

ANÁLISE DE SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO (SÃO PAULO)

Matheus Liutkevicius¹; Daniel de Oliveira Mota²

¹ Aluno de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

² Professor da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

Resumo. Diversas iniciativas estão sendo tomadas para aprimorar o planejamento e a gestão dos sistemas de transporte público com o objetivo de aumentar a qualidade do serviço oferecido, incentivar o uso do mesmo e minimizar o congestionamento existente nos grandes centros urbanos. O objetivo deste estudo é propor um método de análise de sistemas de transporte público com base em indicadores de desempenho que auxilie na gestão dos mesmos. Este método pode ser aplicado em qualquer sistema de transporte público que possua dados similares. Foi analisado a linha de ônibus 938V-10 (Terminal Barra Funda) da cidade de São Paulo durante o dia 28 de setembro de 2017. A partir dos resultados conclui-se que o método é consistente e pode ser utilizado por agências de trânsito para avaliar seus sistemas operacionais. Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se comparar os valores reais medidos com metas pré-estabelecidas ou com os valores de outras cidades (benchmark) a fim de avaliar a eficiência do sistema

Introdução

Dando prosseguimento ao estudo proposto (Marujo, 2015), este artigo tem como objetivo aplicar as técnicas propostas em um estudo de caso objetivo baseado em linhas regulares da cidade de São Paulo, expondo o delineamento experimental discutido nos artigos anteriores e criando uma base de comparação do transporte público rodoviário através de dois pilares: (1) análise estática (infraestrutura); (2) análise dinâmica (velocidades). Neste trabalho só será analisado a análise estática da Linha de ônibus 938V-10.

Para a compreensão do problema abordado neste artigo, uma breve revisão bibliográfica foram revisados os principais aspectos referente ao congestionamento de um grande centro, indicando suas causas e os principais pesquisadores que investigaram sobre o assunto.

Determinar o nível de congestionamento de um sistema com base na expectativa de seus usuários é uma questão abstrata e, portanto, muitos pesquisadores têm se dedicado a analisar o congestionamento com base em sua definição literal (TRANSPORT RESEARCH CENTER, 2007).

Com relação ao congestionamento, um paralelo pode ser feito entre sistemas de transporte e sistemas de manufatura: o veículo pode ser comparado ao material a ser processado enquanto a via ao maquinário. Ambos podem apresentar uma situação de congestionamento quando a demanda é maior que a capacidade instalada e, conseqüentemente, o veículo e o material se encontram em fila. As causas para tal congestionamento para o sistema de transporte foram mencionadas acima e, para o sistema produtivo, podem variar entre fatores como quebra de um maquinário, planejamento incorreto, atraso do fornecedor, entre outros (Sztrik, 2012). Atualmente, segundo os dados do índice de congestionamento da TomTom de 2015, o Brasil possui 3 cidades (Rio de Janeiro - 47%, Salvador - 43% e Recife - 43%) dentro das 10 cidades do mundo com maior nível percentual de congestionamento, sendo que São Paulo possui o índice de 29%. (TOMTOM, 2015).

A nota técnica publicada pela Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados do Brasil (Borges, 2006) indica que não há uma definição oficial para o termo "Transporte Coletivo Urbano", porém, para ser classificado dessa forma, o transporte não pode ser individual e deve ser realizado em área urbana. O mesmo autor afirma que, além desses, outros fatores caracterizam esse modo de transporte, como a possibilidade de os passageiros serem transportados em pé e a necessidade de um bilhete individual por passageiro que comprove o contrato de transporte entre a empresa e o usuário. De forma também abrangente, Vuchic (2002), caracteriza o transporte coletivo urbano (ou transporte em massa ou transporte público) como um sistema no qual o uso é permitido a qualquer pessoa que pague uma taxa previamente estabelecida. A diferença apontada pelo autor e que

caracteriza de forma mais específica o sistema de transporte aqui abordado é que esse tipo de transporte normalmente é operado em uma rota fixa com itinerários previamente estabelecidos. Vasconcellos (2012) afirma que uma das principais questões a respeito do transporte público se refere à responsabilidade de ofertá-lo, cabendo esta responsabilidade ao governo, aos operadores privados ou a ambos. O autor afirma que para responder esta questão é preciso considerar que esse tipo de transporte possui algumas características que fazem com que o mesmo precise ser planejado e controlado, devido ao fato de que divide o espaço viário com outros veículos, podendo causar danos a outros usuários das vias. Além disso, o mesmo é essencial para o funcionamento da cidade, já que grande parte da população o utiliza diariamente.

