

UM MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO SERVIÇO DE ÔNIBUS BASEADO EM DADOS DE GPS

Lino Guimarães Marujo

Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro

Daniel de Oliveira Mota

Beatriz Macri de Campos

Fernanda P. Cerqueira

Instituto Mauá de Tecnologia

RESUMO

O planejamento do transporte público em centros urbanos é um desafio enfrentado pelas grandes metrópoles ao redor do mundo. Este problema sempre esteve associado a dois fatores principais: (1) falta de dados precisos e (2) falta de ferramentas adequadas. Este artigo tem como objetivo propor métodos de análise do sistema de transporte público através do uso dos dados de GPS disponibilizado pelas empresas de ônibus da cidade do Rio de Janeiro. Utilizando métodos de análise estatística de gestão dos transportes, são apresentadas adaptações para o transporte público que trarão contribuições significativas para a identificação de pontos críticos, padrões operacionais, gargalos e melhorias a serem incorporadas à malha de transporte dos ônibus. Foi identificada regularidade na velocidade média da frota, porém grande assimetria no uso dos veículos (alguns utilizados durante todo o dia, outros somente nos momentos de pico). Através de análises estáticas e dinâmicas, o método, portanto se mostrou robusto o suficiente para mapeamento de outras linhas, outras cidades para o estabelecimento de um padrão a ser seguido por cidades em todo o mundo.

PALAVRAS CHAVES

Mobilidade urbana, Global Positioning System (GPS), Geographic Information System (GIS), Sistema de transporte público, Indicadores de desempenho, Mobilidade urbana

ABSTRACT

The public transportation planning in urban centers is a challenge faced by the majority of the big metropolitan centers all over the globe. Such problem is closely related with two main factors: (1) lack of accurate data; (2) lack of proper decision tools. This paper aim to fulfill this role with the proposition of an analysis method to be used by the public transportation system based on the use of GPS provided by the bus companies of the city of Rio de Janeiro. Using a transport statistical approach, it is presented a tailored method for the public transportation that could deliver important contribution for the identification of critical points, operations standards, bottleneck, and improvements to be incorporated into the bus transportation network. It was identified regularity in the average velocity of the fleet, however high asymmetry utilization of the vehicles (some being used all day long, others only in high demand period). By the use of static and dynamic analysis, this method appeal to be robust enough to map other bus routes in the same system, as well as in other cities, and establish a standard to be followed by cities worldwide.

KEY WORDS

Urban mobility, Global Positioning System (GPS), Geographic Information System (GIS), Public transportation system, Performance indicators, Urban mobility

1. INTRODUÇÃO

Com crescimento das cidades, agravaram-se os problemas urbanos, destacadamente os relativos à mobilidade, o que tem impulsionado o desenvolvimento de inovações tanto no planejamento, quanto no controle das operações urbanas de um modo geral. Assim, problemas relacionados à mobilidade de pessoas e cargas nas cidades, principalmente aquelas com alta densidade demográfica, afetam diretamente a qualidade de vida da população, tendo como desafio o dinamismo característico dos grandes centros urbanos, o que diminui a vida útil de ações planejadas para tal, fazendo com que as ferramentas que utilizam dados em tempo real cresçam em relevância.

Como explicitado em uma série de estudos pelo IPEA (2011), os sistemas de mobilidade ineficientes agravam as desigualdades sócio-espaciais e pressionam as frágeis condições de

equilíbrio ambiental no espaço urbano, o que demanda, por parte dos governantes, a adoção de políticas públicas alinhadas com o objetivo maior de se construir uma mobilidade urbana sustentável do ponto de vista econômico, social e ambiental.

Nesse contexto, este artigo objetiva propor e avaliar um método de análise quantitativa baseado em dados de GPS para prever e ajustar a demanda e a capacidade dos serviços de ônibus, adequando os níveis de serviço das operações. Através da análise do uso de dados GPS ou dados *real-time* no planejamento e na operação dos sistemas de transporte urbano eles podem ser utilizados para avaliar a qualidade do serviço de ônibus (p.e. as incertezas no tempo em trânsito), roteiros e itinerários, e avaliar como o congestionamento afeta a estabilidade de *headways* e o diagnóstico dos gargalos do serviço.

Desta forma, este estudo busca analisar o problema de planejamento das malhas urbanas de transporte público, cobertas pelos ônibus em uma região metropolitana sujeita às condições de trânsito extremo (pedestres, carros, motos, cruzamentos, etc.), identificando pontos críticos que podem ser aprimorados quer seja com melhorias de infraestrutura, quer seja com melhorias operacionais.

Para tal objetivo, foi utilizada uma abordagem quantitativa do estudo dos dados da cidade do Rio de Janeiro. Através de dados publicamente disponibilizados pela prefeitura da cidade do Rio de Janeiro, foram criados indicadores de desempenho do sistema de transporte, de forma a reportar de maneira isenta à critérios subjetivos, qual a real situação do transporte público desta cidade.

