUL-KADER, W. (2011) *A reverse logistics decisions conceptual framework. Computers and Industrial Engineering*, 61(11), 561 – 581.

LANGNAU, L. (2001) *Winning with returns*. Material Handling Management, 56(3), MHS13–MHS14.

LEE, C. K. M.; LAM, J. S. L. (2012) *Managing reverse logistics to enhance sustainability of industrial marketing.* Industrial Marketing Management. 41 (12), 589 – 598

ROGERS, D. S.; TIBBEN-LEMBKE, R. S. (1999) *Going backawards: reverse logistics trends and practices*. Pittsburg, PA: Reverse Logistics Executive Council.

SÃO PAULO. (2014) *Lei 15.276, de 02 de janeiro de 2014*. Dispõe sobre a destinação de veículos em fim de vida útil e dá outras providências.

SÃO PAULO. (2014) *Decreto 60.150, de 13 de fevereiro de 2014*. Regulamenta a Lei nº 15.276, de 02 de janeiro de 2014, que dispões sobre a destinação de veículos em fim de vida útil.

SHI, X. [et al.] (2012) Information flow in reverse logistics: and industrial information integration study. Inf Technol Manag 13, 217 – 232.

YI, H. C.; PARK, J. W. (2015) *Design and implementation of an End-of-Life vehicle recycling center based on IoT (Internet of Things) in Korea*. Procedia CIRP, v. 29, p. 728–733.

YUAN, Q; CHENG, G. (2009) An empirical study of the influence of level of application of information technology to the reverse logistics performance. Oper Manage 21:98–120.

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO CANAL DO PANAMÁ NA LOGÍSTICA DE ESCOAMENTO DA SOJA BRASILEIRA

Harlenn dos Santos Lopes
Renato de Palma Llorca
Daniel Augusto Lino Aguiar
Renato da Silva Lima
Universidade Federal de Itajubá
Instituto de Engenharia de Produção e Gestão
Alexandre Lima Marques da Silva
Universidade Federal de Alagoas

RESUMO
Este artigo analisou a influência do Canal do Panamá na Logística de escoamento da soja brasileira. O Canal do Panamá concluiu suas obras de expansão em junho de 2016 e restrições de filas e capacidades de navios foram alteradas. As análises foram realizadas para a soja destinada à China. Cenários foram construídos para avaliar comparativamente a utilização desta rota em relação à rota tradicional, que transporta a soja por rotas marítimas via passagem pelo Cabo da Boa Esperança. Baseado no problema de transporte, foi construído um modelo baseado em Programação Linear, onde foram considerados os principais portos exportadores de soja e analisados seus custos com base em dois métodos de cálculo propostos. Verificou-se a baixa influência atual do Canal na logística de escoamento da soja brasileira para a China. Pelo método dos custos máximos e mínimo proposto, o Canal torna-se competitivo para os Portos localizados ao Norte do Brasil. O desenvolvimento da infraestrutura interna brasileira, permitirá análises integradas, das fazendas produtoras ao destino final, o que poderia tornar mais atrativa, em custos e operacionalidade, a rota pelo Canal do Panamá.

ABSTRACT
This article measures the Panama Canal impacts on Brazilians soybean logistics. The Panama Canal finished its expansion in June/2016 and queue constraints and vessel's sizes were changed. The analyses were made for China as the soybean final destination. Some scenarios were built up to compare the use of Panama Canal instead of the traditional route, the Cape of Good Hope. Based on transport problem, a mathematical model of linear programming was created, within which were considered the main Brazilians ports, and their costs to export soybean in two different calculation methodologies. The current low influence of the Canal on the logistics of Brazilian soybean flow to China was verified. By the method of maximum and minimum costs proposed, the Channel becomes competitive for the Ports located in the North of Brazil. The development of the Brazilian internal infrastructure will allow integrated analyzes, from farms to final destination, which could make the route through the Panama Canal more attractive in terms of costs and operationality.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é líder na exportação de soja em grão. Em 2016, foram exportadas 51,59 milhões de toneladas (Ton.) deste produto (SALIN, 2017; ALICEWEB, 2017). Em 2017, há a previsão de exportação de 57,5 milhões de toneladas de soja e que o Brasil continue sustentando sua posição de liderança em exportação do grão (SALIN, 2017; ABIOVE, 2017; MAPA, 2017).

A matriz de exportações brasileira é caracterizada por produtos de baixo valor agregado em que se destacam os minérios e os produtos agrícolas, onde insere-se a soja em grão. Estima-se que somente o agronegócio represente mais de 33% das riquezas produzidas no território nacional, com a soja ocupando um lugar de destaque e fazendo do Brasil o segundo maior produtor e maior exportador mundial do grão (SALIN, 2017).

Para o Brasil, o complexo da soja (conjunto de cadeias produtivas relacionadas à produção, comercialização e transporte do grão) tem expressiva importância, pois movimenta um amplo número de agentes e organizações ligados aos mais diversos setores socioeconômicos, como empresas de pesquisa e desenvolvimento, fornecedores de insumos, indústrias de máquinas e equipamento, produtores rurais, cooperativas agropecuárias, cooperativas agroindustriais, processadoras, produtores de óleo, fabricantes de ração e usinas de biodiesel, dentre outras. Este complexo é um vital gerador de riquezas, empregos e divisas, se transformando em um dos principais vetores de desenvolvimento regional do País (HIRAKURI e LAZARATTO, 2014).

A China é o principal país importador da soja brasileira, correspondendo a 74,76% de toda a soja exportada pelo Brasil em 2016 (ALICEWEB, 2017). O consumo de soja da China é o mais alto do mundo, fazendo com que importe 87% do que consome anualmente (em torno de 6,5 vezes a produção do país), o que a torna extremamente dependente da terceirização da produção de outros países produtores (HIRAKURI e LAZAROTTO, 2014).

Uma vez que a soja é uma *commodity* precificada no mercado internacional, não é possível o controle sobre seu preço de venda, sendo qualquer atuação relacionada ao aumento da margem limitada à gestão de custos e operações, o que cria maiores desafios relacionados à logística voltada ao escoamento da produção. O crescimento das exportações de soja nos últimos anos, tornando-a o principal produto agrícola brasileiro, adicionado à distância das áreas de plantações aos portos exportadores, oferecem o desafio relacionado à necessidade de realização de trabalhos voltados à análise dos principais problemas logísticos encontrados no escoamento da soja brasileira para o mercado externo (FIORONE *et al.*, 2015).

Atualmente, a soja é escoada para o mercado externo principalmente pelos Portos das regiões Sul e Sudeste, sendo Santos, no estado de São Paulo, Paranaguá, no estado do Paraná e Rio Grande, no estado do Rio Grande do Sul os principais portos exportadores do Brasil (ALICEWEB, 2017, LOPES e LIMA, 2017). Entretanto, nos últimos anos, verifica-se o crescimento de portos mais ao Norte do Brasil, como Itacoatiara, Santarém, Vila do Conde e Itaqui. O governo federal prevê e vem implantando diversas obras para ampliação, desenvolvimento e criação de alternativas de transportes para o escoamento de grãos por estes portos. No que se refere ao mercado Chinês, os portos ao Norte possuem ainda baixo percentual de exportação, uma vez que as rotas oriundas dos Portos do Sul possuem menores distâncias no trajeto tradicional, pelo Oeste do Oceano Pacífico, com a passagem pelo Cabo da Boa Esperança. Em julho de 2016, foi concluída a expansão do Canal do Panamá. Esta expansão busca a redução de filas e diminuem as restrições a navios graneleiros. Neste contexto, a exportação a partir dos Portos ao Norte do Brasil passa a ter uma nova alternativa de transporte marítimo. A análise desta alternativa é escopo desta pesquisa.

Este artigo tem o propósito de analisar a influência da expansão do Canal do Panamá para o escoamento da soja brasileira destinada à China. A partir de modelagem baseada em programação linear, baseada no problema de transporte, foram realizadas análises comparativas em termos de custos, entre a exportação de soja pela rota tradicional (passagem pelo Cabo da Boa Esperança) e a potencial rota utilizando o Canal do Panamá. Cenários comparativos foram realizados a partir da expedição nos principais portos brasileiros exportadores de soja, a fim de se avaliar a efetividade potencial da utilização do Canal do Panamá.

2. A LOGÍSTICA DE EXPORTAÇÃO DA SOJA BRASILEIRA E A EXPANSÃO DO CANAL DO PANAMÁ

Nas últimas décadas, a produção de soja está entre as atividades econômicas que apresentaram crescimentos mais expressivos no Brasil e no mundo. A Figura 1 apresenta a produção de soja no Brasil, no ano de 2014, em nível de microrregiões brasileiras.

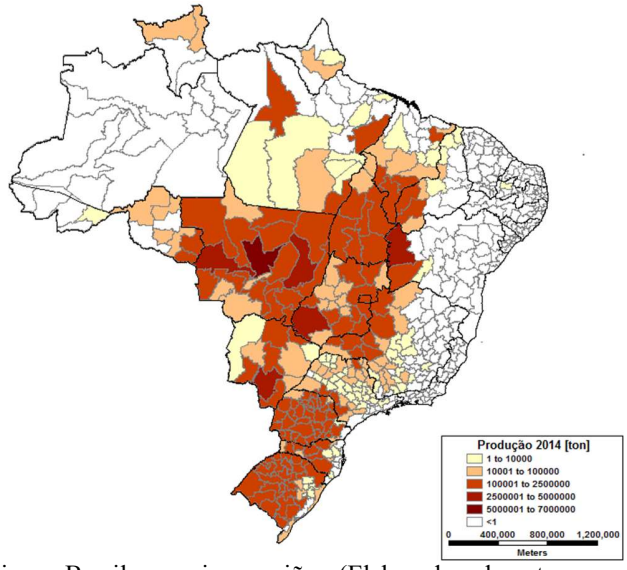


Figura 1: Produção de soja, no Brasil, por microrregiões. (Elaborado pelo autor, com base em SIDRA, (2017)).

A partir da Figura 1, percebe-se que a produção de soja se concentra no interior do Brasil, percorrendo em média 1000 quilômetros (km) da região produtora até determinado Porto exportador. Centro-Oeste e Sul são as maiores regiões produtoras, seguidas pelo Sudeste, Nordeste e Norte, em menor proporção, conforme mostra a Figura 2, nos percentuais de produção em cada região brasileira. Dos 95,75 milhões de toneladas produzidos no ano de 2016, as duas regiões juntas produziram 79,30 milhões de toneladas (cerca de 82,83% da produção total).

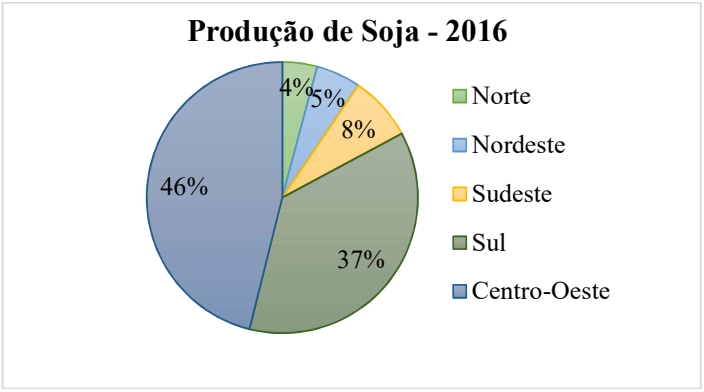


Figura 2: Percentual de produção de soja, por Região brasileira, em 2016. Fonte: ALICEWEB (2017)

No Brasil, em 2016, foram 16 os portos exportadores de soja (ALICEWEB, 2017). Para o modelo construído, foram considerados 10 Portos brasileiros, por causa de localizações portuárias

adjacentes. A Tabela 1 apresenta os portos considerados neste trabalho, a exportação de soja brasileira, por porto, o quantitativo e a parcela destinada à China, no ano de 2016.

Tabela 1: Exportação de soja, por Porto brasileiro, em 2015 – Total e percentual exportado para a China. Fonte: ALICEWEB (2017).

Porto brasileiro	Total de soja Exportada (Ton.)	Total exportado para a China (Toneladas)	Percentual de exportação para a China (%)
Itacoatiara	1.974.313	384.371	19,5%
Santarém	1.695.169	663.868	39,2%
Vila do Conde	2.187.261	633.458	29,0%
Itaqui	3.850.196	2.246.318	58,3%
Salvador	1.469.611	824.017	56,1%
Vitória	2.944.967	2.401.443	81,5%
Santos	14.475.763	11.825.003	81,7%
Paranaguá	8.157.251	7.213.409	88,4%
São Francisco do Sul	5.027.400	3.957.312	78,7%
Rio Grande	9.704.071	8.414.709	86,7%
Outras formas de exportação	95.873	-	-
TOTAL	**51.581.875**	**38.563.909**	

A China é atualmente o principal destino da soja brasileira. A partir de dados da Tabela 1, verifica-se que aproximadamente 88% da soja brasileira destinada ao país, é exportada pelos Portos do Sul e Sudeste brasileiro. Este fato se dá tanto pela maior proximidade dos portos ao Sul à China, pelas rotas tradicionais, como também pelas melhores infraestruturas portuárias existente e pela logística interna brasileira, que possui maior eficiência aos Portos ao Sul.

Entre as rotas marítimas existentes, a mais utilizada entre o Brasil e a China passa pelo Cabo da Boa Esperança. Esta rota possui menores restrições de tamanho para navios graneleiros, e não tem taxas relacionadas à travessia. Uma outra rota alternativa utiliza a passagem pelo Canal de Suez. Esta rota também apresenta menores restrições quanto ao tamanho de navios graneleiros, entretanto, seu caminho é maior até os portos chineses. Esta rota em particular é utilizada para atender as importações do Oriente Médio e de alguns países Europeus.

O Canal do Panamá se apresenta como mais uma alternativa para o escoamento da soja brasileira. Em 2006, a Autoridade do Canal do Panamá (ACP) apresentou ao Presidente da República a proposta de expansão do Canal visando atender as demandas futuras, garantir a competividade do Canal sobre outras rotas marítimas assim como o aumento das contribuições do Canal ao Estado panamenho (NAVARRO, 2015). A obra de ampliação do Canal do Panamá teve como principal foco a criação de um novo sistema de eclusas passando pelo canal, paralelo as vias de tráfego já existentes. Santos (2014) estima que com o novo sistema de eclusas a capacidade máxima, de 290 milhões de toneladas anuais passe para 600 milhões de toneladas anuais, em 2017 (SANTOS, 2014). Uma vez que a capacidade do canal seja dobrada como planejado, maiores navios poderão atravessar o canal (KO; KARIMI; MOHAMMADIAN, 2014). A expansão do Canal do Panamá também focou atrair cada segmento do mercado de modo que a demanda seja dobrada (PROTOPAPAS *et al*, 2015).

O Canal do Panamá teve sua ampliação concluída em junho de 2016. Além da maior capacidade de travessia, a expansão do Canal busca a redução do tempo médio dos navios para sua travessia. Sendo o Canal do Panamá um dos focos dessa pesquisa, os estudos realizados se limitaram apenas aos navios que podem atravessar as eclusas do canal. A Tabela 2 apresenta os navios com maior capacidade de carga aptos a cruzar as antigas e as novas eclusas.

Tabela 2: Navios aptos a cruzar as eclusas do Canal do Panamá.

Navio	DWT
Panamax	80.000
Neo-Panamax	120.000

O Navio *Panamax* é capaz de navegar apenas no antigo jogo de eclusas, enquanto que o *Neo-Panamax* possui as dimensões máximas permitidas ao terceiro jogo de eclusas. A Autoridade do Canal do Panamá (ACP) permite atravessar a nova eclusa apenas os navios que tenham até 366m de comprimento, 49m de largura e 15,2m de calado (PROTOPAPAS *et al*, 2014). Segundo Peeta *et al.* (2017), quanto maior a capacidade do navio menores são os custos operacionais para cargas e taxas marítimas. Portanto, o *Neo-Panamax* se apresenta como a melhor opção, no que se refere à de capacidade de carga, para o transporte de cargas através do canal. Assim, para efeito comparativo ele será utilizado nas análises a seguir.

3. MODELAGEM DO SISTEMA ESTUDADO

Goldbarg e Luna (2005) explicam que um modelo não é igual à realidade, mas é suficientemente similar para que as conclusões obtidas por meio de sua análise e operação possam ser estendidas à realidade. Problemas que envolvem a distância entre origens e destinos geralmente são resolvidos com o uso do modelo de transporte. O modelo de transporte visa minimizar o custo total necessário para abastecer n clientes (destinos) a partir de m centros fornecedores (origens). As restrições do modelo são feitas com base nas quantidades disponíveis, ou oferta de cada origem e as quantidades requeridas, ou demanda de cada destino.

Os modelos de otimização são utilizados quando existe o interesse em encontrar a alternativa que melhor atenda a um objetivo predeterminado. Esses modelos são formulados com a finalidade de determinar valores para um conjunto de variáveis de decisão que irão maximizar ou minimizar uma função objetivo sujeita a restrições. Neste trabalho será utilizada a Programação Linear, numa aplicação do problema de transporte, baseando-se na metodologia proposta por Arenales *et al* (2012), incorporando variáveis específicas do sistema estudado. As simulações serão realizadas no *software* Excel, através da ferramenta *Solver*.

Matematicamente, deve ser apresentado o menor resultado *Z*, que representa o custo total da operação. Os custos considerados no modelo são: o custo de transporte marítimo, o custo de tarifas a pagar ao utilizar um Canal controlado por uma concessionária, e o custo de espera que o navio terá ao estar parado em uma fila esperando o momento de atravessar as eclusas. O modelo pode ser descrito de acordo com as equações (1), (2), (3), (4) e (5):

Variáveis:
Xi = quantidade de navios saindo de um porto através de uma determinada rota
$Minimizar\ Z = \sum (Ci \times Xi)$ (1)

Onde:
$Ci = Ct + Cp + Ce$ (2)

Sujeito à:
$\sum Xi \leq Di$ (3)
$\sum Xi \leq Ki$ (4)

Tal que:
$Xi \geq 0$ (5)

Onde:
Ct = custo de transporte marítimo, em US$
Cp = custo de pedágio, em US$
Ce = custo de espera, em US$
Di = demanda do cliente por porto
Ki = capacidade de exportação por porto

4. COMPOSIÇÃO DE CUSTOS

A partir do modelo, serão construídos cenários para o entendimento da influência do Canal do Panamá na logística da soja brasileira. Assim, é primeiramente necessário definir os custos componentes do modelo.

4.1. Custo Marítimo

O custo de transporte marítimo foi estabelecido a partir de dados fornecidos pelo USDA (*United States Department of Agriculture*) em Salin (2017). Neste relatório, os custos foram estabelecidos a partir de fretes marítimos do ano de 2016, referentes ao envio de 1 tonelada de determinado Porto brasileiro ao Porto de Xangai. Este custo é baseado no transporte tradicional da soja brasileira, ou seja, na rota pelo Cabo da Boa Esperança. Para a estruturação dos custos de transporte marítimo, foram propostos dois métodos: custo médio e custos máximos e mínimos encontrados. Os dois métodos partem dos dados disponíveis em Salin (2017) e são explicados nos itens 4.1.1 e 4.1.2 e no item 4.1.5, o custo de transporte marítimo, por navio, é calculado para as rotas propostas. Os cenários realizados no item 5 utilizam também os dois métodos apresentados.

4.1.1. Método do Custo Médio

A Tabela 3 apresenta os custos marítimos apresentados em Salin (2017), do transporte de soja de alguns portos brasileiros para Xangai, em US$ por toneladas e o custo, em dólares para o transporte de uma tonelada por milha náutica ou milha marítima (mn). Na última linha da Tabela 3, encontra-se o custo médio. Este custo será admitido, na construção dos Cenários C1, C2 e C3, em 5.1, como o custo médio para se transportar uma tonelada de soja por uma milha náutica.

Tabela 3: Custos marítimos, de portos brasileiros para Xangai

Custo Marítimo	US$/ton	US$/(ton.mn)
Santos	16,63	0,001504
Rio Grande	20,50	0,001842
Paranaguá	18,13	0,001632
Santarém	21,54	0,001739
Itaqui	19,48	0,001664
	Custo Médio	0,001676

4.1.2. Metodologia por Custos Mínimos e Máximos

Na Tabela 3, percebe-se que os custos são diferentes entre si. Entretanto, a partir da consulta a especialistas e empresas de transporte marítimo, baseando-se nas distâncias apresentadas na Tabela 4, verificou-se que o custo médio é semelhante ao custo da Rota Itaqui – Xangai, via Cabo da Boa Esperança. Entretanto, os portos ao Norte do Brasil possuem, via Canal do Panamá, menor distância para o transporte. Assim, buscou-se um novo método de estabelecimento de custos, para efetuar análises potenciais. A Tabela 4 apresenta um comparativo entre as distâncias dos portos brasileiros à Xangai, pelas duas diferentes rotas citadas, para ilustrar a nova metodologia de cálculo, com a diferença percentual entre as duas rotas.

Tabela 4: Distância entre os portos brasileiros considerados e o Porto de Xangai

	Distância à Xangai pela rota [mn.]		
Origem	Canal do Panamá	Cabo da Boa Esperança	Diferença percentual (%)
Itacoatiara – AM	11.592	12.880	11%
Vila do Conde – PA	10.926	12.005	10%
Santarém – PA	11.352	12.389	9%
Itaqui – MA	11.087	11.708	6%
Salvador – BA	12.170	10.997	-10%
Vitória – ES	12.587	10.857	-14%
Santos – SP	13.043	11.056	-15%
Paranaguá – PR	13.165	11.111	-16%
São Francisco do Sul – SC	13.226	11.215	-15%
Rio Grande – RS	13.564	11.129	-18%

Pelas Tabelas 3 e 4, é possível notar que a distância entre Santos e Xangai pelo Cabo da Boa Esperança é de 11.056 mn a um custo de US$ 16,63 por tonelada, o menor entre todas as rotas, enquanto o custo para ir de Santarém à China pelo Cabo da Boa Esperança é de US$ 21,54 por tonelada, o maior custo dentre todas as rotas, só que atravessando 12.389 mn. Também se observa que a distância entre Santarém e China pelo Canal do Panamá é de 11.352 mn, valor próximo à distância entre Santos e Xangai. Portanto, para os portos de Itacoatiara, Vila do Conde, Santarém e São Luís, será adotado, nos Cenários C4, C5 e C6, o custo de US$ 16,63 por tonelada, devido à proporção de distância entre o porto de menor custo marítimo, que é Santos. Para os portos do Sul e Sudeste, serão mantidos os seus custos reais. Vale ressaltar que as duas metodologias utilizadas para cálculo do transporte marítimo foram realizadas em razão dos dados coletados não apresentarem um detalhamento das parcelas componentes dos custos.

Para o oposto, a metodologia também é válida. Define-se então que o custo de US$ 21,54 por tonelada de Santarém à Xangai pelo Cabo da Boa Esperança será adotado como o custo entre Santos e Xangai pelo Canal do Panamá, devido à relação entre maiores distâncias e maiores custos.

Verifica-se, a partir da Tabela 4, que, caso não houvesse outros custos além do custo de transporte marítimo, que as rotas com origem nos portos de Itacoatiara-AM, Vila do Conde-PA, Santarém-PA e Itaqui-MA, utilizando mesmo tipo de navio, teriam custo menor utilizando o Canal do Panamá. As demais rotas deveriam utilizar a rota via Cabo da Boa Esperança.

4.2. Custo de Pedágio

O próximo custo a ser definido é o custo de pedágio. Este custo é referente à travessia do Canal do Panamá. O valor deste custo é estabelecido através do simulador disponível no site da concessionária que administra o Canal. Para calculá-lo, são estabelecidos dois tipos de navios padrão, cujas tarifas são diferentes. São eles os navios: *Panamax* e *NeoPanamax*. Para usar o simulador, é necessário conhecer a capacidade do navio em toneladas mortas, que é o máximo de peso que um navio carrega contando carga, combustível, água etc. e a carga bruta em toneladas carregada pelo navio. Conforme será apresentado na Tabela 5, este custo é dividido entre o custo de utilização das eclusas e o custo de travessia o canal.

Tabela 5: Custos de pedágio

Tarifas	Eclusa [US$]	Trânsito no Canal [US$]	Total [US$]	US$/ton
Panamax	US$ 185.900,00	141.750,00	327.650,00	$ 5,04
Neo Panamax	US$ 244.625,00	163.750,00	408.375,00	$ 4,19

4.3. Custo de Espera

De acordo com a equação (2) (seção 3), além dos custos de transporte marítimo e de pedágio é necessário também estabelecer o custo de espera. Este custo é existente na rota que se utiliza da travessia do Canal do Panamá, na fila para adentrar as eclusas do Canal. De acordo com Valverde (2015), um navio tem esperado em média 24 horas na fila para usar as eclusas; nesse tempo incide-se o custo do dia do navio, do dia da tripulação e do combustível óleo diesel que é utilizado quando o navio está parado ou em baixa velocidade, ao invés de usar o mesmo óleo combustível utilizado quando da navegação sem restrições. A partir do estudo de Valverde (2015), é estabelecido o valor médio de US$ 58 mil por cada navio que atravessa as eclusas.

4.4. Comparativo de custos

Definidos todos os custos, foi estipulado o custo de cada rota, partindo de cada um dos 10 portos brasileiros considerados neste estudo, a partir dos dois métodos descritos (Custo médio e Custos Mínimos e Máximos), conforme apresenta a Tabela 6. Estes custos foram realizados para duas rotas: pelo Canal do Panamá e pelo Cabo da Boa Esperança. Os custos foram estabelecidos a partir do navio tipo *NeoPanamax.* Será utilizado este modelo de navio, uma vez que esta pesquisa visa analisar o impacto do Canal do Panamá na logística da soja brasileira, a partir da sua ampliação.

5. CENÁRIOS COMPARATIVOS

Os cenários que serão discutidos ao longo desta seção serão baseados na projeção de exportação de soja para a China em 2017, estimada em 43 milhões de toneladas (MAPA, 2016). A partir deste valor, serão projetados três cenários de envio da soja para a China. O Cenário 1 (C1) será realizado sem nenhuma restrição, o Cenário 2 (C2) será realizado com restrição em relação à demanda por porto e o Cenário 3 (C3) será realizado também com restrição em relação à capacidade do porto, onde a capacidade do porto é a quantidade de soja exportada no ano de melhor resultado dos portos que operam a 100% da sua capacidade.

Tabela 6: Comparativo de custos de cada rota, por navio *NeoPanamax* e por método apresentado.

	Comparativo de custos – Custo Médio		**Comparativo de custos – Custos máximos e mínimos**	
Origem	Custo por navio – Canal do Panamá [US$]	Custo por navio – Cabo da Boa Esperança [US$]	Custo Canal por navio [US$]	Custo Cabo por navio [US$]
Itacoatiara – AM	2.360.707,36	2.104.813,73	2.122.079,60	2.183.383,00
Vila do Conde – PA	2.251.871,49	1.961.823,67	2.026.953,71	2.035.055,35
Santarém – PA	2.321.487,23	2.024.575,88	2.087.800,00	2.100.150,00
Itaqui – MA	2.278.181,66	1.913.288,75	2.087.800,00	1.899.300,00
Salvador – BA	2.455.162,51	1.797.099,11	2.430.892,99	1.703.267,29
Vitória – ES	2.523.307,49	1.774.220,70	2.498.206,38	1.681.583,43
Santos – SP	2.597.825,74	1.806.740,73	2.566.525,00	1.621.425,00
Paranaguá – PR	2.617.762,64	1.815.728,68	2.566.525,00	1.767.675,00
São Francisco do Sul – SC	2.627.731,09	1.832.724,07	2.601.355,68	1.737.032,16
Rio Grande – RS	2.682.966,11	1.818.670,19	2.566.525,00	1.998.750,00

5.1. Análise de Cenários pelos custos médios

O primeiro cenário mencionado, sem nenhuma restrição, apesar de irreal na prática, indica que toda soja brasileira deve ser escoada saindo do porto de Vitória e utilizar a rota via Cabo da Boa Esperança, gerando um custo total na operação de transportar 43 milhões de toneladas por US$ 784 milhões. Apesar da não viabilidade deste cenário, dada as restrições de capacidade do Porto de Vitória e dos demais portos, ele indica que o melhor caminho entre o Brasil e a China se dá pela rota Vitória – Xangai, via Cabo da Boa Esperança.

Em C2, quando se coloca a restrição de demanda por porto, a relação comercial passa a ser considerada, porque cada cliente compra do seu fornecedor de preferência e realiza a importação da soja pelo porto que ele julga ser mais vantajoso. Quando esse cenário é considerado no modelo matemático elaborado, todas as demandas são atendidas pelas rotas que contornam o Cabo da Boa Esperança. Isso é fácil de ser explicado, já que, a partir da Tabela 6, verifica-se que, as rotas que utilizam o Canal do Panamá possuem maior custo em todos os portos, ou seja, toda vez que a soja estiver disponível para ser embarcada em algum porto, a rota mais barata sempre será pelo Cabo da Boa Esperança.

Em C3, mantém-se a previsão de 43 milhões de toneladas de exportação para a China, no entanto, a capacidade do porto é limitada ao seu volume de soja exportado no ano de maior movimentação no porto. De acordo com a ABIOVE (2013) os portos de Vitória, Santos, Paranaguá e São Francisco do Sul já estão atuando em sua capacidade máxima. Limitando então suas capacidades de exportação para a quantidade exportada no ano de 2015, que foi o ano em que esses portos enviaram maior volume de mercadorias para o exterior, a mesma solução se repetiu, ou seja, toda a soja foi escoada pelo Cabo da Boa Esperança, elevando o custo total para US$ 807 milhões da operação.

Por esta metodologia de cálculo, para tornar o Canal do Panamá viável, seria necessário reduzir o custo do pedágio ou o custo marítimo de transporte. Em relação ao custo de pedágio, o valor médio por tonelada tarifado no Canal do Panamá precisaria reduzir em pelo menos 63%, passando de US$ 4,19 para US$ 1,56, para tornar esta rota competitiva a partir de qualquer porto brasileiro.

No caso da manutenção do preço tarifado para travessia do Canal, a opção que tornaria viável seria a redução do custo marítimo, sendo necessária uma redução de 14% nos custos de transporte. O custo médio neste caso deveria passar de US$ 0,00167 /ton.mn para US$ 0,0014/ton.mn, para tornar competitiva a rota pelo Canal do Panamá a partir de qualquer porto brasileiro.

5.2. Análise de cenários pelos custos mínimos e máximos

Os cenários C4, C5 e C6 adotados nessa metodologia são os mesmos adotados no item 5.1, com a diferença pelo método de custos estabelecido. Assim, C4 é realizado com a projeção de exportação de soja para a China em 2017 sem restrições, C5 com restrições de demanda por porto e C6 com restrições de capacidade por porto.

Em C4, o modelo apresentou resultados semelhantes a C1, ou seja, 442 navios *NeoPanamax* devem sair do Brasil com rumo à Xangai pelo porto de Vitória, contornando o Cabo da Boa Esperança. A diferença foi no custo total da operação, que agora se estabeleceu em US$ 703 milhões.

Em C5, ao adicionar as demandas projetadas por porto para 2017, o modelo indica que a soja que chegar aos portos de Itacoatiara, Vila do Conde e Santarém deve ser escoada via Canal do Panamá, em razão de seus custos. O custo total desse arranjo foi de US$ 785 milhões, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela7 : Resultados encontrados em C5

Origem	Demanda (ton)	Quantidade Escoada pelo Canal (ton)	Quantidade escoada via Cabo (ton)	Número de navios *Neo Panamax*	Custo Total [US$]
Itacoatiara - AM	429.365,48	429.365,48	-	5	9.345.104,97
Vila do Conde - PA	741.579,33	741.579,33	-	8	15.416.892,12
Santarém - PA	707.610,34	707.610,34	-	8	15.152.296,17
São Luís - MA	2.509.269,36	-	2.509.269,36	26	48.880.567,18
Salvador – BA	920.475,78	-	920.475,78	10	15.225.824,20
Vitória – ES	2.682.553,21	-	2.682.553,21	28	43.807.896,62
Santos – SP	3.209.227,00	-	3.209.227,00	136	219.669.444,94
Paranaguá - PR	8.057.804,13	-	8.057.804,13	83	146.087.988,84
São Francisco do Sul - SC	4.420.551,74	-	4.420.551,74	46	78.755.287,71
Rio Grande - RS	9.399.727,37	-	9.399.727,37	97	192.694.411,06
Total	43.078.163,75	1.878.555,16	41.199.608,59	447	785.035.713,81

Em C6, será limitada a capacidade dos portos de Vitória, Santos, Paranaguá e São Francisco do Sul, que já operam em seu limite de capacidade. Os resultados encontram-se na Tabela 8.

Verifica-se que a demanda reprimida dos portos de Vitória, Santos, Paranaguá e São Francisco do Sul tem apontada como alternativa o Porto de Salvador, via Cabo da Boa Esperança, mantendo o volume de soja exportado através do Canal do Panamá o mesmo que no cenário anterior (C5). A diferença é que o custo total da operação marítima foi reduzido a US$ 783 milhões.

Tabela 8: Resultados encontrados em C6

Origem	Capacidade [ton]	Quantidade Escoada via Canal (ton)	Quantidade escoada via Cabo (ton)	Número de navios *Neo Panamax*	Custo Total [US$]
Itacoatiara - AM	429.365,48	429.365,48	-	5	9.345.104,97
Vila do Conde - PA	741.579,33	741.579,33	-	8	15.416.892,12
Santarém - PA	707.610,34	707.610,34	-	8	15.152.296,17
São Luís - MA	2.509.269,36	-	2.509.269,36	26	48.880.567,18
Salvador - BA	920.475,78	-	3.142.668,18	33	51.983.674,27
Vitória - ES	2.723.894,13	-	2.723.894,13	28	44.483.021,61
Santos - SP	11.825.003,33	-	11.825.003,33	122	196.649.805,29
Paranaguá - PR	7.518.587,69	-	7.518.587,69	78	136.311.994,73
São Francisco do Sul - SC	4.080.458,54	-	4.080.458,54	42	72.696.284,28
Rio Grande - RS	9.399.727,37	-	9.399.727,37	97	192.694.411,06
Total	40.855.971,35	1.878.555,16	41.199.608,59	447	783.614.051,69

6. CONCLUSÕES

Após a execução deste trabalho, pode-se afirmar que atualmente é baixo o impacto do Canal do Panamá na logística da soja brasileira. A soja brasileira destinada à China não realiza, na prática, a travessia do canal. Estudos adicionais podem torná-lo uma alternativa efetiva e competitiva à exportação da soja brasileira. Estudos integrados da logística interna brasileira, dos produtores aos portos, com a logística marítima, podem melhorar os indicadores e indicar possíveis saídas para utilização do Canal, relacionando com a logística interna executada.

No primeiro conjunto de cenários (C1, C2 e C3), utilizando o método dos custos médios, não houve previsão de exportação pelo Canal, sendo a rota via Cabo da Boa Esperança o caminho mais vantajoso, em custos, para a soja chegar à China. A proposta de redução de custos de pedágio em 63% ultrapassa as estratégias operacionais e envolvem negociações comerciais em nível estratégico, sendo uma alternativa remota a adequação das tarifas aos navios com rotas originárias do Brasil. Mais efetiva seria a busca pela redução dos custos de transporte em pelo menos 14% para torna esta rota competitiva.

A partir do método dos custos mínimos e máximos, que foi realizado para aproximar mais os custos da realidade, os portos do Itacoatiara, Santarém e Vila do Conde passam a ter em suas rotas, em média, uma redução de 1,30% pelo Canal. Os Cenários C4, C5 e C6, apresentaram o escoamento de 1,88 milhões de toneladas pelo Canal do Panamá, independentemente das restrições de outros portos brasileiros, representando 4,36% da soja exportada para a China. Este valor pode ser melhorado também num contexto global, integrando melhorias à logística interna brasileira. Ou seja, o modelo adotado no trabalho diz que a rota Canal do Panamá é financeiramente vantajosa para os portos de Itacoatiara, Barcarena e Vila do Conde, no entanto, o que a limita são os custos de internos de transporte para que a soja chegue a esses portos, elevando o custo da operação total de levar a soja da região produtora até o cliente final, no caso, a China.

Em síntese, o Canal do Panamá poderá ser atraente para o comercio internacional de grãos Brasil-China pelos portos localizados ao Norte do Brasil. Ações integradas com a logística interna podem reduzir o custo da soja da origem produtora até o destino final. Diversas alternativas comerciais e de infraestrutura vêm sendo desenvolvidas, com o desenvolvimento de hidrovias e ferrovias

brasileiras e melhoramento da malha viária, o que tornaria competitiva esta rota, sobretudo sob a ótica global, das fazendas produtoras até o porto de destino final.

Agradecimentos
Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) pelo apoio financeiro concedido aos projetos que subsidiaram o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIOVE. Associação Brasileira das Indústrias de óleo vegetal. Disponível em: www.abiove.com.br. Acesso em 4 de junho de 2017.

ALICEWEB. Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior. http://aliceweb.mdic.gov.br. Acesso em 18 de maio de 2017.

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H.; Pesquisa operacional para cursos de engenharia. Editora Campus, 2012.

HIRAKURI. M. H, LAZZAROTTO, J. J. O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro. Londrina: Embrapa Soja. 70p. 2014.

GOLDBARG, Marco Cesar; LUNA, Henrique Pacca Loureiro. Otimização combinatória e programação linear. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Campus, 2005.

KO, Sanghyeon; KARIMI, Behzad; MOHAMMADIAN, Abolfazl (Kouros). *Scenario Analysis of Containerized Freight Distribution into the Midwest Region in Response to Capacity Expansions.* Transportation Research Board Annual Meeting. Washington, D.C. Jan. 2014.

LOPES, H. S.; LIMA, R. S. Alternatives for the soybean exportation in Brazil: An analysis of transport via the Tocantins-Araguaia waterway. Custos e agronegócio on line. Recife, vol. 13, n. 1, p. 1-465, Janeiro/Março. 20.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. PROJEÇÕES DO AGRONEGÓCIO. Brasil 2015/16 a 2025/26 Projeções de Longo Prazo. Secretaria de Política Agrícola. Brasília-DF. Julho de 2016. .

NAVARRO, Deus. O Canal do Panamá: política e estratégia 10.5102/uri.v13i2.3554. *Universitas: Relações Internacionais,* [s.l.], v. 13, n. 2, p.99-106, 17 dez. 2015. Centro de Ensino Unificado de Brasilia. http://dx.doi.org/10.5102/uri.v13i2.3554.

PEETA, Srinivas *et al*. *Risk Management in a Systems View of Intermodal Facility Investment under Uncertainty in Freight Commodity Flow.* Transportation Research Board Annual Meeting. Washington, D.C. Jan. 2017.

PROTOPAPAS, Annie *et al*. *Engaging state DOTs in Funding Improvements on Inland Waterways: A Case Study of the Gulf Intracoastal Waterway - Texas.* Transportation Research Board Annual Meeting. Washington, D.C. Jan. 2015.

PROTOPAPAS, Annie *et al*. *New Approaches for Lock and Dam Maintenance Funding. Transportation* Research Board Annual Meeting. Washington, D.C. Jan. 2014.

SANTOS, F.C. C*anais de acesso aos portos brasileiros: demandas de infraestrutura pela evolução dos navios tipo.* Pluralidade. Jan. 2014.

