
ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA *BUS RAPID TRANSIT* EM GRANDES CENTROS URBANOS

Ruane da Cunha Gracio

Sergio Vicente Denser Pamboukian

Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM)

Resumo

Os grandes centros urbanos, por serem atrativos populacionais, acabam tendo que desenvolver alternativas viáveis para que os deslocamentos sejam feitos de maneira segura e eficiente. Enquanto existirem baixos investimentos nos meios de transporte coletivos, os congestionamentos formados por veículos individuais irão se tornar cada vez mais caóticos, gerando perdas financeiras, de tempo, aumento do *stress* e poluição do meio ambiente. A implantação do sistema coletivo *Bus Rapid Transit* (BRT) poderia ser uma alternativa para aliviar os meios de transporte já existentes em uma certa região, visando atrair uma parte dos usuários dos meios coletivos já saturados. Este trabalho realizou um estudo de caso utilizando o Visum, *software* de macrossimulação, para analisar os impactos causados pela implantação desse sistema na Avenida Brigadeiro Faria Lima em São Paulo. Por meio da simulação, foi possível ver que o BRT apresenta vantagens ante os trens e metrô da região, atraindo uma quantidade significativa de usuários. Como possui a capacidade de adaptar a quantidade de veículos com a demanda, é possível manter as condições de conforto e segurança aos usuários, mesmo em horários de pico, reduzindo as superlotações dos outros sistemas de transporte coletivo da região.

Palavras-chave: *Bus Rapid Transit*. *Software* de simulação. Macrossimulação.

1 INTRODUÇÃO

As grandes capitais abrigam as principais empresas e universidades ao redor do mundo, motivo pelo qual são consideradas os centros de oportunidades. Isso faz com que a sua atratividade populacional aumente a cada ano, trazendo consigo a necessidade de deslocamento, ou seja, um aumento no número de viagens realizadas diariamente.

Com esse adicional de pessoas nos grandes centros, é possível perceber a diferença entre eles com relação à importância que é depositada nas infraestruturas urbanas. Tóquio, Nova York, Paris e Moscou são as líderes no *ranking* mundial de melhores transportes públicos oferecidos, respectivamente (SOUSA, 2016). Isso foi possível, principalmente, por existir um estilo de mudança baseado em melhorar o meio de transporte coletivo e desfavorecer o individual.

Em Paris, por exemplo, as velocidades para os carros na região central são limitadas a 30 km/h (MALAN, 2015), e, em Nova York, diversas ruas centrais não permitem a passagem de automóveis. Em contrapartida, linhas metroviárias e de ônibus estão distribuídas pela cidade como um todo, com frequências e pontualidades garantidas, além de ter toda a infraestrutura adequada para que o acesso consiga ser realizado para todos os pedestres, fazendo com que o uso do veículo individual não seja vantajoso.

Já no Brasil, existe uma distinção social relacionada ao tipo de transporte utilizado. O coletivo é visto como meio de transporte da classe com renda mais baixa, enquanto o individual destina-se à classe com maior renda. Isso motivou o governo a tomar medidas facilitadoras para a aquisição do automóvel próprio, incentivando a migração modal do coletivo para o individual.

Em cidades como São Paulo, a discrepância entre a quantidade de automóveis e ônibus circulando nas vias é enorme, resultando numa baixa eficiência de ambos, pois, como a rede viária não foi adaptada para comportar esse acréscimo de volume, o funcionamento do meio individual acaba prejudicando a operação do coletivo, e vice-versa. Mesmo possuindo uma rede metroviária de 77,4 quilômetros de extensão e transportando cerca de 4,7 milhões de passageiros diariamente, o meio possui deficiências, como superlotações, não atendimento em toda a região da cidade, lentidões frequentes causadas por problemas operacionais, que acabam prejudicando a preferência modal (COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO, 2015).

A expressão mobilidade urbana é definida como a capacidade que um indivíduo tem de se deslocar. A escolha do meio é baseada em dois componentes: a *performance* do sistema de transporte, em que se consideram a infraestrutura, os horários de atendimento, as frequências, as rotas e os tempos de viagem, e as características do usuário, como a disponibilidade para utilizar o meio individual e a sua renda.

Baseado nisso, é nítida a necessidade de mudança no sistema de transporte em cidades com altos níveis de congestionamento, visando despertar o sentimento de confiabilidade no usuário em utilizar os meios coletivos, podendo assim extinguir seus estereótipos, atraindo todas as classes sociais.

O *Bus Rapid Transit* (BRT) poderia ser utilizado como possível opção de melhoria, já que se trata de um meio de transporte coletivo de alta capacidade, semelhante ao metrô, porém com gastos operacionais e de implantação menores.

No entanto, como o sistema de tráfego urbano é uma rede complexa e dependente, necessita de uma integração entre os diferentes meios de transporte, além de um estudo prévio para visualizar as mudanças que ocorreriam com a sua disponibilidade.

Com base nisso, esta pesquisa visa analisar a viabilidade da implantação do sistema BRT em grandes centros urbanos, servindo de apoio para os meios já existentes que se encontram em situações saturadas de serviço, contribuindo para a mobilidade local.

2 METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido por meio de pesquisas bibliográficas, pesquisas práticas e simulações em *software*.

A pesquisa bibliográfica foi fundamentada na realização de um estudo detalhado sobre o mecanismo do sistema BRT e suas características.

A parte prática contempla um estudo de caso na cidade de São Paulo, simulando a implantação do sistema BRT. Para isso, utilizaram-se dados de viagens, tráfego, velocidades e informações sobre os transportes coletivos, levantados em documentos da Companhia de Engenharia de Tráfego – CET (2015) e da Companhia do Metropolitan de São Paulo – Metrô (2007).

A partir disso, é feita a simulação no *software* Visum, fornecido aos autores pela empresa alemã PTV exclusivamente para o desenvolvimento desta pesquisa. A simulação permite verificar as mudanças ocorridas com relação às migrações modais e à escolha dos usuários, possibilitando a análise da viabilidade da opção para o local.

3 MOBILIDADE URBANA EM GRANDES CENTROS URBANOS

A circulação feita por transporte individual sempre foi vista como símbolo de poder e *status*. Na Europa pós-Segunda Guerra Mundial, a base das políticas públicas

e de mobilidade era o pensamento “tudo pelo automóvel, nada contra o automóvel” (SILVA, 2013). Possuir o próprio veículo forneceria liberdade de escolha de caminhos e independência. Entretanto, o disparo no crescimento populacional, seguido do aumento de automóveis nas vias, acarretou diversos problemas para a sociedade.

Essa desestruturação motivou a busca por alternativas capazes de favorecer a preferência pelo modo coletivo e pelos meios sustentáveis, como bicicletas ou a pé.

3.1 Mobilidade urbana na cidade de São Paulo

A cidade de São Paulo é o principal centro financeiro do país, abrigando a sede da Bolsa de Valores, Mercadorias e Futuros, além de grandes bancos e principais grupos empresariais nacionais e estrangeiros (SÃO PAULO, 2018). Isso gera uma grande atração populacional.

