

**PEDRO DA CUNHA REGO LOGIODICE**

**A PRIORIZAÇÃO DE INVESTIMENTO NO TRANSPORTE PÚBLICO:  
PROPOSTA DE INDICADORES DE MOBILIDADE URBANA**

Trabalho de Formatura do Curso de  
Engenharia Civil apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo

São Paulo  
2017

**PEDRO DA CUNHA REGO LOGIODICE**

**A PRIORIZAÇÃO DE INVESTIMENTO NO TRANSPORTE PÚBLICO:  
PROPOSTA DE INDICADORES DE MOBILIDADE URBANA**

Trabalho de Formatura do Curso de Engenharia Civil  
apresentado à Escola Politécnica da Universidade de  
São Paulo

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Mariana Abrantes Giannotti

São Paulo  
2017

## Catalogação-na-publicação

Logiodice, Pedro da Cunha Rego

A priorização de investimento no transporte público: proposta de indicadores de mobilidade urbana / P. C. R. Logiodice -- São Paulo, 2017.  
58 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes.

1.Mobilidade urbana 2.Sistema de informação geográfica 3.Transportes  
urbano I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de  
Engenharia de Transportes II.t.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço

à melhor orientadora que poderia ter, Mariana,

aos amigos do laboratório que contribuíram diretamente, Renato e Diego,

também aos amigos do laboratório, Juliana, Júlia, Bia, Bruna P., Bruna L., Nuno, Tainá, Marina, Vinicius e Leo,

aos amigos politécnicos Julia, Penha, Matheus, Nery, Aline, Bia, Tiago M., Marcos, Tiago T, Edu, Leo, João P e João A.

à minha psicóloga Marisa F.

à minha família unida, Taty, Zé, Julia e Lucas,

Obrigado por tornarem possível a oportunidade de realizar esse trabalho.

*“Assim como um planeta gira em torno de um corpo central enquanto roda entorno de seu próprio eixo, assim também o indivíduo humano participa do curso do desenvolvimento da humanidade, ao mesmo tempo que persegue o seu próprio caminho na vida.”* (Freud, 1930)

## RESUMO

O presente trabalho tem o objetivo de elaborar indicadores, a partir dos dados de bilhetagem e GPS de ônibus do Município de São Paulo, para auxiliar o poder público na tomada de decisões de investimentos no transporte público. Para isso, gerou-se uma rede de transporte com taxas horárias de lotação nos veículos e tempos de deslocamento reais no horário de pico da manhã. Essa rede, por sua vez, permitiu o cálculo de indicadores baseados em atributos como tempo de deslocamento ao trabalho, conforto e volume de pessoas transportadas. Os três principais indicadores apresentados são: *Indicador de Congestionamento e Lotação (ICL)*, *Indicador de Volume de Tempo e Conforto (IVTC)* e *Indicador de Priorização de Investimento no Transporte Público (IPitp)*. Como resultados, foi possível identificar zonas de origem de viagens ao trabalho com altas taxas de lotação e congestionamento como Parelheiros, Cocaia, Cidade Tiradentes, Parada de Taipas, Jardim Angela, Capão Redondo e Grajaú. Além disso, identificaram-se os fluxos críticos do transporte público nos horários de pico da manhã. Conclui-se que os indicadores propostos, bem como a metodologia adotada para gerar a rede de transporte têm o potencial de contribuir para a identificação de locais prioritários para investimento no transporte público.

Palavras-Chave: Mobilidade urbana; Sistema de informação geográfica; Transporte urbano.

## ABSTRACT

This study aims to develop indicators, from smartcard and GPS data from São Paulo, to support decision making on public transport. For this purpose, a transportation network was generated with hourly vehicle loading rates and actual travel times in the morning peak hours. This network, in turn, allowed the calculation of indicators based on attributes such as travel time to work, comfort and volume of people transported. The three main indicators presented are: Congestion and Capacity Indicator (ICL), Time and Comfort volume indicator (IVTC) and Investment Priority indicator in Public Transport (IPITP). As a result, it was possible to identify origin areas with high rates of occupancy and congestion as Parelheiros, Cocaia, Cidade Tiradentes, Parada de Taipas, Jardim Angela, Capão Redondo and Grajaú. In addition, critical mass transit flows were identified during morning peak hour. The conclusion is that the proposed indicators and the methodology used to generate the transportation network have the potential to help identify priority sites for investment in public transport.

Key-words: Urban mobility; Geographic Information System; Urban transport.

## **Lista de Ilustrações**

Figura 1 - Evolução da Área Urbanizada na RMSP .....	13
Figura 2 - Densidade de Empregos em 2012 (RAIS) e Percentil de Residências de baixo padrão em 2010 (Secretaria da Fazenda) .....	14
Figura 3 - Densidade das Primeiras Bilhetagens no sentido Trabalho (esquerda) e Densidade das Primeiras Bilhetagens no Sentido Residência (direita).....	15
Figura 4 - Exemplo de Service Area e da Visualização espacial da acessibilidade .....	18
Figura 5 - Exemplo do campo Gravitacional e Visualização espacial da acessibilidade.....	19
Figura 6 - Esquema da inferência de origem e destino .....	22
Figura 7 - Estimativa da capacidade dos veículos .....	25
Figura 8 - Diagrama de massas .....	29
Figura 9 – Rota e Itinerário de Exemplo .....	31
Figura 10 - Comparação dos tempos medidos.....	32
Figura 11 - Comparação das Service Areas .....	33
Figura 12 – Indicador de Tempo e Conforto.....	34
Figura 13 - Indicador de Congestionamento .....	35
Figura 14 - Indicador de Lotação.....	36
Figura 15 - Indicador de Congestionamento e Lotação.....	37
Figura 16 - Número de viagens produzidas .....	38
Figura 17 - Indicador de Volume de Tempo e Conforto .....	39
Figura 18 - Indicador de Momento Marginal de Congestionamento.....	41
Figura 19 - Indicador de Momento Marginal de Lotação .....	42
Figura 20 - Indicador de Priorização de Investimento no Transporte Público ..	43
Figura 21 - Taxas de lotação das 3h00 às 6h00 .....	44
Figura 22 - Taxas de lotação das 7h00 às 10h00 .....	45
Figura 23 - Sobreposição das lotações e rede de transportes sobre trilhos.....	47

## **Lista de Gráficos**

Gráfico 1 - Distribuição do Momento de Tempo .....	40
--	----

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1 - Multiplicador do tempo percebido.....	26
--	----

## SUMÁRIO

1	Introdução .....	11
1.1.	Objetivo .....	12
1.2.	Objetivos específicos .....	12
2	Acessibilidade ao emprego em São Paulo.....	13
2.1.	A caracterização do deslocamento ao emprego no município de São Paulo	13
2.2.	Indicadores de Acessibilidade: métricas para o planejamento .....	15
2.2.1.	Métricas de acessibilidade.....	16
2.2.2.	As limitações das medidas de acessibilidade .....	19
3	Materiais e Métodos .....	21
3.1.	Dados.....	21
3.1.1.	Carregamento das linhas SPTrans.....	21
3.1.2.	Bilhetagens Georreferenciadas .....	22
3.1.3.	GTFS da SPTrans .....	23
3.1.4.	Rede de transportes Open Trip Planner .....	23
3.1.5.	Velocidades dos ônibus.....	24
3.2.	Cálculo da taxa de Lotação dos Ônibus.....	24
3.3.	Incorporação das velocidades dos ônibus na Rede de Transportes ...	26
3.4.	Incorporação da taxa de Lotação na Rede de Transportes .....	26
3.5.	Nomenclatura Adotada.....	27
3.6.	Indicadores Propostos (Parte 1).....	28
	Indicador de Lotação (IL) .....	28
	Indicador de Congestionamento e Lotação (ICL) .....	28
3.7.	Conceito do Momento de Tempo .....	29
3.8.	Indicadores Propostos (Parte 2).....	30
4	Resultados e análise .....	30
4.1.	Redes de Transporte Geradas .....	31

4.2. Indicadores Propostos.....	34
4.2.1. Indicador de Tempo e Conforto (ITC).....	34
4.2.2. Indicador de Congestionamento (IC).....	35
4.2.3. Indicador de Lotação (IL).....	36
4.2.4. Indicador de Congestionamento e Lotação (ICL) .....	37
4.2.5. Conceito do Momento de Tempo.....	37
4.2.6. Indicador de Volume de Tempo e Conforto (IVTC).....	39
4.2.7. Indicador de Momento Marginal de Congestionamento (IMMC) ..	40
4.2.8. Indicador de Momento Marginal de Lotação (IMML) .....	41
4.2.9. Indicador de Priorização de Investimento no Transporte Público (IPITP) .....	42
4.3. Análise da taxa de lotação horária dos ônibus.....	44
5 Conclusões .....	48
6 Referências.....	50
7 Anexos .....	52
7.1. Manual do Open Trip Planner .....	52
7.2. Manual da Matriz OD no Open Trip Planner .....	54
7.3. Scrip no Prompt de Comando .....	56
7.4. Script Python.....	57

## 1 INTRODUÇÃO

As cidades ocupam hoje apenas 2% da superfície do planeta terra, no entanto concentram mais da metade da humanidade, geram quase 70% do produto interno bruto mundial, utilizam mais de 60% da energia consumida globalmente, e são responsáveis pela produção de 70% dos resíduos sólidos e 70% das emissões de gases *do efeito estufa* (UN-HABITAT, 2016).

A humanidade construiu uma realidade marcada por uma crescente desigualdade social e um crescimento urbano expressivo, que aumentará em 2,5 bilhões o número de pessoas vivendo em regiões urbanas nos próximos 40 anos (ONU, 2014). Tendo em vista tais tendências globais, o Habitat III – Terceira Conferência das Nações Unidas sobre Moradia e Desenvolvimento Urbano Sustentável, realizada em Quito em outubro de 2016 – reconheceu que a crescente desigualdade e a persistência de múltiplas formas e dimensões da pobreza podem ser combatidas a partir da organização do espaço, acessibilidade e projeto urbano com políticas de desenvolvimento que promovam a coesão social, equidade e inclusão (UN-HABITAT 2016). Em função disso, para que nenhum grupo de pessoas seja privado do compartilhamento igualitário das oportunidades e benefícios que a urbanização possa oferecer, é necessário, em primeiro lugar, compreender as dinâmicas urbanas para que se possa fazer um diagnóstico claro de suas disfunções; e em segundo lugar, ter a capacidade de agir com eficácia, eficiência e efetividade na solução desses problemas.

Nesse contexto, o presente trabalho elaborou indicadores para auxiliar o poder público na tomada de decisões de investimentos no transporte público. Contribui assim para identificar locais prioritários de melhoria para que a vida de qualidade nas cidades seja um direito universalmente garantido.

Motivado pelo interesse em representar a mobilidade urbana de forma mais aderente possível da realidade, utilizam-se dados georreferenciados de bilhetagem do transporte público e velocidades reais de ônibus medidos com GPS. A partir disso, é possível gerar uma rede de transporte com taxas horárias de lotação nos veículos e tempos de deslocamento reais no horário de pico da manhã. Essa rede, por sua vez, permite o cálculo de indicadores baseados em

atributos como tempo percebido pelo usuário no deslocamento ao trabalho e no volume de pessoas transportadas. Tais propostas são interessantes no sentido de considerar em seus cálculos, não apenas velocidades reais, mas também o conforto no deslocamento.

### **1.1. Objetivo**

O objetivo desse trabalho é elaborar indicadores, a partir dos dados de bilhetagem e GPS de ônibus do Município de São Paulo, para a priorização de investimentos no transporte público.

### **1.2. Objetivos específicos**

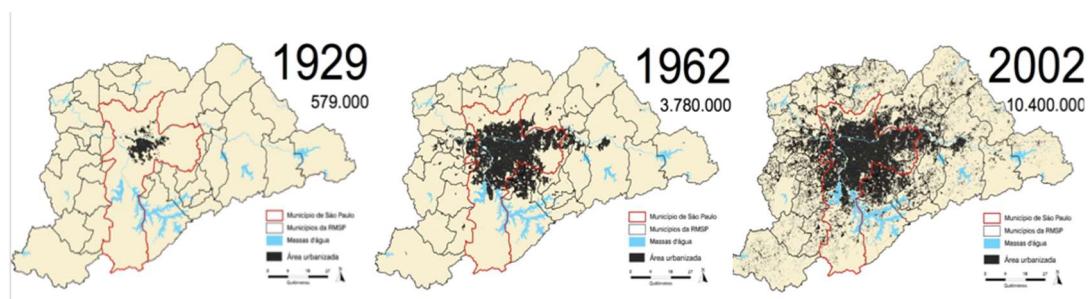
- Elaborar um indicador de prioridade baseado nas velocidades reais, tempos de viagem, volume de pessoas transportadas e taxas de lotação
- Incorporar na rede de transporte as velocidades reais dos ônibus e lotações estimadas.
- Identificar as zonas de origem de viagens com maiores congestionamentos no horário de pico da manhã.
- Identificar as zonas de origem de viagens com maiores taxas de lotação no horário de pico da manhã.
- Analisar os horários e locais críticos de lotação dos ônibus.

## 2 ACESSIBILIDADE AO EMPREGO EM SÃO PAULO

### 2.1. A caracterização do deslocamento ao emprego no município de São Paulo

A região metropolitana de São Paulo é caracterizada por uma distribuição espacial de oportunidades extremamente heterogênea. Essa configuração aumenta o custo generalizado de transações, principalmente, para população com baixa renda que reside em regiões periféricas com altas densidades populacionais e poucas oportunidades de emprego e serviços.

Há menos de um século residiam na região de São Paulo cerca de 500.000 pessoas, hoje são quase 20 milhões. Além de acelerado, esse crescimento se deu de forma desorganizada a partir de áreas centrais em direção às áreas mais periféricas (SMH de São Paulo, 2014; Carvalho, 2014). Nos anos 70, o poder público adotou políticas de produção de conjuntos habitacionais e permitiu a criação de loteamentos irregulares e clandestinos, principalmente na zona norte e leste (Figura 1). Essa urbanização extensiva de imensos conjuntos habitacionais desconectados do tecido urbano e a falta de políticas que desenvolvessem atividades locais geradoras de renda e emprego acabaram criando o conceito de "urbanização sem cidade". Já nos anos 80, a extensão para o sul da cidade (Figura 1), favorecido pela oportunidade de emprego nas indústrias e nos serviços que surgiram na região, se deu de forma precária e ocupou grande parte das áreas de proteção de mananciais das represas metropolitanas Billings e Guarapiranga (Meyer, Grostein, Biderman, 2004).