Neste documento serão apresentados os fundamentos da análise desenvolvida, bem como os resultados da aplicação desta metodologia na linha 485 – PENHA X GENERAL OSORIO (VIA TUNEL SANTA BARBARA). A decisão do estudo desta linha se deve à dimensão do roteiro apresentado pelos ônibus dela pertencente, bem como qualidade dos dados coletados. Porém, este estudo poderá ser replicado para outras linhas, inclusive em outras cidades, conforme o interesse. Desta linha serão analisados dados estáticos, referente à infraestrutura da linha, e dados dinâmicos, referentes à operação dos veículos, e baseado nestas análises, serão delineadas as conclusões referentes às características do serviço, tanto estáticas quanto dinâmicas desta linha.

O presente artigo está organizado da seguinte forma: na sessão 2 se demonstra o estado da arte da literatura a respeito do uso de dados GPS para a gestão do transporte. Na sessão 3 se explicita a metodologia adotada para o estudo, assim como as variáveis relevantes. Os resultados e a aplicação ao caso de estudo se encontram na sessão 4, seguida das discussões na sessão 5. Por fim, na sessão 6, são traçadas as conclusões deste trabalho, bem como proposições de extensões e aperfeiçoamentos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Georeferenciamento nos transportes urbanos

De acordo com Mandl (1980), nos anos 80 não era dada atenção ao problema de transporte público e planejamento de linhas dos veículos. Até então, as redes de transportes públicos eram construídas sem considerar as reais necessidades da população das cidades, o que resultava em grande tempo de espera e número de transferências entre as diferentes linhas. A fim de adequar uma grande rede de transportes a estas necessidades, considerando o menor

custo médio, o autor então desenvolveu um algoritmo que utiliza a menor distância e rota entre dois pontos, os tempos de espera para cada veículo e o custo médio de transporte de passageiros a fim de determinar a rota ideal a ser utilizada na rede de transportes avaliada.

Em anos posteriores já foi possível notar o início de um interesse maior no assunto, onde um sistema inteligente foi criado para determinar cronogramas dinâmicos relacionados a diferentes linhas de transporte público que se interligam em um terminal de transferência, com o objetivo de reduzir o tempo de transferência dos passageiros (Dessouky *et al.* 1999). Este sistema se fez necessário, uma vez que a maioria dos cronogramas era elaborada com horários fixos, desconsiderando os atrasos e horários de picos. Tal técnica utilizava uma tecnologia que avaliava em tempo real as posições de cada um dos veículos e adapta o cronograma de transferência dinamicamente.

Através do trabalho desenvolvido por Weigang *et al.* (2001), tecnologias mais avançadas foram utilizadas para desenvolver um Sistema de Transporte Inteligente (ITS) a fim de otimizar a rede de transportes públicos e melhorar a experiência dos usuários. Sistema de Posicionamento Global (GPS), Sistema de Informações Geográficas (GIS), Banco de Dados/*Data Warehouse/Data Mining*, Internet e Telecomunicação são as principais tecnologias utilizadas neste trabalho, o qual desenvolveu um sistema de comunicação entre as posições dos veículos e os usuários. Este sistema mostra um avanço considerável na utilização da tecnologia e sistemas de controle para uma melhor experiência do usuário final, porém, ainda não demonstra uma melhor utilização dos mesmos em um âmbito de planejamento das redes de transporte antes das mesmas já estarem implementadas. Contudo, o uso de tais informações pode servir de base para a comparação entre sistemas que sofreram melhorias ou alterações estruturais, como por exemplo, a implantação de corredores específicos para o sistema público, avaliando-se os impactos na velocidade média, tempo de deslocamento e parados entre outros indicadores (Arbex, *et al.* 2015).

Utilizando também as tecnologias GPS e GIS, Doherty *et al.* (2001) criaram um algoritmo que utiliza uma grande base de dados de viagens feitas pelos usuários para entender melhor o comportamento dos usuários da rede de transporte público de Quebec, no Canadá. Com estes dados podem-se analisar as decisões tomadas pelos usuários, preferências de rotas, locais de parada de movimentação, entre outros, as quais podem seguramente influenciar no futuro planejamento urbano das cidades.

Outra aplicação relevante do uso do GPS/GIS é a desenvolvida por Stopher *et al.* (2008). Apesar de tais tecnologias determinarem com precisão o caminho percorrido, velocidade, paradas, entre outros, elas não conseguem determinar o meio de transporte utilizado pelo usuário e nem o propósito da viagem. Realizaram pesquisas de transporte com voluntários com a finalidade de capturar dados de destinos principais dos usuários (como escola, trabalho, supermercado, etc) e também capturar dados de GPS/GIS dos mesmos. Com esses dados, puderam criar um sistema inteligente para entender o comportamento dos usuários em relação as rotas utilizadas, principais meios de transporte utilizados e a finalidade de cada movimentação feita. Tais dados podem ser utilizados também na determinação da localização de diferentes tipos de serviços, já que mostra a interligação dos mesmos.

Foi criada uma adição ao Sistema Inteligente de Transportes, já que o mesmo não considera o contexto em tempo real de cada linha de sua rede (Ribeiro *et al.* 2015). Informações como

localização de cada veículo, congestionamentos, acidentes e bloqueios temporários na rede, etc, foram utilizadas no sistema desenvolvido por Caldas e Vieira (2010) a fim de informar ao usuário em tempo real a situação da rota a qual o mesmo irá percorrer e as decisões ótimas de percurso que devem ser tomadas a fim de minimizar o tempo de transporte.