A existência de uma cultura que relaciona o tipo de transporte com a classe social faz com que o governo deixe de investir em melhorias no transporte público para criar facilidades no processo de aquisição dos veículos individuais, gerando um aumento excessivo da frota de automóveis nas vias com apenas um passageiro em média.

Além disso, existe uma descentralização na capital, onde o uso do solo está mal distribuído. A região central da cidade contempla os escritórios e as empresas, tornando o seu valor habitacional maior. Isso faz com que a classe trabalhadora mais baixa seja obrigada a morar em locais cada vez mais distantes, em regiões periféricas, onde o custo é menor. Essa distribuição gera viagens extremamente longas que muitas vezes não foram planejadas para serem feitas diretamente, fazendo com que o usuário, além de gastar muito tempo, tenha que fazer diversas trocas de meios para chegar ao seu destino.

Uma pesquisa feita pela Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos – NTU (2016) revelou que houve uma queda de demanda dos meios coletivos de 9% entre 2014 e 2015, maior do que a média já existente anualmente de 2%. Em centros urbanos mais desenvolvidos, a demanda aumenta no sentido oposto, ou seja, a cada ano os usuários passam a preferir o transporte público ao individual. Uma realidade marcada por um aumento cada vez maior do número de veículos individuais nas vias não indica um processo de desenvolvimento de uma capital em termos de mobilidade, e sim de uma crise de circulação causada pela precariedade e pelos baixos investimentos em transportes coletivos. Os resultados demonstram uma necessidade de mudança e de busca por alternativas para melhorar a mobilidade urbana.

O surgimento do conceito de cidades inteligentes é uma alternativa para favorecer os meios públicos. A cidade passa a ser inteiramente monitorada por um centro de gerenciamento e recebe alterações necessárias de acordo com a demanda. Por exemplo, em corredores exclusivos, em horários de pico, existe uma necessidade de aumen-

tar a oferta de veículos em circulação. Para favorecer a circulação dessa quantidade maior que irá circular pelas faixas, e não aumentar o congestionamento, os tempos de semáforos podem ser modificados pelo sistema, dando preferência à sua passagem e dificultando a dos veículos individuais (ENGEBRAS, 2017).

Isso é uma maneira de tornar o meio mais rápido e permitir um aumento da quantidade de veículos, de modo que se reduza a superlotação existente, mantendo o conforto e a confiabilidade do usuário.

A combinação desse sistema com meio de transporte coletivo já existe no sistema BRT, mas ainda não é utilizado na capital. Entretanto, poderia ser visto como uma opção de inovação e fornecimento de uma atratividade aos usuários do meio individual, buscando a sua transferência modal.

3.2 Sistema BRT

Desenvolvido na cidade de Curitiba em 1974, o BRT é um sistema inovador que oferece uma capacidade elevada de transporte a um baixo custo em relação aos outros meios de transporte existentes. A Administração Federal de Trânsito dos Estados Unidos (Federal Transit Administration – FTA) define assim o BRT: “um meio de transporte rápido, que combina a qualidade do tráfego sobre trilhos com a flexibilidade dos ônibus” (LEVINSON et al., 2003).

O BRT é formado pela combinação de veículos, estações, serviços e corredores, que, ao serem integrados com o sistema inteligente de transporte (*Intelligent Transportation System – ITS*), torna-se um meio de transporte coletivo mais eficiente ante os demais (LEVINSON et al., 2003).

A implantação do sistema BRT traz diversas vantagens não só para o meio ambiente, mas também para os seus usuários e envolvidos.

Como circula com o uso de energias limpas, ocorre uma redução da emissão de gases poluentes, o que contribui para a preservação do meio ambiente e melhora da qualidade do ar.

Com relação aos usuários, há uma redução no tempo de viagem, por vários motivos:

- a passagem é cobrada na entrada da estação, descartando as perdas com filas no interior do veículo, como ocorre nos ônibus convencionais;
- o acesso aos veículos é feito em nível com a plataforma da estação, ou seja, as perdas de tempo causadas pela entrada e saída e pela existência de escadas são nulas;
- a frequência dos veículos é modificada de acordo com a demanda e é controlada pelo ITS, de modo que não exista uma aglomeração de usuários nas plataformas ou no interior dos veículos, mantendo o conforto e a segurança;

- as vias em que circulam são fechadas, evitando a ocorrência de invasões indevidas por outros meios de transporte, assim como ocorre nas faixas de ônibus convencionais, que dividem espaço com táxis, veículos individuais ou motos, que as utilizam para sair dos congestionamentos, fazendo com que a sua velocidade prevista seja atendida, aumentando a confiabilidade.

Como o tempo influencia em grande parte no momento de realizar uma escolha modal, deve ser o principal fator a ser levado em conta ao se implantar um novo sistema de transporte coletivo.

Além disso, o custo de sua implantação e operação é relativamente baixo. Quando se compara o sistema com a implantação do metrô, a diferença no custo é grande, o que pode representar a cobrança de tarifas mais baixas do usuário (VOLVO, 2014).

4 ESTUDO DE CASO

A cidade de São Paulo foi escolhida neste trabalho como estudo de caso para analisar os efeitos causados pela implantação do sistema BRT. Isso é possível com o *software* de macrossimulação em Engenharia de Tráfego, Visum.

Como as regiões do Itaim Bibi, Vila Olímpia e suas proximidades passaram a ser principalmente comerciais, a quantidade de viagens geradas vem aumentando significativamente. Com a implantação da linha 4-Amarela do metrô pela empresa privada Via Quatro, a estação Faria Lima, localizada no cruzamento entre a avenida Brigadeiro Faria Lima e a rua Teodoro Sampaio, recebe uma movimentação grande de usuários, principalmente dos que trabalham na região.

Entretanto, a estação não está próxima da região da Vila Olímpia, a qual também gera uma grande atratividade de pessoas por motivos de trabalho, principalmente. Para chegar a ela, as transferências do metrô para os ônibus são necessárias.

No período da manhã, ocorre uma maior demanda no ponto de ônibus localizado na saída da estação, gerada principalmente pelos usuários vindos do metrô, com destino aos escritórios distribuídos na região. Mesmo com uma variedade de linhas de ônibus percorrendo partes da avenida Brigadeiro Faria Lima, e com a maioria delas passando pela estação do metrô, as que trafegam ao longo de sua extensão como um todo são poucas. Isso acarreta problemas já no ponto de embarque, como a superlotação dos veículos, pois a oferta das linhas e a frequência dos ônibus não são suficientes para atender a toda a demanda existente, provocando uma demora muito acima das normais dos demais pontos, já que surge uma fila para realizar a cobrança e passagem pela catraca. Além disso, foi observado que os próprios usuários, por falta de

opção, acabam segurando as portas dos ônibus abertas, impedindo que estes prossigam a viagem.

No trajeto, mesmo com a existência de uma faixa exclusiva de cada lado da avenida, a presença de outros veículos, como táxis ou automóveis que necessitam acessar as ruas laterais ou os estacionamentos, compromete a velocidade de fluxo livre dos ônibus.

Esses fatores geram atrasos no percurso, prejudicando o sentimento de confiabilidade no meio, além do desconforto e da falta de segurança de estar transitando em um veículo com um número excessivo de usuários.

