

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE MESTRADO EM GEOTECNIA E TRANSPORTES

Thiago Gonçalves da Costa

ESTIMATIVA DA CONFIABILIDADE DO TEMPO DE VIAGEM EM VIAS
ARTERIAIS URBANAS DE
BELO HORIZONTE

Belo Horizonte

2024

Thiago Gonçalves da Costa

**ESTIMATIVA DA CONFIABILIDADE DO TEMPO DE VIAGEM EM VIAS
ARTERIAIS URBANAS DE
BELO HORIZONTE**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Geotecnia e Transportes da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geotecnia e Transportes.

Área de concentração: Transportes

Orientadores: José Elievam Bessa Júnior

Cassiano Augusto Isler

Belo Horizonte

2024

C837e	<p>Costa, Thiago Gonçalves da. Estimativa da confiabilidade do tempo de viagem em vias arteriais urbanas de Belo Horizonte [recurso eletrônico] / Thiago Gonçalves da Costa. - 2024. 1 recurso online (198 f. : il., color.) : pdf.</p> <p>Orientador: José Elievam Bessa Júnior. Coorientador: Cassiano Augusto Isler.</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.</p> <p>Apêndices: f. 118-198</p> <p>Bibliografia: f. 112-117. Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.</p> <p>1. Transportes - Teses. 2. Confiabilidade (Engenharia) - Teses. 3. Viagens - Transportes - Teses. I. Bessa Júnior, José Elievam. II. Isler, Cassiano Augusto. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 656(043)</p>
-------	--

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Roseli Alves de Oliveira CRB/6 2121
Biblioteca Prof. Mário Werneck, Escola de Engenharia da UFMG



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE MESTRADO EM GEOTECNIA E TRANSPORTES

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Realizou-se, no dia 08 de março de 2024, às 09:30 horas, Sala 3502, da Universidade Federal de Minas Gerais, a 140ª defesa de dissertação, intitulada *ESTIMATIVA DA CONFIABILIDADE DO TEMPO DE VIAGEM EM VIAS ARTERIAIS URBANAS DE BELO HORIZONTE*, apresentada por THIAGO GONÇALVES DA COSTA, número de registro 2021651805, graduado no curso de ENGENHARIA CIVIL, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em GEOTECNIA E TRANSPORTES, à seguinte Comissão Examinadora: Prof. José Elievam Bessa Junior - Orientador (UFMG), Prof. Cassiano Augusto Isler - Coorientador (USP), Prof.ª. Leise Kelli de Oliveira (UFMG) e Prof. Francisco Moraes de Oliveira Neto (UFC). Seguiu-se a arguição pelos examinadores e logo após, a Comissão decidiu considerar aprovada a Dissertação de Mestrado. O resultado final foi comunicado publicamente ao aluno pelo orientador. Nada mais havendo a tratar, o orientador encerrou a sessão e lavrou a presente ata que, depois de lida, se aprovada, será assinada pela Comissão Examinadora.

Belo Horizonte, 08 de março de 2024.

Assinatura dos membros da banca examinadora:



Documento assinado eletronicamente por **Francisco Moraes de Oliveira Neto, Usuário Externo**, em 08/03/2024, às 12:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jose Elievam Bessa Junior, Professor do Magistério Superior**, em 08/03/2024, às 22:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cassiano Augusto Isler, Usuário Externo**, em 09/03/2024, às 15:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Leise Kelli de Oliveira, Professora do Magistério Superior**, em 10/03/2024, às 19:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3078193** e o código CRC **66515542**.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos às seguintes pessoas que tornaram possível a conclusão deste trabalho. Aos meus orientadores, José Elievam Bessa Júnior e Cassiano Augusto Isler, pela orientação constante, paciência e incentivo ao longo deste processo. À minha esposa Thaís e minha família, pelo apoio incondicional, compreensão e amor que sempre me deram. Aos meus amigos, colegas de trabalho e docentes da UFMG, por compartilharem comigo suas experiências e por estarem ao meu lado durante todo esse caminho. Um agradecimento aos professores da banca avaliadora que disponibilizaram seu tempo para colaborar com este trabalho. Este trabalho não teria sido possível sem o apoio e encorajamento dessas pessoas maravilhosas. Muito obrigado.

RESUMO

A confiabilidade do tempo de viagem tornou-se um indicador chave de desempenho em redes de transporte e corredores viários em vários países. Historicamente, medidas como a média foram usadas para analisar desempenho viário, mas há um interesse crescente em medidas de dispersão, como a variância. Isso é importante para empresas de logística e transporte pois afeta os tempos de chegada dos usuários da rede. Pesquisas sobre métricas de confiabilidade do tempo de viagem têm crescido desde os anos 1990, com publicações recentes demonstrando o contínuo interesse. Esta pesquisa se concentra em Belo Horizonte buscando responder à pergunta sobre qual é o padrão de confiabilidade do tempo de viagem em suas vias urbanas da cidade. Assim, foi almejado o objetivo geral de estimar a confiabilidade do tempo de viagem em vias arteriais urbanas de Belo Horizonte. Para alcançar tal objetivo, o método da pesquisa compreendeu duas etapas, a primeira foi a obtenção de dados para o desenvolvimento do trabalho; e a segunda etapa foi a análise das distribuições de tempo de viagem. Para a primeira etapa foram selecionados trechos viários de Belo Horizonte para o desenvolvimento do estudo e foram utilizados dados da *API (Application Programming Interface* ou Interface de programação de Aplicativos) *Google Distance Matrix* da plataforma de serviço de navegação/GPS *Google Maps* e de sensores de velocidade da cidade de Belo Horizonte. A segunda etapa foi constituída de desenvolver um método para agrupar períodos do dia com comportamentos similares de tempo de viagem; caracterizar as distribuições de tempo de viagem e encontrar modelos probabilísticos adequados aos dados de campo – verificando-se a aderência à quatro tipos de distribuições teóricas (Lognormal, Burr, Gamma e Weibull); e avaliar a confiabilidade do tempo de viagem em relação aos períodos de análise e aos dias da semana. Para esta última atividade foram selecionadas métricas adequadas ao contexto local por meio de revisão da literatura. Foi possível identificar através das métricas definidas, os períodos do dia, e os dias da semana de baixa confiabilidade do tempo de viagem. Assim, essa pesquisa não apenas buscou apenas contribuir para o entendimento local da confiabilidade do tempo de viagem, mas também introduzir e difundir conceitos importantes em um contexto nacional, considerando que internacionalmente esse tema é objeto de estudo há décadas.

Palavras-Chave: Confiabilidade do tempo de viagem. Distribuições do tempo de viagem.

ABSTRACT

Travel time reliability has become a key performance indicator in transportation networks and road corridors in several countries. Historically, measures such as average travel time have been used for road performance analysis, but there is now growing interest in measures of dispersion such as variance. This is important for logistics and transportation companies as it affects the arrival times of users in the network. Research into travel time reliability measurements has grown since the 1990s, with recent publications demonstrating continued interest. Therefore, this research focuses on Belo Horizonte seeking to answer the question on what the travel time reliability patterns in the urban roads of the city are. So, the general objective was to estimate the reliability of travel time on urban arterial roads in Belo Horizonte. To achieve this objective, the research method comprised two stages, the first was obtaining data for the development of the work; and the second stage was the analysis of travel time distributions. For the first stage, road sections in Belo Horizonte were selected for the development of the study and data from the API (Application Programming Interface) Google Distance Matrix from the Google Maps navigation/GPS service platform and speed sensors were used from the city of Belo Horizonte. In the second stage, the development of a method to group periods of the day with behaviours like travel time was presented; the travel time distributions and probabilistic models suitable for field data are defined – verifying adherence to four types of theoretical distributions (Lognormal, Burr, Gamma, and Weibull); the reliability of travel time in relation to the analysis periods and days of the week are evaluated. For this last activity, detailed specifications for the local context were selected through a literature review. The results showed the periods of the day, and days of the week with low travel time reliability. Thus, this research not only sought to contribute to the local understanding of travel time reliability, but also introduced and disseminated important concepts in a national context, considering that the topic has been studied for decades in the international context.

Keywords: Travel time reliability. Travel time distributions.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1: Visão geral esquemática dos fatores que influenciam a distribuição dos tempos de viagem. Fonte: Van Lint et al. (2008).	32
Figura 2.2: Dimensões temporais e espaciais da Confiabilidade do tempo de viagem. Fonte: HCM-7(2022).	33
Figura 2.3: Fullarton Road – dados de tempo de viagem ajustados a distribuição normal. Fonte: Susilawati et al. (2010).	35
Figura 2.4: Fullarton Road – dados de tempo de viagem ajustados a distribuição lognormal. Fonte: Susilawati et al. (2010).	36
Figura 2.5: Distribuição de tempo de viagem da rede e curvas de densidade de probabilidade ajustadas no horário de pico da manhã ((a) – (c)) e manhã período fora de pico ((d) – (f)) - Changsha, China. Fonte: Zheng et al. (2017).	37
Figura 2.6: Forma da distribuição do tempo de viagem diária de condições livres para condições congestionadas: (a) condições de fluxo livre, (b) início do congestionamento, (c) congestionamento e (d) dissolução do congestionamento. Fonte: Van Lint and van Zuylen (2005)	39
Figura 2.7: Função de densidade de probabilidade da distribuição lognormal padrão. Fonte: Pu (2011).	41
Figura 2.8: Função de densidade de probabilidade da distribuição Gamma. Fonte: Montgomery et al. (2011).	42
Figura 2.9: Função de densidade de probabilidade da distribuição Weibull. Fonte: Montgomery et al. (2011).	43
Figura 2.10: Função de distribuição acumulada de 3 parâmetros Burr ($F(x)$) e função densidade de probabilidade ($f(x)$) ($c = 3, d = 1,2465, b = 1,5$) para uma distribuição padronizada deslocada ($b = 1$). Fonte: Taylor (2017).	44
Figura 3.11: Método de pesquisa. Fonte: Elaborado pelo autor	52

Figura 4.12: Avenida Cristiano Machado.....	59
Figura 4.13: Avenida Presidente Antônio Carlos	59
Figura 4.14: Avenida José Candido da Silveira	60
Figura 4.15: Avenida Bernardo Vasconcelos	60
Figura 4.16: Localização dos trechos viários selecionados para obtenção de dados de tráfego. Fonte: Google Earth/Elaborado pelo autor	62
Figura 4.17: Vista aérea dos trechos viários selecionados para obtenção de dados de tráfego. Fonte: Google Earth/Elaborado pelo autor	62
Figura 4.18: Histograma – trecho viário 1 (Centro-Bairro). Fonte: Elaborado pelo autor	66
Figura 4.19: Localização dos sensores de tráfego selecionados. Fonte: Google Earth/Elaborado pelo autor	67
Figura 5.20: Matriz de Resultados iniciais – Sentido bairro-centro do trecho 1. Fonte: Elaborado pelo autor	70
Figura 5.21: Matriz de Resultados – Sentido bairro-centro do trecho 1. Fonte: Elaborado pelo autor	71
Figura 5.22: Matriz de Resultados – Sentido centro-bairro do trecho 1. Fonte: Elaborado pelo autor	72
Figura 5.23: Matriz de agregação horária– Sentido centro-bairro. Fonte: Elaborado pelo autor	73
Figura 5.24: Matriz de agregação horária – Sentido centro-bairro. Fonte: Elaborado pelo autor	74
Figura 5.25: Esquema de rotina de agregação horária – Situação A.....	74
Figura 5.26: Esquema de rotina de agregação horária – Situação B	76

Figura 6.27: Gráfico – Densidade de probabilidade– 00 h - 05 h – Segunda-Feira– sentido Bairro-Centro – trecho 1. Fonte: Elaborado pelo autor	78
Figura 6.28: Gráfico –Função de distribuição Acumulada –00 h - 05 h – Segunda-Feira– sentido Bairro-Centro – trecho 1. Fonte: Elaborado pelo autor	78
Figura 7.29: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – Desvio Padrão – Sentido Bairro/Centro – Distribuição teórica	85
Figura 7.30: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – Desvio Padrão – Sentido Centro/Bairro – Distribuição teórica	86
Figura 7.31: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado – Desvio Padrão – Sentido Bairro/Centro – Distribuição teórica	86
Figura 7.32: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado – Desvio Padrão – Sentido Centro/Bairro – Distribuição teórica	87
Figura 7.33: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – Desvio Padrão – Sentido Bairro/Centro – Distribuição teórica	88
Figura 7.34: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – Desvio Padrão – Sentido Centro/Bairro – Distribuição teórica	88
Figura 7.35: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – Desvio Padrão – Sentido Leste/Oeste – Distribuição teórica.....	89
Figura 7.36: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – Desvio Padrão – Sentido Oeste/Leste – Distribuição teórica.....	89
Figura 7.37:: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos –Planning Time Index– Sentido Bairro/Centro – Distribuição teórica	91
Figura 7.38: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos –Planning Time Index– Sentido Centro/Bairro – Distribuição teórica	92