3. METODOLOGIA

Este estudo, devido à sua natureza exploratória, apresenta uma metodologia direcionada à aquisição e tratamento dos dados investigados. Desta forma, foi aplicado um procedimento iterativo de coleta e validação dos dados apresentado a seguir através de um algoritmo implementado através da linguagem *PYTHON*, descrito no fluxograma a seguir (Figura 1). Os dados de GPS estão, até a data de edição deste artigo, disponíveis em (DATA.RIO, 2015).

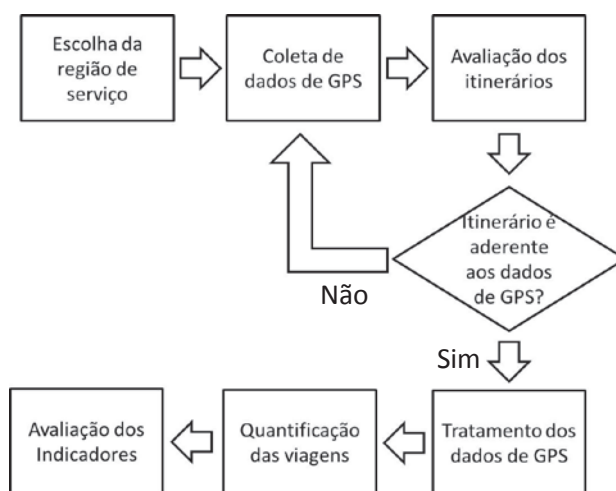


Figura 1: Esquema metodológico da pesquisa empregada neste estudo

Assim, construiu-se uma base de dados para estudo de aproximadamente 4 Gb, armazenada no formato “csv” e explorada utilizando procedimentos de *data mining* para obtenção dos gráficos e tabelas apresentadas neste artigo. Desta forma foram parametrizadas as fórmulas de indicadores de desempenho descritas a seguir.

3.2. Indicadores de desempenho de sistemas logísticos

Para a análise proposta neste estudo, o cálculo da velocidade é computado como se segue (Figura 2).

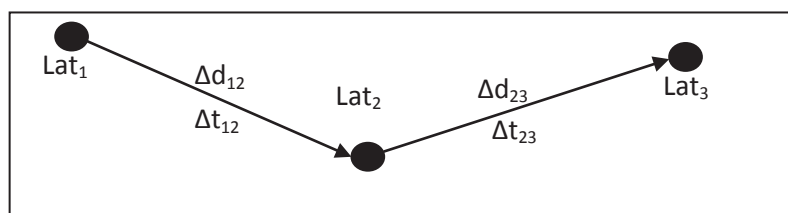


Figura 2: Diagrama de cálculo da velocidade

Onde:

$$v = \frac{\sum \Delta d_{ij}}{\sum \Delta t_{ij}} \text{ para todo arco } ij \quad (1)$$

Em que i : início de um movimento
 j : destino de um movimento

Embora este cálculo seja trivial, quando se utiliza dados cartográficos, é de suma importância a correção das distâncias através aproximações que levem em consideração o fato de não se tratar de um espaço plano e sim esférico, além disso, que não se trata de uma esfera perfeita.

Dentre as transformações utilizadas pela literatura, este trabalho utilizou a lei de Haversine, previamente esta conversão de coordenadas geográficas de GPS em distância utilizada para aplicação semelhante foi reportada por Ratsameethammawong e Kasemsan (2010).

$$\text{haversine}\left(\frac{d}{r}\right) = \text{haversin}(\phi_j - \phi_i) + \cos(\phi_j)\cos(\phi_i)\text{haversine}(\lambda_j - \lambda_i) \quad (2)$$

$$\text{haversine}(\theta) = \text{sen}^2\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{1 - \cos(\theta)}{2} \quad (3)$$

Em que d : distância entre os dois pontos
 R : raio da esfera
 ϕ_i e ϕ_j : latitude dos pontos i e j
 λ_1 e λ_2 : longitudes dos pontos i e j

Assim, com as distâncias apuradas e adequadamente corrigidas, diversos indicadores estatísticos foram computados. Utilizando as velocidades calculadas como unidades de análise, foram computadas as médias e variâncias destas variáveis aleatórias. A variância da velocidade dada por:

$$\sigma^2 = \frac{1}{(\Delta N - 1)} \sum_i^{\Delta N} (v_i - v)^2 \quad (4)$$

Em que σ : desvio padrão
 N : tamanho da amostra
 V : velocidade

Sendo o *headway* para o transporte público urbano definido como a distância entre os pontos de parada dos ônibus, outro indicador para se avaliar o nível de serviço da operação em estudo é o coeficiente de variação do *headways*, dado pela seguinte expressão (Rothen, 2015):

$$c_v H = \frac{\sigma H_i}{H} \quad (5)$$

Em que $c_v H$: coeficiente de variação do *headways* médio
 σH_i : desvio padrão dos desvios do *headway* individual
 H : *headways* médio do itinerário.