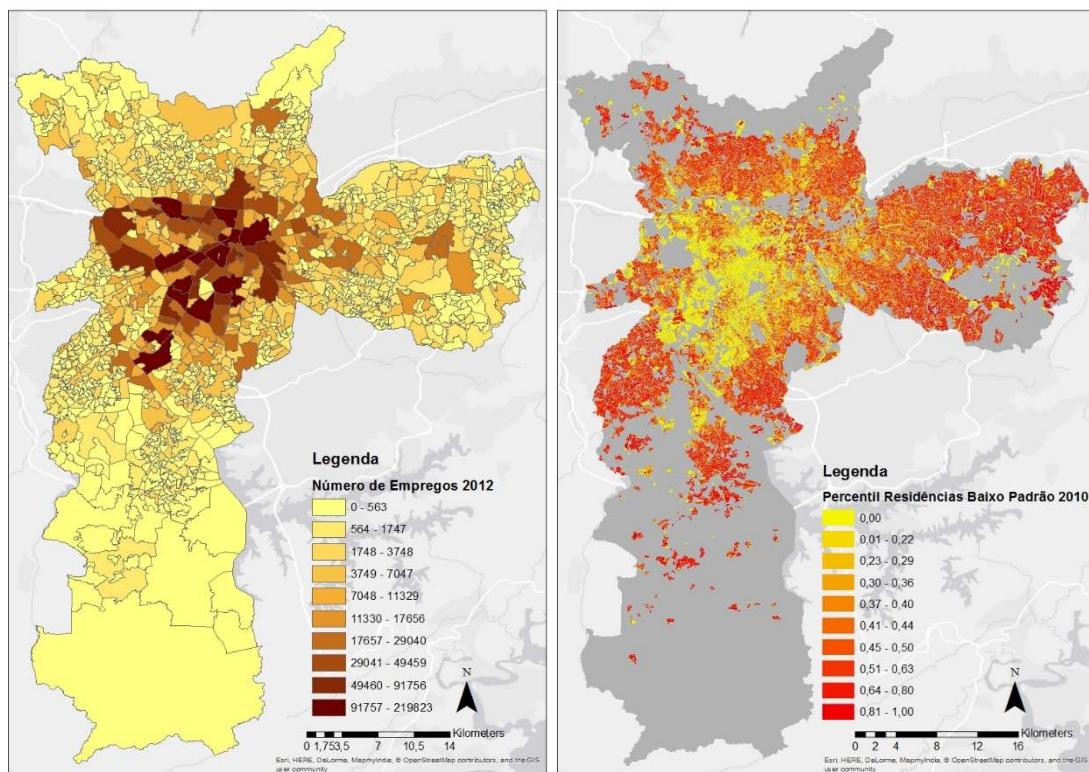


Fonte: Secretaria Municipal de Habitação, Conselho Municipal de Habitação, agosto 2014

**Figura 1 - Evolução da Área Urbanizada na RMSP**

Dessa forma, as regiões próximas ao centro eram as mais desenvolvidas economicamente, com maior concentração de emprego e serviços; as periféricas, por sua vez, cresceram progressivamente em função da migração de classes sociais de baixa renda, que não tinham recursos suficientes para se estabelecerem nas zonas mais valorizadas, e ocuparam áreas mais distantes, com déficit de empregos e serviços, além de pouca infraestrutura (Villaça, 2011).

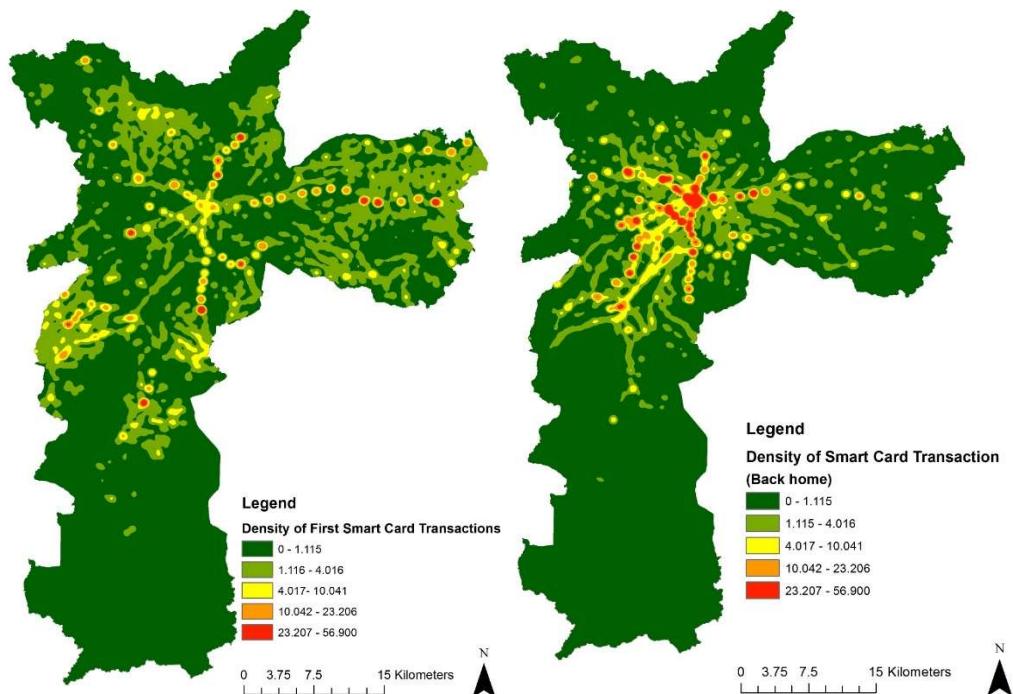
Nesse contexto, o município de São Paulo apresenta um alto nível de monocentralidade com a concentração de cerca de 2/3 dos empregos e serviços em apenas 7% do território municipal (Bessa et al. 2011). Os mapas (figura 2) ilustram esse forte contraste entre a distribuição de empregos e o local de residência das populações de baixa renda.



**Figura 2 - Densidade de Empregos em 2012 (RAIS) e Percentil de Residências de baixo padrão em 2010 (Secretaria da Fazenda)**

Esse súbito desequilíbrio entre o local de moradia e de trabalho, caracterizado também pela divisão sócio espacial bem definida, criou uma demanda surpreendente de meios de transporte. A partir de dados georreferenciados de bilhetagem é possível identificar essa distribuição espacial de potenciais polos de produção e atração das viagens ao trabalho. Os mapas da figura 3

representam as primeiras bilhetagens do dia realizadas por cerca de 1,7 milhões de usuários do transporte público com a finalidade (inferida) de acessar o emprego. Aqui, a densidade (*kernel density*) das primeiras bilhetagens no sentido do emprego é compreendida como uma aproximação das origens (residências) e a densidade das primeiras bilhetagens realizadas pelos mesmos usuários após 7h é uma inferência dos destinos (empregos).



**Figura 3 - Densidade das Primeiras Bilhetagens no sentido Trabalho (esquerda) e Densidade das Primeiras Bilhetagens no Sentido Residência (direita)**

Observa-se o caráter periférico das origens e central dos destinos dessas viagens ao emprego realizadas por usuários do transporte público. Além disso, verificou-se a partir desses dados que a distância média entre residência e emprego é de 10km e a duração média de viagem de 1h, além dos baixos níveis de conforto devido às altas taxas de lotação (passageiros/m<sup>2</sup>), conforme será demonstrado a seguir na seção de resultados.

## 2.2. Indicadores de Acessibilidade: métricas para o planejamento

A *acessibilidade* é um conceito utilizado atualmente em pesquisas relacionadas ao planejamento urbano e possui alto potencial de auxiliar a formulação de

políticas e a tomada de decisão órgãos públicos. As medidas de acessibilidade podem estar relacionadas às localidades, aos indivíduos e também aos benefícios econômicos gerados por ela.

### **2.2.1. Métricas de acessibilidade**

O termo acessibilidade foi criado por Hansen (1959) e definido "como o potencial de oportunidades para interação", ou seja, uma medida relacionada com a intensidade do desenvolvimento dos padrões de uso e ocupação do solo de determinada localidade. Ingram (1971) complementou a definição de Hansen (1959) e definiu acessibilidade como "a característica, ou vantagem, inerente a uma localização, no que diz respeito à superação de alguma forma de resistência de natureza espacial ao deslocamento, como por exemplo, tempo e/ou distância", evidenciando a dependência de determinado sistema de transporte para diminuir a distância entre dois pontos. Geurs e Van Wee (2004) definem acessibilidade como "a extensão em que o uso do solo e sistemas de transporte permitem aos indivíduos o acesso a atividades e destinos por meio de uma combinação de meios de transporte", ou seja, a acessibilidade está relacionada a oportunidade de acesso, que tem como *meio* o sistema de transporte e como *fim* a atividade acessada.

Desse modo, a acessibilidade pode ser compreendida como a facilidade com que as oportunidades de troca podem ser alcançadas, levando-se em conta a magnitude e qualidade das respectivas atividades, e sendo, esse espectro potencial de interações sociais e econômicas, inerente à vantagem locacional relativa de determinada região, bem como das condições de deslocamento do indivíduo (Hansen, 1959; Ingram, 1971; Handy e Niemeier, 1997; Geurs & van Wee, 2004).

Geurs e Van Wee (2004) identificam quatro componentes principais da acessibilidade que deveriam ser considerados nas avaliações das formulações de políticas voltadas para o sistema transporte e uso do solo:

- 1. Uso do Solo:** quantidade, qualidade e distribuição de oportunidades oferecidas por um destino e a demanda dessas oportunidades nas

origens, bem como a competição inerente ao confronto da oferta (de capacidade finita) e demanda (potencialmente infinita).

2. **Transporte:** expressa o custo generalizado (tempo, preço, conforto, confiabilidade, riscos, etc.) do deslocamento para um indivíduo e está diretamente relacionado ao sistema de transporte e suas características (capacidade, qualidade, custo de operação, nível de serviço, etc.).
3. **Temporal:** referente às restrições de horários para as diferentes atividades, bem como ao tempo disponível dos indivíduos para participar de determinadas atividades.
4. **Individual:** reflete para o indivíduo suas necessidades (que variam de acordo com a idade, gênero, grau de instrução, etc.), habilidades (dependentes de condições físicas, oferta de transporte, etc.) e oportunidades (recursos financeiros, grau de educação, etc.).

Todos esses componentes estão inter-relacionados em todas as direções, com isso a desvantagem de uma dimensão pode ser potencialmente compensada pela melhora de outra; por exemplo, a escassez de lojas em uma região pode ser compensada pelo incremento de opções de transporte para acessar comércios em bairros próximos (Lucas et al. 2016).

A partir desses componentes principais a serem considerados em estudos de acessibilidade, Geurs e Van Wee (2004) também definem quatro perspectivas básicas na mensuração da acessibilidade, a depender da abordagem da análise:

1. **Medidas baseadas na infraestrutura:** mensuração da capacidade do sistema de transporte, sua performance e nível de serviço.
2. **Medidas baseadas na localização:** descreve o nível de acessibilidade da origem a uma distribuição espacial de atividades, através de uma área de serviço ou função inversamente proporcional ao custo generalizado do deslocamento.
3. **Medidas baseadas nas pessoas:** analisa o acesso na dimensão do indivíduo e considera aspectos como horários disponíveis, velocidades de deslocamento, flexibilidade das atividades, entre outros.

4. **Medidas baseadas na utilidade:** analisa os benefícios econômicos correspondentes ao acesso a uma distribuição espacial de atividades para um indivíduo.

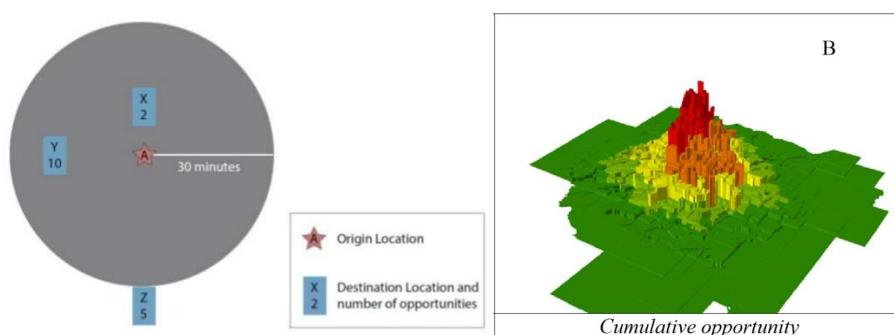
Resumindo, as medidas de acessibilidade devem ser idealmente sensíveis às mudanças na qualidade do serviço de transporte, no número e distribuição de oferta e demanda de oportunidades, nas restrições temporais e nas características do indivíduo (necessidades, habilidades, preferências, etc.).

Hoje, os indicadores de acessibilidade *baseados na localização* geralmente adotados na literatura são fundamentados em dois diferentes conceitos (Neutens et al. 2010):

- **Área de Serviço (Service Area):** acessibilidade medida através do número de oportunidades  $j$  que podem ser acessadas dentro de um determinado intervalo de tempo  $t$  a partir de uma localidade  $i$ , podendo considerar também a qualidade  $\beta$  das atividades potencialmente acessíveis:

$$A_i \text{ (Area de Serviço)} = \sum_j P(t_{ij}) \beta_j$$

Onde,  $P(t_{ij}) \left\{ \begin{array}{l} 1, \text{ se } t_{ij} < \text{tempo limite} \\ 0, \text{ caso contrário} \end{array} \right.$



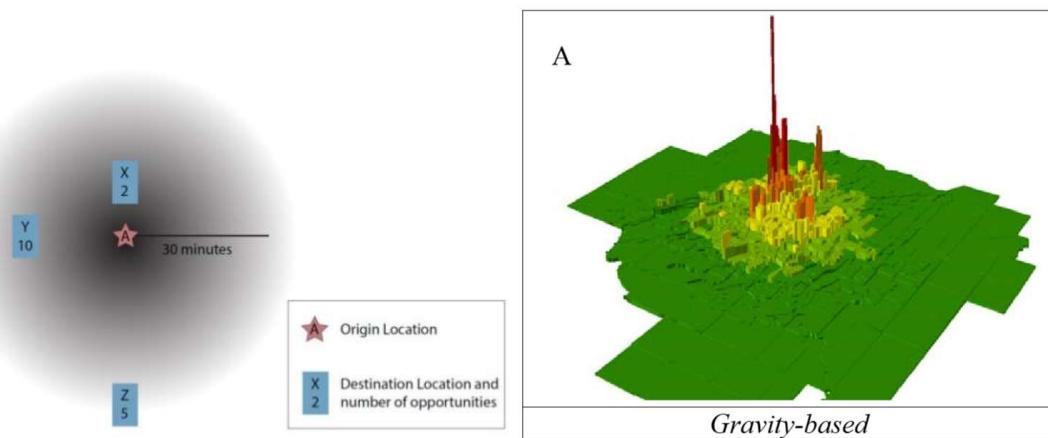
Fonte: El-Geneidy and Levinson 2006

**Figura 4 - Exemplo de Service Area e da Visualização espacial da acessibilidade**

- **Gravitacional:** a acessibilidade de uma localidade é inversamente proporcional ao custo generalizado do deslocamento (tempo, distância, preço, lotação, etc.) para acessar atividades:

$$A_i (\text{Gravitacional}) = \sum_j a_j \exp[-\lambda t_{ij}]$$

Onde  $a_j$  é a atratividade da atividade localizada em  $j$ ,  $t_{ij}$  é o custo generalizado do deslocamento da origem para o destino  $j$  e  $\lambda$  é o parâmetro de decaimento-custo do modo de transporte.



Fonte: El-Geneidy and Levinson 2006

**Figura 5 - Exemplo do campo Gravitacional e Visualização espacial da acessibilidade**

### 2.2.2. As limitações das medidas de acessibilidade

A medida de acessibilidade é, sem dúvidas, uma importante ferramenta na análise da distribuição espacial de oportunidades. Apesar disso, essa medida possui algumas limitações por se basear no princípio da potencialidade de interação e não na interação propriamente realizada por determinada pessoa a partir de certa localidade. Além disso, é uma métrica de natureza espacial que muitas vezes negligencia outros aspectos que compõe a real possibilidade (ou limitação) de interação de pessoas com atividades, como por exemplo o grau de escolaridade e cultura, a disponibilidade de tempo e renda, ou mesmo, a descriminação de gênero e racial.

À vista disso, surge a importância da análise baseada, não no potencial, mas no deslocamento *realizado*, justamente, por representar qual desses potenciais

acessos do espectro de possibilidades é aquele realmente escolhido por determinada pessoa. É importante observar que, embora a medida revelada também não seja capaz de explicar as razões da escolha de determinada interação, ela considera tais razões uma vez que consiste na concretização das necessidades e possibilidades *reais* de determinada pessoa. Nesse contexto, o presente trabalho propõe indicadores baseados nos deslocamentos *realizados* e busca representar de forma fidedigna as condições desses deslocamentos, através da incorporação de atributos como velocidades e taxas de lotação obtidos com as tecnologias de GPS e de bilhetagem.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

Este capítulo apresenta os dados utilizados (3.1), bem como os métodos para o cálculo dos oito indicadores propostos neste trabalho (3.2).

#### **3.1. Dados**

##### **3.1.1. Carregamento das linhas SPTrans**

Inicialmente apresentam-se os dados utilizados no presente trabalho. Alguns deles são de natureza primária e outros secundária, ambos os casos são descritas suas características, fontes, organização e como serão utilizados na análise.