Figura 7.39: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– Planning Time Index– Sentido Bairro/Centro – Distribuição teórica	92
Figura 7.40: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– Planning Time Index– Sentido Centro/Bairro – Distribuição teórica	93
Figura 7.41: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira– Planning Time Index– Sentido Bairro/Centro – Distribuição teórica	94
Figura 7.42: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira– Planning Time Index– Sentido Centro/Bairro – Distribuição teórica	94
Figura 7.43: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos– Planning Time Index– Sentido Leste/Oeste – Distribuição teórica.....	95
Figura 7.44: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos– Planning Time Index– Sentido Oeste/Leste – Distribuição teórica.....	96
Figura 7.45: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – Buffer Index – Sentido Bairro/Centro – Distribuição teórica	97
Figura 7.46: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – Buffer Index – Sentido Centro/Bairro – Distribuição teórica	98
Figura 7.47: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– Buffer Index– Sentido Bairro/Centro – Distribuição teórica	98
Figura 7.48: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– Buffer Index– Sentido Centro/Bairro – Distribuição teórica	99
Figura 7.49: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – <i>Buffer Index</i> – Sentido Bairro/Centro – Distribuição teórica	100
Figura 7.50: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – <i>Buffer Index</i> – Sentido Centro/Bairro – Distribuição teórica	100

Figura 7.51: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – <i>Buffer Index</i> – Sentido Leste/Oeste – Distribuição teórica.....	101
Figura 7.52: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – <i>Buffer Index</i> – Sentido Oeste/Leste – Distribuição teórica.....	102
Figura A. 1: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – 10° Percentil – Sentido Bairro/Centro.....	118
Figura A. 2: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos –10° Percentil– Sentido Centro/Bairro.....	119
Figura A. 3: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – 50° Percentil – Sentido Bairro/Centro.....	119
Figura A. 4: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos –50° Percentil– Sentido Centro/Bairro.....	120
Figura A. 5: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – 90° Percentil – Sentido Bairro/Centro.....	120
Figura A. 6: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos –90° Percentil– Sentido Centro/Bairro.....	121
Figura A. 7: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – 95° Percentil – Sentido Bairro/Centro.....	121
Figura A. 8: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos –95° Percentil– Sentido Centro/Bairro.....	122
Figura A. 9: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – Média do tempo de viagem no Sentido Bairro/Centro – distribuição teórica.....	122

Figura A. 10: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos –Média do tempo de viagem– Sentido Centro/Bairro – distribuição teórica	123
Figura A. 11: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– 10º Percentil– Sentido Bairro/Centro	124
Figura A. 12: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– 10º Percentil– Sentido Centro/Bairro	124
Figura A. 13: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– 50º Percentil– Sentido Bairro/Centro	125
Figura A. 14: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– 50º Percentil– Sentido Centro/Bairro	125
Figura A. 15: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– 90º Percentil– Sentido Bairro/Centro	126
Figura A. 16: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– 90º Percentil– Sentido Centro/Bairro	126
Figura A. 17: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– 95º Percentil– Sentido Bairro/Centro	127
Figura A. 18: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– 95º Percentil– Sentido Centro/Bairro	127
Figura A. 19: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– Média do tempo de Viagem– Sentido Bairro/Centro – distribuição teórica	128
Figura A. 20: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– Média do tempo de viagem– Sentido Centro/Bairro – distribuição teórica	128
Figura A. 21: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira– 10º Percentil– Sentido Bairro/Centro	129

Figura A. 22: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira– 10° Percentil– Sentido Centro/Bairro.....	129
Figura A. 23: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira– 50° Percentil– Sentido Bairro/Centro.....	130
Figura A. 24: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira– 50° Percentil– Sentido Centro/Bairro.....	130
Figura A. 25: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira– 90° Percentil– Sentido Bairro/Centro.....	131
Figura A. 26: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira– 90° Percentil– Sentido Centro/Bairro.....	131
Figura A. 27: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira– 95° Percentil– Sentido Bairro/Centro.....	132
Figura A. 28: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira– 95° Percentil– Sentido Centro/Bairro.....	132
Figura A. 29: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira– Média do tempo de Viagem– Sentido Bairro/Centro – distribuição teórica.....	133
Figura A. 30: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira– Média do tempo de Viagem– Sentido Centro/Bairro – distribuição teórica.....	133
Figura A. 31: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos– 10° Percentil– Sentido Leste/Oeste.....	134
Figura A. 32: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos– 10° Percentil– Sentido Oeste/Leste.....	134
Figura A. 33: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos– 50° Percentil– Sentido Leste/Oeste.....	135

Figura A. 34: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos– 50° Percentil– Sentido Oeste/Leste	135
Figura A. 35: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos– 90° Percentil– Sentido Leste/Oeste	136
Figura A. 36: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos– 90° Percentil– Sentido Oeste/Leste	136
Figura A. 37: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos– 95° Percentil– Sentido Leste/Oeste	137
Figura A. 38: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos– 95° Percentil– Sentido Oeste/Leste	137
Figura A. 39: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos– Média do tempo de Viagem– Sentido Leste/Oeste – distribuição teórica	138
Figura A. 40: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos– Média do tempo de Viagem– Sentido Oeste/Leste – distribuição teórica	138
Figura A. 41: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – 10° Percentil – Sentido Bairro/Centro	139
Figura A. 42: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos –10° Percentil– Sentido Centro/Bairro	139
Figura A. 43: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – 50° Percentil – Sentido Bairro/Centro	140
Figura A. 44: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos –50° Percentil– Sentido Centro/Bairro	140
Figura A. 45: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – 90° Percentil – Sentido Bairro/Centro	141

Figura A. 46: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos –90° Percentil– Sentido Centro/Bairro.....	141
Figura A. 47: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – 95° Percentil – Sentido Bairro/Centro.....	142
Figura A. 48: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos –95° Percentil– Sentido Centro/Bairro.....	142
Figura A. 49: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – Média do tempo de viagem no Sentido Bairro/Centro – Dados Empíricos	143
Figura A. 50: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos –Média do tempo de viagem– Sentido Centro/Bairro – Dados Empíricos	143
Figura A. 51: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– 10° Percentil– Sentido Bairro/Centro.....	144
Figura A. 52: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado – 10° Percentil – Sentido Centro/Bairro.....	144
Figura A. 53: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado – 50° Percentil – Sentido Bairro/Centro.....	145
Figura A. 54: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado – 50° Percentil – Sentido Centro/Bairro.....	145
Figura A. 55: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– 90° Percentil – Sentido Bairro/Centro.....	146
Figura A. 56: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– 90° Percentil – Sentido Centro/Bairro.....	146
Figura A. 57: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado – 95° Percentil – Sentido Bairro/Centro.....	147

Figura A. 58: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado – 95° Percentil– Sentido Centro/Bairro.....	147
Figura A. 59: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– Média do tempo de Viagem– Sentido Bairro/Centro – Dados Empíricos	148
Figura A. 60: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– Média do tempo de viagem– Sentido Centro/Bairro – Dados Empíricos	148
Figura A. 61: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – 10° Percentil– Sentido Bairro/Centro	149
Figura A. 62: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – 10° Percentil– Sentido Centro/Bairro	149
Figura A. 63: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – 50° Percentil– Sentido Bairro/Centro	150
Figura A. 64: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – 50° Percentil– Sentido Centro/Bairro	150
Figura A. 65: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – 90° Percentil– Sentido Bairro/Centro	151
Figura A. 66: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – 90° Percentil– Sentido Centro/Bairro	151
Figura A. 67: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – 95° Percentil– Sentido Bairro/Centro	152
Figura A. 68: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – 95° Percentil– Sentido Centro/Bairro	152
Figura A. 69: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira– Média do tempo de Viagem– Sentido Bairro/Centro – Dados Empíricos	153

Figura A. 70: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira– Média do tempo de Viagem– Sentido Centro/Bairro – Dados Empíricos	153
Figura A. 71: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – 10º Percentil – Sentido Leste/Oeste	154
Figura A. 72: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – 10º Percentil – Sentido Oeste/Leste	154
Figura A. 73: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – 50º Percentil – Sentido Leste/Oeste	155
Figura A. 74: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – 50º Percentil – Sentido Oeste/Leste	155
Figura A. 75: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – 90º Percentil – Sentido Leste/Oeste	156
Figura A. 76: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – 90º Percentil – Sentido Oeste/Leste	156
Figura A. 77: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – 95º Percentil – Sentido Leste/Oeste	157
Figura A. 78: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – 95º Percentil – Sentido Oeste/Leste	157
Figura A. 79: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos– Média do tempo de Viagem– Sentido Leste/Oeste – Dados Empíricos	158
Figura A. 80: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos– Média do tempo de Viagem– Sentido Oeste/Leste – Dados Empíricos	158
Figura B. 1: Trecho Viário 1 – Centro-Bairro – Segunda Feira	159

Figura B. 2: Trecho Viário 2 – Centro-Bairro – Segunda Feira	159
Figura B. 3: Trecho Viário 3 – Centro-Bairro – Segunda Feira	160
Figura B. 4: Trecho Viário 4 – Oeste-Leste – Segunda Feira	160
Figura B. 5: Trecho Viário 1 – Bairro-Centro – Segunda Feira	161
Figura B. 6: Trecho Viário 2 – Bairro-Centro – Segunda Feira	161
Figura B. 7: Trecho Viário 3 – Bairro-Centro – Segunda Feira	161
Figura B. 8: Trecho Viário 4 – Leste-Oeste – Segunda Feira	162
Figura B. 9: Trecho Viário 1 – Centro-Bairro – Terça Feira.....	163
Figura B. 10: Trecho Viário 2 – Centro-Bairro – Terça Feira.....	163
Figura B. 11: Trecho Viário 3 – Centro-Bairro – Terça Feira.....	164
Figura B. 12: Trecho Viário 4 – Oeste-Leste – Terça Feira	164
Figura B. 13: Trecho Viário 1 – Bairro-Centro – Terça Feira.....	165
Figura B. 14: Trecho Viário 2 – Bairro-Centro – Terça Feira.....	165
Figura B. 15: Trecho Viário 3 – Bairro-Centro – Terça Feira.....	165
Figura B. 16: Trecho Viário 4 – Leste-Oeste – Terça Feira	166
Figura B. 17: Trecho Viário 1 – Centro-Bairro – Quarta Feira.....	166
Figura B. 18: Trecho Viário 2 – Centro-Bairro – Quarta Feira.....	167
Figura B. 19: Trecho Viário 3 – Centro-Bairro – Quarta Feira.....	167
Figura B. 20: Trecho Viário 4 – Oeste-Leste – Quarta Feira	168
Figura B. 21: Trecho Viário 1 – Bairro-Centro – Quarta Feira.....	169

Figura B. 22: Trecho Viário 2 – Bairro-Centro – Quarta Feira.....	169
Figura B. 23: Trecho Viário 3 – Bairro-Centro – Quarta Feira.....	170
Figura B. 24: Trecho Viário 4 – Leste-Oeste – Quarta Feira	170
Figura B. 25:Trecho Viário 1 – Centro-Bairro – Quinta Feira.....	170
Figura B. 26: Trecho Viário 2 – Centro-Bairro – Quinta Feira.....	171
Figura B. 27: Trecho Viário 3 – Centro-Bairro – Quinta Feira.....	172
Figura B. 28Trecho Viário 4 – Oeste-Leste – Quinta Feira	172
Figura B. 29:Trecho Viário 1 – Bairro-Centro – Quinta Feira.....	173
Figura B. 30: Trecho Viário 2 – Bairro-Centro – Quinta Feira.....	173
Figura B. 31: Trecho Viário 3 – Bairro-Centro – Quinta Feira.....	174
Figura B. 32: Trecho Viário 4 – Leste-Oeste – Quinta Feira	174
Figura B. 33:Trecho Viário 1 – Centro-Bairro – Sexta Feira.....	174
Figura B. 34: Trecho Viário 2 – Centro-Bairro – Sexta Feira.....	175
Figura B. 35: Trecho Viário 3 – Centro-Bairro – Sexta Feira.....	176
Figura B. 36: Trecho Viário 4 – Oeste-Leste – Sexta Feira	176
Figura B. 37:Trecho Viário 1 – Bairro-Centro – Sexta Feira.....	176
Figura B. 38: Trecho Viário 2 – Bairro-Centro – Sexta Feira.....	177
Figura B. 39: Trecho Viário 3 – Bairro-Centro – Sexta Feira.....	177
Figura B. 40: Trecho Viário 4 – Leste-Oeste – Sexta Feira	178