Para se avaliar o efeito de acumulação de veículos de mesmo itinerário (*bus bunching*), utilizou-se as expressões propostas por (Daganzo, 2009). O objetivo da análise é para uma linha simples de ônibus operada com uma tabela de horários (dita *schedule*) regular, sob condições independentes de tempo. Se define o *schedule* em termos das chegadas de ônibus a uma série de pontos de controles ao longo do itinerário, ao invés de se avaliar as partidas dos ônibus, por questões de simplicidade. O *schedule* é da seguinte forma:

$$t_{n,s} = t_{0,0} + nH + \sum_0^s p_i \quad (6)$$

Em que H : *headway* do serviço
 p_i : tempo de viagem programado para o segmento entre os pontos i e $i+1$ que é comum a todos os ônibus daquela linha.
 $t_{n,s}$: tempo no qual o ônibus n chega ao ponto s

Note-se que p_i é indexado pelo ponto de início do segmento.

Em um caso estacionário e determinístico tem-se $p_s = c_s$, sendo c_s o tempo médio de viagem de s a $s+1$, incluindo o atraso devido as paradas com um *headway* H . Então, pode-se considerar como um movimento simples determinístico e estacionário do ônibus:

$$t_{n,s} = t_{n,s} + c_s \quad (7)$$

Porém, na realidade, distúrbios aleatórios devido ao tráfego, a demanda de passageiros e suas necessidades, e pela própria condução, produzem erros do tipo $\epsilon_{n,s} = (a_{n,s} - t_{n,s})$ entre o tempo de chegada normal do ônibus $a_{n,s}$ e o tempo de chegada planejado $t_{n,s}$. Como resultado, o *headway* real, $h_{n,s} = (a_{n,s} - a_{n,s-1})$, também é diferente do planejado, o que afeta os tempos de viagem uma vez que *headways* longos implicam em mais passageiros a serem servidos (Vuchic, 2007).

Para modelar esses efeitos de uma maneira simples, assume-se que o tempo com distúrbios, ou não-controlado, de s a $s+1$ sendo $(a_{n,s+1} - a_{n,s})$, denotado como $u_{n,s}$, é aproximadamente linear com $h_{n,s}$ da forma:

$$u_{n,s} = c_s + \beta_s (h_{n,s} - H) \quad (8)$$

Em que β_s : parâmetro adimensional que expressa o aumento marginal no atraso esperado do ônibus para cada unidade de aumento do *headway*.

4. RESULTADOS

4.1. Análise de dados espaço-temporal

Para desenvolvimento deste trabalho, foram utilizadas fontes públicas de dados disponibilizadas pela Prefeitura do Estado do Rio de Janeiro. Sendo uma fonte compreensiva de dados apresentando os pontos de parada dos ônibus de toda a cidade, bem como a posição dos veículos durante seu trajeto, este presente estudo irá utilizar como referencia a linha 485 (485-PENHA X GENERAL OSORIO (VIA TUNEL SANTA BARBARA) e os veículos que compõe esta linha. Desta forma, o dado com o rótulo de "ORDEM" representa a identificação serial do veículo, que para critério de estudo terá o mesmo efeito da placa do veículo. Serão, portanto, utilizados dois conjuntos de dados: (1) dados estáticos, referente aos pontos de parada; (2) dados dinâmicos, referente ao posicionamento dos veículos. A disposição geográfica dos dados em estudo pode ser observada na Figura 3a.