SERRA, Fernando Antônio Corrêia; NETO, José Gonçalves Moreira; WEBER, Michel Bittencourt. *Canal do Panamá: efeito da expansão nos portos do Brasil.* ANTAQ, Brasília, 2012.

SIDRA. IBGE. LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA: Pesquisa Mensal de Previsão e Acompanhamento das Safras Agrícolas no Ano Civil. IBGE, jan. 2017.

SALIN, Delmy. Soybean Transportation Guide: Brazil. June 2016. U.S. Dept. of Agriculture, Agricultural Marketing Service. Disponível em <http://dx.doi.org/10.9752/TS048.06-2016>.

SALIN, Delmy. Brazil Soybean Transportation Indicator Reports. March 10, 2017. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.9752/TS052.03-2017>.

VALVERDE, Yasmina Arroyo. El peaje em Panamá. Su cálculo y comparativa económica com rutas alternativas. Universidad Politécnica de Catalunya, outubro de 2015. Calculadora de peajes. Canal de Panamá. Disponível em: <https://peajes.panama-canal.com/wcgranelessecos.aspx>.

ENSAIO TEÓRICO SOBRE A COMPETITIVIDADE LOGÍSTICA DE DOIS MODELOS DE AGLOMERAÇÃO INDUSTRIAL: ZONA FRANCA DE MANAUS NO BRASIL E ZONA FRANCA DE CIUDAD DEL ESTE NO PARAGUAI

Fabiana Lucena Oliveira
Richards Cristian Trindade Veras
Curso de Ciências Econômicas
Universidade do Estado do Amazonas (UEA)

RESUMO
O presente artigo discute a capacidade de atração para novos investimentos, bem como a competitividade logística de dois modelos de aglomeração industrial: a Zona Franca de Manaus, no Brasil e, a Zona Franca de Ciudad del Este no Paraguai. A discussão presente na região norte do Brasil, reside na movimentação física de localização de algumas unidades fabris saindo do Brasil e instalando-se no Paraguai. Deste modo, pergunta-se: a Zona Franca de Ciudad Del Este é uma ameaça à continuidade da Modelo Zona Franca de Manaus? Os resultados obtidos foram: (a) A legislação pertinente a cada um, carrega uma diferença temporal de 27 anos; (b) a questão logística não foi considerada em ambos os modelos, e um deles apresenta clara vantagem; (c) a legislação trabalhista não está adequada às novas relações de trabalho, e (d) as vantagens comparativas de um dos modelos no quesito exportação, são bem superiores.

ABSTRACT
This article discusses the attractiveness of new investments, as well as the logistic competitiveness of two models of industrial agglomeration: the Manaus Free Trade Zone in Brazil and the Ciudad del Este Free Trade Zone in Paraguay. The present discussion in the northern region of Brazil resides in the physical movement of location of some manufacturing units leaving Brazil and installing in Paraguay. In this way, we ask: is the Free Trade Zone of Ciudad Del Este a threat to the continuity of Manaus Free Trade Zone? The results obtained were: (a) The legislation pertinent to each one, carries a time difference of 27 years; (b) the logistics issue was not considered in both models, and one of them presents a clear advantage; (c) labor legislation is not adequate to the new labor relations; and (d) the comparative advantages of one of the export models are much higher.

1. INTRODUÇÃO

Um aspecto essencial relacionado a competitividade das economias emergentes refere-se a estratégias econômicas e logísticas com o propósito de atrair investimentos externos. Para contrapor os problemas sociais e econômicos típicos de países em desenvolvimento, como baixa mão de obra qualificada e ausência de infraestrutura de transportes adequada para o escoamento da produção industrial, alguns países adotaram como estratégia as Zonas Econômicas Especiais (ZEE), para aproveitar a tendência de segmentação da produção das grandes empresas na segunda metade do século XX.

Esta estratégia procura maximizar a utilidade das empresas no sentido de obter ganhos com a segmentação da produção, em contrapartida aumentar as exportações e gerar empregos. No longo prazo, conforme forem criadas novas ZEE's, estas acabam competindo entre si para conquistar a instalação da produção das empresas multinacionais e globais. A tomada de decisão das empresas é a preferência pelas regiões que oferecem o melhor custo-benefício, considerando os benefícios tributários, logísticos e baixo custo de mão de obra.

Este artigo procura entender a competitividade entre o Polo Industrial de Manaus (PIM) e a Zona Franca de Ciudad del Este e como a produção das respectivas ZEE's são escoadas considerando os modais de transporte disponíveis. Operando na capital amazonense desde 1967, o PIM é resultado de uma política pública voltada para desenvolver a economia da região amazônica, alojando cerca de seiscentas indústrias que fabricam bens duráveis, como motocicletas, eletroeletrônicos, relógios, hardware de tecnologia da informação, e bens

intermediários. Quanto ao Paraguai, há duas zonas francas situadas em Ciudad del Este, operando desde 1995, sob o mesmo regime tributário.

2. LOGÍSTICA EMPRESARIAL NO AMBIENTE CONTEMPORÂNEO

A Logística Empresarial, enquanto conjunto de técnicas e atividades-meio que dão suporte às operações produtivas das empresas, representa área de pesquisa e intervenção técnico-profissional de crescente relevância à competitividade sistêmica de países, regiões, aglomerações econômicas, setores ou companhias individuais. Esta crescente relevância de que a Logística Empresarial foi se revestindo, especialmente ao longo dos últimos trinta anos, justifica-se a partir de um contexto global marcado por pelo menos quatro grandes fenômenos:

(a) a internacionalização comercial e produtiva das empresas (em particular as transnacionais), cujo espraiamento de suas filiais por diversos países têm modificado sobremaneira a composição do comércio internacional, o qual passa a ter como parcela significativa aquela oriunda do comércio intrafirma;

(b) a formação de blocos regionais de comércio e a aceleração do processo de integração econômica, política e cultural intra e interblocos (NAFTA, MERCOSUL, União Europeia, ASEAN, etc.);

(c) a radical e célere mudança tecnológica promovida pelo advento das novas Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC's), cujos produtos de fronteira são a Internet, a telefonia celular e a transição para a plataforma de convergência digital entre aparelhos e equipamentos de informática, telecomunicações e eletrônica de consumo, os quais, em conjunto, modificam a maneira pela qual pessoas e empresas vivem, trabalham e produzem; e

(d) a nova geografia global dos fluxos de Investimentos Diretos Estrangeiros (IDE), na medida em que a decisão locacional das firmas transnacionais é condicionada pela busca por competitividade nas TIC's as empresas têm buscado as economias emergentes para basear suas fábricas, na tentativa de garantir mão-de-obra mais barata, menor carga tributária, e demais vantagens de atratividade oferecidas pelos governos de cada economia emergente.

A indústria moderna, especialmente as de elevado coeficiente de agregação tecnológica, é cada vez mais rápida em seus processos de movimentação de materiais, a fim de atender um mercado consumidor ansioso por novidades. A existência de muitas marcas de um mesmo produto, por exemplo, deixou o consumidor mais livre em suas escolhas, e forçou as indústrias a buscar seus próprios diferenciais competitivos.

Neste ambiente, as empresas desenvolvem suas estratégias logísticas, planejando e implementando as melhores práticas disponíveis de gerenciamento de suas respectivas cadeias de suprimento. Em aglomerações econômicas regionais, as estratégias e modelos logísticos podem ser analisadas e confrontadas entre si, visando a sua customização às particularidades de cada produto/empresa individualmente. A literatura especializada em Economia Regional e Urbana e Organização Industrial pontua diferentes taxonomias para as aglomerações econômicas – Clusters, Arranjos Produtivos Locais - APL's, Complexos Industriais, Polos Industriais, Tecnópolis, etc. – e estuda suas características distintivas (Lastres et al, 2003).

Nestes modelos, que almejam representar, de modo abstrato, diferentes configurações organizacionais, técnico-produtivas e geográficas para conjuntos de atores econômicos (empresas, cooperativas, empreendedores) de um mesmo setor, de setores complementares ou até mesmo com nenhuma relação de troca direta entre si, mas com impactos mútuos indiretos), observados empiricamente em diversas regiões do mundo, as estratégias logísticas (abrangendo

compras, transportes, despacho aduaneiro, armazenagem, movimentação de materiais, serviços de apoio, etc.) parecem desempenhar papel muito variável, tanto do ponto de vista explicativo, como do ponto de vista de sua importância para a própria configuração de cada um desses modelos (Oliveira, 2003).

Estudos recentes que envolvem comparação internacional de aglomerações econômicas espaciais induzidas pelo Estado (Rivas e Freitas, 2006; Sá 2004) sugerem fortemente a universalização de mecanismos de atração e fixação de empreendimentos industriais homogêneos (ex: concessão de incentivos fiscais e creditícios, vendas de lotes industriais a preços subsidiados, instrumentos de proteção cambial, etc.), especialmente os de natureza tributária. Sendo concreta essa presença cada vez mais universalizada do Estado como indutor do desenvolvimento das aglomerações econômicas, outras variáveis terminam por desempenhar papel diferencial e decisivo na competição por aqueles empreendimentos, especialmente aqueles pertencentes a segmentos high-tech (petroquímica e química fina, eletrônica de consumo e entretenimento, tecnologias de informação e comunicação, etc.).

O destaque, aqui, se direciona à infraestrutura e ao formato do sistema logístico de apoio a essas aglomerações econômicas induzidas pelo Estado, particularmente aquelas orientadas para a exportação. Vejam-se os casos exemplares das Zonas Econômicas Especiais (ZEE's) da China, Cingapura, Taiwan e Coréia do Sul, dos Distritos Industriais no entorno do Porto de Antuérpia (Bélgica), ou mesmo das Free Trade Zones (FTZ's) norte- americanas, sediadas em clusters petroquímicos; todas essas aglomerações são dotadas de infraestrutura portuária, aeroportuária, integração multi ou intermodal, regime de despacho aduaneiro expresso e simplificado, áreas de armazenagem completas (refrigeração, dispositivos de movimentação de cargas, etc.), além dos incentivos tributários e financeiros disponíveis. (Fishman, 2005).

A tarefa de modelagem da logística geral a ser utilizada em uma cadeia de valor ou em uma aglomeração econômica (*cluster*, polo industrial, etc.) envolve o uso de modelos analíticos, ferramentas de planejamento e gestão de transportes, estoques, produção, além da interlocução com agentes governamentais para a implantação de uma infraestrutura pública de suporte logístico adequada, auxiliando sobremaneira os *decision-makers* governamentais ou empresariais neste processo de customização.

3. O PAPEL DOS MODELOS LOGÍSTICOS NA COMPETITIVIDADE SISTÊMICA DAS AGLOMERAÇÕES ECONÔMICAS

A revisão das temáticas constantes neste tópico constitui-se em etapa necessária para, *a posteriori*, buscar uma caracterização do Polo Industrial de Manaus (PIM), objeto da presente investigação, enquanto modelo aglomerativo e que implica em decisões de localização empresariais, com desdobramentos específicos na confecção das estratégias logísticas (de compras, transportes, armazenagem e distribuição física) que lhe dão suporte. (Oliveira, 2003).

3.1 Teorias da Localização Industrial

Segundo Vasconcellos et al (2003), a concentração da atividade industrial, pelos encadeamentos estabelecidos dentro do próprio setor secundário e com outras atividades econômicas e consequentes efeitos multiplicadores, se transformou, desde há muito, em objeto particular de atenção de diversos pesquisadores. Os trabalhos considerados integrantes da denominada Teoria Clássica da Localização Industrial, têm por autores Johann Heinrich Von Thünen (1780-1850), Alfred Weber (1868-1958), August Losch (1906-1945) e Walter Isard

(1906-1945). Nas quatro teorias Clássicas de Localização Industrial vamos encontrar variáveis logísticas e operacionais comuns, identificadas na Tabela 01:

Tabela 1: Variáveis logísticas identificadas nas Teorias Clássicas da Localização Industrial
Fonte: Oliveira, 2005

Autores	Custos de transporte	Custos de movimentação e mão-de-obra/insumos	Custos de Produção
Von Thumen	X	X	X
Alfred Weber	X	X	
Losch		X	X
Walter Isard	X		X
Masterli	X	X	X

Há ainda as contribuições mais modernas, onde destacamos os Modelos Empíricos de Localização de Projetos Industriais, como o modelo Masterli, que data de 1971, quando uma equipe de pesquisadores franceses e italianos foi contratada para o desenvolvimento do Masterli – Modelo de *assetto territoriale e di localizzazione industriale*. O Masterli definiu e classificou os fatores estratégicos para cada indústria como cruciais (A), condicionantes (B), pouco condicionantes (C) e irrelevantes (D), e a partir daí criou uma matriz de demanda (tipo de indústria versus fatores estratégicos) em que a classificação é substituída por critérios de pesos e observando algumas premissas.

Segundo Clemente e Cosenza (1998) o Modelo de Potencial baseia-se numa analogia com a Física, em que o potencial de um ponto no espaço depende das cargas elétricas dispostas no seu entorno, com a contribuição de cada carga elétrica sendo diretamente proporcional a sua grandeza e inversamente proporcional à distância. Essa ideia foi levada diretamente a estudos de localização fazendo-se as cargas elétricas corresponderem a lugares de demanda ou de oferta de bens e serviços. A Teoria da Localização Discreta leva em consideração o conjunto de possíveis localizações antecipadamente, sendo necessário, portanto, a identificação de subconjuntos para estas localizações. Entre as variáveis mais importantes deste modelo, estão o custo de transporte, tempo de viagem e acessibilidade. A Localização de Unidades de Capacidade Ilimitada supõe que a capacidade de uma locação escolhida é ilimitada, podendo atender qualquer número de clientes. Para isso duas características são apontadas: (a) custo-fixo não negativo a cada localização potencial, e (b) o número de localizações a serem escolhidas não é predefinido. Já os Problemas de Designação Quadrática destinam-se a descobrir o arranjo ótimo em um espaço predeterminado onde as alternativas de localização podem receber qualquer das unidades e serem localizadas (mas apenas uma delas). Esses problemas baseiam-se no conceito de matriz de conexão, cujos elementos representam a importância da proximidade entre duas unidades quaisquer.

São também importantes contribuições modernas o Modelo de Potencial (1), a Teoria da Localização Discreta (2), a Localização de Unidades de Capacidade Ilimitada (3) e os Problemas de Designação Quadrática (4).

3.2 Taxonomia das aglomerações econômicas

No caso de aglomerações econômicas, espaços onde operam diversos produtores com vínculos diferenciados de fornecimento, é preciso analisar se a decisão de localização da

unidade produtiva e, portanto, a montagem de estratégias logísticas (de compras, transportes, armazenagem e distribuição física) apropriadas, serão condicionadas por um conjunto maior ou similar de variáveis. Mais especificamente, tentar-se-á identificar neste tópico o *locus* da logística de transportes nas teorias sobre as aglomerações.

Lastres *et al.* (2003) apresentam as definições sobre os tipos de aglomerações mais comuns:

- Aglomeração: produtiva, científica, tecnológica e/ou inovadora – tem como aspecto central a proximidade territorial de agentes econômicos, políticos e sociais (empresas e outras instituições e organizações públicas e privadas).

- Cluster: o termo associa-se à tradição anglo-americana e, genericamente, refere-se a aglomerados territoriais de agentes econômicos, desenvolvendo atividades similares. Ao longo do desenvolvimento do conceito, ganhou nuances de interpretação sobre o que melhor caracteriza essa forma de aglomeração produtiva.

- Distrito Industrial: conceito introduzido pelo economista inglês Alfred Marshall, em fins do século XIX. Deriva de um padrão de organização comum à Inglaterra do período, onde pequenas firmas concentradas na manufatura de produtos específicos, em atividades econômicas como têxtil, gráfica e cutelaria, aglomeravam-se em geral na periferia dos outros produtores. As características básicas dos modelos clássicos de distritos industriais indicam, em vários casos: alto grau de especialização e forte divisão de trabalho; acesso à mão-de-obra qualificada; existência de fornecedores locais de insumos e bens intermediários; sistemas de comercialização e de troca de informações técnicas e comerciais entre os agentes.
A organização do distrito industrial permite às empresas obter ganhos de escala, reduzindo custos, bem como gerando economias externas particularmente significativas (como por exemplo, acesso à mão de obra qualificada), ressaltando a eficiência e competitividade das pequenas firmas de uma mesma atividade localizadas em um mesmo espaço geográfico.

Há que observar, portanto, que não foram identificadas na literatura pesquisada referências diretas ao fluxo de pessoas e/ou materiais (cadeia de suprimentos) no contexto das aglomerações, em especial nos "Polos Industriais", modelo precípuo do objeto deste trabalho. Isto se configura como um vácuo teórico entre o material disponível sobre a cadeia de suprimentos, estratégias logísticas e aglomerações industriais, em especial Polos Industriais (Oliveira, 2003). Neste sentido, as cadeias de suprimento precisam ser analisadas a partir dos produtos por elas representados, respeitando assim suas características intrínsecas, e ajustando as variáveis externas às necessidades de cada produto, de modo a respeitar que as cadeias de suprimento são diferentes entre si, e sofrem motivações diferentes, ainda que detenham a mesma definição conceitual de movimentação de materiais e/ou pessoas.

4. ZONAS FRANCAS COMO MECANISMOS DE ATRAÇÃO DE INVESTIMENTOS

Isenções fiscais e regimes especiais de comércio são tipicamente instrumentos usados por muitas economias em desenvolvimento, a fim de atrair a instalação de novas fábricas. As empresas preferem instalar fábricas onde há baixos custos com produção e tributação, infraestrutura adequada para o escoamento da produção e localização estratégica considerando o leadtime para inbound e para o consumidor final. Neste sentido, as Zonas Econômicas Especiais se tornam competidoras de um mercado no qual as empresas multinacionais são os agentes demandantes. Existem diversos tipos de ZEE's, conforme a Tabela 2:

Tabela 2: Zonas Econômicas Especiais: uma tipologia
Fonte: Adaptado de Lalanne e Vaillant (2014), e Banco Mundial (2008)

Tipos de ZEE	Características	Exemplos selecionados
Armazéns alfandegados ou Zonas Francas	Atividade comercial: transferência, armazenagem, logística, operações de reexportação e comércio de mercadorias. Nenhuma transformação produtiva de mercadorias.	Estados Unidos, Peru, Brasil
Fábricas alfandegadas	Empresas industriais produtoras de bens voltados ao mercado externo. Podem ser situados em qualquer parte do país e gozam de incentivos fiscais como a facilitação de trâmites aduaneiros	Nigéria
Zonas de Processamentos de Exportações	Aglomerações industriais situadas fora das barreiras alfandegárias do país doméstico, que procuram atrair indústrias voltadas à exportação. Empresas isentas do pagamento de tarifas sobre bens de capital importado e insumos intermediários estrangeiros. Próximas a um porto ou aeroporto de modo a fornecer as empresas localizadas rápido acesso aos mercados externos.	Brasil
Porto Livre	Toma a dimensão de uma cidade ou um porto. Desenvolve-se todo tipo de atividade legal, incluindo varejo e turismo.	Brasil
Zonas Econômicas Especiais	Aplicam-se controles aduaneiros do país doméstico onde há um quadro legal e próprio diferente do estabelecido no país. Estabelece um conselho de delegados do governo central, com a incumbência de aprovar as regras que serão aplicadas aos investidores dentro da zona.	China
Zonas Industriais	Área focada em certas atividades do setor industrial, fornecendo uma infraestrutura especial de acordo com os objetivos definidos da zona.	México

As principais ZEE's que existem na América Latina são Zonas Francas, caracterizadas por fomentar as exportações e promover o desenvolvimento econômico, como é o caso do Polo Industrial de Manaus (PIM), derivado da Zona Franca de Manaus (ZFM). No Paraguai, tanto a Zona Franca Internacional quanto a Zona Franca Global, são regiões aduaneiras distintas situadas em Ciudad del Este regidas sob legislação tributária semelhantes. É importante salientar que a legislação da Zona Franca de Manaus é atípica, cuja legislação foi criada especificamente para atender as demandas da região. Para fins didáticos, chamaremos estas de ZFG.

A ZFG é um conglomerado de indústrias de aproximadamente noventa empresas, majoritariamente paraguaias e brasileiras, instaladas em busca de se internacionalizar ou de diminuir custos de produção. As empresas da ZFG são exportadoras, a legislação vigente determina que somente 10% seja destinado ao consumo interno. O principal polo consumidor dessas indústrias, em especial as brasileiras, é o mercado brasileiro, principalmente a região Sul e Sudeste. Este também é o polo consumidor do PIM, tornando ambas competidoras diretas.

5. DINÂMICA DO COMÉRCIO INTERNACIONAL

Diversas transformações na dinâmica de troca de bens e serviços entre os países modificaram a composição do comércio internacional. As grandes empresas multinacionais sofreram um fenômeno de segmentação da produção a partir da década de oitenta e noventa, quando as inovações tecnológicas em computação e telecomunicações possibilitaram as empresas adotar novos métodos gerenciais no interior do circuito matriz–filial, visando explorar com maior

rapidez as novas oportunidades que estavam surgindo em diferentes países. O comércio de bens intermediários aumentou na medida em que crescia o comércio entre matriz e filial. Este fenômeno ficou conhecido como importação para exportação (Baldwin, 2013). Neste sentido, não faria mais sentido calcular o volume do comércio internacional através do valor final do produto. Uma análise mais eficiente seria através do valor agregado.

A dinâmica matriz-filial mais intensa no comércio internacional, evidenciada pelos bens e serviços finais serem produzidos em mais países que no passado (Lalanne e Vaillant, 2014) e o crescimento do comércio intermediário. Este fenômeno concentra-se basicamente nos países desenvolvidos e nos países em desenvolvimento, conforme visto na Tabela 1. No primeiro grupo (matriz), as atividades do processo produtivo estão a nível estratégico e tático, como criação, *know-how*, design e produção de insumos estratégicos, enquanto no segundo grupo concentram-se as atividades de fabricação (filial).

Tabela 3: Fragmentação de etapas e tarefas nos processos produtivos
Fonte: Grossman e Rossi-Hansberg (2008)

	Boneca Barbie		Chips de Telecomunicação	
Etapa	Tarefa	País	Tarefa	País
Primeira	Desenho	Sem dados	Criação	Suécia
Segunda	Palete de plástico	EUA - Taiwan	Desenho com software especial	França – EUA
Terceira	Cabelo de nylon	Japão	Produção	Japão – Dallas
Quarta	Telas de algodão	China	Teste de qualidade	Taiwan
Quinta	Moldes e pigmento	EUA		
Sexta	Montagem	Índia – Malásia		
Sétima	Teste de qualidade e comercialização	EUA		

Esta fragmentação do processo produtivo, visto na Tabela 3, ocorre em função das empresas buscarem menores custos, como (1) salários mais baixos, (2) baixo custo de insumos de produção, como energia elétrica e (3) incentivos à produção, oferecidos por países em desenvolvimento com a finalidade de gerar empregos e desenvolvimento econômico. Esta última tem sido recorrente em países da América Latina, como o Panamá, República Dominicana, Paraguai e Brasil. São conhecidas como Zonas Econômicas Especiais (ZEE).

6. METODOLOGIA

Quanto ao tipo de pesquisa considera-se aqui a qualitativa descritiva, cujo objetivo é descrever as características de um fenômeno, com levantamento de dados em dois universos: o Modelo Zona Franca de Manaus (ZFM) e a Zona Franca de Ciudad del Este.

Foram definidas quatro variáveis comuns aos dois modelos de aglomeração acima mencionados, de modo a comparar a situação corrente dos dois modelos, frente às mesmas variáveis. São elas: benefício tributário, benefício logístico, custo de mão-de-obra e custo de energia.

Os dados foram obtidos para cada um dos modelos: a) sobre Modelo Zona de Manaus (ZFM) foram consultados os bancos de dados estatísticos oficiais disponíveis no site oficial da Superintendência da Zona Franca de Manaus (SUFRAMA), bem como a atual legislação aduaneira do Brasil, disponibilizada em livros e Diário Oficial da União (DOU); b) sobre a Zona

Franca de Ciudad del Este, foram pesquisados relatórios dedicados a investidores, disponíveis via internet nos documentos oficiais do Governo Paraguaio, em que são divulgados formalmente as vantagens oferecidas por este modelo. Embora os dados da pesquisa sejam secundários, a análise comparativa destes, é inédita, o que garante a originalidade do trabalho.

Todos os dados obtidos foram tratados de modo a considerar as vantagens em cada zona franca para as empresas instaladas. Deste modo, perceber o ponto de vista das empresas foi fundamental para identificarmos o nível de competitividade de cada um dos modelos aqui citados.

É importante esclarecer que modelos de aglomeração industrial como estes, são competitivos entre si na atração de novos investimentos. Isto significa que oferecer melhores benefícios em comparação com demais modelos é fundamental para que novos investidores sejam atraídos. A atração destes novos investidores é a garantia de continuidade do modelo de aglomeração para aquele país, na medida em que novos investidores trarão produtos mais modernos e consequentemente o modelo se mantém atrativo.

Neste sentido, os modelos de aglomeração do Brasil (Zona Franca de Manaus) e do Paraguai (Zona Franca Ciudad del Este) são competidores entre si. Ambos se propõem a atrair novos investidores que pretendam entrar nos diferentes mercados da América Latina, em particular da América do Sul.

O presente estudo é pioneiro nesta análise comparativa, e pode servir como base para revisão dos benefícios ofertados pelos países, de modo a garantir sua competitividade.

7. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Ambas as zonas francas possuem incentivos fiscais à produção, custos de oportunidades e peculiaridades logísticas que devem ser levadas em consideração pelas empresas para a tomada de decisão quanto a localização de suas filiais. Os principais benefícios do PIM e da ZFG apresentados na Tabela 4 mostram vantagem comparativa das zonas francas paraguaias, tanto em minimização de custos, quanto aos fatores locacionais, considerando a proximidade de sua localização com os principais polos consumidores da América do Sul, inclusive o Brasil, além de diversas conexões aquaviárias com o Oceano Atlântico, através do Rio Paraná, Paraguai, além do Porto de Santos e Paranaguá, onde há zonas francas paraguaias em suas instalações.

A partir do Tabela 4, é possível apresentar os resultados obtidos na presente pesquisa: (a) a legislação pertinente a cada um, carrega uma diferença temporal de 27 anos; nas três décadas que separam as legislações pertinentes a cada um dos modelos aqui representados, várias mudanças aconteceram no cenário internacional, através da informatização dos processos, utilização de diferentes estratégias e formatação de variáveis antes não consideradas, uma delas em particular, a questão logística. Neste quesito, a localização do Modelo ZFM na cidade de Manaus, é alvo constante de questionamento pela sociedade brasileira; (b) a questão logística não foi considerada em ambos os modelos, e um deles apresenta clara vantagem; infelizmente, mesmo após 49 anos de exploração do modelo Zona Franca de Manaus, este não conta com a infraestrutura mais adequada e moderna à utilização das empresas instaladas nesta aglomeração industrial. O modelo brasileiro foi baseado quase que exclusivamente em benefícios tributários, ignorando a importância do cenário logístico, e de seus respectivos custos na atividade industrial. Sabe-se por revisão bibliográfica, e também por análise empírica de vários modelos

ao redor do mundo que os custos logísticos são decisivos para a decisão de localização de determinada empresa.

Tabela 4: Benefícios da Zona Franca de Manaus e Zona Franca de Ciudad del Este
Fonte: SUFRAMA (2016); FIRJAN (2016) e FIEMS (2016)

País Cidade Legislação / ano	Brasil Manaus 1968	Paraguai Ciudad Del Este 1995
Benefício Tributário	IRPJ - 3,75% sobre o Lucro anual	Imposto de Exportação - 0,5% (Impuesto de Zona Franca)
	PIS / COFINS - 3,65%	Imposto de Valor Agregado - Insento
	Imposto de Importação - Redução de até 88%	Imposto de Importação - Insento
	ICMS - Crédito estímulo de 60%	Imposto sobre serviço - Insento
	Imposto de Produtos Industrializados - Insento	
Benefício Logístico	Modal aéreo - Aeroporto Internacional de Manaus	Modal aéreo - Aeroporto Internacional de Ciudad del Este, Assunção, Ayolas, Puerto Iguazú e Foz do Iguaçu
	Modal rodoviário - Não existe	Modal rodoviário - Estradas para grandes centros urbanos: Assunção, Buenos Aires e São Paulo
	Modal aquaviário - Portos de Manaus	Modal Aquaviário - Porto de Assunção, Villeta, Encarnacion, Santos e Paranaguá
Mão - de - obra	13º - Paga	13º - paga
	Salário Mínimo - R$937,00	Salário Mínimo - R$1009,61 (Câmbio 17/05/2017)
	FGTS - 8% sobre as remunerações	FGTS - Não há
	Contribuição sindical - 0,02% a 0,8% sobre o capital social da empresa	Contribuição Sindical - Não há
	Contribuição previdenciária - 20 a 23% sobre as remunerações pagas	Contribuição previdenciária - 25,5% sobre as remunerações pagas
	Sistema S - 5,8% sobre todas as remunerações pagas	Sistema S - Não há
	Férias - 30 dias/ano	Férias - 14 dias/5 anos
	Provisão Social - 33,77%	Provisão Social - 16,5%
Benefícios Industriais	Custo de energia (MWH) - R$331,39 (2015)	Custo de energia - (MHW) - R$139,54 (2015)

A partir do Tabela 4, é possível apresentar os resultados obtidos na presente pesquisa: (a) a legislação pertinente a cada um, carrega uma diferença temporal de 27 anos; nas três décadas que separam as legislações pertinentes a cada um dos modelos aqui representados, várias mudanças aconteceram no cenário internacional, através da informatização dos processos, utilização de diferentes estratégias e formatação de variáveis antes não consideradas, uma delas em particular, a questão logística. Neste quesito, a localização do Modelo ZFM na cidade de Manaus, é alvo constante de questionamento pela sociedade brasileira; (b) a questão logística não foi considerada em ambos os modelos, e um deles apresenta clara vantagem; infelizmente, mesmo após 49 anos de exploração do modelo Zona Franca de Manaus, este não conta com a infraestrutura mais adequada e moderna à utilização das empresas instaladas nesta aglomeração industrial. O modelo brasileiro foi baseado quase que exclusivamente em benefícios tributários, ignorando a importância do cenário logístico, e de seus respectivos custos na atividade industrial. Sabe-se por revisão bibliográfica, e também por análise empírica de vários modelos ao redor do mundo que os custos logísticos são decisivos para a decisão de localização de determinada empresa.

A legislação trabalhista não está adequada às novas relações de trabalho, e verifica-se que muitas mudanças aconteceram nos contratos de trabalho, bem como nas rotinas trabalhistas nas últimas décadas. O modelo paraguaio já absorve no seu nascimento estas alterações, enquanto a legislação brasileira traz em sua formatação benefícios sociais em desuso desde os anos

setenta, quando comparamos com o cenário internacional. Estes benefícios sociais, em que pese seu benefício ao trabalhador brasileiro, representa custo adicional na mão de obra brasileira.

As vantagens comparativas de um dos modelos no quesito exportação, são bem superiores. As políticas de comércio exterior dos diferentes países nas últimas duas décadas, vêm privilegiando as exportações através da renúncia tributária, e em muitos casos pelo subsídio direto, quando o produto é estratégico para o desenvolvimento da economia do país. Neste sentido, manter as estratégias e legislações do país adequadas às políticas e práticas internacionais, é essencial para o desenvolvimento e sustentação de determinado modelo de aglomeração industrial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baldwin R. e Lopez G. J. (2013) *Supply chain trade a portrait og global patterns and several testable hypothesis.* NBER, WP 18957.

Ballou, R. H. (1993) *Logística Empresarial*. Atlas, São Paulo.

Banco Mundial (2008) *Special Economic Zones: Performance, lessons learned, and implications for zone Development.* The World Bank Group, Washington DC.

Clemente A. e Cosenza C. (1998) *Projetos empresariais e públicos. Atlas, São Paulo.*

Dornier, P. P. et al (2000) *Logística e Operações Globais*. Atlas, São Paulo.

FIEMS (2016) *Guia de investimento Paraguai.* Federação das indústrias do Mato Grosso do Sul. Campo Grande – MS. Disponível em: <http://www.fiems.com.br/public/confederacoes/guia_de_investimento_paraguai. .pdf> Acesso em: 10 junho 2017.

FIRJAN (2016) *Quanto custa a energia elétrica no Brasil*. Federação das Indústrias do Rio de Janeiro. Disponível em: <http:// http://www.firjan.com.br/publicacoes/publicacoes-de-economia/quanto-custa-a-energia-eletrica.htm> Acesso em: 08 junho 2017.

Fishman T. (2005) *Como o crescimento da próxima superpotência desafia os Estados Unidos e o mundo.* Ediouro, Rio de Janeiro.

Grossman, G. e Rossi-Hansberg, E. (2008) *Trading Tasks: A Simple Theory of Offshoring.* American Economic Review, vol. 98, n. 5, p. 1978–97.

Lalanne A. e Vaillant M. (2014) *Un caso de transformación productiva y comercial: Zonas Francas en el Uruguai.* CEPAL – Serie Estudios y Perspectivas, Montevideo.

Lastres, M. M. et al (2003) *Estratégias para o desenvolvimento: um enfoque sobre arranjos produtivos locais do Norte, Nordeste e Centro-Oeste brasileiros*. E-papers, Rio de Janeiro

Oliveira, F. L. (2003) *O modelo Unidades Estratégicas de Negócio desdobrando a atividade de compras em uma indústria eletroeletrônica: um estudo de caso.* Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas.

PARAGUAI. Decreto nº 523 (1995). Regime das Zonas Francas. Assunção. Disponível em: http://www.zonafranca.com.py/leyes/PT-DECRETO-N-523.pdf> Acesso em 12 junho 2017.

Rivas, A. F. e Freitas C. E. (2006) *Estudo de viabilidade para implantação de empreendimentos petroquímicos no Polo Industrial de Manaus.* Universidade Federal do Amazonas. Manaus

Sá, M. T. (2004) *A indústria de bens eletroeletrônicos de consumo frente a uma nova rodada de abertura.* Tese (Doutorado em Economia) – Instituto de Economia, Universidade de Campinas.

SUFRAMA (2016) *Incentivos fiscais da Zona Franca de Manaus.* Superintendência da Zona Franca de Manaus. Disponível em: <http://www.suframa.gov.br/invest/porque-investir-incentivos-fiscais.cfm> Acesso em: 13 junho 2017.

Fabiana Lucena Oliveira (flucenaoliveira@gmail.com)
Richards Cristian Trindade Veras (richards.cristian@gmail.com)
Curso de Ciências Econômicas, Universidade do Estado do Amazonas (UEA)
Av. Castelo Branco, 504 – Manaus, AM, Brasil

PLANEJAMENTO DA LOGÍSTICA REVERSA DO ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA PARA UMA DESTINAÇÃO AMBIENTALMENTE CORRETA

Max Filipe Silva Gonçalves
Gisele de Lorena Diniz Chaves
Rodrigo de Alvarenga Rosa
Universidade Federal do Espírito Santo - Campus São Mateus

RESUMO
A geração de resíduos pós consumo sem destinação adequada afeta milhões de pessoas. A prática da destinação adequada destes resíduos teve mais atenção a partir de 2010 com a promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). O óleo de cozinha usado proveniente de residências, comércio e indústrias, é um resíduo potencialmente poluidor quando descartado de maneira inadequada. Considerando a dificuldade de obtenção de um volume suficiente e a necessidade que este resíduo seja oferecido a baixo custo de forma a viabilizar seu descarte e reutilização, o objetivo deste trabalho é propor uma rede de logística reversa para este resíduo por meio de um modelo matemático para definição de centros de retorno minimizando o custo de instalação e operação da rede. O modelo foi validado por meio de aplicação no município de Linhares/ES utilizando o Solver IBM CPLEX 12.6. A discussão dos resultados permeia os direcionadores econômicos, legais e ambientais.

ABSTRACT
Post-consumer waste generation without proper disposal affects millions of people. The practice of proper disposal of these wastes took more attention since 2010 with the promulgation of the National Solid Waste Policy (PNRS). Used cooking oil from homes, businesses and industries is a potentially polluting waste when improperly disposed. Considering the difficulty of obtaining a sufficient volume of this waste and the need for it to be offered at a low cost to enable its disposal and reuse, the objective of this paper is to propose a reverse logistics network for this residue. A mathematical model defines return centers minimizing the cost of network installation and operation. The model was validated through application in the municipality of Linhares/ES using IBM CPLEX 12.6 solver. The discussion of the results permeates the economic, legal and environmental drivers.

1. INTRODUÇÃO

O aumento da geração de resíduos afeta o cotidiano de milhões de pessoas (DOVI *et al*., 2009). A prática da destinação adequada destes resíduos é recente no Brasil, visto que a necessidade de reaproveitar, reciclar ou direcionar os resíduos para locais adequados está referenciada na legislação, segundo a PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010).

O óleo vegetal utilizado como óleo comestível que, uma vez utilizado em fritura, gera um resíduo que deve ter destinação ambientalmente adequada (OIL WORLD, 2014). O óleo de cozinha usado, também chamado de óleo residual de fritura (ORF), proveniente de residências, comércio e indústrias é um resíduo potencialmente poluidor quando descartado de maneira inadequada. O descarte nos ralos de pias deve ser evitado, pois um litro deste resíduo pode poluir mil litros de água (MARCA AMBIENTAL, 2015). O ORF vem se tornando um insumo complementar às matérias-primas tradicionais do mercado de biocombustível, o que proporciona uma diversificação da matriz energética (ÇANAKCI e VAN GERPEN, 2003). A conversão deste resíduo para biodiesel tem atraído os investidores do setor devido a sua sustentabilidade econômica e ambiental (IGLESIAS *et al*., 2012).

Para reaproveitar o ORF gerado, deve-se, então, planejar a Logística Reversa (LR) do ORF de forma que seus custos sejam cobertos pela receita gerada pela venda do ORF. Para o funcionamento da rede de LR, Pontos de Entrega Voluntária (PEV) podem ser implantados para concentrar o recebimento do ORF (TIBBEN-LEMBKE e ROGERS, 2002). Este artigo

tem como objetivo analisar alternativas para implantação da rede de LR do ORF numa cidade de médio porte, Linhares, Espírito Santo, gerado em residências e estabelecimentos comerciais por meio de um modelo matemático de Programação Linear Inteira Mista.

Este artigo está estruturado em sete seções. A Seção 2 traz um referencial teórico sobre o planejamento de coleta de óleo residual de fritura. A Seção 3 apresenta a proposta de estruturação da logística reversa do ORF para a cidade estudada. A Seção 4 descreve e explica o modelo matemático proposto. A Seção 5 apresenta os cenários estudados para a LR da cidade de Linhares. A Seção 6 apresenta os resultados e análises dos cenários estudados para a LR do ORF.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A LR é o processo de planejamento, implementação e controle do fluxo eficiente e de baixo custo de matérias primas, estoque em processo, produto acabado e informações relacionadas, desde o ponto de consumo até o ponto de origem, com o propósito de recuperação de valor ou descarte apropriado para coleta e tratamento de lixo (TIBBEN-LEMBKE e ROGERS 2002).