Por conta disso, a avenida Brigadeiro Faria Lima foi a escolhida como alternativa para estudar a implantação do sistema BRT na cidade de São Paulo, substituindo as linhas de ônibus que ali trafegam por um meio mais confiável e com uma frequência maior para levar os usuários da estação do metrô Faria Lima até o bairro Vila Olímpia.

A simulação no *software* foi feita em duas etapas: a primeira reproduziu a situação atual do local e a segunda incluiu a implantação do sistema BRT nesse cenário, permitindo assim que os impactos na região fossem analisados.

4.1 Simulação da situação atual

O *software* de simulação funciona por meio de uma transferência-base de informações entre seus elementos, como pode ser visto na Figura 1.



Figura 1 Sequência de transferência de dados.

Fonte: Elaborada pelos autores.

As matrizes origem-destino (OD) são compostas por dados sobre as viagens geradas (origem) e atraídas (destino) pelas zonas da região em estudo. As zonas são regiões delimitadas de uma cidade, podendo ser um bairro ou uma área qualquer definida. Os *links* são linhas que formam a rede viária e são classificados em viário, linhas de metrô, trem, faixas de ônibus ou calçadas. O tipo de *link* é determinado pelos *links types*, os quais definem todos os parâmetros aplicados em cada *link* específico, como as velocidades e os sistemas de transporte que têm permissão para circular, como automóveis, ônibus, entre outros.

Os conectores também são representados graficamente por linhas, porém possuem a função de alocar a matriz OD na rede viária, ou seja, são responsáveis por distribuir as viagens realizadas entre as zonas, carregando os *links*.

Antes de iniciar a representação gráfica do cenário, é necessário definir três parâmetros básicos: *Transport Systems* (TSys), *Modes* e *Demand Segments* (DSeg).

Os TSys são os sistemas de transporte existentes na rede, tais como automóvel, ônibus, pedestre, bicicleta, entre outros.

Esses sistemas são agrupados em modos de transporte ou *Modes*, ou seja, como a movimentação será feita na rede. Pode ser individual, coletivo ou a pé.

Os DSegs são os segmentos de demanda, ou seja, posicionam os diferentes sistemas de transporte dentro dos seus respectivos modos.

Para o modelo de São Paulo, foram definidos os parâmetros de estudo ilustrados no Quadro 1.

QUADRO 1

Parâmetros iniciais dos usuários.

| DSeg | Nome | Mode | TSys |
|--------|-------------------------|------------|-------------------------------|
| 1 COL | Passageiros de coletivo | Coletivo | AcessoPe, Trem, Ônibus, Metrô |
| 2 AUTO | Passageiros de auto | Individual | Automóvel |

Fonte: Elaborado pelos autores.

Quando se analisa o Quadro 1, verifica-se que as viagens serão feitas por modos coletivos e individuais, e os usuários poderão circular de trem, metrô e ônibus se forem utilizar o primeiro modo ou de automóvel se estiverem no segundo modo.

O TSys “AcessoPe” é englobado no modo coletivo, pois é o acesso a pé ao transporte coletivo. Os acessos podem ser realizados por meio de ônibus, carros ou bicicletas, porém, para esse modelo, adotou-se somente o do pedestre.

A classificação dos *links* também deve ser predeterminada para que, durante a criação do modelo, os dados necessários já sejam associados. Foram definidos os seguintes *link types*:

- Pedestre: onde só é permitida a passagem do TSys “AcessoPe”, com velocidade de 4 km/h.
- Trem: onde só é permitido o tráfego de trens, com velocidade admitida em 15 km/h.
- Metrô: onde só é permitido o tráfego dos metrôs, com velocidade de 30 km/h.
- Viário: onde é permitida a passagem de automóveis. A velocidade estabelecida é de 20 km/h.
- Expressa: onde é permitido o acesso de automóveis individuais com velocidade de 50 km/h.

As velocidades definidas visam representar as médias aproximadas, e não as máximas permitidas na via, pois, em uma situação real, sabe-se que a velocidade máxima não é a mais frequente.

É possível acessar o Google Maps dentro do Visum, o qual serve como auxílio para posicionar as vias nos locais corretos. Com esse conjunto de elementos-base interligados corretamente, pode-se criar o cenário da rede viária.

Como os dados de viagens são baseados nas pesquisas desenvolvidas pela CET e pelo Metrô, reproduziu-se o mesmo padrão de zonas para permitir uma utilização correta das informações posteriormente. Por conta disso, toda a região metropolitana de São Paulo está dividida em 460 zonas, e somente a capital é composta por 320 zonas. É importante ressaltar que algumas zonas estão com tamanhos relativamente grandes e que, para uma maior precisão, seria necessário realizar uma nova divisão delas em zonas menores. Isso implicaria uma mudança dos dados matriciais utilizados, motivo pelo qual não foram alteradas.

Na Figura 2, é possível ver as zonas, representadas pelos seus respectivos números. A região metropolitana de São Paulo se apresenta na cor azul, enquanto a capital é indicada na cor verde.

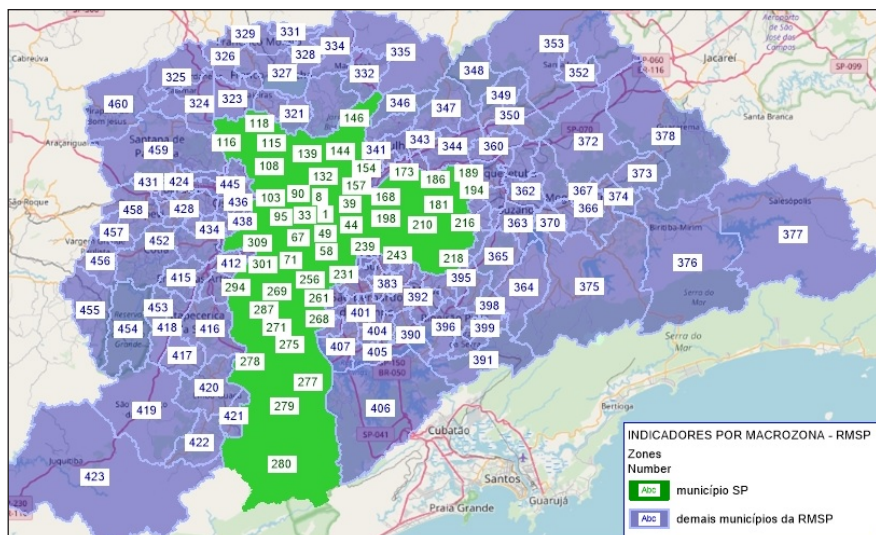


Figura 2 Zonas da região metropolitana de São Paulo.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Definidas as zonas, inicia-se a representação das principais vias da cidade, formando a rede viária. Para as ruas e avenidas, utilizou-se o *link type* viário, e, para as Marginais e a Avenida 23 de Maio, adotou-se a expressa.

Todas as zonas devem estar ligadas à rede viária por meio de um conector, no mínimo, permitindo a alocação das pessoas a pé e de automóvel nas vias. Quanto maior

for o número de conectores, mais alternativas de caminhos irão existir, melhorando a distribuição de viagens na rede.

