

**DANIEL MENDONÇA DUARTE**

**Aplicação e levantamento do livre caminho médio em redes do sistema viário urbano**

**São Paulo  
2017**

**DANIEL MENDONÇA DUARTE**

**Aplicação e levantamento do livre caminho médio em redes do sistema viário urbano**

**Projeto de Formatura apresentado à  
Escola Politécnica da Universidade de  
São Paulo**

**Área de Concentração:  
Engenharia Civil**

**Orientador: Prof. Dr. Flávio Guilherme  
Vaz de Almeida Filho**

**São Paulo  
2017**

### Catálogo-na-publicação

Duarte, Daniel Mendonça

Aplicação e levantamento do livre caminho médio em redes do sistema viário urbano / D. M. Duarte -- São Paulo, 2017.  
88 p.

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

1.Transporte urbano 2.Redes urbanas 3.Teoria cinética dos gases  
4.Tráfego rodoviário 5.Engenharia de tráfego I.Universidade de São Paulo.  
Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Transportes II.t.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Flávio Guilherme Vaz de Almeida Filho, por ter me apresentado à ideia que deu origem a este trabalho, e pelos incentivos e pela grande orientação em torno do projeto, com grande paciência em todos os momentos.

Ao Prof. Dr. Cláudio Barbieri e à Mestranda Júlia Amaral, que aceitaram participar da banca examinadora deste trabalho, mesmo em meio a tantos outros compromissos.

Aos meus colegas de turma, que dividiram as cargas e me ajudaram ao longo de todas as etapas vividas na universidade.

À minha família, meus pais, por todo o apoio dado durante todos esses anos na graduação, por terem apoiado a minha vinda a São Paulo, e ter-me dado a oportunidade de estudar, ainda que com muitos obstáculos pelo caminho.

Aos meus amigos, por terem me apoiado durante todos os momentos, e que foram e continuam sendo parte de minha família.

Finalmente, ao Departamento de Engenharia de Transportes (PTR) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, que conseguiu manter a minha paixão pela Engenharia.

“Procurar significa: ter uma meta. Mas achar significa: estar livre, abrir-se a tudo, não ter meta alguma. Pode ser que tu, ó venerável, sejas realmente um buscador, já que, no afã de te aproximares da tua meta, não enxergas certas coisas que se encontram bem perto dos teus olhos.”

**Hermann Hesse**

## RESUMO

Somente na cidade de São Paulo, o custo causado pelo congestionamento, que gira em torno de R\$ 40 bilhões por ano (FGV, 2014), supera o montante destinado a setores como o da educação ou mesmo o de transportes. Somando-se a isso a previsão de que a quantidade de veículos circulantes na capital paulista cresce mais rápido do que a população da cidade (DETRAN-SP, 2017), que já conta com mais de 21 milhões de habitantes, atenta-se para a urgência de medidas que melhorem a fluidez do tráfego na região. Em vista disso, numa perspectiva associada a conformações de redes, este trabalho tem como objetivo levantar uma metodologia para o cálculo e a investigação de aplicações de um parâmetro utilizado na Física, denominado por livre caminho médio, em um contexto aplicado ao sistema viário urbano. Os resultados obtidos demonstram ser viável a criação de um método classificatório de padrões de rede em regiões urbanas, baseado somente no livre caminho médio e no seu coeficiente de variação de Pearson. O método proposto foi aplicado em quatro regiões da cidade de São Paulo. Nessas localidades, foram coletados os dados necessários para o cômputo do livre caminho médio e outras variáveis julgadas interessantes para o desenvolvimento deste trabalho (e.g., o fator de linearidade, ou *circuity*). As ferramentas utilizadas para o traçado de rotas e para a delimitação de regiões foram, respectivamente, as APIs da Google e o QuantumGIS. Para cada área escolhida, foram definidas 60 viagens aleatórias, e, então, processaram-se os dados. Por fim, foi realizada uma análise sobre os resultados, obtendo-se o grau de correlação do livre caminho médio com o fator de linearidade, e um método para a estimativa dos tempos de viagem a partir de parâmetros associados aos ao livre caminho médio e ao fator de linearidade.

**Palavras-chave:** Transporte urbano. Rede viária. Livre caminho médio. Fator de linearidade. Tempos de viagem.

## ABSTRACT

According to a study done by FGV, the cost of congestion to São Paulo's economy was R\$40 billion per year in 2014, a value higher than the investments directed to the Education and, also, to the Transportation bureau. Adding this to the forecast of faster rise in a growth of the car fleet even higher than the population growth rate (there are more than 21 million people living in São Paulo) (DETRAN-SP, 2017), it must be developed ways to improve the traffic flow in the city roads. Based on this, in a perspective directed to networks conformations, the goal of this report is to assemble methods to compute and to investigate applications of a parameter used in Physics, known as the mean free path, adapted to urban transit settings. The results have shown the viability to obtain a general classification method of urban traffic network patterns, based only in the mean free path and its coefficient of variation. The proposed method has been applied in four regions of the city of São Paulo, and, in each location, it has been collected the required data to compute the mean free path and other parameters (e.g., circuitry) that were judged fundamental to substantiate this matter. The tools used to map the routes and to delineate the regions were the Google's APIs and QuantumGIS. For each chosen area, it has been defined 60 random routes and then the data has been processed. Finally, it has been done an analysis over the results, giving the correlation of the mean free path and the circuitry, also, it has been created a method to estimate the route duration between two given points using only parameters associated with the mean free path and the circuitry of the region analyzed.

**Keywords:** Urban transports. Urban transit networks. Mean free path. Circuitry. Route duration.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2.1 – Representação esquemática de colisões de partículas no interior de um gás ..... | 15 |
| Figura 2.2 – Distância euclidiana e distância em rede .....                                  | 17 |
| Figura 2.3 – Exemplo de um padrão de quadras .....                                           | 19 |
| Figura 2.4 – “Impressões digitais” de Tóquio e Nova Iorque .....                             | 20 |
| Figura 2.5 – Os diferentes grupos de quadras observados.....                                 | 21 |
| Figura 2.6 – Interseção de 4 ramos.....                                                      | 22 |
| Figura 2.7 – Interconexão do tipo diamante simples. ....                                     | 25 |
| Figura 2.8 – Interconexões do tipo trombeta.....                                             | 25 |
| Figura 3.1 – Rota exemplo em região próxima à avenida Paulista (São Paulo – SP)....          | 29 |
| Figura 3.2 – Região B .....                                                                  | 33 |
| Figura 3.3 – Regiões escolhidas para análise do livre caminho médio. ....                    | 34 |
| Figura 3.4 – Distribuição de pontos na região B.....                                         | 36 |
| Figura 3.5 – Exemplo de rota com dimensão insuficiente .....                                 | 37 |
| Figura 3.6 – Exemplo de rota com dimensão adequada .....                                     | 37 |
| Figura 3.7 – Distribuição de pontos aleatórios pela região B .....                           | 42 |
| Figura 3.8 – Exemplo de rota na região B .....                                               | 43 |
| Figura 3.9 – Polilinha de uma rota na região B .....                                         | 43 |
| Figura 3.10 – Detalhe da polilinha.....                                                      | 44 |
| Figura 3.11 – Polilinha densificada de uma rota na região B .....                            | 45 |
| Figura 3.12 – Detalhe da polilinha densificada.....                                          | 45 |
| Figura 3.13 – Interseções obtidas por análise de extremidades de vias .....                  | 47 |
| Figura 3.14 – Detalhe das interseções obtidos pela análise de extremidade de vias ....       | 47 |
| Figura 3.15 – Interseções obtidas por função da GeoNames .....                               | 48 |

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 3.16 – Detalhe das interseções obtidas por função da GeoNames .....       | 49 |
| Figura 3.17 – Interseções obtidas pela junção dos dois métodos .....             | 50 |
| Figura 3.18 – Detalhe das interseções obtidas pela junção dos dois métodos ..... | 50 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 3.1 – Perfil das áreas das quadras na Região B.....                                                | 33 |
| Gráfico 3.2 – Distribuição das áreas das quadras nas regiões escolhidas. ....                              | 35 |
| Gráfico 4.1 – Classificação das regiões quanto ao livre caminho médio e o seu coeficiente de variação..... | 56 |
| Gráfico 4.2 – Livre Caminho Médio x Fator de Linearidade .....                                             | 59 |
| Gráfico 4.3 – Desvio-Padrão do Livre Caminho Médio x Fator de Linearidade.....                             | 59 |
| Gráfico 4.4 – Coeficiente de Variação de Pearson x Fator de Linearidade.....                               | 60 |
| Gráfico 4.5 – Tempos estimados na região A .....                                                           | 63 |
| Gráfico 4.6 – Tempos estimados na região B .....                                                           | 63 |
| Gráfico 4.7 – Tempos estimados na região C .....                                                           | 64 |
| Gráfico 4.8 – Tempos estimados na região D .....                                                           | 64 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 3.1 – Coordenadas das interseções e os comprimentos de cada trecho referentes a 5 rotas na região B.....         | 40 |
| Tabela 4.1 – Parâmetros de 20 viagens na região B .....                                                                 | 53 |
| Tabela 4.2 – Coordenadas das interseções e os comprimentos de cada trecho referentes à rota 0 da região B, tipo 1 ..... | 54 |
| Tabela 4.3 – Rotas na região B e seus respectivos Fatores de Linearidade. ....                                          | 58 |
| Tabela 4.4 – Dados obtidos para cada região.....                                                                        | 58 |
| Tabela 4.6 – Velocidades livres médias em cada região .....                                                             | 61 |
| Tabela 4.7 – Tempo médio por trecho .....                                                                               | 61 |
| Tabela 4.8 – Fator de correção dos tempos de viagem .....                                                               | 62 |
| Tabela 4.9 – Exemplos de estimativas na região B.....                                                                   | 62 |
| Tabela 4.10 – Fator de correlação para cada região.....                                                                 | 65 |

## SUMÁRIO

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| 1 INTRODUÇÃO .....                                               | 9  |
| 1.1 Contexto .....                                               | 9  |
| 1.2 Justificativa .....                                          | 11 |
| 1.3 Objetivo.....                                                | 12 |
| 1.4 Escopo .....                                                 | 12 |
| 1.5 Estrutura do trabalho .....                                  | 13 |
| 2 REVISÃO DA LITERATURA .....                                    | 14 |
| 2.1 Teoria cinética dos gases.....                               | 14 |
| 2.1.1 Livre caminho médio .....                                  | 14 |
| 2.1.2 Seção de choque .....                                      | 15 |
| 2.2 Fator de linearidade ( <i>circuitry</i> ) .....              | 16 |
| 2.3 Fator de forma aplicado a quadras .....                      | 18 |
| 2.4 Interseções em vias .....                                    | 22 |
| 2.4.1 Conflitos em interseções .....                             | 22 |
| 2.4.2 Controles de tráfego em interseções .....                  | 23 |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS.....                                       | 26 |
| 3.1 Contextualização do livre caminho médio à malha viária ..... | 26 |
| 3.1.1 Interseções em rede.....                                   | 26 |
| 3.1.2 Livre caminho médio em rede .....                          | 28 |
| 3.1.3 Velocidade livre média .....                               | 29 |
| 3.2 Delimitação das áreas de estudo.....                         | 31 |
| 3.3 Distribuição das viagens .....                               | 35 |
| 3.3.1 Informações sobre as viagens .....                         | 38 |
| 3.3.1.1 Tempos de viagem .....                                   | 38 |

|         |                                                                                   |    |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3.1.2 | Interseções ao longo das viagens .....                                            | 39 |
| 3.3.1.3 | Comprimentos dos trechos .....                                                    | 40 |
| 3.4     | Método computacional para obtenção de rotas .....                                 | 41 |
| 3.4.1   | Criação de viagens aleatórias e tempos de viagem .....                            | 41 |
| 3.4.2   | Otimização de polilinhas .....                                                    | 42 |
| 3.4.3   | Obtenção de interseções na rota .....                                             | 46 |
| 3.4.3.1 | Interseção por análise de extremidades de vias .....                              | 46 |
| 3.4.3.2 | Interseção por função “Find Nearest Intersection” de biblioteca da GeoNames ..... | 48 |
| 3.4.3.3 | União das interseções coletadas .....                                             | 49 |
| 3.4.4   | Adição de interseções às polilinhas .....                                         | 51 |
| 3.4.5   | Processamento do livre caminho médio e demais parâmetros .....                    | 51 |
| 3.4.6   | Verificação das interseções que têm semáforos .....                               | 51 |
| 3.5     | Estimativa dos tempos de viagem entre pontos origem-destino .....                 | 51 |
| 4       | RESULTADOS .....                                                                  | 53 |
| 4.1     | Delimitação dos parâmetros de classificação das regiões .....                     | 53 |
| 4.2     | Livre caminho médio e fator de linearidade .....                                  | 57 |
| 4.3     | Estimativa do tempo de viagem entre dois pontos .....                             | 61 |
| 5       | CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....                                                  | 66 |
| 5.1     | Introdução .....                                                                  | 66 |
| 5.2     | Conclusões .....                                                                  | 67 |
| 5.2.1   | Livre caminho médio e o seu coeficiente de variação .....                         | 67 |
| 5.2.2   | Correlação com o fator de linearidade .....                                       | 68 |
| 5.2.3   | Estimativa do tempo de viagem entre dois pontos .....                             | 69 |
| 5.2.4   | Erros obtidos .....                                                               | 70 |

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| 5.3 Recomendações e considerações finais..... | 70 |
| ANEXO .....                                   | 73 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....              | 88 |

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contexto

O aumento da capacidade de processamento de dados tem diminuído as barreiras para um avanço na compreensão do comportamento das variáveis que atuam no funcionamento das cidades. Esse avanço, fruto de diversos estudos, tem permitido compreender os fenômenos urbanos sob uma nova perspectiva. A aplicação desses estudos relaciona-se com as diversas áreas da Engenharia, incrementando o ferramental utilizado por gestores públicos, operadores logísticos e de tráfego, e por todos os demais agentes que fazem uso do espaço urbano. Em uma perspectiva singular, pode-se esquematizar a cidade focando-se em sua rede viária. Essa representação, além de capturar grande parte das informações sobre a estrutura e organização do espaço urbano, permite uma análise dos padrões que influem no dinamismo da cidade.

A classificação de cidades, ou suas divisões, em função da representação da rede viária (onde as vias são os trechos de ligação entre os nós e, estes, as interseções das vias) demanda não somente relações topológicas, mas associações geométricas que definam as condições de forma e posicionamento de cada elemento na rede. Há, portanto, um grau de complexidade na concepção de um modelo adequado às condições do sistema viário. Por isso, existem diversas aproximações diferentes, cada uma buscando alguma simplificação em vista do objeto específico de estudo. Entre essas diferentes esquematizações, uma abordagem interessante pode ser alterar o enfoque do arruamento para as quadras, por exemplo. Ao se utilizar o fator de forma e a área das quadras, é possível conferir uma “impressão digital” à cidade (ou às suas estruturas menores: distritos, bairros, etc.), e criar um sistema tipológico com diferentes grupos urbanos (LOUF; BARTHÉLEMY, 2017).

Em contrapartida, numa perspectiva focada para o arruamento, pode ser relevante observar a variação do fator de linearidade (*circuitry*), relação entre a distância em rede e a distância euclidiana (em linha reta) entre dois pontos distintos. No contexto de uma cidade, esse parâmetro tem demonstrado importante valor para a compreensão

de dados comportamentais de usuários dos sistemas de transporte, sendo relacionado a escolhas entre modais diferentes (público ou privado) (LEVINSON; HUANG, 2015). Outra perspectiva alude ao conceito de centralidade dos nós da rede. Em um ensaio utilizando espaços de uma milha quadrada, foram verificados alguns padrões de centralidade para cidades com graus de “planejamento” distintos (CRUCITTI; LATORA; PORTA, 2006). A constatação desses padrões demonstra enorme potencial para uma grande diversidade de aplicações no âmbito da organização e da estruturação urbana.

Num termo mais abrangente, propõe-se uma medida que complemente os estudos e contribua para o que pode ser chamado de “ciência das cidades”. Em uma alusão à Teoria Cinética dos Gases e à Mecânica Estatística, o livre caminho médio (ou percurso livre médio) mostra-se um parâmetro em potencial para a compreensão de fenômenos urbanos que envolvem o sistema viário. Na esfera da Física, um problema típico consiste em analisar o movimento de uma partícula do gás ao entrar em choque com outras. Dessa maneira, pode-se pensar em associar uma viagem origem-destino (OD) de um veículo qualquer – “partícula” estudada – com as interferências causadas pelas interseções – “partículas” com as quais a partícula estudada colide – por meio dos preceitos teóricos propostos na Teoria Cinética dos Gases, e adaptados para o macro ambiente da rede viária.

A pesquisa em relação à modelagem do fluxo de tráfego começou quando Lighthill e Whitham (1955) apresentaram um modelo baseado na analogia entre veículos (em fluxo de tráfego) e partículas em um fluido (HOOGENDORN; BOVY, 2001). Portanto, a ideia de estabelecer modelos que associem o fluxo veicular ao comportamento de partículas no interior de um gás não é inovadora. Em geral, as formas de modelagem que abordam uma comparação, em qualquer grau, com a teoria gás-cinética costumam descrever um nível de detalhe médio, isto é, os comportamentos dos veículos e dos condutores não são separados (considerados distintos) ou descritos individualmente, e sim de uma forma associada – com o uso de funções que descrevem distribuições de probabilidade, por exemplo. No entanto, as regras que definem o comportamento são descritas a um grau individual. A esse nível de detalhamento, os modelos são definidos por mesoscópicos (HOOGENDORN; BOVY, 2001).

Um dos primeiros exemplos de um modelo mesoscópico que descreve o tráfego por meio de comparações a gases é o modelo gás-cinético contínuo de Prigogine e Herman (1971). Nesse estudo, são realizadas analogias ao comportamento gasoso, podendo ser citada a comparação feita entre o fenômeno da convecção e o movimento veicular. Outros modelos com a mesma abordagem foram surgindo ao longo do tempo, como o modelo gás-cinético de Paveri-Fontana (1975), cada um acrescentando ou refutando ideias propostas nos modelos anteriores. Das pesquisas mais recentes de alguns estudiosos que se debruçaram sobre elaborações mais ostensivas acerca dos modelos gás-cinéticos de tráfego, podem ser citadas as que foram realizadas por Helbing (1997) e Hoogendoorn (2001). Portanto, em função do extenso trabalho já realizado em cima dessa analogia, propõe-se partir para uma análise sob outra perspectiva, que busque não criar um novo modelo, mas sim fornecer parâmetros que sirvam para dar auxílio ao planejamento e à operação do sistema viário de maneira rápida e eficiente.

## **1.2 Justificativa**

Com mais de 12% da população mundial residindo em megacidades (ONU, 2014), a mobilidade urbana é pauta de extrema urgência na busca por otimização do espaço urbano, e influi diretamente na qualidade de vida dos habitantes dos grandes centros.

São Paulo ocupa a 12<sup>a</sup> posição no ranking das cidades mais populosas do mundo, com 21,2 milhões de habitantes e mais de 8,4 milhões de veículos, e ainda cabe destacar que o crescimento de veículos é maior que o de habitantes (Detran-SP, 2017). Na capital paulista, estima-se o prejuízo causado pelos gastos ocasionados por congestionamentos em cerca de R\$ 40 bilhões por ano (FGV, 2014). Isso, para se ter dimensão do problema existente, representa cerca de 7,5% do Produto Interno Bruto (PIB) da cidade, quantia que supera o investimento em transportes e educação, por exemplo.

Nesse sentido, é importante fomentar estudos que propiciem uma otimização do tráfego e um melhor entendimento no contexto dos sistemas de transportes nas

grandes cidades. Ter São Paulo como alicerce da investigação não significa que o estudo se restrinja a um caso particular. O contexto da ciência desenvolvida pode ser global e aplicável, com suas particularidades específicas, a outros centros urbanos, colaborando para a discussão global sobre as melhores condições operacionais nas cidades.

### **1.3 Objetivo**

O objetivo deste trabalho é, primeiramente, propor um critério de classificação de padrões de redes viárias urbanas por intermédio do cálculo do livre caminho médio, um índice comumente utilizado em mecânica estatística e teoria cinética dos gases. Essa visão parte da tentativa de compreender e aprender novas maneiras de se estudar a distribuição e organização das viagens veiculares, realizadas em centros urbanos, a fim de se dispor de ferramentas que contribuam para uma melhora na qualidade dos serviços prestados à sociedade.

Almeja-se, também, contribuir para a criação de um modelo de análise e previsão de variáveis que envolvem os sistemas de transporte, por meio da associação desse parâmetro (livre caminho médio) a medidas de simples obtenção (e.g., tempos de viagens, dimensões espaciais das vias), e a outros parâmetros, com foco para o fator de linearidade. Em vista disso, procura-se, também, discutir possibilidades de aplicação dos resultados obtidos no âmbito da Engenharia de Transportes.

### **1.4 Escopo**

A vinculação deste trabalho à Teoria Cinética dos Gases é, em verdade, uma analogia ao sistema proposto. Não há, portanto, correlação ou correspondências equivalentes às conceituações desenvolvidas a nível de partículas. Isto posto, parte-se de uma ideia em que se mostra interessante atribuir um nível de “impedância” às interseções na rede, o que se assemelharia, em algum nível de abstração, ao contexto de colisões entre partículas.

A analogia entre o percurso de uma partícula no interior de um gás e o de um veículo numa rede viária surge na medida em que todo tipo de interseção em rede determina um entrave ao livre fluxo veicular. Portanto, ao se cruzar uma avenida em que haja fluxo conflitante, é verificado um impedimento que induz o veículo a reduzir sua velocidade.

Além disso, atenta-se de imediato para as interferências causadas pelas interações entre os próprios veículos, em condições de alto fluxo veicular nas vias (fluxos próximos às capacidades das vias). Portanto, nesse ponto há um distanciamento da realidade obtida pela analogia realizada, já que na teoria gás-cinética verifica-se grande dispersão de partículas (i.e., distâncias entre partículas são muito maiores que as dimensões das próprias partículas).

Destarte, almeja-se proporcionar um método que seja coerente com os objetivos propostos no item 1.4.

## **1.5 Estrutura do trabalho**

O Capítulo 2 compreende a revisão bibliográfica envolvendo o tema, com início em uma simples abordagem da Teoria Cinética dos Gases (seção 2.1) e passando pela conceituação de parâmetros de caracterização de redes (seções 2.2 a 2.4). Imediatamente após, é introduzida a dinâmica de interseções em vias urbanas (seção 2.5), definindo os alicerces para a aplicação da metodologia.

Em seguida, o capítulo 3 resume a metodologia utilizada para o cálculo do livre caminho médio aplicado ao contexto macroscópico de redes viárias urbanas. Para isso, fornece, também, a forma de amostragem para a aplicação do método.

O Capítulo 4 reúne todo o resultado obtido pelo processo de aplicação do método descrito no capítulo 3. A ordem é definida de maneira a retratar a lógica de aplicação da metodologia.

Por fim, o Capítulo 5 demonstra o pensamento do autor a respeito dos resultados obtidos e propostas de aplicação dos mesmos. Há, também, sugestões para uma abordagem futura e a proposição de uma implementação do que já foi realizado.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

A proposta deste capítulo reside em selecionar o conteúdo relevante para o embasamento e a compreensão do tema abordado, valendo-se da metodologia proposta no Capítulo 3. A construção do texto busca uma aproximação do assunto através da enumeração de tópicos interessantes aos objetivos propostos, e de conceitos envolvendo a temática que circunda o sistema viário e suas relações com o ambiente urbano, de maneira a proporcionar uma familiarização com o método aplicado.

### 2.1 Teoria cinética dos gases

#### 2.1.1 Livre caminho médio

Um modo de descrever as colisões moleculares em um gás é considerar quanto a partícula se desloca entre as colisões. Ao se considerar um tempo médio entre choques  $\tau$ , e que as moléculas têm uma velocidade média  $v$ , pode-se esperar que a distância média entre as colisões  $\bar{d}$  seja simplesmente o produto de  $\tau$  por  $v$ . A essa distância, dá-se o nome de “livre caminho médio” (FEYNMAN, 1964):

$$\text{Livre caminho médio } \bar{d} = \tau v$$

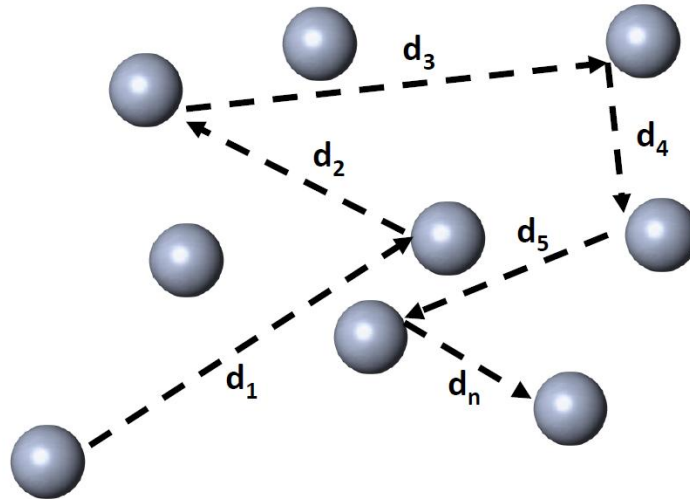
1)

Para um gás ideal, com partículas de mesma dimensão, o parâmetro pode ser indicado, portanto, como a relação entre o comprimento total da trajetória  $D$  e o número de colisões no período descrito  $n$ .

$$\bar{d} = \frac{D}{n} = \frac{\sum_1^n d_i}{n}$$

2)

**Figura 2.1 – Representação esquemática de colisões de partículas no interior de um gás**



Fonte: elaborado pelo autor (2017).

No entanto, a distância média que uma partícula percorre antes de colidir com outra – o livre caminho médio – depende não somente da quantidade de partículas envolvidas, mas também das dimensões das mesmas. Ao tamanho efetivo do alvo de colisão será denominado o termo “seção de choque”.

Em resumo, o livre caminho médio denota a distância média entre partículas no interior de um gás. O mesmo pode ser pensado para quaisquer sistemas de partículas, sendo o livre caminho médio, portanto, um recurso passível de ser utilizado em diversas áreas de aplicação.

### 2.1.2 Seção de choque

Considerando uma partícula em movimento que percorre uma distância  $dx$ , em um gás que possui  $n_0$  moléculas por unidade de volume, haverá  $n_0 dx$  moléculas em cada unidade de área perpendicular à direção do movimento da partícula analisada. Se cada uma delas possuir uma área efetiva de colisão (ou, como é usualmente chamada, seção de choque) igual a  $\sigma_c$ , então a área total varrida pelas partículas será igual a  $\sigma_c n_0 dx$ . É fácil deduzir que este valor é igual à probabilidade de colisão quando uma partícula percorre uma distância  $dx$  (FEYNMAN, 1964).

$$\text{Chance de colisão em } dx = \sigma_c n_0 dx$$

3)

Por seção de choque, refere-se à área na qual o centro da partícula em estudo deve estar localizado para que haja uma colisão com uma molécula em particular. Representando cada molécula como uma pequena esfera, espera-se que:

$$\sigma_c = \pi(r_1^2 + r_2^2)$$

4)

Onde  $r_1$  e  $r_2$  são os raios dos dois objetos em colisão. Ao se percorrer uma distância  $dx$ , a chance de colisão será de  $\frac{dx}{\bar{d}}$ . Portanto, da equação 3, pode-se relacionar o livre caminho médio com a seção de choque da seguinte maneira:

$$\frac{1}{\bar{d}} = \sigma_c n_0$$

5)

Essa fórmula pode ser interpretada considerando-se que deveria haver uma colisão, em média, quando a partícula percorre a distância  $\bar{d}$  na qual as moléculas dispersas poderiam cobrir a área total.