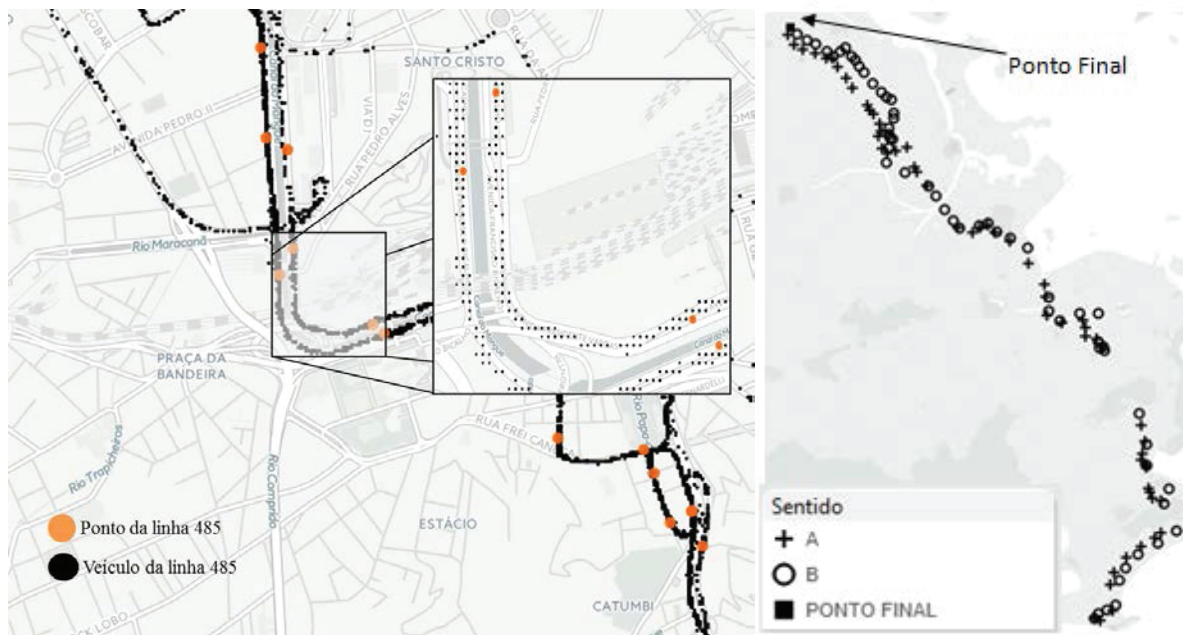


Figura 3a e 3b. (a) Análise espaço-temporal dos dados coletados para o presente estudo e (b) Disposição espacial dos pontos da linha 485 – Rio de Janeiro

4.2. Dados estáticos

4.2.1. Distribuição dos pontos

Trata-se de uma linha com 58 pontos de parada em cada sentido (centro ou bairro), portanto a cada circuito completo um veículo realiza até 115 paradas (somente uma parada é realizada em um dos extremos da linha). A disposição dos pontos pode ser observada na Figura 3b.

Em termos de distância entre os pontos de parada, tanto o histograma quanto o *box-plot* a seguir fornecem a informação da distribuição dos pontos de parada, conforme observada a Figura 3b. Com as distâncias corrigidas pela transformação de *Haversine*, pode-se ter a ideia inicial da infraestrutura empregada na linha em estudo para operação.

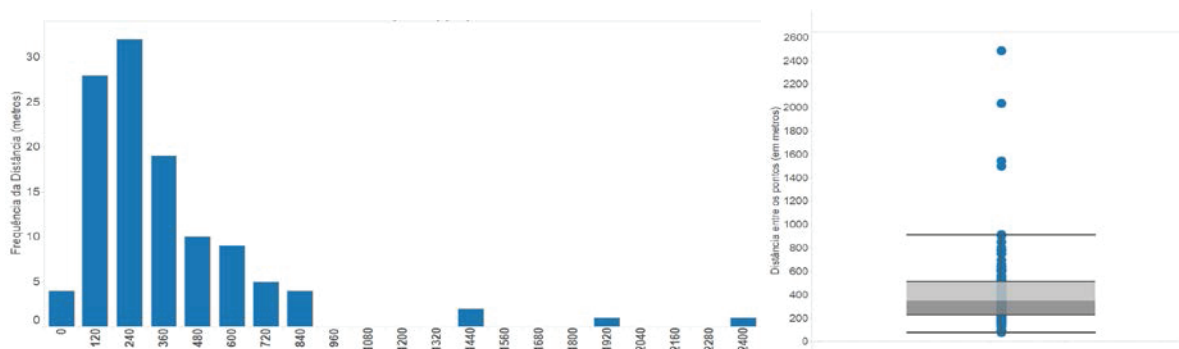


Figura 5: Histograma e *box-plot* da distância entre os pontos de parada

Desta forma, a distância média percorrida entre os pontos é de 426,5 m nesta linha, com desvio padrão de 32,5 m e uma moda de 172 m. Um total de distância percorrida no circuito de 49.045,2 m, sendo aproximadamente 25.000 m em cada sentido.

4.2.2. *Headways* estáticos

A análise dos pontos evidenciou uma distância média entre os pontos de 426 metros, e um desvio padrão de 349 metros entre os pontos. Cabe ressaltar que esta linha percorre um túnel de aproximadamente 2.000 metros, região que não pode haver pontos de parada, portanto impactando na dispersão deste valor. O cálculo do coeficiente de variação, de acordo com a fórmula 4 é, portanto, apurado pela relação entre as estatísticas calculadas anteriormente, portanto, de aproximadamente 81,8%. Este valor é bastante elevado, e pode indicar excessiva concentração de paradas em uma região da malha, e longas distâncias em outra região.

Indicadores como este não foram reportados na literatura científica e devem ser comparados com a realidade de outras linhas da mesma, ou de outras cidades, para mapeamento e identificação de fatores que levam a satisfação do usuário do transporte público.

4.3. Dados dinâmicos

Na análise dinâmica, este estudo propõe (1) a verificação da velocidade média agregada por veículo, onde pode-se observar o desempenho individual do veículo no sistema global; (2) a verificação do desempenho de um veículo em particular ao longo de sua operação; e por fim, (3) o desempenho da velocidade do sistema ao longo das suas horas de operação.

A base de dados construída possui observações interrompidas do período de 08/07/2015 até 14/07/2015 de todo o sistema público de transporte da cidade do Rio de Janeiro. Após o tratamento e consolidação, foram analisadas 70.950 observações referentes à linha estudada.