A Figura 3 mostra uma parte da cidade com a rede viária. Os *links* de cor verde são os viários; os *links* de cor rosa, as vias expressas; e os *links* de cor amarela, os de pedestre. Já os conectores estão representados pelas linhas pretas, ligando cada uma das zonas na rede, através do *link* mais próximo. No canto superior direito da Figura 3, é apresentada uma zona ampliada para melhor entendimento.

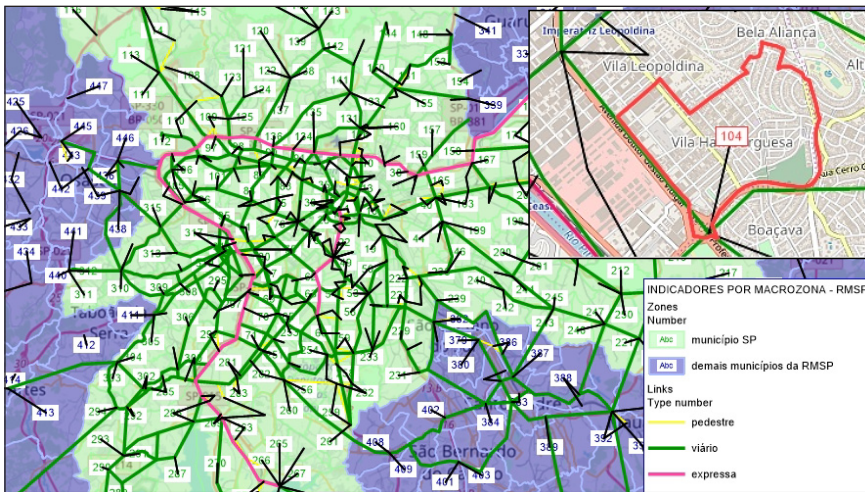


Figura 3 Links do meio individual e conectores.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Além dos *links* viários, foram desenhados os *links* de transporte coletivos, representando os trilhos dos trens e dos metrô que circulam em São Paulo. Neles foram associados os *Stop Points*, elementos gráficos que simbolizam as estações, que são os pontos de reconhecimento da entrada e saída dos usuários. Como ocorre com a rede viária, os *Stop Points* também devem receber conectores vindos das zonas, além de *links* de acesso ao pedestre, pois são os que transformam os acessos a pé em viagens de coletivo. Sem isso, o usuário não acessa a rede de transporte coletivo.

Na Figura 4, aparecem os trilhos dos metrô e trens, representados pelos *links* azuis e pelos tracejados vermelhos, respectivamente. As estações ou *Stop Points* podem ser vistos na Figura 5, representados pelos círculos amarelos.

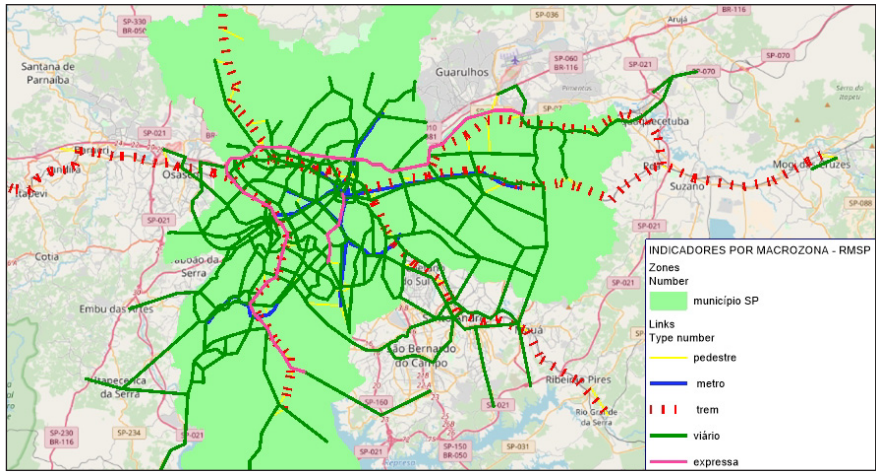


Figura 4 Links dos meios individuais e coletivos.

Fonte: Elaborada pelos autores.

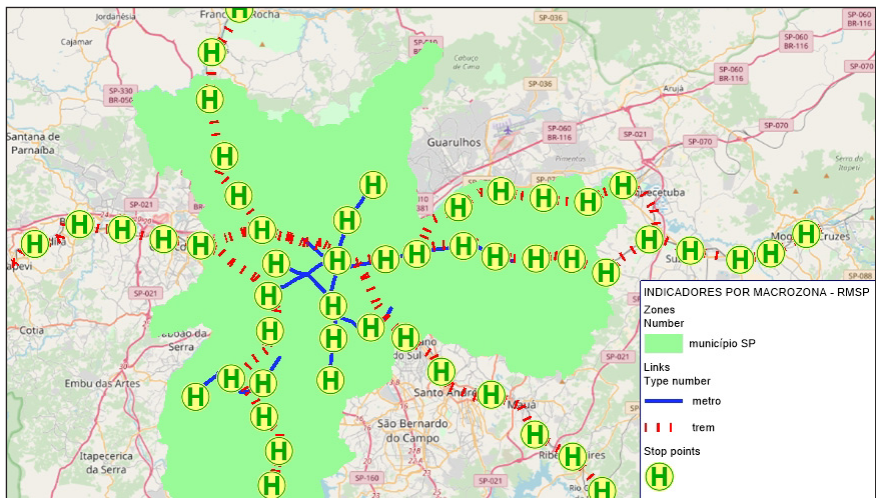


Figura 5 Estações dos metrôs e trens.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Diferentemente do meio individual, que representa as viagens sobre os *links*, o meio coletivo só as identifica por meio de uma linha de trem ou metrô associada aos trilhos, ou seja, um caminho predefinido para a circulação desses sistemas de transporte. Por isso, foram criadas as 11 linhas: 1-Azul, 2-Vermelha, 3-Verde, 4-Amarela e

5-Lilás do Metrô, e 07-Rubi, 08-Diamante, 09-Esmeralda, 10-Turquesa, 11-Coral e 12-Safira dos trens da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM).

Para cada linha, foram definidos dois sentidos, o de ida e o de volta. Neles foram inseridos os intervalos entre a passagem dos veículos pelas estações, chamados de *headway*. Foram estabelecidos 15 minutos de intervalo entre os trens e 5 minutos entre os metrô. Além disso, adotou-se uma circulação ideal, da zero hora às 23h59, denominada *timetable* no Visum.

O *software* possui um método de cálculo que permite definir como a simulação deverá ocorrer. Na Figura 6, é possível ver a sequência feita para este estudo, dividida em três processos de cálculo. O primeiro processo, chamado *Initial assignment*, irá simular a situação inicial do modelo, limpando todas as informações resultantes de simulações anteriores. Esse item garante que, cada vez que o sistema for rodado, não ocorrerão interferências por conta de resultados anteriores.