Figura D. 1: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – Desvio Padrão – Sentido Bairro/Centro – Dados Empíricos	186
Figura D. 2: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – Desvio Padrão – Sentido Centro/Bairro – Dados Empíricos	187
Figura D. 3: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado – Desvio Padrão – Sentido Bairro/Centro – Dados Empíricos	187
Figura D. 4: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado – Desvio Padrão – Sentido Centro/Bairro – Dados Empíricos	188
Figura D. 5: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – Desvio Padrão – Sentido Bairro/Centro – Dados Empíricos	188
Figura D. 6: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – Desvio Padrão – Sentido Centro/Bairro – Dados Empíricos	189
Figura D. 7: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – Desvio Padrão – Sentido Leste/Oeste – Dados Empíricos.....	189
Figura D. 8: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – Desvio Padrão – Sentido Oeste/Leste – Dados Empíricos.....	190
Figura D. 9: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – Planning Time Index – Sentido Bairro/Centro – Dados Empíricos	191
Figura D. 10: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – Planning Time Index – Sentido Centro/Bairro – Dados Empíricos	191
Figura D. 11: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– Planning Time Index– Sentido Bairro/Centro – Dados Empíricos	192
Figura D. 12: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado – Planning Time Index – Sentido Centro/Bairro – Dados Empíricos	192

Figura D. 13: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – Planning Time Index – Sentido Bairro/Centro – Dados Empíricos	193
Figura D. 14: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – Planning Time Index – Sentido Centro/Bairro – Dados Empíricos	193
Figura D. 15: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – Planning Time Index – Sentido Leste/Oeste – Dados Empíricos.....	194
Figura D. 16: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – Planning Time Index – Sentido Oeste/Leste – Dados Empíricos.....	194
Figura D. 17: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – Buffer Index – Sentido Bairro/Centro – Dados Empíricos	195
Figura D. 18: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – Buffer Index – Sentido Centro/Bairro – Dados Empíricos	195
Figura D. 19: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– Buffer Index– Sentido Bairro/Centro – Dados Empíricos	196
Figura D. 20: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– Buffer Index– Sentido Centro/Bairro – Dados Empíricos	196
Figura D. 21: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – Buffer Index – Sentido Bairro/Centro – Dados Empíricos	197
Figura D. 22: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – Buffer Index – Sentido Centro/Bairro – Dados Empíricos	197
Figura D. 23: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – Buffer Index – Sentido Leste/Oeste – Dados Empíricos.....	198
Figura D. 24: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – Buffer Index – Sentido Oeste/Leste – Dados Empíricos.....	198

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Tabela 2.1: Resumo das métricas de confiabilidade do tempo de viagem identificadas na literatura.....	45
Tabela 4.2: Características físicas e operacionais de tráfego dos trechos viários de estudo	61
Tabela 4.3: Velocidade de fluxo livre obtida de sensores de tráfego	68
Tabela 6.4: Resumo da rejeição dos testes de aderência das distribuições por faixa horária – Trechos 1, 2 e 3 – Sentido bairro-centro.	79
Tabela 6.5: Resumo da rejeição dos testes de aderência das distribuições por faixa horária – Trechos 1, 2 e 3 – Sentido centro-bairro.	79
Tabela 6.6: Resumo da rejeição dos testes de aderência das distribuições por faixa horária – Trecho 4 – Sentido oeste-leste.....	80
Tabela 6.7: Resumo da rejeição dos testes de aderência das distribuições por faixa horária – Trecho 4 – Sentido Leste-Oeste.....	81
Tabela 6.8: Distribuições por faixa horária – Trechos 1, 2 e 3.....	82
Tabela 6.9: Distribuições por faixa horária – Trecho 4.....	83
Tabela 7.10: Resumo das métricas de confiabilidade do tempo de viagem – Trecho 1.....	103
Tabela 7.11: Resumo das métricas de confiabilidade do tempo de viagem – Trecho 2.....	103
Tabela 7.12: Resumo das métricas de confiabilidade do tempo de viagem – Trecho 3.....	103
Tabela 7.13: Resumo das métricas de confiabilidade do tempo de viagem – Trecho 4.....	104
Tabela 7.14: Período Crítico e Período de Análise para o Comparativo de Resultados	104
Tabela 7.15: Comparativo de Resultados das métricas entre estimado pelas Distribuições teóricas e dados empíricos.....	105

Tabela 7.16: Comparativo de Resultados das métricas – Planejamento de Viagem..... 106

Tabela 7.17: Classificação dos trechos segundo a PTI..... 107

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

API	<i>Application Programming Interface</i> ou Interface de programação de Aplicativos
BI	<i>Buffer Index</i>
FHWA	<i>Federal Highway Administration</i>
FOC	<i>Frequency of Congestion</i>
HCM	<i>Highway Capacity Manual</i>
K-S	teste de Kolmogorov-Smirnov
PTI	<i>Planning Time Index</i>
SHRP	<i>Future Strategic Highway Research Program</i>
TRB	<i>Transportation Research Board</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	26
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	30
2.1	DISTRIBUIÇÕES DOS DADOS DE TEMPOS DE VIAGEM.....	34
2.2	MÉTRICAS DE CONFIABILIDADE DO TEMPO DE VIAGEM	45
3	MÉTODO	52
3.1	OBTENÇÃO DE DADOS DE TRÁFEGO.....	52
3.1.1	<i>Seleção dos trechos de vias arteriais urbanas.....</i>	<i>53</i>
3.1.2	<i>Dados da API do Google.....</i>	<i>53</i>
3.1.3	<i>Dados de sensores de tráfego.....</i>	<i>54</i>
3.2	ANÁLISE DAS DISTRIBUIÇÕES DO TEMPO DE VIAGEM	54
3.2.1	<i>Definição dos períodos de estudo.....</i>	<i>54</i>
3.2.2	<i>Identificação das distribuições teóricas dos dados de tempo de viagem.....</i>	<i>55</i>
3.2.3	<i>Estimativa das métricas de confiabilidade do tempo de viagem</i>	<i>56</i>
4	COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS.....	58
4.3	OS TRECHOS DE VIAS ARTERIAIS URBANAS	58
4.4	DADOS DE TEMPOS DE VIAGEM – GOOGLE DISTANCE MATRIX	64
4.5	DADOS DE VELOCIDADE.....	66
5	DETERMINAÇÃO DOS PERÍODOS DE ANÁLISE	69
6	IDENTIFICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DOS TEMPOS DE VIAGEM.....	77
7	MÉTRICAS DE CONFIABILIDADE DO TEMPO DE VIAGEM	84
7.1	DESVIO PADRÃO.....	85
7.2	95TH PERCENTILE TTI OU PLANNING TIME INDEX (PTI).....	90
7.3	BUFFER INDEX	96

7.4	COMPARATIVO DOS RESULTADOS	102
8	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	108
9	REFERÊNCIAS.....	112
APÊNDICE A	- 10° PERCENTIL; 50° PERCENTIL; 90° PERCENTIL, 95° PERCENTIL E A MÉDIA	
	118	
APÊNDICE B	- HISTOGRAMAS	159
APÊNDICE C	- RESULTADOS DO TESTE DE ADEQUAÇÃO (K-S) PARA AS DISTRIBUIÇÕES	
	LOGNORMAL, GAMMA, WEIBULL E BURR AJUSTADAS AOS DADOS DE TEMPO DE VIAGEM	
	179	
APÊNDICE D	- MÉTRICAS DE CONFIABILIDADE DO TEMPO DE VIAGEM – DADOS	
EMPÍRICOS	186	

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o estudo realizado pela INRIX (2022), Londres, Chicago, Paris, Boston e Nova Iorque compreendem as cinco cidades mais congestionadas do mundo. Essa classificação é baseada no tempo perdido (por ano e por usuário) em retenções de tráfego, que, respectivamente, para essas cidades, foram de 156, 155, 138, 134 e 117 h/ano/usuário. Além disso, esse estudo indicou que o custo financeiro ocasionado pelos congestionamentos foi de 869 dólares por ano/usuário nos EUA, 707 libras esterlinas por ano/usuário no Reino Unido e 399 euros por ano/usuário na Alemanha. Portanto, os congestionamentos em redes viárias urbanas contribuem para a perda de tempo e para elevados custos aos usuários.

Segundo Lomax et al. (2003), a importância da confiabilidade do tempo de viagem pode refletir como os residentes urbanos reagem aos congestionamentos. Os viajantes ajustam os seus padrões e expectativas de viagem para acomodar os níveis esperados de congestionamentos, que podem ser inesperados. O congestionamento é percebido de forma relativa e o estresse da incerteza faz parte do fenômeno.

Conforme Karmarkar *et al.* (2018), o aumento dos congestionamentos e a frustração dos motoristas, sobretudo em vias urbanas, têm sido a motivação de diversos estudos relacionados à confiabilidade do tempo de viagem. Diante da necessidade de melhoria das condições de tráfego nas rodovias e nas vias arteriais urbanas das cidades, as autoridades de trânsito e transporte cada vez mais promovem e incentivam estudos sobre a confiabilidade do tempo de viagem. Um exemplo disso é a *Federal Highway Administration* (FHWA, 2017), que publicou normas para que as medidas de desempenho de confiabilidade do tempo de viagem sejam usadas como base para a priorização de financiamento federal de projetos de rodovias nos Estados Unidos.

De acordo com Tufour e Rillet (2019), as autoridades de trânsito e transportes utilizam os estudos de confiabilidade do tempo de viagem para promover a melhoria das operações das agências de trânsito e transportes. Essas análises ajudam na obtenção de informações para fins de planejamento de viagem pelos usuários, na escolha de desvios e nos redirecionamentos do tráfego em vias expressas e arteriais. Além disso, também podem contribuir na calibração e na validação de modelos de microsimulação de tráfego.

A confiabilidade do tempo de viagem tornou-se um dos principais indicadores de desempenho de redes de transporte e de corredores viários em diversos países. Por exemplo, a FHWA (2006) e USDOT (2015) identificaram a confiabilidade do tempo de viagem como um importante indicador de desempenho da mobilidade rodoviária nos Estados Unidos. A confiabilidade do tempo de viagem pode ajudar os viajantes a quantificarem com mais precisão a gravidade das condições de viagem (Milliken e Young, 2015).

Segundo Tufour et al. (2020), historicamente, as medidas de tendência central (como a média) são frequentemente utilizadas para analisar o desempenho viário. Por exemplo, nas primeiras cinco edições do *Highway Capacity Manual* (HCM), o documento traz medidas de desempenho como a média do tempo de viagem (em intervalos de 15 minutos) e a densidade, sendo, nesse caso, até selecionada para representar a qualidade de serviço de alguns elementos do sistema viário. Portanto, uma vantagem do estudo da confiabilidade do tempo de viagem é usar medidas que não sejam apenas de tendência central, mas também aquelas de dispersão, como a variância. Empresas de logística e de transporte de passageiros estão interessadas em ambos os tipos de medidas, pois afetam os tempos de chegada nas viagens (Figliozzi et al., 2011).

Consequentemente, as métricas de confiabilidade do tempo de viagem combinando medidas de tendência central com medidas de dispersão têm sido objeto de pesquisas desde meados da década de 1990 e tem continuado a crescer em interesse e profundidade (Taylor, 2013). Observa-se que o interesse de pesquisadores se manteve com as publicações nos últimos anos, como em Aron et al (2014); Chen et al (2018); Chen e Fan (2020), Taylor (2017); Zheng (2017); Yang e Wu (2016); Yang et al. (2021) e Wu et al. (2021).

Outra vantagem do estudo da confiabilidade do tempo de viagem é considerar eventos recorrentes e não recorrentes. De acordo com Tufour et al. (2020), a variabilidade ou alterações do tempo de viagem nas vias arteriais urbanas são causadas por congestionamentos recorrentes e não recorrentes. O congestionamento recorrente ocorre todos os dias durante o mesmo horário (por exemplo, períodos de pico durante a semana) e no mesmo local nas vias. O congestionamento não recorrente é o resultado de eventos não planejados ou aleatórios, como, por exemplo, condições climáticas adversas e incidentes de trânsito.