O caso da coleta e reaproveitamento do óleo residual de cozinha enquadra-se no âmbito da Logística Reversa (LR) em que De Brito e Dekker (2003) caracterizam uma pirâmide invertida com opções de reaproveitamento organizadas hierarquicamente para os níveis de processamento com maior recuperação de valor em ordem decrescente: reuso direto, reparação, remodelagem, remanufatura, canibalização, e por último a incineração e/ou descarte em aterro sanitário. Sendo assim, considerando as características potenciais que o ORF possui, não é adequado que o resíduo seja descartado, pois possui ainda possibilidade de reaproveitamento como nova fonte de energia (FELIZARDO et al. 2006; KULKARNI e DALAI 2006; VAN KASTEREN e NISWORO, 2007; MARCHETTI et al. 2008). Para retornar este valor, representado pelo ORF, é necessário estruturar uma rede de logística reversa garantido que as atividades sejam coordenadas buscando a otimização dos recursos para minimizar os custos envolvidos nesta cadeia (GONÇALVES e CHAVES, 2014).

Rigo e Rosa (2008) apresentaram uma proposta de resolução do problema elaboração de rotas de caminhões para coleta de ORF para ser usado como insumo da produção de biocombustível. No entanto, o problema consiste na entrega de bombonas vazias e coleta de bobonas cheias de ORF dos restaurantes e bares para industrialização do biodiesel. Matavel (2015) trabalhou de forma similar apresentando a projeção de uma rede LR para viabilizar a coleta e transporte do ORF de forma a garantir o volume e escala necessários para seu reaproveitamento, com destaque para a produção do biodiesel no distrito municipal KaMpfumo em Moçambique. Porém, o modelo proposto por Matavel (2015) não contemplava o encaminhamento do resíduo para as empresas de benficiamento, sendo caracterizado, portanto como problema de dois níveis, ou seja, a LR de sua pesquisa possuía dois elos, os geradores de ORF e os centros de tratamento.

Conforme a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), a destinação adequada dos produtos ao final de seu ciclo de vida útil não é de responsabilidade apenas do consumidor final, mas deve ser compartilhada entre os envolvidos neste processo, desde a produção até a destinação final. Deste modo, cada um tem suas atribuições específicas. Sendo assim, os desafios são diversos, podendo ser destacada a capacidade de planejamento e de gestão mais eficiente deste fluxo reverso (GONÇALVES e CHAVES, 2014).

3. PROPOSTA DE ESTRUTURAÇÃO DA LOGÍSTICA REVERSA

O problema estudado refere-se a um estudo de caso do município de Linhares, localizado no estado do Espírito Santo, Brasil, considerando a característica de geração do resíduo buscando estruturar a LR com o menor investimento possível, menor custo de operação e menor custo de transporte. Atualmente, no munícipio de Linhares, não há uma estrutura formal para a LR do ORF. Este artigo propõe uma LR estruturada da seguinte forma: existirão Grupos de Pequenos Geradores (GPG) que destinam o ORF gerado aos Pontos de Entrega Voluntária (PEV) posicionados em locais estratégicos da cidade e, Grupos de Grandes Geradores (GGG). Tanto PEV, que no caso concentram o volume de GPG, quanto o GGG enviam o ORF recebido para Centros de Tratamentos (CT) que os tratam e enviam para a Empresa Beneficiadora de Resíduo (EBR) que é o fabricante de biodiesel a partir do ORF recolhido. O GPG basicamente são os residentes da cidade que levam o ORF gerado nos seus lares para os PEV. O PEV é uma estrutura fixa localizada estrategicamente na cidade onde o cidadão espontaneamente deposita o ORF. Os GGG são os estabelecimentos comerciais, como bares e restaurantes, que geram ORF no seu processo produtivo. Os CT são facilidades desenvolvidas para receber o ORF gerado pelos GPG e pelos GGG e possuem a função de limpeza e purificação do resíduo antes de encaminhá-lo para a Empresa Beneficiadora de Resíduo (EBR). Tal estruturação é necessária para a viabilização da LR do ORF, pois servirá de consolidação do ORF gerado reduzindo os custos logísticos e agregando valor nos CT para ser comercializado junto a EBR gerando receita para pagar os custos da LR do ORF e eventualmente trazer resultados financeiros para a LR do ORF para ser empregado em outras ações ambientais do munícipio.

Em 2015 obtiveram-se as informações necessárias. Destacam-se a quantidade de ORF gerado, como funciona a rede já existente, identificação sobre possíveis locais para se alocar os PEV e os Centros de Tratamento (CT) e informações associadas aos custos logísticos e operacionais da LR. Para levantar os dados sobre o GPG, incialmente separou-se a cidade em bairros e levantaram-se quantas residências existem e sua população de acordo com IBGE (2014). No caso do GGG, inicialmente foi pesquisado na Receita Estadual do Estado do Espírito Santo, Junta Comercial do Estado (JUCES), e Câmara dos Dirigentes Lojistas CDL, sobre os registros de empresas do segmento alimentício na cidade. Além disso, uma pesquisa de campo complementou o levantamento de dados por meio de visitas em estabelecimentos geradores de ORF tais como cozinhas industriais, lanchonetes, bares, restaurantes e padarias. Os dados sobre custos de construção de instalações e aquisição de equipamentos foram obtidos por meio de pesquisa de mercado e entrevista em empresa do ramo. Ainda por meio de entrevistas em empresas do segmento, foram coletadas informações sobre o o potencial valor de venda do ORF para a EBR.

Foi proposta a alocação de um PEV por bairro e, três locais candidatos foram propostos para instalação do CT e suas respectivas faixas de capacidade. Para estes CT, foram mensurados os custos fixos de instalação e custos fixos de operação. Dentre os custos variáveis estão os custos com reagentes para pré filtragem e custos de transporte. Foram buscadas informações na literatura cientifica em relação aos custos de instalação, equipamentos, custos de matéria-prima, reagentes e unidades de limpeza do ORF.

4. MODELO MATEMÁTICO PROPOSTO

O modelo matemático proposto representa a LR para o ORF proposta na seção anterior. Portanto a rede que o modelo contempla consiste em coletar o resíduo nos PEV e GGG,

enviar para um CT e posteriormente destinar para a EBR. Esta escolha se deu, já que a destinação do ORF para indústrias de beneficiamento é determinada por fatores como o preço pago por estas empresas, condições de compra e pagamento, distância (que determina o valor do frete), volume, qualidade da matéria prima, dentre outros. Como são muitas opções de indústrias (fabricação de biodiesel, sabão e outros) e diversos fatores que interferem nesta decisão, foi considerado que o próximo elo após o CT será uma empresa de beneficiamento de resíduo, não se atendo à fábricas específicas que utilizam o ORF como base do processo produtivo.

A Figura 1 representa graficamente os parâmetros e as variáveis de decisão do modelo matemático proposto. A Figura 1 é dividida em três partes que representam os três níveis do modelo de localização. No primeiro nível, representado pela coluna mais à direita da figura, estão os geradores de resíduos, GPG e GGG. Neste caso, os dois grupos foram unidos em um mesmo nível para efeito de modelagem. O GPG está representado na Figura 1 pelos PEV, pois considera-se que o GPG enviará o ORF até o PEV, sendo o custo de transporte de responsabilidade do gerador ou consumidor final, não fazendo parte desta modelagem. Logo a coleta dar-se-á neste ponto. No segundo nível, estão os potenciais CT que poderão ser escolhidos pelo modelo e, por fim, mais à esquerda da figura estão as EBR que podem receber o ORF gerado pelos GPG e GGG.

O modelo desta pesquisa contempla a minimização dos custos de instalação e operacionais dos CT, redução dos custos de transporte entre os elos da rede e busca a maximização da receita auferida pela venda do ORF. A seguir são apresentados os conjuntos, parâmetros, variáveis de decisão, função objetivo e restrições do modelo.

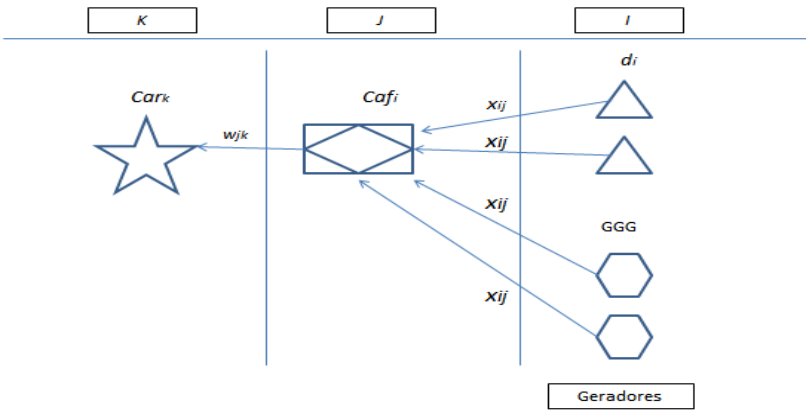


Figura 1: Representação da rede com parâmetros utilizados no modelo matemático

Os conjuntos considerados no modelo foram: I- Conjunto dos PEV, $i = 1 \ldots npv$; J- Conjunto dos CT, $j = 1 \ldots nct$; K - Conjunto das EBR, $k = 1 \ldots neb$; e N - Conjunto de faixas de capacidade dos CT, $n = 1 \ldots nfx$. Os parâmetros do modelo são: d_i - Quantidade de ORF no PEV $i \in I$; f_{jn} - Custo fixo de abertura de um CT $j \in J$ na faixa de capacidade $n \in N$; cx_{ij} - Custo de transporte em litro de ORF por quilômetro transportado do PEV $i \in I$ para o CT $j \in J$; cw_{jk} - Custo de transporte em litro de ORF por quilômetro transportado do CT $j \in J$ para a EBR $k \in K$; caf_{jn} - Capacidade de recebimento do CT $j \in J$ na faixa de capacidade $n \in N$; car_k - Capacidade de recebimento da EBR $k \in K$ e r_k - Receita obtida por litro de ORF

entregue à EBR $k \in K$. As variáveis de decisão são: x_{ij} - Quantidade de ORF transportado do PEV $i \in I$ para o CT $j \in J$; w_{jk} - Quantidade de ORF transportado do CT $j \in J$ para a EBR $k \in K$; e y_{jn} - Variável binária que assume o valor igual 1 se um CT $j \in J$ é aberto na faixa de capacidade $n \in N$ e, 0, caso contrário. A seguir são apresentadas a função objetivo e as restrições do modelo matemático proposto.

Função Objetivo

Minimizar (1)

$$\sum_{j \in J}\sum_{n \in N} f_{jn}\, y_{jn} + \sum_{j \in J} c_j \sum_{i \in I} x_{ij} + \sum_{i \in I}\sum_{j \in J} cx_{ij}\, x_{ij} + \sum_{j \in J}\sum_{k \in K} cw_{jk}\, w_{jk} - \sum_{k \in K} r_k \sum_{j \in J} w_{jk}$$

Restrições

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = d_i \qquad \forall\, i \in I \qquad (2)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \leq \sum_{n \in N} caf_{jn}\, y_{jn} \qquad \forall\, j \in J \qquad (3)$$

$$\sum_{n \in N} y_{jn} \leq 1 \qquad \forall\, j \in J \qquad (4)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = \sum_{k \in K} w_{jk} \qquad \forall\, j \in J \qquad (5)$$

$$\sum_{j \in J} w_{jk} \leq car_k \qquad \forall\, k \in K \qquad (6)$$

$$\sum_{j \in J}\sum_{n \in N} y_{jn} \leq nct \qquad (7)$$

$$y_{jn} \in \{0,1\} \qquad \forall\, j \in J, n \in N \qquad (8)$$

$$x_{ij} \geq 0 \qquad \forall\, i \in I, j \in J \qquad (9)$$

$$w_{jk} \geq 0 \qquad \forall\, j \in J, k \in K \qquad (10)$$

A Função Objetivo, Equação (1), representa o custo total incluindo custos fixos de abertura, custos de operação, custo de transporte e soma a receita obtida pela venda do resíduo para as empresas de beneficiamento. A função objetivo deve ser minimizada. As Restrições (2) garantem que a demanda de todos os PEV seja coletada. Já as Restrições (3) preveem que todo resíduo enviado para um PEV seja menor que a sua capacidade. As Restrições (4) garantem que só será aberto um CT em uma faixa de capacidade, ou seja, não pode ser aberto dois CT em uma mesma localidade, mesmo sendo de faixa de capacidade diferente. As Restrições (5) asseguram que todo volume que chega ao CT será enviado para a EBR. As Restrições (6) garantem que tudo que é transportado de um CT para uma EBR é menor ou igual do que sua respectiva capacidade. As Restrições (7) limitam a quantidade total de CT que podem ser abertos. As Restrições (8), (9) e (10) estão relacionadas aos domínios das variáveis de decisão.

5. CENÁRIOS ELABORADOS PARA ANÁLISE DA LOGÍSTICA REVERSA

Para realizar a análise do estudo inicialmente foram elaborados seis cenários para comparações conforme o Quadro 1. Os cenários foram divididos em três classes. A Classe 1, considera apenas a coleta no GGG, a Classe 2, envolve a coleta no GGG e GPG considerando

o consumo atual do município estudado, já a Classe 3, considera a coleta no GGG e GPG com aumento de consumo.

No Cenário 1, a proposta é realizar a coleta do ORF apenas nos GGG, pois atualmente existe uma empresa que faz subsidiada pela prefeitura. O resíduo é enviado para um CT onde é realizado um pré-tratamento (apenas filtragem) e armazenado durante um período de uma semana até ser encaminhado para as fábricas.

Quadro 1: Cenários a serem avaliados para coleta de ORF

Classe	Cenário	Volume Coletado (L)	Descrição
1	1	9.444	Coleta de ORF em GGG.
2	2.1	81.339	Coleta de ORF em GGG e GPG (PEV) considerando consumo mensal.
	2.2	40.670	Coleta de ORF em GGG e GPG (PEV) considerando consumo quinzenal.
3	3.1	86.274	Coleta de ORF em GPG considerando aumento de 20% da oferta.
	3.2	15.111	Coleta de ORF em GGG considerando aumento de 60% da oferta.
	3.3	101.385	Coleta de ORF considerando aumento de 20% da oferta em GPG e 60% em GGG.

Na Classe 2 de Cenários, inicialmente foi realizada uma análise da coleta mensal do resíduo tanto em GPG quanto em GGG, e logo após foi avaliado um aumento da frequência de coleta para identificar o possível aumento de coleta de ORF. Para o Cenário 2.1, assume-se a condição de que a cidade contará com PEV que serão distribuídos de tal forma a minimizar a distância entre a pessoa e o PEV. A coleta no GGG é realizada no próprio estabelecimento e o resíduo é enviado diretamente para o CT uma vez por mês, assim como o resíduo coletado nos PEV. O Cenário 2.2 considera a coleta do ORF a cada quinze dias nos GGG e nos PEV.

Na Classe 3, alguns aumentos de geração de ORF foram avaliados tanto para GPG quanto para GGG. Tal abordagem permite compreender a influência de cada aumento previsto, mesmo não havendo crescimento populacional. No Cenário 3.1, foi considerada a coleta de ORF com a alocação de PEV considerando que haverá um plano de educação ambiental. Mesmo com a evolução da alimentação saudável que reduz do óleo utilizado, por outro lado, o crescimento da alimentação fora de casa induz a alimentação industrializada com elevado consumo de óleo vegetal. Sendo assim, será avaliado o impacto de um plano de educação ambiental, conforme exigência da PNRS. Diante desta ação, neste cenário, estimou-se um aumento de 20% da geração de ORF. O objetivo é avaliar se haverá alteração da escolha da localidade do CT a ser definida, assim também como o comportamento do custo total da rede.

No Cenário 3.2, foi abordada a coleta de ORF em GGG considerando a possibilidade de uma exigência legal incluindo algum tipo de penalidade para os estabelecimentos que não cumprirem o descarte adequado do resíduo. Para este cenário, adotou-se a hipótese de que seja legalmente estabelecida uma política de incentivo e obrigatoriedade de coleta do ORF, incluindo a fiscalização para verificar seu descarte adequado, a exemplo de normas legais nos municípios de Cotia/SP (Lei municipal Nº 1833/2014) e Vila Velha/ES (Lei Municipal Nº 5.252/2012). Desta maneira, espera-se que a quantidade de ORF a ser coletada tenha um aumento em volume da ordem de 60%. No Cenário 3.3, foi simulado o aumento conjunto previsto nos Cenários 3.1 e 3.2, ou seja, um aumento de 20% no ORF gerado no GPG e um aumento de 60% do ORF gerado no GGG.

6. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

O solver CPLEX 12.6 (IBM, 2015) foi utilizado para resolver o modelo matemático proposto em um computador com processador i7 e 16GB RAM rodando Windows 10. Os cenários descritos na Seção 5, foram analisados de acordo com as respectivas variações dos parâmetros de entrada para identificar a sensibilidade dos resultados em função das variações aplicadas. A Tabela 1 apresenta o volume ofertado de ORF, a representação dos custos de instalação, operação e os custos variáveis em relação ao montante gerado pela rede de logística reversa do resíduo. Identificou-se o impacto de cada custo, seja ele fixo ou variável, no custo total.

Tabela 1: Análise dos Cenários

Cenário	Volume Coletado de ORF (L)	Participação dos custos nos resultados (%)			Custo Total (R$)
		Custo de Instalação	Custo de Operação	Custos Variáveis	
1	9.444	45,1	8,9	46	980.832,73
2.1	81.339	2,8	1,2	96	13.735.628,11
2.2	40.670	10,4	2,7	86,9	4.233.007,09
3.1	86.274	4,6	1,4	94	14.729.156,71
3.2	15.111	33,2	5,8	61	1.567.152,18
3.3	101.385	3,2	0,7	96	20.808.342,59

Sobre os custos totais, é interessante observar que por mais que o Cenário 1 seja o menos oneroso, também por coletar o menor volume, não é adequado, visto que não envolve os GGG e não atende a legislação vigente. Além disso, não considera uma realidade de coleta do ORF que alcance o maior volume possível para minimizar o descarte inadequado deste resíduo.

Considerando os custos totais para a Classe de Cenários 2, há uma diferença no valor que evidencia a viabilidade da frequência de coleta quinzenal. Apesar de realizar duas vezes o número de transporte, ainda sim é mais viável visto que a capacidade do CT não teria necessidade de ser elevada para realizar o processamento do ORF e o custo de transporte é menor. Para a Classe de Cenários 3, por mais que seja o mais oneroso, o Cenário mais adequado seria o 3.3 pois considera a coleta em GGG e GPG já assumindo uma oferta elevada de resíduo. Portanto, cumpriria a legislação garantindo uma destinação adequada ao ORF.

A Figura 2 apresenta a proporção dos custos fixos e variáveis de cada cenário. Foram considerados como custos fixos a instalação e operação e, como custos variáveis entraram o processamento do resíduo e transporte. Nos Cenários 1 e 3.2 são observados os maiores índices de custo fixo consideráveis, isto porque o volume coletado é menor do que nos demais cenários, influenciando o rateio destes custos por litro de óleo. Os cenários destacados são referentes à coleta de ORF em GGG e, mesmo havendo um aumento do volume coletado no Cenário 3.2 em relação ao Cenário 1, fica destacado pois nos outros cenários, a participação dos custos fixos são praticamente irrisórios. Nos demais cenários, os custos fixos são irrisórios a ponto de não serem considerados em grande proporção em relação ao custo variável que engloba o custo de processamento e custo de transporte.

Ressalta-se que a representatividade do custo variável é, na prática, ainda maior, pois os custos de transporte do GPG para PEV não foram contabilizados nesta rede. Com a obtenção dos dados referente ao Cenário 1, é possível identificar que a localidade ideal para abertura do CT 1, na Faixa 1, ou seja, para atender a demanda do GGG apenas e considerando a oferta

atual, bastaria uma pequena instalação para comportar todo o volume de ORF para tratamento que consiste em menos de 10 mil kg. É importante ressaltar que não serão todos os bairros que serão geradores de resíduos visto que neste cenário, foi considerado apenas o GGG. A EBR escolhida foi a Biomarca, localizada em Cariacica-ES. É importante salientar que as EBR realizam a compra do ORF a partir de 1.000kg em média. Considerando a importância da coleta do resíduo, é necessário coletar não apenas em estabelecimentos comerciais que utilizam o óleo vegetal, mas também nas residências. Por isso, o Cenário 2 foi proposto para identificar em que esta alteração implicaria na localização e custos.

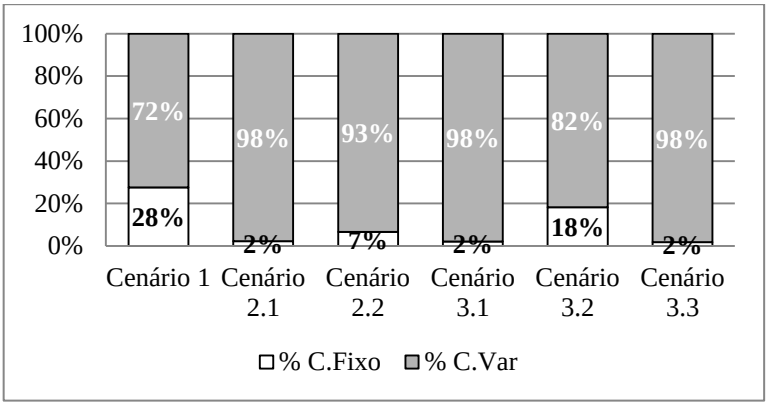


Figura 2: Representação percentual dos custos por cenário

A Figura 3 representa a rede reversa do resíduo no Cenário 2.1. Os números alocados aos geradores referem-se aos estabelecimentos, no caso dos GGG e aos bairros de residência dos consumidores, no caso dos GPG, visto que cada bairro receberá um ponto de entrega voluntária, pelo menos. O CT (centro de tratamento) poderia ser aberto em três facilidades previamente estabelecidas. O CT1 equivale à única associação de catadores identificada na cidade. O CT2 corresponde a um galpão disponível na região industrial da cidade. Os critérios na escolha do local candidato consideraram se o perfil do bairro era residencial ou se havia limitação de tráfego para carga e descarga. Buscou-se também o equilíbrio entre distância a ser percorrida para envio do resíduo ao CT (enquadra-se no custo variável) e custo de instalação da facilidade, visto que a aquisição de um lote possui elevado investimento dependendo do bairro escolhido. O CT3 corresponde à instalação em um distrito distante 20 km da cidade estudada, buscando avaliar o impacto de menores custos de instalação em comparação ao custo de transporte entre os PEV e os CT.

Após obtenção dos resultados do Cenário 2.1, é possível identificar que, apesar da sugestão de localização da instalação não ser alterada, uma nova faixa de capacidade é sugerida para absorver o aumento da quantidade de óleo previsto. O CT 3 mesmo apresentando baixo valor de instalação não foi sugerido pelo modelo a ser aberto como facilidade, provavelmente devido a sua elevada distância para transbordo. O CT 1, mesmo tendo o mais elevado custo de instalação, é a primeira opção a ser alocada denominando o recebimento da maior quantidade de ORF, no entanto a justificativa é o custo de transporte que predomina nesta decisão.

Ao dividir a coleta mensal proposta no Cenário 2.1, o volume de ORF coletado no Cenário 2.2 refere-se a 50% do volume do Cenário 2.1. No entanto, será aberto apenas um CT para funcionamento da rede e decidiu-se enviar para uma única EBR, em que a Biomarca foi escolhida. Para o Cenário 2.2, foi considerada a coleta do GGG e GPG, porém com frequência

quinzenal. Apesar de manter o mesmo custo de processamento, esta alternativa eleva o custo de transporte. Em contrapartida, o custo de instalação é menor, R$ 4,23 x 10^3 *versus* R$ 13,74 x 10^3 visto que não é necessário armazenar um elevado volume de ORF referente a trinta dias.

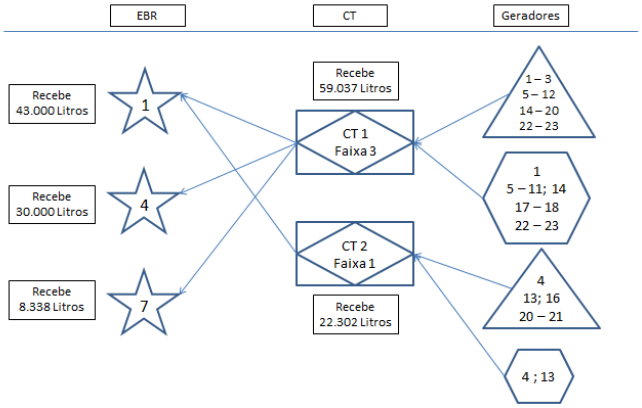


Figura 3: Rede do Cenário 2.1

A análise dos resultados obtidos nos Cenários 2.1 e 2.2 demonstra a viabilidade de aumentar a frequência de coleta visto que o custo relacionado à instalação de uma capacidade maior é mais elevado do que realizar o transporte com maior frequência. Para comportar o volume mensal, o CT deveria ser aberto na maior faixa de capacidade, mas o custo de transporte seria menor. Caso o intervalo entre as coletas seja reduzido, o volume coletado será menor.

A Figura 4 apresenta a rede reversa da rede avaliada no Cenário 3.1. O CT 1 absorve o volume até completar sua capacidade na faixa em que foi aberto e, para suprir o restante da demanda, o CT 2 é aberto para proporcionar o funcionamento da rede. A configuração da rede é semelhante ao Cenário 2.1, pois a diferença de volume do ORF é inferior a 5 mil litros. A EBR 1, localizada mais próxima ao município de Linhares, utilizaria toda sua capacidade assim como a EBR 4. O restante seria enviado para a EBR 7. Na análise da Classe 3 de cenários, o Cenário 3.2 apresenta a rede reversa semelhante ao Cenário 1. Considerando um pequeno volume de ORF, é aberto apenas um CT e a EBR 1 é capaz de absorver todo o resíduo da rede. Ressalta-se que não haverá coleta em todos os bairros, pois nem todos geram resíduo em GGG. O CT 1 foi identificado pelo modelo como melhor alternativa. A EBR 1, Biomarca, foi escolhida para receber o ORF oriundo do CT 1.

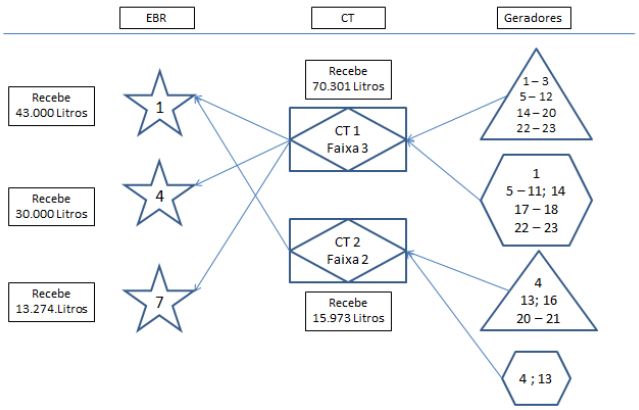


Figura 4: Rede do Cenário 3.1

Por fim, o último cenário estudado foi o Cenário 3.3 que prevê os dois grupos, GGG e GPG, considerando seus respectivos aumentos propostos na série de cenários 3. Na Figura 5 é apresentada a rede reversa para o Cenário 3.3 com os CT abertos assim como as EBR escolhidas para envio do resíduo.

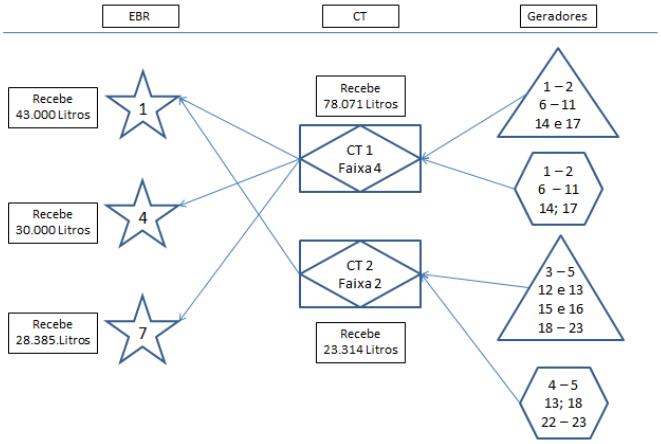


Figura 4: Rede do Cenário 3.3

Neste Cenário, o CT 1 é aberto na Faixa 4. Como não é possível absorver todo o volume, mesmo na mais elevada faixa proposta, o CT 2 é aberto já na Faixa 2 para garantir que todo o ORF seja coletado conforme as restrições estabelecidas no modelo matemático. Assim como nos Cenários 2.2 e 3.1, três EBR foram determinadas para envio do resíduo. A primeira a ser aberta, foi a EBR 1, Biomarca, a qual recebeu dos CT 1 e 2 atingindo sua capacidade e, também a EBR 4 que recebeu do CT 1 e também atingiu sua capacidade. A EBR 7 foi escolhida para envio do resíduo remanescente e recebeu ORF apenas do CT 1.

Considerando a escolha da EBR que receberá o resíduo, é interessante observar que o critério predominante não é o valor pago pela EBR ao CT por seu resíduo enviado. Dentre as alternativas disponíveis nesta pesquisa, em todos os cenários, a EBR escolhida sempre era a com menor distância do município. Este fator pode ser justificado, pois o valor pago pelo ORF entregue na EBR não é suficiente para cobrir os custos de transporte e gerar lucro. Neste caso, a distância torna-se prioritária na escolha da EBR. A partir do momento em que o valor pago pelo ORF aumentar, podem ocorrer variações nas escolhas das EBR.

Para a série de Cenários 3, as análises buscam identificar o impacto de cada grupo de geradores na estruturação da rede. Os custos totais dos Cenários 3.1, 3.2 e 3.3 são R$14,73 x 10^3, R$1,57 x 10^3 e R$20,81 x 10^3, respectivamente. Os custos do Cenário 3.1 são mais elevados do que o Cenário 3.2 mesmo considerando que a expectativa de elevação da oferta seja três vezes menor. Isto mostra que a oferta do maior volume de resíduo é o GPG e por apresentar-se disperso geograficamente, ou seja, está presente em todos os bairros, seu custo de transporte é mais representativo do que no GGG. A soma dos custos totais dos Cenários 3.1 e 3.2, é inferior ao custo total do Cenário 3.3, que se refere ao mesmo volume de coleta. No entanto, dentre os fatores que influenciam nesta diferença, pode ser destacado o custo de transporte. No caso do Cenário 3.2, o percurso é realizado para coletar apenas em GGG e, como a quantidade de GGG é inferior à de GPG, o custo de transporte apresenta-se com valor

menor. Apesar do custo de transporte do Cenário 3.3 ser mais elevado, pode ser a situação mais adequada a ocorrer, coletando o ORF em GGG e GPG. Tal afirmativa dá-se pela necessidade de coletar a maior quantidade de resíduo possível para minimizar seu impacto ao ser descartado de forma inadequada, além do atendimento à legislação.

7. CONCLUSÃO

Os resultados dos cenários juntamente com as análises realizadas permitiram avaliar e sugerir soluções para o problema proposto. Ressalta-se que o objetivo do trabalho não é identificar o melhor cenário, mas sim avaliar custos, receitas obtidas, a abertura dos CT e para qual EBR será enviado o ORF. Não há um cenário ideal, pois cada um destes cenários abordou uma composição diferente de coleta, ou seja, o ORF pode ser oriundo de GGG, de GPG ou dos dois juntos. É cabível afirmar que o mais adequado é planejar a coleta de GGG e GPG.

O custo de transporte é elevado e determinante na escolha da abertura das facilidades, assim como no envio do ORF para as EBR. Em todos os cenários, o critério para escolha da EBR para envio do ORF foi a distância. A instalação de uma EBR mais próxima minimizaria o custo da rede por reduzir o custo de transporte. Esta EBR poderia ser utilizada para atender a região em que estará inserida, pois neste estudo não foi considerado o volume de ORF dos municípios próximos à cidade de Linhares. Isso pode ser analisado em estudos futuros.

No entanto, além de ser necessário ater-se às questões relacionadas aos custos de instalação, custos de operação e custos de transporte, existem outros aspectos que precisam ser levantados para escolha da melhor estrutura de LR para o ORF. Dentre estes aspectos, a implicação no trânsito na região onde o CT estará instalado, horário de coleta do ORF em GGG, visto que em bairros como o Centro de Linhares existe trânsito em horário comercial, análise qualitativa da região onde se espera abrir cada um dos PEV, assim como procedimento de manuseio destes, parcerias entre prefeitura e empresas privadas, entre outros aspectos que fogem do escopo desta pesquisa. Para trabalhos futuros, sugere-se o estudo da influência da roteirização de veículos no desempenho da rede, considerando seu custo e operacionalização. A análise de fatores socioambientais do fluxo reverso do ORF também deverá ser levada em consideração.

A estrutura da rede de logística do ORF no município de Linhares apresentada neste estudo é apenas uma proposta do que poderá vir a ser o processo reverso do ORF na cidade pesquisada, caso venha a ser implementado. A flexibilidade deste modelo envolve a possibilidade de adequação e ajuste para melhor retratar a realidade desejada. Os resultados deste estudo podem ser utilizados para diferentes ocasiões, auxiliando a tomada de decisão quanto à localização dos CT, parâmetros de custo e podem auxiliar na elaboração de propostas para EBR possibilitando assim, um melhor gerenciamento do resíduo e uma estrutura mais robusta da rede de LR do ORF.

Os resultados desta pesquisa podem ser utilizados pelo governo municipal e/ou governo estadual, pois fornecem informações que auxiliam a tomada de decisão quanto à localização de Centros de Tratamento de ORF. Além disso, podem impulsionar a criação de uma iniciativa de cooperação pública e/ou privada na gestão e valorização do resíduo por integrar catadores e suas associações. Os resultados poderão também servir de base para outros municípios tomarem iniciativa de coleta estruturada de ORF. Também é possível partir desta pesquisa para aplicação em outros tipos de resíduos.

Estudos de localização são importantes para garantir a sustentabilidade econômica de longo prazo desta rede. Portanto, a contribuição deste trabalho reside na proposição de uma rede de LR do ORF por meio de um modelo matemático adequado às questões específicas que envolvem a logística reversa do ORF, com a demonstração da importância e relevância da existência e localização das infraestruturas logísticas no processo reverso, de recuperação de valor do ORF por meio da sua reinserção no processo produtivo. As infraestruturas logísticas projetadas (PEV e CT) podem contribuir para o funcionamento eficaz e eficiente da logística reversa do ORF, pois impactam na eficiência econômica da rede de LR.

Agradecimentos
Os autores agradecem a FAPES (75528452/2016) e ao CNPq (307439/2016-0) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. (2010) Lei Nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. *Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998*. DOU, Brasília, 03 ago. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso: 27 de mai. 2014.

CANAKCI, M.; VAN GERPEN, J. (2003) A pilot plant to produce biodiesel from high free fatty acid feedstocks. *Transactions of the ASAE*, vol. 46, n. 4, p. 945-954.

DE BRITO, M.P., DEKKER, D. (2003) *Framework for Reverse Logistics*. Erim Report Series Research In Management. Erasmus Research Institute of Management. ERS-2003-045-LIS. Netherlands. p.1-29.

DOVI, V.G., FRIEDLER, F., HUISINGH, D., KLEMES, J.J. (2009). Cleaner energy for sustainable future. *Journal of Cleaner Production*, vol. 17, n.10, p.889-895.

FELIZARDO, P., NEIVA C, M., RAPOSO, I., MENDES, J., BERKEMEIER, R., BORDADO, J. (2006) Production of biodiesel from waste frying oils. *Waste Management*. v.26, p. 487–494.

GONÇALVES, M. F. S.; CHAVES, G. L. D. (2014) Perspectiva do Óleo Residual de Cozinha (ORC) no Brasil e suas dimensões na Logística Reversa. *Revista Espacios*. v 35. n. 8.

IGLESIAS, L.; LACA, A.; HERRERO, M. (2012) A life cycle assessment comparison between centralized and decentralized biodiesel production from raw sunflower oil and waste cooking oils. *Journal of Cleaner Production*, v. 37, p. 162–171.

KULKARNI, M. G.; DALAI, A. K. (2006) Waste cooking oil e an economical source for biodiesel: a review. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. Vol 45, n. 9, p. 2901-2913.

MARCA AMBIENTAL. (2015) *Ecoindústria de Produção e Biodiesel – BIOMARCA*. Disponível em http://marcaambiental.com.br Acesso em: 16/10/2015.

MARCHETTI, J., MIGUEL, V., ERRAZU, A. (2008) Techno-economic study of different alternatives for biodiesel production. *Fuel Processing Technology*. vol. 89, n. 8, p. 740–748.

MATAVEL, N. I. (2015) *Logística reversa do óleo residual de fritura para produção d biodiesel do distrito municipal de Kampfumo – cidade de Maputo*. Dissertação de mestrado. Programa de pós graduação em Energia. Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus,.

OIL WORLD. (2014) *Forecasting and Information Service for Oilseeds, Oils and Meals.* Hamburg – Germany. Disponível em: <http://www.oilworld.biz/home>. Acesso em: 25 de mai. 2014.

TIBBEN-LEMBKE, R. S.; ROGERS, D. S. (2002) Differences between forward and reverse logistics in a retail environment. Special Feature – Reverse Logistics. *Supply Chain Management: an International Journal*. vol. 7, n 5, p. 271-282.

VAN KASTEREN, J. M. N.; NISWORO, A. P. (2007) A process model to estimate the cost of industrial scale biodiesel production from waste cooking oil by supercritical transesterification. *Resources, Conservation and Recycling*. vol. 50. p. 442–58.

Max Filipe Silva Gonçalves (max.goncalves@mackenzie.br); Gisele de Lorena Diniz Chaves (gisele.chaves@ufes.br) ; Rodrigo de A. Rosa (rodrigo.a.rosa@ufes.br) - Programa de Pós Graduação em Energia. Universidade Federal do Espírito Santo - Campus São Mateus

ANÁLISE DA CADEIA DE DISTRIBUIÇÃO DE SUPRIMENTOS MILITARES NA AMAZÔNIA ORIENTAL

Igor Berta Pitz
Reinaldo Moreira Del Fiaco
Marcos Vasconcelos Diniz
Luiz Antônio Silveira Lopes
Renata Albergaria de Mello Bandeira
Adriano de Paula Fontainhas Bandeira
Instituto Militar de Engenharia
Mestrado em Engenharia de Transportes

RESUMO
O presente estudo analisa a atual situação da cadeia de suprimento militar na região da Amazônia Oriental e propõe alternativas para a programação de rotas para gêneros secos e frigorificados. São consideradas as restrições relativas à capacidade de carregamento e armazenamento das Organizações Militares, com o objetivo de melhorar a eficiência econômica (por meio da redução dos custos logísticos) e reduzir o impacto ambiental (por meio da redução da emissão de CO_2 equivalente gerada), mantendo o mesmo nível de serviço. Medidas complementares, como a adoção de um Sistema de Informações Geográficas, elaboração de um modelo de programação linear, cálculo de tempo de transporte e cálculo de emissão de CO_2 foram adotadas. É proposta a adoção de um segundo ponto de distribuição, cujos resultados minimizaram os custos de transporte, dividiram as origens da distribuição por modos de transporte e reduziram a emissão de CO_2.

ABSTRACT
This article analyzes the military supply chain's current situation in the Eastern Amazon region and proposes alternatives for the route programming of both dry and frozen food supply. Restrictions related to the Military Organizations' loading and storage capacities are considered, where the objective is to improve economic efficiency (by reducing logistical costs) and reduce the impact in the environment (by reducing the equivalent CO_2 emissions generated), keeping the same level of service. Complementary measures, such as the adoption of a Geographic Information System, the development of linear programming model, the calculation of transport time and CO_2 emission were adopted. The adoption of a second distribution point is proposed, in which the results minimized the transport costs, divided the origins of distribution by modes of transport and reduced CO_2 emissions.