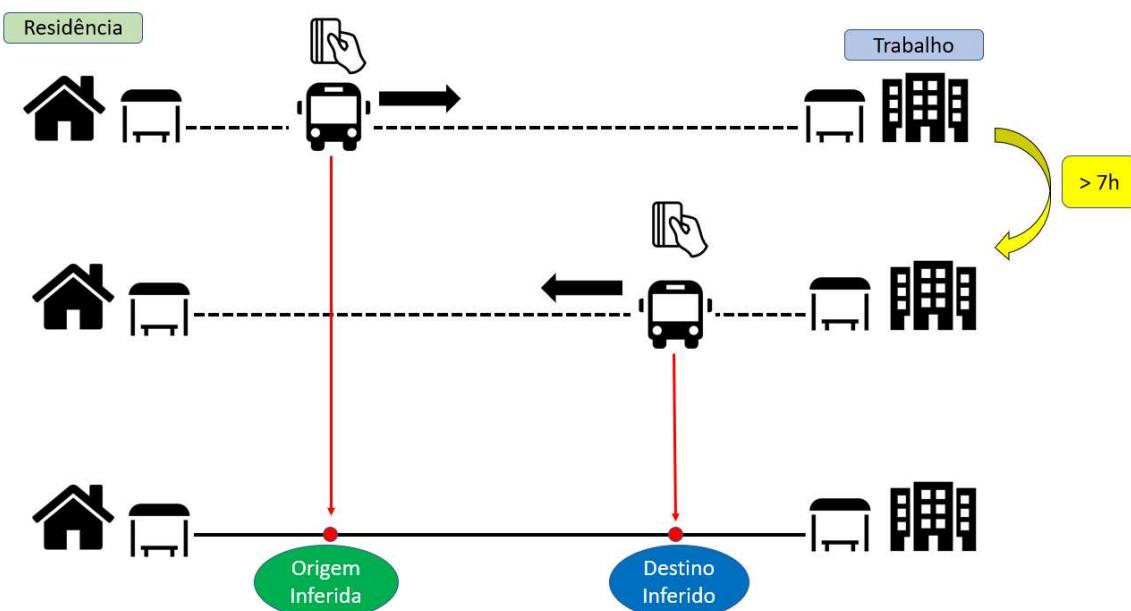
Esses dados foram obtidos na SPtrans e foram calculados por Renato Arbex, Doutorando em Engenharia de Transportes na Escola Politécnica da USP, baseados nos dados de bilhetagem e oferta real de veículos por trecho no dia 22/11/2016. Apresentam-se a seguir os atributos da base de dados:

- Linha de ônibus
- Sequência dos pontos de parada
- Coordenadas geográficas dos pontos
- Carregamento do trecho entre às 0h e 23h.
- Oferta considerando todos os passageiros sentados entre 0h e 23h
- Oferta considerando densidade de 6 passageiros/m<sup>2</sup> de pé entre 0h e 23h

Observa-se que esses dados se referem aos carregamentos e oferta de transporte por trecho, porém não dizem respeito diretamente as condições de lotação dos veículos. O cálculo desse atributo será explicado a seguir na seção 3.2. *Cálculo da taxa de Lotação dos Ônibus.*

### **3.1.2. Bilhetagens Georreferenciadas**

A base de dados de bilhetagens é do dia 12 de agosto de 2013 e é composta por aproximadamente 12 milhões bilhetagens de cerca de 4,5 milhões de usuários. Dessa forma, possui informações de todas as viagens realizadas nesse dia, por todos os usuários da rede pública de transporte do Município de São Paulo. Entretanto, a título de simplificação, a presente pesquisa tem como objetivo estudar apenas as viagens com a finalidade de acessar o emprego. De modo a selecionar apenas esse tipo de viagem, realizou-se um filtro para as viagens de acordo com um pressuposto materializado no que chamamos de Tempo de Permanência. O Tempo de Permanência consiste no intervalo de tempo entre duas bilhetagens consecutivas de um mesmo usuário. Foi considerada viagem motivo trabalho quando esse Tempo de Permanência era igual ou superior a 7h, metodologia semelhante a utilizada por Munizaga et al., 2014. Além disso, adotou-se como Bilhetagem de Destino aquela imediatamente seguinte ao maior Tempo de Permanência; e como a Bilhetagem de Origem, a primeira do dia realizada por determinado usuário. Conforme é ilustrado a seguir na figura 6.



**Figura 6 - Esquema da inferência de origem e destino**

### **3.1.3.GTFS da SPTrans**

O GTFS (*General Transit Feed Specification*) é uma especificação que define um formato para troca de informações estáticas do transporte. O download dessa base é livre e foi realizado no dia 6 de outubro de 2017 na página da SPTrans: <http://www.sptrans.com.br/desenvolvedores/>.

### **3.1.4.Rede de transportes Open Trip Planner**

O OpenTripPlanner (OTP) é um esforço colaborativo entre o TriMet (a agência de transporte público que atende Portland), OpenPlans e os desenvolvedores de Five Points, OneBusAway e Graphserver, bem como de vários desenvolvedores independentes, para desenvolver um sistema de software de planejamento de viagem multimodal de código aberto. O OpenTripPlanner baseia-se nos dados do General Transit Feed Specification (GTFS) para descrever horários e rotas de transporte público. Ele permite usar o OpenStreetMap para dados sobre as infraestruturas da rede. As duas fontes de dados estão vinculadas através de paradas de trânsito (stop times), que são partes de ambos os conjuntos de dados.

Utilizou-se o OTP principalmente devido às seguintes facilidades:

- Usa fontes abertas de dados como o OpenStreetMap e a General Transit Feed Specification (GTFS).
- Permite a simulação de uma viagem que possa combinar vários modos de transporte, como caminhar para chegar ao transporte público.
- Calcula rotas com transferências entre diferentes sistemas de transporte público (entre ônibus e metrô por exemplo).
- Permite especificar horários de partida ou chegada para transporte público.
- Implementável como um site de planejamento de viagem multimodal que pode ser oferecido através de navegadores da Web.
- Existência de várias instâncias de demonstração de trabalhos do OpenTripPlanner disponíveis na internet.

- Permite o cálculo de matrizes origem e destino de tempo por meio de programação na linguagem Python.

As instruções para a utilização do OTP estão nos anexos e a visualização pode ser feita através de <http://localhost:8080/>.

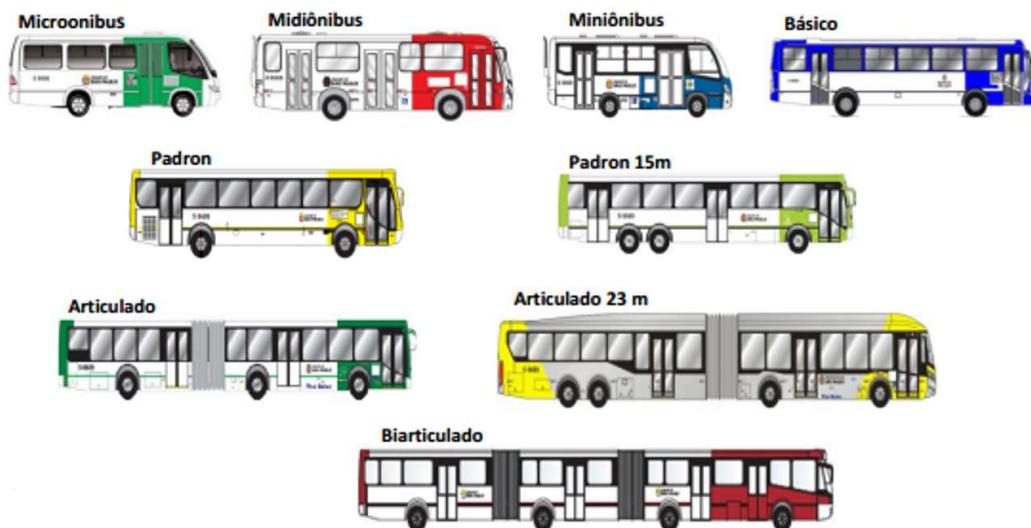
### **3.1.5. Velocidades dos ônibus**

As velocidades dos ônibus são referentes ao dia 16 de agosto de 2017 e foram obtidas no Scipopolis, uma empresa dedicada à mobilidade urbana com produtos destinados aos usuários e gestores do sistema de mobilidade nas áreas de monitoramento e análise de dados. Disponível em <https://www.scipopolis.com>. Apresentam-se a seguir os atributos da base de dados:

- Data
- Id parada de origem
- Latitude da Parada de origem
- Longitude da Parada de origem
- Id da parada de destino
- Latitude da Parada de destino
- Longitude da Parada de destino
- Distância entre paradas
- Velocidades entre às 0h e 23h.

### **3.2. Cálculo da taxa de Lotação dos Ônibus**

A taxa de lotação foi baseada no carregamento e oferta de transporte para cada trecho entre pontos de ônibus obtidos na SPTrans e foram calculados por Renato Arbex, conforme foi explicado na seção 3.1.1. *Carregamento das linhas SPTrans*. Utilizou-se também para o cálculo das taxas de lotação a capacidade de cada veículo para todos os usuários sentados e para a densidade de 6 passageiros/m<sup>2</sup> de pé, conforme ilustra o esquema a seguir (figura 7).



#### ESTIMATIVA DA CAPACIDADE MÉDIA DOS VEÍCULOS

TECNOLOGIA	ÁREA ÚTIL	ASSENTOS	CAPACIDADE
Articulado	12,94	38	115
Articulado 23M	19,32	55	171
Básico	6,64	35	75
Biarticulado	23,19	55	194
MicroBus	2,90	21	38
Midiônibus	4,70	25	54
Miniônibus	3,41	21	41
Padron	8,41	34	84
Padron 15M	10,72	37	102

**Nota:** 1. Tabela com base nos dados cadastrados no Infotrans, posição junho/2014;

2. O cálculo da capacidade média dos veículos considera a taxa de ocupação de 06 (seis) pessoas por  $m^2$ .

**Figura 7 - Estimativa da capacidade dos veículos**

A partir dessas informações calcula-se a taxa média de lotação por linha e por trecho (entre dois pontos de ônibus) através da seguinte equação:

$$Taxa\ de\ Lotação = \frac{Carregamento\ horário - oferta\ horária\ de\ assentos}{oferta\ horária_{densidade\ de\ 6pax/m^2} - oferta\ horária\ de\ assentos} * 6$$

Assim a taxa de Lotação é medida em *passageiros por m<sup>2</sup>* e representa valores horários médios de cada linha por trecho.

### **3.3. Incorporação das velocidades dos ônibus na Rede de Transportes**

Conforme foi descrito anteriormente, a rede de transporte gerada é baseada nos dados GTFS. Para incluir as velocidades reais de ônibus no horário de pico da manhã (6h-8h), basicamente calculou-se o tempo médio de deslocamento para cada trecho da rede pela relação entre a distância entre dois pontos de ônibus e a velocidade do veículo no trecho. Isto posto, atualizaram-se os dados do GTFS, mais especificamente o *stop\_times*, com os novos tempos entre pontos de ônibus.

### **3.4. Incorporação da taxa de Lotação na Rede de Transportes**

O valor relativo (percebido pelo usuário) dos componentes do tempo de viagem cresce à medida que aumenta a densidade de passageiros por m<sup>2</sup>. Whelan and Crockett (2009) realizaram um estudo que relaciona um coeficiente multiplicador de tempo para diferentes taxas de lotação [passageiros/m<sup>2</sup>], ele permite, portanto, relacionar o tempo cronos e o tempo percebido pelo usuário em termos do custo generalizado do transporte. Apresenta-se a seguir a tabela 1 utilizada como referência para a incorporação da lotação (em unidades de tempo) dentro da rede de transporte público.

**Tabela 1 - Fator multiplicador do custo do tempo devido ao aglomerado para o meta-estudo da British WTP (fonte: Whelan e Crockett, 2009)**

<b>Passageiros/m<sup>2</sup></b>	<b>Sentado</b>	<b>Em pé</b>
0	1	1.53
1	1.11	1.62
2	1.21	1.70
3	1.32	1.79
4	1.42	1.87
5	1.53	1.96
6	1.63	2.04

Nota-se que essa medida de tempo “percebido” é baseada no princípio de escolha do indivíduo (curva de indiferença), ou seja, aqui uma viagem mais longa sem lotação pode ser equivalente a uma outra mais curta com altas taxas de lotação. Nesse caso, as durações dos deslocamentos seriam diferentes, mas no momento da escolha o indivíduo poderia considerar ambas alternativas equivalentes em termos de utilidade.

### **3.5. Nomenclatura Adotada**

No presente trabalho será adotada a seguinte nomenclatura para as diferentes redes de transporte geradas:

*Rede de transporte 1:* Rede de transporte calculada com os dados originais de GTFS obtidos na SPTrans.

*Rede de transporte 2:* Rede de transporte calculada considerando as velocidades reais dos ônibus no horário de pico da manhã.

*Rede de transporte 3:* Rede de transporte calculada considerando as velocidades reais dos ônibus e as taxas de lotação no horário de pico da manhã.

Apresenta-se a seguir a tabela com parte dos indicadores propostos.

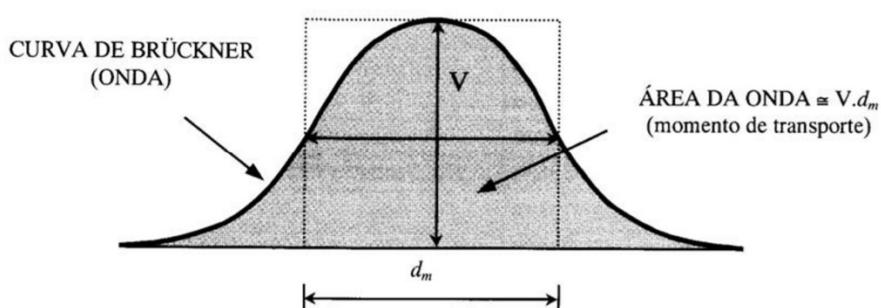
3.6. Indicadores Propostos (Parte 1)		
Indicador de Tempo e Conforto (ITC)	$ITC_i = \frac{1}{P_i} \sum_{j=1}^n (P_{ij} * t_{3ij})$	Conforme foi visto anteriormente a Rede de Transporte 3 incorpora tanto as velocidades reais dos veículos no horário de pico da manhã, quanto a parcela de tempo atribuído ao conforto do usuário nesse deslocamento (em termos de taxa de lotação dos veículos). Isto posto, consiste no tempo médio das viagens ao trabalho de cada zona.
Indicador de Congestionamento (IC)	$IC = \frac{T_2 - T_1}{T_1}$	O Indicador de Congestionamento corresponde a taxa de variação entre o tempo de determinado deslocamento calculado na rede normal e na rede de transporte com velocidades reais, ou seja, a variação entre os tempos calculados na rede 1 e 2.
Indicador de Lotação (IL)	$IL = \frac{T_3 - T_2}{T_2}$	De forma análoga, o Indicador de Lotação corresponde a taxa de variação entre o tempo de determinado deslocamento calculado na rede com velocidades reais e na rede de transporte com velocidades reais e lotação, ou seja, a variação entre os tempos calculados na rede 2 e 3.
Indicador de Congestionamento e Lotação (ICL)	$ICL = \frac{T_3 - T_1}{T_1}$	O Indicador de Congestionamento e Lotação corresponde a taxa de variação entre o tempo de determinado deslocamento calculado na rede normal e na rede de transporte com velocidades reais e lotação, ou seja, a variação entre os tempos calculados na rede 1 e 3.
<p><math>P_i</math> : o número total de viagens produzidas na zona <math>i</math>.</p> <p><math>P_{ij}</math> : número de viagens entre a zona de origem <math>i</math> e a zona de destino <math>j</math>.</p> <p><math>t_{3ij}</math> : tempo de viagem (calculado na rede de transporte 3) entre os centroides das zonas de origem <math>i</math> e a zona de destino <math>j</math>.</p> <p><math>T_1</math> , <math>T_3</math> e <math>T_2</math> : tempo calculado respectivamente nas redes 1,2 e 3.</p>		

### 3.7. Conceito do Momento de Tempo

Observa-se que os indicadores apresentados anteriormente (*Indicador de Tempo e Conforto (ITC)*, *Indicador de Congestionamento (IC)*, *Indicador de Lotação (IL)* e *Indicador de Congestionamento e Lotação (ICL)*) não levam em consideração o número de viagens produzidas em cada zona, mas apenas as medidas médias de cada um desse atributos para respectiva zona.