Cabe destacar o ocorrido nas últimas duas edições do HCM (TRB, 2016; TRB, 2022), em que os manuais apontam métodos para estimar a confiabilidade do tempo de viagem em *freeways* e em vias urbanas, considerando métricas de confiabilidade do tempo de viagem como indicadores de desempenho viário. O manual é utilizado como referência para alguns conceitos de campo, como a definição de período de análise, de confiabilidade e de estudo, e foi fundamental para o entendimento da confiabilidade e estes conceitos influenciaram a realização desta pesquisa.

Assim, percebe-se um aumento nos estudos acerca da confiabilidade do tempo de viagem, importantes para a análise de desempenho viário. A presente pesquisa pode, portanto, contribuir para difundir o tema no contexto do Brasil, bem como introduzir conceitos e definições, visto que debates em nível nacional são escassos enquanto, internacionalmente, é tema de pesquisa há mais de 30 anos.

Baseando-se no cenário supracitado, surge a seguinte pergunta de pesquisa: Qual é a estimativa da confiabilidade do tempo de viagem observado em vias urbanas de Belo Horizonte? Tendo essa questão como diretriz, foi almejado o objetivo geral de estimar a confiabilidade do tempo de viagem em vias arteriais urbanas de Belo Horizonte. Para atingir essa meta, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- 1) Por meio de uma revisão da literatura, selecionar métricas de confiabilidade do tempo de viagem voltadas para vias arteriais urbanas e que sejam adequadas ao contexto local;
- 2) Desenvolver um método sistemático para agrupar períodos do dia que tenham comportamento similares em relação ao tempo de viagem;
- 3) Caracterizar as distribuições de tempo de viagem, buscando encontrar modelos de probabilidade que melhor se adequem aos dados de campo; e
- 4) Estimar a confiabilidade do tempo de viagem em relação aos períodos de análise e aos dias da semana (de segunda-feira a sexta-feira) a partir das distribuições de tempo de viagem encontradas.

Este documento está estruturado em oito capítulos, em que este introduz o tema, apresenta a pergunta de pesquisa e objetivos do trabalho. O segundo capítulo apresenta a revisão de literatura que fundamentou a realização desta pesquisa, e o terceiro capítulo, por sua vez,

apresenta o método proposto. Os próximos quatro capítulos apresentam os resultados das atividades delineadas no método de pesquisa: o capítulo quatro apresenta a coleta de dados; o capítulo cinco, a determinação dos períodos de análise; o capítulo seis, a identificação das distribuições de probabilidade que se aderem aos dados de tempo de viagem; o capítulo sete, a avaliação da confiabilidade do tempo de viagem em vias de Belo Horizonte, apresentando-se os resultados das métricas de confiabilidade do tempo de viagem. O capítulo oito apresenta as conclusões e as recomendações para trabalhos futuros a partir dos resultados da pesquisa.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Nesta seção é apresentada a revisão da literatura sobre confiabilidade do tempo de viagem. De forma a facilitar o entendimento sobre o tema, inicialmente são abordados conceitos e definições sobre o tema. Na sequência, são apresentados trabalhos sobre as distribuições dos dados de tempo de viagem, e, por fim, são discutidas algumas métricas de confiabilidade.

A confiabilidade do tempo de viagem, segundo Polus (1979) e Nicholson et al. (2003), pode ser definida como a probabilidade de um sistema ou um componente (por exemplo, trecho viário) desempenhar adequadamente a sua função por um certo período e sob as condições de operação encontradas em campo. Lomax et al. (2003) fizeram um paralelo entre a confiabilidade e a variabilidade do tempo de viagem, e da relação entre esses dois conceitos. Segundo os autores, a confiabilidade é comumente usada para avaliar a consistência do serviço de um certo modo de transporte, para uma viagem, rota ou corredor, por um período. Normalmente, a confiabilidade é vista pelos viajantes em relação à sua experiência, enquanto a variabilidade pode ser pensada como a quantidade de inconsistências nas condições operacionais. Essa definição assume uma perspectiva relacionada à oferta de infraestrutura e, portanto, relaciona-se com as preocupações dos órgãos de transporte.

FHWA (2006) traz outra definição formal acerca da confiabilidade do tempo de viagem. Trata-se da consistência dos tempos de viagem, medidos no dia a dia e/ou em diferentes horários do dia. A FHWA (2006) também identificou a confiabilidade do tempo de viagem como um importante indicador de desempenho da mobilidade rodoviária.

Segundo Lam (2001), a confiabilidade do tempo de viagem está relacionada com a consistência ou previsibilidade dos tempos de viagem ao longo do tempo. Uma baixa variabilidade indica uma alta confiabilidade do tempo de viagem, enquanto uma alta variabilidade indica o oposto. No *SHRP 2 Report L04* (Mahmassani et al. 2014), a confiabilidade do tempo de viagem é descrita como a ausência de variabilidade dos tempos de viagem.

Por sua vez, o HCM-7 (TRB, 2022) apresenta uma atualização do método da estimativa da confiabilidade, incorporada ao manual através do projeto *SHRP 2 Reliability Project L08 - Incorporating Travel Time Reliability into the Highway Capacity Manual* (TRB, 2014). O manual apresenta uma compilação sobre o estudo da confiabilidade até sua publicação no

HCM-6 (TRB, 2016), considerando as métricas de confiabilidade encontradas na literatura e de conceitos e definições a respeito dela, além de apresentar sua metodologia para a estimativa da confiabilidade. Tendo isso em vista, o HCM-7 (2022) cita que a confiabilidade reflete a distribuição dos tempos de viagem ao longo de um período extenso. A distribuição surge da ocorrência de vários fatores que influenciam o tempo de viagem (por exemplo, eventos climáticos, incidentes e presença de zonas de obra).

Esses fatores foram abordados por diversos autores na literatura. Por exemplo, segundo Lomax et al. (2003), o plano de pesquisa concluído para o tópico de confiabilidade do *Future Strategic Highway Research Program* (TRB, 2003) incluía uma lista das fontes de variabilidade no tempo de viagem. Essa lista compreende sete fontes que descrevem as condições que mudam ao longo do tempo e fazem com que o tempo de viagem varie. De acordo com os autores, em muitas situações do “mundo real”, essas fontes interagem complicando ainda mais a avaliação e a previsão da confiabilidade, da seguinte forma:

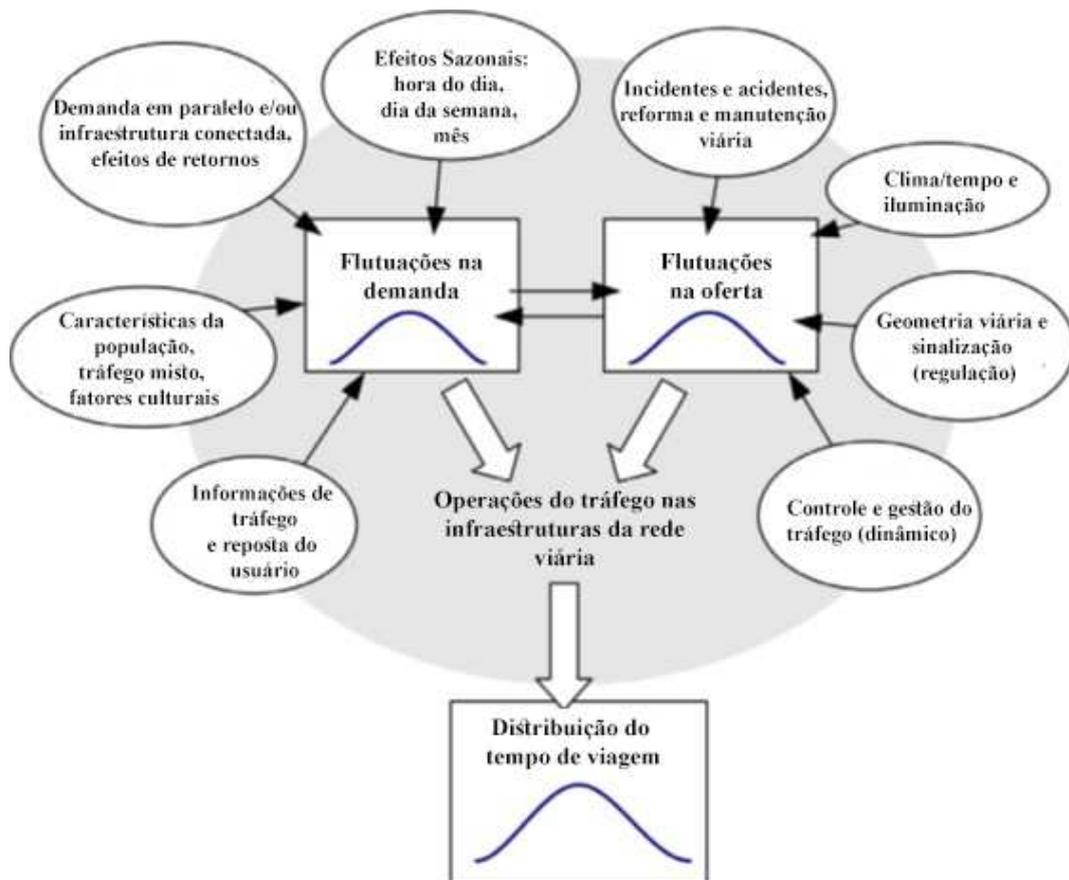
1. Incidentes: colisões, avarias de veículos e destroços que perturbam o fluxo normal do tráfego se o evento ocorre em um acostamento ou nas principais vias de circulação.
2. Zonas de trabalho: atividade de construção ou manutenção.
3. Clima: toda a gama de eventos que afetam a visão, desde visibilidade obscurecida devido a neblina/neve/chuva até luz solar intensa nos olhos do motorista às condições da superfície da estrada que afetam comportamento do motorista.
4. Flutuações na demanda: variações diárias causadas por mudanças nos níveis ou padrões das atividades.
5. Eventos especiais: causando padrões ou volumes de viagens dramaticamente diferentes nas proximidades do evento.
6. Dispositivos de controle de tráfego: semáforos mal dimensionados ou eventos que mudam a sinalização periodicamente, como ferrovias, travessias ou pontes levadiças.
7. Capacidade inadequada: redes viárias normalmente congestionadas são mais suscetíveis aos efeitos de qualquer um dos outros seis fatores.

Kwon et al. (2011) também ofereceram uma descrição sobre essas fontes de variabilidade dos tempos de viagem. Os autores agruparam essas sete fontes em três categorias: eventos

influenciadores do tráfego (níveis 1 a 3 anteriores); demanda de tráfego (fontes 4 e 5 anteriores); e características físicas da via (fontes 6 e 7 anteriores).

Um esquema apresentado por Van Lint et al. (2008) (Figura 2.1) ilustra como alguns desses fatores podem afetar os tempos de viagem. Segundo os autores, para fins de legibilidade, nem todas as (inter)relações entre esses fatores de demanda e oferta foram desenhadas no esquema; por exemplo, condições climáticas adversas podem (localmente) reduzir a capacidade de uma rede de tráfego, mas podem, ao mesmo tempo, gerar alterações (globais) na demanda de tráfego, devido às pessoas mudarem de rota, de hora de partida, de modo de transporte ou até mesmo ao reconsiderarem fazer uma viagem.

Figura 2.1: Visão geral esquemática dos fatores que influenciam a distribuição dos tempos de viagem. Fonte: Van Lint et al. (2008).