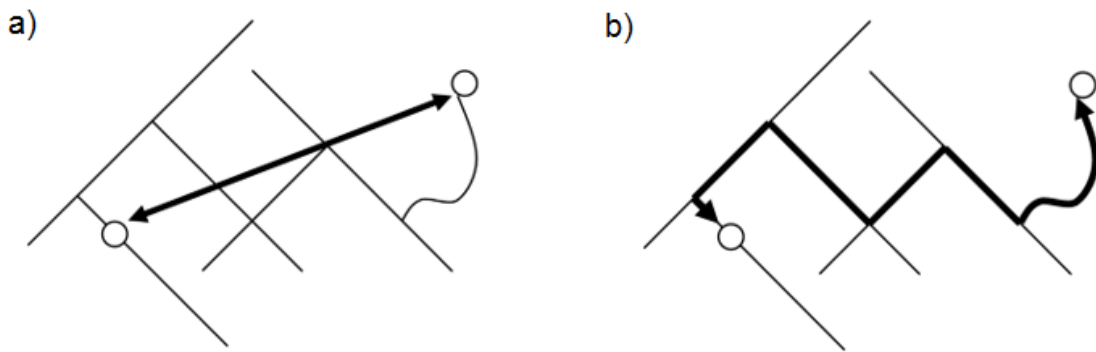
## 2.2 Fator de linearidade (*circuitry*)

O fator de linearidade é definido como a relação entre o menor caminho na rede (Figura 2.2.a), dado pela somatória das distâncias  $l$  dos trechos que o compõem e a distância euclidiana (Figura 2.2.b) entre o par origem-destino (LEVINSON; EL-GENEIDY, 2009; BARTHÉLEMY, 2011). Desse modo, para uma viagem com origem  $i$  e destino  $j$ , o fator de linearidade que a define é calculado da seguinte forma:

$$C_{ij} = \frac{D_{ij}^n}{D_{ij}^e} \quad 6)$$

Onde  $C_{ij}$  é o fator de linearidade (*circuity*) de um trajeto com origem  $i$  e destino  $j$  (i.e., um par OD);  $D_{ij}^n$  denota a distância euclidiana e  $D_{ij}^e$  indica o menor caminho possível entre a origem  $i$  e o destino  $j$  na rede. Por conseguinte, o menor valor do fator de linearidade é unitário, ou seja, quando o menor caminho em rede é igual à distância euclidiana. A média dos fatores de linearidade de todas as viagens pode ser usada para se ter uma noção da performance global da rede (VRAGOVIC; LOUIS; DIAZ-GUILERA, 2005). Quanto menor o valor do fator de linearidade, mais eficiente é a rede.

**Figura 2.2 – Distância euclidiana e distância em rede**



Legenda: a) distância euclidiana; b) distância em rede  
Fonte: Levinson (2009, p. 732)

Para o cálculo da distância euclidiana, obtendo-se as coordenadas de latitude e longitude dos dois pontos escolhidos, é possível utilizar a fórmula de Haversine, dada pela equação 7.

$$\frac{D_{ij}^e}{R} = \text{acos} \left( \cos(90 - \text{lat}_i) \times \cos(90 - \text{lat}_j) + \sin(90 - \text{lat}_i) \right. \quad 7)$$

$$\left. \times \sin(90 - \text{lat}_j) \times \cos(\text{long}_i - \text{long}_j) \right)$$

Onde  $R$  é o raio da Terra (aproximadamente 6371 km) e  $lat_i$  e  $long_i$  são as coordenadas (latitude e longitude, respectivamente) do ponto  $i$ .

### 2.3 Fator de forma aplicado a quadras

Um importante e simples parâmetro para analisar a distribuição de diferentes conformações de quadras em uma região é o fator de forma  $\phi$ . Em uma perspectiva ajustada para a observação focada em quarteirões, esse atributo é definido pela relação entre a área do polígono que representa a quadra e a área do círculo que o circunscreve (HAGGETT, 1966).

$$\phi = \frac{A}{A_c} \quad 8)$$

O formato não é dado diretamente ao se dispor do valor do fator de forma. No entanto, essa medida fornece uma percepção da regularidade dos polígonos que representam a configuração da quadra (LOUF; BARTHELEMY 2017), considerando que as que são mais regulares tendem a apresentar fatores de forma mais próximos do valor unitário. É importante notar que o máximo valor do fator de forma é necessariamente igual a um, isto é, o polígono não pode apresentar área maior que o seu círculo circunscrito. Na Figura 2.3, é observado um padrão consideravelmente irregular de formas. O aspecto visual também é um parâmetro que fornece uma percepção da irregularidade do polígono.

**Figura 2.3 – Exemplo de um padrão de quadras**



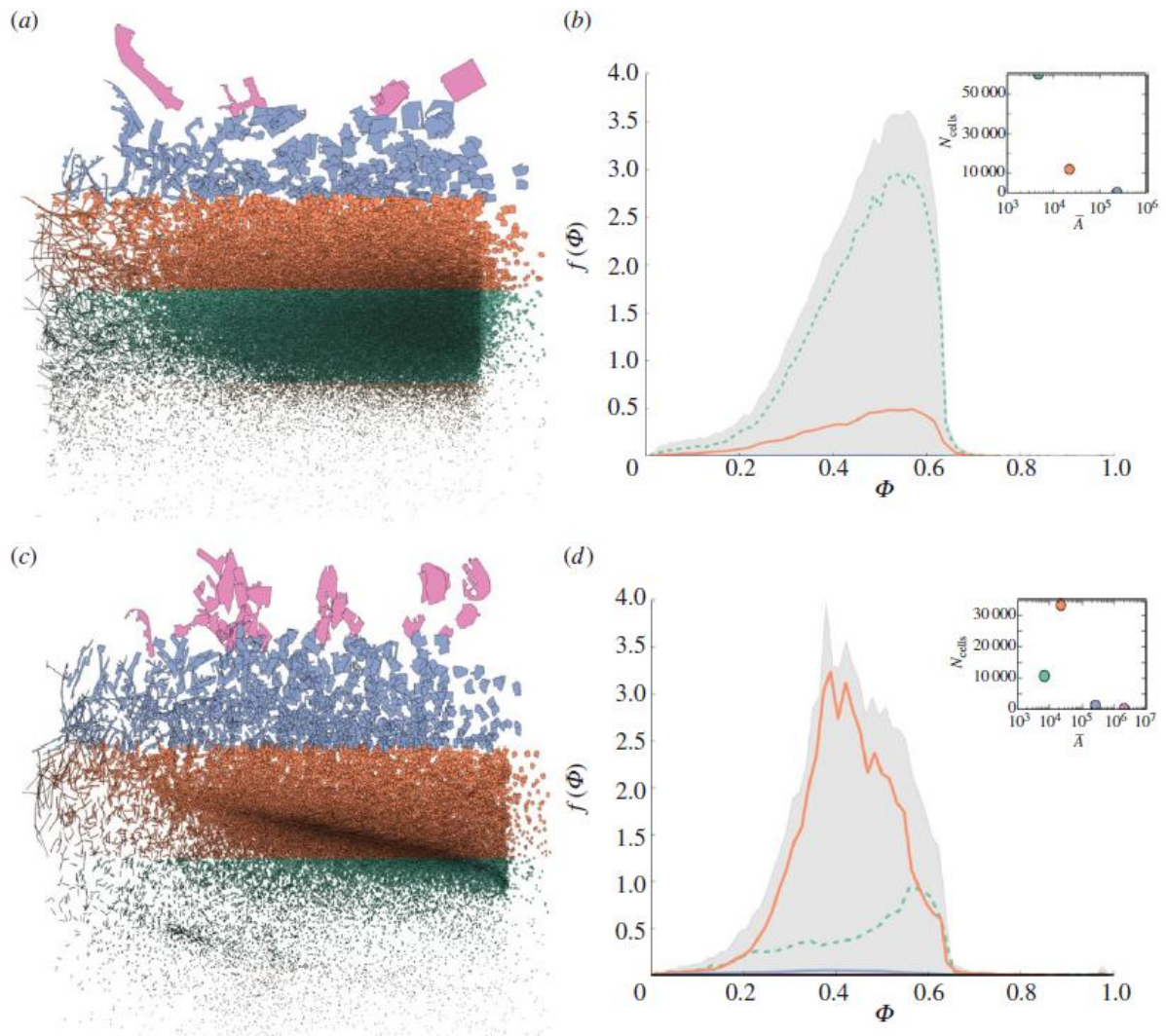
Legenda: Exemplo de um padrão de quadras retirado das vizinhanças de Shibuya em Tóquio, onde em (a) tem-se a distribuição das vias, e, em (b), a perspectiva focada às quadras. Nota-se que a representação dos blocos não leva em conta ruas sem saída.

Fonte: Louf e Barthelemy (2017, p. 2).

Embora possa haver uma assimilação de diferentes padrões de regularidade, o fator de escala fica indefinido. Para tanto, é necessário associar a área de cada polígono ao seu fator de forma, a fim de se obter uma noção mais específica dessa distribuição (LOUF; BARTHELEMY 2017).

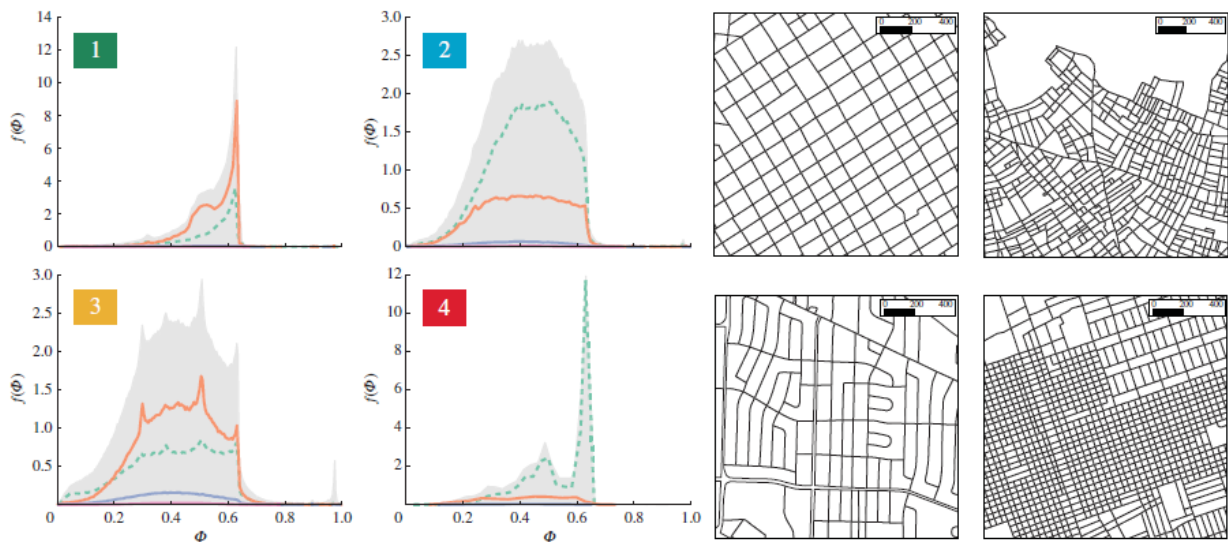
Dessa maneira, alocando os polígonos em um gráfico com os valores dos seus respectivos fatores de forma  $\phi$  (no eixo das abscissas) e de áreas (no eixo das ordenadas), obtém-se uma distribuição que permite compor uma impressão digital à cidade. Outra visualização interessante é a de um gráfico que associe o fator de forma a uma função  $f(\phi)$  que representa a probabilidade de que se tenha um determinado valor de fator de forma, dada uma área  $A$ .

Figura 2.4 – “Impressões digitais” de Tóquio e Nova Iorque



Legenda: Tóquio: a, b; Nova Iorque: c, d.  
 Fonte: Louf e Barthelemy (2017, p. 4).

**Figura 2.5 – Os diferentes grupos de quadras observados.**



Fonte: Louf e Barthelemy (2017, p. 4)

É possível identificar quatro categorias distintas de cidades, que são interpretadas em termos de abundância de quadras com um formato específico (fator de forma) e em termos de tamanhos (áreas) das mesmas (LOUF; BARTHELEMY, 2017).

No primeiro grupo (compreende somente a cidade de Buenos Aires, de todas as analisadas), percebe-se uma predominância de quadras de tamanho mediano, com formas quadradas e de retângulos regulares.

O segundo grupo (Atenas é um representante) compreende diversos formatos de blocos, com a grande maioria possuindo dimensões pequenas.

No terceiro, representado na figura 2.5 por Nova Orleans, nos Estados Unidos, há uma similaridade em relação ao segundo grupo no que toca a distribuição dos formatos dos blocos, porém com uma predominância de tamanhos medianos.

Por fim, no quarto grupo, há, basicamente, a presença de quadras pequenas e de formato regular. Em geral, os blocos são compostos por quadrados ou pequenos retângulos regulares.

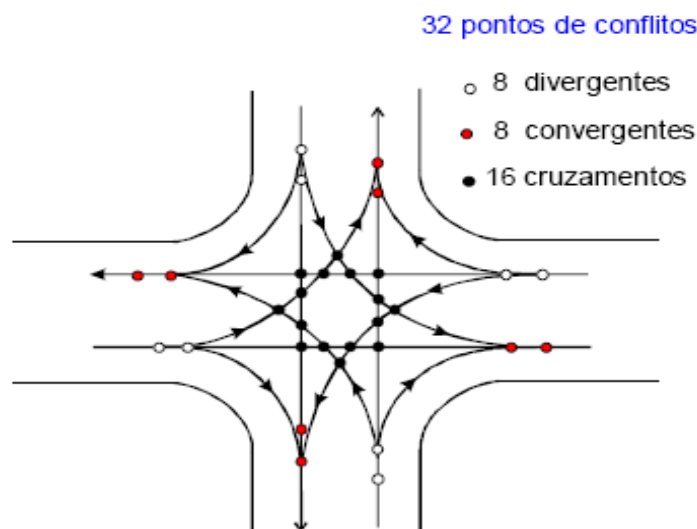
## 2.4 Interseções em vias

Entende-se por interseção como uma área dividida por duas ou mais vias. São os locais onde normalmente estão presentes os fatores que causam interrupções e que podem dominar as condições de tráfego a montante das vias. Em geral, o fluxo veicular depende diretamente do nível de performance das interseções, nível esse que acaba por influir, também, na capacidade das vias.

### 2.4.1 Conflitos em interseções

Considera-se que há conflito quando dois ou mais veículos procuram ocupar o mesmo espaço da via num mesmo instante. Os conflitos são distintos para tipos diferentes de interseções, e esses podem ser classificados mediante variados aspectos. Por exemplo, pode haver distinção quanto à relevância – em função dos volumes de tráfego nos movimentos conflitantes (capacidade e desempenho dependem de brechas adequadas no fluxo conflitante) –, quanto à periculosidade – em detrimento da intervisibilidade entre os movimentos conflitantes e da velocidade relativa de impacto (VRI) –, dentre outros aspectos que podem diferenciar os conflitos em algum grau.

**Figura 2.6 – Interseção de 4 ramos.**



Fonte: <<https://goo.gl/Skwksg>> Acesso em: 15/10/2017.

Para uma interseção típica de 4 ramos como a da figura 2.6, observa-se um total de 32 conflitos diferentes. Para que esses conflitos sejam resolvidos, torna-se essencial o uso de instrumentos para controle de tráfego, em particular, nas interseções.

#### *2.4.2 Controles de tráfego em interseções*

Basicamente, há 3 tipos de controle de tráfego em interseções: (1) sem sinalização de preferência, (2) com sinalização de prioridade e (3) com sinalização semafórica. As 3 estão destacadas a seguir:

- Sem sinalização de preferência

As regras gerais de prioridade sem sinalização regulamentadora podem variar conforme o local. No Brasil e nos EUA, a prioridade é do fluxo vindo da face interna (lado interno, oposto à posição do motorista no veículo). Já no Reino Unido e na Austrália, essa prioridade é para o fluxo vindo da face externa. Além disso, quem muda para a via deve dar prioridade aos demais fluxos e quem entra em rodovias ou rotatórias também (CTB/1997<sup>1</sup>). Existem, ainda, outras situações que podem gerar dúvida ou ambiguidade, ao menos sob um ponto de vista legal (e.g., conversões para a direita e para a esquerda opostas).

- Com sinalização de prioridade

No caso das interseções com sinalização de prioridade, somente o fluxo secundário é interrompido, portanto o fluxo principal é contínuo. Diferentemente da situação em que não há sinalização, evento no qual ocorrem 2 tipos de movimentos (permitidos e proibidos), para as ocasiões onde há sinalização de prioridade, existem 3 tipos. Os movimentos principais que têm preferência no uso da via, os secundários que devem dar preferência ao fluxo principal, e, por fim, os proibidos, que não podem ser realizados.

---

<sup>1</sup> Código de Trânsito Brasileiro.

- Com sinalização semafórica

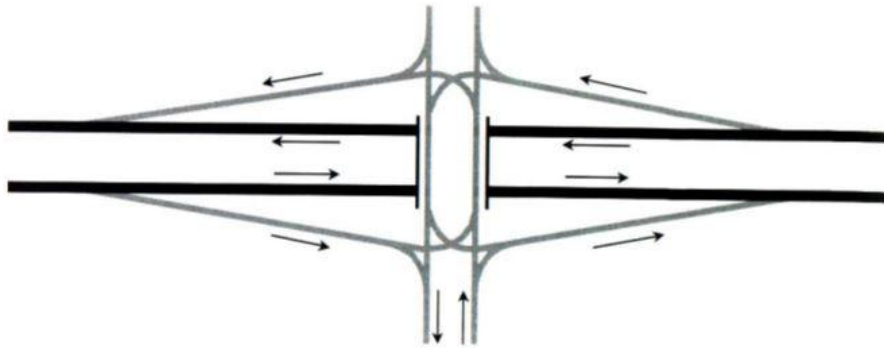
O uso de semáforo tem como objetivos reduzir os conflitos por divisão no tempo, diminuir o número de acidentes e reduzir os atrasos para fluxos secundários. Também acaba por economizar policiamento em períodos normais. É justificável utilizar esse tipo de controle quando há:

- a) movimentos conflitantes com um volume grande de veículos;
- b) interseções complexas com grande número de conflitos;
- c) índice de acidentes elevado;
- d) implantação de movimento progressivo;
- e) movimentos conflitantes com grande volume de pedestres;
- f) necessidade de controle de áreas congestionadas
- g) situações locais do ambiente não favoráveis ou perigosas (e.g., visibilidade)

Nesse caso existem 3 tipos de movimentos: protegidos, permitidos e proibidos, que, durante a operação do semáforo, são definidos pela indicação luminosa.

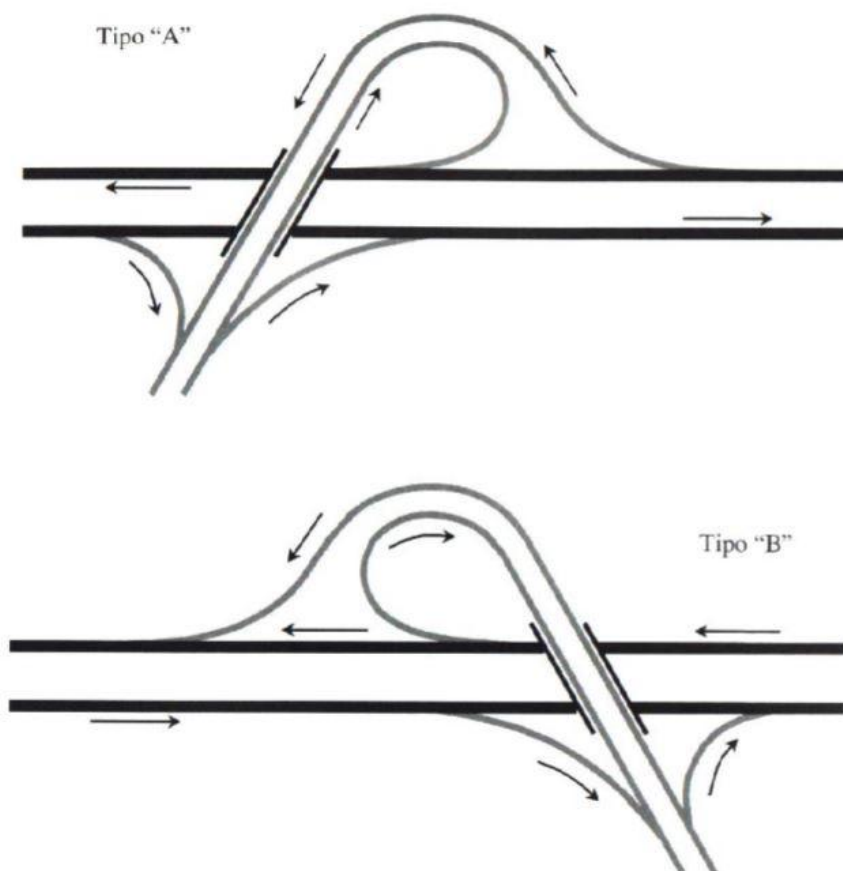
Ainda, pode-se pensar em um controle de tráfego ativo em que as interseções não estão em nível, como é o caso de interconexões do tipo diamante simples (figura 2.7) e trombeta (figura 2.8).

**Figura 2.7 – Interconexão do tipo diamante simples.**



Fonte: <<https://goo.gl/AzNkrs>>. Acesso em 15/10/2017.

**Figura 2.8 – Interconexões do tipo trombeta.**



Fonte: <<https://goo.gl/AzNkrs>>. Acesso em 15/10/2017.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Contextualização do livre caminho médio à malha viária

A forma apresentada na seção de revisão bibliográfica acerca da conceituação do livre caminho médio pode parecer ser, em um primeiro instante, desprovida de aplicabilidade a um macro ambiente tal como uma rede viária urbana. Para tanto, é necessária uma adaptação dos mecanismos de cômputo do índice aos preceitos envolvidos no sistema viário. Assim, os parâmetros devem ser revistos, de maneira a se dispor de novos conceitos, recriados para abranger os temas envolvidos neste estudo.

##### 3.1.1 Interseções em rede

No tocante às interseções, há de se considerar a vasta gama de possibilidades existentes em uma rede intrincada como a do sistema viário. Para abordar com clareza a importância de cada uma no resultado dos índices que refletem a real natureza do tráfego urbano, dever-se-ia admitir uma tipologia específica, abordando-se todas as interseções possíveis, com uma análise criteriosa da maneira como essas afetam o trânsito local. Isso requer uma elevada capacidade computacional e um extenso trabalho, o que foge do escopo especificado para este projeto. Logo, admitem-se algumas simplificações, procurando-se não proporcionar perda significativa na confiabilidade dos resultados obtidos.

Na busca por uma simplificação que proporcione um resultado adequado ao que foi proposto como objetivo deste projeto, propõe-se desconsiderar, neste trabalho, as particularidades únicas de cada interseção. Desse modo, não seriam consideradas as particularidades do fluxo descontínuo<sup>2</sup>, por exemplo. No entanto, em primeira instância, alguns fatores sustentam essa simplificação, dentre os quais podemos citar:

---

<sup>2</sup> Alguns fatores causam interrupções periódicas do fluxo (semáforos e outras correntes de tráfego prioritárias) que determinam as condições de operação e afetam grandes extensões da via.

- a) Universalização do método: a indiferença quanto ao tipo de cada interseção permite que o método de cálculo do livre caminho médio seja possível em diversas redes. Não havendo informações adicionais no cálculo do parâmetro analisado, obtém-se uma informação mais pura, ou seja, que depende apenas de informações geométricas. Portanto, apesar de ter um foco direcionado ao sistema viário, o estudo aqui desenvolvido poderá, então, ser aplicado aos mais diversos sistemas que possuam uma rede integrada, de modo que, no futuro, esse desenvolvimento possa servir de base para novas aplicações em campos de pesquisa diferentes. Ainda, ao se utilizar essa simplificação, não se exclui a possibilidade de análises envolvendo a consideração dos diferentes tipos de nós (interseções).
- b) Limitação de dados e de recursos computacionais: ao considerar os diferentes tipos de interseções, dificultar-se-ia o desenvolvimento inicial deste projeto. Neste estudo, os dados são sintetizados a partir de medidas móveis (tempos de viagem obtidos pelo API Directions) e dados geográficos (latitude e longitude), ambas informações de simples obtenção.

Além disso, devido a limitações do método computacional desenvolvido, que será apresentado mais adiante, estudou-se desconsiderar alguns casos. Interseções em desnível que não ofereçam interferência ao fluxo de veículos não deveriam entrar no cálculo do livre caminho médio, pois essa não oferece entrave ao fluxo veicular. No entanto, o programa desenvolvido não consegue distinguir uma interseção em nível de uma em desnível. Assim, procurou-se evitar analisar regiões em que hajam interseções que apresentem essas condições. Ainda, em outras situações, uma interseção pode não representar um conflito com o movimento para determinado tipo de veículo (e.g., faixas com acesso livre para ônibus e restrição semaforica para demais veículos). Contudo, esses fatores não serão considerados na análise.

### 3.1.2 Livre caminho médio em rede

O conceito de livre caminho médio fornece uma percepção do quanto, em média, uma partícula deve se deslocar até que atinja uma outra. Por isso, não é verdade que o elemento em estudo necessariamente colidirá com o alvo ao percorrer essa distância. A fim de proporcionar uma noção da variação da dimensão de cada trecho percorrido, opta-se por associar essa média ao seu desvio padrão. Considerando-se equidade relativa de pesos entre todos os trechos, isto é, que nenhum trecho tem grau de importância maior que outro na rede no cálculo do livre caminho médio, assume-se uma média aritmética dos  $n$  trechos pelos quais a partícula desenvolve sua trajetória, que pode ser descrita como:

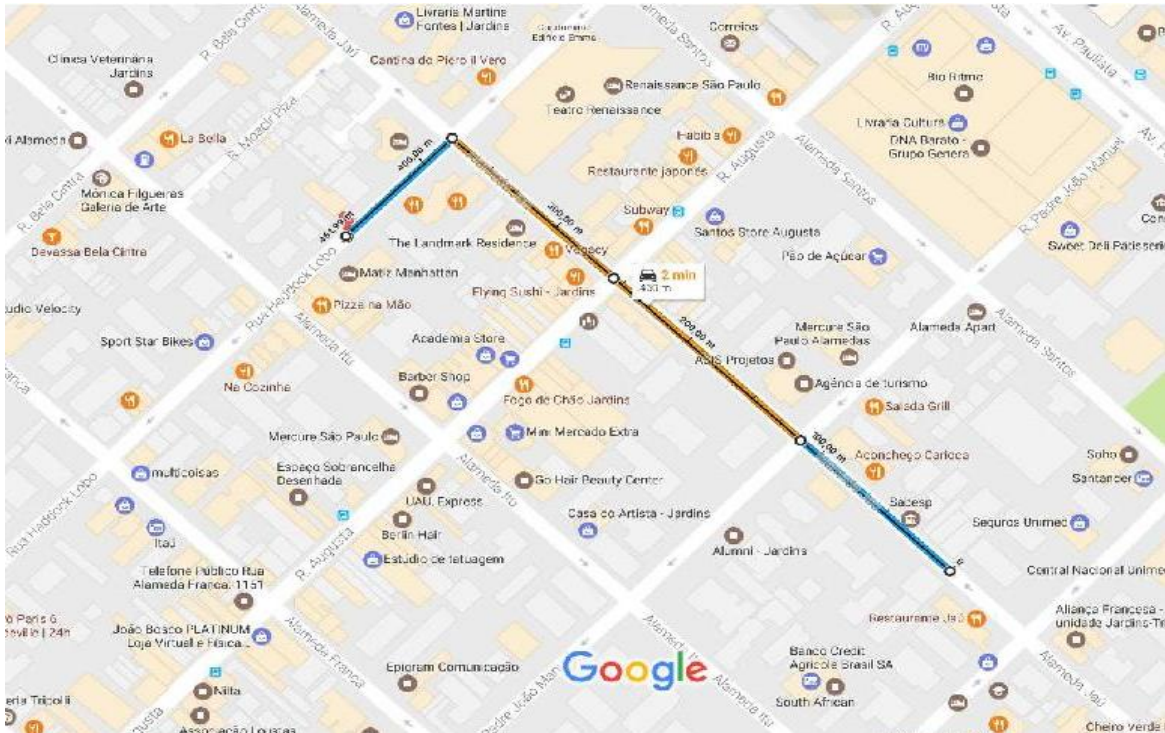
$$\bar{d} = \frac{\sum_i^n l_i}{n} \quad 9)$$

Onde  $l_i$  representa a dimensão de cada trecho  $i$  de um total  $n$ . Dessa forma, supondo-se um caminho descrito por um veículo na rede viária, assume-se que a distância entre duas interseções consecutivas seja equivalente a um trecho com comprimento igual ao retratado pela equação 10.