Devido a essas características, Vasconcellos (2012) afirma ainda que o seu controle e planejamento não podem ser realizados pelos operadores privados pois, quando isso acontece, os serviços tendem a ser de baixa qualidade. O autor também aponta que se o controle for feito exclusivamente pelas empresas privadas de transporte proprietárias dos veículos, o serviço pode ser interrompido a qualquer momento, sem levar em consideração os usuários em espera para utilizá-lo e, assim, impactar a mobilidade de boa parte da população das cidades.

O bom planejamento e execução do sistema descrito é importante pois grande parte da população brasileira depende do mesmo para seus deslocamentos diários. Segundo pesquisa realizada pela ANTP (2015), há uma média de 64,3 bilhões de deslocamentos urbanos por ano realizados por 18.707 milhões de pessoas, o que corresponde a 214 milhões de viagens por dia e um número médio de 1,74 viagens por habitante por dia. Do total de deslocamentos, 29% foram realizados por meio do transporte coletivo (18,6 bilhões de viagens). Desses, 86% foram feitos por meio do uso de ônibus (municipais e intermunicipais), o que corresponde a 16.187 milhões de usuários no ano de 2013. Outro indicativo da importância do sistema de transporte público no Brasil, segundo cálculo da ANTP, é o total de quilômetros rodados pelos veículos de transporte coletivo por ano. Em 2013 somou-se em um total de 9,2 bilhões de km, dos quais 8,7 bilhões foram percorridos pelos ônibus (ANTP, 2015).

Na cidade de São Paulo, o sistema de transporte público rodoviário é gerenciado pelo órgão municipal SPTrans, o qual gerencia 15.000 veículos operados por 37 empresas consorciadas, os quais são utilizados em cerca de 1.400 linhas disponíveis na cidade. Esses veículos fazem cerca de 200 mil viagens diárias, deslocando mais de 9 milhões de pessoas por dia (Monteiro, Pons, & Speicys, 2015). De acordo com dados da SEMPLA (Secretaria Municipal de Planejamento), cerca de 68,8% do total do orçamento destinado a transporte no município, é investido no transporte público (aproximadamente R\$ 1,5 bilhões) (SPTrans, 2016).

Para ser realizado o correto planejamento de um sistema de transporte, Daganzo (2010) explica que primeiramente deve-se considerar a maneira que os cidadãos se deslocam. Assim, o autor afirma que para um sistema de transporte ser eficiente, esta adaptação forçada de trajeto por parte dos usuários do sistema necessita ser minimizada, o que somente ocorre com o aumento da disponibilidade do sistema de transporte e, consequentemente, com custos extras. Portanto, o balanceamento entre ambos parâmetros (flexibilidade de rotas vs. custo agregado) é o que deve ser determinado durante a fase de planejamento e garantido durante a fase de execução/gerenciamento para que, assim, exista um sistema de transporte eficiente.

Para que seja possível garantir esse balanceamento eficiente entre flexibilidade de rotas e custo, Daganzo (2010) considera as duas definições, sendo a primeira (1) mobilidade que representa a distância que o usuário pode percorrer dentro de um determinado período através do transporte público; e (2) acessibilidade que representa a oportunidade (ou local) que o usuário pode alcançar dentro de um determinado período.

Material e Métodos

Para desenvolvimento do presente estudo, os autores se basearam na metodologia proposta por Marujo (2015), onde toda a análise é segmentada em duas: (1) análise estática (estudo da infraestrutura) e (2) análise dinâmica (estudo das velocidades dos ônibus), mas como foi dito, será realizado só a análise estática nesse estudo. Esta metodologia foi aplicada na cidade de São Paulo,

que possui aproximadamente 1.400 linhas de ônibus e 19.610 pontos de parada (Outubro 2016). Devido a quantidade massiva de dados que todas essas linhas coletam, decidiu-se selecionar uma região da cidade como foco do estudo.