1. INTRODUÇÃO

A Logística Militar é o "conjunto de atividades relativas à previsão e à provisão dos recursos e dos serviços necessários à execução das missões das Forças Armadas (FA)" (BRASIL, 2014, p. 1-3). No ambiente militar, o planejamento logístico estratégico e tático proporciona os meios necessários para garantir a condução das atividades militares. O emprego da logística no Exército Brasileiro (EB) tem a finalidade de garantir a liberdade de ação das forças terrestres, proporcionando a amplitude de alcance e assegurando a continuidade das operações terrestres ou combinadas (BRASIL, 2014).

O EB organiza-se em diversos órgãos, dos quais o Comando Logístico é o responsável pelo planejamento logístico estratégico. Territorialmente, a divisão tática compreende o Comando Militares de Área (CMA) e as Regiões Militares (RM). Existem atualmente oito CMA e doze RM no Brasil. Estes possuem em sua estrutura Organizações Militares (OM) Logísticas, que são responsáveis por receber, controlar, armazenar e distribuir suprimentos para as OM localizadas na sua área de responsabilidade.

A cadeia de suprimentos militar é marcada por diversos desafios devido à diversidade e grandes quantidades de materiais que transportam, além de níveis de serviços que são

estabelecidos para cada classe de suprimento (Marques, 2014). Porém, em alguns Estados das regiões Norte e Nordeste estes desafios são ainda maiores devido a limitações na infraestrutura viária da Amazônia Oriental, principalmente no modo rodoviário. Para Tanaka (2014), a logística militar na Amazônia é extremamente complexa devido aos seus aspectos fisiográficos, havendo restrições, em vários pontos, quanto ao emprego do modo rodoviário, o que obriga as FA a atuarem com taxas mais elevadas, implicando em maiores gastos operacionais.

Neste contexto, as FA buscam alternativas para reduzir os custos logísticos, mas sem reduzir a eficiência em sua cadeia. Devido a particularidades deste setor, há uma série de restrições que limitam possíveis alternativas para a logística militar em relação à logística comercial. Por exemplo, devido à necessidade de reduzir custos para aumentar a competitividade, muitas organizações buscaram a terceirização logística (Bandeira, Maçada e Mello, 2010). No entanto, este processo é dificultado no âmbito das FA, já que são consideradas pelo Tribunal de Contas da União (TCU) como formadores e empregadores de pessoal capazes de executar funções logísticas (Marques, 2014).

O presente estudo analisa a atual situação da cadeia de suprimento militar a partir de documentos fornecidos pela 8ª RM e da legislação militar em vigor, propondo alternativas para a programação de rotas. São consideradas restrições relativas à capacidade de carregamento e armazenamento das OM, com o objetivo de melhorar a eficiência econômica (por meio da redução dos custos logísticos) e reduzir o impacto ambiental (através da redução da emissão de CO_2 equivalente gerada) da distribuição de suprimentos no âmbito da 8ª RM, mantendo o nível de serviço.

O 8º Depósito de Suprimento (D Sup) realiza a distribuição de suprimentos, como alimentos, combustíveis, óleos e lubrificantes, fardamento, armamento, munição e material de saúde para cinquenta e uma OM. O presente trabalho analisa a distribuição de alimentos, pois representa o maior volume de suprimento transportado.

A partir desta introdução, este trabalho se divide em cinco seções. Na seção 2 é apresentada a atual situação logística da 8ª RM. A seção 3 apresenta o método de análise utilizado, enquanto, na seção 4, apresentam-se os resultados encontrados e suas respectivas análises. Finalmente, na seção 5, encontram-se as conclusões, limitações e sugestões de aprimoramento deste trabalho.

2. SITUAÇÃO LOGÍSTICA DA 8° REGIÃO MILITAR

A 8ª RM está inserida no Comando Militar do Norte (CMN), e é composta pelos estados de Amapá (AP), Maranhão (MA) e Pará (PA). Historicamente, a distribuição logística é executada unicamente pelo 8º Depósito de Suprimento (Belém-PA), e o transporte realizado pelos modos fluvial e rodoviário. A 8ª RM é responsável pela logística em 51 OM, localizadas em 18 cidades, sendo que os maiores efetivos estão presentes nas cidades de Belém-PA, Marabá-PA, Santarém-PA, Itaituba-PA, Altamira-PA, Macapá-AP, São Luís-MA e Imperatriz-MA.

Em 2015 foram realizadas seis entregas anuais de alimentos para as 51 OM da região. Os volumes dos suprimentos entregues foram definidos pela capacidade de armazenagem ou pelo consumo de dois meses em cada uma das OM atendidas. A distribuição ocorreu por meio de

três rotas, apresentadas na Figura 1. A rota fluvial atendeu as Guarnições (Gu) de Macapá, Altamira, Santarém e Itaituba, enquanto as rodoviárias supriram Tucuruí, Marabá, Imperatriz e São Luís.

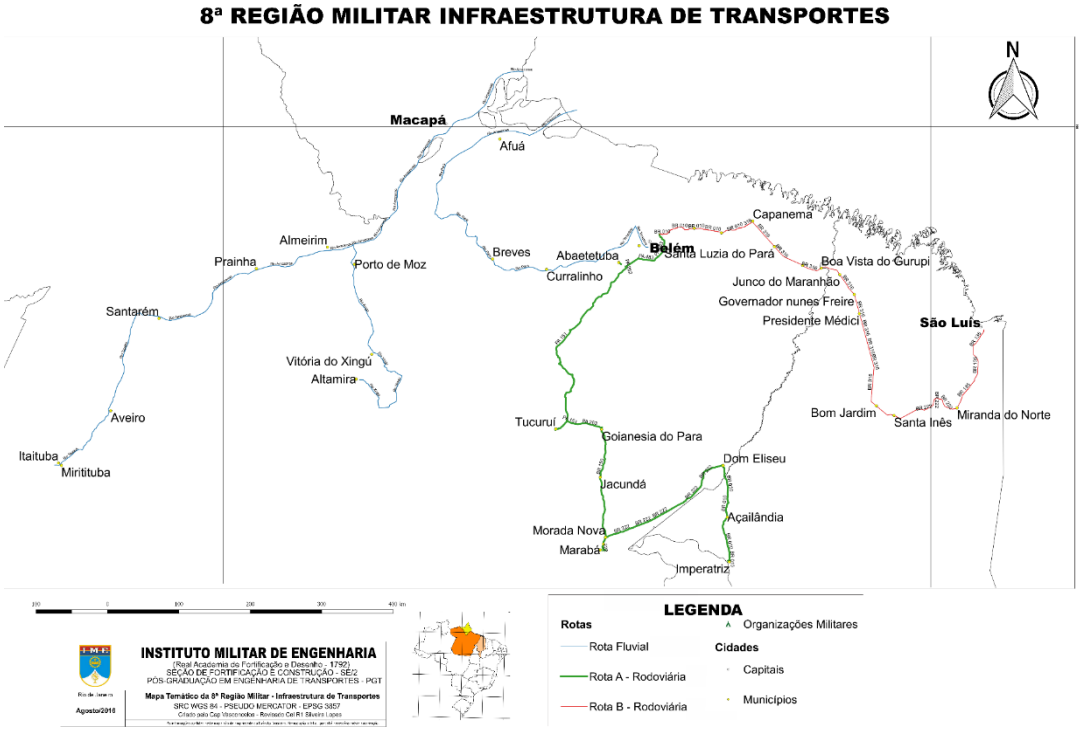


Figura 1: Rotas logísticas atualmente em uso pelo 8º D Sup.

A Tabela 1 apresenta as informações da 8° RM em relação à capacidade de armazenamento (toneladas, ou t), o consumo semanal de suprimentos alimentícios (t) e o fator de segurança de nível de estoque adotado (este fator considera um período de segurança do consumo do suprimento caso haja atraso na entrega).

Tabela 1: Informações sobre o consumo das guarnições no âmbito da 8ª RM

Código	Cidade	Capacidade		Consumo Semanal		Fator de segurança	
		Seco	Frigo.	Seco	Frigo.	Seco	Frigo.
B0	Belém	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--
B1	Marabá	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--
B2	Santarém	57,8	16,3	2,86	2,24	6,1	4,8
B3	Itaituba	48,5	13,7	1,77	1,07	4,5	2,8
B4	Altamira	50,8	14,3	2,09	1,03	2,4	1,2
B5	Macapá	47,9	13,5	1,82	1,7	2,9	2,7
B6	Tucuruí	13,6	3,8	0,54	0,28	0,6	0,3
B7	Imperatriz	37,2	10,5	0,94	0,76	1,1	0,9
B8	São Luís	40,6	11,4	1,11	0,65	1,4	0,8

As características dos veículos disponíveis no 8° D Sup para a realização das atividades de transporte destas três rotas são descritas na Tabela 2.

Tabela 2: Relação das características da frota disponível no 8° D Sup

Código	Veículo	Utilização	Capacidade (Ton)	Consumo
C1	VSRE Guerra	Seco	25	1,5 (km/l)
C2	VSRE Baú Ford 1	Seco	16	2 (km/l)

C3	VSRE Baú Ford 2	Seco	16	2 (km/l)
C4	VTE Baú VW	Seco	5	2 (km/l)
C5	VSRE Frigo 1	Frigorifico	30	1,5 (km/l)
C6	VTE Frigo Ford	Frigorifico	5	2 (km/l)
C7	VTE Frigo IVECO	Frigorifico	16	2 (km/l)
C8	VTE Frigo Ford Op	Frigorifico	16	2 (km/l)
C9	VTE Container	Cont 40p	36	1,5 (km/l)
C10	VTE Container	Cont 20p	18	1,8 (km/l)
C11	VTE Container	Cont 20p	18	1,8 (km/l)
C12	VTE Container	Cont 20p	18	1,8 (km/l)
C13	VTE Container	Cont 20p	18	1,8 (km/l)
E1	Empurador Tiriós	--X--	500	75 (l/hr)
E2	Empurador Lauaretê	--X--	500	75 (l/hr)
E3	Balsa Tefé	Misto	40 (frigo) + 60 (seco)	--X--
E4	Ferry Boat	Misto	40 (frigo) + 300 (seca)	117,6 (l/hr)

Fonte: 8º D Sup.

A Tabela 3 apresenta os volumes transportados, a distância percorrida, a frequência de entregas e o custo total de transporte de cada rota. Os autores consideraram para o cálculo do custo total de transporte a Legislação Militar em vigor. Foi considerado que o efetivo empregado na rota 1 são de dez militares por embarcação e de dois militares por veículo para as rotas 2 e 3. Os cálculos consideraram o custo do litro de óleo diesel de R$ 2,54, valor pelo qual o combustível era adquirido pelo 8º D Sup em 2015.

Tabela 3: Informações sobre as rotas logísticas do 8º D Sup em 2015

Variáveis/Cidades	**1**	**2**	**3**
Modo	Hidroviário	Rodoviário	Rodoviário
Alimentos (t)	750	532	91
Outros itens (m3)	225	260	45
Viagens por ano	6	6	6
Equipamentos utilizados	2	6	2
Pessoal empregado	10	12	4
Espaço ocioso	51,7%	6,4%	29,2%
Distância percorrida (Km)	3156	1962	1596
Tempo estimado viagem (dias)	33	4	4
Custo total anual	R$ 810.000,00	R$ 110.520,00	R$ 39.060,00
Distância total percorrida (Km)	18.936	70.632	19.152
Custo de pessoal	26%	25,8%	32,8%
Custo de Combustível	62,6%	62,7%	56,1%
Outros custos	11,4%	11,5%	11,1%
Custo por tonelada	R$ 830,27	R$ 149,54	R$ 287,20
Custo tonelada por Km	R$ 0,26	R$ 0,07	R$ 0,18

É importante destacar que, atualmente, todas as entregas para as OM da 8ª Região Militar têm como origem o 8º D Sup. Entretanto, o 23º B Log também poderia ser empregado como um centro de distribuição, de onde partiriam as rotas para abastecimento desta OM. Segunda a Doutrina de Logística Militar, os Batalhões Logísticos (B Log) têm as mesmas missões dos D Sup, mas em níveis diferentes: o primeiro entrega os suprimentos para as unidades na linha de frente, enquanto o segundo entrega para as unidades de retaguarda e também para os B Log. Logo, é então proposta a inclusão deste novo ponto de distribuição. A Figura 2 apresenta as rotas alternativas propostas, incluindo o 23º B Log, enquanto a Tabela 4 apresenta a matriz de distâncias, considerando o modo de transporte a ser utilizado (rodoviário ou hidroviário).

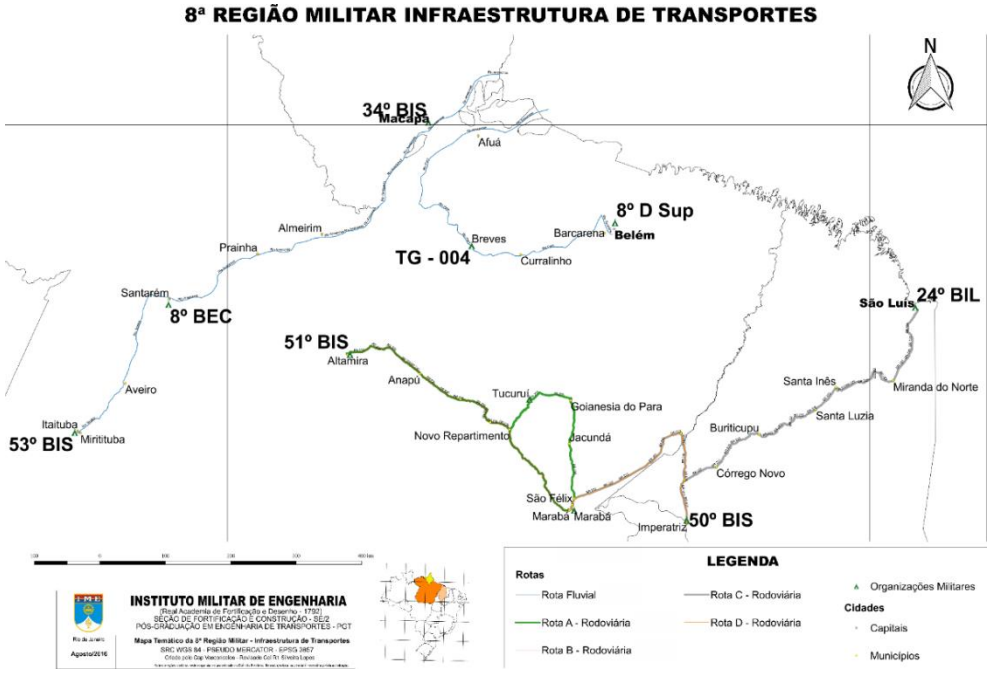


Figura 2: Rotas logísticas propostas para a 8ª RM.
Fonte: os autores.

Tabela 4: Matriz de distância entre os pontos de distribuição e as Guarnições

	Belém	Marabá	Santarém	Itaituba	Altamira	Macapá	Tucuruí	Imperatriz	São Luis
Belém	0	553	876*	1132*	840*	515*	456	594	792
Marabá		0	1059	958	501	-	287	235	805
Santarém			0	259*	561	559*	963	1293	1863
Itaituba				0	489	817*	891	1221	1791
Altamira					0	590*	403	733	1304
Macapá						0	287	235	805
Tucuruí							0	492	1038
Imperatriz								0	629
São Luis									0

*: Distâncias fluviais.

As vantagens da adição do 23° B Log como um ponto de suprimento na cadeia de abastecimento da 8ª RM são: redução de distâncias para as cidades de Imperatriz, Tucuruí e Altamira; integração logística de São Luís com Imperatriz; e integração logística de Altamira com Tucuruí. Outra proposta analisada neste trabalho é a divisão dos modos de transporte, sendo o 23º B Log responsável pelo rodoviário e o 8º D Sup responsável pelo hidroviário (além das entregas rodoviárias dentro de Belém).

3. METODO

A seguir, são apresentados os métodos utilizados para as análises econômicas e ambiental, bem como de nível de serviço, da distribuição de alimentos na 8ª RM.

Inicialmente, utilizou-se o software Quantum Gis (Qgis), para a visualização, edição e análise de dados georreferenciados da região estudada. As camadas de polígonos das áreas dos Estados da 8ª RM foram obtidas junto ao banco de dados do IBGE (2016), e, a partir de então, foram criadas camadas com os pontos de interesse do trabalho (pontos de demanda e de suprimento) sendo inseridos também a infraestrutura de transportes da região (portos,

aeródromos e estações ferroviárias), obtidas em DNIT (2016). Assim foi possível elaborar os mapas de infraestrutura viária por modo de transporte e rotas, tanto os utilizados atualmente como os propostos. As Figuras 1 e 2 apresentam o mapeamento das rotas realizadas em 2015 e das rotas propostas para análise, respectivamente.

Em seguida, foi realizada a definição das quantidades de suprimentos a serem transportadas em cada rota proposta por meio do modelo matemático para minimização dos custos, apresentado na seção 3.1. Posteriormente, realizou-se a análise econômica e ambiental, conforme apresentado nas seções 3.2 e 3.3, respectivamente.

3.1 Definição da quantidade de entregas pelas rotas de entregas propostas

A definição da quantidade de entregas e de alimentos a ser deslocada para cada unidade a ser abastecida foi realizada a partir do resultado de um modelo de programação linear para gêneros secos e outro para frigorificados, cujo objetivo consiste na minimização dos custos totais de transporte. A tabela 4 apresenta os parâmetros do modelo de otimização.

Tabela 4: Parâmetros do Modelo de Otimização

Índices	Definições
i	Índice da origem, i= 1,...,I
j	Índice do destino, j=1,...,J
	Parâmetros de Entrada
Ti	Quantidade da carga em estoque em i
Dj	Demanda de j
k	Capacidade do veículo em toneladas
Cj	Capacidade de armazenagem em j
Bj	Fator de segurança de estoque em j
	Parâmetros de Saída
Qij	Quantidade de toneladas alocadas entre i e j
Eij	Somatório quantidade de alimentos por viagem

A função objetivo do problema visa a minimização do custo do transporte é definida pela expressão 1.

$$Min \sum Q_{ij} Y_{ij} Z_{ij} \quad (1)$$

As equações 2 a 6, apresentadas a seguir, representam as restrições do modelo.

em que

$$Ti \geq Dj \qquad \forall ij \in Q^{+} \quad (2)$$
$$Ci \geq Dj \qquad \forall ij \in Q^{+} \quad (3)$$
$$Qij \leq Cj \qquad \forall ij \in Q^{+} \quad (4)$$
$$Qij \leq Dj \qquad \forall ij \in Q^{+} \quad (5)$$
$$Tij \leq ki \qquad \forall ij \in Q^{+} \quad (6)$$
$$Bi + Q_{ij} \leq Cj \qquad \forall ij \in Q^{+} \quad (7)$$

Yij, o custo do transporte por tonelada por quilômetro
Zij, a distância entre a origem e destino

A restrição representada pela equação 2 garante que a quantidade da carga em estoque no depósito seja maior ou igual a demanda. A equação 3 descreve matematicamente que a capacidade do estoque no ponto de demanda seja maior ou igual a demanda. Na equação 4 a

quantidade de tonelada a ser alocada precisa ser menor ou igual a capacidade de armazenamento na demanda. A equação 5 diz matematicamente que a quantidade de carga a ser alocada precisa ser menor ou igual a demanda. A quantidade de carga em estoque na origem precisa ser menor ou igual a capacidade dos veículos (equação 6). Na equação 7 o fator de segurança de estoque na demanda mais a quantidade de tonelada alocada entre i e j tem que ser menor ou igual a capacidade de armazenamento no ponto de demanda.

O cálculo do tempo total (equação 8) se refere a quanto tempo será gasto em cada rota. Este resultado é importante para as restrições de fator de segurança e quantidade de carga armazenada. O tempo de distribuição de cada rota também servirá para o desenho de movigramas e para a composição de tabelas de Gantt.

$$T_{total} = \frac{Dist}{V_{média}} x\ Fc + T_{eclusagem} + T_{nav.balsa} \quad (8)$$

Sendo:

$$Fc = \frac{\sum f_{pv}\ x\ f_{si}\ x\ f_{ge}}{\sum n}$$

em que
T_{total}: tempo total de viagem, em horas;
Dist: distância da viagem (percurso), em km;
$V_{média}$: velocidade média do modo de transporte, em km/h;
fc: fator de correção;
$T_{eclusagem}$: tempo de eclusagem, em horas;
$T_{nav.\ balsa}$: tempo de navegação em balsas, em horas;
fpv: fator de pavimento;
fsi: fator de sinalização;
fge: fator de geometria.

Os cálculos de custo de transporte reúnem várias informações para que sejam compostos os valores praticados pelo mercado, que são: custo por tonelada; custo por km; e custo por viagem. A equação 9 define o modelo de cálculo de frete por tonelada.

$$C_{tonelada} = Custo\ (t.km) + \frac{\sum Custos\ variáveis}{distância} \quad (9)$$

Os custos variáveis considerados pela 8ª RM são: combustível; gratificação de representação; soldo de pessoal envolvido nos transportes; auxílio alimentação; e suprimento de fundos. A expressão matemática (10) define o custo da viagem por tonelada distância.

$$C_{total} = C_{tonelada(t)} x\ distância \quad (10)$$

Para atingir o objetivo, é necessário estabelecer relações econômicas para analisar se houve uma redução entre os custos por tonelada e custo total do ano de 2015 e o custo estimado com a otimização das entregas propostas.

3.4 Cálculo da emissão de CO_2

A emissão do gás carbônico (CO_2) é um dos maiores impactos ambientais associados a atividade de transporte. Para o cálculo de sua emissão, adotou-se o método *bottom-up*, em que se multiplicam os fatores de emissão de cada gás, obtidos em MMA (2013), pelo consumo médio de combustível para cada veículo de combustão interna utilizado na operação, conforme a Equação 11. Os fatores de emissão considerados no estudo são do 2º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA, 2013), como apresentado na Tabela 5.

$$E_{CO_2} = \left(\sum_{i=1,2,3} CC_i \times D_{ia} \times 1000 \right) \times (f_D) \quad (11)$$

em que E_{CO_2}: Emissão de CO_2 (kg/t);
CC_i: Consumo de combustível para o modo de transporte i (l/1000t.km);
i: 1, 2, 3, sendo 1 o modo rodoviário, 2 ferroviário e 3 hidroviário;
D_{ia}: Distância em cada alternativa segundo o modo de transporte (km).

Tabela 5: Fatores de emissão de CO_2 para veículos do ciclo Diesel e fatores de consumo de combustíveis

Tipo de Combustível	Fator			
		Rodoviário	Ferroviário	Hidroviário
ÓLEO DIESEL	Consumo de Combustível (1/1000 t.Km)	15,4	5,7	4,1
	Emissão de CO_2 (Kg/l)	2,671		

Fonte: MMA – Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas (2011) e CNT (2013).

4. RESULTADOS

As seções 4.1 e 4.2 apresentam os resultados do cálculo de otimização de abastecimento. A seção 4.3 concentra os resultados da movimentação da carga, da frota da 8° RM, os custos de transportes e a emissão de CO_2.

4.1 Modo rodoviário

As cidades atendidas pelo modo rodoviário que apresentam a maior demanda são Altamira, Imperatriz e São Luís. A Tabela 6 mostra as novas rotas estabelecidas, com suas distâncias.

Tabela 6: Descrição das rotas rodoviárias

Rota	Guarnições	Tempo estimado	Distância percorrida
Rota 1	Altamira e Tucuruí	3 dias	1191 Km
Rota 2	Altamira	3 dias	1002 Km
Rota 3	Imperatriz e São Luís	4 dias	1633 Km
Rota 4	Imperatriz	1 dia	470 Km

A partir da Legislação Militar atual foi estipulado que cada viatura seria conduzida por um cabo e chefiada por um terceiro-sargento, perfazendo um custo diário de R$ 224,16 com pessoal, referente a gratificação de representação e ao soldo dos militares. O consumo de combustível e a capacidade das viaturas estão dispostas na tabela 2, e as informações utilizadas de modo a verificar qual viatura seria a mais eficiente para o transporte.

O resultado da otimização da distribuição do abastecimento de gêneros secos e frigorificados estão dispostos na Figura 3 que apresenta os movigramas para o dimensionamento do nível de estoque em cada OM após as entregas e considerando o fator de consumo.

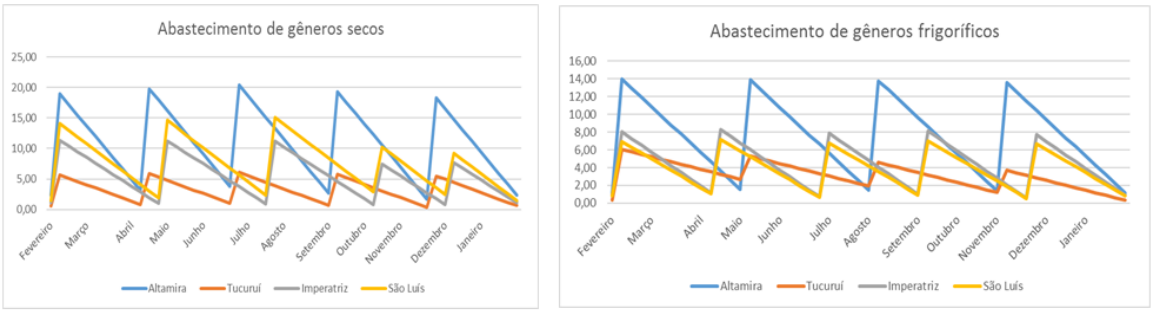


Figura 3: Gráficos de abastecimento e consumo dos gêneros por rodovia.

4.2 Modo hidroviário

A resultado da otimização mostrou a viabilidade da adoção de uma única rota fluvial. A periodicidade das entregas resultante da otimização coincide com os níveis de estoque dentro do fator de segurança estipulado. A Tabela 7 mostra as rotas estabelecidas e programação das embarcações.

Tabela 7: Descrição da rota fluvial

Dias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Belém	■																					
Macapá						■																
Santarém											■											
Itaituba														■								
Belém																						■

O modelo adotado pelo Centro de Embarcações do Comando Militar da Amazônia utiliza sete ou oito militares por embarcação, perfazendo um custo diário de R$ 946,24. A Figura 4 mostra os resultados obtidos para cada tipo de gêneros. Diferentemente do modo rodoviário, o modo hidroviário utiliza contêineres. Desta forma, a capacidade de armazenagem fica restrita a quantidade de contêineres disponíveis, bem como a capacidade de transporte das embarcações disponíveis.

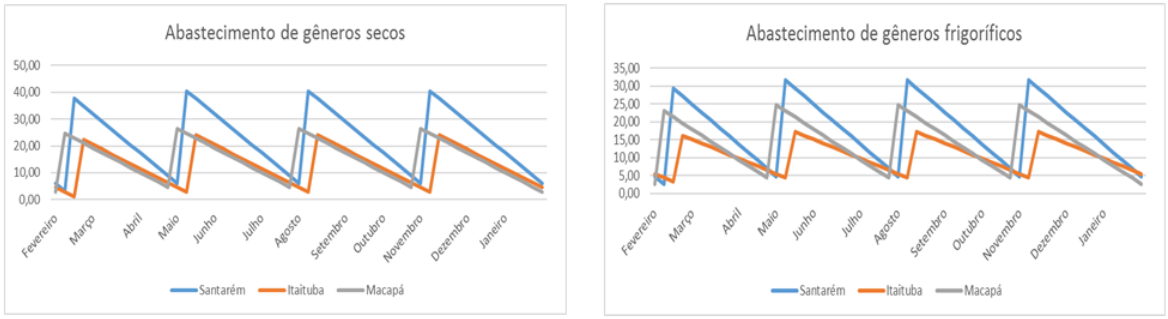


Figura 4: Gráficos de abastecimento e consumo dos gêneros por hidrovia.

Observa-se que a redução de militares na embarcação (de 10 para 8) e da quantidade de viagens (6 para 4) reduziu os custos com pessoal e também de combustível na programação fluvial.

4.3 Resultados obtidos

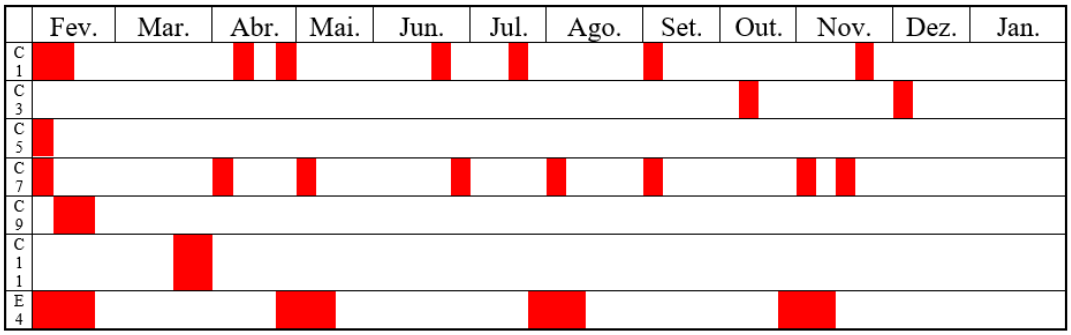
A Tabela 9 dispõe os resultados encontrados com a otimização para a rota de navegação fluvial de interior e para as rodoviárias.

Tabela 9: Resultados obtidos para cada rota proposta.

Variáveis/Cidades	Fluvial	Rodo 1	Rodo 2	Rodo 3	Rodo 4
Modo	Hidroviário		Rodoviário		
Gêneros secos (ton)	335,4	68,1	--X--	73,3	--X--
Gêneros frigoríficos (ton)	260,5	120,1	--X--	106,6	--X--
Outros itens (m3)	169	67	19	67	38
Viagens por ano	4	10	1	11	1
Equipamentos utilizados	2	4	1	4	1
Pessoal empregado	8	2	2	2	2
Espaço ocioso	43,8%	5,5%	42,4%	2,8%	43,3%
Distância (Km)	2468	1191	1002	1633	470
Tempo viagem (dias)	22	3	3	4	1
Distância total (Km)	9872	11910	1002	17963	470
Custo total anual	R$ 351.397,85	R$ 26.429,83	R$ 2.191,41	R$ 36.981,26	R$ 1.055,03
Custo por tonelada	R$ 459,40	R$ 103,57	R$ 115,34	R$ 149,78	R$ 24,27
Custo tonelada por Km	R$ 0,19	R$ 0,09	R$ 0,12	R$ 0,09	R$ 0,06
Emissão de kgCO_2	1.607,81	206,56	173,78	283,23	81,51

A Tabela 10 mostra a tabela de Gantt com a programação anual dos veículos para as entregas propostas pelo trabalho.

Tabela 10: Tabela de Gantt com a programação dos equipamentos.



4.4 Comparação dos Planejamentos de Rotas

Para fins de análise, as Tabelas 11 e 12 comparam o que foi apresentado pela 8° RM e os resultados encontrados neste estudo. O resultado da programação diminuiu os custos de transporte de alimentos pelo modo rodoviário e alocou para a navegação fluvial de interior.

Tabela 11: Comparação por modo de transporte

Situação	Antes		Depois	
Modo	**Rodoviário**	**Fluvial**	**Rodoviário**	**Fluvial**
Cidades atendidas	4	4	4	3
Gêneros alimentícios (ton)	623	750	368,1	595,9
Demais itens (m3)	305	225	191	169
Pessoal empregado (por viagem)	2	10	2	8
Viagens por ano	48	6	23	4
Espaço ocioso	9,7%	51,7%	7,2%	43,8%
Distância total percorrida (Km)	128.088	18.936	31.345	9.872
Custo total anual	R$ 149.580,00	R$ 810.000,00	R$ 66.657,53	R$ 351.397,85
Custo por tonelada	R$ 161,19	R$ 830,77	R$ 118,99	R$ 459,40
Custo tonelada por Km	R$ 0,09	R$ 0,26	R$ 0,09	R$ 0,19
Emissão de $CO_{2\,(t)}$	22,22	12,34	5,34	6,43

O espaço ocioso no rodoviário foi reduzido de 9,7 para 7,2%, e no fluvial de 51,7% para 43,8%. As distâncias percorridas também foram reduzidas, graças à inclusão do segundo ponto de distribuição. Observa-se que o custo total anual por modo de transporte foi reduzido de R$ 149.480,00 para R$ 66.657,53 e de R$ 810.000,00 para R$ 351.397,85, respectivamente, para os modos rodoviário e fluvial. Com as novas rotas propostas é esperado que a emissão de dióxido de carbono seja reduzida de 34,59 para 11,77 toneladas de CO_2.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou apresentar um método de otimização que reduzisse os custos logísticos e o impacto ambiental no âmbito da 8ª RM. A aplicação do método de otimização apresentado no trabalho gerou uma redução nestes parâmetros.

O custo de transporte fluvial (tonelada por quilômetro) apresenta valor superior ao praticado pelo mercado, já que o volume transportado é baixo, podendo então o EB aumentar a capacidade de armazenagem nas guarnições, afim de reduzir o valor deste custo.

Poderia ser verificada a possibilidade da Marinha do Brasil e da Força Aérea Brasileira realizarem o transporte fluvial e aéreo de suprimentos para as OM do Exército Brasileiro, evitando duplicidade ou diminuindo a ociosidade do espaço disponível em embarcações e aeronaves. De maneira análoga ao Estado Maior Conjunto das FA, que atua no nível estratégico, poderia haver um órgão regional, que integrasse as atividades logísticas realizadas no âmbito das RM ou CMA, Distritos Navais e Comandos Aéreos Regionais.

Assim como na iniciativa privada, a terceirização é uma alternativa a ser considerada para a redução de custos. Embora o TCU entenda que esta não posa ser realizada pelas FA, poderia se considerar a realização de pesquisas sobre a terceirização logística para certos materiais com o objetivo de minimizar os custos. Outra alternativa seria por meio de Parceria Público-Privada para a consolidação de cargas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Transportes Aquaviários – ANTAQ. Relatório Técnico. Bacia Amazônica: Plano Nacional de Integração Hidroviária. Florianópolis, UFSC - LabTrans. Acesso em 19 de junho de 2017. Disponível em: <http://web.antaq.gov.br/Portal/PNIH/RTBaciaAmazonica.pdf>.

Bandeira, R. A. M., Maçada, A. C. G., Mello, L. C. B. B. Encontro da ANPAD. Anais do XXXIV, 2010. Rio de Janeiro. Terceirização Logística: Fatores de Decisão sob a Perspectiva do Contratante. 17 p.

Brasil. *DIEx nº 087-Ass G EM Esp Cmdo 8ª RM, para o IME*. 14 set. 16. 16p. 8ª Região Militar, Exército Brasileiro, Belém.

Brasil. *DIEx nº 698 Ch COS, para a 8ª RM*. 6 set. 16. 7p. 8º Depósito de Suprimento, Exército Brasileiro, Belém.

Brasil. *Fluxo de Apoio Logístico da 8ª Região Militar*. 22 jul. 16. 6p. 8ª Região Militar, Exército Brasileiro, Belém.

Brasil. *Manual de Campanha: Logística. EB 20-MC-10.204*. 3ª ed. Brasília: Ministério da Defesa, Exército Brasileiro, 2014. 103p.

CNT - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES. Pesquisa CNT de Rodovias

Cunha, E.D.S.; Cunha, A.C.; Silveira Jr., A.M.; Faustino, S.M.M. Phytoplankton of two rivers in the eastern Amazon: Characterization of biodiversity and new occurrences. Acta Bot. Bras., Feira de Santana , v. 27, n. 2, p. 364-377, June 2013 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-33062013000200011&lng=en&nrm=iso>. Access on 19 June 2017. http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062013000200011.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INTRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. (2016) Shapefiles. Online. Acesso no período de julho de 2016. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/mapas-multimodais/shapefiles>.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2016) Catálogo de Metadados. Online. Acesso no período de julho de 2016. Disponível em: <http://www.metadados.geo.ibge.gov.br/geonetwork_ibge/srv/por/main.home>.

Leite, M. E. (org). Geotecnologias Aplicadas aos Estudos Geográficos. Montes Claros: UNIMONTES, 2013.

Marques, W. R. O atual nível de terceirização logística das Forças Armadas Brasileiras. 2014. 46 p. Curso de Altos Estudos de Políticas de Guerra. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Estudos da Escola Superior de Guerra. CAEPE. Rio de Janeiro.

Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil. Disponível em: <http://www.transportes.gov.br/corregedoria2/63-bit/3600-bit-sig.html>. Acesso em 01 de setembro de 2016.

Monteiro, M.A.; Coelho, M.C.N.; Barbosa, E.J.S. Fronteira, Corredores de Exportação e Rede Urbana na Amazônia Oriental Brasileira. Revista Geographia, 2011.

Oliveira, A. L. R., Mascarenhas, C., Lopes, B. F. R., Morini, C. Aplicação de Modelagem Matemática para Otimização da Logística de Exportação do Milho do Estado do Mato Grosso. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, 2015.

Royset, J. O.; Sato, H. Route Optimization for Multiple Searchers. *Revista Naval Research Logistics*. v.57, n.8, p.701-717, Estados Unidos, 2010.

Rosemberg, M. (1976) *A Lógica da Análise do Levantamento de Dados*. Ed. Cultrix/EDUSP, São Paulo.

Santos, A. D. N. A Influência da Infraestrutura Logística da Amazônia Oriental para o Dimensionamento do Grupo Funcional Transporte. *Revista Científica da ECEME – PADECEME*, v.8, n.16, p.95-108, Rio de Janeiro, RJ, 2016.

Santos, G. B. *Aquisições e contratações dos bens e serviços comuns de interesse das Forças Armadas Brasileiras: proposta de unificação*. 2011. 67f. Dissertação (Curso de Altos Estudos de Política e Estratégia) – Escola Superior de Guerra, Rio de Janeiro, 2011.

Silva Jr, E. L. *O emprego de dirigíveis como uma alternativa para o transporte de carga na Amazônia brasileira*. 2015, 95p. Dissertação (Curso de Altos Estudos de Política e Estratégia) – Escola Superior de Guerra, Rio de Janeiro, 2015.

Tanaka, M. D. *Reestruturação do apoio logístico no Comando Militar da Amazônia: uma proposta*. 2014. 65p. Dissertação (Mestrado em Ciências Militares). Escola de Comando e Estado-Maior do Exército, Rio de Janeiro, 2014.

Torres, B. G; et al. ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DOS PORTOS BRASILEIROS: UMA ABORDAGEM PELO MÉTODO NETWORK DEA. In: XXX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET, 30, 2016, Rio de Janeiro. Disponível em: https://www.academia.edu/30446817/AN%C3%81LISE_DE_EFICI%C3%8ANCIA_DOS_PORTOS_BRASILEIROS_UMA_ABORDAGEM_PELO_M%C3%89TODO_NETWORK_DEA. Acesso em: 16 fev. 17.

Washburn, A.; Brown, G.G. An Exact Method for Finding Shortest Routes on a Sphere, Avoiding Obstacles. *Revista Naval Research Logistics*. v.63, n.5, p.374-385, Estados Unidos, 2016.

Winston, W. L. (2003). *Operations Research: Aplication and algorithms*. ed. 4. Cengage Learning.