Entende-se no presente trabalho que a prioridade de determinado investimento no transporte público deve considerar além das condições de deslocamento, a quantidade de pessoas submetidas a tais condições. Isto posto, propõe-se no presente trabalho o conceito de *Momento de Tempo*, definido como *produto do número de passageiros transportados pelos tempos médios de deslocamento*.

O conceito *Momento de Tempo* foi inspirado no *Momento de Transporte*, baseado no Diagrama de Massas (ou de BRÜCKNER) utilizado em terraplanagem de vias, onde o momento de transporte é definido como o produto dos volumes transportados pelas distâncias médias de transporte:



Fonte: *Noções de Topografia para projetos rodoviários, Capítulo 18*

**Figura 8 - Diagrama de massas**

A partir desse conceito, propõem-se os indicadores a seguir.

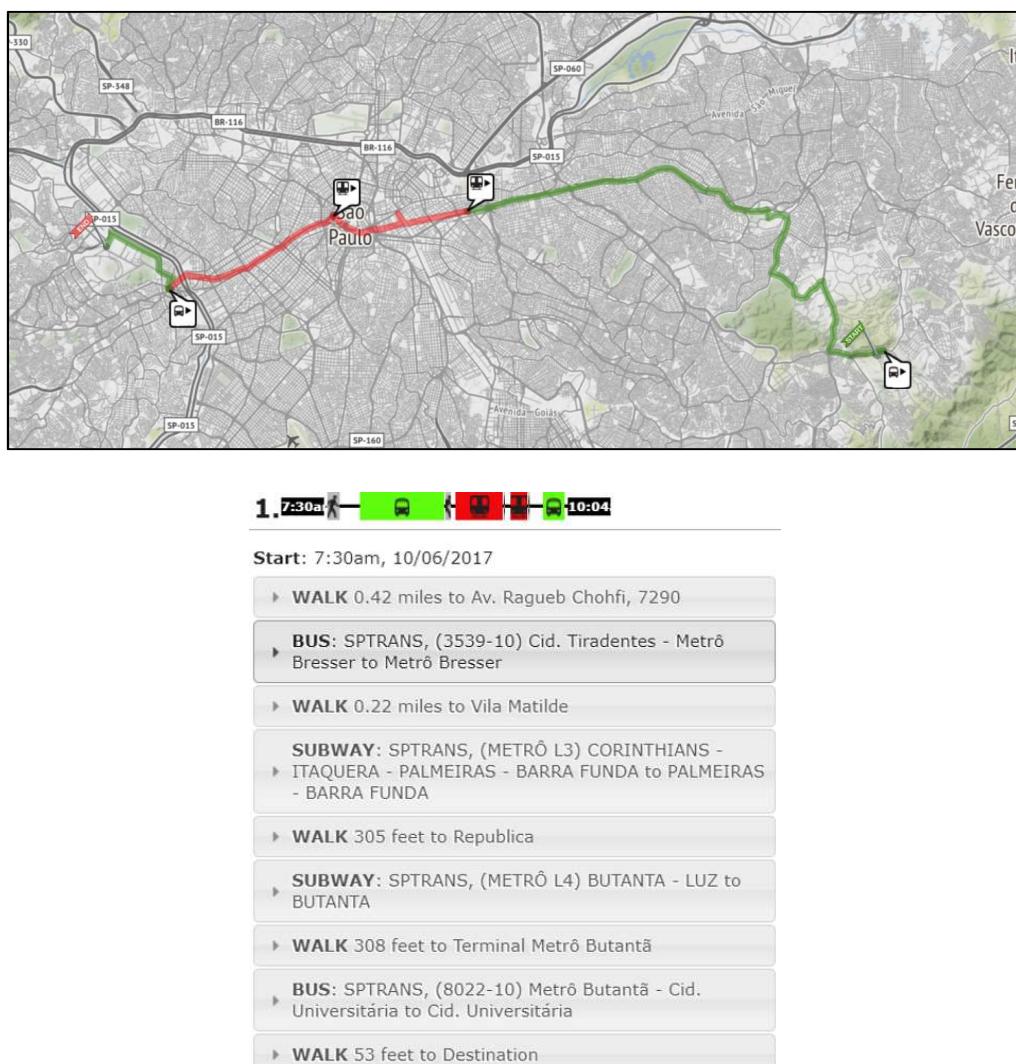
3.8. Indicadores Propostos (Parte 2)		
Indicador de Volume de Tempo e Conforto (IVTC)	$IVTC_i = \sum_{j=1}^n (P_{ij} * t_{3ij})$	O Indicador de Volume de Tempo e Conforto mede o Momento de Tempo das zonas medido na Rede de Transporte 3.
Indicador de Momento Marginal de Congestionamento (IMMC)	$IMMC_i = \sum_{j=1}^n (P_{ij} * t_{2ij}) - \sum_{j=1}^n (P_{ij} * t_{1ij})$	O Indicador de Momento Marginal de Congestionamento (IMMC) consiste na diferença entre os momentos de tempo calculados na rede de transporte 2 e 1.
Indicador de Momento Marginal de Lotação (IMML)	$IMML_i = \sum_{j=1}^n (P_{ij} * t_{3i}) - \sum_{j=1}^n (P_{ij} * t_{2ij})$	De forma análoga, o Indicador de Momento Marginal de Lotação (IMML) consiste na diferença entre os momentos de tempo calculados na rede de transporte 3 e 2.
Indicador de Priorização de Investimento no Transporte Público (IPITP)	$IPITP_i = \sum_{j=1}^n (P_{ij} * t_{3ij}) - \sum_{j=1}^n (P_{ij} * t_{1ij})$	O propósito desse indicador é identificar zonas críticas de origem de viagens ao trabalho com transporte público. Entende-se por crítica aquelas viagens com altos momentos marginais devido ao congestionamento e lotação. De forma análoga, o Indicador de Priorização de Investimento no Transporte Público (IPITP) consiste na diferença entre os momentos de tempo calculados na rede de transporte 3 e 1.
<p><math>P_{ij}</math> : número de viagens entre a zona de origem <math>i</math> e a zona de destino <math>j</math>.</p> <p><math>t_{xij}</math> : tempo de viagem (calculado na rede de transporte <math>x</math>) entre os centroides das zonas de origem <math>i</math> e a zona de destino <math>j</math>.</p> <p><math>T_1</math> , <math>T_3</math> e <math>T_3</math> : tempo calculado respectivamente nas redes 1,2 e 3.</p>		

## 4 RESULTADOS E ANÁLISE

Este capítulo apresenta os resultados incluindo algumas etapas para a avaliação das redes de transporte desenvolvidas (4.1), a aplicação dos oito indicadores propostos neste trabalho (4.2) e, por fim, a análise das taxas de lotação por faixa horária (4.3).

#### 4.1. Redes de Transporte Geradas

Geraram-se as Redes de Transporte 1, 2 e 3 conforme descrito na seção de *Materiais e Métodos*. A título de representação, observa-se na figura a seguir (figura 9) a rota calculada nas 3 redes desde um ponto da zona leste até a Escola Politécnica da USP. A Rede de Transporte 1 calcula uma duração de 2h20; a duração calculada na Rede de Transporte 2 (ajustada pelas velocidades reais dos ônibus nos horários de pico da manhã) foi de 2h34; por fim, a duração na Rede de Transporte 3 (considera o conforto no tempo percebido) foi de 2h51. Assim observa-se uma diferença de 14 minutos devido a congestionamentos e 17 minutos (percebidos) devido ao conforto no deslocamento (figura 10).



**Figura 9 – Rota e Itinerário de Exemplo**

<b>Trip Summary</b>	<b>Rede de Transporte</b>
<b>Travel</b> 7:30am, 10/06/2017	1
<b>Time</b> 2 hrs, 20 mins	
<b>Total Walk</b> 0.61 miles	
<b>Transfers</b> 3	
<b>Fare</b> R\$ 6.80	
Valid Nov 3rd 2017, 12:48pm   <a href="#">Link to Itinerary</a>   <a href="#">Print</a>   <a href="#">Email</a>	
<b>Trip Summary</b>	<b>Rede de Transporte</b>
<b>Travel</b> 7:30am, 10/06/2017	2
<b>Time</b> 2 hrs, 34 mins	
<b>Total Walk</b> 0.76 miles	
<b>Transfers</b> 3	
<b>Fare</b> R\$ 6.80	
Valid Nov 3rd 2017, 12:57pm   <a href="#">Link to Itinerary</a>   <a href="#">Print</a>   <a href="#">Email</a>	
<b>Trip Summary</b>	<b>Rede de Transporte</b>
<b>Travel</b> 7:31am, 10/06/2017	3
<b>Time</b> 2 hrs, 51 mins	
<b>Total Walk</b> 0.86 miles	
<b>Transfers</b> 3	
<b>Fare</b> R\$ 6.80	
Valid Nov 3rd 2017, 12:28pm   <a href="#">Link to Itinerary</a>   <a href="#">Print</a>   <a href="#">Email</a>	

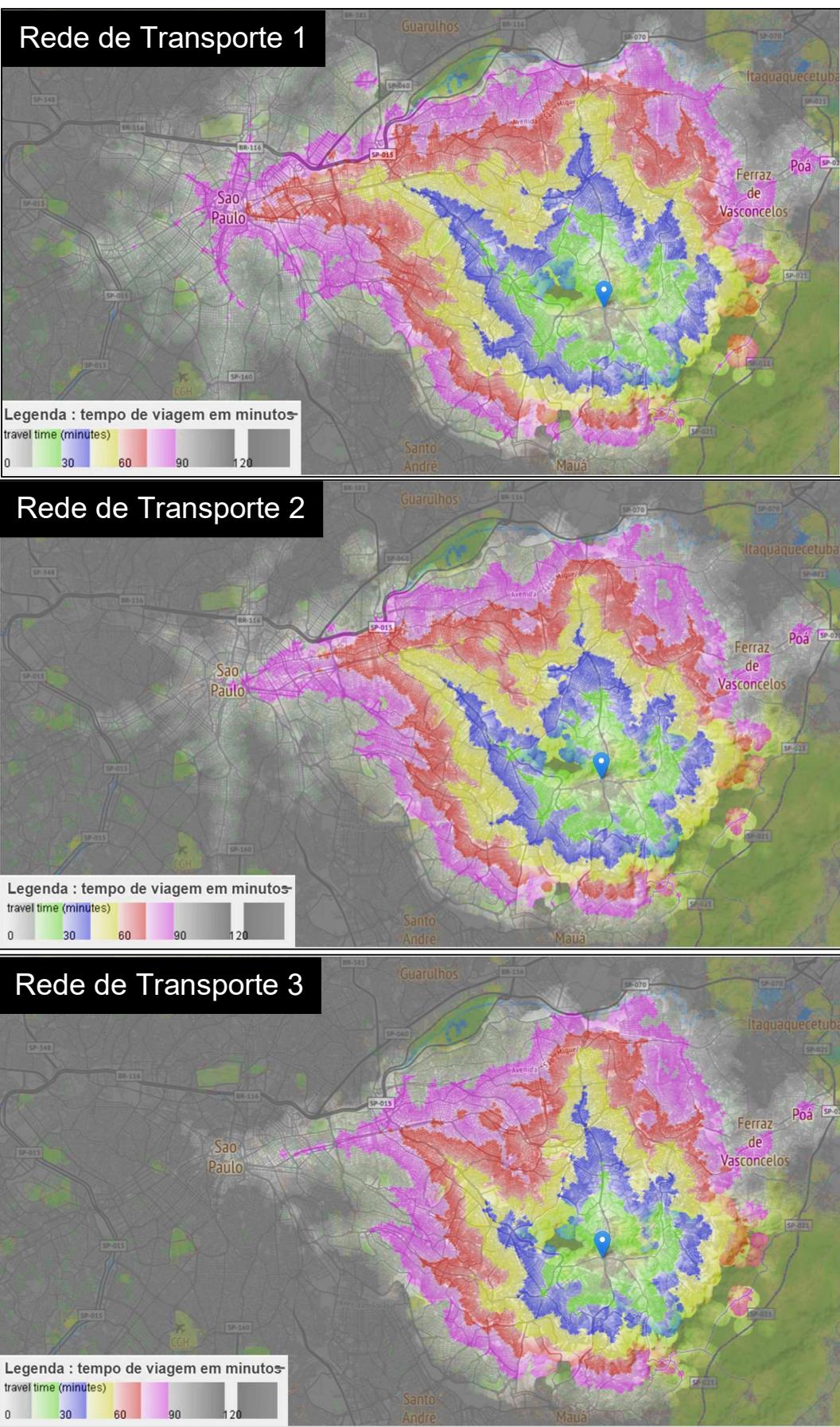
**Figura 10 - Comparação dos tempos medidos**

Geraram-se a seguir (figura 11), para as 3 redes de transporte, as respectivas áreas de serviço (*service area*) do mesmo ponto de origem utilizado no exemplo anterior. O *service area* consiste em isócronas temporais, ele permite identificar a região que pode ser atingida em certo tempo por um indivíduo a partir de determinada origem. Observa-se a seguir que as áreas acessíveis nos respectivos tempos reduzem gradualmente para as redes de transporte 1,2 e 3.

Além disso, a partir da forma das isócronas é possível identificar eixos de transporte como corredores de ônibus e a rede sobre trilhos<sup>1</sup> que aumentam consideravelmente as velocidades de deslocamento e consequentemente as áreas potencialmente acessadas. Ademais, evidencia-se a estrutura monocêntrica da infraestrutura de transporte que *desloca* o centro de gravidade das áreas no sentido do centro da cidade.

---

<sup>1</sup> Observa-se ser de imensa importância constatar que as taxas de lotação, bem como as velocidades reais, foram estimadas e incorporadas apenas nas redes de ônibus.



**Figura 11 - Comparaçao das Service Areas**

## 4.2. Indicadores Propostos

Nesta seção serão apresentados os resultados gerados a partir dos métodos descritos na seção anterior. Em primeiro lugar, são gerados os mapas dos indicadores para cada zona OD, classificados em 10 percentis. Depois são apresentadas as visualizações das taxas horárias de lotação [pax/m<sup>2</sup>] dos ônibus sentido centro.

### 4.2.1. Indicador de Tempo e Conforto (ITC)

O mapa do Índice de Tempo e Conforto (figura 12) refere-se ao tempo médio percebido das viagens ao trabalho de cada zona calculado na Rede de Transporte 3. Conforme foi descrito anteriormente, essa rede incorpora tanto as velocidades reais dos ônibus no pico da manhã, quanto o incremento de tempo percebido referente ao conforto dos usuários no deslocamento. O tempo médio percebido é uma medida de acessibilidade revelada, ou seja, é a expressão do tempo médio de viagens *realizadas* ao trabalho (inferidos com os dados de bilhetagem segundo a metodologia apresentada na seção 3.1.2.*Bilhetagens Georreferenciadas*).