A região escolhida para a análise foi a de uma Linha que passa pelo Terminal Barra Funda, devido a representatividade que a mesma possui para a cidade de São Paulo. Hoje, segundo a Prefeitura da Cidade de São Paulo, é o segundo terminal de transportes mais importante da cidade de São Paulo, foi escolhido por ser um grande terminal podendo nos dar resultados mais precisos em sua análise.

Para suportar este fluxo intenso de pessoas, atualmente, aproximadamente 140 linhas de ônibus em São Paulo passam ou saem do terminal Barra Funda. Esse número alto de Linhas é devido às viagens rodoviárias que fazem viagens externas da região metropolitana e também as internas.

Devido ao alto volume de dados coletados para cada linha, decidiu-se escolher apenas uma para a aplicar o método por completo. A linha escolhida foi a 938V-10 que conecta o ponto da rua Arroio do meio com terminal Barra Funda como destinos iniciais e finais da linha. A escolha baseou-se no alto volume de dados trazido para essa linha, tendo, portanto, potencial de resultar em análises de maior qualidade. A linha de estudo possui aproximadamente 15 km de comprimento, e tem média de distância entre seus pontos de aproximadamente 273 metros, de acordo com a Figura 1.

```
> summary(vec_dist)
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.   Max.
67.19 184.61 221.34 273.21 311.03 720.05
```

Figura 1 – Análise Estática das distâncias entre os pontos de ônibus

Considerando a linha acima descrita, para seus dois sentidos de trajetos, foram coletados dados de posição dos pontos, para todos os pontos utilizados na linha. Os mesmos foram coletados utilizando-se da metodologia de coleta descrita anteriormente.

Resultados e Discussão

Foram feitas análises mais detalhadas sobre os indicadores em utilização, para ser possível obter maior conhecimento sobre o modo atual de operação de tal linha e sobre a correlação entre as diferentes medidas de indicadores aqui utilizadas.

Seguindo a fórmula descrita na metodologia, foi calculado o indicador de mobilidade através dos dados de GTFS, que para esse sentido é de 15 km. Também foram coletados através do GTFS as latitudes e longitudes respectivas a todos os pontos de ônibus da linha. Através da fórmula de *Haversine* foi calculado que esta linha possui uma distância média de 273,21 m entre os seus pontos de parada (Figura 1). Os pontos de parada para o sentido Terminal Barra Funda estão representados na Figura 2.



Figura 2 – Desenho das Localizações Geográficas dos pontos da Linha 33581

Além disso, construiu-se um boxplot e um histograma dessas distâncias médias calculadas. Conforme indicado na Figura 2, observa-se que não há outliers das distâncias entre os pontos de parada do sentido Aclimação e que as distâncias entre os pontos de ônibus concentram-se principalmente entre 200m e 500m.

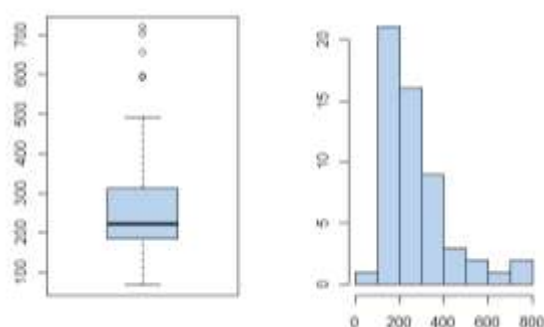


Figura 3 – Bloxpot e Histograma das distâncias da análise estática

O histograma da Figura 3 aponta que a distância média entre 50m até 100m são as mais frequentes entre os pontos de parada, seguida por 200m até 400m respectivamente.

O outlier que mais se afasta da média encontrada é de aproximadamente 720 m de distância entre os dois pontos de ônibus indicados na Tabela 1.