Igor Berta Pitz (igorbpitz@gmail.com)
Reinaldo Moreira Del Fiaco (cmtefiaco@gmail.com)
Marcos Vasconcelos Diniz (marcosvdiniz@gmail.com)
Luiz Antônio Silveira Lopes (laslopes@ime.eb.br)
Renata Albergaria de Mello Bandeira (renatabandeira@ime.eb.br)
Adriano de Paula Fontainhas Bandeira (bandeira@ime.eb.br)
Seção de Fortificação e Construção, Pós-Graduação em Engenharia de Transportes
Instituto Militar de Engenharia
Praça General Tibúrcio, 80, Praia Vermelha, Rio de Janeiro - RJ

APLICAÇÃO DE DATA MINING PARA IDENTIFICAÇÃO DE PADRÕES DE FRETES RODOVIÁRIO NÃO ÓBVIOS

Andréa Leda R. de Oliveira
Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Agrícola
Carlos Eduardo S. Moreira
Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação
Stanley Robson de M. Oliveira
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Informática Agropecuária
Akebo Yamamaki
Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação

RESUMO
O sistema rodoviário é o principal modal de transporte integrador das principais regiões produtoras ao mercado doméstico/portos exportadores, além de ser o modal utilizado nas rotas intermodais para ligação aos terminais de transbordo ferroviário e/ou hidroviário. O objetivo do trabalho é o de reconhecer padrões não óbvios, em um banco de dados de fretes rodoviários para grãos agrícolas. É utilizada a técnica de Mineração de Dados conhecida como algoritmo Apriori, para geração de regras de associação, que descrevam tais padrões. Dentre as diversas regras identificadas, destacam-se: i. a produção de soja e milho do estado do Mato Grosso (MT) escoa através do porto de Santos; ii. os silos de armazenagem de grãos, localizados no MT, recebem carga proveniente do próprio estado; iii. o porto de São Francisco do Sul (SC), recebe principalmente milho, e iv. existe no estado de Minas Gerais uma rota intermodal, que recebe de caminhão grãos originários principalmente do MT, e segue para o destino final por ferrovia.

ABSTRACT
The road system is the main form of transport in the biggest production regions between the domestic market/exporting ports, as well as the transport used on intermodal routes connecting production areas with rail and/or water terminals. The goal of the current study is to recognize non-obvious patterns in a mass of data for road freights of grain. As such, the data mining technique, known as the Apriori algorithm, is used to generate association rules that describe such patterns. Among the varied rules identified by this technique, we highlight those that enable us to conclude that: i. soy and corn production in the state of Mato Grosso (MT) is carried via the port of Santos; ii. the grain storage silos located in the state of MT mainly receive shipments from the same state; iii. the port of São Francisco do Sul (SC), mainly receives corn; iv. In the state of Minas Gerais there is an intermodal route that receives the grain originating mostly from MT and transfers it to the rail system to its next destination.

1. INTRODUÇÃO

Com 58,3 milhões de hectares de área cultivada e uma produção de grãos da ordem de 186,4 milhões de toneladas, o Brasil se mantém como principal potência agrícola mundial (CONAB, 2016). Este expressivo volume de granéis precisa ser escoado de maneira ágil e ao menor custo de transporte possível, de forma a minimizar os custos logísticos associados. Contudo, num país com dimensões continentais e que emprega majoritariamente o modal rodoviário na movimentação de carga, o constante monitoramento e aperfeiçoamento das técnicas logísticas empregadas se fazem necessários.

Neste contexto e com vistas a fazer uso das rotas de transporte ideais, o frete de produtos agrícolas torna-se uma área amplamente estudada, e para o qual são coletados um grande volume de dados. Com isso, a aplicação de tarefas de mineração de dados é muito apropriada, à medida que existem padrões a serem identificados, como por exemplo, nos fretes de menor

preço e predições a serem realizadas. Para as previsões, as estimativas do frete podem se dar para novas e/ou ainda desconhecidas rotas, que podem revelar-se mais baratas e/ou rápidas que as rotas tradicionalmente praticadas.

O transporte de cargas no Brasil deixou de ser tema secundário, passando a ter papel de destaque no planejamento e nas decisões estratégicas de inúmeras empresas, sobretudo as ligadas aos agronegócios (Oliveira, 2006). Um exemplo são os granéis agrícolas, sobretudo soja e milho, cujas mudanças na espacialização da produção para regiões de fronteira agrícola, apontam para a necessidade de estudos que tenham como objetivo otimizar a distribuição logística disponível na tentativa de redução dos custos, proporcionando aumento da competitividade internacional dos grãos.

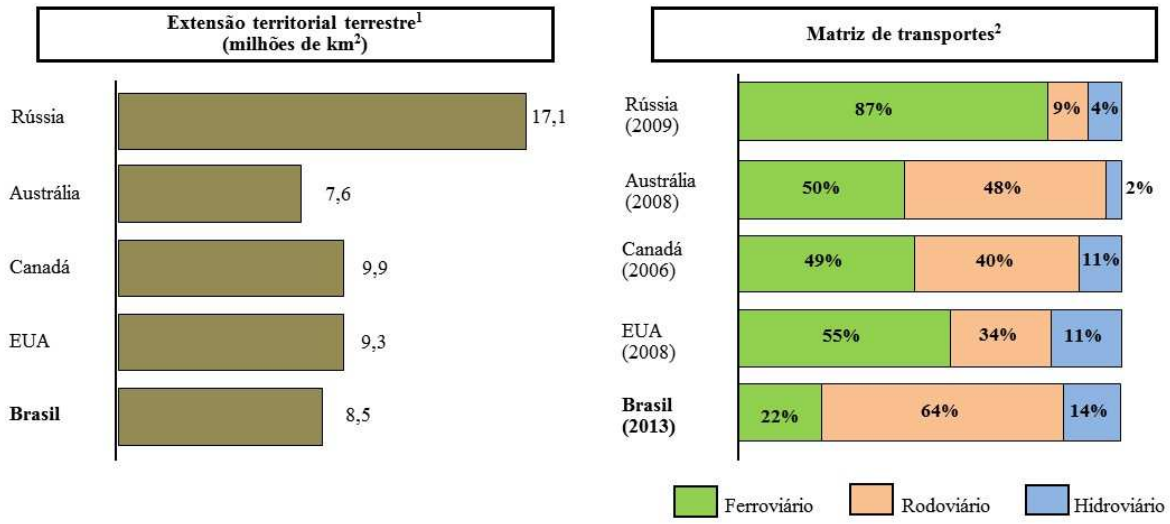
O sistema rodoviário apresenta-se como principal modal de transporte integrador das principais regiões produtoras ao mercado doméstico e aos portos exportadores, além de ser o transporte utilizado nas rotas intermodais conectando as zonas produtoras com os terminais de transbordo ferroviário e/ou hidroviário.

Neste sentido, o conhecimento do comportamento dos fretes rodoviários é uma importante ferramenta de apoio para tomada de decisões, pois contribui com informações relevantes sobre os preços praticados no mercado conforme as características da operação e dos diferentes serviços oferecidos pelos transportadores.

Isto posto, o objetivo da presente proposta consiste na utilização de uma técnica de mineração de dados, para identificação de padrões não óbvios num banco de dados que descreve o frete dos grãos soja e milho, em rotas exclusivamente nacionais. Os padrões pretendidos são obtidos na forma de regras de associação, e para tal, os dados são submetidos ao algoritmo Apriori (Agrawal, et al. 1993; Agrawal e Srikant, 1994; Liu, et al., 1998), que recebe como entrada a totalidade dos dados, e fornece como saída as regras, cujas quantidade, frequência e força dependem dos parâmetros informados ao algoritmo logo antes de sua execução. Para esse trabalho foram utilizados os parâmetros suporte (*lowerBoundMinSupport*), e a confiança (*metricType = Confidence, e minMetric*).

2. TRANSPORTE AGRÍCOLA

A matriz de transporte de cargas brasileira é calcada no modal rodoviário, com o uso intensivo de combustível fóssil. No Brasil, a distribuição da participação dos modais rodoviário, ferroviário e hidroviário no transporte de carga geral é substancialmente diferente daquela encontrada em outros países de dimensões continentais similares (Figura 1). A Figura 1 ilustra dois pontos: a esquerda da figura é apresentada a dimensão continental de alguns países e a direita da figura é ilustrado a movimentação de carga geral (não inclui a movimentação de passageiro). Trata-se da movimentação de países com dimensão continental similares a do Brasil. Por exemplo, o Canadá possui 9,9 milhões de km^2 de área e o Brasil 8,5 milhões de km^2 de área. Contudo, no Canadá 49% da movimentação de carga geral é feito por ferrovia, já no Brasil o transporte feito por ferrovias é de apenas 22%.



Notas: 1) Extensão territorial total descontados das áreas cobertas por água.
2) Não considera transporte dutoviário e aéreo.
2) Movimentação de Carga Geral, não incluí transporte de passageiros

Fonte: Oliveira (2014)

Figura 1: Extensão territorial e transporte de carga geral, países selecionados

De acordo com os dados da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2016), a modalidade de transporte rodoviário tem absorvido mais da metade dos transportes de cargas. Em 2016, foi responsável por 61,1% das movimentações, contra 20,7% do transporte ferroviário e 13,6% do transporte hidroviário. Segundo (Caixeta Filho, 1996), essa predominância do modal rodoviário pode ser explicada pelas dificuldades que outras modalidades de transporte enfrentam para atender eficientemente os aumentos de demanda em áreas mais afastadas do País, as quais são desprovidas de ferrovias ou hidrovias.

Em função dos altos custos de transporte, decorrente da má utilização da malha viária disponível, aliados aos serviços portuários caros e ineficientes, as commodities agrícolas brasileiras ficam em desvantagem, quando comparada às commodities produzidas nos outros países produtores (Oliveira, 2014). Por exemplo, Argentina e Estados Unidos, considerados grandes produtores de grãos e que apresentam algumas vantagens logísticas. A Argentina, ainda que tenha a rodovia como principal via de transporte, possui distâncias menores a percorrer das zonas produtoras até os portos exportadores. Já nos Estados Unidos, assim como no Brasil, onde há grandes extensões serem vencidas, os grãos são transportados principalmente por hidrovia (Plá e Salib, 2003; Oliveira, 2014).

Uma vez que o custo do transporte rodoviário tem grande participação na composição do preço dos grãos, e, consequentemente, para manter-se competitivo no mercado mundial, o setor produtivo nacional precisa buscar formas de reduzir os custos logísticos. Estas reduções podem ser resultantes da parceria com as companhias de transporte para constante monitoramento da malha de transporte. Além disso, a identificação de rotas alternativas; a avaliação da utilização dos trajetos atuais; a descoberta das novas tendências e tecnologias de transporte, com base no histórico recente e presente, são algumas das informações que podem auxiliar na tomada de decisão dos gestores da área. Estas podem potencialmente ser extraídas de um banco de dados através de técnicas de Data Mining, especialmente da Mineração de Regras de Associação.

Para esse trabalho foi selecionado o algoritmo Apriori (Agrawal et al., 1993; Agrawal e Srikant, 1994; Liu et al., 1998), capaz de gerar regras de associação, a partir de um banco de dados. Esta técnica opera principalmente fazendo uso de dois parâmetros: a. suporte, frequência com que ocorrem os padrões em toda a base; b. confiança, que é medida da força das regras.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O Data Mining reúne uma série de técnicas, com destaque para as estatísticas, probabilísticas e de inteligência artificial, capazes de fornecer respostas a várias questões ou mesmo descobrir novas informações em grandes bancos de dados.

Existem diversas técnicas de Data Mining disponíveis na literatura (Chen et al., 1996; Cheung et al., 1996). Uma das técnicas mais atraentes é a Mineração de Regras de Associação, que tem como destaque o algoritmo Apriori. Ele pode trabalhar com um número grande de atributos, gerando várias alternativas combinatórias entre eles. O algoritmo Apriori realiza buscas sucessivas em toda a base de dados, mantendo um ótimo desempenho em termos de tempo de processamento (Agrawal e Srikant, 1994).

Frequentemente, em grandes bancos de dados que armazenam milhares de itens, como aqueles existentes em redes de supermercados, deseja-se descobrir associações importantes entre os itens comercializados, tal que a presença de alguns deles em uma transação (compra e venda) implique na presença de outros na mesma transação. O objetivo, então, é encontrar todas as regras de associação relevantes entre os itens, do tipo X (antecedente) ⇒ Y (consequente), num banco de dados de transações *t*.

O processo de extração de regras de associação foi inicialmente apresentado em Agrawal et al. (1993) como uma técnica que encontra relacionamentos entre a ocorrência de itens em transações de uma base de dados. Seja $I = \{i_1,\ldots, i_n\}$ um conjunto de literais, denominados itens. Um conjunto $X \subseteq I$ é chamado de *itemset*. Um *itemset* X com *k* elementos é chamado de *itemset_k*. Seja D uma base de dados com transações *t* que envolvem elementos que são subconjuntos de I. A transação *t* suporta um *itemset* X se $X \subseteq t$. Uma regra de associação é uma expressão da forma $X \rightarrow Y$, onde X e Y são *itemsets*. O suporte da regra é a fração do número de transações que contém $X \cup Y$ em D. A confiança é a fração do número de transações contendo X que também contém Y. Um exemplo bem conhecido de regra de associação envolvendo dados de uma cesta de compras é "70% das compras que contém fralda também contém cerveja; e 4% de todas as compras contém esses dois itens". Nesse exemplo, 70% é a confiança da regra e 4% é o suporte da regra. O problema de minerar regras de associação consiste em encontrar regras fortes, que são as regras que satisfazem as restrições de suporte mínimo e de confiança mínima especificadas pelo usuário.

3.1. Apresentação dos dados

As informações das rotas rodoviárias de grãos e seus respectivos custos de frete, que compõe a massa de dados utilizada nesse trabalho, foram obtidas junto ao Sistema de Informações de Fretes (SIFRECA, 2016). Estas apresentam os atributos apresentados na Tabela 1, sendo: Ano, o ano em que o preço daquela rota foi levantado, podendo assumir os valores do conjunto {2013, 2014, 2015}; Mês, o mês em que o preço daquela rota foi obtido; Produto, descreve o grão transportado na rota, podendo assumir os valores {milho, soja}; Origem, município de origem da carga; UFOrigem, sigla do estado de origem da carga; Destino, município de destino da carga; UFDestino, sigla do estado de destino da carga; Distância (km), dada em quilômetros,

consiste na distância percorrida pelo caminhão, entre a origem e o destino; Frete (R$/t), sendo o preço cobrado pelo transporte da tonelada do grão, para a rota em questão, e Índice (R$/t.km), é o preço por tonelada, por quilômetro rodado, praticado naquela rota.

Tabela 1: Amostra do Banco de dados bruto e os atributos que descrevem as rotas de transporte.

Ano	Mês	Produto	Origem	UF Origem	Destino	UF Destino	Distância (km)	Frete (R$/t)	Índice (R$/t.km)
2013	Abril	Soja	Sorriso	MT	Santos	SP	2.211	286,75	0,129
2013	Abril	Soja	Sinop	MT	Santos	SP	2.294	287,33	0,125
2013	Julho	Milho	Rio Verde	GO	Paranaguá	PR	1.378	115,00	0,083
2013	Julho	Milho	Rio Verde	GO	Santos	SP	1.002	145,00	0,144

Foram avaliados um total de 19.341 rotas de transporte, destas 2.760 foram praticadas em 2013, 2.556 em 2014 e 14.025 em 2015. Com relação a divisão por produto, 9.713 são rotas de transporte de soja e 9.628 rotas para o transporte de milho.

3.2. Preparação dos dados

De acordo com Pyle (1999), a fase de preparação de dados é a mais longa das fases da mineração de dados, pois envolve etapas que vão desde a identificação do problema até a modelagem e formulação da apresentação dos resultados. Pyle (1999) menciona que para se obter sucesso na fase de preparação de dados, cerca de 60% do tempo total investido no processo de mineração deve ser dedicado exclusivamente a esta fase.

De fato, ao longo desse trabalho foi possível verificar a afirmação supracitada. A fase de preparação de dados se mostrou consistentemente a que consumiu o mais tempo, e que demandou os mais concentrados esforços, para que, ao seu final, fosse possível obter um conjunto de dados consistente e robusto, a partir do qual regras de associação interessantes pudessem ser geradas. A preparação dos dados de frete foi dividida em quatro sub-etapas: I. preenchimento dos valores faltantes; II. limpeza dos dados; III. redução de dimensionalidade; e IV. discretização dos atributos numéricos. A seguir cada uma dessas etapas é descrita.

O conjunto de dados obtido do SIFRECA (2016), apesar de bem tabulado para os anos de 2013 e 2014, no ano de 2015, justamente o que continha a grande maioria das observações, não apresentava qualquer informação de distância entre os pontos de origem e destino do da rota, apresentando apenas o valor do frete. A informação de distância, em quando tratando-se de valoração de transporte, é informação indispensável para qualquer modelo, seja ele descritivo, como no caso das regras de associação, ou preditivo.

Em parte, o problema foi resolvido varrendo-se as rotas dos anos anteriores, para cada origem, e destino apresentados em 2015, e copiando aquele valor para o ano mais recente. Ainda assim, ao final desse processo que fora automatizado, ainda restavam rotas sem informação da distância (cerca de 14.000). Por fim optou-se por preencher os demais valores, com a distância fornecida pela API do GoogleMaps (GOOGLEMAPS, 2016), que fornece, dentre diversas informações, todas as rotas possíveis entre dois municípios selecionados e suas distâncias. Criou-se então um algoritmo para automatizar a comunicação com o serviço do GoogleMaps, informação dos municípios que compunham a rota e extração da distância da rota. Nos casos

em que mais de uma rota foi retornada, optou-se pela distância/rota mediana.

Tendo sido resolvida a questão dos valores faltantes, procedeu-se à limpeza dos dados. Mesmo após o preenchimento das distâncias faltantes de maneira automatizada, algumas não puderam ser encontradas, seja por consistirem em nomes de cooperativas, e por isso não localizadas pelo GoogleMaps, seja por erros de digitação no nome do município, seja por consistirem em nomes de fazendas ou distritos, que também não foram encontrados. Esses, que totalizavam uma quantidade muito reduzida, face ao montante total dos dados (menos de 100 instâncias) foram removidas junto com as respectivas instâncias. Removidas também foram as instâncias cujos atributos R$/t apresentaram valores entre 1,00 e 2,00, pois cedo verificou-se que tais valores para tonelada de grão, eram irreais, e por isso consistiam em erros, possivelmente inseridos durante a fase de coleta ou digitalização dos dados.

Houve também uma fase de redução de dimensionalidade, o qual não fez uso de nenhum algoritmo propriamente dito, mas apenas dos conceitos de detecção de redundância, e diminuição da cardinalidade.

O atributo que sugeria uma remoção com maior clareza, foi o R$/t.km (preço por tonelada, por quilômetro rodado), pois este pode ser escrito em função de outros dois atributos: distância (km), e custo do frete (R$/t), representando assim uma redundância, e por isso, removido.

Removidos também foram os atributos que representavam o nome dos municípios de origem e destino do frete, ORIGEM e DESTINO, respectivamente. Estes apresentavam uma cardinalidade muito elevada (em última instância, igual ao número de municípios no Brasil), o que resultava em um número de regras de associação muito elevado (mais do que dobrava a quantidade, para o suporte mais baixo adotado), regras estas sem qualquer fator de interesse, pois em sua maioria consistiam em uma associação entre estado e município, como no exemplo: DESTINO=Paranaguá 2999 ==> UFDESTINO=PR 2999. Além disso, uma vez que existiam os atributos de sigla de estado para as mesmas origens e destinos, o município consistia num grau de refinamento que trazia pouco benefício, a um custo relativamente elevado, na busca por regras interessantes.

Por fim, para que fosse possível a aplicação do algoritmo Apriori (Agrawal e Srikant, 1994; Liu et al. 1998) sobre os dados em questão, fez-se necessária a discretização dos atributos numéricos, distância (km) e custo do frete (R$/t). Para tal, optou-se pelo particionamento das classes baseado em frequência (*Equi-depth*), pois este método, além de apresentar bons resultados para atributos numéricos, tem boa taxa de sucesso na prevenção de classes desbalanceadas. Além disso, especificamente para o atributo distância (km), foi possível estabelecer o limite superior do primeiro intervalo em 500 km, o que foi feito intencionalmente, pois de acordo com (Nazário, 2011; Oliveira, 2006) o comportamento de frete rodoviário para grãos muda a partir desse limite, diminuindo a curva de crescimento do preço, tornando-se mais barato por quilômetro rodado. Assim, foi desejado que esse comportamento conhecido fosse evidenciado pelas regras. Para tanto, foram gerados quatro intervalos para cada um dos atributos requeridos para discretização, conforme Figura 2 e Figura 3.

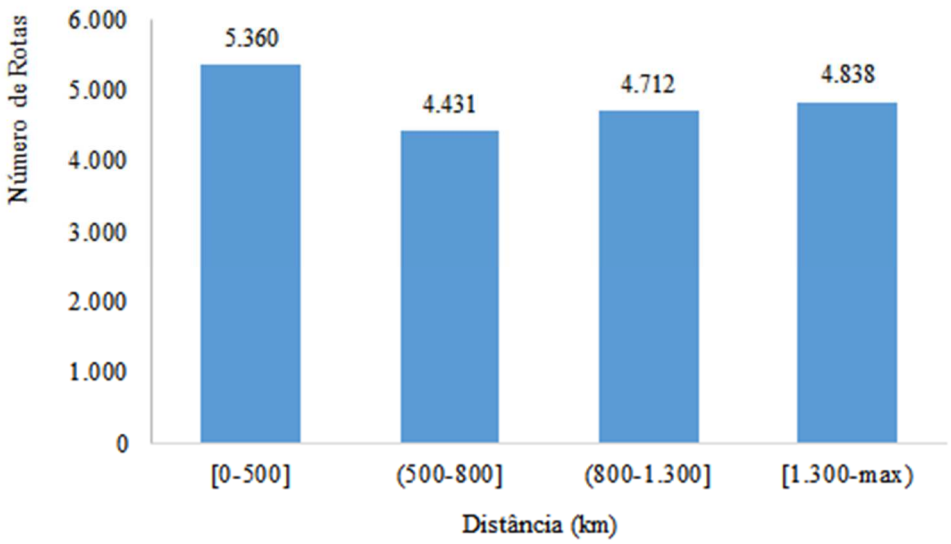


Figura 2: Intervalos de discretização criados para o atributo distância (km)

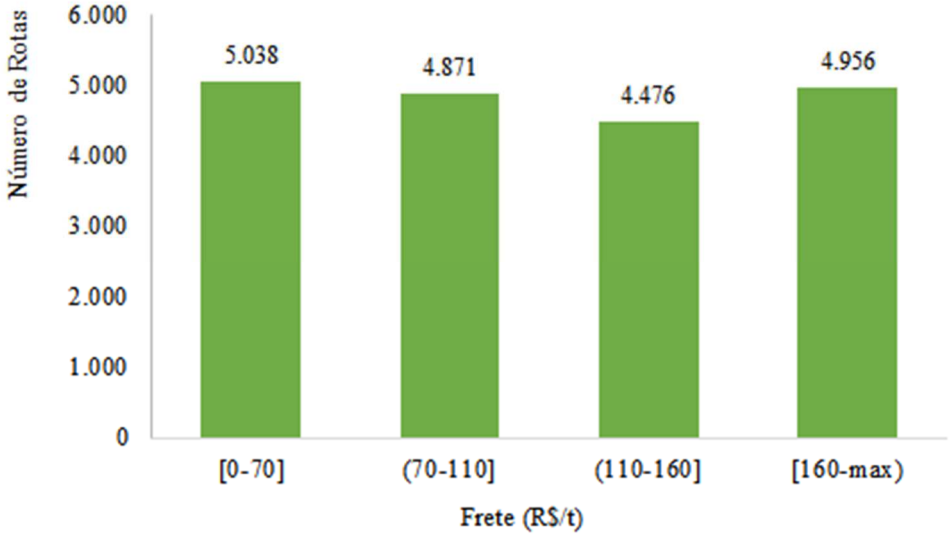


Figura 3: Intervalos de discretização criados para o atributo custo do frete (R$/t)

3.3. Aplicação da técnica

A aplicação do algoritmo Apriori sobre o banco de dados, deu-se através da ferramenta Weka (WEKA, 2016), cuja versão utilizada foi a 3.7.9. Na seção de *Associate*, fixou-se o valor do parâmetro confiança em 0,7 e, inicialmente, 0,9 para o suporte. A medida que nenhuma regra foi encontrada, reduziu-se então, o suporte de maneira iterativa até que fossem encontradas as primeiras regras de associação. O que de fato ocorreu quando se fez suporte = 0,2, tendo sido encontradas 10 regras. A partir de então o suporte foi decrementado em 0,01, até que ele mesmo chegasse a 0,01, valor este que resultou no maior número de regras, atingindo 2.509 encontradas pelo algoritmo. Isso ocorre uma vez que o suporte representa o quão frequente uma regra deve ser, em relação a massa de dados completa, para que seja reconhecida pela técnica.

Sendo assim, quanto mais baixa for essa restrição, maior será a chance de o algoritmo retornar informações. É importante ressaltar o valor de 0,7 selecionado para o parâmetro confiança e mantido de maneira constante durante todas as execuções do algoritmo, com objetivo de filtrar

regras com valores menores que aquele.

Como mencionado anteriormente, a confiança representa a força da regra, assim, quanto mais alta, mais representatividade aquela regra detém. Uma regra que apresenta baixa confiança, pode representar um caso muito isolado, ou mesmo um ruído, o que para esse trabalho considerou-se desinteressante. De acordo com Han et al. (2012), o limite mínimo para a confiança deve ser estabelecido pelo usuário a partir do conhecimento prévio que possui sobre os dados e o cenário que estes descrevem. Sendo assim, o valor 0,7 foi definido após verificar-se que valores inferiores a estes faziam com que o algoritmo retornasse muitas regras que não faziam sentido no contexto das rotas de transporte de soja e milho.

A curva apresentada na Figura 4 descreve o crescimento do número de regras encontradas, frente ao valor do suporte utilizado em cada execução do algoritmo.

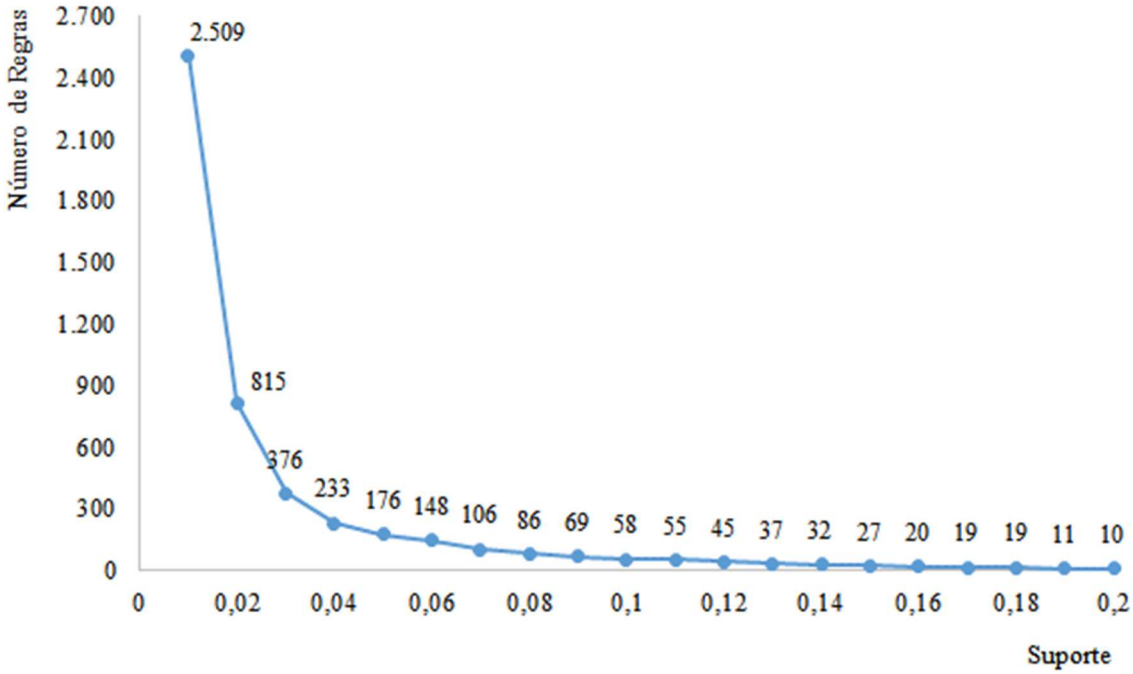


Figura 4: Número de regras encontradas x valor de suporte utilizado

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Do total de regras de associação reconhecidas pelo algoritmo ao longo das execuções disparadas, nove delas foram selecionadas através de um processo de análise manual, e validadas junto ao especialista do banco de dados de fretes agrícolas, por representarem padrões interessantes, e muito fidedignos ao cenário conhecido da área. O Quadro 2 apresenta a lista completa das regras selecionadas, bem como os valores de suporte e confiança conferidos a cada uma delas.

Tabela 2: Regras de associação de destaque, selecionadas após análise.

ID	Suporte	Confiança	Regra
A	0,10	0,80	UFORIGEM=PR ==> UFDESTINO=PR
B	0,09	0,85	Distância (km)=(1300-max) ==> UFORIGEM=MT
C	0,09	0,82	R$/t=(160-max) ==> UFORIGEM=MT
D	0,07	0,96	UFDESTINO=MT ==> UFORIGEM=MT
E	0,06	0,77	UFDESTINO=SC ==> PRODUTO=Milho
F	0,03	0,96	UFORIGEM=RS ==> UFDESTINO=RS
G	0,03	0,73	UFDESTINO=GO ==> PRODUTO=Soja
H	0,03	0,76	UFDESTINO=MA ==> PRODUTO=Soja
I	0,03	0,83	UFORIGEM=MT UFDESTINO=MG ==> ANO=2015

A regra A, que apresenta o maior suporte (0,10), e por isso maior frequência na massa de dados, pode ser interpretada de forma a evidenciar que os grãos produzidos no estado do Paraná escoam a partir de seu principal porto, Porto de Paranaguá, uma vez que se trata de um grande estado produtor de grãos e que dispõe do segundo principal maior porto brasileiro exportador de soja e milho. A regra tem em seu antecessor e sucessor o próprio estado, respectivamente, nos atributos UFORIGEM e UFDESTINO.

A regra B mostra que, com forte confiança (0,85), se a observação detém a maior distância de todas (1300-max), também apresenta como origem da rota de frete o estado do Mato Grosso (MT). Essa foi uma regra que destacou desde os primeiros conjuntos gerados, e pode ser explicada pelo altíssimo volume de grãos produzidos pelo MT, uma vez que é o principal estado produtor de soja brasileiro, que precisam ser direcionados para os portos. Contudo, o Centro-oeste brasileiro precisa superar longas distâncias para se conectar aos principais portos de exportação de grãos localizados na zona costeira, principalmente nas regiões Sul e Sudeste.

A regra C é na verdade um complemento da regra anterior. Pois, uma rota longa e com origem em MT, implica em uma faixa mais elevada do preço do frete. Isto porque distância e custo do frete tem uma relação direta.

A regra D consistiu em uma das surpresas surgidas ao longo da análise. Desde cedo ficou evidenciado que as rotas longas e caras dominavam o estado do MT, sempre tendo este como origem, uma vez que, como já mencionado, trata-se de um estado produtor. Todavia, ter o mesmo estado como destino, e sabendo que aquele não consiste num estado litorâneo, e por isso não dispõe de um porto. É neste ponto que fica claro a dinâmica da logística interna no estado no MT. O fato recente é a ampliação da capacidade estadual de armazenamento, que vem tentando corrigir o déficit de armazenagem que o MT ainda apresenta (Oliviera, 2014). A cada ano o Estado vem ampliando a sua capacidade estática em cerca de 1 milhão de toneladas, chegando em 2015 com uma armazenagem de 33,4 milhões de toneladas, já a produção de grãos atingiu 43,4 milhões de toneladas (CONAB, 2016). Além disso, outro fator que tem impulsionado esta movimentação dentro do estado é o surgimento de novas rotas intermodais de transporte impulsionadas por novos projetos viários. Destaca-se aqui a opção rodoferroviária do terminal de transbordo de Rondonópolis (MT), que interliga o MT por ferrovia até o estado de São Paulo e ao Porto de Santos (Oliveira, 2014).

A regra E, apesar de apresentar uma confiança menor do que as anteriores (0,77), ainda assim revela um padrão interessante, uma vez que demonstra que se o destino é o estado de Santa Catarina (SC), o grão transportado é milho. Daí duas observações muito importantes. A primeira é que é possível confirma que a movimentação de milho ocorre para suprir a demanda de um dos principais produtores de carne de porco e frango do Brasil, e que possui um dos maiores rebanhos de suínos e galinha de corte (Duarte et al., 2015). Esta característica faz com que Santa Catarina demande grande volume de milho para ração animal. A segunda interpretação é que o porto de São Francisco do Sul, localizado litoral norte do estado, recebe, através de rotas interestaduais, principalmente milho, em detrimento de soja.

A regra F é similar a regra D, no sentido em que apresenta o mesmo estado como origem (antecessor) e destino (sucessor) na regra. Todavia, desta vez tratar-se do estado do Rio Grande do Sul (RS) que, além de ser produtor, possui um importante porto para escamento da soja, o Porto de Rio Grande. Contudo, não é possível afirmar com precisão se o destino dos grãos é o porto, ou silos de armazenagem. Ainda assim, é possível declarar que aquilo que é produzido no RS, é de alguma forma, processado ou exportado pelo próprio estado.
A regra G indica que se o estado de origem é Goiás (GO), então o grão é soja. Essa é uma regra menos óbvia que as anteriores. Sabe-se que GO é um estado produtor, inclusive de soja, e que, assim como MT, não se encontra no litoral, e por isso não possui porto. Sabe-se, devido a análises anteriores, que a produção de soja de GO escoa para portos no litoral. Todavia se o destino é o próprio estado, a explicação se encontra novamente na armazenagem através de silos, ou ainda, no processamento pelas indústrias processadoras de grãos. O que é interessante é que, mesmo o estado produzindo milho, a regra indica que apenas soja é armazenada e/ou processada no próprio estado. Para corroborar, conforme dados da Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE, 2016), o estado de Goiás ocupa a quarta posição no ranking brasileiro de capacidade instalada de processamento de soja (13% da capacidade nacional), esmagando cerca de 23,5 mil toneladas/dia.

A regra H é semelhante à regra anterior, muito embora a interpretação seja diferente, uma vez que o estado do Maranhão (MA) dispõe do porto de São Luís pelo qual exporta grande parte de sua produção. Dessa forma, e de acordo com a regra, o porto recebe mais soja, em detrimento ao milho, uma vez que não foi identificada uma regra análoga a essa, para milho.
Por fim a regra I apresentou o padrão mais interessante de toda a análise. O estado de MT enquanto produtor, e por isso origem de rotas de transporte, já foi diversas vezes citado ao longo do presente trabalho. Mas a novidade encontra-se no estado de Minas Gerais (MG) ser o destino da rota originária no MT. Isto porque MG é um estado sem litoral, e por isso sem porto, e ao mesmo tempo sem uma capacidade de armazenagem relevante, com uma capacidade estática de 8,9 milhões de toneladas (6% da armazenagem nacional) (CONAB, 2016). Mesmo que estado tivesse uma armazenagem significativa, não haveria muito sentido em mover uma quantidade de grãos para ser armazenado em um estado que não tem capacidade de processamento/esmagamento (apenas 5% da capacidade de moagem, cerca de 9 mil toneladas/dia) (ABIOVE, 2016) ou exportação.

O importante neste Estado, é o fato de Minas Gerais apresentar uma destacada malha ferroviária e possuir importantes terminais de transbordo ferroviário, localizados nos municípios de Uberaba, Uberlândia e Araguari, região do triângulo mineiro, que transfere cargas do modal rodoviário para o modal ferroviário, para posterior encaminhamento ao destino seguinte, em geral o porto de Vitória, no estado do Espírito Santo. Além disso, a regra estabelece que essa

movimentação entre MT, e os terminais intermodais de MG, ocorreu com mais intensidade em 2015.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo desse trabalho foi possível verificar algumas conclusões que já são conhecidas pela bibliografia especializada na área de mineração de dados: a) a fase de preparação de dados realmente absorve a maior parte do tempo de execução de um projeto; b) a discretização de atributos influencia diretamente sobre as regras encontradas, e para uma maior taxa de sucesso, se faz necessário conhecimento sobre banco de dados considerado; c) mesmo no caso de pouco conhecimento sobre o banco de dados, a identificação de regras de associação interessantes, revelou-se um método muito eficaz para um maior aprendizado a respeito dos dados, pois mesmo os padrões óbvios e frequentes dizem muito sobre o comportamento dos dados.

Muitos padrões e regras foram identificados para o Estado do Mato Grosso, em função do volume de rotas praticadas e da expressividade da produção de grãos desta região. As regras vão desde o fato de que é no Mato Grosso que estão presentes as rotas mais longas e caras até identificar a dinâmica da logística interna no estado, uma vez que parte da produção é direcionada para armazenagem ou processamento industrial no próprio Mato Grosso. Além disso, parte da soja originária no MT também tem como destino o triângulo mineiro, neste caso esta movimentação se dá pela existência da rota intermodal rodoferroviária que interliga a produção de grãos do MT ao terminal de transbordo ferroviário de Uberaba ou Araguari (MG) que daí segue para o Porto de Vitória (ES) através da Ferrovia Centro Atlântica (FCA).

Por fim, como trabalho futuro, parte-se da ideia de desenvolver uma técnica mais sistematizada e automatizada para identificação de regras interessantes. Considerando inclusive um sistema especialista, que detivesse parte do conhecimento especializado, do perito em banco de dados de rotas de transporte rodoviários para grãos e, com objetivo de executar um trabalho de categorização das regras, sobre uma base de conhecimento modelado para tal, e específica para rotas de fretes agrícolas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agrawal, R., Imielinski, T., Swami, A. Mining association rules between sets of items in large databases. *Proceddings of the ACM SIGMOD Conference*. Washington, DC, USA, p. 207-216, 1993. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/285843397_Mining_association_rules_between_set_of_items_in_largedatabases>. Acesso em: 22 nov. 2015.

Agrawal, R.; Srikant, R. Fast Algorithms for mining association rules in large databases. *Anais do 20th International Conference on Very Large Data Bases*, p. 478-499, 1994, Chile, 1994. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/2460430_Fast_Algorithms_for_Mining_Association_Rules>. Acesso em: 22 nov. 2015.

ABIOVE. Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. *Estatísticas*. Disponível em: <http://www.abiove.org.br/site/index.php?page=estatistica&area=NC0yLTE=>. Acesso em: 22 nov. 2016.

Caixeta Filho, J.V. Transporte e logística no sistema agroindustrial. *Preços Agrícolas: mercados agropecuários e agribusiness*, Piracicaba, v.10, n.119, p. 2-7, 1996.

Chen, M-S., Han, J. e Yu, P. S. Data mining: an overview from a database perspective. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, v. 8, n. 6, p.886-883, 1996.

Cheung, D. W., Ng, V. T.; e Fu, A. W. Efficient mining of association rules in distributed databases. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, v.8, n. 6, p. 911-922, 1996

CNT. Confederação do Transporte Nacional. *Boletim Estatístico*. Disponível em: < file:///C:/Users/Andr%C3%A9a%20Leda/Downloads/Boletim%20Estat%C3%ADstico%20-%2007%20-%202016%20(1).pdf>. Acesso em: 31 out. 2016.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. *Previsão de Safras*. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2>. Acesso em: 27 set. 2016.

Duarte, J. O.; Garcia, J. C.; Miranda, R. A. Economia da produção do milho. In: Pereira Filho I. A. et al. *Cultivo do Milho*, 2015. Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=7905&p_r_p_-996514994_topicoId=8659>. Acesso em: 22 nov. 2016.