4.3.1. Velocidade média agregada por veículo

Na linha em estudo foi observada a Linha 485, contando com 20 veículos. Os resultados podem ser observados na Tabela 1. Existe uma clara diferenciação entre a velocidade alcançada do veículo no sistema calculada conforme descrito na Figura 2, e a médias das velocidades praticadas pelo veículo. Embora o veículo B31048, como exemplo, viaje em média 21 km/h, no decorrer de toda sua operação, nos momentos em que este esteve operando, dentro do período observado, ele percorreu uma distância de 612.929 metros em um tempo de operação de 13.252 minutos, resultando em uma média de 2,8 km/h.

Esta diferença evidencia que embora se movimente com velocidades coerentes com os limites da área urbana, este veículo em geral exerce baixas velocidades, ou permanece obstruído devido à engarrafamentos e efeitos do intenso tráfego de uma grande metrópole.

A Tabela 1 apresenta claramente o efeito observado pela população usuária do transporte público nas grandes metrópoles, a velocidade média de um veículo é muito baixa. Embora os veículos não estejam operando 24 horas por dia, o que impacta na velocidade média global, percebe-se que o sistema apresenta uma velocidade média de aproximadamente 3,2 km/h quando se analisa a velocidade média do sistema, e 21 km/h quando se analisa a velocidade praticada.

Tabela 1: Velocidade medida agregada por veículo

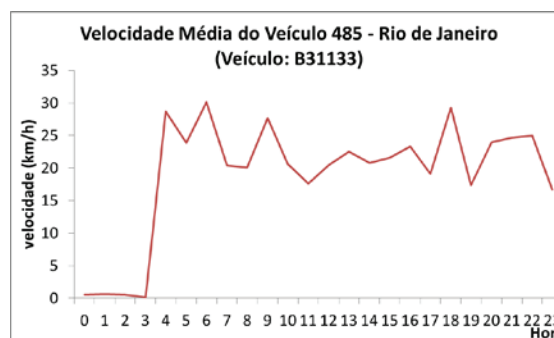
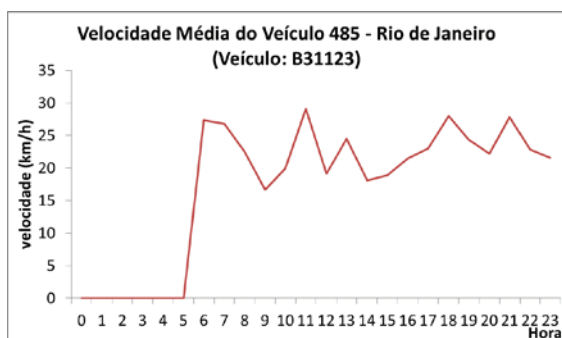
Ordem	Distância percorrida (metros)	Tempo em movimento (minutos)	Velocidade média no sistema (km/h)	Velocidade média praticada (km/h)
B31048	612.929	13.252	2,8	21
B31057	223.086	3.432	3,9	24
B31111	357.297	12.774	1,7	19

B31112	767.561	12.681	3,6	22
B31113	910.235	12.493	4,4	22
B31114	832.312	13.567	3,7	21
B31115	889.087	13.548	3,9	23
B31116	984.502	13.608	4,3	23
B31117	631.525	12.108	3,1	23
B31123	944.796	13.993	4,1	23
B31129	698.930	14.249	2,9	19
B31132	515.366	7.606	4,1	22
B31133	846.234	13.038	3,9	22
B31134	747.869	13.590	3,3	22
B31137	104.666	12.844	0,5	11
B31138	770.191	13.037	3,5	21
B31145	718.661	13.920	3,1	22
B31148	255.453	13.687	1,1	18
B31151	333.343	8.459	2,4	20
B31154	600.983	8.307	4,3	22

4.3.2. Velocidade média horária por veículo

Os veículos apresentados foram selecionados de maneira aleatória para exemplificar a aplicação do método. Pode-se observar que a velocidade média igual a zero significa que o veículo em questão não está sendo utilizado. Para esta análise, foram calculadas as médias de velocidade observadas em uma determinada hora, para verificação de algum tipo de sazonalidade, ou comportamento recorrente na frota.

Através da Figura 6, percebe-se o uso bastante irregular da frota, este uso contribui de forma expressiva a tornar baixas as velocidades médias dos veículos apresentadas na tabela 1. Esta irregularidade pode ser inferida pela presença de veículos que permanecem com velocidade alta (indicando operação) durante boa parte do dia (nos casos acima, os veículos B31123 e B31133 permaneceram operacionais das 5 e 3 horas da manhã, respectivamente, até às 23 horas), enquanto outros veículos (B31111 e B31137) apresentaram baixas velocidades médias em diversos períodos do dia que não fosse a madrugada, indicando possível interrupção de uso em determinados momentos do dia. Esta política de uso esporádico de alguns veículos leva o sistema a perder sua regularidade, aumentando sua frota em momentos de pico de demanda, e redução drástica em momentos de baixa necessidade.