Como demonstração, em uma viagem simples (Figura 3.1), com comprimento total de 461,8 m e contando com quatro trechos, utilizando-se o método proposto para a determinação do livre caminho médio, tem-se:

$$\bar{d} = \frac{114,0 + 141,9 + 122,5 + 83,3}{4} = \mathbf{115,4\ m} \quad (10)$$

**Figura 3.1 – Rota exemplo em região próxima à avenida Paulista (São Paulo – SP)**



Legenda: Distância total de 461,8 metros e tempo médio de percurso de 2 minutos (3 minutos em horário de pico).

Fonte: Google Maps.

A percepção obtida por essa medida é a de que um veículo que faça essa viagem percorre, em média, 115,4 m até chegar a uma nova interseção. Nota-se, porém, que esse valor não fornece uma noção real da distribuição dos comprimentos de cada trecho, sendo necessário, portanto, o desvio padrão dessa média, que, nesse caso, é de 24,4 m.

### 3.1.3 Velocidade livre média

Com o valor do livre caminho médio, é possível conceber uma ideia de velocidade média da região. Essa medida, por ser bastante familiar, representa um bom parâmetro para que se crie uma noção da fluidez do tráfego local. Grande parte dos esforços em políticas públicas voltadas para o melhoramento das condições operacionais de trânsito utilizam como indicador a velocidade média desenvolvida na via ou área analisada. Essa grandeza fornece, de prontidão, um valor de fácil

compreensão e visualização do nível de congestionamento na área. É esperado que uma medida efetiva aplicada ao sistema viário implique em um aumento da fluidez e, conseqüentemente, aumente a velocidade média observada.

Ademais, a perspectiva construída para este projeto abrange um contexto em que os parâmetros de rede são vinculados à situação local de tráfego. Portanto, dispondo-se dos tempos de viagem, espera-se poder correlacionar diferentes composições de rede a condições específicas de operação, tanto em horário de pico<sup>3</sup> (com velocidades médias reduzidas e com grande interferência entre veículos) quanto em circunstâncias fluidas de circulação (com velocidades médias maiores, e pequena ou nenhuma interferência entre veículos).

Em conjunto com o tempo de viagem e o número de trechos analisados, é possível elaborar um conceito de velocidade livre média  $\bar{V}_L$ . Então,  $\bar{V}_L$  é definida como:

$$\bar{V}_L = n \frac{\bar{d}}{\sum_i^k t_i} \quad 11)$$

Onde  $n$  é o número de trechos analisados, e  $t_i$  é o tempo da viagem  $i$  de um total de  $k$  viagens estudadas, na região. Dessa maneira, a conformidade da rede (associada ao livre caminho médio) é vinculada às condições de tráfego da região analisada.

Utilizando-se o exemplo de viagem proposto na Figura 3-1, o cálculo de  $\bar{V}_L$  aplicado a uma única viagem, fora do horário de pico, seria:

$$\bar{V}_L = 4 \times \frac{115,4}{60 * 2} \times 3,6 = \mathbf{13,8 \text{ km/h}} \quad 12)$$

---

<sup>3</sup> São seguidas as definições da Companhia de Engenharia de Tráfego (CET) da cidade de São Paulo sobre o que é horário de pico, em contraposição a situações normais de trânsito. No caso, os horários que compreendem as faixas das 7 às 10 horas e das 17 às 20 horas são considerados horários de pico.

### 3.2 Delimitação das áreas de estudo

Parte fundamental do método é a determinação das regiões de estudo para que seja realizada uma análise de qualidade. Fatores como o tamanho e a quantidade de regiões necessitam de uma sistematização com critérios bem definidos para que seja verificada a eficácia do uso do livre caminho médio no contexto viário urbano. Isto posto, a tentativa é a de criar um modelo *bottom-up*, isto é, que parta de um modelo de análise específico para uma abordagem mais geral.

Normalmente, as conformações observadas nas grandes cidades podem ser categorizadas em quatro diferentes grupos (LOUF; BARTHELEMY, 2017), e, em linhas gerais, há dois fatores a serem considerados para que seja feita essa categorização. Primeiramente, há de se considerar o fator de forma das quadras no espaço urbano. Em regiões onde o fator de forma tende a ser mais próximo de 1, verifica-se disposições mais “organizadas”, com quadras de formas regulares (em geral quadrados ou retângulos regulares) e padrão retificado de vias. Por outro lado, num contexto de espraiamento mais “desordenado”, é observado um grande intervalo no fator de forma dos blocos de quadra. Assim, encontrar-se-á uma disposição de conformações bastante variegada. Por fim, o outro fator a se levar em conta é a dimensão das quadras, que pode variar muito de uma região para outra, ou inclusive numa mesma região.

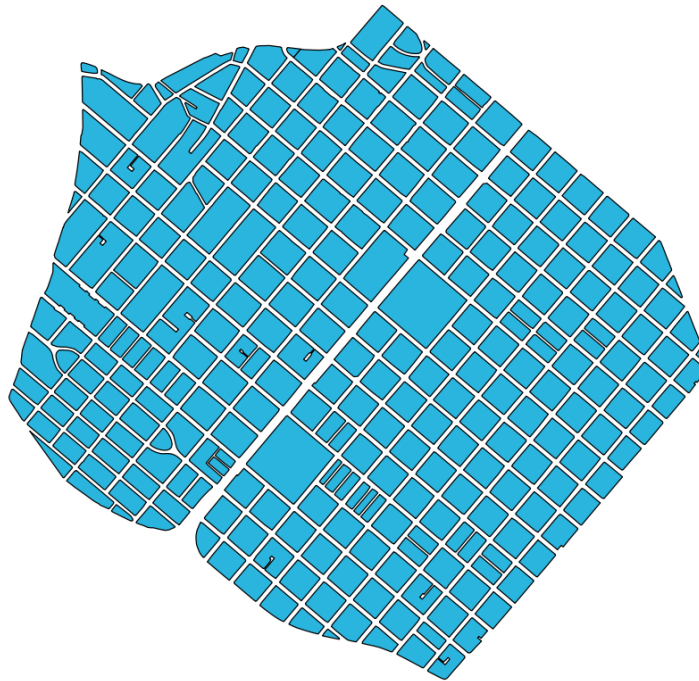
Complementando esses fatores, uma parte deste estudo será destinada a verificar a viabilidade de utilizar o livre caminho médio como parâmetro complementar para caracterização de diferentes tipos de conformações de redes. Sendo assim, serão delineados quatro grandes grupos de conformações espaciais da rede urbana baseados em critérios como o fator de forma e o tamanho de quadras (LOUF; BARTHELEMY, 2017) em que serão verificados os respectivos livres caminhos médios: a) tipo 1 (predomínio de quadras grandes com conformação regular); b) tipo 2 (predomínio de quadras pequenas e com conformação irregular); c) tipo 3 (predomínio de quadras grandes e com conformação irregular); d) tipo 4 (predomínio de quadras pequenas e com conformação regular).

Para o estudo, é importante que sejam criados critérios objetivos do que seriam quadras grandes e pequenas, e o que seriam conformações regulares e irregulares. Levando isso em consideração, foi escolhido, em um primeiro momento, estabelecer um critério puramente qualitativo, dividindo as regiões por meio de aspectos visuais. Assim, poderia ser avaliada uma classificação mais criteriosa (com limites numéricos definidos), após conhecidos os resultados.

Definidos os grupos, é importante escolher a dimensão da região a ser estudada. As diferentes amostras devem ser proporcionais entre si, de modo a fornecer um bom critério de comparação. Nesse caso, um bom tamanho pode ser a dimensão de bairros, visto que esses costumam ter uma identidade específica a cada um, e as dimensões são relevantes ao se considerar as viagens mais comumente realizadas pelos usuários do sistema viário. Ademais, o estudo fica restrito a uma área cujo padrão se encaixa em um dos grandes conjuntos propostos anteriormente.

A seguir, é apresentado um exemplo de região pertencente ao tipo 1, que abrange o bairro de Moema na cidade de São Paulo. Como pode-se perceber, visualmente, há uma pequena variedade nos fatores de forma das quadras, dado o padrão retificado de vias no local, com predominância de blocos que se aproximam de quadrados. Além disso, pode ser verificado, no gráfico 3.1, a disposição das dimensões (áreas) das quadras, que são classificadas como “grandes”.

**Figura 3.2 – Região B**



Fonte: elaborado pelo autor (2017).

**Gráfico 3.1 – Perfil das áreas das quadras na Região B**

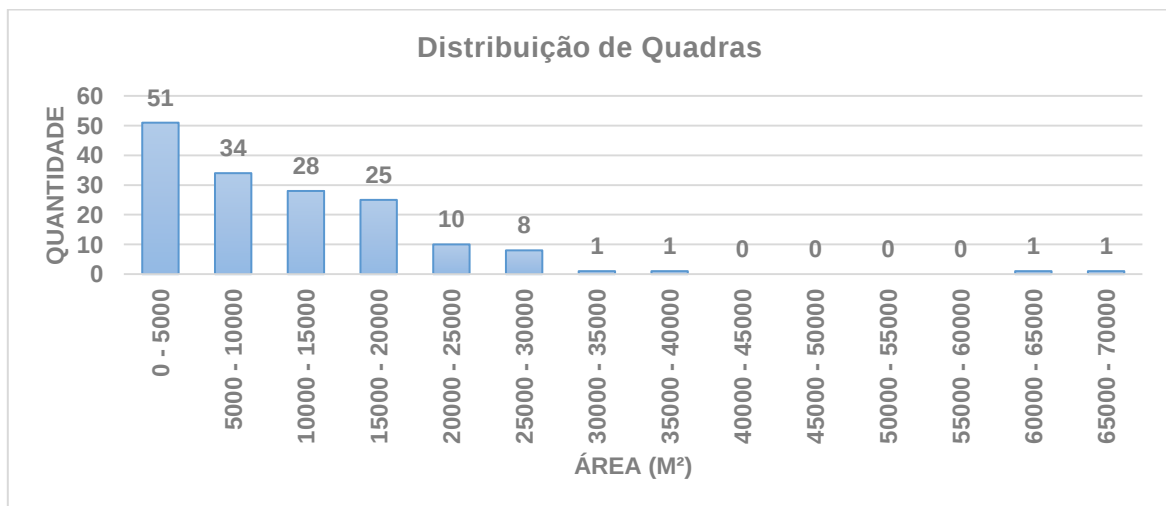
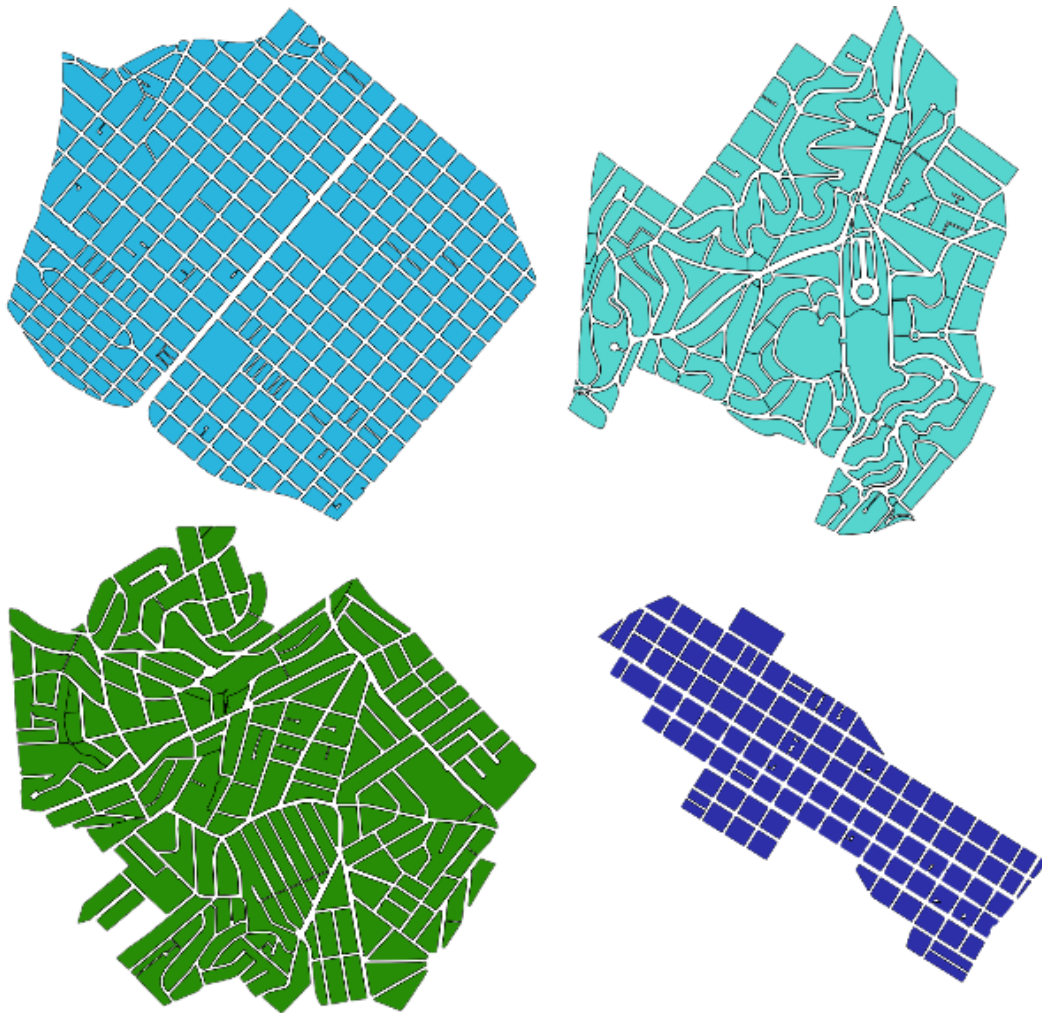


Gráfico 3.1 Legenda: A média das áreas das quadras da região B é de 11.104 m² (grande).

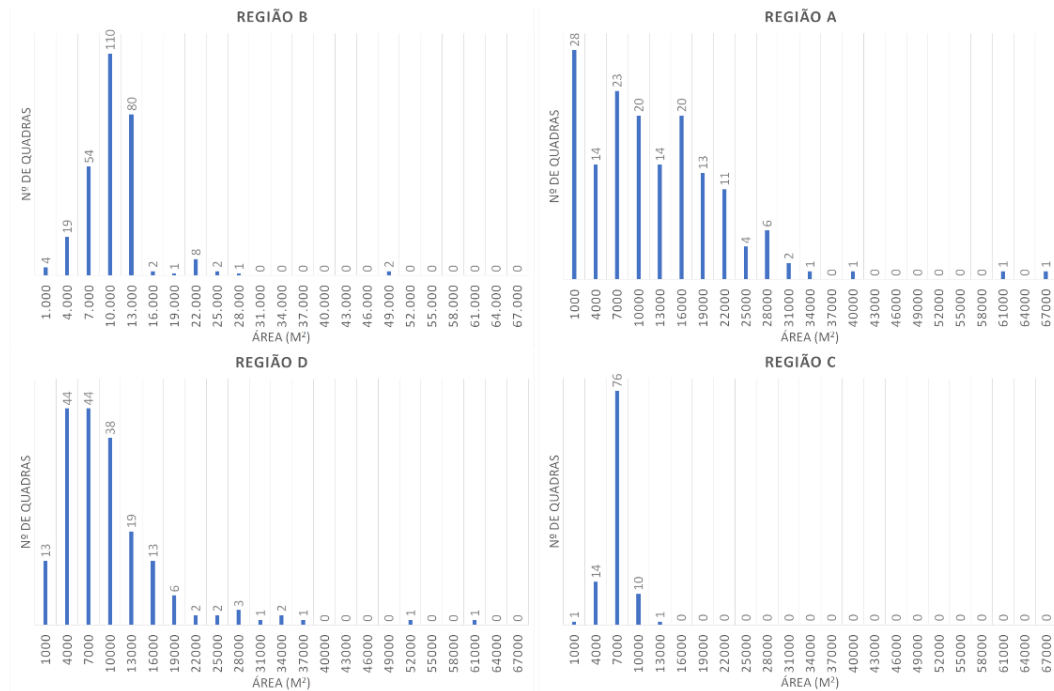
Fonte: elaborado pelo autor (2017).

**Figura 3.3 – Regiões escolhidas para análise do livre caminho médio.**



Legenda: todas as regiões representadas estão localizadas na cidade de São Paulo. A região B está à esquerda, na parte superior da figura, representando a região que compreende o bairro de Moema, com uma conformação de rede visivelmente regular. Já a região A, que envolve a região do Pacaembu, está representada à direita, na parte superior, e, ao contrário da região B, apresenta uma conformação bastante irregular. À esquerda, na parte inferior, está representada a região D, que compreende a Vila Inglesa e o Jardim Prudência, com conformação irregular e quadras pequenas. Por fim, na parte inferior, à direita, está representada a região D, que compreende o bairro Chácara Santo Antônio, com conformação regular e quadras com áreas pequenas.

Fonte: elaborado pelo autor (2017).

**Gráfico 3.2 – Distribuição das áreas das quadras nas regiões escolhidas.**

Legenda: é apresentado, nestes gráficos, a quantidade de quadras relacionada a intervalos de medidas de área (em metros quadrados).

Fonte: elaborado pelo autor (2017).

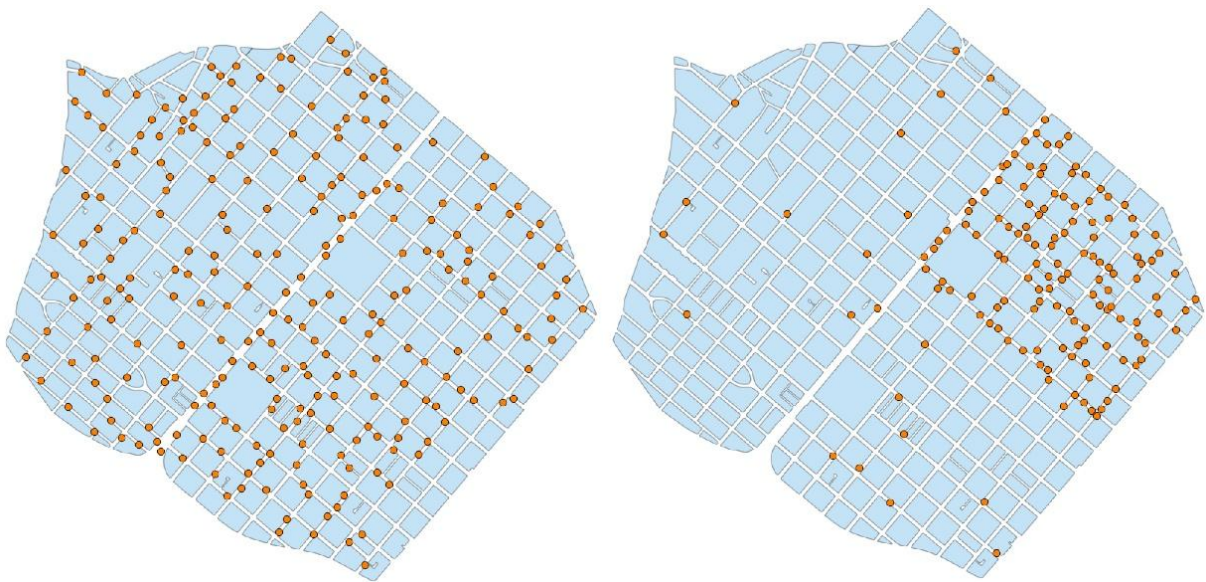
### 3.3 Distribuição das viagens

Como minuciado na seção 3.2, é necessário captar um bom panorama de cada região. Para isso, há de se escolher um número representativo de viagens, e, ao mesmo tempo, de se obter um baixo nível de reincidência de trajetórias, procurando não utilizar viagens muito similares (i.e., com bastante trechos em comum), de modo que haja, de fato, uma caracterização homogênea sobre a região. Para isso, também é necessário que as distâncias sejam relevantes, levando em consideração a dimensão das áreas escolhidas para análise.

Em resumo, são recomendados os seguintes critérios para a distribuição de viagens, a fim de fornecer uma classificação expressiva de cada região pelo método proposto (utilizando o livre caminho médio):

- i) Quantidade e distribuição uniforme de viagens: para que haja uma caracterização a nível de região, é necessário que uma parte expressiva da área seja abrangida, sem que haja reincidências ou concentrações de rotas (dados repetidos). Desse modo, procura-se evitar uma caracterização heterogênea, em que uma porção da área interna à região seja preponderante a uma outra.

**Figura 3.4 – Distribuição de pontos na região B**

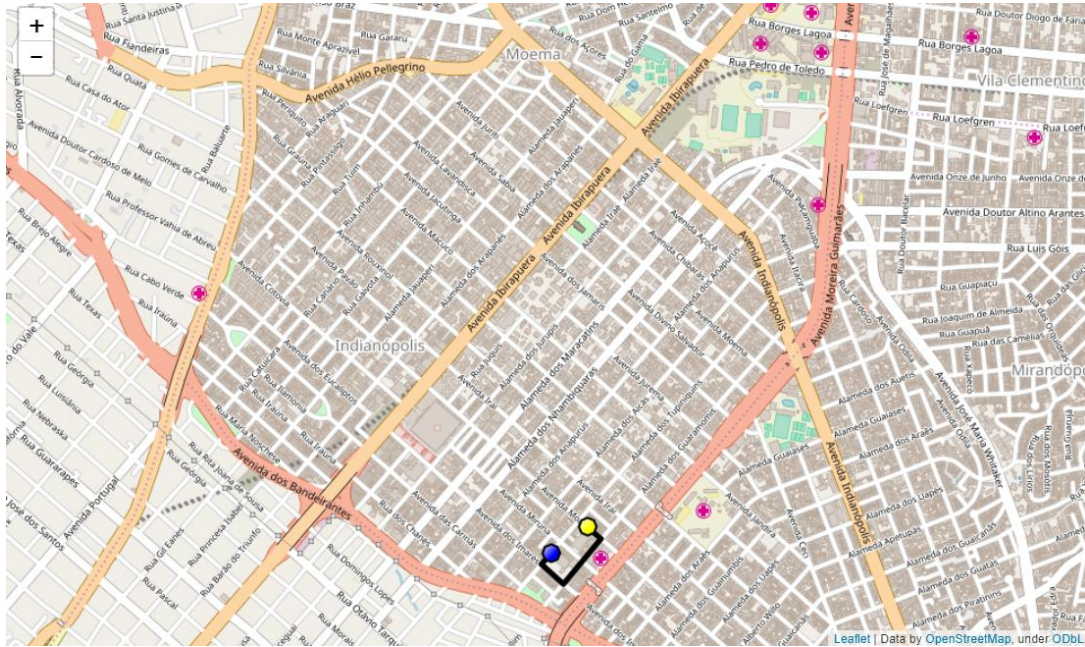


Legenda: à direita, exemplo de uma distribuição não uniforme de pontos de origem e destino. À esquerda, pontos são distribuídos de forma homogênea pela região B.

Fonte: elaborado pelo autor (2017).

- ii) Aleatoriedade de rotas: permitir que as rotas sejam definidas aleatoriamente propicia a produção de uma forma de classificação livre da interferência de fatores externos que possam enviesar o método.
- iii) Dimensão de rotas: uma viagem deve ter dimensão (comprimento) relevante à dimensão da região escolhida, com um certo grau de uniformidade nas distâncias, proporcionando um critério de comparação coerente.

**Figura 3.5 – Exemplo de rota com dimensão insuficiente**



Legenda: A distância em rota entre a origem (amarelo) e o destino (azul) está na ordem de 200 metros. É insuficiente para retratar a região (região B, utilizada como exemplo).

**Figura 3.6 – Exemplo de rota com dimensão adequada**



Legenda: A distância em rota entre a origem (amarelo) e o destino (azul) está na ordem de 2500 metros. Uma boa representação da região (região B, utilizada como exemplo).

### *3.3.1 Informações sobre as viagens*

Definidos os critérios sobre a escolha das viagens, é necessário especificar quais serão as informações coletadas e quais são os meios de obtenção desses dados para uma análise adequada ao que foi proposto como objetivo do projeto.

#### *3.3.1.1 Tempos de viagem*

O tráfego de veículos pode variar bastante em função das condições de espaço e de tempo. Alguns dos fatores preponderantes no que diz respeito às mudanças nos tempos de viagem em grandes cidades são as variações horárias dos fluxos de veículos e dos níveis de congestionamento. Portanto, para este estudo, os dados são coletados em diferentes horários ao longo do dia, a fim de se obter resultados que abordem aspectos distintos de operação das vias. Para isso, são utilizados os horários de pico – manhã e tarde – definidos pela Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (CET - SP), além de um horário em que a interferência ocasionada pela interação entre os próprios veículos seja desprezível em relação àquela desenvolvida pela interação com as interseções (horários em que o fluxo veicular é bem menor que a capacidade da via).

Então, serão utilizados 3 diferentes horários para a coleta de dados. Há de se destacar, ainda, a variação diária de demanda das vias, que não é levada em conta, sendo desconsiderada a contribuição dessa para os objetivos deste estudo.

##### *i) Horário sem interferência entre veículos*

Nesse caso, espera-se poder isolar as variáveis que definem o movimento veicular na viagem, sendo retirado o fator de interação entre veículos. Assim, procura-se reduzir a interferência do fluxo veicular às interseções, obtendo-se uma maior aproximação à teoria gás-cinética aplicada ao tráfego. Desse modo, é considerada uma boa dispersão entre os veículos, o que se aproxima do contexto aplicado a partículas

gasosas (rarefeitas), em que a distância entre elas é muito maior que as próprias dimensões.

Portanto, o horário foi arbitrado para às 04:00 de uma segunda-feira em outubro. Considerando, então, que nesse horário, normalmente não haja interferência entre veículos (ou a mesma é muito pequena).

## ii) Horários de pico

Aqui, procurou-se utilizar a classificação da CET-SP, que define dois horários de maior congestionamento, ou seja, em que a interação entre veículos é máxima. Esses horários abrangem a faixa das 07:00 às 10:00 (pico da manhã) e das 17:00 às 20:00 (pico da tarde), que, basicamente, se referem aos momentos de maior demanda das vias. Nesses momentos, pode acontecer de um mesmo veículo parar (ser retido) diversas vezes num mesmo semáforo, por exemplo. Nos horários de pico são registrados os maiores tempos de viagem possíveis, dada a associação da máxima interação de veículos com veículos e de veículos com interseções.