Nazário, P. Intermodalidade: importância para a logística e estágio atual no Brasil. In: Fleury, P. F.; Wanke, P.; Figueiredo, K. F. (orgs.). *Logística empresarial: a perspectiva brasileira*. São Paulo: Atlas, 2011, p. 142-152.

GOOGLEMAPS. Google Brasil Internet LTDA. **API de Mapas do Google**. Disponível em: <https://maps.google.com>. Acesso em 02 nov. 2016.

Liu B.; Hsu, W.; eMa, Y. Classification and association rule mining. In: Fourth International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 80-86, 1998, **Anais...** Nova Iorque, 1998.

Pyle, D. *Data Preparation for Data Mining*. São Francisco: Morgan Kaufmann, 1999. 466p.

Oliveira, A. L. R. Soja: comportamento dos fretes no transporte rodoviário. *Análises e Indicadores do Agronegócio,* v. 1, maio 2006. Disponível em: < http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=5977>. Acesso em: 31 out. 2016.

Oliveira, A. L. R. A logística do agronegócio: para além do apagão logístico. In: Buainain, A. M.; ALVES, E.; SILVEIRA, J. M. F. J.; NAVARRO, Z. (Org.). *O mundo rural no Brasil do século 21: a formação de um novo padrão agrário e agrícola*. 1ed. Brasília: Embrapa, 2014, v. 1, p. 337-370.

Plá, J. V. J. A.; Salib, S. Infraestrutura de transporte e potencialidade agrícola do Brasil. *Indicadores Econômicos FEE*, Porto Alegre, v.31, n.3, p. 119-134, 2003.

SIFRECA. Sistema de Informações de Fretes. Fretes Rodoviários e Ferroviários – Milho, 2012. Disponível em: <http://sifreca.esalq.usp.br/sifreca/pt/index.php>. Acesso em: 04 mar. 2013.

WEKA. The University of Waikato. *Weka Machine Learning Software to Solve Data Mining Problems*. Disponível em: <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka>. Acesso em 31 out. 2016.

Han, J.; Kamber, M.; e PEI, J. *Data mining: concepts and techniques*. 3ed. Waltham: Morgan Kaufmann; Elsevier, 2012. 703p.

Andréa Leda Ramos de Oliveira (andrea.oliveira@feagri.unicamp.br)
Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas
Av. Cândido Rondon, 501 - Barão Geraldo 13083-875 - Campinas, SP, Brasil

O CONCEITO DE *FOOD MILES* E SUA RELAÇÃO COM O DESPERDÍCIO NA CADEIA LOGÍSTICA DO MAMÃO (*CARICA SP*): O CASO DO ENTREPOSTO ATACADISTA DE CAMPINAS/SP

Dag Mendonça Lima
Joseane Thereza Bigaran Aliotte
Andréa Leda Ramos de Oliveira
Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP
Faculdade de Engenharia Agrícola - FEAGRI

RESUMO
O mamão está entre as frutas mais consumidas pela população brasileira, porém por ser altamente perecível sua logística depende de uma gestão de sucesso. Nesse sentido, o conceito de *food miles* busca garantir a qualidade do alimento e o menor desperdício através da adoção de uma cadeia logística de distribuição e de comercialização mais eficiente e com menores distâncias entre a produção e o consumo. O presente artigo tem por objetivo avaliar as distâncias percorridas pelo mamão do ponto de origem de produção ao seu ponto de destino de comercialização, CEASA Campinas e a sua relação com o desperdício durante o transporte. Para a pesquisa foi utilizado o método de Weighted Average Source Distance (WASD). Os resultados esperados estão ligados às distâncias e aos volumes para as rotas de mamão e os impactos causados durante o transporte que levam ao desperdício.

ABSTRACT
Papaya is among the fruits most consumed by the Brazilian population, but because it is highly perishable, its logistics depend on successful management. In this sense, the concept of food miles seeks to guarantee the quality of food and the least waste through the adoption of a more efficient distribution chain and commercialization, with shorter distances between production and consumption. The objective of this article is to evaluate the distance traveled by the papaya from the point of origin of production to its destination of commercialization, CEASA Campinas and its relation with the waste during transportation. For the research the Weighted Average Source Distance (WASD) method was used. The expected results are linked to the distances and volumes for the papaya routes and the impacts caused during transportation leading to waste.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, tem crescido cada vez mais uma parcela da população preocupada com o tipo de alimento consumido. Dentre eles, está o consumo de frutas, legumes e verduras (FLV) *in natura*. Mais recentemente, essa população tem demandado alimentos produzidos próximos ao local de consumo. Para esse modelo de "produção-consumo" a comunidade internacional científica tem denominado de *food miles*.

Food miles que traduzido para o português significa "milhas de alimentos" é um termo que tem sido pesquisado continuamente, não só por tratar da produção próxima ao local de consumo, mas também por se preocupar com a qualidade dos alimentos que serão consumidos, além de considerar implicações importantes para a sustentabilidade econômica, ambiental e sociocultural.

O conceito foi criado pelo professor Tim Lang em meados da década de 1990 no Reino Unido durante o evento Sustainable Agriculture Food and Environment (SAFE) e descrito pela primeira vez no relatório "The Food Miles Report: The dangers of long-distance food transport" (Kemp *et al*., 2010). "Milhas de alimentos" é a distância da viajem dos alimentos de onde são cultivados até onde são finalmente comprados ou consumidos (Defra, 2005).

No Brasil, o conceito de *food miles* ainda é pouco conhecido, mas tem ganhado adeptos por se tratar de um tema bastante promissor e de importante impacto e contribuição à Segurança

Alimentar e Nutricional. Diante de uma população cujo percentual de obesidade vem crescendo significativamente, e como consequência o aumento de doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) (diabetes mellitus, hipertensão arterial e outras), o conceito *food miles* é um caminho para o governo fomentar políticas públicas de acesso a alimentação saudável. Segundo Gonzáles-Muniesa *et al*. (2017), mais de 2 bilhões da população mundial se apresentam obesas ou em condições de sobrepeso.

A obesidade e o sobrepeso impactam fortemente na qualidade de vida das pessoas e estão associadas a componentes multifatoriais tais como, a dieta, a hábitos de vida saudáveis, atividade física, história familiar, preferencias culturais e práticas alimentares e comportamentos associados ao consumo de alimentos (González-Muniesa *et al*., 2017).

Na esfera ambiental, a preocupação é com as mudanças climáticas e o impacto dessas mudanças sobre as condições e a qualidade de vida da população mundial, que afetam diretamente na decisão dos consumidores em adquirir produtos que sejam sustentáveis e responsáveis ambientalmente (Weber e Matthews, 2008).

Conforme relatório Defra (2005), quanto maiores às distâncias percorridas pelos alimentos maiores os encargos ambientais, sociais e econômicos associados ao transporte. Estes incluem emissões de dióxido de carbono, poluição do ar, congestionamento, acidentes, ruído e consumo de combustível.

Em países industrializados, como a Grã-Bretanha e os EUA, os alimentos estão percorrendo maiores distâncias até chegar ao consumidor. Entre 1978 a 1999, as distâncias com o transporte de alimentos na Grã-Bretanha aumentaram 50% (Pirog e Benjamin, 2003). Desde 1978, o volume anual de alimentos transportados por veículo pesado no Reino Unido aumentou 23% e a distância média de cada viagem subiu mais de 50% (Defra, 2005).

Maiores distâncias também estão associadas às maiores perdas. Deste modo, a produção local (*food miles*) também impacta na oferta e na disponibilidade de alimentos. Por isso, os níveis de desperdício ao longo da cadeia devem ser considerados como um importante fator que contribui para a oferta e a disponibilidade de alimentos, e também, na utilização de recursos naturais. Segundo cálculos da FAO as perdas de todo o alimento produzido no mundo gira em torno de 30%, o que representa aproximadamente 1,3 bilhões de toneladas por ano (FAO, 2011). Estima-se que no mundo, aproximadamente um terço das frutas e hortaliças frescas são jogadas fora porque sua qualidade caiu abaixo do limite de aceitação (Gustavsson *et al.*, 2011).

A perda de alimentos também contribui para importantes impactos ambientais tais como, o não uso racional dos recursos hídricos, energéticos, o uso e a utilização da terra em que foram produzidos os alimentos que não chegaram ao seu destino final, bem como as emissões desnecessárias, de gases de efeito estufa na atmosfera (FAO, 2013).

A redução das alterações nos alimentos contribuiria, no limite, para a redução do desperdício, mas o seu efeito imediato é o de redução nas perdas comerciais. Um aumento da oferta de alimentos ao consumidor e a redução de custos provocada pela diminuição das perdas comerciais, levariam possivelmente a uma redução de preço ao consumidor final.

A eliminação ou a minimização destas perdas apresentam as seguintes vantagens:

- O suprimento de alimento pode ser significativamente aumentado, sem aumentar a área de cultivo e sem utilizar grandes quantidades de energia, água e capital;
- Eliminação de energia gasta para produzir e comercializar o alimento perdido;
- Redução na poluição em decorrência da redução da matéria orgânica em decomposição;
- Melhor satisfação das necessidades do consumidor e melhor nutrição, com a mesma quantidade de energia, terra, água e trabalho.

Aspectos relacionados ao ambiente físico, instalações e a relação com condições de higiene (instalações e também dos manipuladores) devem ser planejados para que se possa minimizar o desperdício. Ações pontuais tais como a padronização de processos e serviços, com a criação de rotinas e procedimentos técnicos operacionais, treinamento da equipe e controle das atividades por meio de análises devem ser implementadas para a redução das perdas (Hirschbruch, 1998).

Assim, durante toda a cadeia de suprimentos o alimento pode sofrer perdas que estão associadas desde a sua produção, colheita e pós-colheita, beneficiamento, distribuição e comercialização (Parfitt *et al*., 2010).

Portanto, a produção de alimentos em que a região de oferta esteja próxima à região de demanda, pode contribuir para níveis de desperdício reduzidos, pois, melhora a utilização adequada dos recursos naturais, aumentando a oferta e a disponibilidade desses alimentos e favorecendo o acesso a eles em qualidade e a preços adequados.

Segundo Weber e Matthews (2008), a procura cada vez maior por alimentos orgânicos e cultivados localmente, tanto nos EUA quanto na Europa, mostram que os consumidores estão preocupados no modo como esses alimentos são produzidos e de onde vem. Portanto, as "milhas de alimentos" tornam-se objeto de debate sobre a sustentabilidade alimentar (Passel, 2013).

Neste sentido, ao se avaliar a cadeia de suprimentos identificando em que etapas ou em que condições estão associadas maiores níveis de desperdício, poderia-se propor estratégias e ações, a fim de tornar a cadeia de suprimentos mais eficiente e com alimentos sendo produzidos mais próximos às regiões demandantes.

Todas essas considerações demandam pesquisas e estudos que tenham por finalidade tentar medir e reduzir as milhas de alimentos e desperdícios. Em se tratando de frutas e hortaliças, no Brasil, o mercado se mostra bastante pulverizado, de modo que esses produtos são comercializados por grandes atacadistas, como é o caso das Centrais de Abastecimento (CEASAs).

Cunha e Campos (2008) descrevem que os CEASAs movimentam aproximadamente 14 milhões de toneladas de produtos hortigranjeiros, o que representa U$ 10 bilhões anuais. E quando considerados os demais produtos e serviços que comercializa, esse valor é superior ao das vendas das duas principais redes varejistas brasileiras somadas.

Ainda segundo Cunha e Campos (2008), os CEASAs formam uma rede descentralizada, com cerca de 40 unidades administrativas, 53 unidades comerciais principais e outras unidades de

menor porte, tornando-se a principal responsável pelo abastecimento alimentar da população urbana brasileira.

Outro fator diferencial é que os CEASAs são agentes operacionais importantes nos sistemas de agricultura de governos locais, nucleando, ainda que de forma assistemática, iniciativas pertinentes às políticas agrícolas estaduais, bem como políticas de segurança alimentar. Uma vantagem não explorada neste sentido reside no fato de que as principais centrais coletam sistematicamente dados estatísticos sobre quantidade comercializada e origem dos produtos, o que permite identificar os municípios e microrregiões ofertantes, categorizando sua relevância em quantidade de oferta, a diversificação ou especialização de sua pauta comercial e a sazonalidade dessa oferta (Cunha, 2015).

Quanto à comercialização de hortifrútis, tradicionalmente composta por produtores, atacadistas e varejistas, estes vêm passando por alterações, ora pela conexão direta dos grandes varejistas com os produtores, ora pela revalorização do atacadista. A maioria dos atacadistas de hortifrútis está localizado nos CEASAs. Estas centrais têm capacidade de concentrar boa parte do mercado, eliminar concorrentes e prestar serviços especializados (Oliveira e Rocha, 2005).

Considerando a tendência dos consumidores por alimentos mais frescos e com qualidade, talvez seja importante saber situar de onde vem e para onde vão as FLV comercializadas nos CEASAs, quais as distâncias percorridas e o que dá para ser melhorado. Passel (2013) explica que uma das variáveis ao se estudar "milhas de alimentos" é compreender as externalidades do transporte levando em consideração seus diferentes modos e sua eficiência.

Assim, este artigo tem por objetivo avaliar as distâncias percorridas pelo mamão do ponto de origem de produção ao seu ponto de destino de comercialização (CEASA Campinas) e a sua relação com o desperdício durante o transporte.

Para isso, a pesquisa tem por objetivo (1) levantar a quilometragem ponderada origem-destino (local de produção e local de destino – CEASA Campinas) para o mamão, usando o método WASD e (2) avaliar as causas que, durante o transporte, estão associadas a maiores níveis de desperdício.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Local da pesquisa

O CEASA Campinas foi criado em 1972, mas somente em 1989 foi municipalizada sendo o controle acionário da empresa pertencente à Prefeitura de Campinas. A finalidade era aproximar a produção agrícola de produtos nacionais e também de importados junto aos consumidores, estimulando desta forma, a comercialização e o consumo de hortifrutigranjeiros.

O entreposto está instalado em uma área física de 500.324 m^2 às margens da Rodovia D. Pedro I, com fácil acesso a importantes rodovias do estado de São Paulo como a Rodovia dos Bandeirantes e a Rodovia Anhanguera.

A área física destinada à comercialização de Hortifrutigranjeiros possui 565 permissionários, sendo 404 deles instalados na área conhecida como pedras, que são módulos de mercado livre

e 112 permissionários instalados em boxes e os demais 49 em atividades diversas (restaurantes, bancos, lojas e serviços e associações).

2.2. Metodologia

A metodologia tem como base o levantamento das rotas de comercialização e a distribuição do mamão para o CEASA Campinas e as suas distâncias. A coleta dos dados foi feita através de entrevistas com os *Stakeholder* desse entreposto.

As entrevistas foram feitas com grandes permissionários de mamão no próprio *box* ou no módulo de comercialização da empresa. Foram feitas também juntos aos gestores do CEASA. Cada entrevista teve a duração média de 1h:30min., onde se buscou as características principais do permissionário, as informações sobre a compra e a venda dos produtos comercializados e a percepção do entrevistado sobre a logística da cadeia do mamão.

O mamão foi selecionado por se destacar no ranking geral de produtos por seu volume em toneladas, está em 7º lugar com aproximadamente 37 mil toneladas, representando 6% do volume comercializado em 2016. Já a participação do mamão no volume financeiro é o de 4º produto com maior participação com aproximadamente 124 milhões de reais, representando 7,5% em 2016.

Com relação ao grupo específico de frutas, o mamão se destaca no ranking pelo volume comercializado, está em 3º lugar representando 11% do volume comercializado em 2016, atrás apenas da melancia e da laranja que se posicionam em 1º e 2º lugar, respectivamente.

Foram entrevistados 6 permissionários, responsáveis pelo volume de compra agregado de 2,3 mil (ton./mês) o que representa 54,97% do total de mamão comercializado ao mês no CEASA Campinas.

O agendamento com cada permissionário ou com seu representante foi feito por telefone de acordo com a disponibilidade de cada um, buscando os dias e os horários de menor movimento no entreposto para que a entrevista fosse feita com toda a atenção necessária.

Os dados coletados são referentes às cidades de origem de produção de mamão, volumes comercializados, preço médio e as distâncias até o CEASA Campinas. As informações formaram o banco de dados e que posteriormente foi analisado.

Para o cálculo ponderado das distâncias utilizou-se o método Weighted Average Source Distance (distância média ponderada da fonte) empregada por Pirog e Benjamin (2003) em trabalho similar, cuja distância média ponderada calculada a partir das origens é usada para calcular uma distância única que combina informações sobre as distâncias da produção ao ponto de venda e a quantidade de alimento transportado.

A fórmula que representa o método de WASD é:

$$WASD = \frac{\sum (m(k) x d(k))}{\sum m(k)}$$

Fórmula 1: Equação de Wieghted Average Source Distance.

Onde:

k = Diferentes pontos de localização da produção
m = Peso (quantidade) de cada ponto de produção
d = Distância de cada ponto de produção para cada ponto de uso (ou venda)

3. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

O CEASA Campinas apresentou no exercício de 2016, um volume físico do mercado de hortigranjeiros, da ordem de 610 mil toneladas (606 mil toneladas em 2015), demonstrando o potencial desse mercado e a sua importância quanto aos benefícios à população consumidora de Campinas e região (CEASA Campinas, 2016).

Segundo dados do Prohort, o volume comercializado em 2016 posiciona o entreposto na 7ª posição entres as 61 Centrais de Abastecimento do país, estando atrás somente das centrais de São Paulo, Grande BH, Rio de Janeiro, Goiânia, Curitiba e Recife (1ª, 2ª, 3ª, 4ª, 5ª e 6ª posições respectivamente) (CONAB, 2016).

Com relação ao volume financeiro dos produtos comercializados em 2016, a central de Campinas movimentou aproximadamente, 1,7 bilhões de reais, se posicionando na 5ª posição entre as 61 Centrais de Abastecimento do país, estando atrás somente das centrais de São Paulo, Rio de Janeiro e Grande BH, (1ª, 2ª, 3ª e 4ª posições respectivamente) (CONAB, 2016).

Ainda segundo dados do Prohort, os estados que mais contribuem na oferta de produtos e que representaram 77% do valor ofertado em 2016 são por ordem crescente: São Paulo (50,9% do volume ofertado), Bahia, Paraná e Rio Grande do Sul, com valores ofertados de 9,4%, 7,4%, 5,1% e 4,3% respectivamente e estão apresentadas na Tabela 1: Principais estados do Brasil fornecedores do CEASA Campinas (CONAB, 2017).

Estado	*Volume Ofertado (%)*
Rio Grande do Sul	4,3
Paraná	5,1
Bahia	7,4
Minas Gerais	9,4
São Paulo	50,9
Outros Estados	22,8

Fonte: CONAB, 2016.

Tabela 1: Principais estados do Brasil fornecedores do CEASA Campinas.

A região Metropolitana de Campinas é formada por 20 municípios e destes, 19 municípios ofertaram hortifrutigranjeiros ao CEASA em 2016. A relação dos 19 municípios bem como as quantidades ofertadas está apresentada na Tabela 2.

Município da Região Metropolitana de Campinas	**Quantidade (kg)**
Campinas	24.038.634

Santo Antônio de Posse	6.245.436
Itatiba	5.371.892
Jaguariúna	3.684.114
Monte Mor	3.215.893
Engenheiro Coelho	2.919.852
Artur Nogueira	2.505.825
Valinhos	2.358.084
Sumaré	2.334.576
Cosmópolis	1.921.379
Paulínia	777.382
Indaiatuba	701.978
Pedreira	504.595
Hortolândia	320.132
Morungaba	216.421
Nova Odessa	114.220
Holambra	79.774
Vinhedo	28.811
Americana	18.480
Total	**57.357.478**

Fonte: CONAB, 2016.

Tabela 2: Relação dos municípios e as quantidades ofertadas de hortifrutigranjeiros no Ceasa Campinas em 2016.

No ano de 2016 foi comercializado pelo CEASA Campinas aproximadamente 36 mil toneladas de mamão, o que representa 11,1% do volume total de frutas comercializadas. O mamão fica somente atrás da melancia e laranja e que representam 14,94% e 14,05%, respectivamente.

Os estados da Bahia, Espírito Santo, Rio Grande do Norte e Minas Gerais contribuíram juntos com aproximadamente 97% do volume total do mamão comercializado no CEASA Campinas em 2016. A Bahia é o estado que mais ofertou mamão para o entreposto, foram aproximadamente 52% do volume total, valor superior à soma dos outros 11 estados que comercializam o fruto.

Quando se considera o total de volume financeiro, os estados da Bahia, Espírito Santo, Rio Grande do Norte e Minas Gerais representam aproximadamente 97% dos recursos financeiros totais no ano de 2016. Novamente, o estado da Bahia, representou 55% dos recursos financeiros totais no ano de 2016, valor também superior à soma dos outros 11 estados.

Os municípios Baianos de Porto Seguro, Itabela, Eunápolis, Itabuna e Buerarema são responsáveis pela oferta de aproximadamente 72% do mamão comercializado no Ceasa Campinas em 2016.

Para o estado do Espírito Santo os municípios de Linhares, Boa Esperança, Pinheiros e São Mateus são responsáveis por aproximadamente 89% do mamão comercializado em igual período.

Corinto, Matias Cardoso, Montalvania, Jaíba, Nova Porteirinha e Boa Esperança são os

municípios de Minas Gerais que são responsáveis por aproximadamente 74% do volume de mamão comercializado no Ceasa Campinas em 2016.

Já no estado de São Paulo, aproximadamente 85% do volume de mamão comercializado no entreposto em 2016 teve sua origem nas cidades de São Paulo, Cabrália Paulista e Santa Fé do Sul.

Em 2016, um total de 70 municípios brasileiros forneceram mamão para o entreposto de Campinas. Na Tabela 3 abaixo destacam-se 11 desses municípios que juntos somam 73,6 % da oferta da fruta. São apresentadas as distâncias e volumes dessas origens ao seu destino.

Município	***Quantidade (kg)***	***Distância (km)***
Porto Seguro/BA	5.676.382	1514
Baraúna/RN	4.057.215	2820
Linhares/ES	3.468.053	1074
Itabela/BA	2.496.820	1429
Eunápolis/BA	2.349.364	1451
Itabuna/BA	1.982.304	1657
Boa Esperança/ES	1.826.575	1153
Pinheiros/ES	1.400.444	1200
Buerarema/BA	1.180.720	1656
São Mateus/ES	1.056.311	1194
São Félix do Coribe/BA	993.600	1484

Tabela 3: Distância entre as principais regiões produtoras de mamão e o CEASA Campinas.

Observa-se através da tabela que a cidade de Baraúna/RN foi a origem mais distante a 2.820 km do destino CEASA Campinas, enquanto que Linhares/ES a 1.074 km, a cidade origem mais próxima.

Ao aplicar a fórmula WASD, considerando as distâncias e volumes apresentados na tabela 2, calculou-se a distância média ponderada de origem-destino para o transporte do mamão e obteve-se uma distância de 1.604 km.

A distância média ponderada mostrou-se alta, ou seja, o mamão percorre longas distâncias até chegar ao entreposto de Campinas. De acordo com Marques e Caixeta-Filho (1999), distância superior a 1.000 km em que o transporte da fruta é a granel, somado a maus cuidados no acondicionado, induz a danos ao produto, de modo que, a carga chega ao entreposto em mau estado de conservação e de apresentação ao consumidor, levando a perdas. Não foram encontrados trabalhos em que se relacionou qual a quilometragem ideal para este tipo de fruta, mas levando em consideração sua perecibilidade e tipo de transporte usado, conclui-se que a distância deveria ser mais curta. Na tentativa de atender o conceito de *food miles*, em que o consumidor dá preferência a produtos produzidos próximos ao local de venda, pois com isso há maior preservação de qualidade e menores desperdícios, infere-se que o mamão deveria ter sua maior participação de oferta nos municípios situados no estado de São Paulo, pois as distâncias são menores e consequentemente a colheita poderia ser feita mais próxima ao ponto ótimo de amadurecimento do fruto, o que neste caso, também agregaria maiores propriedades

organolépticas e sensorias.

O Gráfico 1 ilustra as distâncias das cidades origens em relação ao centro onde encontra-se o CEASA.

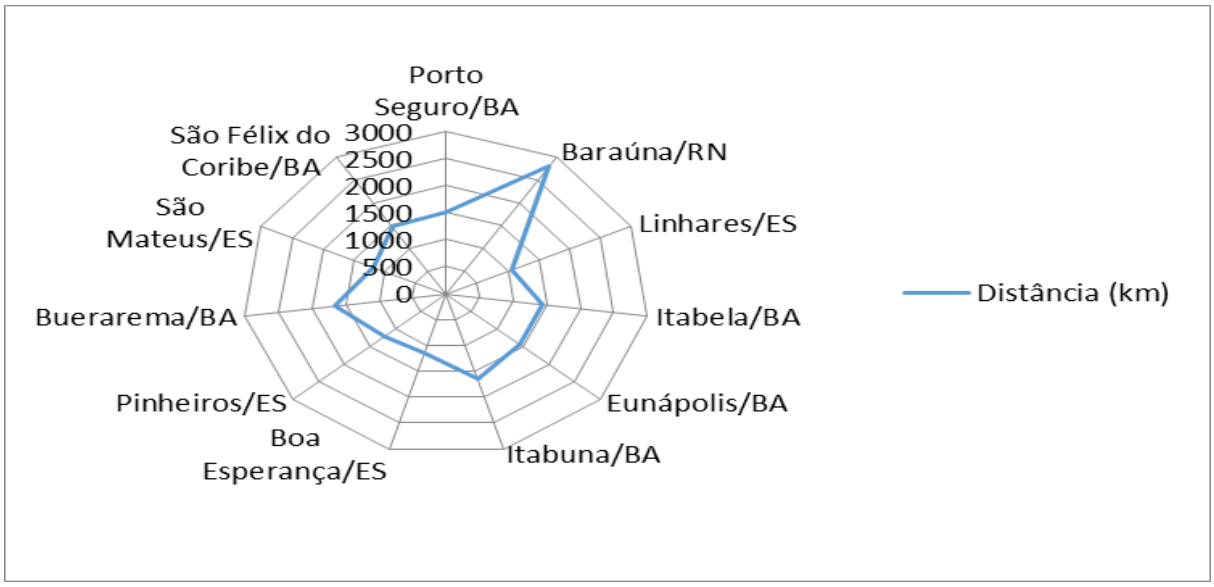


Gráfico 1: Distância entre as regiões produtoras de mamão e o CEASA Campinas.

O mamão está entre as frutas que mais percorrem distâncias até chegar ao CEASA Campinas. Sua alta perecibilidade faz com que ocorram grandes perdas em suas características sensoriais durante o transporte, o que consequentemente desagrega valor ao produto. Por isso, um dos grandes gargalos a serem superados é o tipo de transporte empregado. Os frutos quase sempre são transportados a granel, geralmente cobertos com lona ou em caixas de madeira, o que provoca danos mecânicos e amadurecimento precoce.

A maioria dos permissionários entrevistados, disseram utilizar os serviços de transporte de empresas terceirizadas ou mesmo de autônomos e que para o mamão o transporte é mais comumente realizado por pequenos veículos de carga, e em alguns casos, por caminhão baú. Portanto, o transporte refrigerado não é prática comum deste seguimento.

Também grande parte dos permissionários possuem câmaras frias para o acondicionamento do mamão, o que garante maior vida útil do produto. Os mesmos avaliam a qualidade do mamão no próprio entreposto ou, em alguns casos, por meio de visitas periódicas no local da produção. Aqueles que relataram não avaliarem a qualidade do mamão disseram trabalhar com fornecedores conhecidos, o que para eles é garantia de qualidade confiável.

Os permissionários relataram que os procedimentos de classificação e reclassificação são práticas rotineiras e que neste caso específico, essas operações, ao contrário de outras frutas, é manual. Grande parte deles realizam operações de transbordo. Essas atividades (classificação, reclassificação e operações de transbordos) podem estar associadas à menor eficiência na cadeia logística, podendo contribuir para maiores custos, devido a maior necessidade de mão de obra e consequentemente maiores níveis de desperdício desta fruta.

Os dados apontam que a relação comercial é de compra e venda sem relação direta com o

meio de produção, e que, a maioria dos permissionários entrevistados, atua apenas como agente de comercialização e que quase não há relação de produção. Isto pode estar associado a um menor controle nas etapas da cadeia que envolvem área plantada e colhida, bem como maior controle dos padrões de sanidade e da qualidade do mamão a ser comercializado.

Para a maioria dos permissionários a embalagem utilizada ainda é a caixa de madeira, mas alguns utilizam também outras embalagens como a de papelão, caixas plásticas e nichos que envolvem as frutas podendo ser de vários materiais.

Ainda segundo os permissionários entrevistados, as etapas que estão mais associadas às perdas da qualidade do mamão estão no transporte (maiores distâncias, tipo de transporte, tipo de embalagem), nas operações de transbordo e no inadequado dimensionamento da compra.

Em geral, para esse grupo de frutas, o ideal seria o transporte em caixas de papelão por caminhão refrigerado. Entretanto, o transporte refrigerado é pouco utilizado, pois encarece o transporte (Caldarelli *et al*., 2009). Ou seja, o custo do transporte por km rodado nesse caso é maior quando comparado ao modo de transporte tradicional.

Estudos mostram que o aumento no tempo de conservação do mamão a 10ºC, pode evitar injúrias, permitindo seu amadurecimento. De acordo com Caldarelli *et al*. (2009), o transporte em caminhões refrigerados a uma temperatura entre 10 e 12ºC com a umidade relativa entre 90 a 95% , possibilita o transporte do fruto por um período de 7 a 10 dias.

A cadeia logística do mamão apresenta características e procedimentos que contribuem para elevados níveis de perda da qualidade e consequentemente de maiores níveis de desperdício. Podem ser identificadas ao longo da cadeia logísticas as seguintes características: utilização de caixas de madeira, transporte em caminhões abertos (protegidos por lonas – na maioria das vezes), transporte a longas distâncias, comercialização a granel – principalmente para o mamão formosa (*Carica Papaya L*.) e a fragilidade natural do fruto que, por ser um climatérico, continua seu processo de amadurecimento até a sua deterioração.

Desta forma, os resultados levam a conclusão de que produtores e entrepostos podem se utilizar de informações sobre o local de produção de mais próximas a fim de cativar um público fiel de consumidores de seus alimentos, bem como agregar valor a eles, se mantidos padrões de qualidade.

Uma forma atender à demanda tentando minimizar perdas e desperdício é racionalizar sua distribuição e comercialização, o que para isso, é preciso antes de qualquer coisa, compreender o comportamento pós-colheita desta fruta.

O maior dinamismo, apresentado por uma cadeia logística ajustada e eficiente pode contribuir para menores níveis de perdas e desperdício do mamão, maior oferta do produto e sinalizar os pontos de origens mais adequados e com melhores indicadores de eficiência a partir do seu local de destino.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Caldarelli, C. E.; Nakamura, C. Y.; Okano, W. E. e Ercolin, T. M. (2009) Logística do mamão formosa: uma análise de modalidade de transporte. In: *47 Congresso da Sociedade Brasileira de Economia,*

administração e Sociologia Rural, Porto Alegre, jul. Disponível em: <http://www.sober.org.br/palestra/13/37.pdf >. Data de acesso: 04/09/2017.

Central de Abastecimento de Campinas (2017) *Mercado de hortifrútis*. Disponível em: <http://www.ceasaCampinas.com.br/novo/Inst_HortiFrutis.asp>. Data de acesso: 12/06/2017.

Cunha, A. R. A. A. (2015) Dimensionando o passeio das mercadorias Uma análise através dos dados do Prohort. *Revista de Política Agrícola, Campinas*, v.24, n.4, mar. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1055>. Data de acesso: 19/04/2017.

Cunha, A. R. A. A. e Campos, J. B. (2008) Sistema Ceasa: Uma rede complexa e assimétrica de logística. In: *XIII Seminário sobre a economia Mineira, Diamantina*. Disponível em: <http://www.cedeplar.ufmg.br/seminarios/seminario_diamantina/2008/D08A053.pdf>. Data de acesso: 19/04/2017.

DEFRA (2017) *The Validity of Food Miles as an Indicator of Sustainable Development*. 103p. Disponível em <http://library.uniteddiversity.coop/Food/DEFRA_Food_Miles_Report.pdf>. Data de acesso: 14/06/2017.

González-Muniesa, P.; Martinez-González, M. A.; Hu, F. B.; Després, J. P.; Matsuzawa, Y.; Loss, R. J. F.; Moreno, L. A.; Bray, G. A. e Martinez, J. A (2017) Obesity. *Nature Reviews Disease Primers*, Disponível em <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28617414>. Data de acesso: 14/06/2017.

Gustavsson, J.; Cederberg, C.; Sonesson, U.; Otterdijk, R. V. e Meybeck, A. (2011) Global food losses and food waste: extent, causes and prevention. *Food and Agriculture*. 37p. Organization of the United Nations, Roma. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e00.pdf>. Data de acesso: 20/06/2017.

Hirschbruch, M. D. (1998) Unidades de Alimentação e Nutrição: desperdício de alimentos X qualidade da produção. *Rev. Hig. Alim*., São Paulo, v. 12, n. 55, p. 12-14.

Kemp, K.; Insch, A.; Holdsworth, D. K. e Knight, J. G. (2010) Food miles: Do UK consumers actually care? *Food Policy*. 35(6): 504-513, mai.. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306919210000722>. Data de acesso: 10/03/2017.

Marques, R. W. C. e Caixeta Filho, J. V. (1999) *Análise das operações de transporte de frutas e hortaliças no estado de São Paulo: um estudo comparativo*. Piracicaba: ESALQ. Disponível em: <https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&q=ransporte+mamao&btnG=&lr=>. Data de acesso: 04/09/2017.

Parfitt, J.; Barthel, M. e Macnaughton, S. (2010) Food waste within food supply chains: quantification and potential for change to 2050. *Philosophical Transactions Royal Society B*, 365, p.3065–3081. Disponível em: <http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/365/1554/3065>. Data de acesso: 20/06/2017.

Passel, S. V. (2013) Food Miles to Assess Sustainability: A Revision. *Sustainable Development*, Bélgica, 21(1): abr. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/229915496_Food_Miles_to_assess_sustainability_A_revision >. Data de acesso: 14/06/2017.

Paxton, A. (1994) The Food Miles Report: The dangers of long-distance food transport. *SAFE Alliance*, London, UK. Disponível em: <http://www.sustainweb.org/publications/?id=191>. Data de acesso: 13/06/2017.

Pinheiro, A. R. O. e Carvalho, D. B. B. de. (2008) Estado e mercado: adversários ou aliados no processo de implementação da Política Nacional de Alimentação e Nutrição? Elementos para um debate sobre medidas de regulamentação. *Saúde e Sociedade*, São Paulo, v.17, n.2, p.170-183.

Pirog, R. S. e Benjamin, A. (2003) Checking the Food Odometer: Comparing Food Miles for Local versus Conventional Produce Sales to Iowa Institutions. *Leopold Center Pubs and Papers*, p.130. Disponível em: <http://lib.dr.iastate.edu/leopold_pubspapers/130>. Data de acesso: 13/06/2017.

Oliveira, A. L. R. e Rocha, P. (2005) O papel da logística na cadeia de produção dos hortifrutis. *Banco de Artigos do Instituto de Economia Agrícola*, São Paulo. Disponível em: http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=2160, acesso 26/09/2016.

Organização Mundial da Saúden(2015) Centro de imprensa. Nutrição: Alimentação saudável. *Nota descritiva* Nº 394, set. Disponível em: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs394/es/>. Data de acesso: 15/03/2017.

Santos, M. C. A. e Silva, T. (2010) Avaliação do mercado de frutas e hortaliças embaladas, minimamente processadas, orgânicas e desidratadas na capital de Minas Gerais. 113p. *Estudo técnico – CEASAMINAS*, Contagem. Disponível em: <http://www.ceasaminas.com.br/informacoesmercado/artigos/processados.pdf>. Data de acesso: 19/04/2017.

Weber, C. L. e Matthews, H. S. (2008) Food-Miles and the Relative Climate Impacts of Food Choices in the United States. *Environmental Science & Technology*, 42(10), p.3508-3513. Disponível em <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18546681>. Data de acesso: 14/06/2017.

CONAB (Brasil) (2017) *Prohort: programa brasileiro de modernização do mercado hortigranjeiro*. Disponível em: http://dw.ceasa.gov.br/ Acesso em: 07 jul. 2017.

Dag Mendonça Lima (limadm@unicamp.br)
Joseane Thereza Bigaran Aliotte (esalqlogbigaran@gmail.com)
Andréa Leda Ramos de Oliveira (andrea.oliveira@feagri.unicamp.br)
Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade de Campinas
Av. Cândido Rondon, 501 – Campinas, SP, Brasil

SISTEMA DE MONITORAMENTO DE TEMPERATURA ATRAVÉS DE RFID DURANTE O TRANSPORTE E A ESTOCAGEM DE PERA ROCHA

Giset Natalia Montoya Moreno
Orlando F. Lima Junior
Antonio G. Novaes
Ester Divieso R. Rodrigues
Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo
Antonio Batocchio
Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Mecânica

RESUMO
As tecnologias de informação e de comunicação facilitam o uso de sistemas de monitoramento de operações logísticas. Soluções de RFID fornecem informações eficazes sobre o estado dos produtos. Além de simplificar e automatizar os processos de obtenção de informação, aumentam a segurança e a autenticidade em tempo real. Este trabalho objetiva analisar o uso de RFID no transporte e estocagem de peras portuguesas do tipo Rocha, ao longo da cadeia do frio. Um estudo de caso apresenta o controle da temperatura desde a chegada ao CEASA (Campinas, SP), até o cliente final, utilizando tecnologia RFID. São abordadas quatro fases: caracterização do problema, definição dos requisitos, levantamento de dados e validação dos registros contínuos do produto. A aplicação é instrumentalizada com termo-higrômetro HOBO, termômetro FLUKE, com Tag ativo CC2650STK. Pode-se concluir que o uso dos sensores RFID possibilita prever, em tempo real, a vida útil do produto durante transporte e armazenamento.

ABSTRACT
Information and communication technologies facilitate the use of monitoring systems in logistics operations. RFID solutions provide effective information about the product status. In addition to simplifying and automating information retrieval processes, they increase real time security and authenticity. This work aims to analyze the use of RFID in transport and storage of Portuguese Rocha pears along the cold chain. A case study depicts product temperature control from its arrival to Campinas' (SP) CEASA to the final client, using RFID technology. Four phases are contemplated: problem characterization, definition of requirements, data collection and continuous recording validation. The application is performed with HOBO thermometer, FLUKE thermometer, and an active *Tag* CC2650STK. It can be concluded that the use of RFID sensors leads to better real-time predictions of product life-time during transportation and storage.

1. INTRODUÇÃO

Cada vez mais as pessoas utilizam a internet ou redes sem fio no seu dia-a-dia e, aos poucos, essas tecnologias estão se tornando uma necessidade básica. Assim, ao passar dos anos, cada um dos aparelhos usados vão sendo conectados direta ou indiretamente a uma plataforma, que transforma dados em informações. Segundo Carvalho *et al*. (2013), fatores como facilidade e agilidade no preparo, preservação das propriedades sensoriais, físicas e organolépticas, bem como o aumento da validade de consumo de produtos alimentícios de qualidade, geram mudanças no setor industrial, com aumento da fiscalização e da regulamentação na cadeia de suprimentos e no controle da temperatura de produtos perecíveis (Bogataj et al., 2005; Coulomb, 2008). Na cadeia do frio, é exigido grande controle para garantir a integridade dos produtos manipulados, desde a geração do produto, até o consumidor final (Heap, 2006; IIR, 2004; Likar e Jevsnik, 2006).