Em seguida, executam-se os processos *Private (PrT) assignment* e *Public (PuT) assignment*, os quais irão alocar na rede as viagens lidas nas matrizes dos meios individuais e coletivos, respectivamente.

| Count | Execution | Active | Procedure | Reference object(s) | Variant/file |
|-------|-----------|-------------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------------|
| 1 | ▶ | <input checked="" type="checkbox"/> | Init assignment | | All |
| 2 | | <input checked="" type="checkbox"/> | PrT assignment | 2AUTO passageiros de auto | Stochastic assignment |
| 3 | | <input checked="" type="checkbox"/> | PuT assignment | 1COL passageiros de coletivo | Headway-based |

Figura 6 Sequência de cálculos para a simulação.

Fonte: Elaborada pelos autores.

As matrizes utilizadas foram geradas a partir da pesquisa origem-destino (OD) do Metrô (COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO, 2007) e são referentes às viagens de 2007, pois, como ela é realizada de dez em dez anos, essa é a última disponível. Apesar de não ser do ano atual, notou-se uma mudança de comportamento nos deslocamentos quando se compararam as matrizes de 1997 e 2007, já existindo uma atratividade pela região da avenida Brigadeiro Faria Lima. Por isso, apesar de não apresentar os valores de 2017, foi possível utilizá-las como referência para este estudo.

Ao serem inseridas no Visum e associadas aos seus respectivos meios de transporte, a alocação das viagens na rede é feita pela execução da sequência de rodagens citadas anteriormente.

Como resposta para cada simulação realizada, o *software* gera linhas mais grossas, chamadas de barras, desenhadas sobre os *links* da rede, representando o carregamento, ou seja, o volume de usuários que trafega por ali. Como a sua espessura é proporcional ao volume, quanto mais usuários estiverem utilizando um determinado *link*, maior estará representada a barra sobre ele. Isso permite a visualização dos carregamentos de

cada sistema de transporte, tanto separadamente quanto aglomerados nos meios individual e coletivo.

A Pesquisa de Monitoração da Mobilidade realizada pela CET todos os anos mostra rotas definidas pela cidade de São Paulo, com os seus respectivos volumes de veículos separados por tipo de transporte, para os horários de pico da manhã e da tarde (COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO, 2015). Ela foi utilizada como referência para verificar o nível de calibração do modelo. Quando as quantidades de viagens simuladas em cada *link* do cenário estiverem próximas das informadas pela pesquisa, o modelo estará representando a situação real, ou seja, estará calibrado.

Atingir a calibração do modelo é difícil e demanda informações muito mais detalhadas e específicas de cada *link* da rede, como a determinação das suas curvas de velocidade e suas capacidades, necessitando de amostras retiradas das medições em campo por um certo tempo. Como esta pesquisa visa mostrar a situação dos sistemas de transporte de maneira geral, não seria viável coletar todas essas informações, e, por isso, o estudo com o meio individual não foi realizado.

Analisando o meio coletivo como um todo, na Figura 7, é possível ver o resultado da simulação, apresentado pelas barras laranja sobre os *links* dos metrô e trens. Elas representam a distribuição das viagens de todos os sistemas de transporte coletivos, que foram realizadas no período do pico da manhã.

Como as barras mais grossas representam os *links* com as maiores demandas, identificou-se com os resultados que as linhas de trem e a linha 2-Vermelha do metrô, a qual cruza a cidade na direção leste-oeste, são as que possuem maior volume de usuários. Essa situação está coerente com a realidade.

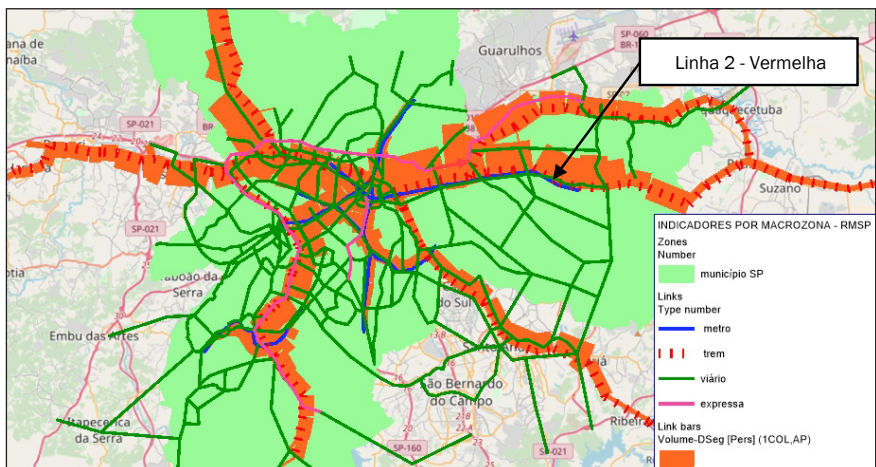


Figura 7 Alocação das viagens do modo coletivo.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Quando se verificam as demandas dos trens e metrô separadamente, apresentadas na Figura 8 pelas barras azul-claras e amarelas, respectivamente, é possível ver que todas as linhas estão sendo carregadas, ou seja, os usuários acessaram o sistema coletivo com a simulação.

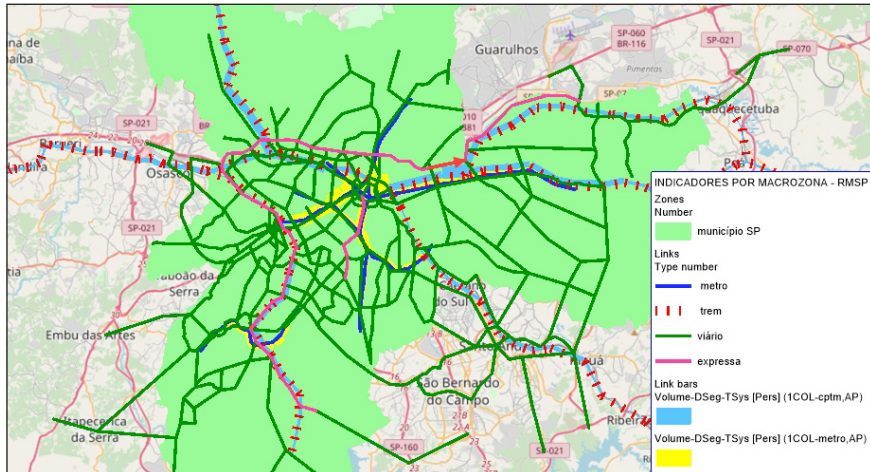


Figura 8 Carregamento das linhas dos trens e metrô.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Concentrando-se na região da avenida Brigadeiro Faria Lima, na Figura 9, é possível ver, pelas espessuras das barras laranja, que existe uma demanda grande pelo meio coletivo, tanto na linha 09-Esmeralda do trem quanto na linha 4-Amarela do metrô, principais acessos à região.