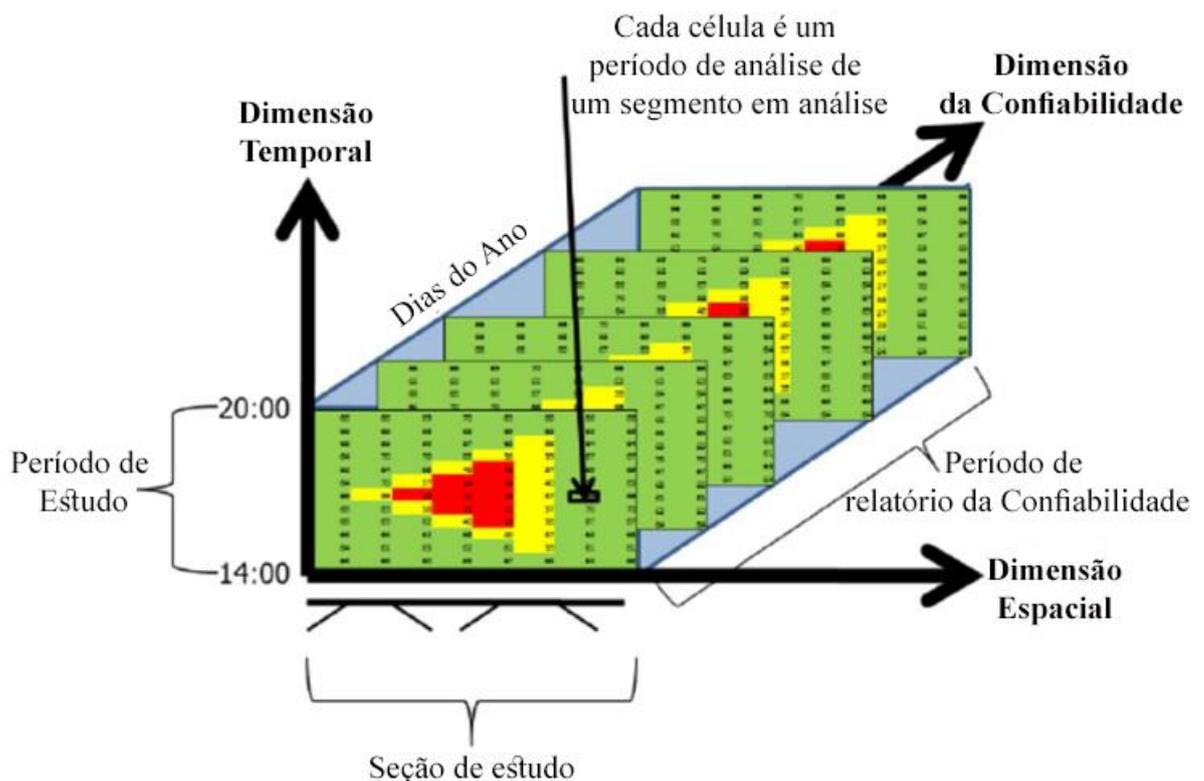


Constata-se que os tempos de viagem são o resultado da interação entre a demanda (a quantidade de viajantes que entram em uma rede) e a oferta de tráfego (a capacidade disponível

na infraestrutura) em determinados períodos do dia (flutuação horária) ou dias da semana (flutuação ao longo dos dias), tal que a distribuição diária dos tempos de viagem é resultado de flutuações diárias, tanto na demanda quanto nas características da oferta, conforme descrito esquematicamente na Figura 2.1.

Com base nessa influência da flutuação da semana ao longo dos períodos do dia e de dias da semana, o HCM-7 aborda três conceitos que serviram como referência para a realização deste trabalho: o período de análise, o período de estudo e o período de confiabilidade. A Figura 2.2 apresenta as relações entre esses períodos.

Figura 2.2: Dimensões temporais e espaciais da Confiabilidade do tempo de viagem. Fonte: HCM-7(2022).



Segundo o HCM-7, o período de análise é o intervalo de tempo utilizado para a avaliação de desempenho, podendo variar de 15 min a 1 h. Conforme pode ser observado na Figura 2.2, o período de estudo é o intervalo (dentro de um dia) representado pela avaliação de desempenho; consiste em um ou mais eventos consecutivos de períodos de análise. Conforme o HCM-7

(TRB, 2022), o período de estudo típico tem duração de 1,0 a 6,0 horas e representa horários específicos do dia e dias da semana (por exemplo, dias de semana das 16 h às 18 h).

O período de confiabilidade representa os dias específicos durante os quais a distribuição do tempo de viagem deve ser considerada. Um período típico para uma avaliação de confiabilidade é de 6 a 12 meses. Conforme o HCM-7 (TRB, 2022), o período de confiabilidade é o período de estudo para descrever completamente a representação temporal da medida de desempenho (por exemplo, o tempo médio de viagem nos dias úteis das 16 h às 18 h para o ano avaliado).

Com base nisso, o HCM-7 (TRB, 2022) conceitua a confiabilidade do tempo de viagem como a quantificação da variação do tempo de viagem, sendo definido a partir do intervalo de tempos de viagem para um determinado trecho durante um período de estudo selecionado (por exemplo, o horário de pico da tarde de um dia da semana) e ao longo de um horizonte selecionado (por exemplo, um ano). Assim, a medição da confiabilidade do tempo de viagem requer um histórico de tempos de viagem suficiente para monitorar o desempenho do tempo de viagem.

Com os conceitos de confiabilidade expostos, em termos gerais, é possível dizer que a confiabilidade do tempo de viagem refere-se à capacidade de um sistema (de transporte ou viário) ou parte dele (trecho viário) de cumprir as expectativas de desempenho sob um determinado conjunto de condições. Em seguida, abordam-se as distribuições dos dados de tempo de viagem e a sua relação com a atividade de estimar a confiabilidade do tempo de viagem por meio de métricas específicas.

2.1 Distribuições dos dados de tempos de viagem

Segundo Yang e Wu (2016), a maior parte dos estudos publicados entre 2005 e 2015 sobre a aferição da confiabilidade de tempo de viagem consistiram em: (1) caracterizar distribuições de tempo de viagem obtidas de dados de campo; e (2) calcular indicadores a partir das distribuições. Observando-se estudos sobre esse tema de 2010 a 2023, foi notado que persiste essa mesma ideia sobre as medidas da confiabilidade do tempo de viagem, como é apresentado nos trabalhos de Pu (2011); Susilawati et al. (2010); Arezoumandi e Bham (2011); Aron et al (2014); Li et al. (2013); Yang e Wu (2016); Taylor (2017); Zheng et al. (2017); Chen et al. (2018); e Chen e Fan (2020). Como o tempo de viagem é uma variável contínua, a maioria

desses estudos ajustou dados de tempo de viagem utilizando distribuições de probabilidade (por exemplo, a distribuição lognormal).

O trabalho de Pu (2011) consistiu em apresentar relações entre as medidas de confiabilidade do tempo de viagem, assumindo que a distribuição lognormal melhor representaria os dados de tempos de viagem, e expressando as medidas de confiabilidade do tempo de viagem em função dos parâmetros de escala e da forma dessa distribuição. Susilawati et al. (2010) observaram dados empíricos de tempos de viagem de dez vias arteriais urbanas de Adelaide (Austrália), em que foi observada a aderência de distribuições assimétricas aos dados, conforme ilustrado na Figura 2.3 e na Figura 2.4.

Figura 2.3: Fullarton Road – dados de tempo de viagem ajustados a distribuição normal. Fonte: Susilawati et al. (2010).

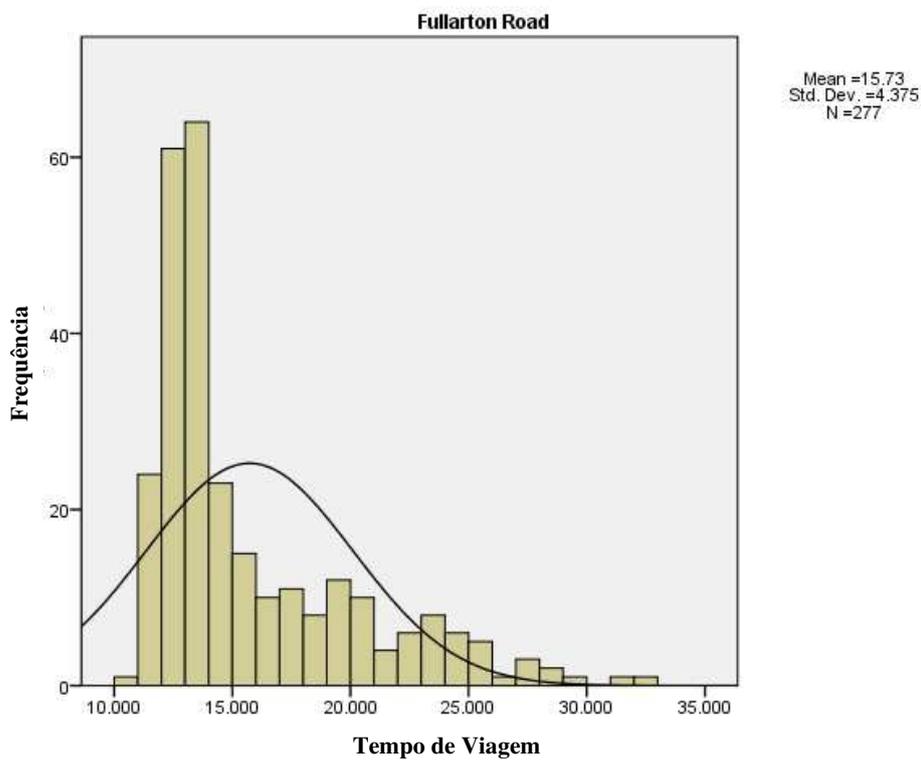
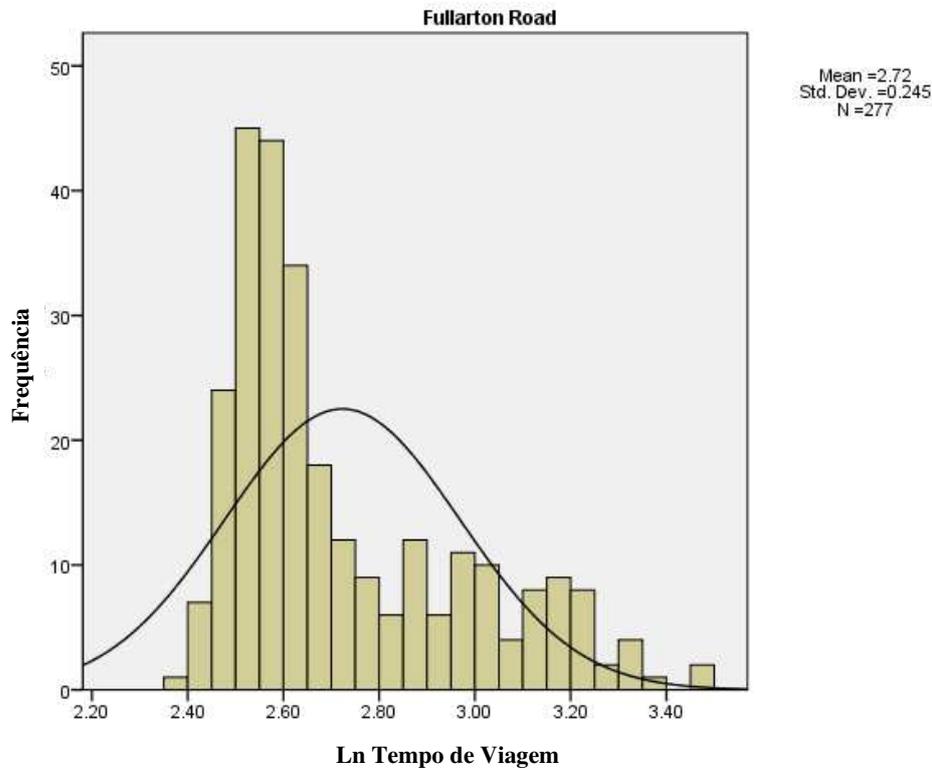


Figura 2.4: Fullarton Road – dados de tempo de viagem ajustados a distribuição lognormal.
 Fonte: Susilawati et al. (2010).