O Brasil registra um crescimento, no setor de produtos refrigerados e congelados, de mais de 10% ao ano. Atualmente, cerca de 2% do PIB - Produto Interno Bruto - circulante no Brasil corresponde a mercadorias refrigeradas. Segundo Weiss e Santos (2014), o Brasil se enquadra

hoje como um dos maiores exportadores mundiais de alimentos, entretanto cerca de 35% de sua produção, equivalente a 10 milhões de toneladas, é desperdiçada nos diversos processos ao longo da rede de distribuição. Segundo a FAO (2012), o País está entre os 10 países que mais desperdiçam comida no mundo.

Esses aspectos têm levado ao desenvolvimento de sistemas específicos de tecnologia da informação e de comunicação. Isso inclui uma abordagem crescente no sentido de integrar fluxos maciços de dados, com novas máquinas e sensores, além de fontes emergentes de sistemas de dados, incluindo planejamento de recursos empresariais, bases de dados governamentais abertos e fontes de mídia social, de forma a produzir novos conhecimentos sobre o assunto (Lucero, 2016). Uma opção para incrementar e melhorar o desempenho de sistemas de informação e comunicação desse tipo é a utilização de etiquetas ou *Tags*, capazes de conter amplas informações sobre os elementos onde são colocados, transmitindo esses dados mediante tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID).

Este trabalho estuda uma parte da cadeia de frio para a indústria de alimentos perecíveis (frutas), especificamente no monitoramento de seu transporte e armazenamento a partir da aplicação da tecnologia RFID no controle das variáveis relacionadas aos produtos. O objetivo é avaliar o uso da tecnologia RFID a partir do monitoramento da temperatura na gestão da cadeia do frio alimentar, visando a manutenção da qualidade desses produtos perecíveis. Esse artigo inicialmente é composto de um contexto teórico com assuntos pertinentes ao tema, seguido da metodologia até sua aplicação, os resultados obtidos foram condizentes com o objetivo proposto. O recurso RFID oferece a identificação e obtenção de informações dos produtos instantaneamente, através de bancos de dados específicos. Esse tipo de aplicação torna possível a expansão dos horizontes nas operações da cadeia de abastecimento, através de sistemas de suporte à decisão (Safari *et al*, 2013).

2. CONTEXTO TEÓRICO

No contexto mundial, as perdas de alimentos que ocorrem em toda a cadeia alimentar prejudicam sua eficiência, e são devidas a diferentes causas, exigindo diversas formas de prevenção. Segundo a FAO (2012), os resultados de alguns estudos mostram que cerca de um terço da produção de alimentos para consumo humano se perde ou se desperdiça em todo o mundo, equivalendo a aproximadamente a 1300 milhões de toneladas a cada ano (Figura 1).

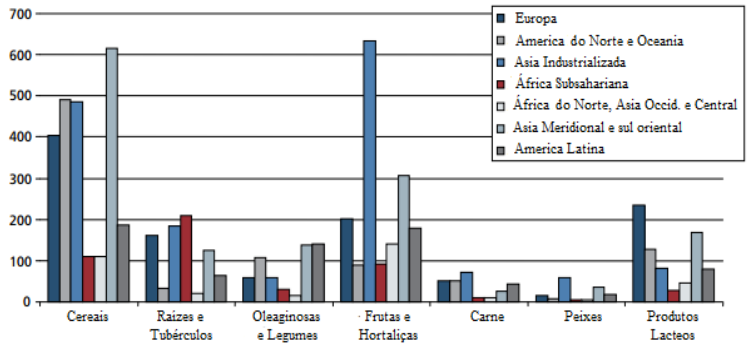


Figura 1: Volumes de produção de cada grupo de produtos básicos por regiões (em milhões de toneladas) **Fonte:** FAO (2012)

2.1. Evolução Tecnológica do RFID

A tecnologia RFID surgiu na década de 80, funcionando como uma rede de identificação por

rádio frequência, com o alcance de diversas variáveis dependendo da etiqueta utilizada (Nassar e Vieira, 2014). Essa tecnologia levou cerca de 60 anos para se desenvolver de forma a ser aplicada em larga escala (Guedes, 2009). A Figura 2 apresenta a evolução do processo de desenvolvimento do RFID em cinco gerações.

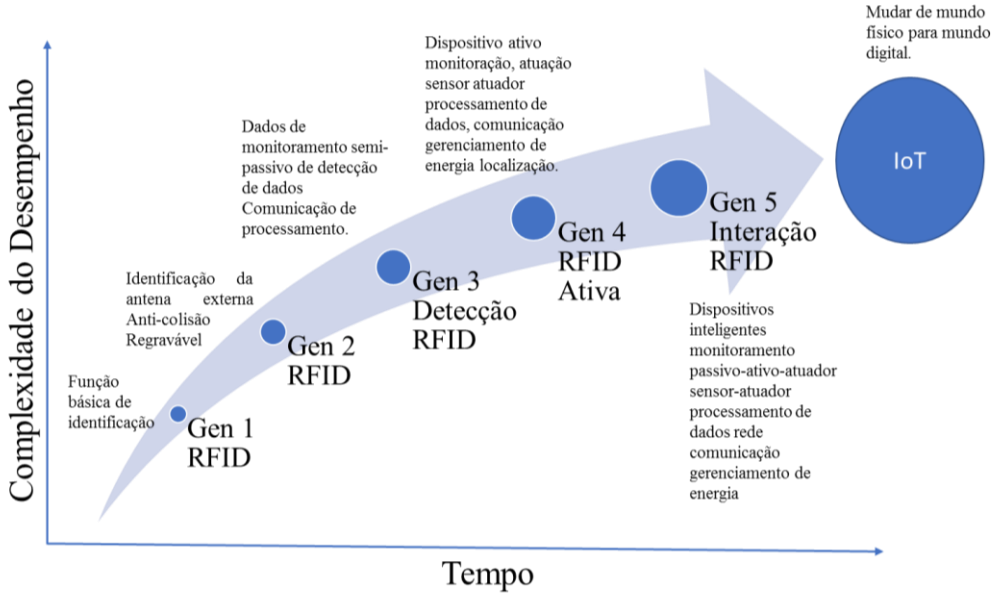


Figura 2: Evolução do RFID, **Fonte:** Ma (2014)

O monitoramento de sensores com tecnologia RFID apresenta benefícios tangíveis e rápida capacidade de observar os possíveis gargalos nos processos de envio, transporte, armazenagem e recebimento de mercadorias. Isso permite que os usuários tenham conhecimento contínuo sobre as condições de risco e deterioração dos produtos ao longo da cadeia do frio, para então, aplicar ações corretivas e preventivas, evitando assim a perda do produto (Myers e Newman, 2007).

2.2 Sistema RFID no setor alimentício

Bosona e Gebresenbet (2013) concluíram que a rastreabilidade dos alimentos deve ser considerada como uma parte importante e integrante da gestão logística, de modo que a informação é armazenada em qualquer lugar e pode ser recuperada a qualquer momento.

As etiquetas RFID consistem em um sistema de armazenamento e recuperação de dados que usa dispositivos, ou Tags, RFID, que podem ser colocados em qualquer objeto ou coisa para fornecer informações acerca do mesmo. A sua alimentação pode ser classificada em diferentes grupos, tais como: ativos, semi-passivos ou passivos.

O uso da tecnologia RFID na cadeia de suprimentos levou a uma grande evolução no monitoramento do processo de distribuição de alimentos congelados e refrigerados. Na literatura técnica, têm-se observado estudos elaborando diferentes modelos matemáticos para representar e analisar a variação da temperatura no processo de distribuição, bem como análises laboratoriais sobre o comportamento térmico nos veículos (Badurina et al, 2011; Carvalho, 2013; Estrada e Eddy, 2006; Estrada et al, 2006; Kourti, 2006; Pereira et al., 2010). Como resultado, tem-se conseguido resultados integrados dos diversos de processos envolvidos na cadeia de suprimentos. Mas na prática, principalmente em países em

desenvolvimento como o Brasil, a solução usual utilizada por muitas empresas de logística é a utilização de etiquetas convencionais de papel, ou data loggers, para monitorar a rastreabilidade das informações e a gravação de gráficos para monitoramento da temperatura.

Recentemente, várias soluções foram descritas para implementar sistemas de rastreabilidade que utilizam etiquetas RFID com sensores (Ogasawara e Yamasaki, 2006; Jedermann e Lang, 2007). Para Abad (2009), a tecnologia RFID na banda de frequência alta (HF) 13,56 MHz, foi considerada a melhor opção para a integração de etiquetas flexíveis, especialmente para alimentos que contenham significativa quantidade de água. Além disso, para atender os mais recentes desenvolvimentos em RFID, o padrão de comunicação ISO 15693 foi selecionado para a transmissão de dados.

2.3 Cadeia de frio no setor de alimentos

O objetivo da indústria alimentícia é transformar as matérias primas agrícolas em alimentos seguros, convenientes, de boa degustação e nutritivos para os consumidores, e realizar isso de forma rentável e sustentável. De todas as cadeias de suprimento de produtos, a cadeia do frio é a que apresenta maior desafio. De fato, manter a temperatura controlada durante todas as atividades e de acordo com os requisitos especificados, é uma atividade bastante complexa. Para garantir uma logística de ponta na cadeia do frio, envolvendo produtos sensíveis à temperatura, é importante considerar os efeitos nocivos gerados pelos agentes patógenos no ambiente operacional, durante cada um dos processos e etapas da cadeia do frio. Diferentes aspectos devem ser analisados, através de diferentes modelos de pesquisa, incluindo modelos de controle e monitoramento, de gestão, métodos e infraestrutura, além da integração, sintonização e visibilidade ao longo de toda a cadeia (Montoya, 2016).

3. METODOLOGIA E MATERIAIS

3.1 Metodologia

O método do Estudo de Caso é uma estratégia de pesquisa (Yin, 2005). Este artigo se baseia em um estudo único a partir do processo na coleta de dados e mantendo o encadeamento em cada um dos processos desenvolvidos durante a pesquisa. O objetivo é reduzir as dificuldades de análise baseadas em proposições teóricas.

A tecnologia RFID tem grande potencial para inúmeras aplicações práticas em várias áreas, como na logística e na gestão da cadeia de suprimentos, manufatura e sistemas de automação industrial. Entretanto, a escolha correta das características do sistema RFID (para definir os tipos de etiquetas - ativa ou passiva -, frequência de operação, quantidade e localização dos leitores RFID) para as diferentes aplicações, não é trivial devido à grande variedade de possibilidades (Marques *et al*, 2014). Diferentes autores como Chao *et al.* (2007) e Ngai *et al.* (2008), mencionam que existe escassez de publicações relacionadas às metodologias de aplicação envolvendo tecnologia RFID, além de estudos com base empírica.

A metodologia indicada para a seleção e aplicação de um sistema RFID contém quatro fases. A primeira delas é a Caracterização do Problema (Figura 3), que é de total importância porque leva a um correto entendimento para se atingir a fase 2. Deve-se conhecer com clareza o problema e as diferentes soluções, estas últimas devendo estar ligadas aos componentes tecnológicos e normas técnicas.

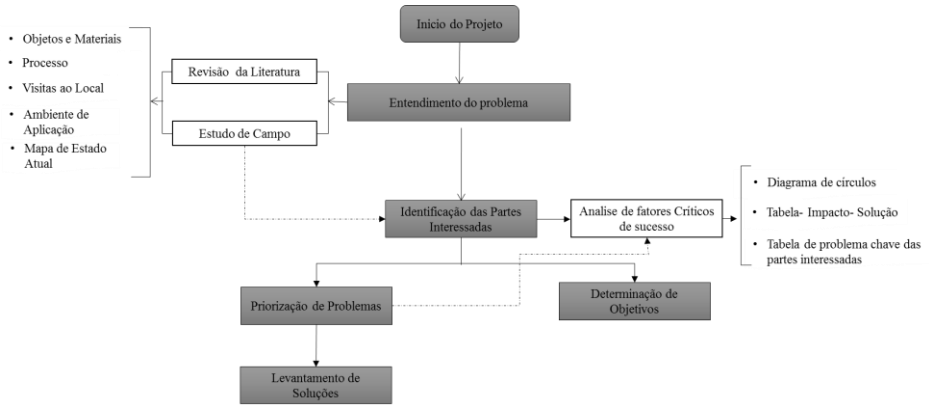


Figura 3: Esquema da Fase 1 da metodologia proposta

A segunda fase consiste na Determinação dos Requisitos, tendo como foco a seleção e a adaptação de um método para a análise da cadeia do frio visando a manutenção da qualidade das frutas, através do emprego de um sistema RFID, partindo das questões propostas. A terceira fase envolve o Levantamento de Dados, no qual o analista transforma os requisitos do projeto em características próprias de um sistema RFID. Cada um dos requisitos mencionados na fase 2 vão então se relacionar diretamente com as características tecnológicas do sistema.

A quarta fase foi obtida a partir de uma análise gráfica aplicando os limites superior e inferior determinados pela ABIAF, além da análise de histogramas usados na representação gráfica de uma variável, que fornece a frequência dos valores representados (temperatura do ambiente e do produto) (Sanchez, 2015). Cria-se a partir da fase anterior, uma análise gráfica de frequência acumulada e representação de uma variável, possibilitando a análise do comportamento dos dados de forma mais rápida e, assim, identificar algum padrão ou tendência dentro dos parâmetros estabelecidos (Crespo, 2012). Este teste observa a máxima diferença absoluta entre a função de distribuição acumulada assumida para os dados, no caso adotando-se a Normal como função de distribuição empírica dos dados. Como critério, esta diferença é comparada com um valor crítico estatístico, para um dado nível de significância. A partir do programa RStudio foram verificadas as hipóteses em que as observações seriam exponencialmente distribuídas.

3.2 Materiais

Para a descrição do cenário (Figura 4) é preciso conhecer os seguintes fatores: região e clima; veículo de transporte; carga transportada (frutas, no caso), e componentes tecnológicos de identificação por rádio frequência (banco de dados, software computacionais, etc).



Figura 4: Descrição do cenário

4. RESULTADOS

A metodologia foi aplicada a partir de visitas a duas empresas. Inicialmente na empresa especializada em RFID (Taggen) e posteriormente, na empresa importadora e exportadora de produtos hortifrutículos (Frutas Consul), onde foi feito o monitoramento durante o armazenamento da fruta e da distribuição, até os diferentes supermercados. Para identificar e enumerar as diferentes questões observadas na logística, referentes a frutas e hortaliças, tomou-se como base o *diagrama de identificação de problemas*, incluindo as partes interessadas e os possíveis impactos (Figura 5), com a finalidade de defini-los.



Figura 5: Identificação de problemas, identificação das partes interessadas e de seus possíveis impactos

Na análise devem ser utilizados equipamentos e procedimentos adequados para verificar o ambiente em que os produtos foram armazenados e transportados, e as condições de controle da temperatura. Nesse contexto, assume-se que cada caminhão e cada câmara de armazenamento tem sistema de refrigeração, e os fatores ambientais a considerar são a temperatura do ambiente e a do produto. Uma vez caracterizado o problema, a Fase 2 da metodologia é aplicada na determinação dos requisitos. A quantidade de *Tags* a ser usada, por sua vez, é definida com base nos trabalhos de Carvalho (2013) e Montoya (2016).

Na determinação dos requisitos, o foco é a seleção e a adaptação de um método para análise da cadeia do frio visando a manutenção da qualidade das frutas através do emprego de um sistema RFID. São determinadas as características para encontrar a melhor tecnologia em uma determinada aplicação. Assim se verificou a necessidade de utilização de *Tags* do tipo *Tag* Ativo Texas Instrument CC2650STK, identificados a partir de BO B4 48 C 9 e 68 C9 0B 17 .

Muitas vezes, a calibração ou verificação dos instrumentos é um problema crítico em indústrias como a de fármacos, mas em indústrias de alimentos essa questão é mais relevante, sendo que ajustes ou reparos são estritamente necessários para o monitoramento do produto.

Por esse motivo o levantamento de dados foi realizado em dois testes. O primeiro teste envolveu a comparação de leituras do termômetro e do *Tag* ativo, para verificação da calibração dos equipamentos de leitura de dados, tanto no caso da temperatura ambiente, como na do produto, a fim de testar a etiqueta Ativa Texas Instrumento CC2650STK. O segundo teste piloto foi o acompanhamento do produto minuto a minuto, em tempo real.

Teste 1. Simulação em uma câmera de armazenamento a 4°C no Centro de Embalagens (CETEA) do Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL). Foram utilizados: *Tag* Ativo Texas, HOBO Termo-higrômetro Testo 145H, Termômetro FLUKE modelo 62 mini e 10kg de Pêra Portuguesa. Os resultados referentes ao registro da temperatura ambiental são apresentados na Figura 6, e os referentes à temperatura do produto, na Figura 7.

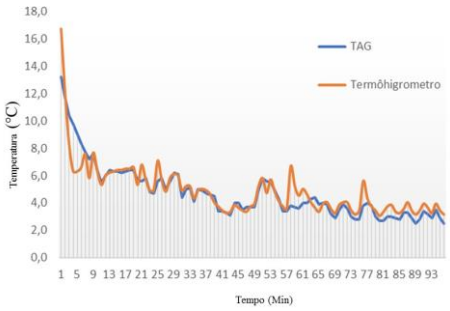


Figura 6: Variação da temperatura a partir dos dados tomados com os dois equipamentos (Tag e Termohigrômetro HOBO)

A partir do gráfico anterior se observa pouca diferença a partir dos dados registrados pelos dois equipamentos, ou seja, o padrão de comportamento é muito similar entre as duas curvas. Foi aplicado um teste estatístico aos valores, sendo avaliadas duas hipóteses, Ho e H1:

$$\text{Ho} : \sigma_1^2 / \sigma_2^2 = 1 \quad (1)$$

$$\text{H1} : \sigma_1^2 / \sigma_2^2 \neq 1. \quad (2)$$

Esses testes de hipóteses foram repetidos para outros tratamentos, para análise de variação da temperatura do produto. Conclui-se que existe evidência estatística para aceitar a hipótese nula, ou seja, que há igualdade entre as variâncias (Montoya, 2016) e, portanto, não há diferença significativa entre as leituras da etiqueta ativa e do Termohigrômetro HOBO.

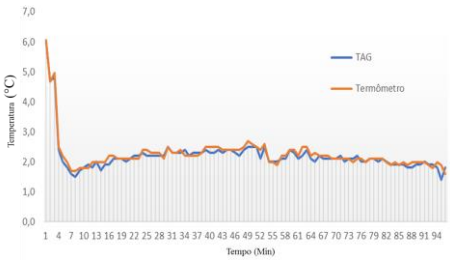


Figura 7: Variação da temperatura a partir dos dados tomados entre os dois equipamentos (Tag e Termômetro FLUKE)

Observa-se pouca diferença a partir dos dados registrados pelos dois equipamentos, isto é, o

padrão de comportamento é muito similar entre as duas opções. O autor aplicou um tratamento estatístico, onde foram avaliadas as duas hipóteses. Existe evidência estatística para aceitar a hipótese nula, que há igualdade entre as médias neste caso e, portanto, não há diferença entre as leituras da etiqueta ativa e do termômetro FLUKE.

Teste 2. As etiquetas foram colocadas em duas caixas na parte superior (CC2650STK), a primeira etiqueta contendo ID bo: b4:48: 00 e o ID 68: C9:0b, com intervalos de medição de 2 minutos. Para um período de avaliação de aproximadamente 6 horas, com um total de 186 dados de temperatura do ambiente e do produto, tem-se o resumo apresentado na tabela 1.

Tabela 1: Resumo Histórico do ID. BO B4 48 C 9 de Temperatura do Ambiente, Temperatura e Umidade Relativa de Perâ

Equipe Usada CC2650STK		Tag BO B4 48 C 9		Tag 68 C9 0B 17	
N. dados	Horário	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura do Produto (°C)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura do Produto (°C)
1	6:12	14,1	7,9	14	7,6
10	6:30	8,1	0,8	8,1	1,4
40	7:30	2,8	0,4	2,8	0,1
55	8:00	2,6	0,1	2,6	0,2
70	8:30	3,6	0,9	3,6	0,5
85	9:00	3,8	0,3	3,8	0,2
100	9:30	3,9	0,3	3,9	0,4
130	10:30	3,1	0,1	3,1	0,2
145	11:00	13,8	6,6	13,8	6,9
160	11:30	16	8,9	16	8,8

Os resultados da temperatura podem ser vistos minuto a minuto a partir do aplicativo Simplelink Sensor *Tag* (Figura 8 e 9).

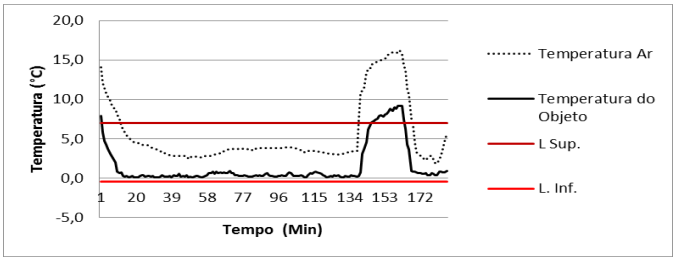


Figura 8: Controle Sistema RFID para Temperatura com Tag ID BO B4 48 C 9

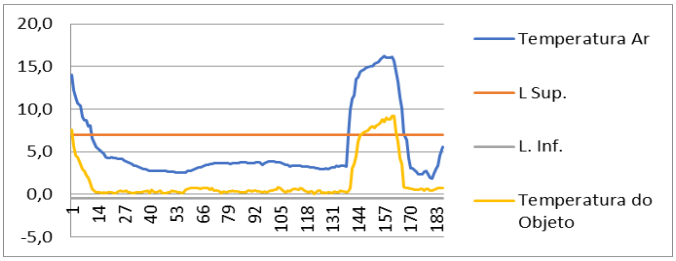


Figura 9: Controle Sistema RFID para Temperatura com Tag ID 68 C9 0B 17

A partir das duas tabelas pode-se afirmar que, durante a maior parte do tempo transcorrido, a

temperatura está dentro dos limites determinados pela ABIAF (2008). Pode-se dizer que em muitos casos a temperatura está acima dos limites, segundo Correa, Novaes, Lima (2013), devido às esperas excessivas nas plataformas de embarque, pois no processo de carga e descarga a abertura das portas se mantem por longo tempo, o que eleva a temperatura do produto a valores acima do permitido.

A rota do veículo foi mapeada localmente como mostrado na Figura 10. Mas a rota se inicia, de fato, em Portugal (sem monitoramento RFID), chegando no CEASA e posteriormente saindo para o varejo de frutas (18,3 km, aproximadamente 23 min), dentro da cidade de Campinas.

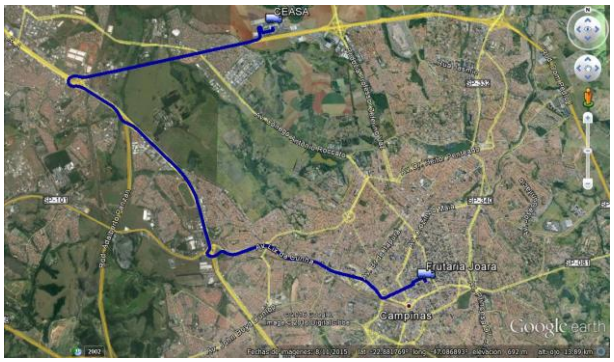


Figura 10: Mapa da Rota CEASA até a Frutaria

A temperatura média do ambiente, calculada para os dados fornecidos, foi de μ= 5,5 °C. A Figura 11 apresenta o histograma de temperatura desde o armazenamento da fruta até o supermercado, mostrando uma concentração das temperaturas do ambiente de 1°C, 2°C e 3°C. Observa-se também alguns pontos fora dos limites permitidos pela ABIAF, como na faixa entre 9° e 16,2°C. Esclarecemos que esse fato ocorreu porque a temperatura da fruta excede a faixa de controlada quando espera fora da câmara ou do veículo de transporte refrigerado.

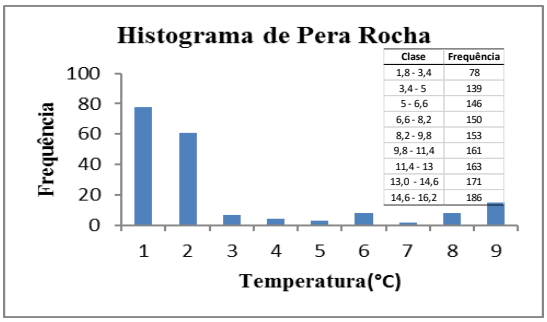


Figura 11: Histograma Temperatura do Ambiente Pêra Rocha ID BO B4 48 C 9

Por outro lado, o *Tag* com ID 68 C9 0B 17 foi analisado de modo a se avaliar a possível variação da temperatura dos produtos nas proximidades da porta da câmara de armazenamento, e os possíveis efeitos no registro de dados.

A Figura 12 apresenta o histograma de temperatura desde o armazenamento da fruta até o supermercado, com uma concentração máxima de temperatura ambiente entre os valores 1°C e 3°C. Observam-se também pontos fora dos limites permitidos, como na faixa entre 9° e

16,2°C, esclarecendo que esse fato acorreu porque a fruta ficou sem controle de temperatura, esperando por manuseio fora da câmara, ou do veículo de transporte refrigerado.

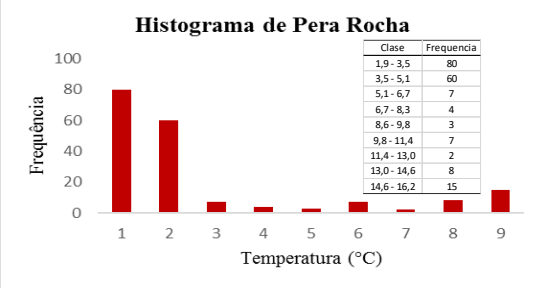


Figura 12: Histograma Temperatura do Ambiente Pêra Rocha ID 68 C9 0B 17

Diante disso, os resultados analisados mostraram uma diferença de ±0,1 na temperatura registrada e quase não é notória a diferença entre um *Tag* e outro. A Figura 13 apresenta a frequência acumulada dos dados observados. A temperatura média do ambiente, calculada para os dados fornecidos, foi de μ= 5,4 °C.

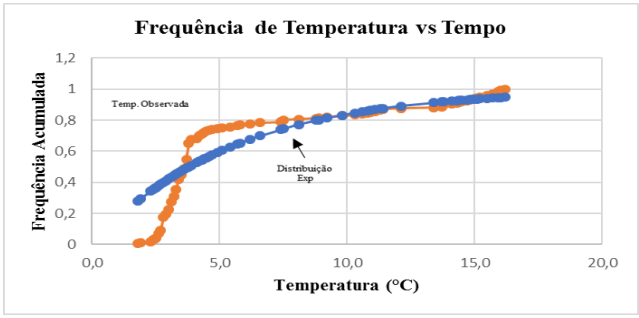


Figura 13: Frequência acumulada da temperatura do Ambiente - Pêra Rocha ID BO B4 48 C9

A análise da distribuição da temperatura foi feita com base na formulação exponencial, uma vez que se adapta melhor aos dados obtidos, a partir de o lambda λ= 1/μ o resultado obtido foi de P = 0,107, o qual foi maior do comumente utilizado que é de 0,05, após disto se conclui que não se rejeita a hipótese na qual os dados têm distribuição exponencial.

A Figura 14 apresenta a frequência acumulada da temperatura ambiente com o *Tag* Ativo ID 68 C9 0B 17 dos dados observados. A temperatura média do ambiente, calculada para os dados fornecidos foi de μ= 5,4 °C.

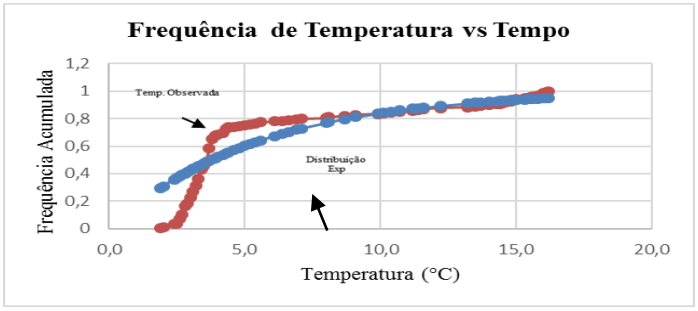


Figura 14: Frequência acumulada Temperatura do Ambiente Pêra Rocha ID 68 C9 0B 17

A análise foi feita a partir da distribuição exponencial, que se adaptou melhor aos dados fornecidos, a partir de o lambda $\lambda = 1/\mu$ o resultado obtido foi de P = 0,219, o qual foi maior do comumente utilizado que é de 0,05, após disto se conclui que não se rejeita a hipótese na qual os dados têm distribuição exponencial. Além disso, concluiu-se pela similaridade entre os dados apresentados pelos os *Tags* ativos ID BO B4 48 C9 e ID 68 C9 0B 17, com médias de 5,4 °C e 5,5°C.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo foi realizado com base na aplicação de um sistema RFID na gestão da Cadeia do Frio, na indústria de alimentos, especificamente ligada a frutas. Como resultado dessa aplicação, pode-se concluir que há uma melhor previsão sobre a vida útil do produto durante o seu transporte e armazenamento, o que pode melhorar o gerenciamento e auxiliar o operador logístico na tomada de decisões quando ocorrerem incidentes operacionais ao longo da rota. Quanto ao teste de calibração, foi encontrada uma estreita relação entre os dados de temperaturas (ambiente e do produto) registrados a partir da comparação da variância e médias, para cada série coletada, em cada um dos aparelhos. Comprova-se ainda que o comportamento da temperatura ambiente, registrada no segundo teste pelas duas etiquetas ativas, são similares em decorrência da ocorrência de distribuições exponenciais semelhantes nos dois casos. Assim o monitoramento da temperatura do produto foi realizado com a finalidade de demostrar que a tecnologia RFID permite o monitoramento de indicadores, como a temperatura. Comunicações via Wi-Fi, NFC, e Bluetooth não excluem a possibilidade de que um objeto pode ser parte de um sistema IoT, mas pode ser limitada quanto à mobilidade e facilidade do uso e segurança da informação. Assim, para estudos futuros, esta tecnologia será avaliada visando o desenvolvimento da inovação da técnica dinâmica em vários domínios importantes. A partir de sensores sem fio, a nanotecnologia evoca, assim, uma visão de um mundo totalmente conectado.

AGRADECIMENTO

Agradecimento ao Departamento de Engenharia de Manufatura e Materiais da Faculdade de Engenharia Mecânica e Engenharia Civil Departamento de Geotecnia e Transporte da UNICAMP, a Capes, a empresa TAGGEN, CEASA Campinas, pelo fornecimento dos recursos para o desenvolvimento do estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abad, E.; S. Zampolli e S. Marco (2007) Flexible Tag Microlab Development: Gas Sensors Integration in RFID Flexible Tags For Food Logistic. Sensors and Actuators B, Chemical v. 127, p. 2-7.

Badurina, G.; Z. Majic e S. Pavlin (2011) Evaluation of Air Transportation Under Controlled Room Temperature Pharmaceuticals. Traffic & transportation, v. 23, p. 121-130.

Bogataj, M.; L. Bogataj e R. Vodopivec (2005) Stability of Perishable Goods in Cold Logistic Chain. International Journal of Production Economics, v. 93, p. 345-356.

Bosona, T. e G. Gebresenbet (2013) Food traceability as an integral part of logistics management in food and

agricultural supply chain. Food Control, v. 33, p. 32 – 48.
Carvalho, C; A. Novaes e O. Lima (2013). A Logística da Distribuição de Produtos Alimentícios Refrigerados: Problemas e Perspectivas no Contexto Brasileiro. Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Trasnporte, XXVI ANPET.
Carvalho, C. (2013) Otimização Dinâmica da Logística de Distribuição de Produtos Alimentícios Refrigerados e Congelados. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, Campinas, SP.
Chao, C.; J. M. Yang e W. Jen (2007) Determining Technology Trends and Forecasts of RFID. Historical Review and Bibliometric Analysis From 1991 To 2005. In Technovation, v. 27, p. 268-279 .
Coulomb, D. (2008) Refrigeration and the Cold Chain Serving the Global Food Industry and Creating a Better Future: Two Key Iir Challenges for Improving Health and Environment. Trends in Food Science & Technology, v. 19, p. 413-417.
Crespo, A. (2002) Estatística fácil. São Paulo: Saraiva.
Estrada, S. e Eddy, A. (2006) Thermal Performance Indication For Refrigerated Road Vehicles. International Journal of Refrigeration, v. 29, p. 889 - 898, .
Estrada, S.; N. Smale e D. Tanner (2006) Temperature Regulation During the Transport Of Perishables In Australia. Food Scuence Australia.
Guedes, M. e M. Artur (2009) Auxílio na Orientação de Invisuais usando a Tecnologia RFID. Dissertação de mestrado (Mestrado). Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.
Heap, R. (2006) Cold chain performance issues now and in the future IIR Bulletin, v. 4, p. 1-11.
IIR. (2004) *International Institute of Refrigeration Paris* Temperature Indicator and Time-Temperature Integrators- 3rd Informatory Note on Refrigeration and Food.
Jedermann, R.; W. Lang e L. Ruiz-Garcia (2009) Spatial Temperature Profiling by Semipassive RFID Loggers. Perishable Food Transportation. Computers and Electronics in Agriculture, v. 65, p. 145-154, .
Kourti, T. (2006) The Process Analytical Technology Initiative and Multivariable Process Analysis, Monitoring and Control. Anal Bional Chem, p. 1043-1048.
Likar, K. e M. Jevsnik (2006) Cold Chain Maintaining In Food Trade. Food Control, v. 17, p. 108-117.
Lucero, S. IoT platforms: enabling the Internet of Things. IHS Technology. 2016
Marques, J.; L. Resende e C. Pereira (2014) Metodologia Para Projeto de Sistemas De Automação com Tecnologia RFID Anais do XX Congresso Brasileiro de Automática. Belo Horizonte, MG 2014.
Ma, J. Internet of things: Tecnology Evolution and Challenge. School of electronic information Engineering. Tianjun University, China.
Myers, M. e M. Newman (2007) The Qualitative Interview In Is Research. Examining. The Craft. Information and Organization, v. 17, p. 2-26.
Montoya, G. (2016) Avaliação e Aplicação da Tecnologia RFID na Gestão da Cadeia do Frio de Frutas. Faculdade Engenharia Mecânica, Dissertação de Mestrado UNICAMP.
Nassar, V. e M. Vieira (2014) A Aplicação de RFID Na Logística: Um Estudo de Caso do Sistema De Infraestrutura e Monitoramento de Cargas do Estado de Santa Catarina. Gest. Prod., São Carlos, v. 21, p. 520-531.
Ngai, E.; K. Moon; F. Riggins e C. Yi (2008) RFID Research: An Academic Literature Review (1995–2005) and Future Research Directions. International Journal of Production Economics, v. 112, p. 510- 520.
Pereira, V.; E. Doria; B. Carvalho; L. Neves e V. Silveira (2010) Avaliação De Temperaturas Em Câmara Frigorificas De Transporte Urbano De Alimentos Refrigerados E Congelados. Ciência e Tecnologia De Alimentos, v. 30, p. 158-165,
Ogasawara, A. e K. Yamasaki (2006) A Temperature-Managed Traceability System Using RFID Tags with Embedded Temperature Sensors. Nec Technical Journal v. 2, p. 82-86.
Sanchez, J. (2015) Mathematica más allá de las matemáticas 2ª Edición.
Safari, A.; H. Hashemi e M. Hashemi (2013) Examining the Role of RFID Technology on SCM Effectiveness, Case: Food industry of Iran. 7th International Conference on e- Commerce whit focus on e-Security.
Yin, R.K. (2005) Estudo de Caso: Planejamento e Métodos. 3. Ed. Porto Alegre: Bookman.
Weiss, C. e M. Santos (2014) A logística de distribuição e as perdas ao longo da cadeia produtiva das frutas frescas. CONVIBRA.

MODELO DE CENTRO DE REAPROVEITAMENTO PARA VEÍCULOS LEVES EM FIM DE VIDA ÚTIL SOB A VISÃO DA DINÂMICA DE SISTEMAS

Luiza Lavocat Galvão de Almeida Coelho
Adelaida Pallavicini Fonseca
Milton Jonas Monteiro
Universidade de Brasília
Programa de Pós-Graduação em Transportes

RESUMO
Com a publicação da Lei 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, projetou-se no Brasil um novo cenário para o setor de reciclagem. Já a Lei 12.977/2014 veio trazer as diretrizes para o aproveitamento dos veículos leves em fim de vida útil, que ainda está em processo de implementação nos estados. O objetivo deste trabalho foi propor um modelo de centro de reaproveitamento desses veículos, sob a visão da dinâmica de sistemas, dentro das especificidades do local delimitado para a pesquisa, tendo em vista as boas práticas, as legislações aplicáveis e a realidade observada. Foi ilustrada a estrutura do problema em um diagrama do laço causal para melhor compressão das variáveis chaves, que podem orientar as empresas a se adaptarem para melhor realização das suas atividades e, consequentemente, auxiliar o órgão executivo de trânsito no registro, controle e fiscalização dessas empresas.

ABSTRACT
With the publication of Law 12,305/2010, which instituted the National Policy on Solid Waste, a new scenario for the recycling sector was projected in Brazil. The Law 12,977/2014 came to bring the guidelines for the recycling of end-of-life vehicles, which is still in the process of implementation in the states. The objective of this paper was to propose a model for centers that prepare these vehicles, within the specifics of the place delimited for the research, in view of the good practices, the applicable legislations and the observed reality. The structure of the problem was illustrated in a Causal Loop Diagram for compression of the key variables, which can guide companies to adapt to better perform their activities and, consequently, to assist the transit executive in the registration, control and supervision of these companies.

1. INTRODUÇÃO

Soluções para conciliar o aumento na quantidade e na variedade com a redução do tempo de vida, útil e mercadológico, dos produtos vêm emergindo em virtude de uma série de fatores da consciência ambiental alinhada aos pressupostos da sustentabilidade. Nesse cenário, a Logística Reversa (LR) vem ganhando força dado que através do planejamento, da operação e do controle do fluxo de retorno dos materiais e das informações logísticas correspondentes pode proporcionar um aumento da vida útil do produto ao reinserí-lo no mercado secundário ou no processo produtivo, sendo uma ferramenta importante para ganhos ambientais, sociais e econômicos (Leite, 2009).

No caso dos veículos leves em fim de vida útil, especificamente, a preocupação se originou na década de 1990, principalmente nos Estados Unidos, mas realmente ganhou força nos anos 2000 quando a União Europeia publicou a Diretiva 2000/ 53/ EC (Cruz-Rivera, 2008). Ela mostrou a necessidade de mudar radicalmente o modelo da LR desse produto para alcance das metas de desempenho estipuladas para reutilização, recuperação e reciclagem (Merkisz-Guranowska, 2011).

Além de estimuladas pelo crescimento da regulamentação, as empresas passaram a ver oportunidades comerciais na coleta, reutilização e reciclagem desses materiais (Merkisz-Guranowska, 2011). Assim diversos foram os países que elaboraram as suas próprias legislações e os seus próprios modelos de sucesso para o reaproveitamento dos veículos leves em fim de vida útil.