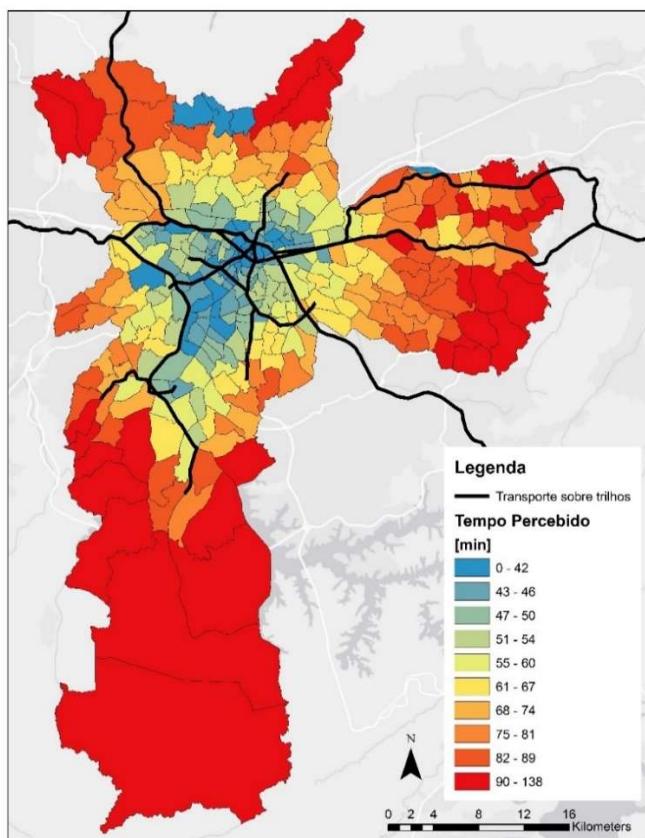
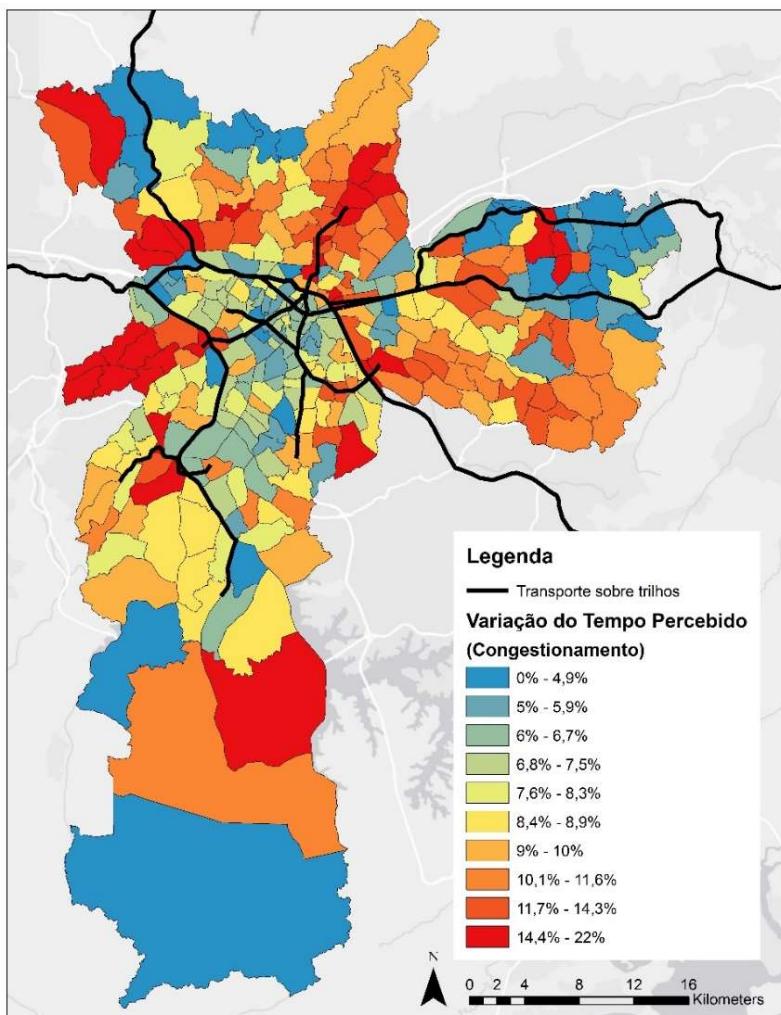


Figura 12 – Indicador de Tempo e Conforto

Observa-se a região central apresenta os menores valores, justamente, devido à maior infraestrutura de transporte e maior densidade de oportunidades econômicas. Além disso, é observado que o tempo médio percebido é superior à 1h para mais de 50% das zonas, e 10% delas apresentam tempo superior a 1h30. Nota-se que esse decil de maior tempo representa de modo geral zonas periféricas com baixa acessibilidade ao transporte sobre trilhos, entretanto vale lembrar que esse estudo não considerou as lotações no transporte sobre trilhos.

#### **4.2.2.Indicador de Congestionamento (IC)**

Apresenta-se a seguir (figura 13) a visualização espacial do IC, que consiste na variação percentual do tempo percebido médio de cada zona quando consideradas as velocidades reais dos ônibus.



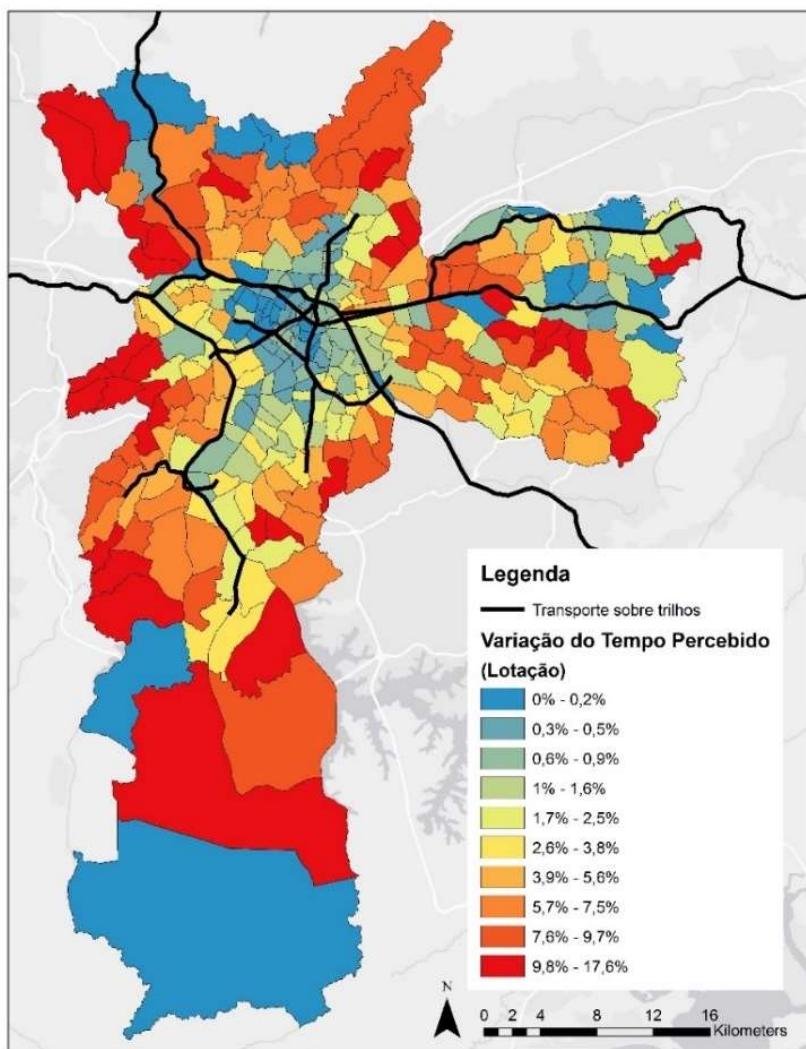
**Figura 13 - Indicador de Congestionamento**

A partir desse mapa é possível observar que o decil com maior variação temporal devido aos congestionamentos é majoritariamente composto por zonas que se

situam nas periferias do município e que não possuem infraestrutura de transporte sobre trilhos. Nota-se que 3 a cada 10 zonas tem seu tempo de viagem aumentado em ao menos 10% devido aos congestionamentos.

#### **4.2.3.Indicador de Lotação (IL)**

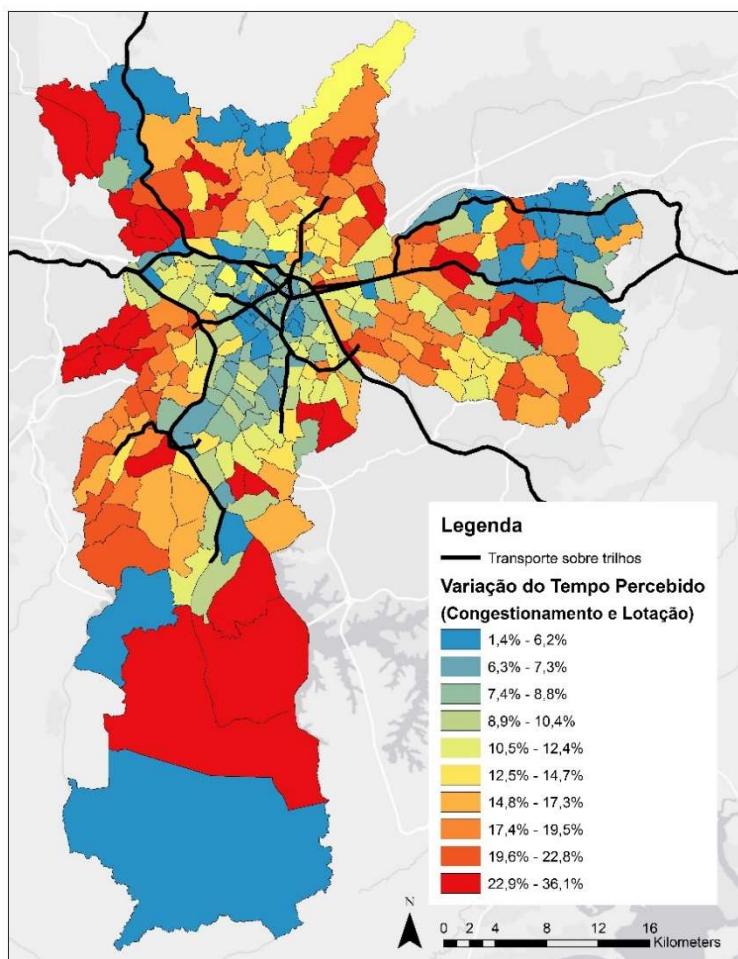
Analogamente, o Indicador de Lotação consiste na variação percentual do tempo percebido médio de cada zona quando consideradas as taxas de lotação dos ônibus. O mapa a seguir (figura 14) ilustra que de modo geral as zonas na região sul e norte são as mais impactadas pelas elevadas taxas de lotação, quando comparadas com a região leste do município. Nessa análise, o pior decil das zonas apresentam um aumento de ao menos 9% no tempo percebido devido ao conforto no deslocamento, enquanto para mais da metade das zonas essa variação é inferior a 3%.



**Figura 14 - Indicador de Lotação**

#### **4.2.4. Indicador de Congestionamento e Lotação (ICL)**

O ICL consiste basicamente no impacto total sobre o tempo médio percebido devido ao congestionamento e às taxas de lotação. Percebe-se que as zonas com as maiores variações (acima de 15%) correspondem a cerca de 1/3 das zonas. As zonas mais críticas se localizam principalmente na parte sul, sudoeste e noroeste (figura 15).

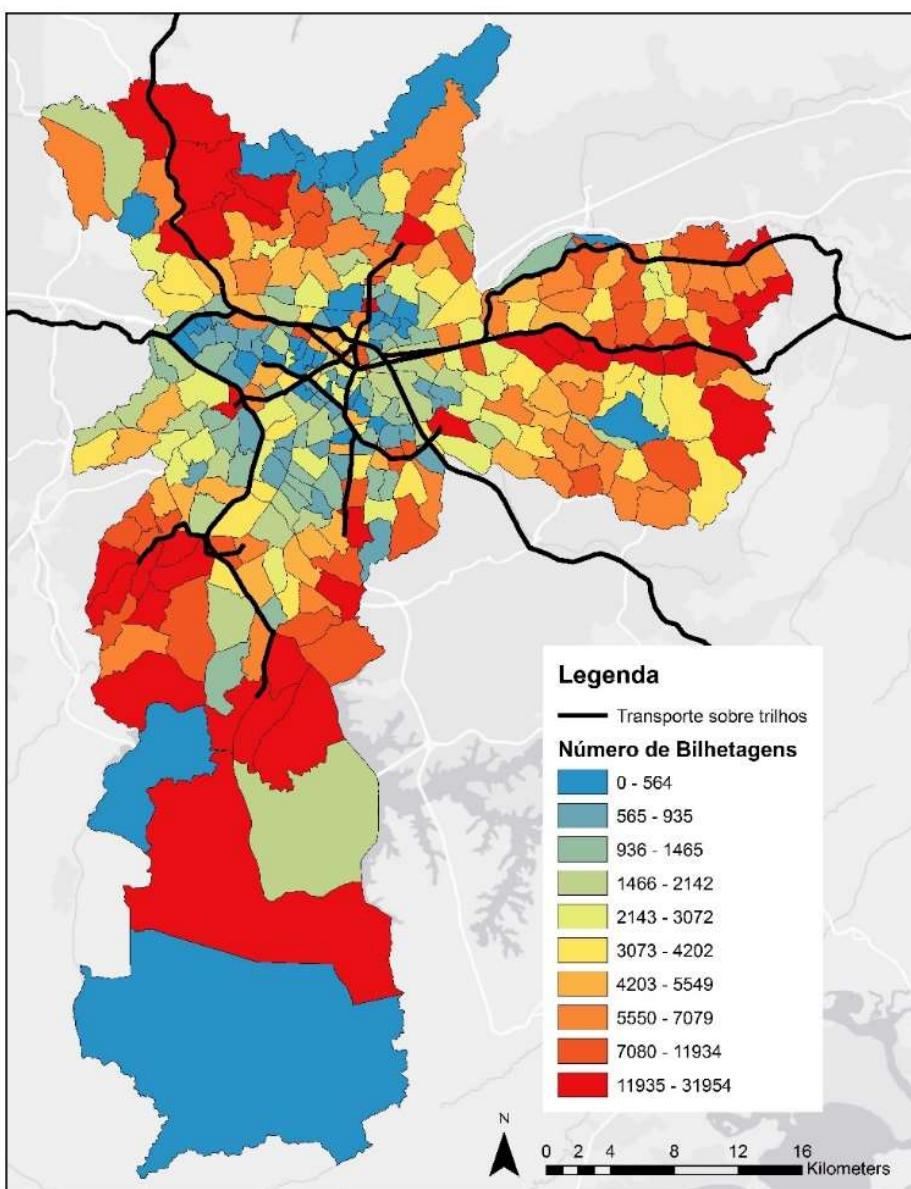


**Figura 15 - Indicador de Congestionamento e Lotação**

#### **4.2.5. Conceito do Momento de Tempo**

Conforme foi explicado na seção anterior, o conceito de “momento” considera o volume de pessoas transportadas (número de bilhetagens). Isto posto, apresenta-se a seguir um mapa com o número de viagens ao trabalho (com transporte público) produzidas em cada zona inferida como origem. Em primeiro lugar, evidencia-se o erro na inferência da origem devido ao comportamento do usuário no momento de passar pela catraca: muitos deles passam pela catraca