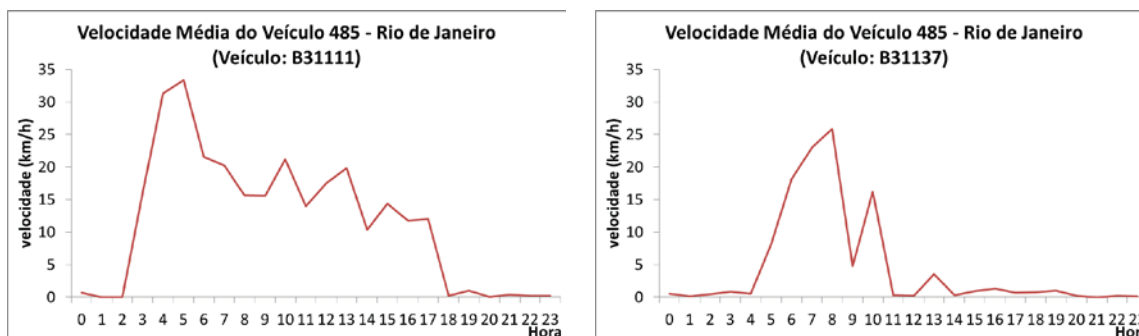


Figura 6: Velocidades individuais de veículos da linha em estudo

O uso destes veículos em outras rotas, a sua utilização em sistemas *on-demand*, ou então emprego deste para transporte de cargas são soluções em estudo em centros de pesquisa, mas ainda está longe de se tornar uma realidade viável como solução na mobilidade urbana.

4.3.3. Velocidade média horária do sistema

Uma vez consolidados todos os dados dos veículos da rota 485, percebe-se, porém, que existe um equilíbrio e estabilidade na manutenção das velocidades médias do sistema. Picos de velocidade logo pela manhã (entre as 3:00 e 6:00) são esperados pois neste momento o trânsito dos demais veículos (carros, motos, caminhões) ainda são raros na região metropolitana em estudo. Após este horário, a velocidade é mantida ao redor dos 20 km/h, mesmo com o trânsito intenso de outros tipos de veículos. A possível presença de corredores de ônibus na rota em estudo poderia ser um fator determinante desta velocidade estável observada, conforme Figura 7.

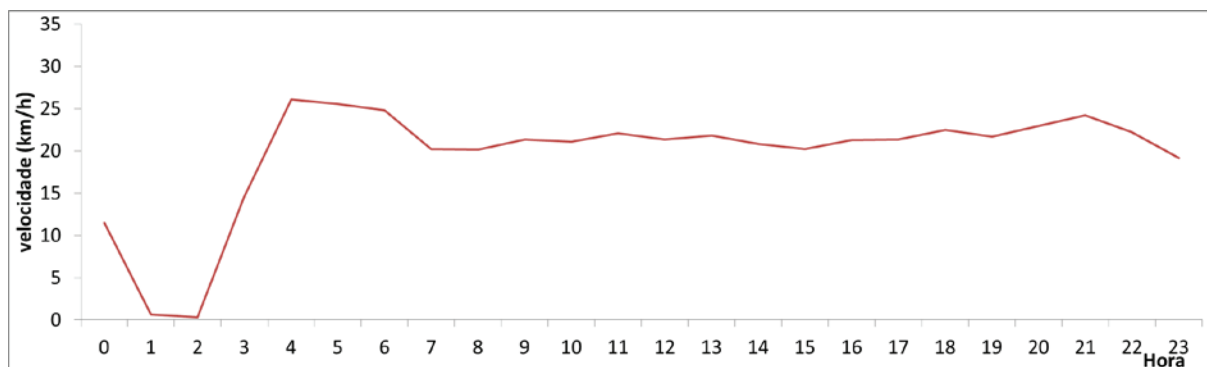


Figura 7: Velocidade média da linha em estudo

Através da Figura 7, observa-se que a velocidade média máxima atingida pelo sistema é de aproximadamente 16 km/h, no início da manhã. Porém o sistema permanece com velocidades em torno de 10 e 12 km/h durante o dia, e com velocidades baixas a partir das 21 horas até a meia noite, estando praticamente parado entre 1 e 3 da manhã.

5. DISCUSSÃO

Enquanto a análise dos dados estáticos fornece informações sobre a existência e disposição da infraestrutura disponível para o transporte público, a análise dos dados dinâmicos fornece informações sobre o uso desta infraestrutura. Desta forma, é possível identificar a necessidade de investimento em ativos (frota, paradas e percursos), ou em operação (velocidade dos ônibus). O perfil irregular de velocidades observado na Tabela 4 evidencia que os veículos

não são empregados de maneira homogênea, levantando suspeitas de que a frota é superior à necessidade do sistema, podendo haver veículos ociosos em partes do período. Por outro lado, reconhece-se que o horizonte de observação de 5 dias precisa ser expandido para o aumento da precisão das análises.

Em termos computacionais, este estudo evidenciou a importância de que as técnicas robustas para análises estatísticas têm exercido no estudo logístico em geral, e particularmente no ambiente urbano. A coleta dos 5 dias de análise levou à geração de uma base de dados de aproximadamente 4 Gb, não sendo manipulável por planilhas eletrônicas durante o tratamento de dados, por este motivo, destaca-se o papel de métodos de *data mining* para estudos desta proporção. Neste caso, toda a análise foi realizada utilizando *Python*, ferramenta que tem ganhado expressão em estudos desta natureza.