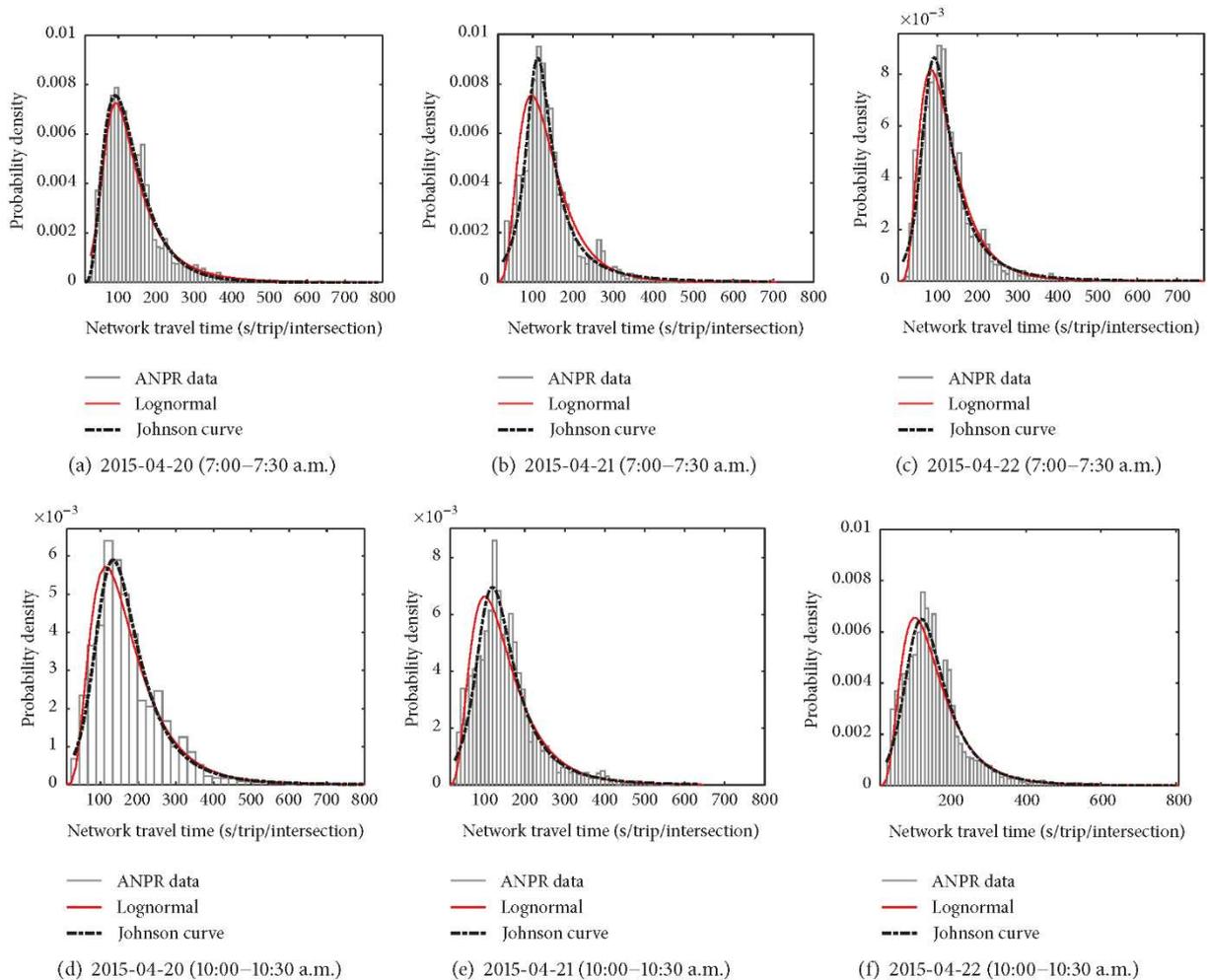


Conforme Aron et al. (2014), se não houvesse congestionamento, o tempo de viagem poderia ser estimado por uma distribuição Normal. O congestionamento, contudo, distorce a distribuição dos dados de tempo de viagem (tornando-a assimétrica) e é necessária outra distribuição estatística para caracterizá-la e modelar a confiabilidade do tempo de viagem. Isso foi demonstrado por Susilawati et al. (2010): nenhuma das distribuições de tempo de viagem segue a distribuição normal, no entanto, para algumas, a distribuição lognormal se ajustou à distribuição do tempo de viagem. Em um estudo posterior, Susilawati et al. (2011) ajustaram e modelaram dados de tempo de viagem de duas vias arteriais urbanas de Adelaide à distribuição Burr, que representou boa aderência aos dados de tempo de viagem.

Outro exemplo de distribuições de tempos de viagem assimétricas pode ser encontrado no estudo de Zheng et al. (2017), indicado na Figura 2.5, para uma rede viária de Changsha, China, em que os dados de tempo de viagem de campo são advindos do sistema de câmeras de reconhecimento automatizado de placas veiculares. De acordo com os autores, o modelo de

curvas Johnson foi capaz de representar a distribuição de tempo de viagem empírica a nível de rede viária.

Figura 2.5: Distribuição de tempo de viagem da rede e curvas de densidade de probabilidade ajustadas no horário de pico da manhã ((a) – (c)) e manhã período fora de pico ((d) – (f)) - Changsha, China. Fonte: Zheng et al. (2017).



Li et al. (2013) analisaram um conjunto de dados de tempo de viagem de grande escala, detectados a partir de leitores automáticos de placas instalados em Pequim. Foram exploradas as distribuições do tempo de viagem de diferentes tipos de vias urbanas, além do tempo médio de viagem no link e no trajeto. Foram realizados ajustes às distribuições normal, lognormal, Gamma e Weibull. Os autores concluíram que o tempo médio de viagem para todos os links em todos os dias pode ser estimado, com precisão aceitável, usando distribuição normal. No

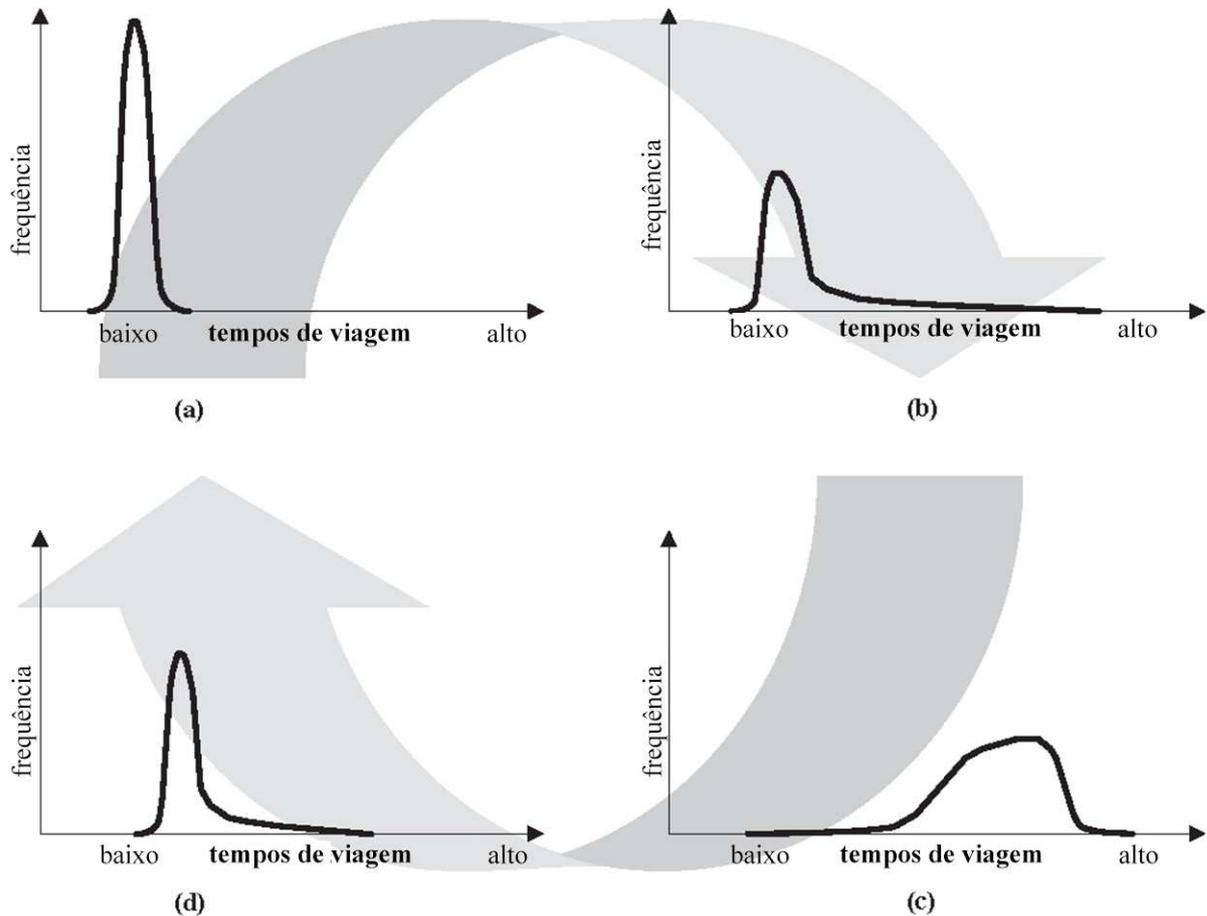
entanto, esta distribuição não é adequada para estimar a variação do tempo de viagem sob algumas condições de tráfego.

A análise da confiabilidade do tempo de viagem pode ser auxiliada pelo uso de testes para verificar qual distribuição possui maior aderência à distribuição dos tempos de viagem empíricas. Rakha (2006) e Rakha et al. (2010) destacam a importância da utilização de testes de aderência para determinar a distribuição mais apropriada aos dados de tempo de viagem. Os autores mostraram que, embora a distribuição normal seja frequentemente assumida, a distribuição lognormal pode ser mais adequada para dados de tempo de viagem de campo. Emam e Al-Deek (2006) e Arezoumandi e Bham (2011) corroboraram com essa ideia, demonstrando que a distribuição lognormal é a que mais se ajusta à distribuição do tempo de viagem.

Yang e Wu (2016) enfatizaram a importância desses testes ao sugerir o uso de mais de um modelo para representar os dados do tempo de viagem. Chen e Fan (2020), Taylor (2017) e Aron et al. (2014) descobriram que a distribuição Burr é particularmente eficaz nesse aspecto. Chen e Fan (2020) observaram a aderência dos dados dos tempos de viagem para diferentes horas do dia, dias da semana e condições meteorológicas às distribuições teóricas. Esses estudos demonstram o valor dos testes de aderência na seleção da distribuição mais apropriada para representar as distribuições assimétricas de tempo de viagem, uma vez que os dados empíricos utilizados em seus estudos indicaram distribuições assimétricas.

Van Lint e Van Zuylen (2005) identificaram quatro fases que produzem formas diferentes da distribuição do tempo de viagem com base em observações empíricas: (a) condições de fluxo livre; (b) início do congestionamento; (c) congestionamento; e (d) dissolução do congestionamento. As distribuições de tempo de viagem associadas para cada uma dessas fases são mostradas esquematicamente na Figura 2.6.

Figura 2.6: Forma da distribuição do tempo de viagem diária de condições livres para condições congestionadas: (a) condições de fluxo livre, (b) início do congestionamento, (c) congestionamento e (d) dissolução do congestionamento. Fonte: Van Lint and van Zuylen (2005)



De acordo Van Lint e Van Zuylen (2005), a Figura 2.6a ilustra o tráfego de fluxo livre; nessas condições, os tempos médios de viagem são baixos e a distribuição é estreita. A distribuição dos tempos de viagem é aproximadamente simétrica e o tempo de viagem pode ser considerado confiável nessas circunstâncias. Segundo os autores, a Figura 2.6b indica o início do congestionamento em que os tempos médios de viagem ainda são baixos, mas a distribuição é fortemente enviesada para a esquerda. Isso implica que, na maioria dos casos, as condições de tráfego ainda são de fluxo livre, mas há um número de dias em que já ocorreram congestionamentos, resultando em tempos de viagem muito superiores à mediana. A Figura 2.6c aponta o tráfego congestionado em que os tempos médios de viagem são altos e a

distribuição do tempo de viagem é ampla e enviesada à direita. Nesses períodos, o congestionamento pode ser esperado, embora em diferentes graus de gravidade, produzindo uma ampla gama de tempos de viagem possíveis. A Figura 2d apresenta a dissolução do congestionamento em que os tempos médios de viagem são baixos, mas a distribuição é fortemente inclinada para a esquerda novamente, refletindo o fato de que, na maioria dos casos, o congestionamento se dissolveu nesse período do dia, mas em um número decrescente de casos de forte congestionamento. Dessa forma, percebe-se que esse esquema elaborado pelos autores ajuda a compreender o comportamento das distribuições de tempo de viagem em relação às fases do congestionamento num sistema viário.

Diante do exposto, observa-se a importância da aderência dos dados de tempos de viagem às distribuições de tempo de viagem teóricas. Pois, torna-se necessário o conhecimento da distribuição do tempo de viagem para estimar de forma adequada, os percentis de tempo de viagem utilizados para estimar e modelar a confiabilidade do tempo de viagem nas métricas de confiabilidade.

Tomando-se como referência, os trabalhos de Chen e Fan (2020) e Chen et al. (2018) apresentaram o ajuste as distribuições Lognormal, Burr, Weibull e Gamma e análises da confiabilidade do tempo de viagem considerando diferentes horas do dia e de dias da semana, assim como um dos objetivos específicos delineados nesta pesquisa. A seguir são apresentadas algumas funções de densidade de probabilidade e suas respectivas médias e desvio padrões.