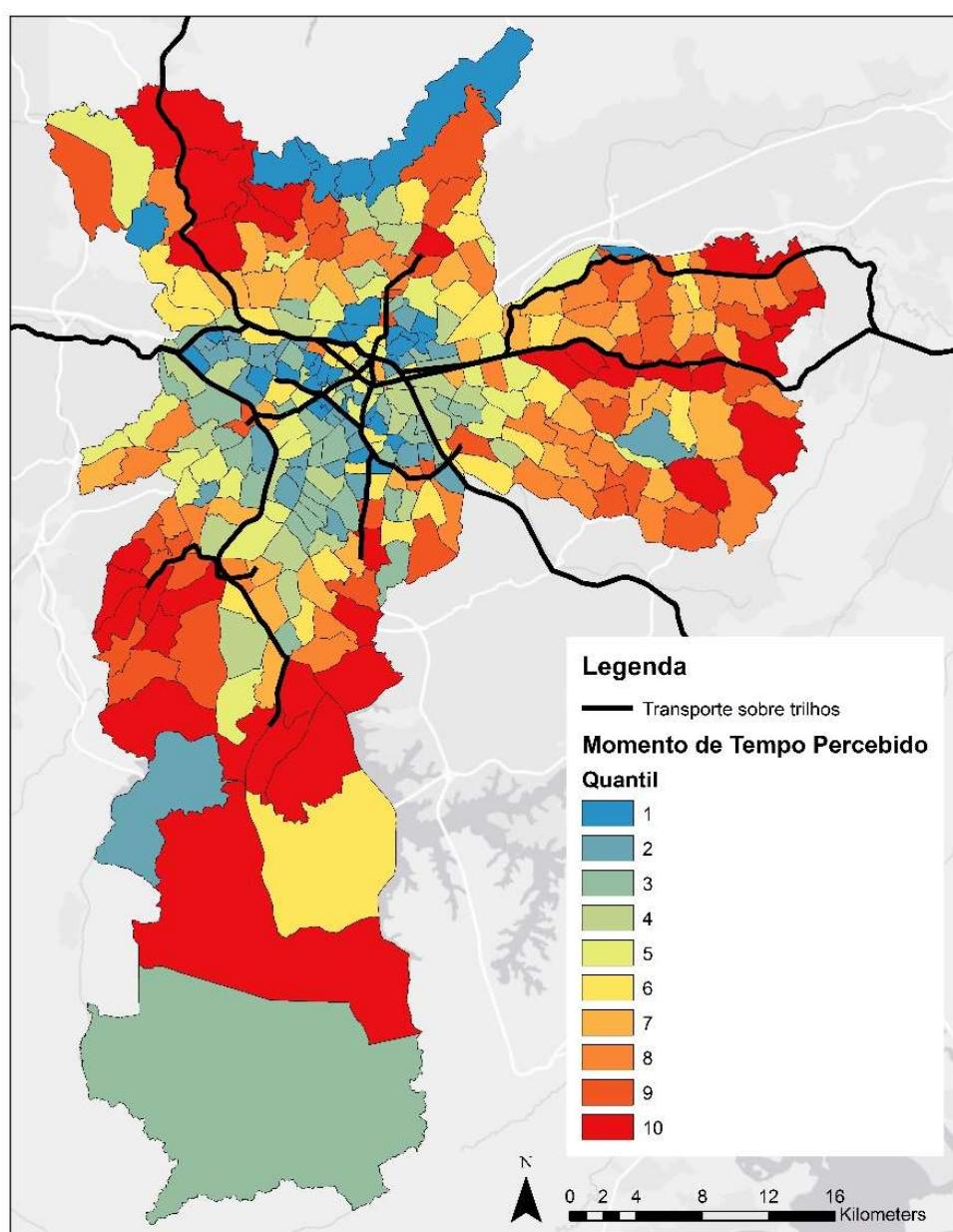
do ônibus apenas quando estão próximos da primeira transferência (estações de metrô por exemplo), pois em muitos casos o ônibus está lotado e não é possível passar o bilhete assim que entram no veículo. Como resultado, as maiores densidades ocorrem principalmente em zonas com estações da rede de transporte sobre trilhos, segundo observa-se no mapa a seguir (figura 16). Apesar dessa incerteza da origem, nota-se que as maiores densidades de bilhetagem estão em zonas periféricas do município, principalmente na zona sul, noroeste e leste. Enquanto que as zonas centrais são caracterizadas por um número menor de viagens produzidas com transporte público.



**Figura 16 - Número de viagens produzidas**

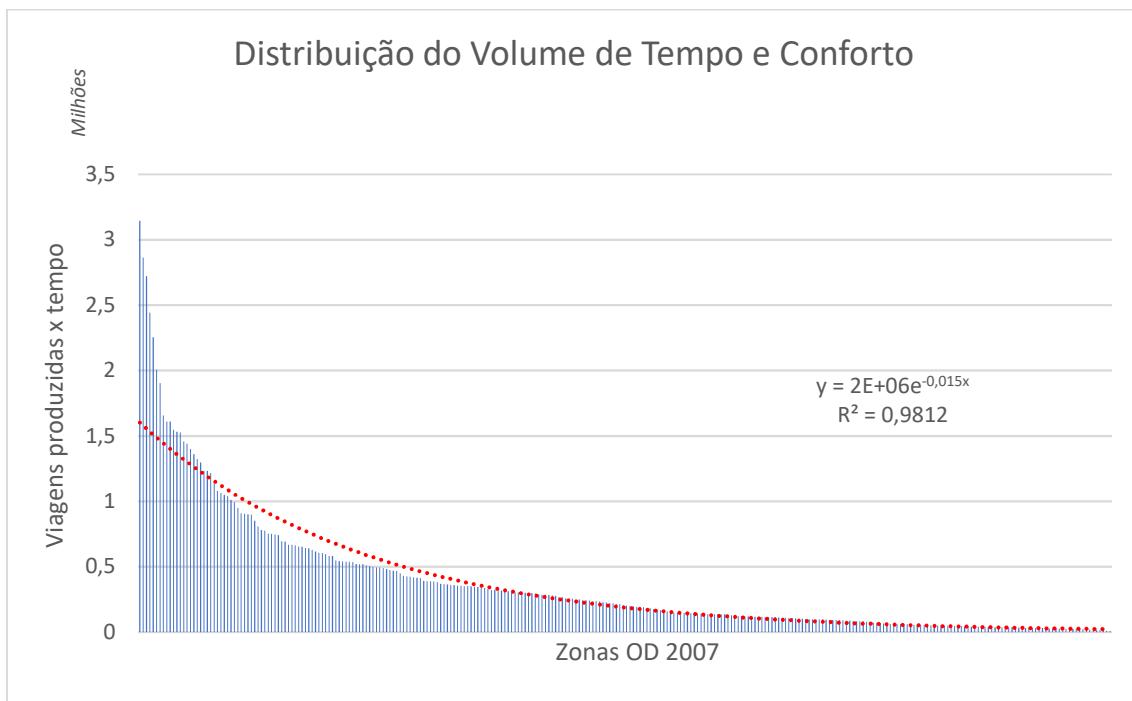
#### **4.2.6.Indicador de Volume de Tempo e Conforto (IVTC)**

O Indicador de Volume de Tempo e Conforto consiste no somatório do produto entre o número de viagens produzidas em determinada zona e seus respectivos tempos de deslocamento calculados na Rede de Transporte 3. Representa, portanto, o volume total de tempo percebido para acessar o emprego com transporte público a partir de determinada zona. A partir do mapa a seguir (figura 17) é possível observar que as zonas com maiores valores se localizam na região leste, sul e em parte do noroeste.



**Figura 17 - Indicador de Volume de Tempo e Conforto**

Apresenta-se a seguir o gráfico da distribuição do volume de tempo e conforto das zonas. Evidencia-se que um grupo pequeno de zonas é responsável por grande parte do volume total do município de São Paulo. O maior decil (representado em vermelho no mapa) corresponde a cerca de 43% do total.

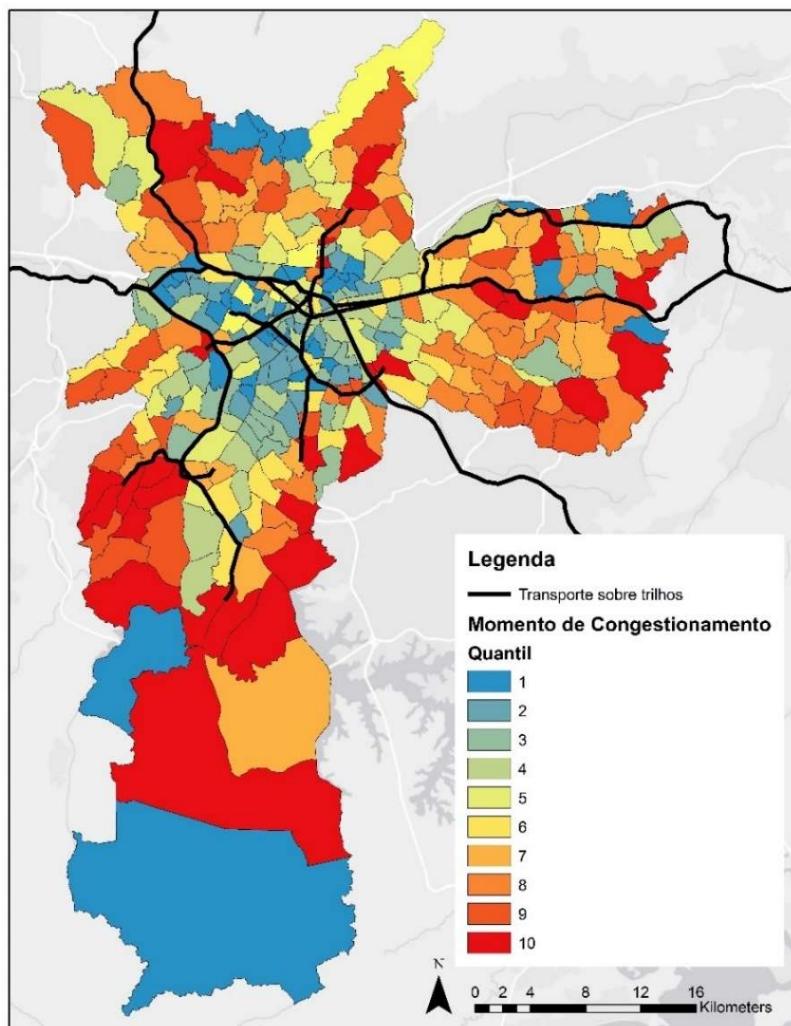


**Gráfico 1 - Distribuição do Volume de Tempo e Conforto**

Percebe-se também que quanto maior o IVTC de uma região, maior é o desperdício total de tempo para os indivíduos e maior é o custo do transporte para “compensar” a distribuição espacial desigual de oportunidades no território municipal.

#### **4.2.7. Indicador de Momento Marginal de Congestionamento (IMMC)**

O *Indicador de Momento Marginal de Congestionamento* consiste na diferença entre os momentos de tempo calculados nas redes de transporte 2 e 1. Dessa forma ele representa o volume total de tempo perdido pelos usuários de determinada zona de origem devido aos congestionamentos. Apresenta-se a seguir o mapa desse indicador (figura 18).

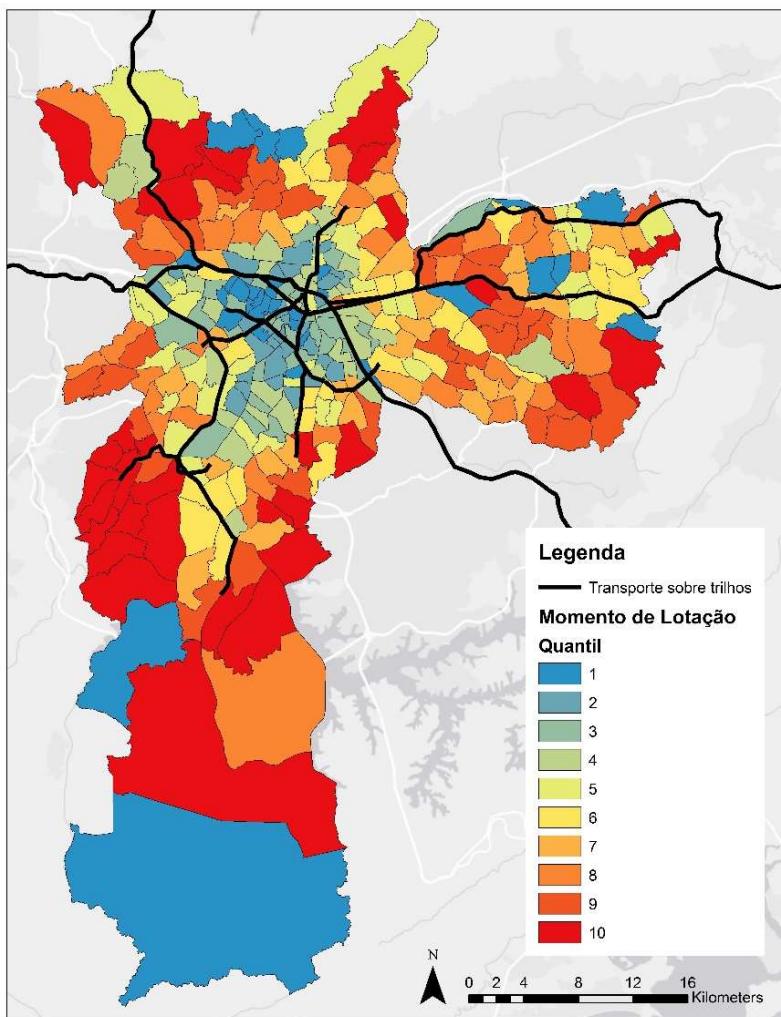


**Figura 18 - Indicador de Momento Marginal de Congestionamento**

Apesar desse indicador também representar os impactos do congestionamento nos tempos de viagem, se diferencia do *Indicador de Congestionamento* na medida em que considera o número de viagens. Assim, algumas zonas possuem um índice alto de *Congestionamento* ao mesmo tempo que um baixo índice de *Momento Marginal de Congestionamento*.

#### **4.2.8. Indicador de Momento Marginal de Lotação (IMML)**

De forma análoga, o *Indicador de Momento Marginal de Lotação* consiste na diferença entre os momentos de tempo calculados nas redes de transporte 3 e 2. Dessa forma ele representa a soma do total de tempo percebido perdido pelos usuários de determinada zona de origem devido às taxas de lotação dos veículos. Apresenta-se a seguir o mapa desse indicador (figura 19).

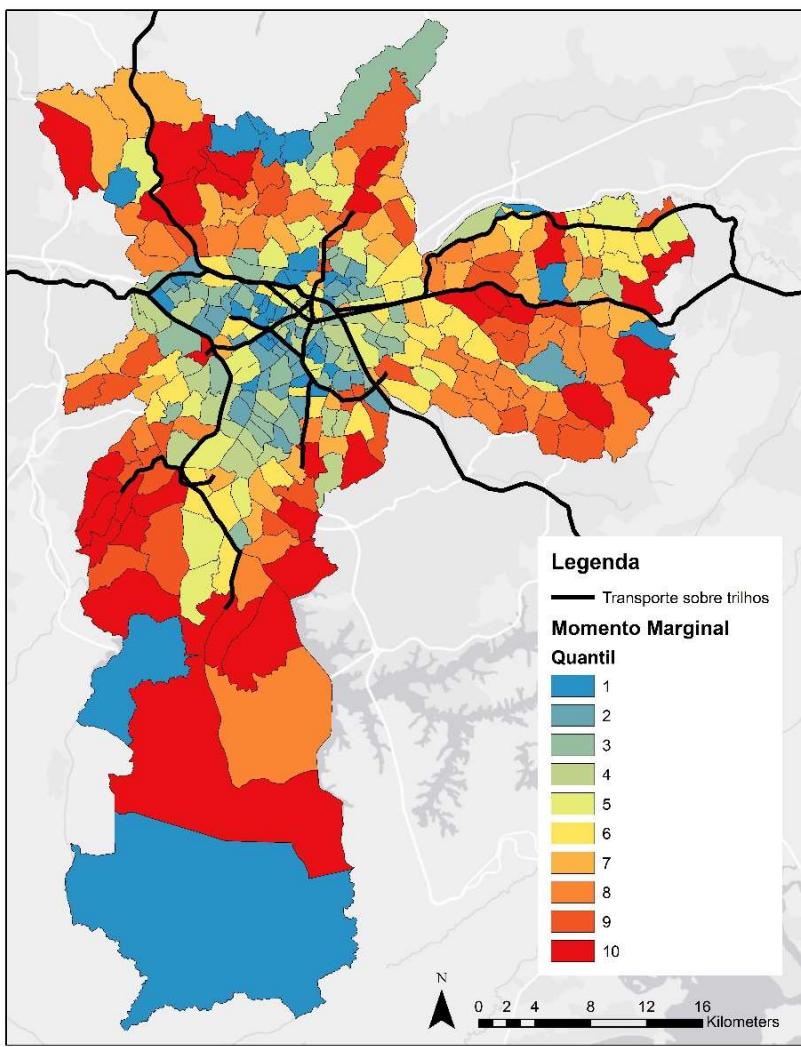


**Figura 19 - Indicador de Momento Marginal de Lotação**

Apesar desse indicador também representar os impactos das taxas de lotação nos tempos percebidos de viagem, se diferencia do *Indicador de Lotação* na medida em que considera o número de viagens. Assim, algumas zonas possuem um índice alto de *Lotação* ao mesmo tempo que um baixo índice de *Momento Marginal de Lotação*.