### 3.3.1.2 Interseções ao longo das viagens

Devem ser coletadas todas as informações disponíveis e interessantes ao estudo para todas as interseções ao longo de cada viagem analisada. Para cada uma, são obtidas as coordenadas UTM em latitude e longitude para indicar a posição. Um cuidado tomado deve ser para que não ocorram repetições de interseções consecutivas. Isso pode ocorrer devido à possibilidade de se obter, em uma rota, dois pontos muito próximos em uma mesma interseção (um problema do método de obtenção aplicado).

A outra informação apurada é a existência de semáforos em cada interseção. Para isso, escolheu-se utilizar uma base de dados disponível pelo GeoSampa. O Geosampa é um portal que segue as diretrizes do Plano Diretor Estratégico da cidade de São Paulo, reunindo mais de 150 tipos de dados georreferenciados sobre a cidade, dentre eles cerca de 12 mil equipamentos urbanos, consulta do Zoneamento, rede de

transporte público, mapas geotécnicos e importantes dados sobre a população, como densidade demográfica e vulnerabilidade social.

Esse projeto (GeoSampa) foi coordenado pelo Departamento de Produção e Análise de Informação (Deinfo), e desenvolvido pela Empresa de Tecnologia da Informação e Comunicação do Município de São Paulo (PRODAM). O portal faz parte do Programa de Metas da Prefeitura e conclui a implantação de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), com dados abertos e livre consulta para o público.

Nessa base, estão contidas informações sobre todos os semáforos registrados pela prefeitura da capital, como a localização e dados referentes ao tipo (comum ou “piscante”). Assim, foram comparadas as localizações das interseções obtidas com as localizações desses semáforos, obtendo-se uma planilha como a que está exemplificada pela tabela 3.1.

### 3.3.1.3 Comprimentos dos trechos

Para cada trecho deve ser apurado o seu comprimento, a fim de que seja possível calcular o livre caminho médio da viagem. Pensando nisso, o método utilizado calcula a distância entre cada ponto da rota (uma polilinha densificada, que está detalhada na próxima seção) até que seja encontrado um ponto que represente uma interseção, conforme apresentado na tabela 3.1.

**Tabela 3.1 – Coordenadas das interseções e os comprimentos de cada trecho referentes a 5 rotas na região B.**

| Interseção | Latitude  | Longitude | Comprimento do trecho (m) |
|------------|-----------|-----------|---------------------------|
| 0          | -23,61216 | -46,66470 | 52,62                     |
| 1          | -23,61195 | -46,66495 | 34,49                     |
| 2          | -23,61171 | -46,66525 | 40,61                     |
| 3          | -23,61143 | -46,66558 | 46,88                     |
| 4          | -23,61118 | -46,66587 | 42,29                     |

(Fonte: elaborado pelo autor)

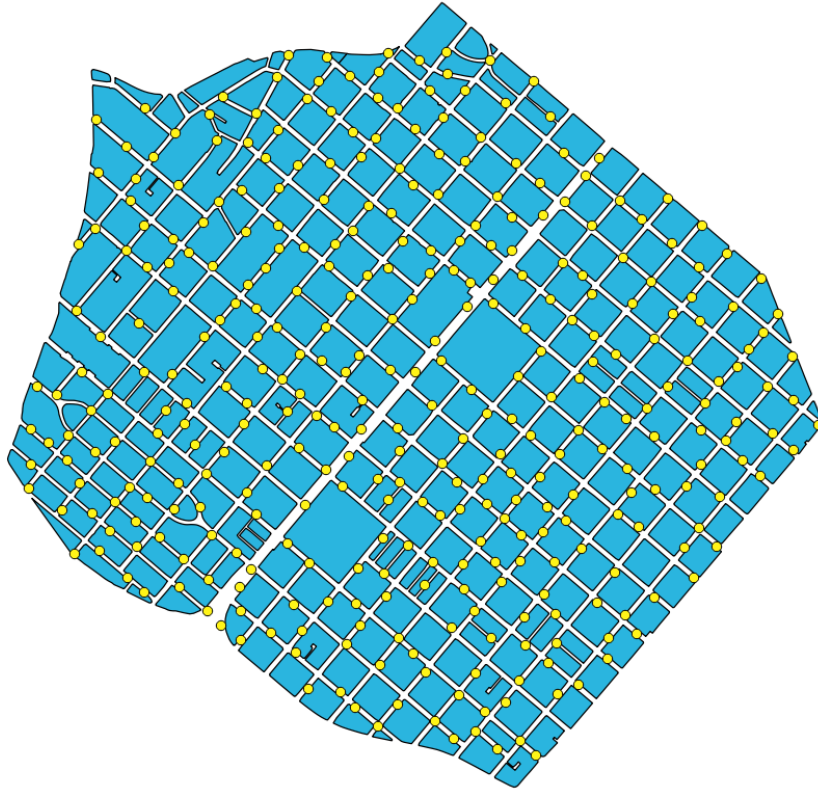
### 3.4 Método computacional para obtenção de rotas

#### 3.4.1 Criação de viagens aleatórias e tempos de viagem

Como discutido nas últimas seções, as regiões são escolhidas manualmente, com a utilização de critérios visuais como forma e dimensão das quadras. Com a região definida, cabe utilizar um software de Sistema de Informações Geográficas (SIG) para distribuir uma quantidade razoável de pontos na região. Para este projeto, foi escolhido o QuantumGIS, um software open-source e que fornece boa parte das ferramentas necessárias ao estudo. Nele, há uma função denominada “random points inside polygons (fixed)”, que permite gerar pontos de forma aleatória na região escolhida com alguns parâmetros definidos, como distância mínima entre pontos e densidade ou número total de pontos. Com os pontos gerados, são definidos pares origem-destino aleatórios, por meio de um programa elaborado pelo autor, visando atender aos critérios adotados para a criação de rotas – delimita-se uma condição de distância mínima aceita entre dois pontos.

Com o auxílio de algumas Interfaces de Programação de Aplicações (APIs, do inglês Application Programming Interfaces) do Google Maps: Directions e Distance Matrix, são adquiridas as polilinhas das rotas geradas, com os pares origem-destino previamente estabelecidos e os respectivos tempos de viagem. Nas APIs, são fornecidos três parâmetros de estimativas para o tempo: pessimistic, best-guess e optimistic. Também são utilizados 3 horários para coleta dos tempos (horários de pico definidos pela CET: manhã e tarde, e um horário em que não haja fluxo elevado de veículos). Assim, são obtidos 9 tempos de viagem. Ainda, pode-se pensar em diferenças entre os diferentes dias da semana, e análises estatísticas mostram que realmente há variação diária dos níveis de congestionamento, além de variações ao longo do ano. No entanto, em vista de uma simplificação sem grandes perdas aparentes para a análise, optou-se por escolher somente um dia da semana, uma segunda-feira.

**Figura 3.7 – Distribuição de pontos aleatórios pela região B**

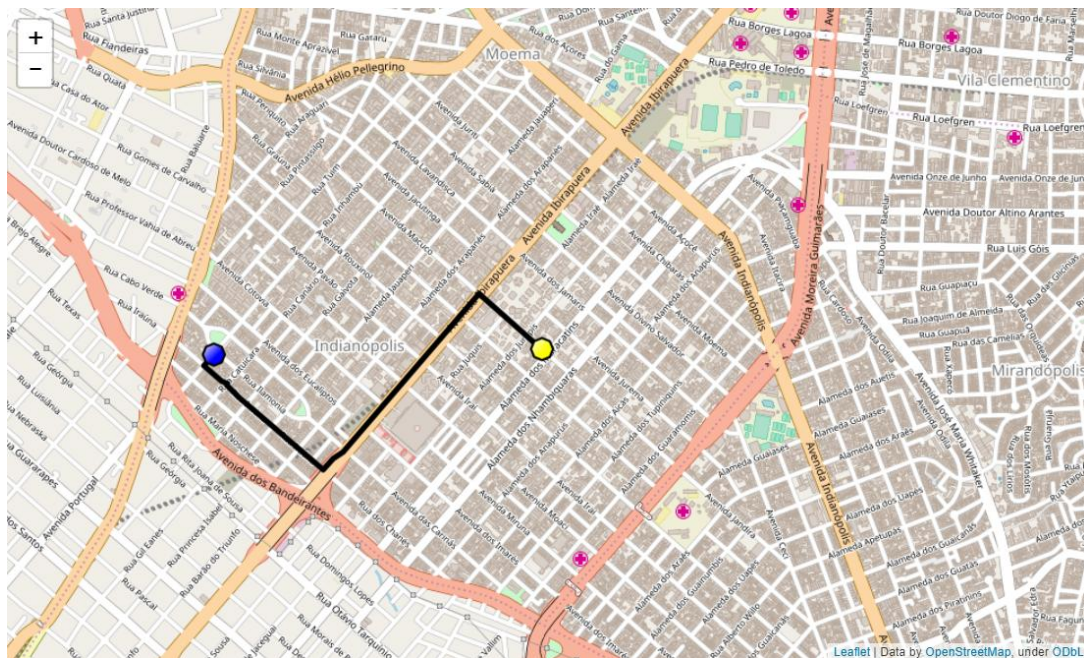


Legenda: Distribuição aleatória (QuantumGIS) de pontos de origem e destino na região B (Moema – SP).  
Fonte: elaborado pelo autor (2017).

### *3.4.2 Otimização de polilinhas*

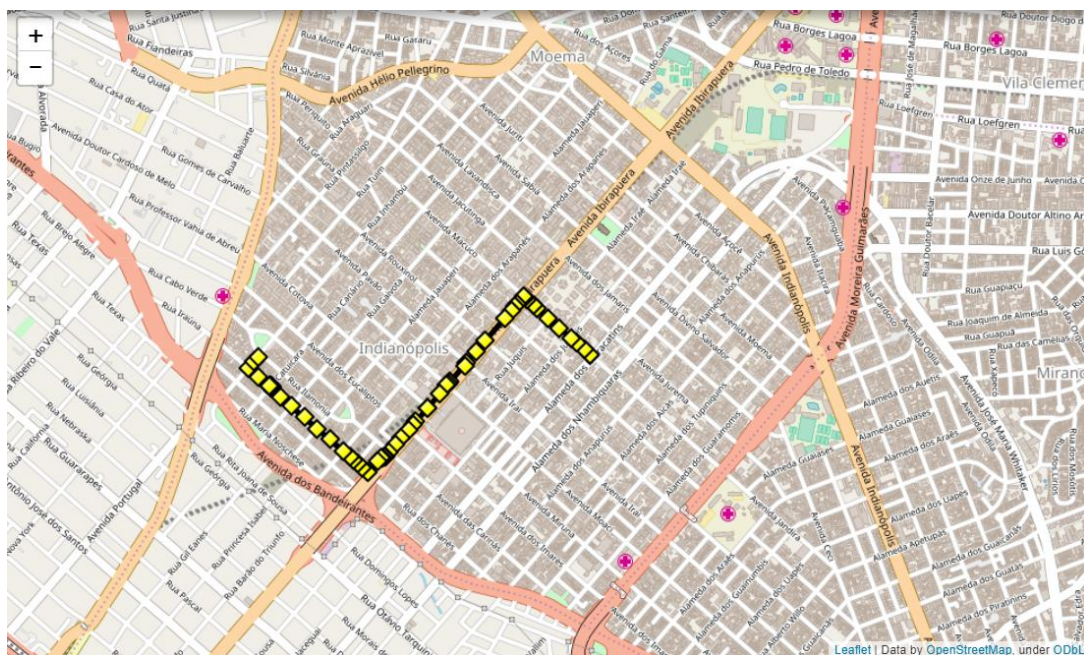
As polilinhas de rotas obtidas pela API Directions apresentam pontos muito dispersos, com densidade linear bastante heterogênea. Portanto, a fim de que seja possível utilizar os algoritmos de obtenção de interseções apresentados nas próximas etapas, é necessário que essas polilinhas sejam densificadas (aumentando o número de pontos e estabelecendo maior regularidade de distância entre eles), de modo a torná-las mais homogêneas.

**Figura 3.8 – Exemplo de rota na região B**



Legenda: Exemplo de rota na região B (Moema – SP), origem em amarelo e destino em azul.  
 Fonte: elaborado pelo autor (2017).

**Figura 3.9 – Polilinha de uma rota na região B**



Legenda: Exemplo de polilinha de rota obtida pelo API directions do Google  
 Fonte: elaborado pelo autor (2017).

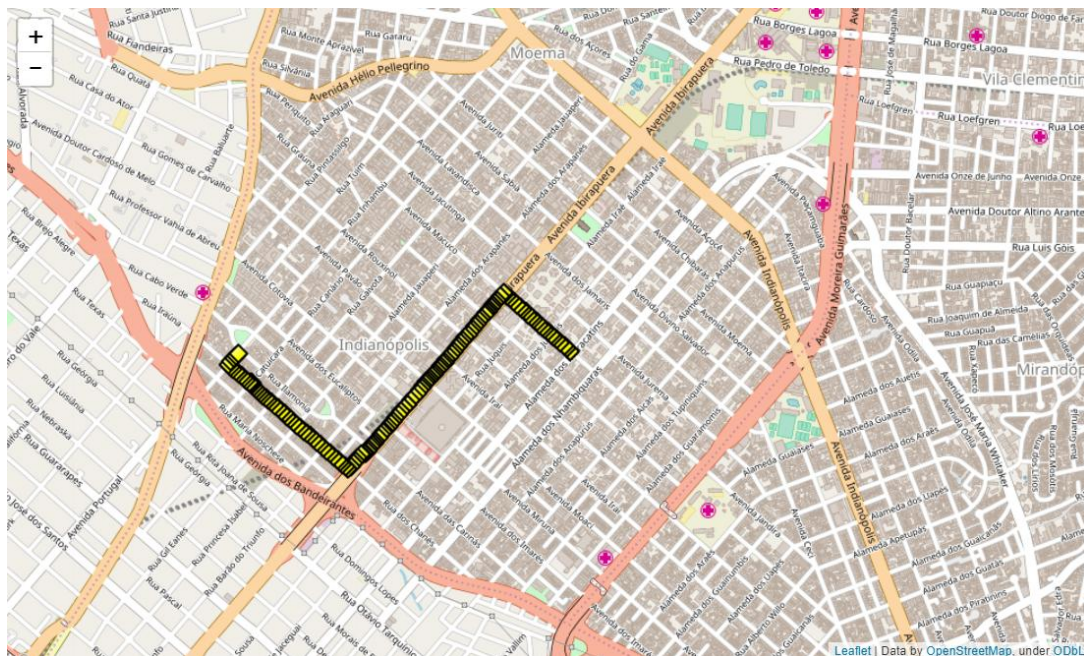
**Figura 3.10 – Detalhe da polilinha**



Legenda: Pontos da polilinha distribuídos de forma irregular ao longo da rota.  
 Fonte: elaborado pelo autor (2017).

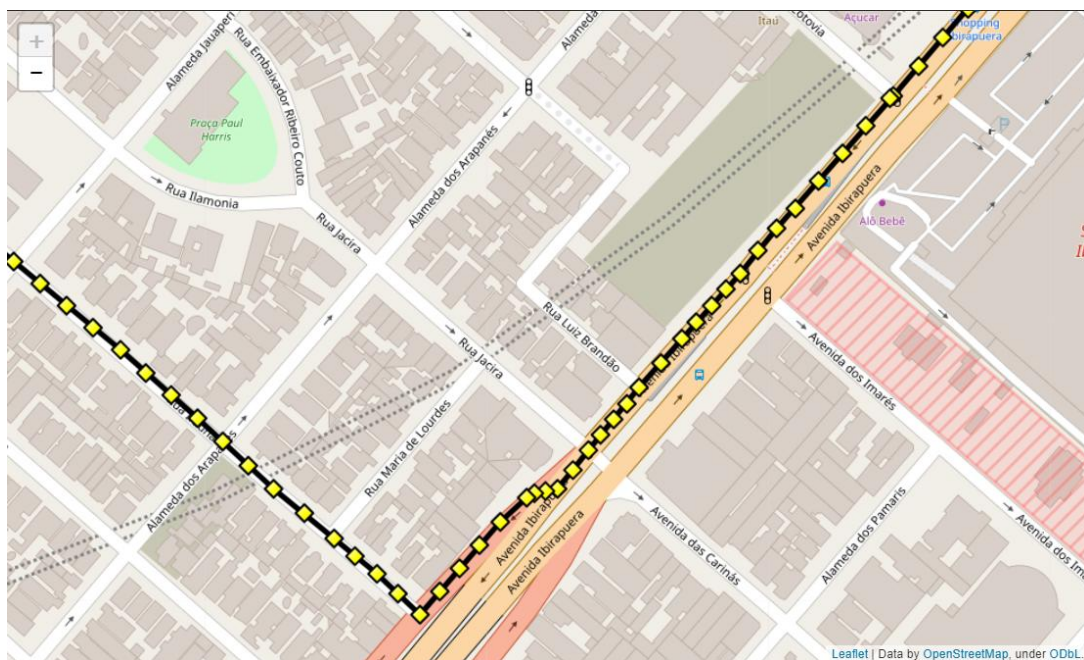
O método proposto para homogeneizar a polilinha consiste em percorrer cada par de pontos consecutivos e verificar se a distância entre eles é superior a 20 metros (distância arbitrada e escolhida como suficiente após a aplicação de alguns testes). Caso a distância seja, de fato, maior, cria-se um novo ponto a uma distância média do segmento de reta que une os dois pontos analisados. Esse processo é iterado pela polilinha até que não existam mais pontos consecutivos cuja distância entre eles seja superior a 20 metros. Finalmente, é obtida uma polilinha com pontos bem distribuídos (figura 3.9) e adequados para a aplicação do método desenvolvido com o intuito de obter as interseções presentes em uma viagem.

**Figura 3.11 – Polilinha densificada de uma rota na região B**



Legenda: Polilinha com maior densidade de pontos (a cada 20 metros, no mínimo)  
 Fonte: elaborado pelo autor (2017).

**Figura 3.12 – Detalhe da polilinha densificada**



Legenda: Pontos da polilinha estão distribuídos de forma que a distância entre dois pontos consecutivos não seja maior que 20 metros, fornecendo maior uniformidade e densidade de pontos  
 Fonte: elaborado pelo autor (2017).

### *3.4.3 Obtenção de interseções na rota*

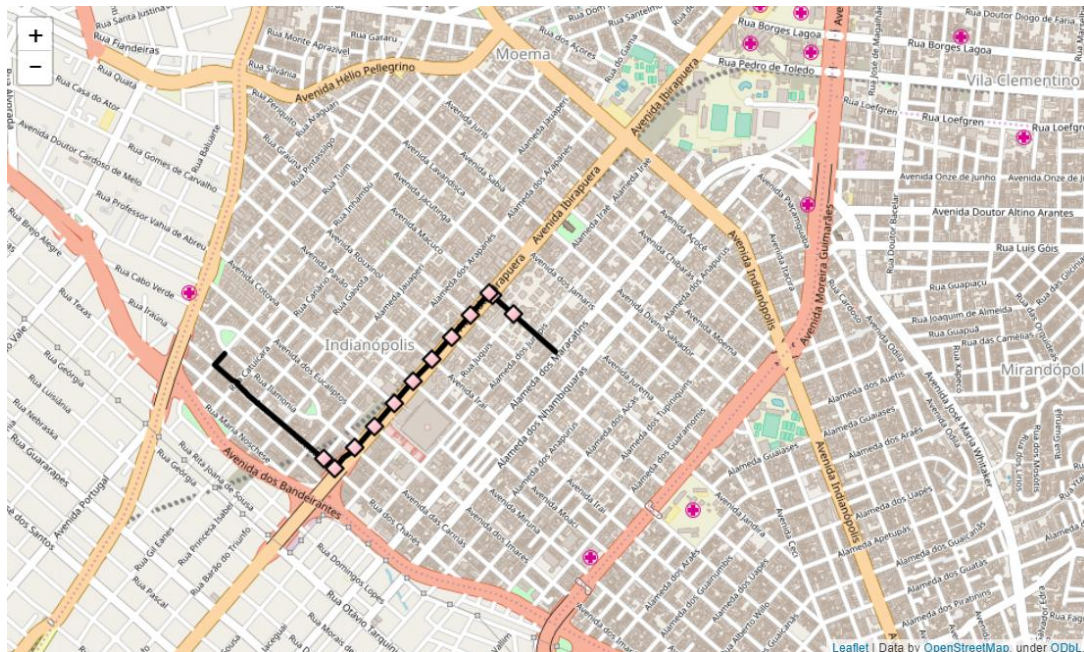
Para a obtenção de interseções na rota de cada viagem, foram construídos dois algoritmos. Cada um utiliza uma de duas bases de dados disponíveis: GeoNames Geographical Database e Open Street Maps (OSM).

#### *3.4.3.1 Interseção por análise de extremidades de vias*

Na base de dados do OSM, é possível obter diretamente os pontos de início e de fim das vias. Esses pontos devem ser as interseções, na maior parte das vezes – em algumas ocasiões, eles não são exatamente interseções, mas ainda sim muito próximos a elas. Assim, para cada ponto da polilinha gerada, verificam-se as vias que estão em um raio arbitrado em 20 metros, e, por fim, são coletados os pontos de início e fim (das vias), adicionando-os a uma lista. Por fim, são verificados quais pontos que, de fato, pertencem à rota (aplica-se um filtro), criando-se uma área de influência ou “buffer” em torno da polilinha, onde somente os pontos contidos nessa área sejam considerados pertencentes à rota.

Embora pudessem ser obtidos todos os pontos de interseção por meio desse método, ele se mostrou ineficiente em função de algumas falhas na base de dados do OSM.

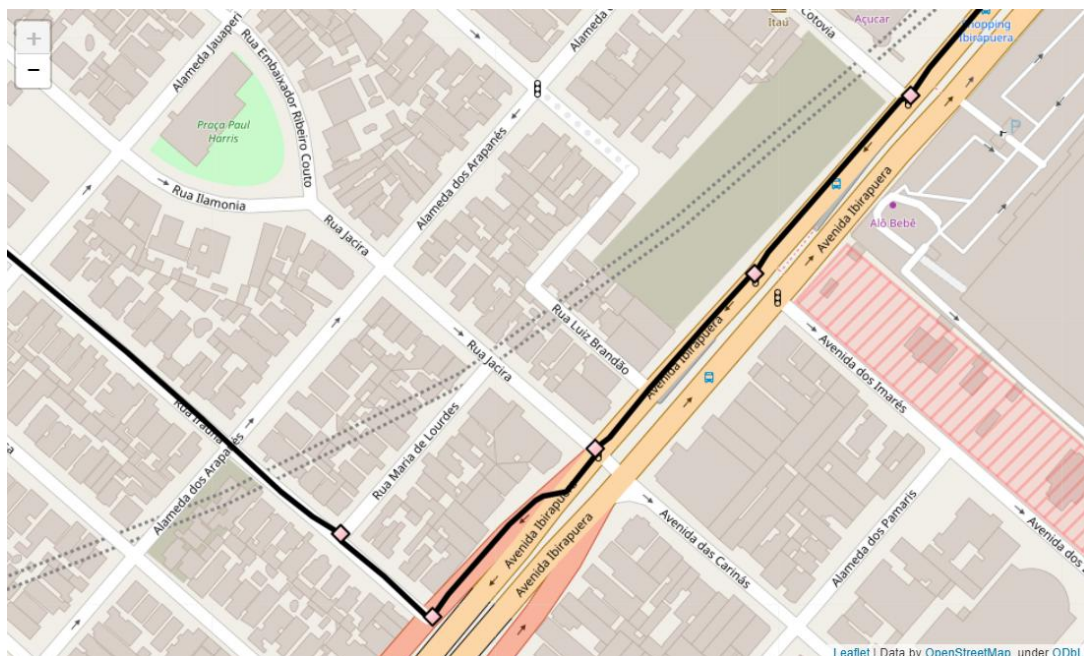
**Figura 3.13 – Interseções obtidas por análise de extremidades de vias**



Legenda: Algumas interseções não foram identificadas, em função de irregularidade na disponibilidade de dados.

Fonte: elaborado pelo autor (2017).

**Figura 3.14 – Detalhe das interseções obtidos pela análise de extremidade de vias**



Fonte: elaborado pelo autor (2017).

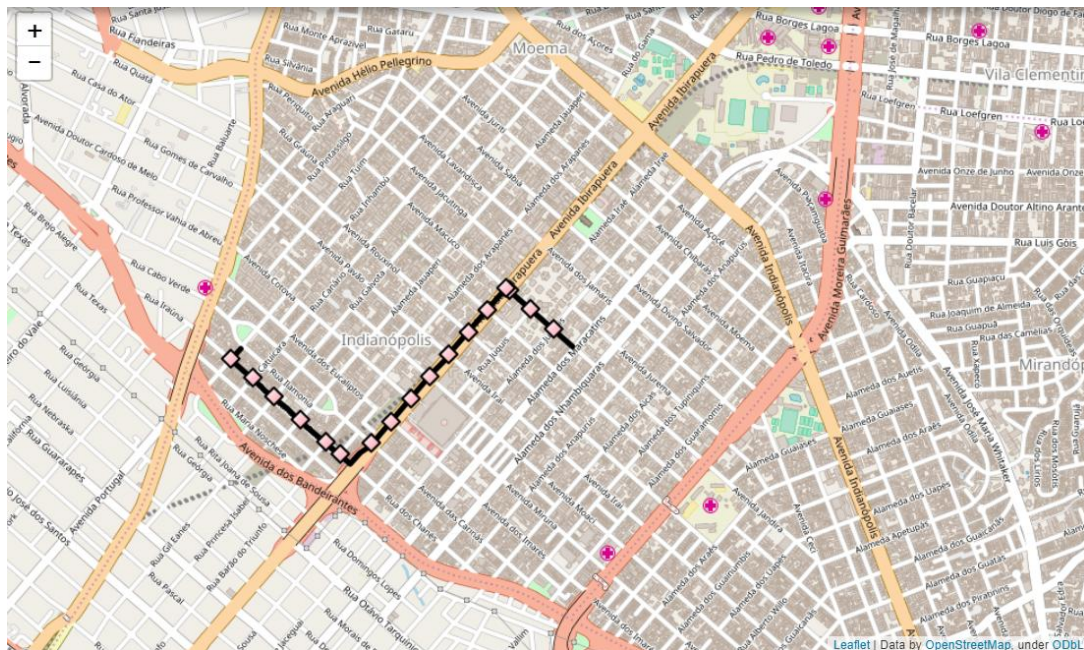
### 3.4.3.2 Interseção por função “Find Nearest Intersection” de biblioteca da GeoNames

Existe na GeoNames uma função que busca as interseções nos arredores de um ponto especificado, utilizando como parâmetro as coordenadas (latitude e longitude) do ponto e o raio de busca.

Logo, o outro método consiste em utilizar essa função para todos os pontos da polilinha gerada, de modo a se adquirir os pontos de interseção que estejam próximos à rota.