De acordo com Montgomery et al. (2011), a fórmula geral para a função de densidade de probabilidade da distribuição lognormal é:

$$f(x) = \frac{\exp\left(-\frac{(\ln\left(\frac{x-\theta}{m}\right))^2}{2\sigma^2}\right)}{(x-\theta)\sigma\sqrt{2\pi}} \quad x \geq \theta; m, \sigma > 0 \quad (2.1)$$

Onde: σ = parâmetro de forma; θ = parâmetro de localização; e m = parâmetro de escala.

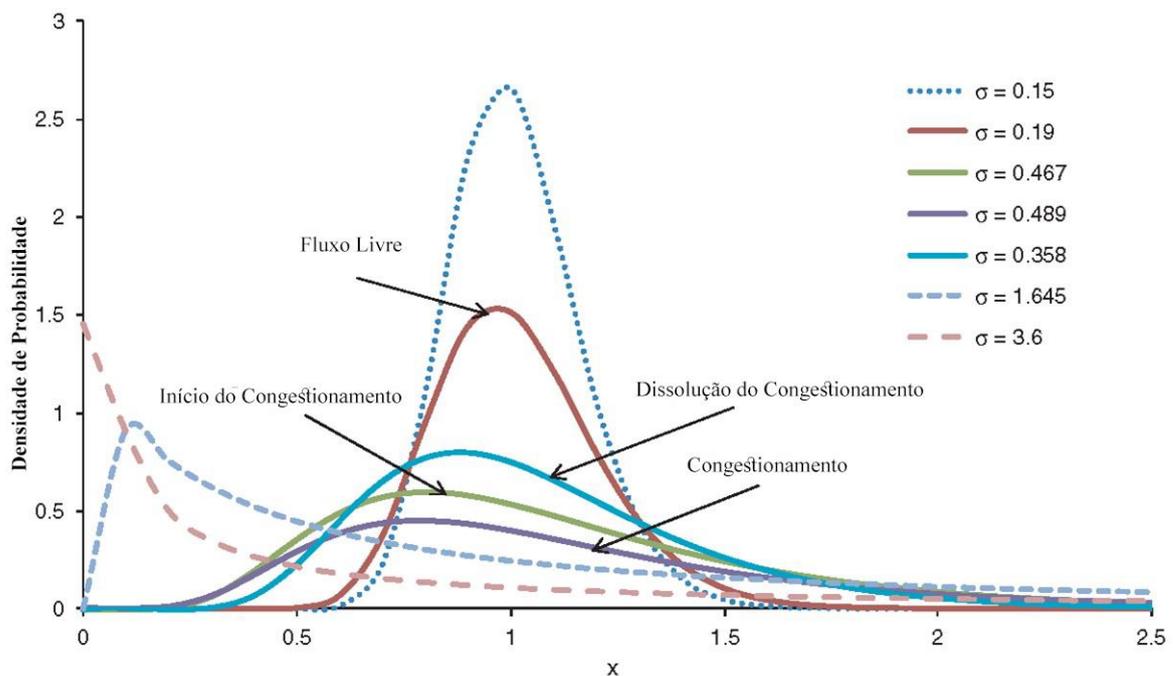
A média e desvio padrão de x são:

$$E(x) = e^{\theta + \sigma^2/2} \quad (2.2)$$

$$S(x) = \sqrt{e^{2\theta + \sigma^2}(e^{\sigma^2} - 1)}. \quad (2.3)$$

Pu (2011) apresenta exemplos de curvas de funções de densidade de probabilidade (Figura 2.7) da distribuição lognormal padrão com vários valores diferentes de parâmetros de forma (σ). À medida que o parâmetro de forma aumenta, a distribuição torna-se cada vez mais inclinada para a direita. O ciclo de evolução do estado do tráfego – fluxo livre, início de congestionamento, congestionamento, dissolução de congestionamento, fluxo livre – é o processo do parâmetro de forma aumentando de um valor baixo para um valor mais alto e depois voltando para um valor baixo (Pu, 2011).

Figura 2.7: Função de densidade de probabilidade da distribuição lognormal padrão. Fonte: Pu (2011).



Conforme Montgomery et al. (2011), a fórmula geral para a função de densidade de probabilidade da distribuição Gamma é:

$$f(x) = \frac{\lambda^r x^{r-1} e^{-\lambda x}}{\Gamma(r)} \text{ para } x > 0 \quad (2)$$
(2.4)

Onde: r = parâmetro de forma; e λ = parâmetro de escala.

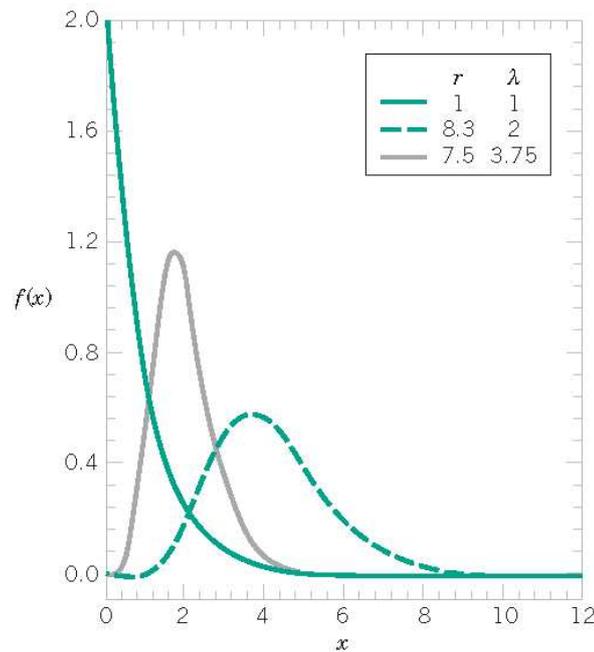
A média e desvio padrão de x são:

$$E(x) = r/\lambda \quad (2.5)$$

$$S(x) = \sqrt{r/\lambda^2}. \quad (2.6)$$

A Figura 2.8 apresenta exemplos da distribuição de probabilidade contínua Gamma com valores selecionados de r e λ (Montgomery et al., 2011). Observa-se que podem ser modeladas as curvas no formato das distribuições de tempo de viagem ilustradas anteriormente.

Figura 2.8: Função de densidade de probabilidade da distribuição Gamma. Fonte: Montgomery et al. (2011).



Conforme Montgomery et al. (2011) a fórmula geral para a função de densidade de probabilidade da distribuição Weibull é:

$$f(x) = \frac{k}{b^k} x^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{x}{b}\right)^k\right) \quad x \in [0, \infty) \quad (2.7)$$

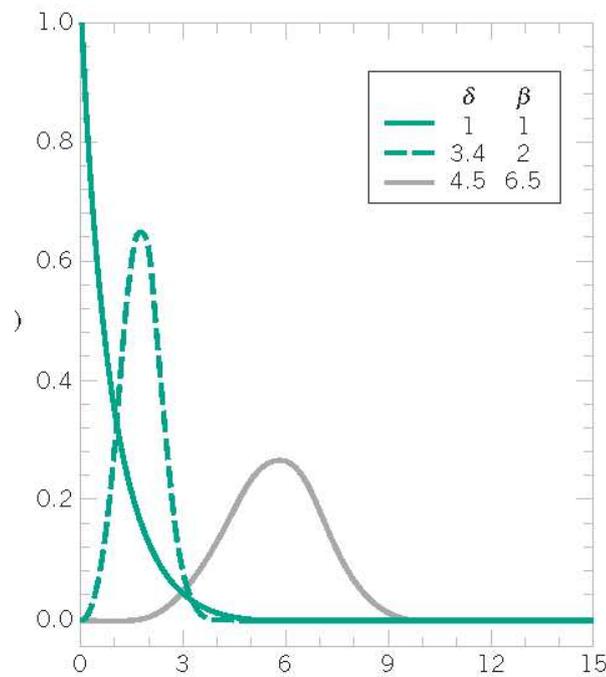
Onde: k = parâmetro de forma; e b = parâmetro de escala. A média e desvio padrão de x são:

$$E(x) = b\Gamma(1 + 1/k) \quad (2.8)$$

$$S(x) = \sqrt{b^2[\Gamma(1 + 2/k) - \Gamma^2(1 + 1/k)]}. \quad (2.9)$$

A Figura 2.9 apresenta curvas exemplo da distribuição Weibull com valores selecionados dos parâmetros de forma e escala dessa distribuição. Observa-se que também podem ser modeladas as curvas nesse formato para representar as distribuições de tempo de viagem ilustradas anteriormente.

Figura 2.9: Função de densidade de probabilidade da distribuição Weibull. Fonte: Montgomery et al. (2011)



Conforme Taylor (2017), a fórmula geral para a função de densidade de probabilidade da distribuição Burr é:

$$f(x) = \frac{cd}{b} \frac{\frac{x^{-c-1}}{b}}{(1 + \frac{x^{-c}}{b})^{d+1}} \quad x \geq 0; c, d > 0 \quad (2.10)$$

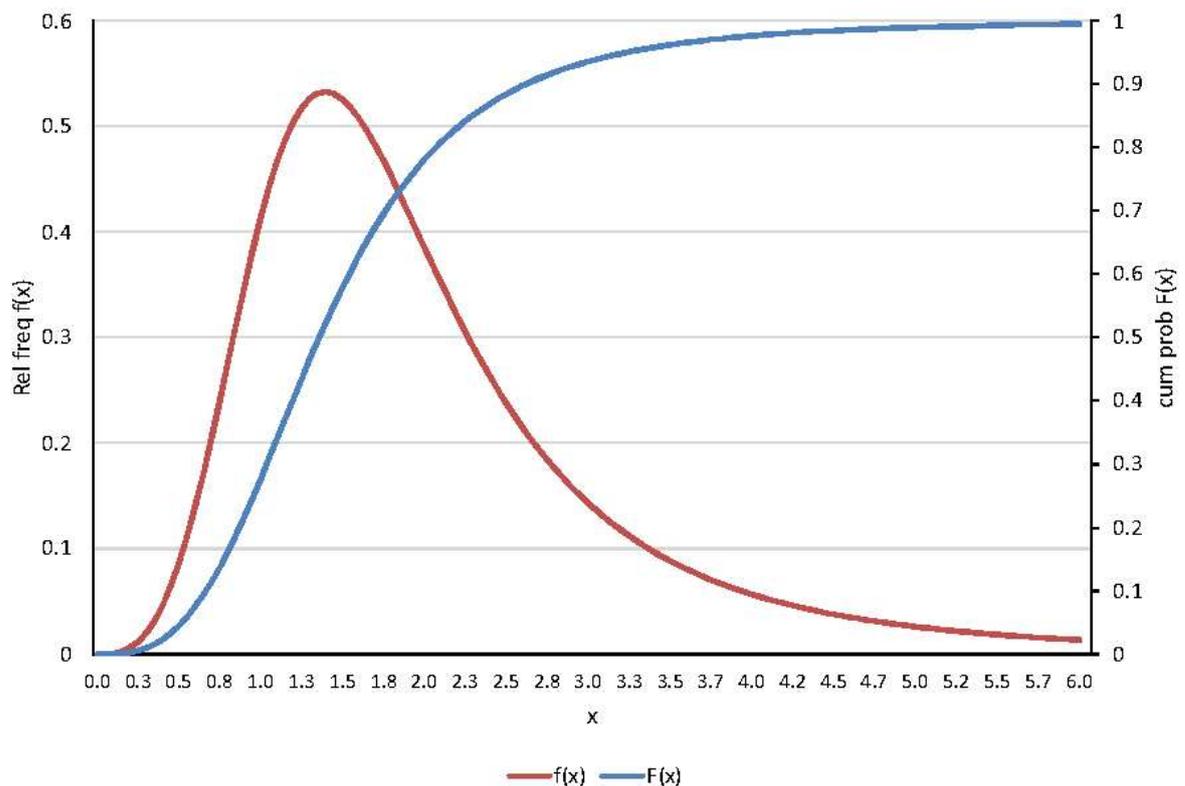
Onde: c e d = parâmetros de forma; e b = parâmetro de escala. A média e desvio padrão de x são:

$$E(x) = \frac{\Gamma(d - 1/c)\Gamma(1 + 1/c)}{\Gamma(d)} \quad (2.11)$$

$$S(x) = \sqrt{\frac{\Gamma(d - 2/c)\Gamma(1 + 2/c)\Gamma(d) - \Gamma^2(d - 1/c)\Gamma^2(1 + 1/c)}{\Gamma^2(d)}} \quad (2.12)$$

Taylor (2017) apresenta um exemplo de curva de distribuição Burr (função de densidade de probabilidade) e da função de distribuição acumulada dessa distribuição (Figura 2.10). Assim, como as demais distribuições, a forma da curva da distribuição Burr também pode ser similar à curva de distribuição de tempos de viagem, exemplificadas nesta seção.