#### **4.2.9. Indicador de Priorização de Investimento no Transporte Público (IPITP)**

O indicador de Priorização de Investimento no Transporte Público, por sua vez, consiste na diferença entre os momentos de tempo calculados nas redes de transporte 3 e 1. Dessa forma ele representa a soma do total de tempo percebido perdido pelos usuários de determinada zona de origem *devido ao congestionamento e às taxas de lotação dos veículos*. Apresenta-se a seguir o mapa desse indicador (figura 20).



**Figura 20 - Indicador de Priorização de Investimento no Transporte Público**

Mais uma vez, apesar desse indicador também representar os impactos do congestionamento somados aos de lotação nos tempos de viagem, se diferencia do *Indicador de Congestionamento e Lotação* na medida em que considera o número de viagens. Assim, algumas zonas possuem um índice alto de *Congestionamento e Lotação*, ao mesmo tempo que um baixo índice de *Priorização de Investimento no Transporte Público*. O IPITP é um indicador de priorização de investimento no transporte público, justamente, porque identifica as zonas de origem com maiores volumes totais de tempo perdido devido aos congestionamentos e às taxas de lotação. Ambos problemas que podem ser combatidos por meio de melhorias na infraestrutura do transporte público (corredores de ônibus) e na operação (maiores frequências de veículos com tamanhos adequados para as demandas horárias).

#### 4.3. Análise da taxa de lotação horária dos ônibus

Apresentam-se a seguir mapas (figuras 21 e 22) com as taxas horárias de lotação de ônibus (sentido centro) entre às 3h00 e às 10h00, que foram calculadas conforme apresentado na seção de Materiais e Métodos.

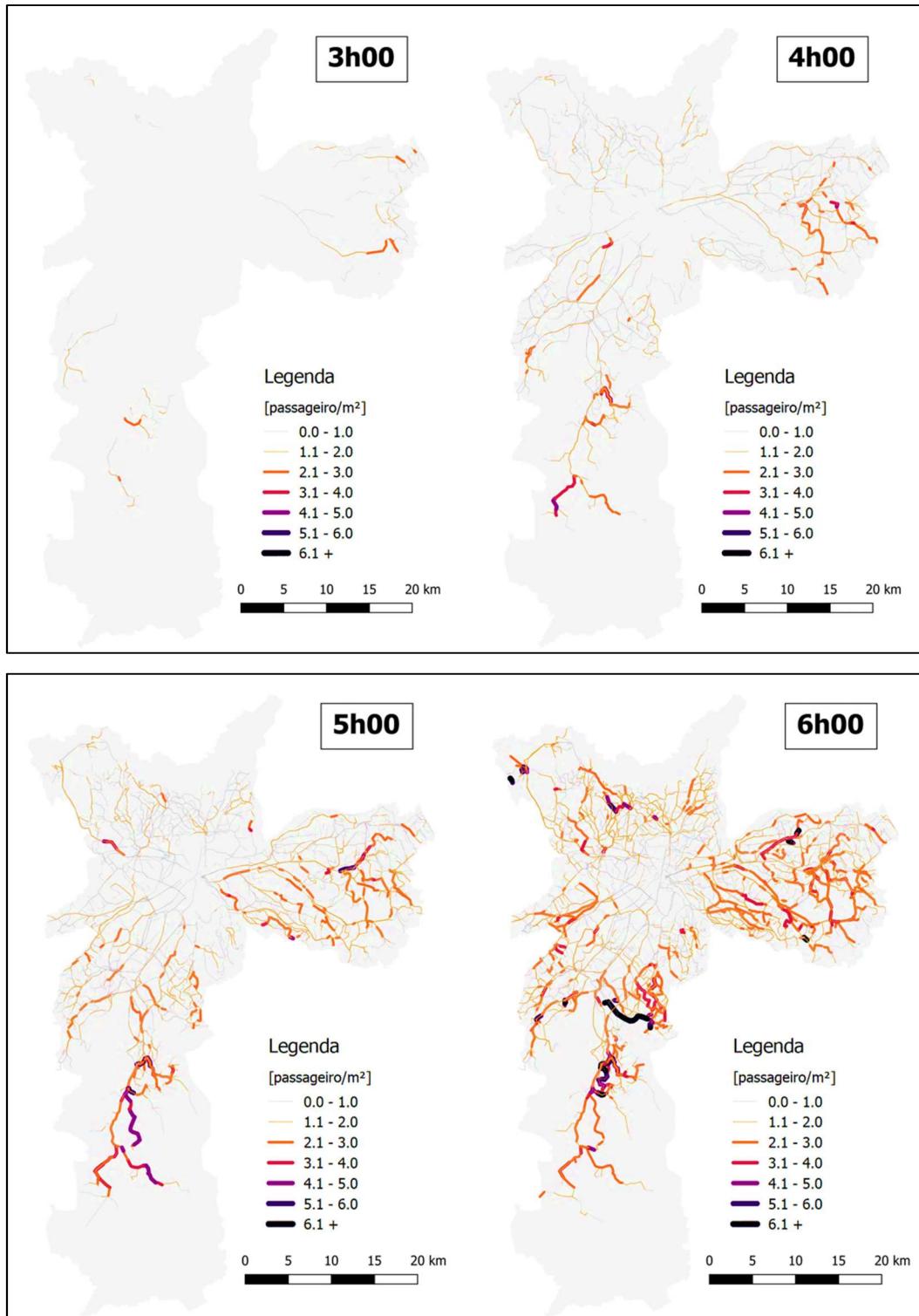
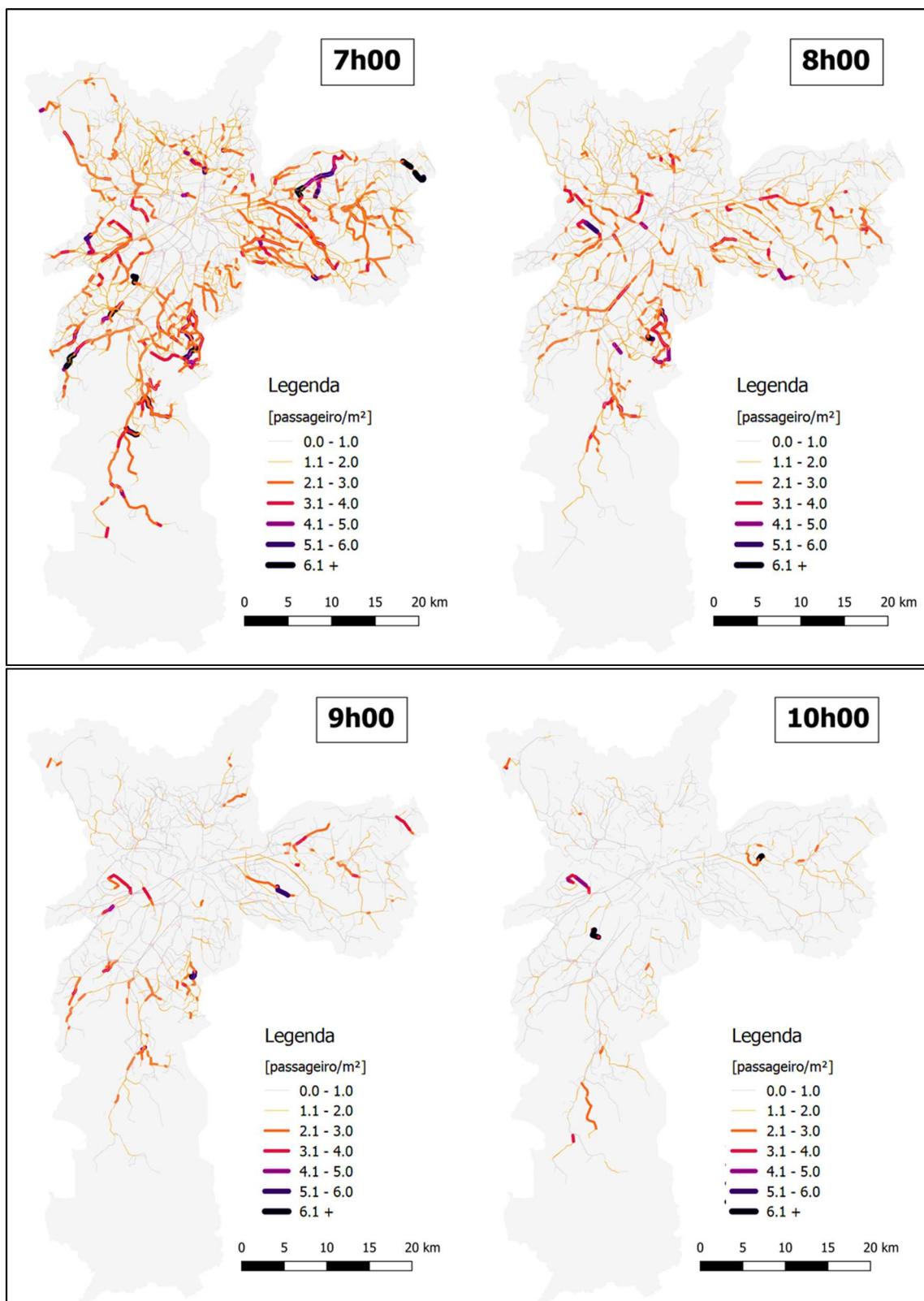


Figura 21 - Taxas de lotação das 3h00 às 6h00

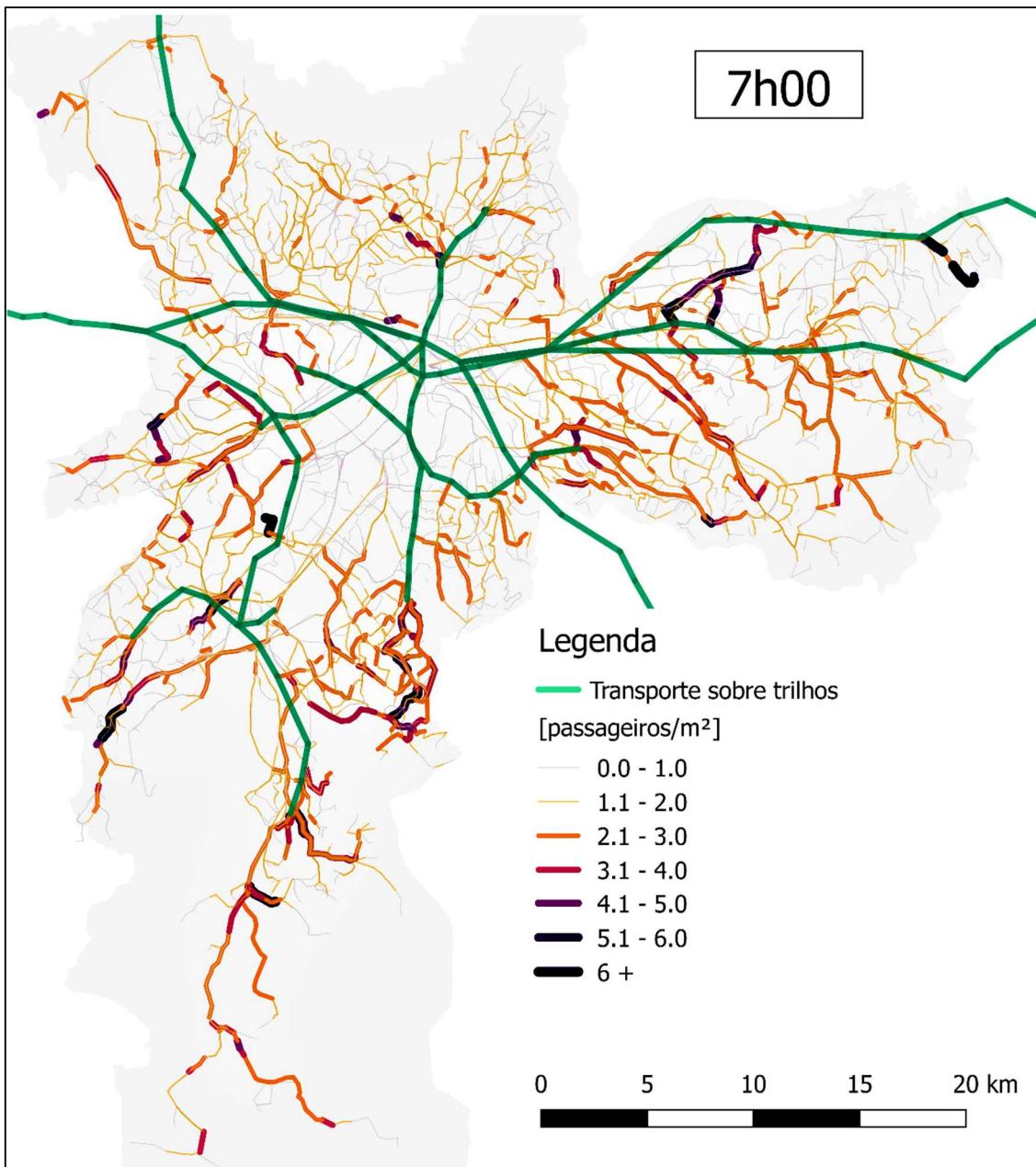


**Figura 22 - Taxas de lotação das 7h00 às 10h00**

Em primeiro lugar, percebe-se que a operação dos ônibus sentido centro inicia-se já às 3h da manhã em regiões extremas da região leste e sul. A partir daí nota-se um aumento das atividades com crescimento das taxas de lotação que já ficam mais críticas ( $\sim 5\text{pax}/\text{m}^2$ ) no extremo sul e em um trecho da região leste. Às 5h já se percebe um número maior de trechos com taxas de lotação superiores a  $5\text{pax}/\text{m}^2$  e um trecho pequeno na zona sul com taxas superiores a  $6\text{pax}/\text{m}^2$ . Evidencia-se por meio dos mapas que às 6h00 e 7h00 são os horários mais críticos no período da manhã, com um número maior de trechos com taxas de lotações acima de  $6\text{pax}/\text{m}^2$ , particularmente nas regiões que alimentam o sistema de transporte sobre trilhos na região leste e sul. A partir das 8h00, observa-se uma redução geral dos carregamentos e das taxas de lotação, que ficam significativamente reduzidas às 10h00, com poucos pontos críticos em regiões mais centrais.

Em segundo lugar, evidencia-se através dos mapas que a rede de ônibus no pico da manhã tem um caráter de alimentação da rede de transporte sobre trilhos. Isso fica claro quando se observa que as maiores taxas de lotação ocorrem no “perímetro” da parte central do município com densidades maiores de transporte sobre trilhos. Essa característica é representada por baixos carregamentos dos ônibus no interior desse “perímetro”.

Para ilustrar melhor essa estrutura do sistema de transporte público no município de São Paulo, caracterizada pela alimentação do transporte sobre trilhos a partir de linhas de ônibus, representa-se no mapa a seguir (figura 23) para o horário das 7h00 as taxas de lotação sobrepostas com a rede de transporte sobre trilhos.



**Figura 23 - Sobreposição das lotações e rede de transportes sobre trilhos**

Assim, nota-se que poucas linhas de ônibus transportam a população de regiões periféricas diretamente às regiões centrais. De modo geral, os usuários de regiões periféricas utilizam o ônibus para acessar uma estação de metrô ou trem e a partir daí continuam sua viagem para regiões mais centrais nesses transportes sobre trilhos.

## 5 CONCLUSÕES

Os indicadores propostos a partir dos dados de bilhetagem e GPS de ônibus do Município de São Paulo permitiram um diagnóstico da dinâmica do deslocamento ao trabalho e, por conseguinte, tem o potencial de servir como ferramenta de suporte às decisões de investimento no transporte público em São Paulo. Conclui-se que com os indicadores propostos foi possível identificar zonas de origem de viagens ao trabalho com altas taxas de lotação e congestionamento como Parelheiros, Cocaia, Cidade Tiradentes, Parada de Taipas, Jardim Ângela, Capão Redondo e Grajaú.