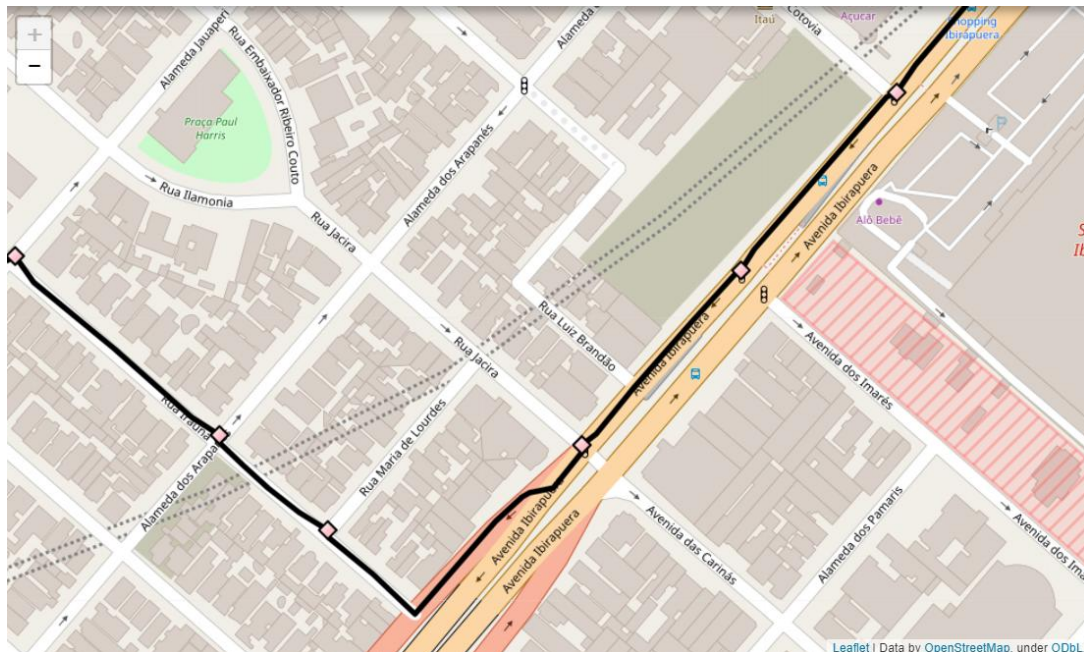
Assim como o método proposto anteriormente, há algumas falhas no uso dessa função – nem todos os pontos de interseções são coletados. Foi verificado que o erro, assim como no primeiro método, se dá por falhas na base de dados utilizada.

**Figura 3.15 – Interseções obtidas por função da GeoNames**



Legenda: Algumas poucas interseções não foram identificadas pelo método.  
Fonte: elaborado pelo autor (2017).

**Figura 3.16 – Detalhe das interseções obtidas por função da GeoNames**



Legenda: A interseção localizada no cruzamento entre Avenida Ibirapuera e a Rua Iraúna não foi identificada.

Fonte: elaborado pelo autor (2017).

#### 3.4.3.3 União das interseções coletadas

Embora apresentem erros, os dois métodos mostraram-se complementares. Grande parte das falhas apresentadas são sanadas por um ou outro método. Portanto, optou-se por consolidar uma união dos dados coletados. O resultado é satisfatório, o que possibilita a automatização do método de obtenção das interseções nas viagens estabelecidas.



#### *3.4.4 Adição de interseções às polilinhas*

Após determinados, os pontos de interseção devem ser adicionados às polilinhas das rotas correspondentes, sem que haja duplicidade dos mesmos. Isso é feito para garantir que hajam pontos em todas as interseções, o que nem sempre é verdade nas polilinhas obtidas pela API Directions do Google Maps.

#### *3.4.5 Processamento do livre caminho médio e demais parâmetros*

Determinadas as interseções, e sendo elas adicionadas às polilinhas de rotas, é possível calcular o livre caminho médio. Nessa etapa, são coletados os comprimentos de cada trecho, calculando-se a média e o desvio padrão desses comprimentos para cada rota. Para essa etapa, foi estabelecido um número de 60 viagens por região, quantidade considerada adequada para uma boa caracterização e limitada pelo tempo e pelo limite de processamento disponível.

#### *3.4.6 Verificação das interseções que têm semáforos*

Gerada uma planilha com todas as interseções da região analisada, com a localização de todos os semáforos contidos na região, é possível determinar quais interseções possuem sinalização semaforica. Assim, é acrescentado um atributo à interseção, responsável por indicar a presença de semáforo.

Embora haja a informação a respeito da presença de semáforo na biblioteca do OSM, optou-se por utilizar, no caso específico da cidade de São Paulo, a base de dados do GeoSampa, como comentado na seção 3.3.1.2.

### **3.5 Estimativa dos tempos de viagem entre pontos origem-destino**

Foram pensados em dois métodos para a obtenção de uma estimativa dos tempos de viagem entre dois pontos (origem e destino) pertencentes às regiões de estudo. Além de procurar por uma boa precisão, a imposição dessas duas formas para

estimação tem o papel de investigar o grau de correlação dos parâmetros, que são objeto de estudo deste trabalho, com o tráfego veicular urbano. Portanto, embora existam formas mais precisas de se obter esse tempo, o estudo aqui desenvolvido não se restringe a isso. Ademais, mesmo que não sejam criados estimadores precisos, esses podem proporcionar critérios rápidos de análise.

Tendo isso em vista, foi estabelecida uma investigação com foco na velocidade livre média e outra com foco no tempo médio de percurso por trecho, para cada região analisada. Assim, utilizando a fórmula de Haversine, e com o fator de linearidade médio da região, tem-se a seguinte equação:

$$D_{estimado_{ij}}^n = C_{ij} \times D_{ij}^e \quad 13)$$

Onde  $D_{ij}^e$  é a distância euclidiana (em linha reta) calculada pela fórmula de Haversine, cujos parâmetros de entrada são as latitudes e longitudes dos pontos de origem e de destino.  $C_{ij}$  é o fator de linearidade médio da região, e  $D_{estimado_{ij}}^n$  é a distância em rede estimada. Desse modo, ao dividir  $D_{estimado_{ij}}^n$  pelo livre caminho médio ( $\bar{d}$ ) obtém-se uma estimativa da quantidade de trechos na viagem analisada:

$$N_{estimado} = \frac{D_{estimado_{ij}}^n}{\bar{d}} \quad 14)$$

Portanto, com a distância em rede estimada, é possível obter uma estimativa de tempo de viagem utilizando a velocidade livre média calculada para a região. Por outro lado, com o número de trechos e o tempo médio por percurso, isso também torna-se possível. Ainda, propõe-se adotar um fator de correção por meio do método dos mínimos quadrados aplicado aos tempos de viagem coletados e aos tempos estimados.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Delimitação dos parâmetros de classificação das regiões

Seguindo o que foi delineado pela metodologia estabelecida, foram escolhidas, a princípio, 4 regiões. Essas escolhas foram baseadas em critérios visuais (uma estimativa da média dos fatores de forma) associados a uma análise estatística da distribuição da dimensão das áreas das quadras, nas respectivas regiões. Desse modo, foram obtidos o livre caminho médio e o seu desvio padrão, para cada localização.

Em cada região, foram coletados dados de 60 rotas<sup>4</sup>, que permitiram indicar um panorama representativo das conformações de rede escolhidas. Na tabela 4.1, encontra-se um exemplo simplificado dos dados gerados pelo programa desenvolvido para a região B, do tipo 1, que compreende o bairro de Moema.

**Tabela 4.1 – Parâmetros de 20 viagens na região B**

| Rota | Latitude (origem) | Longitude (origem) | Latitude (destino) | Longitude (destino) | Número de trechos | Livre caminho médio (m) | Desvio-padrão (m) |
|------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|
| 0    | -23,61176         | -46,66442          | -23,59995          | -46,67023           | 23                | 89,25                   | 43,93             |
| 1    | -23,60772         | -46,67458          | -23,61115          | -46,66167           | 21                | 105,32                  | 39,01             |
| 2    | -23,60222         | -46,66849          | -23,61468          | -46,66348           | 25                | 107,56                  | 33,14             |
| 3    | -23,60330         | -46,66034          | -23,60326          | -46,67039           | 16                | 109,84                  | 54,04             |
| 4    | -23,60956         | -46,66445          | -23,60153          | -46,67270           | 16                | 88,58                   | 40,43             |
| 5    | -23,61237         | -46,67065          | -23,60330          | -46,66034           | 14                | 120,44                  | 61,47             |
| 6    | -23,60310         | -46,65564          | -23,60059          | -46,66698           | 20                | 104,99                  | 53,95             |
| 7    | -23,60765         | -46,65307          | -23,60476          | -46,67251           | 30                | 98,52                   | 42,49             |
| 8    | -23,61488         | -46,66214          | -23,60441          | -46,66311           | 22                | 105,00                  | 30,22             |
| 9    | -23,60714         | -46,66830          | -23,60168          | -46,66026           | 16                | 95,64                   | 43,21             |
| 10   | -23,61262         | -46,65867          | -23,59995          | -46,67023           | 20                | 119,68                  | 28,89             |
| 11   | -23,60425         | -46,65666          | -23,61187          | -46,67245           | 31                | 98,10                   | 31,56             |
| 12   | -23,61256         | -46,66068          | -23,60745          | -46,66953           | 15                | 90,83                   | 40,87             |
| 13   | -23,60218         | -46,67232          | -23,61591          | -46,66172           | 23                | 103,06                  | 38,88             |
| 14   | -23,61262         | -46,65867          | -23,60840          | -46,67223           | 28                | 87,15                   | 41,63             |

<sup>4</sup> A quantidade de rotas determinada para a análise teve como alicerce os preceitos abordados na seção 3.3 deste trabalho, onde são estabelecidos os critérios que definem uma amostragem adequada.

|    |           |           |           |           |    |        |       |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|----|--------|-------|
| 15 | -23,61490 | -46,66523 | -23,60207 | -46,66179 | 20 | 100,87 | 31,69 |
| 16 | -23,60669 | -46,66793 | -23,61612 | -46,66237 | 19 | 92,84  | 38,04 |
| 17 | -23,60953 | -46,65592 | -23,60835 | -46,67462 | 32 | 98,89  | 40,49 |
| 18 | -23,61166 | -46,65669 | -23,61315 | -46,66970 | 19 | 102,00 | 31,11 |
| 19 | -23,59971 | -46,66846 | -23,60913 | -46,66673 | 15 | 111,53 | 31,18 |

(Fonte: elaborado pelo autor).

Também, para cada viagem realizada, foram armazenados dados sobre a rota, com registros das posições (em latitude e longitude) de todas as interseções, e as dimensões de cada trecho, como pode ser verificado na tabela 4.2, a seguir.

**Tabela 4.2 – Coordenadas das interseções e os comprimentos de cada trecho referentes à rota 0 da região B, tipo 1**

| Interseção | Latitude  | Longitude | Comprimento do trecho (m) |
|------------|-----------|-----------|---------------------------|
| 0          | -23,61216 | -46,66470 | 52,62                     |
| 1          | -23,61195 | -46,66495 | 34,49                     |
| 2          | -23,61171 | -46,66525 | 40,61                     |
| 3          | -23,61143 | -46,66558 | 46,88                     |
| 4          | -23,61118 | -46,66587 | 42,29                     |
| 5          | -23,61099 | -46,66611 | 34,73                     |
| 6          | -23,61020 | -46,66537 | 116,34                    |
| 7          | -23,60942 | -46,66463 | 117,21                    |
| 8          | -23,60910 | -46,66502 | 53,32                     |
| 9          | -23,60872 | -46,66549 | 64,80                     |
| 10         | -23,60806 | -46,66631 | 110,77                    |
| 11         | -23,60797 | -46,66643 | 16,04                     |
| 12         | -23,60713 | -46,66747 | 141,54                    |
| 13         | -23,60677 | -46,66793 | 61,46                     |
| 14         | -23,60633 | -46,66848 | 74,85                     |
| 15         | -23,60553 | -46,66945 | 133,99                    |
| 16         | -23,60484 | -46,67034 | 120,78                    |
| 17         | -23,60416 | -46,67118 | 114,38                    |
| 18         | -23,60349 | -46,67201 | 115,47                    |
| 19         | -23,60285 | -46,67282 | 109,15                    |
| 20         | -23,60202 | -46,67209 | 129,19                    |
| 21         | -23,60123 | -46,67136 | 136,46                    |
| 22         | FINAL     | FINAL     | 185,33                    |

(Fonte: elaborado pelo autor)

Utilizando-se de uma análise estatística descritiva simples, foi obtida uma relação entre o livre caminho médio e o seu coeficiente de variação<sup>5</sup>. Era esperado que, com isso, fosse possível obter limites numéricos que permitissem uma classificação quantitativa dos tipos de regiões, em função, apenas, do livre caminho médio e seu coeficiente de variação.

Em seguida, analisou-se uma quinta região<sup>6</sup> (região de teste, vide figura 4.1) para verificar a aplicabilidade do método de classificação desenvolvido. No gráfico 4.1, estão marcados os limites classificatórios para os 4 tipos escolhidos.

**Figura 4.1 – Região de teste para classificação.**



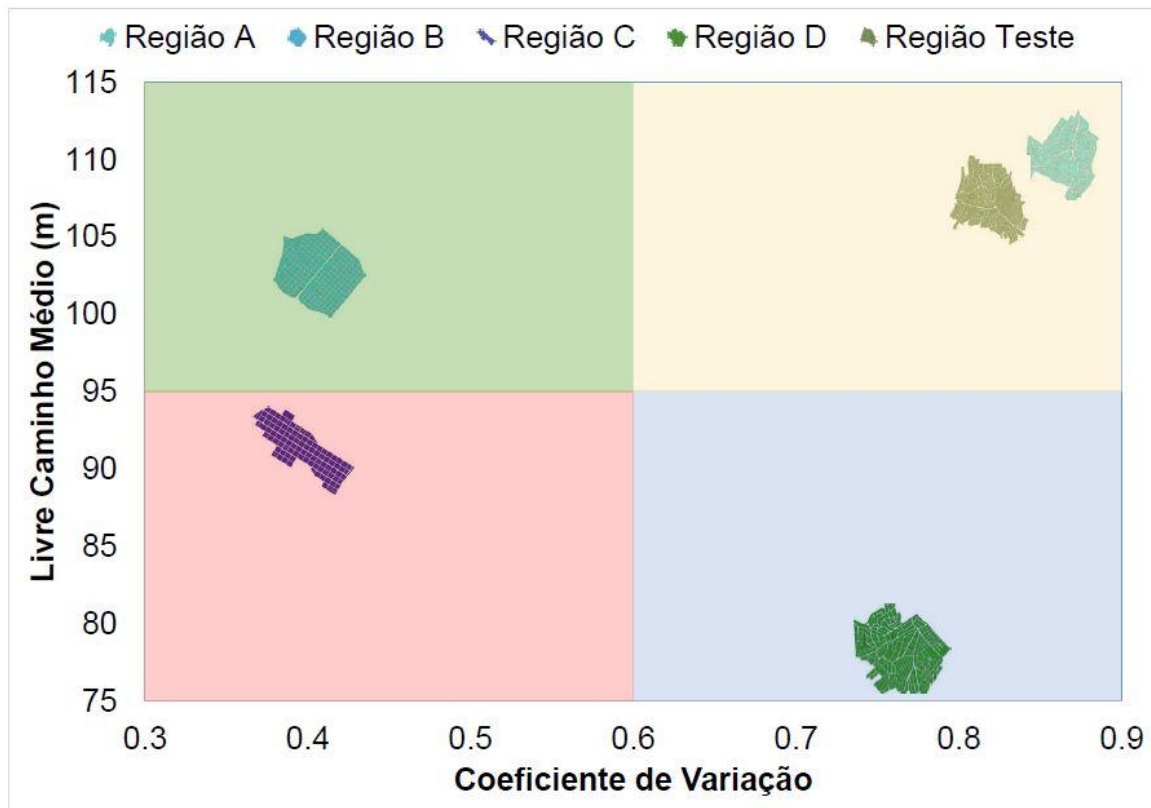
Fonte: elaborado pelo autor (2017).

---

<sup>5</sup> Coeficiente de Variação de Pearson (CVP) é dado pela razão entre o desvio-padrão e a média referentes a dados de uma mesma série.

<sup>6</sup> Foi escolhida de maneira aleatória, na cidade de São Paulo, tendo como base a dimensão de um bairro.

**Gráfico 4.1 – Classificação das regiões quanto ao livre caminho médio e o seu coeficiente de variação.**



(Fonte: elaborado pelo autor).

No gráfico 4.1, pode ser observada a marcação feita para cada zona de classificação, onde são evidenciados os 4 tipos classificatórios, definidos pelos seus respectivos limites de livre caminho médio (e o seu coeficiente de variação). Nessa escolha de intervalos, não constam algumas faixas de valores. Por exemplo, não se considerou abordar regiões que estejam com coeficiente de variação menor que 0,3, e nem maior que 0,9.

Desse modo, ficaram definidos, para a classificação criada, os seguintes limites:

- Tipo 1 (região B)

Foi estabelecido que este tipo consiste em livres caminhos médios que variam de 95 a 115 metros, sendo essa faixa composta por quadras de grandes dimensões. Além

disso, foi arbitrado um coeficiente de variação de Pearson variando de 0,3 a 0,6, resultando em um aspecto regular da rede viária.

- Tipo 2 (região D)

Nesse tipo, o livre caminho médio varia de 75 a 95 metros, e, para essa faixa, verifica-se uma predominância do que foi considerado como quadras de dimensões pequenas. Já em relação ao coeficiente de variação, que varia de 0,6 a 0,9, a informação obtida é a de irregularidade na forma das quadras.

- Tipo 3 (região A)

O tipo de região aqui referido possui quadras de dimensões grandes, com livre caminho médio variando, portanto, de 95 a 115 metros. A conformação é irregular, contando com coeficiente de variação entre 0,6 e 0,9.

- Tipo 4 (região C)

Por último, foi definido, para esse tipo, um livre caminho médio que varia de 75 a 95 metros (quadras com dimensões pequenas); o coeficiente de variação fornece a percepção de regularidade de vias, variando de 0,3 a 0,6.

## **4.2 Livre caminho médio e fator de linearidade**

Um dos objetivos deste trabalho é analisar uma eventual correlação entre a medida foco de estudo, o livre caminho médio, e o fator de linearidade, que traduz a relação entre a distância euclidiana (em linha reta) e a distância em rede, entre dois pontos. Isto posto, foi calculado para cada rota definida, o seu fator de linearidade para, em seguida, correlacioná-lo com o livre caminho médio obtido, como pode ser observado na tabela 4.3 (as tabelas completas, para cada região, podem ser observadas no anexo deste trabalho).

**Tabela 4.3 – Rotas na região B e seus respectivos Fatores de Linearidade.**

| Rota | Latitude de origem | Longitude de origem | Latitude de destino | Longitude de destino | Número de trechos | Livre caminho médio (m) | D.P. (m) | Fator de linearidade |
|------|--------------------|---------------------|---------------------|----------------------|-------------------|-------------------------|----------|----------------------|
| 0    | -23,61176          | -46,66442           | -23,59995           | -46,67023            | 23                | 89,2                    | 43,9     | 1,42                 |
| 1    | -23,60772          | -46,67458           | -23,61115           | -46,66167            | 21                | 105,3                   | 39,0     | 1,61                 |
| 2    | -23,60222          | -46,66849           | -23,61468           | -46,66348            | 25                | 107,6                   | 33,1     | 1,82                 |
| 3    | -23,60330          | -46,66034           | -23,60326           | -46,67039            | 16                | 109,8                   | 54,0     | 1,72                 |
| 4    | -23,60956          | -46,66445           | -23,60153           | -46,67270            | 16                | 88,6                    | 40,4     | 1,16                 |

Fonte: elaborado pelo autor (2017).

Para cada região estudada, foram observados os parâmetros apresentados na tabela 4.4.

**Tabela 4.4 – Dados obtidos para cada região**

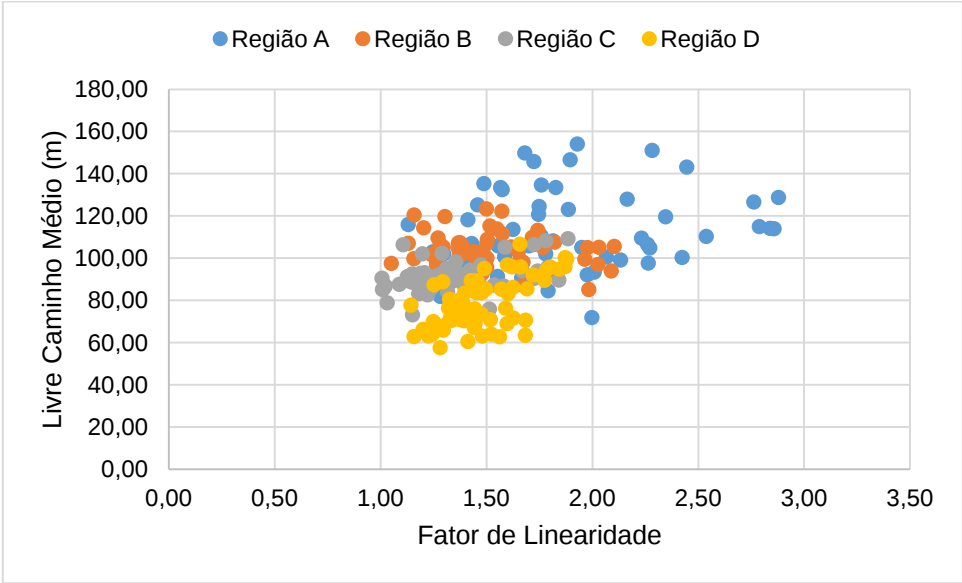
| Região   | Livre caminho médio | Desvio-padrão | Coefficiente de variação | Fator de linearidade |
|----------|---------------------|---------------|--------------------------|----------------------|
| <b>A</b> | 110,3               | 95,2          | 0,86                     | 1,84                 |
| <b>B</b> | 102,7               | 41,8          | 0,41                     | 1,50                 |
| <b>C</b> | 91,2                | 36,2          | 0,40                     | 1,34                 |
| <b>D</b> | 78,4                | 60,0          | 0,77                     | 1,49                 |
| <b>F</b> | 107,4               | 88,0          | 0,82                     | 1,52                 |

Fonte: elaborado pelo autor (2017).

Feita uma associação entre o livre caminho médio (e os demais parâmetros vinculados) e o fator de linearidade de diversas rotas, em cada região estudada (gráficos 4.2, 4.3 e 4.4), percebeu-se diferentes graus de correlação<sup>7</sup> entre as variáveis.

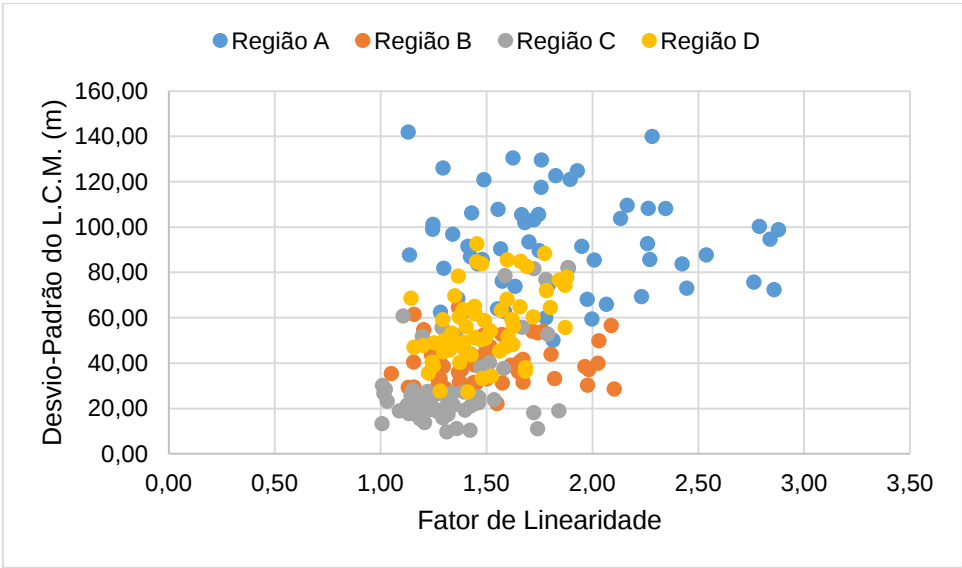
<sup>7</sup> Foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson para medir o grau de correlação. Índices próximos a 1 denotam correlação forte, enquanto que os valores que estão próximo a 0 denotam pouca ou nenhuma correlação.

**Gráfico 4.2 – Livre Caminho Médio x Fator de Linearidade**

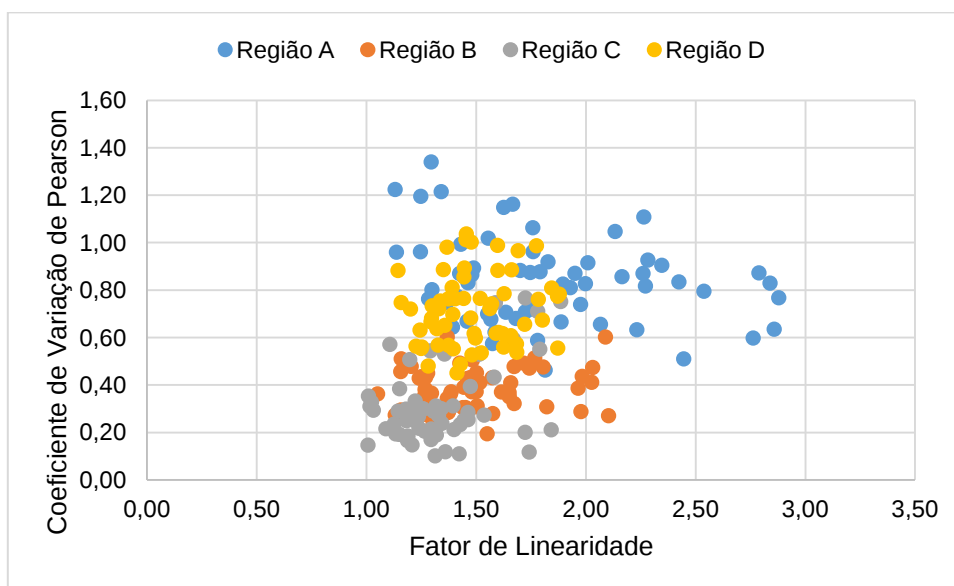


Fonte: elaborado pelo autor (2017).

**Gráfico 4.3 – Desvio-Padrão do Livre Caminho Médio x Fator de Linearidade**



Fonte: elaborado pelo autor (2017).

**Gráfico 4.4 – Coeficiente de Variação de Pearson x Fator de Linearidade.**

Fonte: elaborado pelo autor (2017).

Na tabela 4.5, estão dispostos os coeficientes de correlação de Pearson calculados para as distribuições apresentadas nos gráficos 4.2, 4.3 e 4.4. Verifica-se, pelos valores obtidos, a existência de uma grande variação nesses índices, mostrando haver pouca evidência que sustente uma possível correlação entre os parâmetros analisados e o fator de linearidade. Por exemplo, na região C, percebe-se coeficientes de correlação em torno de 0,41 e 0,45, e na D, o coeficiente chega a ser 0,60. Por outro lado, verifica-se coeficientes bem menores para as regiões A e B.

**Tabela 4.5 – Coeficientes de correlação**

| Região | $R_{lcm}$ | $R_{dp}$ | $R_{cvp}$ |
|--------|-----------|----------|-----------|
| A      | 0,27      | -0,06    | -0,28     |
| B      | -0,12     | 0,09     | 0,15      |
| C      | 0,41      | 0,45     | 0,43      |
| D      | 0,60      | 0,41     | 0,12      |

Legenda:  $R_{lcm}$  (coeficiente de correlação entre fator de linearidade e livre caminho médio);  $R_{dp}$  (coeficiente de correlação entre desvio-padrão do livre caminho médio e fator de linearidade);  $R_{cvp}$  (coeficiente de correlação entre coeficiente de variação de Pearson e fator de linearidade).