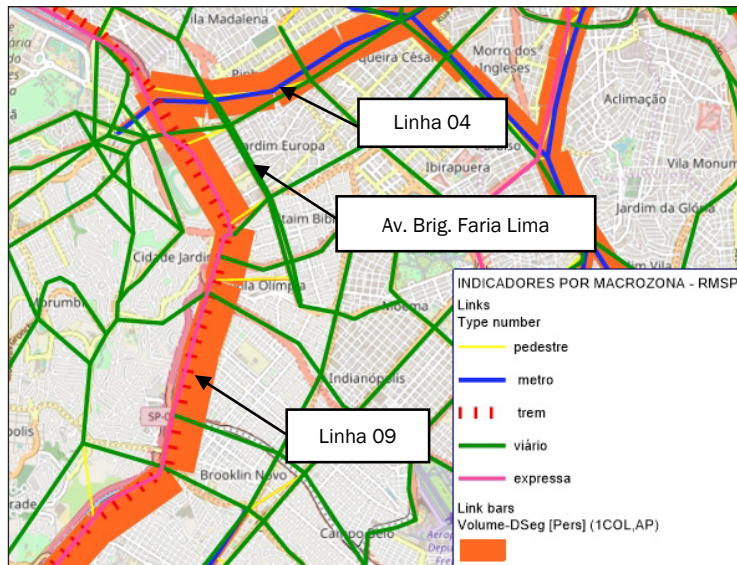


Figura 9 Alocação das viagens do modo coletivo na região da avenida Brigadeiro Faria Lima.

Fonte: Elaborada pelos autores.

4.2 Simulação da implantação do sistema BRT

A avenida Brigadeiro Faria Lima possui diversas linhas de ônibus circulando. Para representá-las no modelo, é necessário inserir todas as suas grades de horários de paradas separadamente. Com a implantação do sistema BRT e a retirada dos ônibus convencionais da avenida, considera-se que seus atuais usuários estariam migrando para o novo meio disponível, e, por isso, não foi necessário representá-las no cenário.

Foram estabelecidas algumas mudanças na disposição dos elementos viários existentes do local. Serão duas faixas destinadas ao BRT, por sentido, evitando que ocorra uma paralização do fluxo de todo o sistema por conta de imprevistos, como algum veículo parado na pista. Como a entrada de outros veículos não é permitida, devem ser separadas das faixas de automóveis por uma barreira de concreto e telas, assegurando também contra a passagem de pessoas. Como as estações devem ser instaladas de modo a permitir que o usuário acesse os dois sentidos, foi definido que o sistema estará implantado nas duas faixas ao lado do canteiro central, com as estações nele.

Para isso, admitiu-se que todos os acessos de retorno existentes na própria avenida serão fechados e passarão a ser realizados pelas ruas que a cruzam.

Foram definidas quatro estações, três localizadas perto dos principais cruzamentos da região, nas avenidas Rebouças, Nove de Julho e Presidente Juscelino Kubitschek, e uma que se encontra perto da estação Faria Lima do metrô.

Nos cruzamentos da avenida, é possível manter os tempos dos faróis de modo a beneficiar o BRT por meio do sistema ITS, reduzindo as perdas de velocidade e tempo. Como a via é exclusiva, as velocidades conseguem se manter mais elevadas do que a dos ônibus convencionais. Assim, adotaram-se 30 km/h para a simulação.

Para que a linha do BRT seja carregada pelos usuários, foi necessário desenvolver os mesmos procedimentos feitos nos outros meios de transporte coletivos: criou-se uma linha de circulação para cada sentido e adotaram-se 4 minutos como intervalo entre os veículos. Inseriram-se conectores das zonas para as suas estações, os quais as interligaram com as estações dos trens e do metrô localizadas na região, por meio dos *links* de acesso ao pedestre, fornecendo para os usuários a possibilidade de transferência entre os meios.

Na Figura 10, o corredor do BRT aparece representado pelos *links* tracejados em azul-escuro, com as suas quatro estações e os seus acessos.

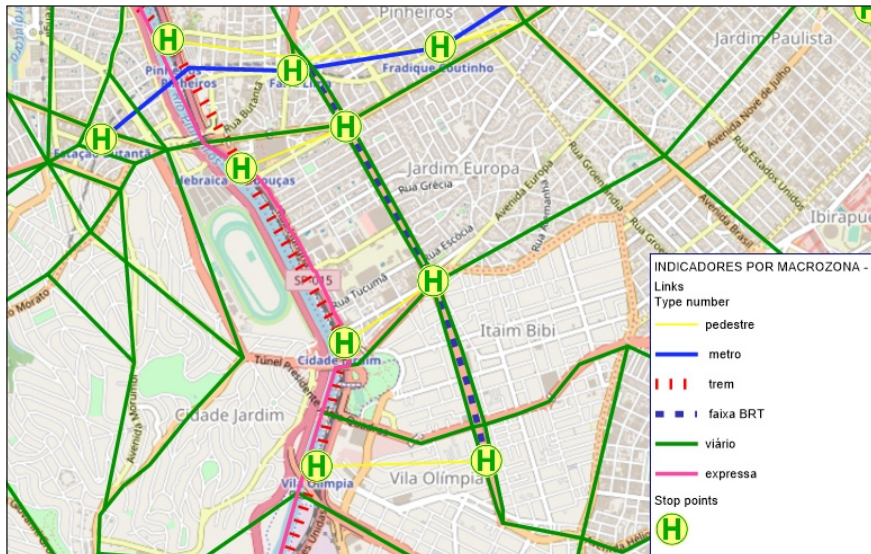


Figura 10 Cenário com o corredor do BRT.

Fonte: Elaborada pelos autores.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 11 apresenta o resultado da simulação após a implantação do BRT na avenida Brigadeiro Faria Lima. É possível ver os carregamentos do meio coletivo como

um todo, representado pelas barras laranja, e do BRT exclusivamente, representado pela barra rosa. Isso mostra que, além de existir a demanda pelo meio coletivo na avenida Brigadeiro Faria Lima, os usuários apresentaram uma atração pelo novo sistema implantado.

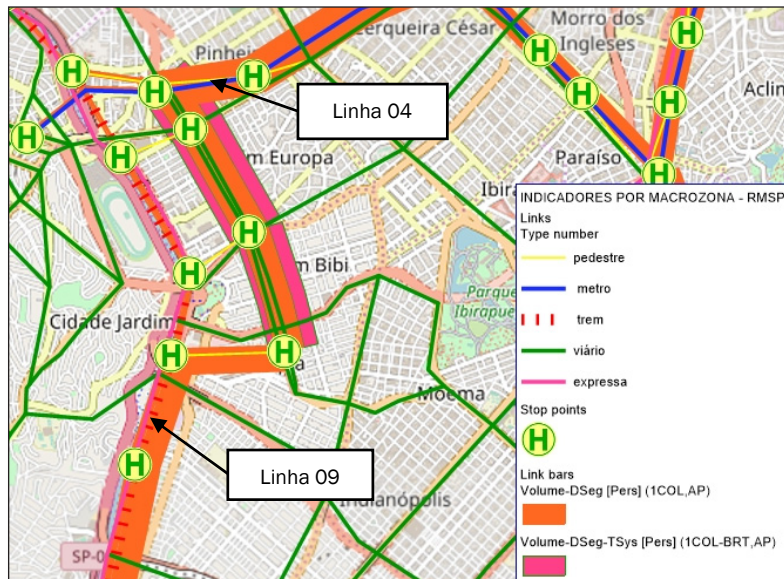


Figura 11 Carregamentos do meio coletivo e da linha do BRT.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Analisando separadamente a espessura das barras laranja, é possível identificar que os usuários da linha 09-Esmeralda do trem acabaram migrando para o BRT na primeira alternativa de transferência modal feita pelo *link* de acesso ao pedestre. A linha 4-Amarela do metrô também mostra uma preferência pelo BRT em relação à transferência para os trens da linha 09-Esmeralda.