Além disso, observou-se que demanda de transporte público é caracterizada por altas densidades de bilhetagens nas regiões periféricas da cidade, que por terem um grande déficit de empregos, obrigam essas populações (majoritariamente de baixa renda) a se deslocarem em média mais de 12km e gastarem cerca de 1h20 para acessarem seus empregos em zonas mais centrais. Além disso, fica evidente que essa população é submetida a baixas condições de conforto nesses deslocamentos, devido às elevadas taxas de lotação principalmente nos períodos de pico da manhã.

Nota-se, por meio dos mapas, que os horários mais críticos no período da manhã correspondem às 6h00 e 7h00, com maior número de trechos com taxas de lotações acima de 6pax/m<sup>2</sup> particularmente nas regiões que alimentam o sistema de transporte sobre trilhos na região leste e sul. Também demonstra-se que, de modo geral, os usuários de regiões periféricas utilizam o ônibus para acessar uma estação de metrô ou trem e a partir daí continuam sua viagem para regiões mais centrais nesses transportes sobre trilhos.

Percebe-se a importância de ressaltar que o presente trabalho possui limitações por considerar apenas o município de São Paulo e não sua inserção na Região Metropolitana. Além disso, algumas de suas estimativas podem ser melhoradas como a inferência de origem e destino a partir das bilhetagens e a conversão de conforto em tempo. Esse trabalho também não incorpora as lotações e velocidades dos veículos sobre trilhos na rede de transporte proposta. Tais oportunidades de melhorias podem ser explorados em trabalhos futuros.

Apesar dessas limitações, os indicadores propostos, bem como a metodologia das redes de transporte geradas, podem auxiliar o poder público na tomada de decisões de investimentos no transporte público e, com isso, têm o potencial de contribuir para que a vida de qualidade nas cidades seja um direito universalmente garantido.

## 6 REFERÊNCIAS

- Arbex, Renato Oliveira. Projeto de Doutorado na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: Projeto de Redes Otimizadas de Serviços Expressos e Seletivos de Transporte Público Urbano com Responsividade a Novas Demandas em Tempo Real - 2015.
- Bessa, Wagner; Colli, Juliana; Wissenbach, Tomás; e Paula, Aline. 2011 - Território e desenvolvimento econômico, do Atlas Geoeconômico da Cidade, Metamorfoses Paulistanas - da prefeitura de São Paulo.
- Carvalho, C.H. Dos trilhos para o asfalto. In: Caderno 4 Mobilidade Urbana. São Paulo: Editor Globo Comunicação e Participações S.A., 2014. p. 18-25
- El-Geneidy, Ahmed M.; Levinson, David M. Access to destinations: Development of accessibility measures. 2006.
- Geurs, K.T. & van Wee, B., 2004. Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: Review and research directions. *Journal of Transport Geography*, 12(2), p.127–140.
- Handy, S. L.; Niemeier, D. A. Measuring accessibility: an exploration of issues and alternatives. In: *Environment and Planning A*, v. 29, p. 1175-1194, 1997.
- Hansen, W. How accessibility shapes land use. *Journal of the American Institute of Planners*, v. 25, n. 2, 1959, p. 73-76.
- Haroon, Deborah; Fuentes-Nieva, Ricardo; Ayele, Sophia. An Economy For the 1%: How privilege and power in the economy drive extreme inequality and how this can be stopped. 2016.
- Ingram, D. The concept of Accessibility: a search for an operational form. In: *Regional Studies*, v. 5, 1971, p. 73-76 e 101-107.
- Lucas, K., van Wee, B. & Maat, K., 2016. A method to evaluate equitable accessibility: combining ethical theories and accessibility-based approaches. *Transportation*, 43(3), p.473–490.
- Meyer, Grostein e Biderman, 2004, São Paulo Metrópole, Edusp.

Neutens, T. et al., 2010. Equity of urban service delivery: A comparison of different accessibility measures. Environment and Planning A, 42(7), p.1613–1635.

SHM - Secretaria de Habitação Municipal - HABISP, Desafio habitacional de São Paulo, agosto de 2014, - internet <[http://www.habisp.inf.br/theke/documentos/cmh/SEHAB\\_2014\\_CMH.pdf](http://www.habisp.inf.br/theke/documentos/cmh/SEHAB_2014_CMH.pdf)> acessado em 10/14

UN-HABITAT, 2016. Habitat Iii Zero Draft of the New Urban Agenda. , 2016(May), p.22. Available at: <https://www.habitat3.org/bitcache/3d1efc3b20a4f563ce673671f83ea0f76726c10?vid=578792&disposition=inline&op=view>.

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2014).

United Nations, World Health Organization. Disponível em <[http://www.who.int/gho/mortality\\_burden\\_disease/life\\_tables/situation\\_trends/en/](http://www.who.int/gho/mortality_burden_disease/life_tables/situation_trends/en/)> Acesso em: 19 out. 2016.

WHELAN, Gerard Andrew; CROCKETT, Jon. An investigation of the willingness to pay to reduce rail overcrowding. In: International Choice Modelling Conference 2009. 2009.

## 7 ANEXOS

### 7.1. Manual do Open Trip Planner

## Basic Usage of OpenTripPlanner

This page will get you up and running with your own OTP server. If all goes well it should only take a few minutes!

### Get OTP

OpenTripPlanner is written in Java and distributed as a single runnable JAR file. These JARs are deployed to the Maven Central repository. Go to the OTP directory at Maven Central, navigate to the directory for the highest version number, and download the file whose name ends with `.shaded.jar`. You may also want to get your own copy of the OTP source code and [build a bleeding edge development JAR from scratch](#), especially if you plan to do some development yourself.

### Get some data

First you'll need GTFS data to build a transit network. Transport agencies throughout the world provide GTFS schedules to the public. [GTFS data exchange](#) is an archive of feeds, Google maintains a [list of some public feeds](#) and [this site](#) also provides an extensive catalog. You'll usually want to fetch the data directly from transit operators or agencies to be sure you have the most up-to-date version. If you know of a feed you want to work with, download it and put it in an empty directory you have created for your OTP instance such as `/home/username/otp` on Linux, `/Users/username/otp` on OSX, or `C:\Users\username\otp` on Windows. The file's name must end in `.zip` for OTP to detect it. If you don't have a particular feed in mind, the one for Portland, Oregon's [TriMet agency](#) is a good option. This is a moderate-sized input of good quality (Portland's TriMet agency initiated OTP development and helped develop the GTFS format).

```
$ cd /home/username  
$ mkdir otp  
$ cd otp  
$ wget "http://developer.trimet.org/schedule/gtfs.zip" -O trimet.gtfs.zip
```

You'll also need OpenStreetMap data to build a road network for walking, cycling, and driving. OpenStreetMap is a global database that rivals or surpasses the quality of commercial maps in many locations. Several services extract smaller geographic regions from this database. A collection of continually updated [Metro Extracts](#) for urban areas around the world was originally compiled by Michal Migurski and now maintained by Mapzen. [Geofabrik](#) provides extracts for larger areas like countries or states, from which you can prepare your own smaller bounding-box extracts using [Osmosis](#) or [osmconvert](#). OSM data can be delivered as XML or in the more compact binary PBF format. OpenTripPlanner can consume both, but we always work with PBF since it's smaller and faster.

Download OSM PBF data for the same geographic region as your GTFS feed. If you are using the TriMet feed, the [metro extract for Portland](#) will do the job. Place this PBF file in the same directory you created for the OSM data.

```
$ cd /home/username/otp  
$ wget https://s3.amazonaws.com/metro-extracts.mapzen.com/portland_oregon.osm.pbf
```

## Start up OTP

As a Java program OTP must be run under a Java virtual machine (JVM), which is provided as part of the Java runtime (JRE) or Java development kit (JDK). Run `java -version` to check that you have version 1.8 or newer of the JVM installed. If you do not you will need to install a recent OpenJDK or Oracle Java package for your operating system.

GTFS and OSM data sets are often very large, and OTP is relatively memory-hungry. You will need at least 1GB of memory when working with the Portland TriMet data set, and several gigabytes for larger inputs. A typical command to start OTP looks like

`java -Xmx1G -jar otp-0.19.0-shaded.jar <options>`. The `-Xmx` parameter sets the limit on how much memory OTP is allowed to consume. If you have sufficient memory in your computer, set this to a couple of gigabytes; when OTP doesn't have enough "breathing room" it can grind to a halt.

It's possible to analyze the GTFS, OSM and any other input data and save the resulting representation of the transit network (what we call a '[graph](#)') to disk. For simplicity we'll skip saving this file and start up an OTP server immediately after the graph is built. The command to do so is:

```
java -Xmx2G -jar otp-0.19.0-shaded.jar --build /home/username/otp --inMemory
```

where `/home/username/otp` should be the directory where you put your input files. The graph build operation should take about one minute to complete, and then you'll see a `Grizzly server running` message. At this point you can open <http://localhost:8080> in a web browser. Remember to use the `--analyst` flag to start the program if you wish to use the Analyst extension. You should be presented with a web client that will interact with your local OpenTripPlanner instance. You can also try out some web service URLs to explore the transit data:

- [A list of all routers](#)
- [List all GTFS routes on the default router](#)
- [All stops on TriMet route 52](#)
- [All routes passing through TriMet stop 7003](#)
- [All unique sequences of stops on the TriMet Green rail line](#)

## 7.2. Manual da Matriz OD no Open Trip Planner

30/10/2017 GitHub • rafapereirabr/otp-travel-time-matrix: Build a Travel Time matrix using OpenTripPlanner (Reproducible Example)

[rafapereirabr / otp-travel-time-matrix](#)

Join GitHub today

Dismiss

GitHub is home to over 20 million developers working together to host and review code, manage projects, and build software together.

[Sign up](#)

Build a Travel Time matrix using OpenTripPlanner (Reproducible Example)

33 commits	1 branch	0 releases	2 contributors
<a href="#">Branch: master</a> <a href="#">New pull request</a>			
<a href="#">rafapereirabr Update python_script_loopHM.py</a>			Latest commit <a href="#">e0518e1</a> on 22 Jul
<a href="#">.gitignore</a>	update		11 months ago
<a href="#">README.md</a>	Update README.md		2 years ago
<a href="#">gtfs_Portland.zip</a>	upload file		2 years ago
<a href="#">otp-0.19.0-SNAPSHOT-shaded.jar</a>	update		11 months ago
<a href="#">points.csv</a>	Make the demo work by adjusting script and points.		2 years ago
<a href="#">portland_oregon.osm.pbf</a>	Open Street Map file		2 years ago
<a href="#">python_script.py</a>	Update python_script.py		3 months ago
<a href="#">python_script_loopHM.py</a>	Update python_script_loopHM.py		3 months ago
<a href="#">-Sthon_gt_Portland.docx</a>	update		11 months ago
<a href="#">README.md</a>			

### otp-travel-time-matrix

This repository aims to provide a reproducible example of how to build an Origin-Destination travel time matrix using OpenTripPlanner (OTP) and Python. The Python scripts presented here still can be much improved and it would be great to have your contributions, specially if you have ideas on how to improve the speed/efficiency of the code, or include a progress bar etc !

#### Input

- An Open Street Map of the region in .osm format
- GTFS dataset
- The OTP java application .jar file
- Jython standalone application .jar file
- A .csv file with long lat of the points
- A Python script

#### Output

- A .csv file with the travel time between pairs of points. It looks something like this:

GEOID	GEOID	travel_time
1	1	68
1	2	861
1	3	2234
2	1	861
2	2	42

<https://github.com/rafapereirabr/otp-travel-time-matrix>

1/2

2	3	3832
3	1	2235
3	2	3848
3	3	92

### This repository should help you build a travel time matrix in 4 simple steps

Step 1: Install Python 2.7 in your computer

[Here](#) you find the executable jar for installing Python

Step 2: Download files to your folder

Most of the files you need are in this repository already. The other files you can download from here:

- [python-standalone.jar](#)
- [otp-0.19.0-SNAPSHOT-shaded.jar](#)
- [portland\\_oregon.osm.pbf](#)

Step 3: Build Graph.obj

Open your Command Prompt and run this line to set the directory where you've saved the files

```
cd C:\Users\rafa\Desktop\otp-travel-time-matrix
```

Now run this line to build the Graph.obj

```
java -Xmx10G -jar otp-0.19.0-SNAPSHOT-shaded.jar --cache C:\Users\rafa\Desktop\otp-travel-time-matrix --basePath C:\Users\rafa\Desktop\otp-travel-time-matrix --build C:\Users\rafa\Desktop\otp-travel-time-matrix
```

Step 4: Run the Python script

Two options here:

4.1 A simple script like `python_script.py` will return a travel time matrix for one single departing time (e.g. at 10:00:00 on 15-November-2015)

```
c:\python2.7.8\bin\python.exe -J=XX:-UseGCOverheadLimit -J=Xmx10G -Dpython.path=otp-0.19.0-SNAPSHOT-shaded.jar python_script.py
```

4.2 Another option is to use a script like `python_script_loophole.py`, which will create a different travel time matrix departing every ten minutes, say between 10am and 6pm, and save each matrix in a separate .csv file

```
c:\python2.7.8\bin\python.exe -J=XX:-UseGCOverheadLimit -J=Xmx10G -Dpython.path=otp-0.19.0-SNAPSHOT-shaded.jar python_script_loophole.py
```

This code is inspired by [@laurentg's code](#) but it tries to achieve a different output, providing a travel time matrix. @laurentg has also made important contributions to this repository, to which I am grateful.

More information about how to automate OTP [here](#).

### 7.3. Script no Prompt de Comando

\*Script 1

```
java -jar otp-1.2.0-shaded.jar --build /C:/Users/pedro/otp --inMemory
```

```
java -jar otp-1.2.0-shaded.jar --build /C:/Users/pedro/otp --inMemory --analyst
```

\*Visualizar

<http://localhost:8080/>

\*Site de Referência

<https://github.com/rafapereirabr/otp-travel-time-matrix>

\*Passo a passo para gerar matriz de origem e destino

Gerar o Graph:

```
java -Xmx10G -jar otp-1.2.0-shaded.jar --cache C:/Users/pedro/otp --basePath  
C:/Users/pedro/otp --build C:/Users/pedro/otp
```

Gerar Matriz OD:

```
C:\Users\pedro\jython2.7.0\bin\jython.exe -J-XX:-UseGCOverheadLimit -J-  
Xmx10G -Dpython.path=otp-1.2.0-shaded.jar matriz.py
```

## 7.4. Script Python

```
#!/usr/bin/jython

from org.opentripplanner.scripting.api import OtpsEntryPoint

# Instantiate an OtpsEntryPoint
otp = OtpsEntryPoint.fromArgs(["--graphs", "C:/Users/pedro/otp", "--router", "sao-paulo_brazil"])

# Start timing the code
import time
start_time = time.time()

# Get the default router
# Could also be called: router = otp.getRouter('paris')
router = otp.getRouter('sao-paulo_brazil')

# Create a default request for a given time
req = otp.createRequest()
req.setDateTime(2017, 10, 06, 10, 30, 00)
req.setMaxTimeSec(20000)
req.setModes('WALK,BUS,RAIL')

# The file points.csv contains the columns GEOID, X and Y.
points = otp.loadCSVPopulation('points.csv', 'Y', 'X')
dests = otp.loadCSVPopulation('points.csv', 'Y', 'X')

# Create a CSV output
matrixCsv = otp.createCSVOutput()
matrixCsv.setHeader([ 'Origin', 'Destination', 'Walk_distance', 'Travel_time' ])

# Start Loop
```

```

for origin in points:
    print "Processing origin: ", origin
    req.setOrigin(origin)
    spt = router.plan(req)
    if spt is None: continue

    # Evaluate the SPT for all points
    result = spt.eval(dests)

    # Add a new row of result in the CSV output
    for r in result:
        matrixCsv.addRow([
            origin.getStringData('GEOID'),
            r.getIndividual().getStringData('GEOID'), r.getWalkDistance(), r.getTime()])

    # Save the result
    matrixCsv.save('traveltime_matrix.csv')

    # Stop timing the code
    print("Elapsed time was %g seconds" % (time.time() - start_time))

```