Fonte: elaborado pelo autor (2017).

### 4.3 Estimativa do tempo de viagem entre dois pontos

Neste trabalho, foi proposto um método para estimar o tempo de viagem entre dois pontos (origem e destino) com suas coordenadas definidas (latitude e longitude), utilizando apenas os parâmetros obtidos (e.g., livre caminho médio, fator de linearidade) e a fórmula de Haversine. Para isso, foram listadas as velocidades livres médias e os tempos médios para percorrer um trecho em cada região, para cada um dos 3 horários analisados (foram escolhidos os “best-guess”, por serem considerados estimativas mais prováveis).

**Tabela 4.6 – Velocidades livres médias em cada região**

| Região   | V <sub>L</sub> normal (km/h) | V <sub>L</sub> pico da manhã (km/h) | V <sub>L</sub> pico da tarde (km/h) |
|----------|------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>A</b> | 24,4                         | 19,8                                | 18,2                                |
| <b>B</b> | 24,2                         | 23,5                                | 18,2                                |
| <b>C</b> | 24,4                         | 19,9                                | 18,3                                |
| <b>D</b> | 24,4                         | 19,8                                | 18,1                                |

Fonte: elaborado pelo autor (2017).

**Tabela 4.7 – Tempo médio por trecho**

| Região   | Tempo por trecho (normal) (s) | Tempo por trecho (pico da manhã) (s) | Tempo por trecho (pico da tarde) (s) |
|----------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>A</b> | 16,3                          | 20,0                                 | 21,8                                 |
| <b>B</b> | 15,3                          | 18,7                                 | 20,4                                 |
| <b>C</b> | 13,4                          | 16,5                                 | 17,9                                 |
| <b>D</b> | 11,6                          | 14,3                                 | 15,6                                 |

Fonte: elaborado pelo autor (2017).

A estimativa pelo tempo médio por trecho forneceu um melhor coeficiente de correlação de Pearson do que a estimativa pela velocidade livre média (ambos são métodos propostos na seção 3.5). Portanto, optou-se por apresentar, neste relatório, apenas os resultados obtidos pela estimativa que utiliza o tempo médio por trecho.

Para diminuir a diferença entre o tempo estimado e o tempo obtido pela API Directions da Google, foi aplicado um fator de correção, que foi obtido através do

método dos mínimos quadrados, buscando a melhor aproximação possível para a estimação dos tempos de viagem das rotas definidas. Na tabela 4.8, observa-se os fatores de correção obtidos para cada uma das regiões.

**Tabela 4.8 – Fator de correção dos tempos de viagem**

| <b>Região</b> | <b>Fator de correção</b> |
|---------------|--------------------------|
| <b>A</b>      | 1,0                      |
| <b>B</b>      | 1,3                      |
| <b>C</b>      | 1,3                      |
| <b>D</b>      | 1,0                      |

Fonte: elaborado pelo autor (2017).

Por fim, utilizando-se as fórmulas propostas na seção 3.5 do capítulo 3, foram obtidos os resultados para as estimativas dos tempos de viagem das rotas analisadas. Algumas estimativas podem ser observadas na tabela 4.9.

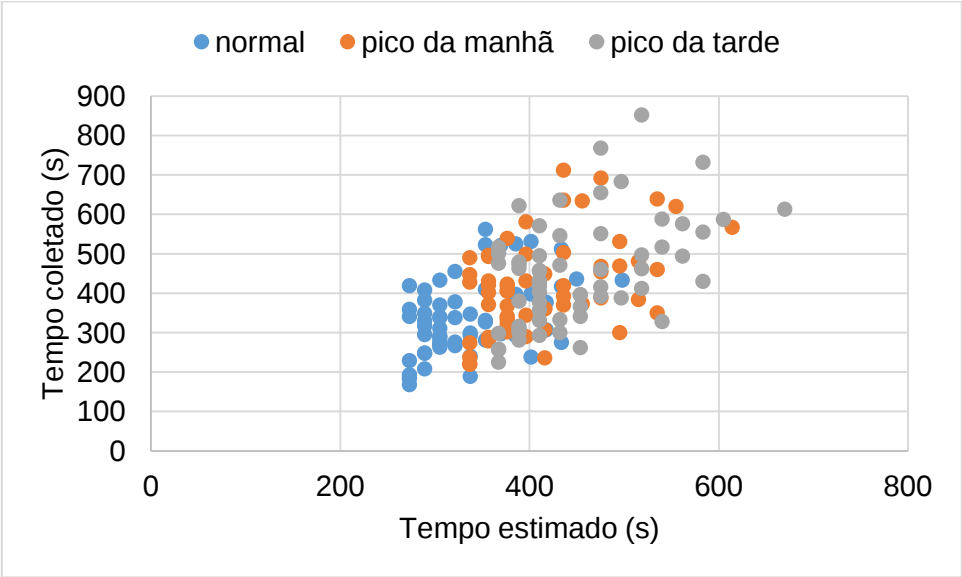
**Tabela 4.9 – Exemplos de estimativas na região B**

| <b>Rota</b> | <b>Tempo Estimado (s)</b> | <b>Tempo corrigido (s)</b> | <b>Tempo coletado (s)</b> |
|-------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| <b>0</b>    | 321                       | 417                        | 542                       |
| <b>1</b>    | 306                       | 397                        | 427                       |
| <b>2</b>    | 336                       | 437                        | 554                       |
| <b>3</b>    | 229                       | 298                        | 376                       |
| <b>4</b>    | 275                       | 358                        | 350                       |

Fonte: elaborado pelo autor (2017).

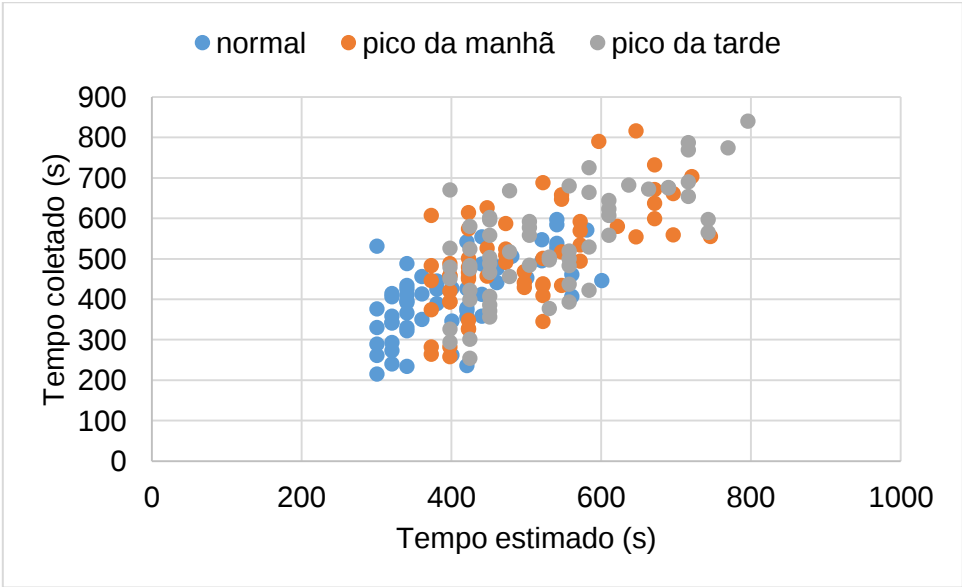
Para as rotas 0, 1, 2, 3 e 4 na região B, verifica-se, analisando-se somente esse grupo, um fator de correlação da ordem de 0,83. Caso fosse observado um índice dessa magnitude ao analisar todas as viagens, poder-se-ia afirmar que o método tem forte aplicação ao contexto da região B, no entanto, isso não se verificou. Pela tabela 4.10, observa-se que o fator de correlação geral está em torno de 0,63 a 0,69, para a região B. As demais regiões apresentaram índices ainda menores.

**Gráfico 4.5 – Tempos estimados na região A**



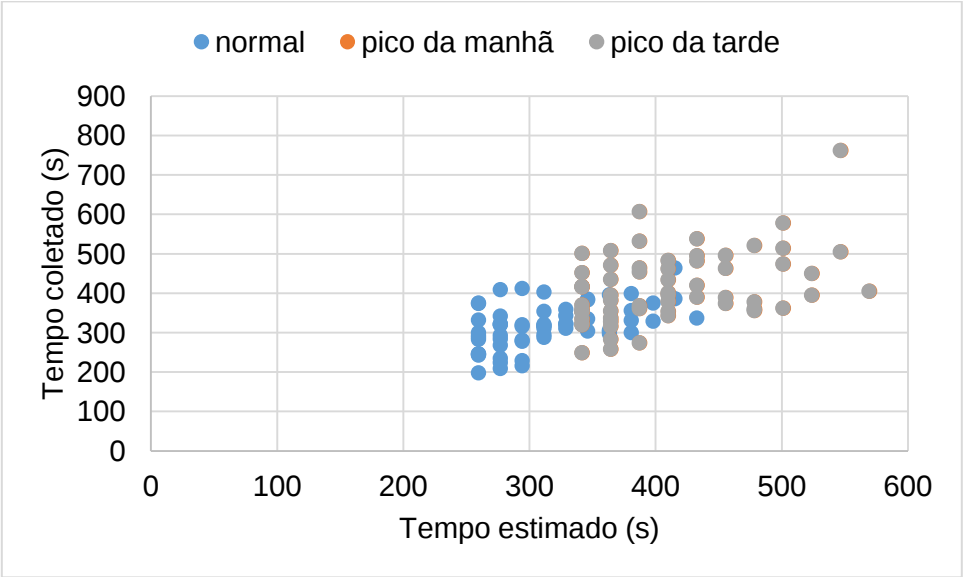
Fonte: elaborado pelo autor (2017).

**Gráfico 4.6 – Tempos estimados na região B**



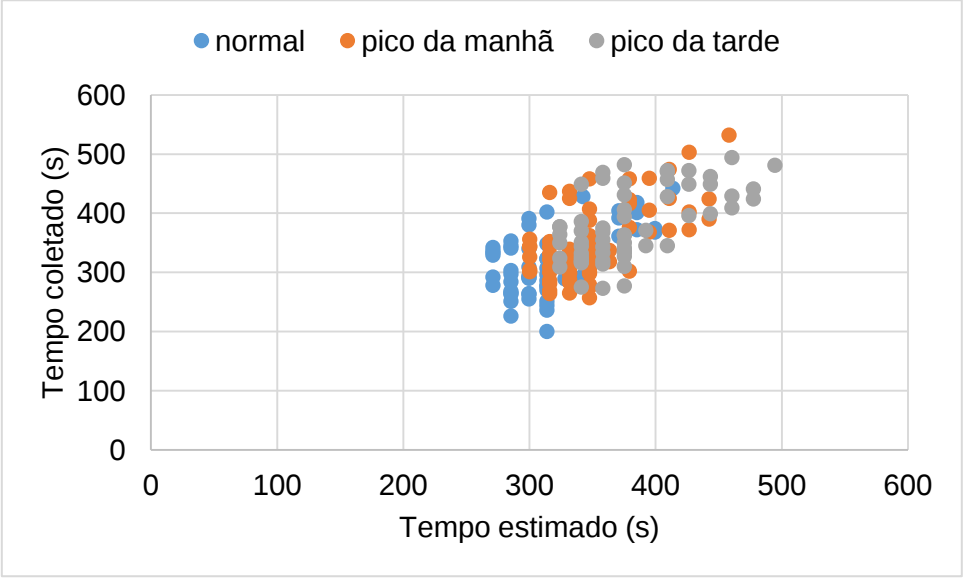
Fonte: elaborado pelo autor (2017).

**Gráfico 4.7 – Tempos estimados na região C**



Fonte: elaborado pelo autor (2017).

**Gráfico 4.8 – Tempos estimados na região D**



Fonte: elaborado pelo autor (2017).

**Tabela 4.10 – Fator de correlação para cada região**

| <b>Região</b> | <b>Fator de correlação (normal)</b> | <b>Fator de correlação (pico da manhã)</b> | <b>Fator de correlação (pico da tarde)</b> |
|---------------|-------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <b>A</b>      | 0,45                                | 0,46                                       | 0,48                                       |
| <b>B</b>      | 0,63                                | 0,65                                       | 0,69                                       |
| <b>C</b>      | 0,50                                | 0,43                                       | 0,47                                       |
| <b>D</b>      | 0,57                                | 0,62                                       | 0,60                                       |

Fonte: elaborado pelo autor (2017).

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1 Introdução

Em grandes cidades, o sistema de transporte é alvo de muito estudo e de constante melhoramento, o que se traduz diretamente em ganho de tempo e redução de custos. O crescimento acelerado nos centros urbanos acaba por impor a necessidade de um grande desenvolvimento tecnológico, com novas medidas para análise e otimização das condições de tráfego. Dessa maneira, fazem-se indispensáveis métodos que forneçam rápidas análises das variáveis envolvidas, a fim de que sejam dadas respostas, com grande rapidez, capazes de melhorar a fluidez nas diversas vias que compõem o sistema viário urbano.

Se por um lado existe a necessidade de um monitoramento síncrono e constante, por outro, pode-se pensar a longo prazo, na busca de parâmetros que sirvam de base para um auxílio ao planejamento e à estruturação do meio urbano. Isto posto, instrumentos como o livre caminho médio, a velocidade livre média e o fator de linearidade estão sujeitos a desempenhar ambos os papéis, isto é, análises a curto (simultâneas) e a longo prazo (de planejamento e preditivas).

Neste trabalho, os modelos de representação da rede viária apresentados possuem critérios de classificação com uma aplicação ao contexto urbano que é altamente viável. Os modelos são automatizados, o que permite obter uma significativa base de dados, a qual é capaz de traduzir de forma expressiva o que ocorre em determinados tipos de regiões. Assim, é definida uma solução plausível para a determinação dos valores associados às características investigadas. Vale ponderar a essência investigativa deste trabalho, que tratou da busca de uma expressividade desses parâmetros em uma aplicação ao contexto da Engenharia, mais especificamente, da Engenharia de Transportes.

Como o início da investigação da influência desses parâmetros nasceu de analogias realizadas no âmbito de conceitos da Física, em estudos voltados, em grande parte, à difusão de gases, vale apontar, como exemplo, um estudo realizado por Hoogendoorn e Bovy (2000), em que eles produziram um modelo de simulação

estocástico para a movimentação de pedestres baseado em equações de fluxo adaptadas da teoria gás-cinética. Outro estudo produziu equações aplicadas ao tráfego não somente adequadas a baixas densidades de veículos, mas também a um regime com alta densidade veicular, ou seja, foi realizada uma derivação de equações utilizadas em cinética dos gases para equações de tráfego em um contexto macroscópico (HELBING, D.; HENNECK, A.; SHVETSOV, V.; TREIBER, M., 2001). Em resumo, a tentativa de aplicação de conceitos de outras ciências ao sistema de transportes não é nova, como já fora apontado. E, embora haja muita tentativa em modelar esses sistemas, é improvável que a teoria de fluxo de tráfego consiga atingir a acurácia de descrição obtida em outros domínios da ciência como a Física Newtoniana ou a Termodinâmica (PAPAGEORGIOU, 1998).

A única lei física precisa em teoria do fluxo de tráfego é a equação da conservação de veículos. Todas as outras estruturas de modelo refletem idealizações contra intuitivas ou aproximações grosseiras de observações empíricas, e, portanto, o desafio para os pesquisadores no âmbito do fluxo de tráfego é, justamente, procurar por métodos úteis que apresentem poder descritivo suficiente, onde a suficiência depende da aplicação (HOOGENDOORN; BOVY, 2001). Portanto, essa foi, justamente, a proposta apresentada e investigada neste trabalho.

## **5.2 Conclusões**

### *5.2.1 Livre caminho médio e o seu coeficiente de variação*

No decorrer do desenvolvimento deste projeto foi observado que, para a classificação de regiões, seria necessário vincular o livre caminho médio ao seu desvio-padrão. Para isso, o coeficiente de variação de Pearson, que dá a relação entre a média e seu desvio-padrão, conduziu a um critério satisfatório, produzindo um potencial classificador quanto à conformação das redes viárias. Em geral, para a amostra obtida, foi percebido que áreas com grande distribuição de formatos de blocos de quadras,

com arruamento considerado irregular, tal como um padrão anastomosado<sup>8</sup>, por exemplo, têm coeficientes que variam de 0,6 a 0,9. Em contrapartida, locais em que as vias possuem maior regularidade, com predominância de quadras com formas quadradas ou de retângulos regulares, como é o caso da região B, apresentam coeficientes que variam de 0,3 a 0,6.

Essa medida associada ao valor do livre caminho médio define critérios favoráveis a 4 tipos classificatórios. O livre caminho médio, por sua vez, como observado, permite obter uma medida de dispersão das dimensões dos blocos de quadras. Isso é evidenciado pela forte correlação com a dispersão da área efetiva desses blocos. Para definir regiões com quadras que possuem áreas de grandes dimensões, adotou-se uma faixa de livre caminho médio entre 95 e 115 metros. Já para regiões com quadras consideradas pequenas, o livre caminho médio ficou entre 75 e 95 metros.

### *5.2.2 Correlação com o fator de linearidade*

Uma das premissas que motivou o estudo do livre caminho médio e sua influência no sistema viário urbano foi a possível correlação com índices que permitem analisar as conformações de rede nesse sistema. Embora possa ter sido pensado na existência de uma correlação aparente entre esses índices (mais especificamente, entre o livre caminho médio e o fator de linearidade), o que se verificou é que não há, de fato, coeficientes de correlação que sustentem essa hipótese.

Como visto na tabela 4.5, apresentada na seção 4.2 do capítulo 4 (e por meio dos gráficos de dispersão 4.2, 4.3 e 4.4), os coeficientes de correlação não forneceram valores razoáveis para garantir a sustentação da premissa indicada. Ao contrário do que era esperado, o que se obteve é um resultado que indica independência entre o fator de linearidade e o livre caminho médio – e suas ramificações: o desvio-padrão e o coeficiente de variação, parâmetros que foram capazes de fornecer um critério de classificação das diferentes regiões.

---

<sup>8</sup> Padrão estabelecido para rios com várias bifurcações e reencontros, geralmente observados em rios de planície, e apresentam grande sinuosidade.

Ademais, buscou-se interpretar o resultado obtido por meio de análises gerais sobre a rede, buscando o que indica cada uma das variáveis calculadas. Como fora discutido na seção 4.1, o livre caminho médio é uma medida que provê uma percepção das dimensões das quadras presentes em determinada região. Já o fator de linearidade, define o nível de circuitação ao se percorrer trajetos estabelecidos. Assim, uma hipótese foi atribuir a regiões com maior livre caminho médio, um maior fator de linearidade, porém, como visto, isso não foi percebido pelos coeficientes de correlação obtidos. Ainda, imaginava-se que em regiões com predominância de quadras de formas irregulares, obter-se-ia maiores fatores de linearidade. Isso, também, não foi observado.

No entanto, um resultado aparente é o aumento da correlação para regiões com quadras consideradas pequenas (C e D). Uma possível justificativa é que, para esses casos, há uma maior eficiência na distribuição de caminhos. Isto é, a organização dos sentidos das vias se dá de maneira melhor distribuída, impedindo grandes variações nas distâncias percorridas de um ponto a outro. Vale ressaltar que, embora pareça uma justificativa adequada para o contexto, isso não pode ser percebido diretamente dos coeficientes de correlação obtidos.

### *5.2.3 Estimativa do tempo de viagem entre dois pontos*

Boa parte dos esforços e medidas aplicados ao trânsito tentam viabilizar métodos rápidos e eficientes de estimar os tempos de viagem estabelecidos entre pontos de origem e de destino estabelecidos. Existem diversos algoritmos e uma grande estrutura em torno da otimização para o cálculo do melhor caminho em redes do sistema viário, de forma que possa parecer desnecessário tentar uma estimativa, em primeira instância, pouco precisa. No entanto, num caminho que pode parecer contrário ao que tem sido desenvolvido em um contexto amplamente tecnológico, alguns métodos simplificados podem ser interessantes para a aplicação de mecanismos que exijam estimativas mais rápidas ou que forneçam parâmetros que definam uma região com um todo, por exemplo. Nesse ponto, o método descrito neste trabalho para a estimativa dos tempos de viagem pode fornecer informações que sejam pertinentes a

toda uma região, e que definam a importância dos parâmetros estudados para o contexto viário.

Do que foi visto na seção 4.3, percebe-se que não há uma forte correlação entre os valores estimados e os valores coletados por meio da API Directions da Google. Os valores dos coeficientes de correlação linear de Pearson vistos são baixos para garantir grande precisão na estimativa. No entanto, principalmente para a região B, percebe-se que há um grau de correlação maior, se comparado às outras regiões. Esse grau de correlação não chega a ser alto o suficiente para confirmar forte correlação, mas indica que existe dependência direta entre os parâmetros utilizados e o tempo de viagem. Para a região B, foram obtidos coeficientes da ordem de 0,63 a 0,69, enquanto que para as demais, os coeficientes ficaram na ordem de 0,43 a 0,62.

#### *5.2.4 Erros obtidos*

Os erros devido à obtenção das interseções pelo método computacional desenvolvido, embora não tenham sido estimados, foram reduzidos mediante à escolha criteriosa das localizações para a aplicação. Foram verificadas a disponibilidade de dados de cada região, além da confiabilidade dos mesmos. Desse modo, procurou-se evitar que fossem adquiridos parâmetros falaciosos sobre cada local analisado.

Também, foi dimensionado um tamanho considerado adequado para cada amostra, a fim de que fosse possível obter medidas representativas. Isso foi detalhado ao longo do capítulo 3, justificando cada escolha para a aquisição efetiva dos dados considerados necessários para a análise almejada.

### **5.3 Recomendações e considerações finais**

Como sugestão para continuidade deste trabalho, aponta-se para a necessidade de obtenção de dados de uma quantidade maior de regiões, a fim de se estabelecer melhores critérios de classificação e análise. Assim, seria verificado se há um melhor refinamento dos intervalos escolhidos para os limites do livre caminho médio e do seu coeficiente de variação de Pearson. Outra perspectiva baseia-se em aumentar o

número de cidades estudadas. Dado o tempo para a elaboração deste projeto, restringiu-se a pesquisa à cidade de São Paulo. Porém, com um maior número de cidades seria possível estabelecer comparações de diferentes localidades e refinar os resultados apresentados, introduzindo, desse modo, novas visões a respeito dessa aplicação.

Há, também, a diferença sazonal do comportamento do trânsito nas grandes cidades. Em geral, essas diferenças são percebidas ao longo dos dias na semana ou em escalas temporais maiores, considerando as especificidades de cada época ao longo do ano. Neste estudo, foram analisados somente os dados referentes a uma segunda-feira do mês de outubro de 2017 (previsão baseada em série histórica, viabilizada pela Google). Então, é provável que exista grande variabilidade dos parâmetros se analisadas outras datas.

Outra forma de análise poderia incluir o uso de ferramentas de simulação de tráfego (e.g., PTV-Vissim e PTV-Visum). Dessa maneira, poderia ser percebido o comportamento das variáveis aqui analisadas em um contexto de aplicação, como, por exemplo, na alteração de velocidades em trechos específicos ao longo das rotas estabelecidas.

Em relação à formulação matemática, há a necessidade do desenvolvimento de ferramentas mais poderosas, dado o carácter incipiente da utilização do livre caminho médio e suas ramificações voltadas ao uso aplicado ao sistema de transportes. Isso associado ao uso de análises estatísticas mais elaboradas poderia fornecer resultados mais precisos, com aplicação prática mais efetiva. Ainda, foi deixado para um estudo futuro, a investigação dos diferentes interferências das interseções (a princípio, com ou sem semáforos) e do fator associado à dimensão do veículo (analogia à seção de choque, citada no capítulo 2).

Estudos envolvendo a teoria gás-cinética não são novos, e, portanto, há muito conteúdo a ser analisado. Por exemplo, pode-se tentar associar os resultados obtidos por diferentes autores, como (Helbing et al., 2001), para verificar se há correlações entre as formulações desenvolvidas com os resultados aqui obtidos. Dessa maneira, contribuir-se-ia para um aumento da capacidade dos modelos desenvolvidos para o fluxo de tráfego que são pautados em analogias aos sistemas de partículas gasosas.