No Brasil, existem inúmeras empresas trabalhando há décadas com o tratamento de veículos em fim de vida útil nos diferentes estados, mas somente em 2014 a Lei 12.977/2014 regulou e disciplinou a atividade de desmontagem de veículos automotores terrestres. Entretanto, ela não orienta detalhamente a operação das empresas tampouco dos controladores. Sendo assim, espera-se que os estados também publiquem leis, decretos e portarias no sentido de estruturar a condução do reaproveitamento de veículos leves em fim de vida útil para atendimento dessa regulamentação, tendo em vista as suas especificidades.

O estado de São Paulo foi o pioneiro, com amparo da Lei 15.276/ 2014, do Decreto 60.150/ 2014 e da Portaria DETRAN/SP 510/ 2015, em realizar o cadastramento das empresas habilitadas e exigir o fechamento das que não atendiam às especificações normativas. Por isso e pelas boas práticas alcançadas nos três anos de funcionamento do seu modelo de reaproveitamento, o estado é considerado a referência nacional. Por outro lado, outros estados, assim como o Distrito Federal (DF), encontram-se com desenvolvimento bastante embrionário (Monteiro *et al.*, 2015), com as seguintes características: ausência de orientação e condução pelo órgão executivo de trânsito, desalinhamento e falta de liderança dos sindicatos, aversão à mudança por parte dos empresários, combinação de atividades complementares ao reaproveitamento e falta de cooperação entre as empresas.

Com a visão mais voltada para dentro dos centros de reaproveitamento, a situação ainda é mais crítica: falta de padronização e estruturação das atividades, baixa preocupação com os impactos ambientais provocados pela operação, falta de organização e controle do estoque, baixa quantidade e capacitação de pessoal, baixa disponibilidade de equipamentos e de tecnologias da informação, pequena disponibilidade e organização do espaço físico e falta de registro da operação realizada. Assim, percebe-se que os modelos internacionais não atendem à realidade nacional em virtude das restrições impostas, mesmo havendo um amplo mercado de empresas que trabalham com tratamento, desmontagem, reciclagem de veículos leves em fim de vida útil.

Diante disso, o objetivo desse trabalho é propor um modelo de centro de reaproveitamento de veículos leves em fim de vida útil, sob a visão da dinâmica de sistemas, tendo em vista a regulamentação aplicável e o contexto das empresas de reaproveitamento do DF.

2. LOGÍSTICA REVERSA DE VEÍCULOS LEVES EM FIM DE VIDA ÚTIL

A LR compreende o processo de planejamento, implantação e controle da eficiência e do custo efetivo do fluxo de matérias-primas, de estoque em processo, de produtos acabados e das suas informações correspondentes do ponto de consumo para o ponto de origem, com o propósito de recapturar o valor ou destiná-lo à sua apropriada disposição (Rogers e Tibben-Lembke,1999; Leite, 2009).

Ou seja, do ponto de vista logístico, o ciclo de vida do produto não encerra com a sua entrega ao cliente ou com a finalização do seu uso. A LR contempla importantes etapas do ciclo de vida, como reparo e reúso, reciclagem de materiais e componentes, recuperação e destinação final (Valle e De Souza, 2014). Em função das fases do ciclo de vida do produto, a logística reversa pode ser classificada em: pós-venda ou pós-consumo (Leite, 2009). A LR de pós-consumo aborda os produtos que já foram utilizados e atingiram a sua finalidade, ou seja, o estágio de fim de vida útil, pelo menos no primeiro usuário.

Os veículos, especificamente, podem atingir o estágio de fim de vida útil prematura ou

naturalmente. Aqueles chegam ao fim de vida útil antes de sua vida média, seja por incêndio, inundação, vandalismo ou danos por acidentes graves. Eles, muitas vezes, têm uma riqueza de peças reutilizáveis. Já os veículos que chegam ao fim de vida útil naturalmente atingiram o tempo de duração médio esperado para a sua circulação (Go *et al.*, 2011). Não há uma definição fixa sobre a idade para vida útil de um veículo, mas depende de cada país e dos diferentes critérios de *design* próprios das tecnologias disponíveis no momento da sua fabricação.

A importância da LR de pós-consumo de veículos em fim de vida útil se dá para controle e redução dos impactos causados por esse produto. Nesse sentido, é possível citar a ocupação do espaço urbano, pois muitos deles são abandonados em locais indevidos; a emissão de poluentes e o vazamento de substâncias tóxicas, que podem contaminar o ambiente; os acidentes de trânsito devido ao desgaste natural de suas peças ou pela falta de peças de reposição e manutenção (Mildemberger *et al.*, 2015).

E, para que a LR seja desenvolvida, percebe-se a necessidade de uma legislação consistente e adequada. No Brasil, a Lei 12.977/2014 tenta ocupar essa posição e, felizmente, faz propostas observadas nas boas práticas internacionais: necessidade de registro oficial das empresas participantes do sistema de reaproveitamento de veículos; exigência da emissão de documento de confirmação da baixa do registro do veículo para início da desmontagem; integração das informações sobre os fluxos de movimentação e de transformação de materiais através de uma base de dados para rastreabilidade; divulgação das informações das empresas registradas em ambiente público de forma a incentivar a fiscalização por terceiros.

A Resolução CONTRAN 611/2016 regulamenta a Lei 12.977/2014, estabelecendo exigências adicionais para a atividade de desmontagem. Ademais, existem outras regulamentações que influenciam as atividades de um centro de reaproveitamento de veículos em fim de vida e que merecem ser destacadas: Lei 9.503/1997 (Código de Trânsito Brasileiro); Lei 8.722/1993, Decreto 1.305/1994, Resolução CONTRAN 11/1998, Resolução CONTRAN 113/2000 e Resolução CONTRAN 179/ 2005 (Baixa de Registro de Veículos); e Resolução Conselho Nacional de Seguros Privados (CNSP) 336/2016 (Seguro Popular de Automóvel).

Os centros de reaproveitamento são atores essenciais na LR de pós-consumo de veículos em fim de vida útil em virtude de realizarem as etapas de coleta, despoluição, desmontagem e, ainda, direcionarem os materiais para as diferentes estratégias de gerenciamento. Sendo assim, possuem um papel central na cadeia de reaproveitamento e, por isso, é importante que as suas operações sejam realizadas de forma assertiva e controlada (Harraz e Galal, 2011).

3. MÉTODO DE PESQUISA

Esse artigo foi parte de um estudo mais amplo de dissertação de mestrado (Coelho, 2017), na qual foi adotado o método *design science research* (Dresch *et al.*,2015). Sendo assim, compreendeu etapas como identificação do problema, a partir da Lei 12.977/ 2014 e da constatação da realidade das empresas de reaproveitamento do Distrito Federal (DF); conscientização do problema e revisão da literatura; identificação dos modelos e das classes de problemas existentes; desenvolvimento e proposição de modelo para resolver o problema.

Nesse trabalho, foi realizada uma pesquisa documental, visto que fez um levantamento de informações a partir de regulamentações federais e estaduais. A abordagem foi qualitativa, visto que não houve dados numéricos, tampouco análise estatística. Outras técnicas de coleta de

dados utilizadas foram entrevistas, observação, registros empresariais e documentos como relatórios e estudos. Ainda, baseou-se na metodologia de dinâmica de sistemas, proposto por Forrester (1971) e Sterman (2000) para o desenvolvimento do diagrama de laço causal. A Figura 1 ilustra um mapa sistêmico, com os elementos básicos do diagrama.

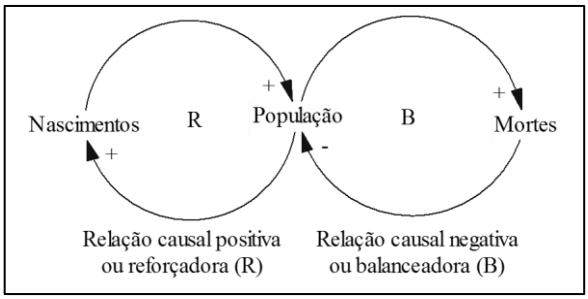


Figura 1: Relação de causalidade negativa e positiva
Fonte: Adaptado de Sterman (2000)

As relações de causalidade são utilizadas para mostrar o relacionamento entre duas variáveis ou fatores que operam em um sistema. A causa e o seu efeito são representados graficamente por uma seta e um sinal, apresentando dois tipos de relações de causalidade: positiva (+) e negativa (-). Uma relação causal positiva indica que se ocorrer um aumento na causa o efeito também aumentará acima do que aumentaria caso tal aumento não ocorresse e vice-versa. Ou seja, se ocorrer um decréscimo na causa o efeito também diminuirá abaixo do que diminuiria caso tal decréscimo não ocorresse (Sterman, 2000).

No exemplo da Figura 1, a relação entre as variáveis nascimentos e população apresenta uma relação causal positiva ou reforçadora, pois quanto maior for o número de nascimentos, maior será a população e, de igual modo, quanto maior for a população, maior será o número de nascimentos. Por outro lado, considerando as variáveis população e mortes, percebe-se uma relação de causalidade negativa ou balanceadora, pois quanto maior for o número da população, maior será o número de mortes (relação positiva) e quanto maior for o número de mortes, menor será o número da população (relação negativa).

Assim, percebe-se que os ciclos positivos (relação entre nascimentos e população) são as estruturas básicas responsáveis pelo crescimento exponencial e os ciclos negativos (relação entre população e mortes) representam ações que levam à estabilização de um sistema. Para identificar se um ciclo é positivo ou negativo, a regra é escolher uma variável qualquer do ciclo e imaginar que ela sofra uma variação e analisar o que ocorre nas demais variáveis. Se a consequência final levar a uma variação na variável inicial no mesmo sentido que o estipulado inicialmente o ciclo é positivo. Caso contrário (variações em sentidos opostos) o ciclo é negativo.

4. MODELO DE CENTRO DE REAPROVEITAMENTO PARA VEÍCULOS LEVES EM FIM DE VIDA ÚTIL

Como colocado por Sterman (2000), a modelagem da dinâmica de sistemas não está isolada, mas inserida em um contexto econômico, social e ambiental. Sendo assim, no problema objeto de estudo desse trabalho, o ambiente é o das empresas atuantes no setor de reaproveitamento de veículos em fim de vida útil no DF, que contribui com as características da realidade existente: indisponibilidade de dados, escassez de pessoas capacitadas e equipamentos adequados, informalidade de processos e escassez de ferramentas para tomada de decisão.

Além do contexto externo, o interno, levantado em pesquisa de campo por Coelho (2017), também é relevante para o modelo e, por isso, foi considerada a estrutura proposta pela autora para um centro de reaproveitamento da localidade, que altera os processos e a composição das pessoas, equipamentos e tecnologia, bem como a infraestrutura e o arranjo físico. Sendo assim, o diagrama do laço causal aborda o cenário recomendado e, por isso, as fronteiras são estabelecidas com relação à transformação de veículos em fim de vida útil para peças reutilizáveis ou não reutilizáveis, realizada pelo centro de reaproveitamento sugerido.

Nessa operação, em linhas gerais, o centro de reaproveitamento precisa balancear a entrada de veículos adquiridos com as informações obtidas de demanda e de estoque existentes. Paralelamente, deve equilibrar os variados *status* nos quais os veículos em transformação podem estar com os recursos disponíveis dentro da planta de operação e com os contratados de terceiros (transporte e/ou tratamento).

Foi necessário simplificar alguns elementos para manter o modelo compreensível. Nesse sentido, os diferentes tipos de tratamento que podem ocorrer nas peças passíveis de reutilização (renovação, reparação e recuperação) foram abordados conjuntamente como tratamento, assim como as estratégias de gerenciamento de peças não reutilizáveis (reciclagem, destinação final). Também, os recursos específicos de cada *status* de transformação englobaram recursos capitais e de infraestrutura (área adequada). Já os recursos humanos foram incluídos no diagrama com variável central que se relaciona com muitas outras variáveis dos status de transformação do veículo em fim de vida, visto que, dentro do modelo proposto, a quantidade de pessoas é reduzida e que os mesmos colaboradores se dividem nas diferentes tarefas.

4.1. Descrição do Diagrama do Laço Causal

A Figura 2 apresenta o diagrama do laço causal desenvolvido. A partir dela, percebe-se que a quantidade de veículos em fim de vida útil prematuramente e a quantidade de veículos com idade avançada são variáveis exógenas. Elas se relacionam em sentido inverso, pois quando há aumento na primeira, a segunda será consequentemente reduzida. De toda forma, ambas adicionam aos veículos em análise para aquisição por aumentarem a oferta disponível para o centro de reaproveitamento.

Os veículos em análise para aquisição acarretam em veículos adquiridos a depender da taxa de veículos em boas condições técnicas e da de veículos com documentação regularizada, variáveis externas, ademais do histórico de peças vendidas e de informações do giro do estoque, das peças reutilizáveis em armazenamento e das não reutilizáveis encaminhadas para estratégias de gerenciamento. Sendo assim, os veículos adquiridos são impactados pela própria matéria prima, pela demanda existente e pela capacidade de atendimento do centro.

Os veículos adquiridos provocam veículos em recebimento quando eles são obtidos no próprio centro de reaproveitamento ou, em algumas circunstâncias, de necessidade de transporte, impactada pela taxa de veículos adquiridos fora do DF. Sendo assim, pode haver um *gap* de veículos para transporte tendo em vista a necessidade de transporte, a capacidade do veículo de transporte e a quantidade de veículos adquiridos por outros centros do DF. O *gap* incentiva o ajuste do veículo para uma capacidade menor ou maior, a depender do caso, e então a alteração no veículo pode reduzir o *gap* existente, finalizando o *loop* B1, representado pela Figura 3.

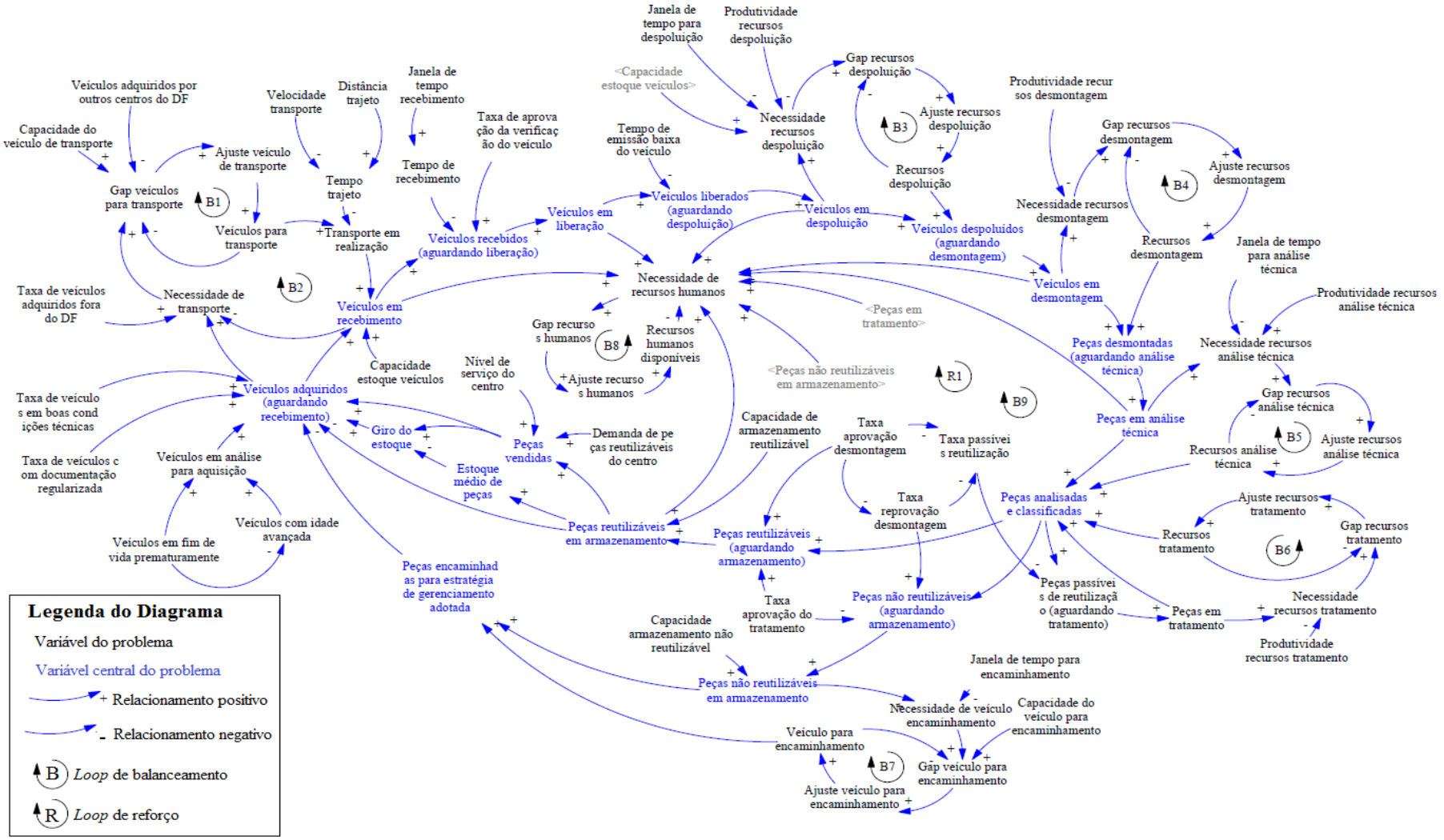


Figura 2: Diagrama do laço causal para problema do modelo de centro de reaproveitamento proposto
Fonte: Coelho (2017)

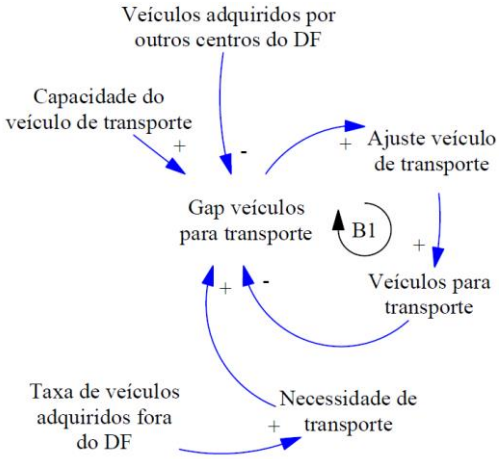


Figura 3: *Loop* B1 de balanceamento dos veículos para transporte
Fonte: Coelho (2017)

Quando ajustados os veículos, inicia-se o transporte, que é impactado negativamente pelo tempo do trajeto a ser realizado, que por sua vez é influenciado positivamente pela distância do trajeto e negativamente pela velocidade média desempenhada. A variável de veículos em recebimento também é relacionada com a capacidade do estoque de veículos, obrigando que haja espaço para que os veículos entrem efetivamente no centro de reaproveitamento. Ela encerra o loop B2, ilustrado na Figura 4.

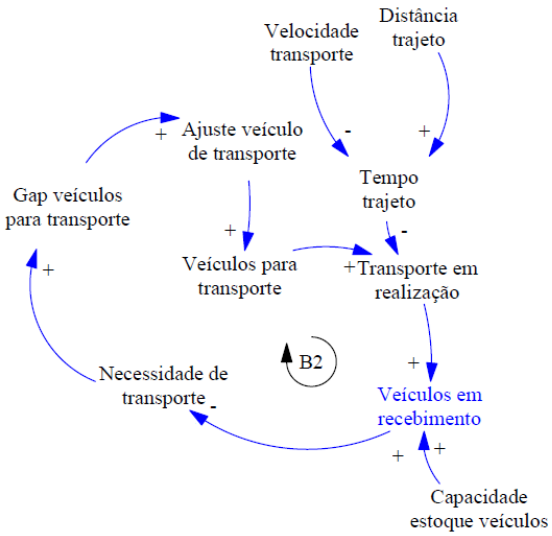


Figura 4: *Loop* B2 de balanceamento dos veículos em recebimento
Fonte: Coelho (2017)

Em seguida, os veículos passam para o *status* recebido a depender do tempo de verificação para recebimento, que precisa ser menor que a janela de tempo estabelecida pela Lei 12.977/2014 e pela Resolução CONTRAN 611/2016 para o recebimento, bem como da taxa de aprovação da verificação do veículo em relação ao contratado na aquisição, ou seja, do percentual de veículos que no recebimento atendem às expectativas da aquisição.

O veículo em liberação encontra-se alocado especificamente para elaboração do seu Plano de Despoluição e Desmontagem, enquanto aguarda a obtenção do Certificado de Baixa de Veículo, quando modifica para veículo liberado, decorrido o tempo de emissão do DETRAN-DF.

Autorizada a continuidade das atividades, os veículos em despoluição dependem dos recursos adequados às suas tarefas. Sendo assim, o *loop* B3, mostrado na Figura 5, ressalta a necessidade de recursos para despoluição, dependente da capacidade do estoque de veículos, da janela de tempo para despoluição e da produtividade dos equipamentos. A necessidade de recursos também mostra o possível *gap* existente entre recursos e o que é preciso, o ajuste realizado e a disponibilidade dos recursos que contribuem para os veículos despoluídos.

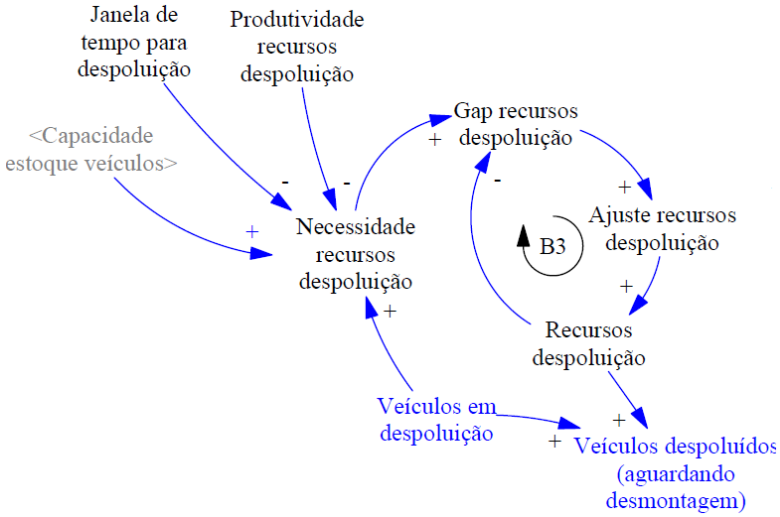


Figura 5: *Loop* B3 de balanceamento dos recursos para despoluição
Fonte: Coelho (2017)

Loops similares são relacionados às seguintes variáveis: veículos em desmontagem, peças em análise técnica, peças em tratamento e peças não reutilizáveis em armazenamento. Eles sinalizam o alinhamento que deve existir entre os recursos disponíveis no centro e a quantidade de veículos em transformação que percorrem os variados *status*. Assim, sucintamente, os veículos despoluídos direcionam para os veículos em desmontagem, com *loop* B4 (Figura 6); que encaminha para peças desmontadas; e, em seguida, para peças em análise técnica, com *loop* B5 (Figura 7); que, por fim, contribui para a variável de peças analisadas e classificadas.

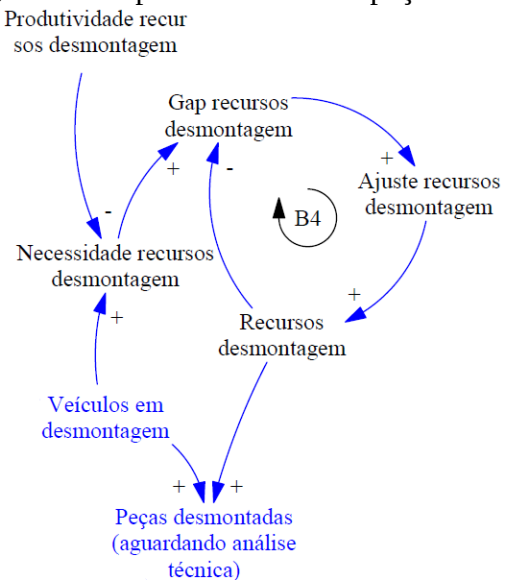


Figura 6: *Loop* B4 de balanceamento dos recursos para desmontagem
Fonte: Coelho (2017)

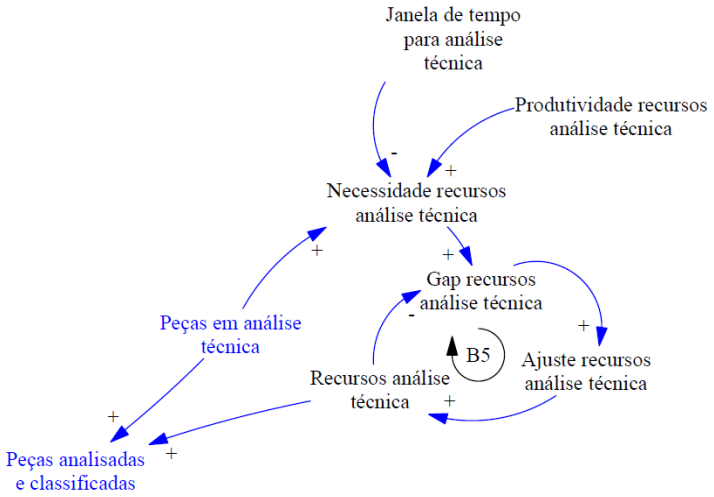


Figura 7: *Loop* B5 de balanceamento dos recursos para análise técnica
Fonte: Coelho (2017)

As peças analisadas e classificadas se relacionam positivamente com as peças reutilizáveis, as não reutilizáveis e as passíveis de reutilização, que possuem complementariedade em entre si demonstrada pelas taxas de aprovação, reprovação e passíveis de reutilização. Assim, a subtração de uma primeira taxa por uma segunda resulta na terceira. Também, o aumento de qualquer uma delas provoca a redução das demais.

Especificamente as peças passíveis de reutilização aumentam as peças em tratamento, que possui relacionamento com *loop* B6 (Figura 8), semelhante aos anteriores, com tendência de balanceamento e contribuição para peças analisadas e classificadas. Isso ocorre porque após a realização do tratamento da peça passível de reutilização, ela é submetida a uma análise da qualidade que a classifica como reutilizável ou não. Sendo assim, entende-se que a peça classificada como passível de reutilização ainda está em estágio intermediário para definição da sua estratégia de gerenciamento final.

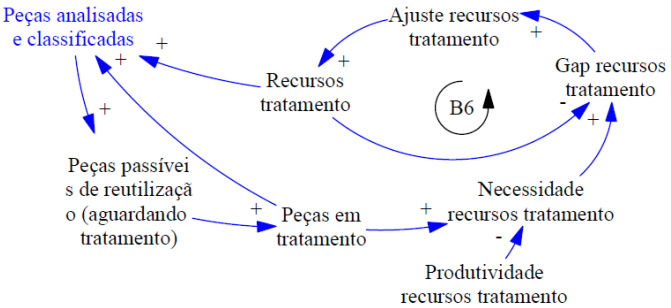


Figura 8: Loop B6 de balanceamento dos recursos para tratamento
Fonte: Coelho (2017)

As peças não reutilizáveis são, então, influenciadas positivamente pela taxa de reprovação da desmontagem e também negativamente pela taxa de aprovação do tratamento realizado na peça passível de reutilização. Elas impactam diretamente nas peças não reutilizáveis em armazenamento, que se encontram estocadas no centro de reaproveitamento aguardando a sua retirada para implementação de estratégia de gerenciamento.

Esse tipo de peças em armazenamento depende da capacidade existente, sendo que quanto maior o volume disponível, maiores quantidades de peças podem ser estocadas e, também, pode ocasionar o *loop* B7 de necessidade de veículo para encaminhamento, similar aos anteriores, com influência de uma janela de tempo para realização do encaminhamento, estabelecida pela legislação (20 dias úteis). Ele é apresentado na Figura 9.

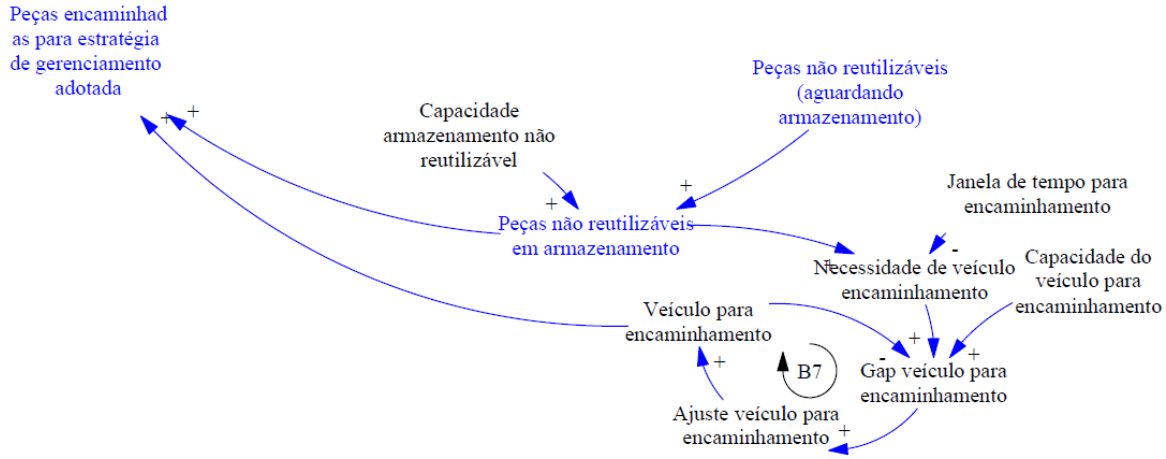


Figura 9: *Loop* B7 de balanceamento do veículo para encaminhamento de peças não reutilizáveis para estratégia de gerenciamento
Fonte: Coelho (2017)

Quando disponibilizado o veículo para encaminhamento, as peças são direcionadas para a estratégia de gerenciamento selecionada. As informações referentes à quantidade de peças destinadas, bem como às estratégias mais adequadas são insumos para a tomada de decisão na aquisição de novos veículos para o centro de reaproveitamento, conforme comentado anteriormente.

Retornando às peças reutilizáveis, percebe-se que elas também são relacionadas positivamente com as taxas de aprovação da desmontagem e do tratamento das peças passíveis de reutilização. Por outro lado, elas impactam a variável de peças reutilizáveis em armazemanento que, por sua vez, depende da capacidade disponível para estocagem. Esse tipo de peça em armazenamento influencia positivamente o estoque médio de peças, que impacta negativamente o giro do estoque, variáveis importantes para a análise de veículos para aquisição.

A variável de peças reutilizáveis também incentiva as peças vendidas, sob influência da demanda de peças reutilizáveis do centro de reaproveitamento e do nível de serviço atingido. O histórico de vendas contribui na aquisição de veículos, complementarmente, bem como o próprio registro das peças estocadas no centro de reaproveitamento. Ainda sobre as peças reutilizáveis em armazenamento, observa-se que elas possuem relacionamento positivo com a variável de necessidade de recursos humanos, que é central no diagrama porque se relaciona com diferentes variáveis: veículos em recebimento, em liberação, em despoluição, em desmontagem, em análise técnica da qualidade, em tratamento, peças não reutilizáveis em armazenamento. Isso porque as atividades do centro de reaproveitamento dependem de pessoas e elas são as mesmas para todas elas.

A necessidade de recursos humanos, assim como as demais necessidades de recursos, relaciona-se com um *loop* – o B8 – que ilustra o possível gap existente entre demanda e disponibilidade

de recursos humanos dentro do centro de reaproveitamento, o ajuste que pode ser feito para reduzir a diferença e a nova disponibilidade de pessoas. O loop B8 é representado na Figura 10.

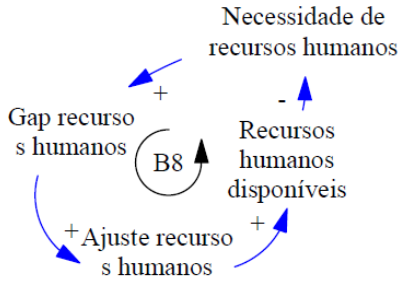


Figura 10: *Loop* B8 de balanceamento dos recursos humanos
Fonte: Coelho (2017)

Também na parte interna do centro do diagrama, ilustrado na Figura 2, é possível visualizar os loops R1 e B9, que ressaltam, respectivamente, o reforço e o balanceamento existente entre as variáveis que representam as principais atividades do centro de reaproveitamento e a entrada de novos veículos em fim de vida útil.

Na primeira situação (R1), o crescimento de peças vendidas e do giro de estoque impulsiona o aumento de veículos adquiridos e o centro de reaproveitamento se tornará cada vez maior em capacidade, se sofrer as alterações necessárias adequadamente. Na segunda (B9), o aumento da quantidade de peças reutilizáveis em estoque e/ ou de peças encaminhadas para estratégias de gerenciamento por não poderem ser reutilizadas inibe a compra de novos veículos em fim de vida útil.

Por fim, na Figura 2 o diagrama do laço causal ilustra o problema do modelo de centro de reaproveitamento proposto com as variáveis em destaque sendo as que compõem diretamente os *loops* R1 e B9, os principais da representação tendo em vista que traduzem a transformação de veículos em fim de vida útil em peças reutilizáveis ou não reutilizáveis.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O artigo atendeu ao objetivo definido de propor um modelo de centro de reaproveitamento de veículos leves em fim de vida útil, sob a visão da dinâmica de sistemas, tendo em vista a regulamentação aplicável e o contexto das empresas de reaproveitamento do Distrito Federal. Foi ilustrada a estrutura do problema em um diagrama do laço causal para melhor compressão das variáveis chaves, que podem orientar as empresas a se adaptarem para melhor realização das suas atividades e, consequentemente, auxiliar o órgão executivo de trânsito no registro, controle e fiscalização dessas empresas.

Dessa maneira, fica claro que o artigo apenas inicia a discussão de um assunto emergente no país e que ainda pode se disseminar por diferentes pesquisas. Primeiramente, propõe-se que o modelo de centro de reaproveitamento seja aplicado na realidade do DF para coleta de dados. Em seguida, prevê-se a possibilidade de utilização dos dados para tomada de decisão apenas do centro de reaproveitamento inicialmente implantado e, em um momento posterior, o início do compartilhamento da informação pelos diferentes atores para estudo em modelo avançado de simulação com visão da dinâmica de sistemas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. *Decreto n. 1.305, de 9 de novembro de 1994.* Regulamenta a Lei nº 8.722, de 27 de outubro de 1993,

que torna obrigatória a baixa de veículos vendidos como sucata e dá outras providências.
BRASIL. *Lei n. 8.722, de 27 de outubro de 1993.* Torna obrigatória a baixa de veículos vendidos como sucata.
BRASIL. *Lei n. 9.503, de 23 de setembro de 1997.* Institui o Código de Trânsito Brasileiro.
BRASIL. *Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010*. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.
BRASIL. *Lei n. 12.977, de 20 de maio de 2014*. Regula e disciplina a atividade de desmontagem de veículos automotores terrestres; altera o art. 126 da Lei 9503, de 23 de setembro de 1997 – Código de Trânsito Brasileiro; e dá outras providências.
COELHO, L. L. G. A. (2017). *Proposta de Modelo de Centro de Reaproveitamento para Veículos Leves em Fim de Vida Útil: Análise do Distrito Federal* T.DM-004/2017, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 135p.
CONSELHO NACIONAL DE SEGUROS PRIVADOS – CNSP. *Resolução n. 336, de 31 de março de 2016.* Dispõe sobre as regras e os critérios para operação do seguro popular de automóvel com permissão de utilização de peças usadas oriundas de empresas de desmontagem, conforme lei específica, para a recuperação de veículos sinistrados com cobertura securitária, e dá outras providências.
CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN. *Resolução n. 11, de 23 de janeiro de 1998.* Estabelece critérios para a baixa de registro de veículos a que se refere bem como os prazos para efetivação.
CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN. *Resolução n. 113, de 5 de maio de 2000.* Acrescentar § 4º ao artigo 1º da Resolução nº 11/98 - CONTRAN.
CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN. *Resolução n. 179, de 7 de julho de 2005.* Estabelece a revisão de procedimentos para a baixa de registro de veículos conforme o disposto no art. 126 do Código de Trânsito Brasileiro - CTB e na Resolução CONTRAN nº 11/98.
CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN. *Resolução n. 611, de 24 de maio de 2016*. Regulamenta a Lei nº 12.977, de 20 de maio de 2014, que regula e disciplina a atividade de desmontagem de veículos automotores terrestres, altera o § 4º do art. 1º da Resolução CONTRAN nº 11, de 23 de janeiro de 1998.
CRUZ-RIVERA, R. (2008) *Implementation of End-of-Life-Vehicle's Recycling for Developing Countries: Case Study, Mexico*. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia e Ciências Ambientais. Brandernburg Technical University Cottbus.
DETRAN-SP. *Portaria n. 510, de 16 de novembro de 2015*. Estabelece normas pertinentes ao registro de empresas estabelecidas no ramo de reciclagem e desmontagem de veículos e de comercialização de suas partes e peças junto ao Departamento Estadual do Trânsito e dá outras providências.
DRESCH, A; LACERDA, D. P.; ANTUNES, J. A. V. (2015) *Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia*. Porto Alegre: Bookman.
FORRESTER , J.W., (1971) *Principles of Systems*. Portland. Productivity Press.
GO, T. F. et al. (2011) *Disassemblability of end-of-life vehicle: A critical review of evaluation methods*. Journal of Cleaner Production, v. 19, n. 13, p. 1536–1546.
HARRAZ, N. A.; GALAL, N. M. (2011) *Design of Sustainable End-of-life Vehicle recovery network in Egypt*. Ain Shams Engineering Journal, v. 2, n. 3–4, p. 211–219.
LEITE, P. R. (2009) *Logística reversa: meio ambiente e competitividade*. São Paulo: Person Prentice Hall.
MANSOUR, S. et al. (2010) *Designing a reverse logistics network for end-of-life vehicles recover*y. Mathematical Problems in Engineering, v. 2010.
MERKISZ-GURANOWSKA, A. (2011) *End-of-life vehicles recycling network design*. Journal of KONES, v. 18, n. 3, p. 261–268.
MILDEMBERGER, L. et al. (2015) *Avalição de uma proposta de reciclagem de veículos em fim de vida no Paraná baseada no modelo alemão*. REVISTA NEP (Núcleo de Estudos Paranaenses), v. 1, n. 1, p. 237–251.
MONTEIRO, M. J. et al. (2015) *The challenges of reverse logistics management of end-of-life vehicles in Brazil*. Business and Management Review, v.4, Special Issue, p.344–352.
ROGERS, D. S.; TIBBEN-LEMBKE, R. S. (1999) *Going backawards: reverse logistics trends and practices*. Reverse Logistics Executive Council, Pittsburg.
SÃO PAULO. *Decreto n. 60.150, de 13 de fevereiro de 2014.* Regulamenta a Lei nº 15.276, de 2 de janeiro de 2014, que dispõe sobre a destinação de veículos em fim de vida útil
SÃO PAULO. *Lei n. 15.276, de 2 de janeiro de 2014*. Dispõe sobre a destinação de veículos em fim de vida útil e dá outras providências
SOHN, Y. T.; PARK, M. W. (2014) *Development of an Adaptive Layout Design System for ELV (End-of-Life Vehicle) Dismantling Plant*. Applied Mechanics and Materials, v. 510, p. 133–138.
STERMAN, J. (2000) *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*. Irwin McGraw-Hill.
VALLE, R.; DE SOUZA, R. G. (2014) *Logística reversa: processo a processo*. São Paulo: Atlas.