A tabela ilustrada na Figura 12 foi gerada dentro do *software* para comparar a quantidade de usuários nas linhas dos meios coletivos sem e com a implantação do BRT.

As três últimas colunas mostram o volume de usuários por sentido com o BRT, sem o BRT e a diferença entre elas, respectivamente.

Os valores negativos indicam que ocorreu uma transferência na escolha modal. Na linha 08-Diamante, um dos sentidos mostrou que em torno de mil usuários deixaram o trem para utilizar o BRT. Isso foi notado também na linha 09-Esmeralda, em que um dos sentidos apresentou migração modal de aproximadamente 1.200 usuários; e o outro, de cinco mil.

| Count | LineName | Name | DirectionCode | Length | LinkPlanTime | PassKm Trav(AP) | PTripsUnlinked(AP) | PTripsUnlinked(AP) | VolComBRT | VolSemBRT | DiferençaVol |
|-------|-------------------|--------------------|---------------|----------|--------------|-----------------|--------------------|--------------------|-----------|-----------|--------------|
| 1 | BRT | BRT | > | 3.260km | 3min 53s | 0.000km | 0 | 0 | 16872.73 | 0.00 | 16872.73 |
| 2 | BRT | BRT | < | 3.260km | 3min 53s | 0.000km | 0 | 0 | 11130.63 | 0.00 | 11130.63 |
| 3 | CPTM 07 | CPTM 07 | > | 39.503km | 46min 4s | 142364.509km | 12744 | 12744 | 12926.38 | 12744.43 | 181.95 |
| 4 | CPTM 07 | CPTM 07 | < | 39.503km | 46min 4s | 765174.458km | 46770 | 46770 | 46870.11 | 46770.20 | 99.91 |
| 5 | CPTM 08 | CPTM 08 | > | 34.430km | 41min 8s | 449866.553km | 37770 | 37770 | 36767.88 | 37769.60 | -1001.72 |
| 6 | CPTM 08 | CPTM 08 | < | 34.430km | 39min 6s | 191762.430km | 23643 | 23643 | 24637.76 | 23642.54 | 996.22 |
| 7 | CPTM 09 | CPTM 09 | > | 31.374km | 4min | 386646.028km | 36956 | 36956 | 35737.00 | 36956.04 | -1219.04 |
| 8 | CPTM 09 | CPTM 09 | < | 31.374km | 37min 38s | 157488.919km | 20181 | 20181 | 15125.35 | 20180.87 | -5055.52 |
| 9 | CPTM 10 | CPTM 10 | > | 35.017km | 41min 55s | 80472.394km | 11647 | 11647 | 11647.61 | 11647.13 | 0.48 |
| 10 | CPTM 10 | CPTM 10 | < | 39.783km | 47min 38s | 364530.371km | 35075 | 35075 | 35074.84 | 35075.31 | -0.47 |
| 11 | CPTM 11 | CPTM 11 | > | 47.028km | 54min 14s | 109416.756km | 12181 | 12181 | 12181.18 | 12181.21 | -0.02 |
| 12 | CPTM 11 | CPTM 11 | < | 54.449km | 1h 3min 8s | 767905.696km | 47337 | 47337 | 47336.88 | 47337.00 | -0.12 |
| 13 | CPTM 12 | CPTM 12 | > | 37.854km | 43min 13s | 146868.123km | 14377 | 14377 | 14376.78 | 14376.78 | 0.00 |
| 14 | CPTM 12 | CPTM 12 | < | 35.968km | 40min 58s | 559461.571km | 34698 | 34698 | 34697.89 | 34697.89 | 0.00 |
| 15 | linha 1-azul | LINHA 1 - AZUL | > | 20.297km | 24min 28s | 140589.993km | 35816 | 35816 | 35818.03 | 35816.46 | 1.58 |
| 16 | linha 1-azul | LINHA 1 - AZUL | < | 20.297km | 24min 28s | 128297.387km | 28454 | 28454 | 28452.30 | 28454.15 | -1.85 |
| 17 | linha 2-vermelha | LINHA 2 - VERMELHA | > | 21.440km | 25min 44s | 104263.473km | 29378 | 29378 | 29574.51 | 29378.11 | 196.40 |
| 18 | linha 2-vermelha | LINHA 2 - VERMELHA | < | 21.440km | 25min 44s | 434532.433km | 69171 | 69171 | 69461.91 | 69171.04 | 290.87 |
| 19 | linha 3-verde | LINHA 3 - VERDE | > | 14.277km | 17min 37s | 114773.490km | 21732 | 21732 | 21731.83 | 21731.69 | 0.14 |
| 20 | linha 3-verde | LINHA 3 - VERDE | < | 14.277km | 17min 37s | 41356.496km | 16208 | 16208 | 16208.09 | 16207.61 | 0.48 |
| 21 | LINHA 4 - AMARELA | LINHA 4 - AMARELA | > | 9.108km | 10min 56s | 154646.818km | 36590 | 36590 | 36593.32 | 36590.49 | 862.83 |
| 22 | LINHA 4 - AMARELA | LINHA 4 - AMARELA | < | 9.108km | 10min 56s | 102050.008km | 22602 | 22602 | 23598.05 | 22601.83 | 996.22 |
| 23 | LINHA 5 - LILAS | LINHA 5 - LILAS | > | 11.940km | 14min 19s | 18033.940km | 5042 | 5042 | 5041.98 | 5042.09 | -0.11 |
| 24 | LINHA 5 - LILAS | LINHA 5 - LILAS | < | 11.940km | 14min 19s | 105614.207km | 24176 | 24176 | 24175.69 | 24175.79 | -0.11 |

Figura 12 Comparação dos volumes de usuários com e sem o BRT.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Além disso, é possível reconhecer as regiões de interferência do corredor BRT, ou seja, os links da rede por que os usuários passaram para chegar ao corredor e os que foram utilizados como caminho após a passagem pelo BRT. Essas regiões são representadas por um método de cálculo do software chamado *Flow Bundle*.

Nas figuras 13(a) e 13(b), os locais marcados com as linhas na cor preta comprovam, para cada sentido, tanto a representação gráfica da simulação no cenário quanto os dados apresentados na Figura 12, pois as linhas com maior espessura estão vindo das linhas 08-Diamante e 09-Esmeralda do trem, e da linha 4-Amarela do metrô, que, apesar de não resultar em valores negativos na comparação, possui usuários que se deslocaram para acessar o BRT ou que saíram dele para embarcar no metrô.