## ANEXO

## REGIÃO A

| Rota | Latitude de origem | Longitude de origem | Latitude de destino | Longitude de destino | Número de trechos | Livre caminho médio (m) | Desvio-padrão (m) | Tempo de viagem fora de horário de pico (s) | Tempo de viagem - pico da manhã (s) | Tempo de viagem - pico da tarde (s) | Fator de linearidade |
|------|--------------------|---------------------|---------------------|----------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| 0    | -23,55034          | -46,67632           | -23,54986           | -46,66306            | 19                | 124,5                   | 89,6              | 297                                         | 373                                 | 388                                 | 1,75                 |
| 1    | -23,54566          | -46,66012           | -23,54360           | -46,67084            | 13                | 125,2                   | 83,7              | 271                                         | 331                                 | 377                                 | 1,46                 |
| 2    | -23,54441          | -46,66308           | -23,54316           | -46,67614            | 20                | 99,0                    | 85,7              | 331                                         | 419                                 | 460                                 | 1,48                 |
| 3    | -23,54987          | -46,67613           | -23,55079           | -46,66313            | 29                | 126,6                   | 75,7              | 523                                         | 636                                 | 655                                 | 2,76                 |
| 4    | -23,53941          | -46,66467           | -23,54997           | -46,66194            | 19                | 100,7                   | 62,7              | 267                                         | 344                                 | 333                                 | 1,59                 |
| 5    | -23,55126          | -46,67576           | -23,54975           | -46,66387            | 24                | 119,6                   | 108,2             | 378                                         | 499                                 | 546                                 | 2,35                 |
| 6    | -23,54336          | -46,66251           | -23,55167           | -46,66807            | 23                | 106,5                   | 92,7              | 349                                         | 493                                 | 479                                 | 2,26                 |
| 7    | -23,54273          | -46,66009           | -23,54274           | -46,67106            | 14                | 154,1                   | 124,8             | 370                                         | 423                                 | 495                                 | 1,93                 |
| 8    | -23,54433          | -46,67346           | -23,54449           | -46,66032            | 21                | 81,8                    | 62,4              | 281                                         | 370                                 | 416                                 | 1,28                 |
| 9    | -23,54012          | -46,66448           | -23,54359           | -46,67452            | 13                | 132,4                   | 76,1              | 248                                         | 282                                 | 281                                 | 1,57                 |
| 10   | -23,55126          | -46,67576           | -23,54679           | -46,66057            | 35                | 99,1                    | 103,7             | 512                                         | 639                                 | 732                                 | 2,13                 |
| 11   | -23,53864          | -46,66325           | -23,55302           | -46,66488            | 21                | 134,7                   | 129,5             | 417                                         | 460                                 | 555                                 | 1,76                 |
| 12   | -23,55199          | -46,66485           | -23,53864           | -46,66325            | 19                | 102,0                   | 81,8              | 238                                         | 300                                 | 328                                 | 1,30                 |
| 13   | -23,54151          | -46,67020           | -23,54973           | -46,67523            | 15                | 97,2                    | 62,6              | 193                                         | 237                                 | 258                                 | 1,39                 |
| 14   | -23,54144          | -46,66750           | -23,55302           | -46,66488            | 17                | 146,6                   | 121,0             | 327                                         | 392                                 | 392                                 | 1,89                 |
| 15   | -23,54936          | -46,67447           | -23,54324           | -46,66590            | 13                | 133,4                   | 90,4              | 248                                         | 279                                 | 316                                 | 1,57                 |
| 16   | -23,54484          | -46,66181           | -23,54549           | -46,67395            | 15                | 102,9                   | 99,0              | 240                                         | 307                                 | 341                                 | 1,25                 |
| 17   | -23,54324          | -46,66590           | -23,54718           | -46,67656            | 14                | 118,2                   | 91,5              | 276                                         | 290                                 | 300                                 | 1,41                 |
| 18   | -23,54323          | -46,66448           | -23,55059           | -46,67030            | 17                | 79,7                    | 96,8              | 229                                         | 274                                 | 298                                 | 1,34                 |
| 19   | -23,54566          | -46,66589           | -23,54987           | -46,67613            | 21                | 90,7                    | 105,4             | 291                                         | 368                                 | 418                                 | 1,67                 |
| 20   | -23,55304          | -46,66328           | -23,54151           | -46,67020            | 25                | 143,1                   | 73,0              | 525                                         | 692                                 | 852                                 | 2,45                 |

|    |           |           |           |           |    |       |       |     |     |     |      |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|----|-------|-------|-----|-----|-----|------|
| 21 | -23,55481 | -46,66437 | -23,54429 | -46,67429 | 17 | 135,3 | 120,8 | 307 | 384 | 494 | 1,49 |
| 22 | -23,54975 | -46,66387 | -23,54580 | -46,67526 | 21 | 127,9 | 109,6 | 347 | 449 | 396 | 2,16 |
| 23 | -23,55490 | -46,66368 | -23,53874 | -46,66866 | 27 | 120,7 | 105,5 | 433 | 567 | 613 | 1,75 |
| 24 | -23,55005 | -46,66675 | -23,54094 | -46,66468 | 25 | 100,3 | 83,7  | 419 | 447 | 476 | 2,42 |
| 25 | -23,54607 | -46,67268 | -23,54335 | -46,66152 | 20 | 91,3  | 63,9  | 338 | 431 | 471 | 1,55 |
| 26 | -23,53910 | -46,66545 | -23,54876 | -46,66192 | 24 | 84,5  | 74,1  | 339 | 418 | 429 | 1,79 |
| 27 | -23,54830 | -46,67350 | -23,54283 | -46,66371 | 16 | 133,4 | 122,6 | 311 | 405 | 456 | 1,83 |
| 28 | -23,53864 | -46,66325 | -23,54771 | -46,66618 | 15 | 99,9  | 86,9  | 208 | 288 | 301 | 1,42 |
| 29 | -23,54513 | -46,66666 | -23,55396 | -46,66360 | 21 | 109,5 | 69,3  | 359 | 490 | 517 | 2,23 |
| 30 | -23,55439 | -46,66448 | -23,54441 | -46,66308 | 24 | 92,1  | 68,1  | 279 | 339 | 458 | 1,98 |
| 31 | -23,54827 | -46,66149 | -23,54976 | -46,67175 | 16 | 151,0 | 139,9 | 330 | 421 | 380 | 2,28 |
| 32 | -23,54268 | -46,66527 | -23,55059 | -46,67030 | 15 | 84,6  | 101,2 | 184 | 220 | 225 | 1,25 |
| 33 | -23,53881 | -46,66741 | -23,55167 | -46,66807 | 23 | 105,8 | 93,4  | 393 | 454 | 497 | 1,70 |
| 34 | -23,54732 | -46,66340 | -23,54830 | -46,67350 | 24 | 97,6  | 108,2 | 341 | 428 | 501 | 2,26 |
| 35 | -23,55304 | -46,66328 | -23,54800 | -46,67226 | 24 | 128,7 | 98,8  | 382 | 496 | 622 | 2,88 |
| 36 | -23,54929 | -46,66886 | -23,54064 | -46,66445 | 23 | 104,8 | 85,7  | 408 | 431 | 463 | 2,27 |
| 37 | -23,54774 | -46,67617 | -23,54495 | -46,66403 | 19 | 91,6  | 68,5  | 299 | 360 | 366 | 1,36 |
| 38 | -23,55304 | -46,66328 | -23,53941 | -46,66467 | 18 | 145,8 | 103,2 | 531 | 531 | 588 | 1,72 |
| 39 | -23,55056 | -46,66659 | -23,54316 | -46,67448 | 18 | 104,5 | 73,8  | 271 | 304 | 293 | 1,63 |
| 40 | -23,55126 | -46,67576 | -23,54925 | -46,66424 | 29 | 114,9 | 100,3 | 455 | 581 | 636 | 2,79 |
| 41 | -23,54925 | -46,66424 | -23,54495 | -46,67362 | 23 | 93,4  | 85,4  | 317 | 402 | 474 | 2,01 |
| 42 | -23,55094 | -46,66573 | -23,53941 | -46,66467 | 16 | 91,4  | 87,7  | 189 | 236 | 262 | 1,14 |
| 43 | -23,54923 | -46,66306 | -23,54151 | -46,67020 | 28 | 114,1 | 94,6  | 433 | 539 | 571 | 2,84 |
| 44 | -23,54268 | -46,66527 | -23,54750 | -46,67375 | 14 | 94,0  | 126,0 | 168 | 220 | 257 | 1,29 |
| 45 | -23,54583 | -46,67594 | -23,54624 | -46,66265 | 34 | 113,9 | 72,4  | 521 | 634 | 683 | 2,86 |
| 46 | -23,54750 | -46,67375 | -23,53864 | -46,66325 | 21 | 101,3 | 84,2  | 292 | 388 | 412 | 1,46 |
| 47 | -23,54070 | -46,66198 | -23,54929 | -46,67507 | 16 | 115,9 | 141,9 | 275 | 350 | 430 | 1,13 |
| 48 | -23,55490 | -46,66368 | -23,54756 | -46,67060 | 30 | 71,8  | 59,4  | 295 | 371 | 310 | 2,00 |
| 49 | -23,54923 | -46,66306 | -23,53895 | -46,66482 | 17 | 105,8 | 107,8 | 269 | 341 | 432 | 1,55 |
| 50 | -23,54383 | -46,66065 | -23,54710 | -46,67260 | 17 | 106,9 | 106,2 | 293 | 361 | 396 | 1,43 |
| 51 | -23,54643 | -46,67440 | -23,55001 | -46,66090 | 25 | 102,0 | 59,9  | 397 | 468 | 462 | 1,78 |

|    |           |           |           |           |    |       |       |     |     |     |      |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|----|-------|-------|-----|-----|-----|------|
| 52 | -23,54316 | -46,67614 | -23,55087 | -46,66887 | 19 | 108,2 | 50,1  | 263 | 302 | 331 | 1,81 |
| 53 | -23,54484 | -46,66132 | -23,55403 | -46,66610 | 18 | 110,5 | 117,5 | 288 | 320 | 357 | 1,76 |
| 54 | -23,54411 | -46,67054 | -23,55396 | -46,66360 | 30 | 110,3 | 87,7  | 562 | 712 | 768 | 2,54 |
| 55 | -23,54992 | -46,67059 | -23,54104 | -46,66240 | 24 | 105,0 | 91,5  | 410 | 503 | 551 | 1,95 |
| 56 | -23,54178 | -46,66138 | -23,54889 | -46,67432 | 22 | 113,6 | 130,4 | 377 | 481 | 576 | 1,62 |
| 57 | -23,54316 | -46,67614 | -23,55553 | -46,66640 | 26 | 123,1 | 81,9  | 436 | 620 | 587 | 1,89 |
| 58 | -23,54479 | -46,67226 | -23,54953 | -46,66204 | 24 | 100,5 | 65,9  | 339 | 407 | 403 | 2,07 |
| 59 | -23,54718 | -46,67656 | -23,54011 | -46,66385 | 17 | 149,8 | 101,9 | 398 | 469 | 517 | 1,68 |

| REGIÃO B |                    |                     |                     |                      |                   |                         |                   |                                             |                                     |                                     |                      |
|----------|--------------------|---------------------|---------------------|----------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| Rota     | Latitude de origem | Longitude de origem | Latitude de destino | Longitude de destino | Número de trechos | Livre caminho médio (m) | Desvio-padrão (m) | Tempo de viagem fora de horário de pico (s) | Tempo de viagem - pico da manhã (s) | Tempo de viagem - pico da tarde (s) | Fator de linearidade |
| 0        | -23,61176          | -46,66442           | -23,59995           | -46,67023            | 23                | 89,2                    | 43,9              | 542                                         | 688                                 | 680                                 | 1,42                 |
| 1        | -23,60772          | -46,67458           | -23,61115           | -46,66167            | 21                | 105,3                   | 39,0              | 427                                         | 468                                 | 504                                 | 1,61                 |
| 2        | -23,60222          | -46,66849           | -23,61468           | -46,66348            | 25                | 107,6                   | 33,1              | 554                                         | 658                                 | 725                                 | 1,82                 |
| 3        | -23,60330          | -46,66034           | -23,60326           | -46,67039            | 16                | 109,8                   | 54,0              | 376                                         | 483                                 | 479                                 | 1,72                 |
| 4        | -23,60956          | -46,66445           | -23,60153           | -46,67270            | 16                | 88,6                    | 40,4              | 350                                         | 526                                 | 456                                 | 1,16                 |
| 5        | -23,61237          | -46,67065           | -23,60330           | -46,66034            | 14                | 120,4                   | 61,5              | 236                                         | 345                                 | 393                                 | 1,16                 |
| 6        | -23,60310          | -46,65564           | -23,60059           | -46,66698            | 20                | 105,0                   | 53,9              | 392                                         | 614                                 | 503                                 | 1,77                 |
| 7        | -23,60765          | -46,65307           | -23,60476           | -46,67251            | 30                | 98,5                    | 42,5              | 571                                         | 703                                 | 774                                 | 1,47                 |
| 8        | -23,61488          | -46,66214           | -23,60441           | -46,66311            | 22                | 105,0                   | 30,2              | 488                                         | 574                                 | 602                                 | 1,98                 |
| 9        | -23,60714          | -46,66830           | -23,60168           | -46,66026            | 16                | 95,6                    | 43,2              | 330                                         | 446                                 | 526                                 | 1,50                 |
| 10       | -23,61262          | -46,65867           | -23,59995           | -46,67023            | 20                | 119,7                   | 28,9              | 584                                         | 671                                 | 654                                 | 1,30                 |
| 11       | -23,60425          | -46,65666           | -23,61187           | -46,67245            | 31                | 98,1                    | 31,6              | 597                                         | 732                                 | 690                                 | 1,67                 |
| 12       | -23,61256          | -46,66068           | -23,60745           | -46,66953            | 15                | 90,8                    | 40,9              | 341                                         | 394                                 | 422                                 | 1,28                 |
| 13       | -23,60218          | -46,67232           | -23,61591           | -46,66172            | 23                | 103,1                   | 38,9              | 527                                         | 599                                 | 769                                 | 1,27                 |
| 14       | -23,61262          | -46,65867           | -23,60840           | -46,67223            | 28                | 87,1                    | 41,6              | 378                                         | 501                                 | 437                                 | 1,67                 |
| 15       | -23,61490          | -46,66523           | -23,60207           | -46,66179            | 20                | 100,9                   | 31,7              | 412                                         | 517                                 | 529                                 | 1,37                 |
| 16       | -23,60669          | -46,66793           | -23,61612           | -46,66237            | 19                | 92,8                    | 38,0              | 434                                         | 450                                 | 558                                 | 1,48                 |
| 17       | -23,60953          | -46,65592           | -23,60835           | -46,67462            | 32                | 98,9                    | 40,5              | 407                                         | 661                                 | 565                                 | 1,66                 |
| 18       | -23,61166          | -46,65669           | -23,61315           | -46,66970            | 19                | 102,0                   | 31,1              | 262                                         | 429                                 | 377                                 | 1,45                 |
| 19       | -23,59971          | -46,66846           | -23,60913           | -46,66673            | 15                | 111,5                   | 31,2              | 414                                         | 458                                 | 524                                 | 1,57                 |
| 20       | -23,60225          | -46,67373           | -23,61488           | -46,66214            | 24                | 104,6                   | 35,9              | 538                                         | 637                                 | 787                                 | 1,37                 |
| 21       | -23,60660          | -46,65737           | -23,59882           | -46,67001            | 18                | 109,6                   | 30,2              | 476                                         | 592                                 | 607                                 | 1,27                 |
| 22       | -23,60894          | -46,66106           | -23,59890           | -46,66760            | 19                | 101,3                   | 37,6              | 438                                         | 587                                 | 558                                 | 1,48                 |
| 23       | -23,60648          | -46,65591           | -23,61411           | -46,66300            | 12                | 97,5                    | 35,3              | 240                                         | 258                                 | 254                                 | 1,05                 |

|    |           |           |           |           |    |       |      |     |     |     |      |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|----|-------|------|-----|-----|-----|------|
| 24 | -23,60835 | -46,67462 | -23,61358 | -46,66477 | 17 | 99,6  | 42,6 | 322 | 348 | 386 | 1,46 |
| 25 | -23,60645 | -46,67002 | -23,59997 | -46,66264 | 11 | 107,0 | 29,3 | 215 | 264 | 326 | 1,13 |
| 26 | -23,60173 | -46,66591 | -23,60765 | -46,65307 | 22 | 100,0 | 42,0 | 356 | 434 | 519 | 1,50 |
| 27 | -23,60095 | -46,67255 | -23,60913 | -46,66673 | 15 | 108,9 | 34,0 | 406 | 459 | 580 | 1,50 |
| 28 | -23,59941 | -46,66372 | -23,61084 | -46,66979 | 17 | 106,5 | 33,0 | 426 | 409 | 483 | 1,28 |
| 29 | -23,60661 | -46,66299 | -23,59975 | -46,67142 | 14 | 101,7 | 43,6 | 396 | 454 | 407 | 1,24 |
| 30 | -23,60240 | -46,66635 | -23,61066 | -46,67265 | 13 | 99,7  | 29,4 | 273 | 282 | 301 | 1,16 |
| 31 | -23,60193 | -46,66524 | -23,61119 | -46,66239 | 15 | 107,1 | 33,0 | 343 | 420 | 475 | 1,50 |
| 32 | -23,60874 | -46,65858 | -23,59972 | -46,66454 | 15 | 99,1  | 38,0 | 366 | 466 | 466 | 1,27 |
| 33 | -23,59927 | -46,67043 | -23,60931 | -46,65778 | 21 | 105,2 | 38,5 | 453 | 580 | 672 | 1,30 |
| 34 | -23,60792 | -46,65779 | -23,60077 | -46,67362 | 40 | 93,9  | 56,5 | 547 | 816 | 675 | 2,09 |
| 35 | -23,60152 | -46,66221 | -23,60707 | -46,67176 | 15 | 97,1  | 34,3 | 330 | 326 | 356 | 1,26 |
| 36 | -23,59820 | -46,66554 | -23,60635 | -46,65991 | 21 | 92,2  | 43,9 | 293 | 393 | 483 | 1,80 |
| 37 | -23,60898 | -46,66272 | -23,59791 | -46,66438 | 24 | 105,1 | 49,8 | 456 | 626 | 668 | 2,03 |
| 38 | -23,60318 | -46,67163 | -23,61131 | -46,66631 | 21 | 105,6 | 28,5 | 531 | 607 | 670 | 2,10 |
| 39 | -23,59941 | -46,66372 | -23,61119 | -46,66239 | 26 | 99,5  | 38,4 | 445 | 491 | 592 | 1,96 |
| 40 | -23,60113 | -46,67134 | -23,60524 | -46,65948 | 17 | 115,2 | 47,3 | 425 | 524 | 577 | 1,52 |
| 41 | -23,60977 | -46,67390 | -23,61376 | -46,65919 | 25 | 103,1 | 38,0 | 441 | 494 | 623 | 1,65 |
| 42 | -23,61217 | -46,65783 | -23,60612 | -46,67159 | 20 | 98,7  | 42,7 | 477 | 534 | 558 | 1,27 |
| 43 | -23,60583 | -46,65379 | -23,59922 | -46,66692 | 20 | 105,7 | 39,3 | 487 | 647 | 664 | 1,39 |
| 44 | -23,61101 | -46,67132 | -23,60435 | -46,66236 | 15 | 107,2 | 64,6 | 234 | 327 | 371 | 1,37 |
| 45 | -23,60790 | -46,67514 | -23,61376 | -46,65919 | 28 | 103,2 | 36,2 | 495 | 554 | 676 | 1,65 |
| 46 | -23,60334 | -46,66885 | -23,61290 | -46,66366 | 16 | 102,6 | 37,1 | 425 | 479 | 596 | 1,38 |
| 47 | -23,61086 | -46,65990 | -23,60876 | -46,67061 | 26 | 85,1  | 37,1 | 358 | 488 | 399 | 1,98 |
| 48 | -23,60265 | -46,67421 | -23,60519 | -46,65461 | 29 | 103,1 | 52,1 | 446 | 555 | 840 | 1,48 |
| 49 | -23,60999 | -46,67267 | -23,60117 | -46,66098 | 21 | 113,8 | 22,1 | 480 | 569 | 644 | 1,55 |
| 50 | -23,60346 | -46,65644 | -23,60218 | -46,67232 | 25 | 113,2 | 53,3 | 506 | 790 | 682 | 1,74 |
| 51 | -23,60753 | -46,67565 | -23,60435 | -46,66236 | 18 | 122,2 | 52,6 | 346 | 441 | 497 | 1,57 |
| 52 | -23,59941 | -46,66372 | -23,60834 | -46,66218 | 21 | 97,0  | 39,9 | 289 | 374 | 451 | 2,03 |
| 53 | -23,60947 | -46,67327 | -23,60240 | -46,66635 | 13 | 101,4 | 44,1 | 261 | 282 | 294 | 1,25 |
| 54 | -23,60534 | -46,65775 | -23,60124 | -46,66845 | 17 | 100,3 | 39,2 | 410 | 501 | 488 | 1,44 |

|    |           |           |           |           |    |       |      |     |     |     |      |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|----|-------|------|-----|-----|-----|------|
| 55 | -23,60337 | -46,66534 | -23,61411 | -46,66300 | 17 | 103,1 | 31,4 | 413 | 457 | 517 | 1,44 |
| 56 | -23,60662 | -46,65451 | -23,60332 | -46,66704 | 17 | 107,4 | 31,2 | 389 | 509 | 484 | 1,37 |
| 57 | -23,60835 | -46,67462 | -23,59770 | -46,66526 | 16 | 114,4 | 54,7 | 358 | 434 | 422 | 1,20 |
| 58 | -23,61083 | -46,67443 | -23,60953 | -46,65592 | 23 | 123,3 | 45,8 | 461 | 559 | 597 | 1,50 |
| 59 | -23,61223 | -46,66637 | -23,60282 | -46,65721 | 19 | 101,2 | 28,8 | 372 | 438 | 500 | 1,37 |

| REGIÃO C |                    |                     |                     |                      |                   |                         |                   |                                             |                                     |                                     |                      |
|----------|--------------------|---------------------|---------------------|----------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| Rota     | Latitude de origem | Longitude de origem | Latitude de destino | Longitude de destino | Número de trechos | Livre caminho médio (m) | Desvio-padrão (m) | Tempo de viagem fora de horário de pico (s) | Tempo de viagem - pico da manhã (s) | Tempo de viagem - pico da tarde (s) | Fator de linearidade |
| 0        | -23,63658          | -46,69669           | -23,62650           | -46,70683            | 23                | 105,2                   | 78,5              | 331                                         | 578                                 | 504                                 | 1,59                 |
| 1        | -23,63389          | -46,69503           | -23,62805           | -46,70431            | 15                | 78,8                    | 23,2              | 229                                         | 274                                 | 282                                 | 1,03                 |
| 2        | -23,62709          | -46,70709           | -23,63256           | -46,69868            | 14                | 89,2                    | 22,8              | 245                                         | 320                                 | 334                                 | 1,19                 |
| 3        | -23,63177          | -46,70030           | -23,62584           | -46,70821            | 15                | 91,5                    | 17,3              | 288                                         | 416                                 | 360                                 | 1,32                 |
| 4        | -23,62655          | -46,70792           | -23,63405           | -46,69964            | 22                | 93,9                    | 11,0              | 412                                         | 532                                 | 524                                 | 1,74                 |
| 5        | -23,62760          | -46,70855           | -23,63607           | -46,69774            | 18                | 92,5                    | 17,7              | 297                                         | 356                                 | 379                                 | 1,15                 |
| 6        | -23,62769          | -46,70756           | -23,63389           | -46,69503            | 18                | 91,3                    | 17,7              | 306                                         | 378                                 | 394                                 | 1,13                 |
| 7        | -23,62642          | -46,70885           | -23,63604           | -46,69586            | 21                | 91,2                    | 21,5              | 337                                         | 405                                 | 424                                 | 1,13                 |
| 8        | -23,62763          | -46,70532           | -23,63551           | -46,69666            | 18                | 85,4                    | 22,9              | 295                                         | 354                                 | 386                                 | 1,24                 |
| 9        | -23,63680          | -46,69819           | -23,62618           | -46,70938            | 27                | 108,2                   | 76,9              | 464                                         | 762                                 | 763                                 | 1,78                 |
| 10       | -23,62614          | -46,70771           | -23,63464           | -46,69473            | 24                | 88,4                    | 25,6              | 386                                         | 505                                 | 504                                 | 1,31                 |
| 11       | -23,62711          | -46,70768           | -23,63224           | -46,69848            | 13                | 85,1                    | 30,1              | 268                                         | 328                                 | 296                                 | 1,01                 |
| 12       | -23,63446          | -46,69886           | -23,62679           | -46,70656            | 20                | 109,2                   | 82,1              | 320                                         | 607                                 | 480                                 | 1,88                 |
| 13       | -23,62711          | -46,70768           | -23,63528           | -46,69945            | 17                | 88,0                    | 24,6              | 317                                         | 396                                 | 418                                 | 1,21                 |
| 14       | -23,63525          | -46,69520           | -23,63180           | -46,70593            | 16                | 89,7                    | 19,5              | 281                                         | 454                                 | 368                                 | 1,24                 |
| 15       | -23,63471          | -46,69567           | -23,62614           | -46,70650            | 22                | 94,2                    | 10,3              | 396                                         | 521                                 | 507                                 | 1,42                 |
| 16       | -23,63340          | -46,69877           | -23,62769           | -46,70756            | 13                | 85,7                    | 26,6              | 209                                         | 316                                 | 270                                 | 1,02                 |
| 17       | -23,62796          | -46,70660           | -23,63680           | -46,69819            | 18                | 91,6                    | 18,8              | 321                                         | 390                                 | 433                                 | 1,26                 |
| 18       | -23,62868          | -46,70658           | -23,63680           | -46,69819            | 17                | 89,8                    | 22,0              | 288                                         | 343                                 | 366                                 | 1,23                 |
| 19       | -23,62841          | -46,70247           | -23,63694           | -46,69760            | 22                | 89,6                    | 18,9              | 409                                         | 508                                 | 528                                 | 1,84                 |
| 20       | -23,63732          | -46,69699           | -23,62793           | -46,70803            | 18                | 102,0                   | 51,7              | 356                                         | 514                                 | 427                                 | 1,20                 |
| 21       | -23,62717          | -46,70419           | -23,63565           | -46,69969            | 20                | 90,3                    | 18,1              | 374                                         | 501                                 | 555                                 | 1,72                 |
| 22       | -23,63420          | -46,69862           | -23,62655           | -46,70792            | 19                | 90,0                    | 21,4              | 343                                         | 495                                 | 470                                 | 1,34                 |
| 23       | -23,63157          | -46,69998           | -23,62618           | -46,70938            | 17                | 89,1                    | 26,8              | 278                                         | 464                                 | 385                                 | 1,34                 |

|    |           |           |           |           |    |       |      |     |     |     |      |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|----|-------|------|-----|-----|-----|------|
| 24 | -23,63436 | -46,69534 | -23,62709 | -46,70709 | 17 | 86,9  | 28,5 | 303 | 360 | 419 | 1,02 |
| 25 | -23,62763 | -46,70532 | -23,63448 | -46,69687 | 17 | 82,6  | 27,5 | 316 | 368 | 369 | 1,22 |
| 26 | -23,63607 | -46,69774 | -23,62836 | -46,70356 | 19 | 86,8  | 37,6 | 375 | 452 | 465 | 1,58 |
| 27 | -23,63604 | -46,69586 | -23,62884 | -46,70219 | 17 | 88,4  | 22,4 | 300 | 359 | 364 | 1,46 |
| 28 | -23,63435 | -46,69651 | -23,62733 | -46,70542 | 17 | 83,1  | 24,8 | 311 | 401 | 374 | 1,18 |
| 29 | -23,63745 | -46,69673 | -23,62732 | -46,70452 | 19 | 98,3  | 52,1 | 383 | 496 | 436 | 1,35 |
| 30 | -23,63227 | -46,70623 | -23,63616 | -46,69663 | 19 | 93,9  | 55,8 | 293 | 355 | 391 | 1,67 |
| 31 | -23,62907 | -46,70596 | -23,63635 | -46,69865 | 16 | 93,4  | 11,1 | 284 | 337 | 358 | 1,36 |
| 32 | -23,63406 | -46,69583 | -23,62973 | -46,70780 | 17 | 93,1  | 13,7 | 323 | 420 | 480 | 1,21 |
| 33 | -23,63695 | -46,69719 | -23,62825 | -46,70680 | 19 | 95,1  | 9,6  | 385 | 463 | 519 | 1,31 |
| 34 | -23,62614 | -46,70650 | -23,63342 | -46,70022 | 14 | 88,6  | 23,3 | 243 | 323 | 373 | 1,20 |
| 35 | -23,62732 | -46,70452 | -23,63349 | -46,69689 | 17 | 88,0  | 22,1 | 332 | 417 | 410 | 1,44 |
| 36 | -23,62618 | -46,70938 | -23,63186 | -46,70119 | 13 | 87,6  | 18,9 | 198 | 249 | 262 | 1,09 |
| 37 | -23,63732 | -46,69699 | -23,63100 | -46,70597 | 12 | 106,3 | 60,7 | 216 | 361 | 282 | 1,11 |
| 38 | -23,63262 | -46,70644 | -23,63480 | -46,69639 | 16 | 96,9  | 38,1 | 283 | 335 | 344 | 1,47 |
| 39 | -23,62609 | -46,70865 | -23,63446 | -46,69886 | 18 | 89,6  | 22,3 | 304 | 374 | 388 | 1,18 |
| 40 | -23,63635 | -46,69865 | -23,62762 | -46,70666 | 16 | 102,2 | 55,6 | 359 | 482 | 424 | 1,29 |
| 41 | -23,62881 | -46,70296 | -23,63695 | -46,69719 | 19 | 87,2  | 23,8 | 342 | 395 | 401 | 1,54 |
| 42 | -23,62609 | -46,70865 | -23,63480 | -46,69639 | 22 | 93,0  | 15,8 | 375 | 450 | 464 | 1,29 |
| 43 | -23,62684 | -46,70801 | -23,63707 | -46,69838 | 24 | 87,2  | 27,2 | 399 | 474 | 511 | 1,39 |
| 44 | -23,63260 | -46,70511 | -23,63389 | -46,69503 | 16 | 90,6  | 19,2 | 293 | 370 | 341 | 1,40 |
| 45 | -23,62711 | -46,70499 | -23,63406 | -46,69583 | 18 | 89,4  | 24,2 | 354 | 462 | 458 | 1,33 |
| 46 | -23,63371 | -46,69651 | -23,62845 | -46,70541 | 12 | 90,5  | 13,3 | 224 | 258 | 289 | 1,01 |
| 47 | -23,62971 | -46,70558 | -23,63570 | -46,69745 | 14 | 90,2  | 16,7 | 235 | 283 | 291 | 1,19 |
| 48 | -23,63323 | -46,69734 | -23,62682 | -46,70692 | 19 | 90,7  | 21,1 | 321 | 434 | 408 | 1,43 |
| 49 | -23,63406 | -46,69583 | -23,63128 | -46,70566 | 15 | 87,9  | 26,3 | 246 | 353 | 336 | 1,26 |
| 50 | -23,62711 | -46,70499 | -23,63387 | -46,69735 | 18 | 87,9  | 25,0 | 321 | 435 | 485 | 1,46 |
| 51 | -23,63213 | -46,70669 | -23,63694 | -46,69760 | 20 | 95,7  | 52,7 | 322 | 382 | 436 | 1,79 |
| 52 | -23,63493 | -46,69776 | -23,62656 | -46,70524 | 24 | 75,9  | 40,2 | 403 | 483 | 506 | 1,51 |
| 53 | -23,63472 | -46,69818 | -23,62973 | -46,70780 | 16 | 91,1  | 19,6 | 320 | 471 | 474 | 1,29 |
| 54 | -23,62609 | -46,70865 | -23,63570 | -46,69745 | 20 | 92,7  | 15,4 | 329 | 395 | 417 | 1,19 |