6. CONCLUSÃO

A presente abordagem demonstrou ser robusta o suficiente para ser expandida em termos de horizonte de análise, zonas geográficas e diferentes meios de transporte público, se concretizando como um método de análise quantitativa baseado em dados de GPS para prever e ajustar tanto a demanda quanto a capacidade dos serviços de ônibus, adequando os níveis de serviço das operações. Estes dados obtidos em tempo real se mostraram de grande utilidade como ferramenta de planejamento e análise de políticas urbanas, para avaliação da qualidade do serviço dos ônibus durante sua operação. Assim as incertezas no tempo de viagem, bem como nos roteiros, itinerários e congestionamentos podem ser percebidas com maior agilidade, e medidas mitigatórias podem ser tomadas para redução do impacto negativo que estas medidas podem acarretar em redução de *headways*, acumulação de veículos, e criação de gargalos. O uso da velocidade como indicador de desempenho de um sistema urbano de transporte público, embora simples, pode trazer informações sobre o funcionamento de um sistema de transporte. Esta metodologia de análise contribui de maneira significativa para os tomadores de decisão do poder público, direcionando investimentos e uso de recursos para melhoria do sistema.

6.1. Trabalhos futuros

A quantidade massiva de dados analisada para o presente estudo pode ser enriquecida significativamente quando incorporada a variáveis demográficas como fatores econômicos, poder aquisitivo da região, grau de industrialização e comércio, ou fluxo de veículos ou pessoas (carros, motos e pedestres) para se identificar os motivos de congestionamentos e consequente redução da velocidade em determinada região.

Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte financeiro parcial do CNPq e da FAPERJ.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arbex, R. O., Barbieri, C., Gabriel, J., & Setti, R. (2015). Comparação de velocidades comerciais antes e depois da implantação de faixas exclusivas para ônibus na cidade de São Paulo através de análise de dados de GPS dos veículos. In *20º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito*. Santos, SP: ANTP.
- Caldas, L. R. R., & Vieira, V. (2010). Desenvolvimento de Uma Solução Sensível ao Contexto Como Suporte a Um Sistema de Transporte Público Inteligente. *Departamento de Ciência Da Computação Da Universidade Federal Da Bahia, Salvador, Bahia, Brazil*.
- Daganzo, C. F. (2009). A headway-based approach to eliminate bus bunching: Systematic analysis and comparisons. *Transportation Research Part B: Methodological*, 43(10), 913–921. doi:10.1016/j.trb.2009.04.002

- DATA.RIO. (2015). Dados dos GPS instalados nos ônibus enviados em tempo real. Retrieved June 1, 2015, from <http://dadosabertos.rio.rj.gov.br/apiTransporte/apresentacao/csv/onibus.cfm>
- Dessouky, M., Hall, R., Nowroozi, A., & Mourikas, K. (1999). Bus dispatching at timed transfer transit stations using bus tracking technology. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 7(4), 187–208. doi:10.1016/S0968-090X(99)00019-4
- Dill, J. (2009). Bicycling for transportation and health: the role of infrastructure. *Journal of Public Health Policy*, S95–S110.
- Doherty, S. T., Noël, N., Gosselin, M. L., Sirois, C., & Ueno, M. (2001). *Moving beyond observed outcomes: integrating global positioning systems and interactive computer-based travel behavior surveys* (No. E-C026). Washington DC.
- IPEA. (2011). *A mobilidade urbana no Brasil* (No. 94).
- Mandl, C. E. (1980). Evaluation and optimization of urban public transportation networks. *European Journal of Operational Research*, 5(6), 396–404. doi:10.1016/0377-2217(80)90126-5
- Ratsameethammawong, P., & Kasemsan, M. L. K. (2010). Mobile Phone Location Tracking by the Combination of GPS, Wi-Fi and Cell Location Technology. In *Communications of the IBIMA* (Vol. 2010, pp. 1–7). doi:10.5171/2010.566928
- Ribeiro, R. G., Toledo, J. I. F., Schiaffino, D. P. L., & Pereira, J. C. (2015). Aplicação de ITS para avaliar o desempenho do sistema de transporte por ônibus inserido no tráfego urbano. *Revista Dos Transportes Públicos, ANTP*, 37(1º quad.), 49–60.
- Rothen, M. D. L. (2015). Análise da implantação do BRS da Avenida T63 – Goiânia. In *20º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito*. Santos, SP: ANTP.
- Stopher, P., Clifford, E., Zhang, J., & FitzGerald, C. (2008). *Deducing mode and purpose from GPS data*. Institute of Transport and Logistics Studies.
- Vuchic, V. R. (2007). *Urban Transit Systems and Techonology*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Weigang, L., Yamashita, Y., & Silva, O. Da. (2001). Implementação do Sistema de Mapeamento de uma Linha de Ônibus para um Sistema de Transporte Inteligente. In *XXI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, Seminário Integrado de Software e Hardware (SEMISH)*. Retrieved from <http://www.cic.unb.br/~weigang/pub/itssemish2001.pdf>