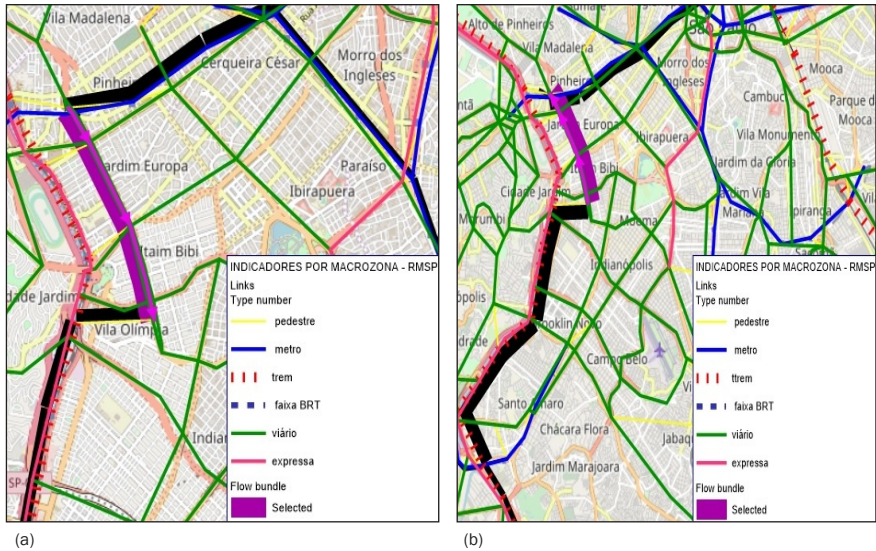


Figura 13 (a) *Flow Bundle* rota norte-sul e (b) *Flow Bundle* rota sul-norte.

Fonte: Elaborada pelos autores.

6 CONCLUSÃO

A busca por opções que agregam valor para o meio de transporte coletivo é necessária para os grandes centros urbanos, para que o trânsito não fique cada vez mais caótico, a poluição do ar não se agrave e as perdas tanto financeiras quanto de saúde não ocorram por tempo gasto nos congestionamentos.

Assim, a oferta do sistema BRT foi escolhida como alternativa para um meio de transporte coletivo que conquiste a confiança dos usuários, visando à segurança e eficiência, como o cumprimento correto dos horários de parada, a frequência dos veículos, as velocidades mais altas graças às suas faixas exclusivas e separadas das faixas comuns, o acesso às estações mediante pagamento, eliminando a existência de filas no interior dos veículos e com um custo de implantação baixo.

A avenida Brigadeiro Faria Lima, em São Paulo, foi a escolhida como local para o estudo da aplicação do BRT como apoio para os trens e metrô da região, feito por meio de macrossimulação no *software* Visum.

Mesmo com dificuldades apresentadas na calibração do modelo para o meio individual, a simulação mostrou que a implantação do sistema BRT na avenida Brigadeiro

Faria Lima consegue atrair usuários dos meios coletivos ao redor, aliviando-os e tornando-se uma opção mais vantajosa em relação aos ônibus convencionais que circulam por ali atualmente.

Como sugestão para trabalhos futuros, existe o estudo do impacto da implantação do BRT sobre o meio de transporte individual, com o propósito de analisar a transferência modal entre os meios individual e coletivo, os volumes de automóveis na via, as suas novas velocidades, a possível ocorrência de filas de veículos, as mudanças no nível de serviço da via, entre outros aspectos. Assim é necessária a realização de coleta de dados em campo para o desenvolvimento das curvas de velocidade de cada *link* da rede e de suas capacidades. Além disso, a nova divisão das zonas existentes em zonas menores, aumentando assim a quantidade de dados nas matrizes, também é fundamental para a calibração do modelo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à empresa alemã PTV o fornecimento do *software* Visum, sem o qual não seria possível realizar a simulação. Agradeço à engenheira Maria Inês Lippe, a qual esteve muito presente, auxiliando e fornecendo toda a ajuda necessária para o desenvolvimento do estudo. E a autora Ruane agradece ao orientador Prof. Sérgio Pamboukian que a acompanhou e motivou por toda essa trajetória.

ANALYSIS OF A *BUS RAPID TRANSIT* SYSTEM DEPLOY IN LARGE URBAN CENTERS

Abstract

The large urban centers attract many people, and that is why they must develop viable alternatives to make sure that the displacements will be safe and efficient. While regions have bad investments in mass transit, individual vehicles congestions will become increasingly chaotic, leading to financial and time losses, increased stress and pollution of the environment. Therefore, the implementation of the Bus Rapid Transit (BRT) system can be done as an alternative to afford the existing systems, relieving the saturated public transports around. This research made a case study with the macro simulation software Visum, to analyze the impacts caused by the

implementation of this new system on Brigadeiro Faria Lima Avenue, in São Paulo. The simulation's results showed some advantages over the trains and subways located in this area, making the modal transference possible, attracting a significative number of users.

Keywords: Bus Rapid Transit. Simulation software. Macro simulation.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS. BRT Brasil: a evolução das cidades. 2016. Disponível em: <<http://www.brtrasil.org.br/index.php/brt/oquebrt>>. Acesso em: 12 fev. 2017.

COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO. Pesquisa de Monitoração da Mobilidade. 2015. Disponível em: <<http://www.cetsp.com.br/media/499255/2015.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2017.

COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. Pesquisa Origem Destino. 2007. Disponível em: <<http://www.metro.sp.gov.br/pesquisa-od/resultado-das-pesquisas.aspx>>. Acesso em: 11 set. 2017.

COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. Quem somos. 2015. Disponível em: <<http://www.metro.sp.gov.br/metro/institucional/quem-somos/index.aspx>>. Acesso em: 12 fev. 2017.

ENGEBRAS. Cidade inteligente. Disponível em: <http://www.engebras.com.br/catalogo/media/com_flashmagazinedeluxe/pdf/PDF.pdf>. Acesso em: 25 maio 2017.

LEVINSON, H. S. et al. Bus Rapid Transit. 2003. Disponível em: <https://nacto.org/docs/usdg/brt_synthesis_of_case_studies_levinson.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2017.

MALAN, C. Londres e Paris reduzem limite de velocidade em várias vias das cidades. 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/jornal-hoje/noticia/2015/08/londres-e-paris-reduzem-limite-de-velocidade-em-varias-vias-da-cidade.html>>. Acesso em: 21 mar. 2017.

SÃO PAULO. Governo do Estado de São Paulo. Panorama do Estado de São Paulo. Disponível em: <http://www.saopauloglobal.sp.gov.br/panorama_geral.aspx>. Acesso em: 16 mar. 2018.

SILVA, F. N. da. Mobilidade urbana: os desafios do futuro. *Cadernos Metrôpole*, v. 15, n. 30, p. 377-388, dez. 2013. Disponível em: <<https://revistas.pucsp.br/index.php/metropole/article/view/17486/13005>>. Acesso em: 15 maio 2017.

SOUSA, M. Os 5 melhores transportes públicos do mundo. *Ciclovivo*, 22 set. 2016. Disponível em: <<http://ciclovivo.com.br/noticia/os-5-melhores-transportes-publicos-do-mundo/>>. Acesso em: 13 fev. 2017.

VOLVO. Volvo BRT – O que ganham os passageiros? 2014. Disponível em: <<http://www.mobilidadevolvo.com.br/volvo-brt-o-que-ganham-os-passageiros/>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

Contato

Sergio Vicente Denser Pamboukian
sergio.pamboukian@mackenzie.br

Tramitação

Recebido em fevereiro de 2018.
Aprovado em março de 2018.