Tabela 1: Tabela representando os 5 outliers do problema

<i>Nome do ponto de ônibus</i>	<i>Distância (m)</i>
Av. Itaberaba, 1803	656,65
Felix Guilhem	597,11
R. Faustolo, 1861	720,05
R. Venâncio Ayres, 407	704,83
Av. Auro Soares De Moura Andrade	592,71

As distâncias entre os pontos de ônibus se concentram em um intervalo de 100 a 400 metros, conforme ilustrado no histograma da figura 3. Mesmo tendo valores concentrados nesse intervalo,

há também os outliers, como o ponto localizado na Rua Faustolo, onde do ponto antecessor, Felix Guilhem até o seguinte, o ônibus percorre por volta de 720 metros.

Ao plotarmos as localizações desses pontos outliers em cima dos pontos da amostra inteira podemos ver na figura 4 que os pontos que obtêm maior diferença de distância são os outliers.

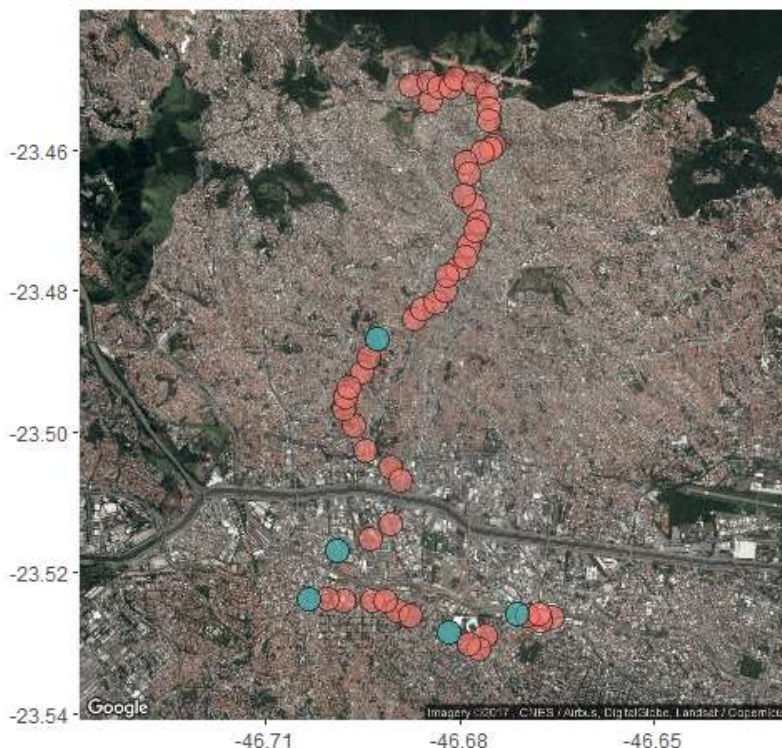


Figura 4 – Representação dos outliers pela cor verde

Conclusões

Considerando que esse estudo possui como objetivo propor um método de análise de sistemas de transporte público através de indicadores de desempenho que seja fundamentado na análise estatística da movimentação da frota de ônibus do transporte público de centro urbano através de dados de GPS (*Global Positioning System*) e que foi possível elaborar um método, testá-lo em dados reais de uma das linhas de ônibus da cidade de São Paulo e obter valores que condizem com a realidade da experiência dos usuários deste sistema, é possível inferir que o objetivo foi alcançado com êxito.

Apesar das limitações presentes, como de restrição de dados disponíveis e capacidade de processamento de dados, o método proposto no geral retornou valores próximos dos esperados, com a presença de poucos *outliers*, e, portanto, pode ser reproduzido e escalonado para serem realizadas análises similares para as diversas outras linhas de ônibus na cidade de São Paulo e também para sistemas de transporte público de outras cidades que possuam o mesmo tipo de dados disponíveis. Este estudo apresenta uma metodologia prática para calcular indicadores de desempenho de um sistema de transporte público. Para trabalhos futuros, recomenda-se a utilização de um sistema estruturado de indicadores para avaliar qualitativamente e quantitativamente o desempenho de tal sistema de transporte.