|    |           |           |           |           |    |       |      |     |     |     |      |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|----|-------|------|-----|-----|-----|------|
| 55 | -23,62763 | -46,70532 | -23,63607 | -46,69774 | 19 | 84,2  | 26,2 | 318 | 379 | 417 | 1,32 |
| 56 | -23,62763 | -46,70532 | -23,63525 | -46,69520 | 21 | 73,1  | 28,1 | 335 | 389 | 465 | 1,15 |
| 57 | -23,62642 | -46,70885 | -23,63493 | -46,69776 | 19 | 88,7  | 25,7 | 300 | 362 | 378 | 1,14 |
| 58 | -23,63406 | -46,69583 | -23,63128 | -46,70566 | 15 | 87,9  | 26,3 | 246 | 353 | 336 | 1,26 |
| 59 | -23,63557 | -46,69819 | -23,62679 | -46,70656 | 21 | 106,4 | 81,6 | 311 | 538 | 473 | 1,72 |

| REGIÃO D |                    |                     |                     |                      |                   |                         |                   |                                             |                                     |                                     |                      |
|----------|--------------------|---------------------|---------------------|----------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| Rota     | Latitude de origem | Longitude de origem | Latitude de destino | Longitude de destino | Número de trechos | Livre caminho médio (m) | Desvio-padrão (m) | Tempo de viagem fora de horário de pico (s) | Tempo de viagem - pico da manhã (s) | Tempo de viagem - pico da tarde (s) | Fator de linearidade |
| 0        | -23,66106          | -46,66796           | -23,65889           | -46,67772            | 24                | 63,1                    | 33,2              | 278                                         | 304                                 | 309                                 | 1,48                 |
| 1        | -23,65479          | -46,67640           | -23,66236           | -46,67069            | 22                | 67,0                    | 51,3              | 292                                         | 301                                 | 324                                 | 1,44                 |
| 2        | -23,65348          | -46,66977           | -23,66247           | -46,67291            | 19                | 66,2                    | 47,7              | 265                                         | 269                                 | 332                                 | 1,20                 |
| 3        | -23,65810          | -46,66561           | -23,65538           | -46,67544            | 20                | 73,4                    | 56,0              | 263                                         | 331                                 | 351                                 | 1,40                 |
| 4        | -23,66257          | -46,66779           | -23,65982           | -46,67817            | 21                | 68,0                    | 49,9              | 263                                         | 288                                 | 333                                 | 1,30                 |
| 5        | -23,65791          | -46,66497           | -23,66605           | -46,67168            | 27                | 63,9                    | 34,2              | 276                                         | 298                                 | 341                                 | 1,52                 |
| 6        | -23,65357          | -46,67494           | -23,66394           | -46,67228            | 21                | 78,4                    | 63,6              | 323                                         | 330                                 | 350                                 | 1,39                 |
| 7        | -23,66236          | -46,67628           | -23,65218           | -46,67303            | 23                | 95,9                    | 74,3              | 402                                         | 458                                 | 482                                 | 1,87                 |
| 8        | -23,65530          | -46,67619           | -23,66403           | -46,67143            | 21                | 70,9                    | 40,2              | 291                                         | 299                                 | 320                                 | 1,37                 |
| 9        | -23,65594          | -46,67722           | -23,65641           | -46,66659            | 17                | 95,1                    | 58,7              | 264                                         | 298                                 | 355                                 | 1,49                 |
| 10       | -23,65787          | -46,67903           | -23,65659           | -46,66633            | 22                | 95,9                    | 59,1              | 335                                         | 459                                 | 449                                 | 1,62                 |
| 11       | -23,66329          | -46,67646           | -23,65357           | -46,67342            | 21                | 100,2                   | 55,7              | 380                                         | 437                                 | 459                                 | 1,87                 |
| 12       | -23,65628          | -46,67672           | -23,66543           | -46,67428            | 21                | 73,6                    | 50,2              | 341                                         | 343                                 | 370                                 | 1,47                 |
| 13       | -23,65893          | -46,67646           | -23,66355           | -46,66620            | 29                | 62,7                    | 45,3              | 307                                         | 362                                 | 394                                 | 1,56                 |
| 14       | -23,65522          | -46,67750           | -23,65966           | -46,66770            | 26                | 60,5                    | 27,3              | 294                                         | 307                                 | 343                                 | 1,41                 |
| 15       | -23,65648          | -46,67539           | -23,66469           | -46,66682            | 25                | 85,4                    | 82,5              | 320                                         | 376                                 | 428                                 | 1,69                 |
| 16       | -23,65693          | -46,67763           | -23,66450           | -46,66709            | 27                | 70,3                    | 49,1              | 361                                         | 371                                 | 399                                 | 1,39                 |
| 17       | -23,66236          | -46,67628           | -23,65962           | -46,66520            | 23                | 65,9                    | 44,9              | 296                                         | 312                                 | 363                                 | 1,30                 |
| 18       | -23,66554          | -46,67497           | -23,66060           | -46,66612            | 20                | 70,5                    | 53,2              | 284                                         | 286                                 | 318                                 | 1,34                 |
| 19       | -23,65518          | -46,67219           | -23,66501           | -46,67310            | 19                | 95,8                    | 84,9              | 340                                         | 339                                 | 375                                 | 1,66                 |
| 20       | -23,66568          | -46,66826           | -23,65983           | -46,67935            | 24                | 85,3                    | 63,3              | 320                                         | 405                                 | 472                                 | 1,57                 |
| 21       | -23,65874          | -46,67807           | -23,66469           | -46,66682            | 23                | 83,6                    | 84,7              | 354                                         | 368                                 | 396                                 | 1,45                 |
| 22       | -23,65564          | -46,67961           | -23,66060           | -46,66612            | 31                | 69,1                    | 61,7              | 368                                         | 424                                 | 441                                 | 1,45                 |

|    |           |           |           |           |    |       |      |     |     |     |      |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|----|-------|------|-----|-----|-----|------|
| 23 | -23,65740 | -46,66530 | -23,66128 | -46,67557 | 22 | 63,9  | 40,4 | 255 | 265 | 273 | 1,24 |
| 24 | -23,65641 | -46,66767 | -23,66568 | -46,66826 | 17 | 80,5  | 45,7 | 226 | 281 | 275 | 1,33 |
| 25 | -23,65370 | -46,67624 | -23,66257 | -46,67244 | 21 | 89,5  | 88,3 | 353 | 352 | 386 | 1,77 |
| 26 | -23,66175 | -46,66751 | -23,65455 | -46,67945 | 25 | 78,6  | 69,7 | 374 | 390 | 424 | 1,35 |
| 27 | -23,66329 | -46,67646 | -23,65348 | -46,66977 | 20 | 106,6 | 64,8 | 348 | 416 | 457 | 1,66 |
| 28 | -23,66257 | -46,66779 | -23,65218 | -46,67303 | 24 | 86,1  | 48,2 | 428 | 458 | 470 | 1,62 |
| 29 | -23,65406 | -46,67422 | -23,66311 | -46,66897 | 20 | 85,3  | 51,0 | 348 | 388 | 431 | 1,50 |
| 30 | -23,66236 | -46,67069 | -23,65357 | -46,67342 | 19 | 92,0  | 60,3 | 336 | 344 | 364 | 1,72 |
| 31 | -23,65373 | -46,67528 | -23,66206 | -46,66521 | 26 | 95,7  | 64,5 | 392 | 474 | 462 | 1,80 |
| 32 | -23,65827 | -46,66457 | -23,65538 | -46,67544 | 20 | 79,1  | 60,3 | 278 | 344 | 363 | 1,37 |
| 33 | -23,65827 | -46,66457 | -23,66240 | -46,67415 | 20 | 71,7  | 51,7 | 297 | 300 | 316 | 1,33 |
| 34 | -23,65432 | -46,67719 | -23,66412 | -46,66852 | 24 | 79,9  | 78,3 | 372 | 372 | 409 | 1,37 |
| 35 | -23,65643 | -46,66868 | -23,66482 | -46,67512 | 21 | 62,8  | 47,0 | 251 | 257 | 277 | 1,16 |
| 36 | -23,65889 | -46,67772 | -23,65641 | -46,66659 | 17 | 88,8  | 59,2 | 236 | 306 | 335 | 1,29 |
| 37 | -23,66527 | -46,67157 | -23,65520 | -46,66878 | 17 | 77,7  | 68,6 | 200 | 275 | 310 | 1,14 |
| 38 | -23,65516 | -46,67323 | -23,66422 | -46,67328 | 21 | 76,3  | 47,1 | 333 | 343 | 350 | 1,59 |
| 39 | -23,65604 | -46,66714 | -23,66422 | -46,67328 | 20 | 74,9  | 48,8 | 309 | 327 | 368 | 1,36 |
| 40 | -23,66379 | -46,66798 | -23,65661 | -46,67411 | 23 | 71,6  | 56,2 | 329 | 326 | 377 | 1,63 |
| 41 | -23,65198 | -46,67361 | -23,66106 | -46,66956 | 21 | 83,2  | 51,7 | 391 | 425 | 469 | 1,60 |
| 42 | -23,65752 | -46,66880 | -23,66543 | -46,67428 | 18 | 76,4  | 48,7 | 251 | 264 | 321 | 1,32 |
| 43 | -23,66008 | -46,67643 | -23,66469 | -46,66682 | 18 | 89,3  | 92,6 | 290 | 283 | 314 | 1,45 |
| 44 | -23,65712 | -46,66595 | -23,66543 | -46,67428 | 18 | 87,3  | 48,9 | 294 | 302 | 345 | 1,25 |
| 45 | -23,65218 | -46,67303 | -23,66482 | -46,67512 | 27 | 76,0  | 65,0 | 401 | 402 | 429 | 1,44 |
| 46 | -23,66527 | -46,67157 | -23,65385 | -46,67223 | 21 | 96,8  | 85,5 | 349 | 423 | 472 | 1,60 |
| 47 | -23,65282 | -46,67454 | -23,66469 | -46,66682 | 29 | 94,5  | 71,9 | 442 | 532 | 481 | 1,78 |
| 48 | -23,66184 | -46,66632 | -23,65385 | -46,67223 | 23 | 70,9  | 54,2 | 345 | 435 | 449 | 1,52 |
| 49 | -23,65520 | -46,66878 | -23,66501 | -46,67310 | 21 | 69,9  | 38,7 | 244 | 279 | 334 | 1,25 |
| 50 | -23,66481 | -46,66886 | -23,65591 | -46,67430 | 19 | 83,3  | 46,0 | 270 | 301 | 327 | 1,40 |
| 51 | -23,65564 | -46,67961 | -23,65966 | -46,67043 | 24 | 68,9  | 68,1 | 268 | 322 | 326 | 1,60 |
| 52 | -23,66507 | -46,66771 | -23,66077 | -46,67717 | 19 | 83,6  | 83,8 | 303 | 309 | 344 | 1,48 |
| 53 | -23,65535 | -46,67359 | -23,66355 | -46,66620 | 23 | 94,8  | 76,6 | 323 | 407 | 451 | 1,84 |

|    |           |           |           |           |    |      |      |     |     |     |      |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|----|------|------|-----|-----|-----|------|
| 54 | -23,66077 | -46,67717 | -23,65810 | -46,66561 | 27 | 57,6 | 27,6 | 323 | 337 | 371 | 1,28 |
| 55 | -23,65591 | -46,67430 | -23,66195 | -46,66695 | 24 | 70,6 | 38,0 | 342 | 356 | 377 | 1,68 |
| 56 | -23,65373 | -46,67528 | -23,66355 | -46,66620 | 27 | 99,5 | 77,9 | 418 | 503 | 494 | 1,88 |
| 57 | -23,66252 | -46,66650 | -23,65370 | -46,67624 | 37 | 63,4 | 36,4 | 404 | 425 | 449 | 1,68 |
| 58 | -23,65348 | -46,66977 | -23,66403 | -46,67143 | 23 | 63,1 | 35,6 | 286 | 317 | 406 | 1,23 |
| 59 | -23,66310 | -46,66835 | -23,65557 | -46,67663 | 19 | 89,3 | 43,6 | 289 | 318 | 345 | 1,43 |

| REGIÃO TESTE |                    |                     |                     |                      |                   |                         |                   |                                             |                                     |                                     |                      |
|--------------|--------------------|---------------------|---------------------|----------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| Rota         | Latitude de origem | Longitude de origem | Latitude de destino | Longitude de destino | Número de trechos | Livre caminho médio (m) | Desvio-padrão (m) | Tempo de viagem fora de horário de pico (s) | Tempo de viagem - pico da manhã (s) | Tempo de viagem - pico da tarde (s) | Fator de linearidade |
| 0            | -23,54295          | -46,69717           | -23,53009           | -46,70291            | 18                | 140,2                   | 108,0             | 407                                         | 410                                 | 459                                 | 1,63                 |
| 1            | -23,53111          | -46,69703           | -23,54652           | -46,69557            | 22                | 106,8                   | 83,9              | 380                                         | 370                                 | 414                                 | 1,37                 |
| 2            | -23,54250          | -46,70863           | -23,54654           | -46,69389            | 29                | 83,8                    | 40,1              | 378                                         | 357                                 | 383                                 | 1,55                 |
| 3            | -23,53395          | -46,69820           | -23,54817           | -46,69307            | 21                | 125,6                   | 115,4             | 365                                         | 361                                 | 395                                 | 1,58                 |
| 4            | -23,53486          | -46,70168           | -23,54472           | -46,69108            | 23                | 99,2                    | 65,8              | 425                                         | 434                                 | 531                                 | 1,48                 |
| 5            | -23,54719          | -46,69594           | -23,53009           | -46,70291            | 24                | 128,4                   | 95,2              | 452                                         | 449                                 | 507                                 | 1,52                 |
| 6            | -23,52943          | -46,70375           | -23,54117           | -46,69295            | 16                | 183,5                   | 120,5             | 489                                         | 486                                 | 568                                 | 1,72                 |
| 7            | -23,53121          | -46,69851           | -23,54624           | -46,69092            | 30                | 98,3                    | 74,8              | 490                                         | 514                                 | 584                                 | 1,60                 |
| 8            | -23,53712          | -46,70368           | -23,54817           | -46,69307            | 25                | 125,8                   | 96,4              | 448                                         | 446                                 | 515                                 | 1,92                 |
| 9            | -23,53049          | -46,70341           | -23,54726           | -46,69574            | 25                | 112,5                   | 66,8              | 456                                         | 446                                 | 537                                 | 1,39                 |
| 10           | -23,52954          | -46,70291           | -23,54556           | -46,69014            | 32                | 113,3                   | 89,9              | 577                                         | 562                                 | 638                                 | 1,64                 |
| 11           | -23,54817          | -46,69307           | -23,54166           | -46,70614            | 29                | 87,2                    | 61,1              | 352                                         | 341                                 | 370                                 | 1,67                 |
| 12           | -23,54503          | -46,69281           | -23,53696           | -46,70582            | 21                | 96,1                    | 62,5              | 297                                         | 302                                 | 356                                 | 1,26                 |
| 13           | -23,52998          | -46,70164           | -23,54372           | -46,69285            | 25                | 120,6                   | 114,0             | 496                                         | 501                                 | 560                                 | 1,70                 |
| 14           | -23,54408          | -46,69341           | -23,53009           | -46,70291            | 19                | 118,1                   | 73,8              | 317                                         | 313                                 | 368                                 | 1,22                 |
| 15           | -23,54040          | -46,69167           | -23,53046           | -46,70348            | 29                | 107,5                   | 64,7              | 474                                         | 441                                 | 519                                 | 1,91                 |
| 16           | -23,53009          | -46,70291           | -23,54275           | -46,69106            | 23                | 137,9                   | 106,9             | 518                                         | 498                                 | 558                                 | 1,71                 |
| 17           | -23,53499          | -46,70303           | -23,54654           | -46,69389            | 25                | 116,9                   | 78,5              | 433                                         | 417                                 | 491                                 | 1,84                 |
| 18           | -23,54372          | -46,69285           | -23,53221           | -46,70180            | 24                | 82,6                    | 63,2              | 309                                         | 317                                 | 364                                 | 1,26                 |
| 19           | -23,53693          | -46,70347           | -23,54531           | -46,69167            | 23                | 98,0                    | 77,0              | 398                                         | 406                                 | 504                                 | 1,48                 |
| 20           | -23,54453          | -46,68943           | -23,53880           | -46,70671            | 35                | 71,8                    | 45,1              | 410                                         | 432                                 | 527                                 | 1,34                 |
| 21           | -23,54726          | -46,69574           | -23,53009           | -46,70291            | 22                | 126,1                   | 98,4              | 408                                         | 408                                 | 462                                 | 1,36                 |
| 22           | -23,53342          | -46,69924           | -23,54472           | -46,69108            | 22                | 97,3                    | 91,2              | 399                                         | 406                                 | 470                                 | 1,42                 |

|    |           |           |           |           |    |       |       |     |     |     |      |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|----|-------|-------|-----|-----|-----|------|
| 23 | -23,54415 | -46,69401 | -23,53624 | -46,70609 | 24 | 82,8  | 66,1  | 289 | 296 | 345 | 1,31 |
| 24 | -23,53847 | -46,69141 | -23,54128 | -46,70589 | 30 | 83,1  | 50,3  | 353 | 356 | 436 | 1,65 |
| 25 | -23,54629 | -46,69129 | -23,53382 | -46,70401 | 31 | 93,2  | 62,5  | 505 | 521 | 595 | 1,52 |
| 26 | -23,54224 | -46,69221 | -23,54250 | -46,70863 | 30 | 85,6  | 42,5  | 395 | 396 | 483 | 1,53 |
| 27 | -23,53840 | -46,70359 | -23,54556 | -46,69014 | 26 | 87,8  | 63,9  | 460 | 466 | 608 | 1,44 |
| 28 | -23,54782 | -46,69240 | -23,53396 | -46,69797 | 18 | 104,1 | 106,5 | 323 | 311 | 404 | 1,14 |
| 29 | -23,54042 | -46,69087 | -23,52879 | -46,70310 | 32 | 104,6 | 98,4  | 549 | 531 | 615 | 1,86 |
| 30 | -23,53134 | -46,70275 | -23,54350 | -46,69410 | 23 | 143,2 | 109,8 | 518 | 524 | 616 | 2,04 |
| 31 | -23,54100 | -46,70745 | -23,54556 | -46,69286 | 24 | 88,7  | 49,7  | 338 | 338 | 424 | 1,35 |
| 32 | -23,54817 | -46,69307 | -23,53490 | -46,70353 | 23 | 111,4 | 78,4  | 423 | 411 | 481 | 1,41 |
| 33 | -23,53111 | -46,69703 | -23,54096 | -46,70720 | 22 | 122,3 | 95,2  | 428 | 435 | 500 | 1,78 |
| 34 | -23,54415 | -46,69401 | -23,52938 | -46,70252 | 24 | 89,6  | 63,6  | 295 | 307 | 354 | 1,16 |
| 35 | -23,54557 | -46,69027 | -23,53396 | -46,69797 | 28 | 79,3  | 77,5  | 356 | 364 | 460 | 1,47 |
| 36 | -23,54531 | -46,69167 | -23,53298 | -46,70357 | 23 | 108,2 | 69,3  | 422 | 428 | 485 | 1,36 |
| 37 | -23,52943 | -46,70375 | -23,54359 | -46,69859 | 16 | 143,5 | 77,0  | 347 | 351 | 438 | 1,38 |
| 38 | -23,54726 | -46,69574 | -23,53470 | -46,70466 | 22 | 111,4 | 92,5  | 387 | 375 | 441 | 1,47 |
| 39 | -23,53241 | -46,70227 | -23,54559 | -46,69716 | 18 | 135,8 | 113,9 | 343 | 338 | 411 | 1,57 |
| 40 | -23,52879 | -46,70310 | -23,54616 | -46,69099 | 35 | 104,7 | 86,9  | 597 | 633 | 704 | 1,60 |
| 41 | -23,54453 | -46,68943 | -23,53128 | -46,69845 | 29 | 88,6  | 86,1  | 418 | 430 | 525 | 1,48 |
| 42 | -23,53865 | -46,69336 | -23,52884 | -46,70366 | 15 | 194,7 | 144,5 | 493 | 521 | 495 | 1,93 |
| 43 | -23,53970 | -46,69343 | -23,52943 | -46,70375 | 17 | 169,6 | 125,7 | 455 | 423 | 507 | 1,86 |
| 44 | -23,54265 | -46,69390 | -23,53062 | -46,70347 | 15 | 179,9 | 123,3 | 481 | 435 | 475 | 1,63 |
| 45 | -23,54511 | -46,69583 | -23,53170 | -46,70191 | 28 | 94,9  | 95,0  | 402 | 406 | 456 | 1,65 |
| 46 | -23,54616 | -46,69099 | -23,53120 | -46,70181 | 29 | 74,9  | 60,0  | 300 | 311 | 363 | 1,09 |
| 47 | -23,54405 | -46,69291 | -23,53696 | -46,70582 | 21 | 100,4 | 59,2  | 353 | 359 | 414 | 1,37 |
| 48 | -23,53382 | -46,70401 | -23,54629 | -46,69129 | 28 | 86,2  | 55,5  | 423 | 412 | 505 | 1,27 |
| 49 | -23,54530 | -46,69801 | -23,53204 | -46,70317 | 16 | 129,3 | 105,3 | 328 | 329 | 377 | 1,32 |
| 50 | -23,54782 | -46,69240 | -23,53700 | -46,70421 | 22 | 105,6 | 79,5  | 395 | 386 | 463 | 1,36 |
| 51 | -23,54473 | -46,69427 | -23,53111 | -46,69703 | 18 | 108,4 | 98,2  | 293 | 299 | 371 | 1,27 |
| 52 | -23,54300 | -46,70066 | -23,52884 | -46,70366 | 14 | 142,6 | 113,0 | 300 | 296 | 318 | 1,24 |
| 53 | -23,54719 | -46,69594 | -23,53309 | -46,69493 | 22 | 119,0 | 113,9 | 384 | 386 | 462 | 1,67 |

|    |           |           |           |           |    |       |       |     |     |     |      |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|----|-------|-------|-----|-----|-----|------|
| 54 | -23,54042 | -46,69087 | -23,54100 | -46,70745 | 34 | 87,7  | 80,8  | 540 | 538 | 648 | 1,76 |
| 55 | -23,54559 | -46,69716 | -23,53120 | -46,70181 | 21 | 103,1 | 96,6  | 322 | 335 | 377 | 1,30 |
| 56 | -23,53170 | -46,70191 | -23,54654 | -46,69389 | 27 | 112,8 | 81,5  | 437 | 444 | 471 | 1,65 |
| 57 | -23,52884 | -46,70366 | -23,54359 | -46,69859 | 17 | 141,5 | 111,8 | 359 | 365 | 410 | 1,40 |
| 58 | -23,53559 | -46,70474 | -23,54372 | -46,69285 | 23 | 128,9 | 115,4 | 513 | 532 | 579 | 1,96 |
| 59 | -23,53120 | -46,70181 | -23,54415 | -46,69401 | 21 | 94,0  | 60,3  | 305 | 318 | 352 | 1,20 |

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FEYNMAN, R. Diffusion. In: \_\_\_\_\_. **The Feynman lectures on physics**. v. 1. Chapter 43. Disponível em: <<https://goo.gl/7HigGm>>. Acesso em: 12 abril 2017

HAGGETT, P. **Locational analysis in human geography**. London: St. Martin's Press, 1966.

CRUCITTI, P.; LATORA, V.; PORTA, S. Centrality measures in spatial networks of urban streets. **Physical Review** [online], v. 73, n. 3, 2006. Disponível em: <<https://goo.gl/LNWd7n>>. Acesso em: 29 abr. 2017

LOUF, R.; BARTHELEMY, M. A typology of street patterns. **Journal of the Royal Society** [online], v. 11, n. 101, 2017. Disponível em: <<https://goo.gl/wDRNj5>>. Acesso em: 10 abr. 2017

HOOGENDOORN, S. P.; BOVY, P. H. L. State-of-the-art of Vehicular Traffic Flow Modelling. **Journal of Systems and Control Engineering** [online], v. 215, n. 4, 2001. Disponível em: <<https://goo.gl/RfyQ9Z>>. Acesso em: 17 out. 2017

HELBING, D.; HENNECKE, A.; SHVETSOV, V; TREIBER, M. MASTER: macroscopic traffic simulation based on a gas-kinetic, non-local traffic model. **Transportation Research Part B: Methodological** [online], v. 35, n. 2, 2001. Disponível em: <<https://goo.gl/jtxg45>>. Acesso em: 18 nov. 2017

LEVINSON, D. M.; HUANG, J. Circuitry in urban transit networks. **Journal of Transport Geography** [online], v. 48, p. 145-153, 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/B4W1hg>>. Acesso em: 30 mar. 2017

WASSERMAN, S.; FAUST, K. **Social networks analysis: methods and applications**. Cambridge, ENG: Cambridge University Press, 1994.

LATORA, V.; MARCHIORI, M. Efficient behavior of small-world networks. **Physical Review Letters** [online], v. 87, n. 19, 2001. Disponível em: <<https://goo.gl/5Chi7B>>. Acesso em: 16 maio 2017

\_\_\_\_\_. Economic small-world behavior in weighted networks. **The European Physical Journal B** [online], v. 32, p. 249-263, 2003. Disponível em: <<https://goo.gl/XazU9n>>. Acesso em: 24 maio 2017

VRAGOVIC, I. LOUIS, E.; DIAZ-GUILERA, A. Efficiency of informational transfer in regular and complex networks. **Physical Review E** [online], v. 71, 2005. Disponível em: <<https://goo.gl/PveA8Z>>. Acesso em: 30 abr. 2017

UNITED NATIONS. **World Urbanization Prospects**. New York: United Nations, 2014.

FROTA de veículos em SP – por tipo de veículo. **Site do DETRAN-SP**. Disponível em: <<https://goo.gl/yCkYd3>>. Acesso em: 02 junho 2017

CINTRA, M. Os custos dos congestionamentos na cidade de São Paulo. **Revista Conjuntura Econômica**, São Paulo, FGV, v. 67, n. 7, p. 62-65, 2013.

ANÁLISE EDITORIAL. **Revista São Paulo Outlook**: anuário 2013. São Paulo: Análise Editorial, 2013.