Assim, sugere-se determinar quais indicadores dos aqui propostos (ou outros adicionais que aqui não foram possíveis de serem calculados devido à restrição de acesso a outros tipos de dados) serão utilizados de acordo com a estratégia e objetivos gerais da agência de trânsito (passos 1 e 2). Após esta seleção, para uma avaliação quantitativa, poderão ser definidas as metas do passo 3 para cada um dos indicadores e, para tanto, podem ser utilizados valores reais apresentados por outras

idades que possuem melhores práticas ou *benchmark* estabelecidos assim como utilizar metas estabelecidas pelos administradores da agência de trânsito ou prefeitura da cidade em estudo. Deve-se então realizar a medição dos valores reais dos indicadores através do método aqui proposto e compará-los as metas pré-estabelecidas para, através da variação de ambos os valores, ser possível avaliar o desempenho real quantitativo do sistema.

Considerando os dados válidos para análise após as validações, foi feito o cálculo dos indicadores seguindo as fórmulas mencionadas anteriormente, e obteve-se os resultados expostos na Tabela 2. Nessa Tabela traz a representação de sentidos estudados ano anterior, que são os sentidos 1892 e 34660, comparando-os com o sentido escolhido para o estudo desse artigo.

Tabela 2 – Distância entre pontos

Indicador	Sentido 1892	Sentido 34660	Sentido 33581
Distância entre os pontos de ônibus	403,5m	378,1m	273,2 m

Pela análise podemos assumir que os pontos da cidade de São Paulo estão entre 200 metros a 400 metros no intervalo de distância entre eles, tendo assim uma semelhança nos histogramas representados de Linhas estudados pelo laboratório.

Referências Bibliográficas

Marujo, Lino Guimarães, et al. "UM MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO SERVIÇO DE ÔNIBUS BASEADO EM DADOS DE GPS."

Site Oficial de Turismo da Cidade de São Paulo. (2016). São Paulo. Fonte: Site Oficial de Turismo da Cidade de São Paulo: <http://www.cidadedesapaulo.com/sp/br/o-que-visitar/atrativos/pontos-turisticos/2905-avenida-paulista>

SPTrans. (2016). SPTrans disponível em Itinerário de Viagens: <http://www.sptrans.com.br/itinerarios/>

WEISZFLOG, W. Michaelis: moderno dicionário da língua portuguesa

Transportation Research Center Inc. East Liberty Ohio, (2007) <http://www.trcpg.com/wp-content/uploads/2016/09/ar2007-with-cover.pdf>

Sztrik, J. (2012) Basic Queueing Theory. Drebecen: University of Debrecen.

Pesquisa feita pela companhia TOMTOM (2015), "Três cidades do Brasil estão no top 10 de congestionamentos" – Estadão: <http://brasil.estadao.com.br/noticias/geral,tres-cidades-do-brasil-estao-no-top-10-de-congestionamentos,10000022561>

Definição de Transporte Coletivo Urbano, Rodrigo César Neiva Borges (2006) <http://bd.camara.leg.br/bd/handle/bdcamara/1720>

Vuchic, V. R. (2002). Urban public transportation systems. University of Pennsylvania, Philadelphia, PA, USA.

Vasconcellos, E. A. (2012) Mobilidade urbana e cidadania. SENAC, Rio de Janeiro, RJ.

Associação Nacional de Transporte Público (ANTP) (BRASIL). Relatório (2012) Sistema de Informações da Mobilidade Urbana da ANTP: <http://antp.org.br/5dotSystem/download/dcmDocument/2014/08/01/CB06D67E-03DD-400E-8B86-D64D78AFC553.pdf> > Acesso em março de 2015.

Big Data para análise de métricas de qualidade de transporte: metodologia e aplicação, Monteiro, Pons, & Speicys (2015): http://scipopulis.com/docs/RELAT%C3%93RIO_TECNICO_ANTP-SPTRANS-03-PRE_IMPRESS%C3%83O-04.pdf

On the Stability of Freeway Traffic, Carlos F. Daganzo (2010):
<http://www.its.berkeley.edu/sites/default/files/publications/UCB/2010/VWP/UCB-ITS-VWP-2010-9.pdf>

The Potential for Bus Rapid Transit to Reduce Transportation-Related CO2 Emissions, William Vincent (2003):
<https://nctr.usf.edu/jpt/pdf/JPT%209-3S%20Vincent.pdf>

Google. (2016). Google Transit APIs. (2016), disponível em General Transit Feed Specification (GTFS) Reference:
<https://developers.google.com/transit/gtfs/reference>