Figura 2.10: Função de distribuição acumulada de 3 parâmetros Burr ($F(x)$) e função densidade de probabilidade ($f(x)$) ($c = 3, d = 1,2465, b = 1,5$) para uma distribuição padronizada deslocada ($b = 1$). Fonte: Taylor (2017).



Assim, observa-se que cada uma das distribuições tem sua particularidade no cálculo da média e do desvio padrão, bem como na forma da curva da função de densidade de probabilidade.

Assim, as curvas das funções de densidade de probabilidade dessas distribuições podem aderir à distribuição de dados empíricos de tempo de viagem.

2.2 Métricas de confiabilidade do tempo de viagem

Com base em estudos anteriores, as métricas de confiabilidade do tempo de viagem podem ser utilizadas para identificar locais de segmentos com características de tráfego notáveis. Por exemplo, Fan e Gong (2017) apresentaram um método sistemático para avaliar o desempenho das vias expressas e localizar e classificar trechos que ocorrem congestionamentos nas vias com a ajuda das métricas de confiabilidade do tempo de viagem. Lyman e Bertini (2008) analisaram as métricas de confiabilidade do tempo de viagem (*Buffer Time Index e Planning Time Index*) utilizaram dados de tempo de viagem de Portland, Oregon e apontaram que as organizações de planejamento metropolitano deveriam usar as métricas de confiabilidade do tempo de viagem para incorporá-la como parte de um objetivo de todo o sistema, avaliar e priorizar segmentos viários. Nestes trabalhos foi observado que os autores têm utilizado a métrica *Planning Time Index*, como uma medida para classificar as vias que necessitam de mais atenção aos planejadores dos transportes das cidades, e já a métrica *Buffer Time Index* é mais voltada ao planejamento da viagem do usuário.

Acerca das métricas de confiabilidade do tempo de viagem, diferentes tipos de medidas têm sido aplicados para avaliar o desempenho de tráfego. Na literatura, foram identificadas diversas métricas de confiabilidade do tempo de viagem, como indicado na Tabela 2.1. Esta tabela apresenta a classificação das métricas, em função da quantidade de autores que as utilizaram/postularam. Desta forma, definiu-se por selecionar as três métricas mais utilizadas na literatura para a estimativa da confiabilidade do tempo de viagem.

Tabela 2.1: Resumo das métricas de confiabilidade do tempo de viagem identificadas na literatura

Métrica	Formulação	Autor
Desvio Padrão	Desvio Padrão	Bates et al. (2001); Dowling et al. (2009); Hall (1983); HCM-7 (TRB, 2022); Jackson e Tucker (1982); Iida (1999); Pu (2011); Polus (1979)
<i>Planning Time Index</i>	<i>Percentil T95</i> <i>tempo médio de viagem(fluxo livre)</i>	Chen e Fan (2020); FHWA (2006); Gong et al. (2017); HCM-7 (TRB,

Métrica	Formulação	Autor
		2022); Lyman e Bertini (2008); Susilawati, Taylor e Somenahalli (2010); Yang e Wu (2016); Aron et al. (2014)
<i>Buffer Index</i>	$\frac{\text{Percentil T95} - \text{tempo médio de viagem}}{\text{tempo médio de viagem}}$	Aron et al. (2014); FHWA (2006); HCM-7 (TRB, 2022); Lyman e Bertini (2008); Susilawati, Taylor e Somenahalli (2010); Yang e Wu (2016);
<i>Coefficient of variation</i>	$\frac{\text{desvio padrão}}{\text{tempo médio de viagem}}$	Bates et al. (2001); Jackson e Tucker (1982); Taylor (1982); Pu (2011)
<i>95th Percentile Travel Time</i>	Percentil T95	FHWA (2006); HCM-7 (TRB, 2022); Yang e Wu (2016)
Variância	Variância	Iida (1999); Jackson e Tucker (1982); Noland, R. B. (1997)
<i>Skew of travel time distribution</i>	$\lambda^{skew} = \frac{T90 - T50}{T50 - T10}$	Van Lint e Van Zuylen, (2005); Van Lint e et al. (2008); Aron et al. (2014)
<i>Width of travel time distribution</i>	$\lambda^{var} = \frac{T90 - T50}{T50}$	Van Lint e Van Zuylen, (2005); Van Lint e et al. (2008); Aron et al. (2014)
<i>Buffer Time Index (Revisado)</i>	$\frac{95th\ percentile\ time - mediana}{mediana} \times 100\%$	Arezoumandi e Bham (2011); Kwon et al. (2011)
<i>Frequency of Congestion</i>	Frequência de viagens que excedem um valor limite	FHWA (2006); Gong et al. (2017)
Média	Média	Jackson e Tucker (1982); Yang e Wu (2016)
<i>Misery Index</i>	$\frac{\text{tempo médio de viagem}(20\% \text{ das primei}}{\text{tempo médio de viagem}(\text{fluxo li} - 1}$	Lomax et al. (1997); HCM-7 (TRB, 2022)
<i>Present variation</i>	$\frac{\text{desvio padrão}}{\text{tempo médio de viagem}} \times 100\%$	Lomax et al. (1997)
<i>Variability Index</i>	$\frac{\text{Diferença nos intervalos de confiança do p}}{\text{Diferença nos intervalos de confiança do perí}}$	Lomax et al. (1997); Albert (2000)
<i>80th percentile TTI (adimensional)</i>	$\frac{\text{Percentil T80}}{\text{tempo médio de viagem}(\text{fluxo livre})}$	HCM-7 (TRB, 2022)
<i>50th percentile TTI (adimensional)</i>	$\frac{\text{Percentil T80}}{\text{tempo médio de viagem}(\text{fluxo livre})}$	HCM-7 (TRB, 2022)
<i>Mean TTI (adimensional)</i>	$\frac{\text{tempo médio de viagem}}{\text{tempo médio de viagem}(\text{fluxo livre})}$	HCM-7 (TRB, 2022)
<i>Failure or on-time measures (Porcentagem),</i>	% de viagens (ou porcentagem de tempo) com velocidades espaciais médias acima (no tempo) ou abaixo (falha) de um ou mais valores de velocidade alvo	HCM-7 (TRB, 2022)
<i>Reliability rating (porcentagem)</i>	% de milhas/quilômetros do veículo percorridas na via urbana associada a um TTI menor que 2,50	HCM-7 (TRB, 2022)

Métrica	Formulação	Autor
Semidesvio padrão	Considera-se o tempo de viagem de fluxo livre em vez da média do tempo de viagem	HCM-7 (TRB, 2022)
Mediana	Mediana	Lam e Small (2001)
Diferença do Percentil 90° pelo Percentil 50°	T90 -T50	Lam e Small (2001)
<i>Fosgerau's Reliability Ratio</i>	$\rho = \frac{\beta+\gamma}{\alpha} \theta \int_{\frac{\gamma}{\beta+\gamma}}^1 ((1-P)^{-1/k} - 1)^{-1/c_{dP}}$	Taylor (2017)
<i>Entropia como medida de Confiabilidade (Teoria da informação)</i>	$TT_{ne}(x) = \frac{-\sum_{x \in X} TT(x) \log(TT(x))}{\log(n)}$ $R_{TT}(x) = 1 - TT_{ne}(x)$ <small>Em que TT é a função massa de probabilidade de uma variável aleatória discreta</small>	Shlayan, Kachroo e Wadoo (2011)
Percentil 80 do tempo de viagem	Percentil T80	Van Loon, Rietveld e Brons (2011)

De acordo com a Tabela 2.1, desvio padrão e coeficiente de variação têm sido os parâmetros mais comuns para descrever como os tempos de viagem podem variar. No entanto, há alguma discussão sobre as propriedades do desvio padrão, dado que as distribuições de variabilidade dos tempos de viagem são assimétricas com uma longa curva à direita (“cauda superior”) (Fosgerau e Karlstrom, 2010; Susilawati et al., 2011). Devido a isso, por exemplo, Lam e Small (2001) recomendaram adotar a mediana como métrica ao invés da média do tempo de viagem e o percentil 90° ao invés do desvio padrão.

A FHWA (2006) propôs quatro métricas de confiabilidade do tempo de viagem, o *95th percentile travel time*, o *planning time index (PTI)*, o *buffer index (BI)* e o *frequency of congestion (FOC)*. Essas métricas também são recomendadas pelo HCM-7 (TRB, 2022), com exceção da *FOC*.

A FHWA (2006) argumenta que a variabilidade pode ser melhor representada considerando-se um percentil, como o 95° percentil do tempo de viagem. Segundo os autores, o percentil 95 implica na probabilidade de um em vinte de exceder o valor desse tempo de viagem, o que, para um passageiro, pode significar se atrasar para o trabalho uma vez por mês. De acordo, com a FHWA (2006), o *planning time index (PTI)* é definido por:

$$PTI = \frac{\text{Percentil T95}}{\text{tempo médio de viagem(fluxo livre)}} \quad (2.13)$$

Assim, o *planning time index (PTI)* é a razão do percentil 95 de uma amostra de tempos de viagem pelo tempo de viagem em condições de fluxo livre (FHWA, 2006; TRB, 2022). A métrica expressa o tempo extra que um viajante deve reservar além do tempo de viagem de

fluxo livre para chegar no horário planejado em ao menos 95% das vezes. Essa medida é útil para estimar quanto tempo extra os viajantes devem planejar para garantir uma chegada pontual e para descrever as condições de quase o pior caso em vias urbanas.

De acordo com a FHWA (2006), o *Buffer Index* representa o tempo de buffer extra (ou reserva de tempo) que a maioria dos viajantes adiciona ao tempo médio de viagem ao planejar viagens para garantir a chegada no horário. Este tempo extra é adicionado para compensar qualquer atraso inesperado. O *Buffer Index* é expresso como uma porcentagem e seu valor aumenta à medida que a confiabilidade piora. Por exemplo, um índice de buffer de 40 por cento significa que, para um tempo médio de viagem de 20 minutos, um viajante deve reservar 8 minutos adicionais ($20 \text{ minutos} \times 40 \text{ por cento} = 8 \text{ minutos}$) para garantir a chegada pontual na maior parte do tempo. Neste exemplo, os 8 minutos extras são chamados de tempo de buffer. O *Buffer Index* é calculado como a diferença entre o tempo de viagem do percentil 95 e o tempo médio de viagem, dividido pelo tempo médio de viagem (FHWA (2006)):

$$\text{Buffer index} = \frac{\text{Percentil T95} - \text{tempo médio de viagem}}{\text{tempo médio de viagem}} \quad (2.14)$$

De acordo com a FHWA (2006), a *frequency of congestion (FOC)* é definida como a frequência com que o congestionamento excede algum limiar esperado. Isso é normalmente expresso como a porcentagem de dias ou tempo em que os tempos de viagem excedem X minutos (esperado) ou as velocidades de viagem ficam abaixo de Y km/h esperado. A frequência da medida de congestionamento é relativamente fácil de calcular se os dados de tráfego contínuo estiverem disponíveis, e normalmente é relatada para dias úteis durante os períodos de pico de tráfego (FHWA, 2006).

O HCM-7 (TRB, 2022), além dessas métricas, também recomenda a utilização do *80th percentile TTI* (adimensional); do *50th percentile TTI* (adimensional); do *Travel Time Index (TTI)* (Índice de Tempo de Viagem); do *Mean TTI* (adimensional); do *Failure or on-time measures* (Porcentagem), do *Reliability rating* (porcentagem); do semidesvio padrão; do desvio padrão; e do *Misery Index* (adimensional). O HCM-7 cita que essas medidas de desempenho são úteis para retratar a variabilidade do tempo de viagem, ou para mensurar o sucesso ou a falha de viagens individuais, e podem descrever a confiabilidade do tempo de viagem em uma

via arterial. A seguir, essas medidas de desempenho são descritas brevemente, conforme definições do HCM-7:

- *80th percentile TTI*: compreende a razão entre o 80º percentil de uma amostra de tempos de viagem e o tempo de viagem na velocidade de fluxo livre. Segundo o HCM-7 (TRB, 2022), pesquisas indicam que essa medida é mais sensível a mudanças operacionais do que o *PTI*, o que a torna útil para fins de comparação e priorização. Ela pode ser mais sensível pois os tempos de viagem no 80º percentil pode apresentar variações no tempo de viagem em função de mudanças operacionais no trecho viário em estudo;
- *50th percentile TTI*: é representada pela razão entre o 50º percentil dos tempos de viagem e o tempo de viagem na velocidade base de fluxo livre. Essa medida pode ser usada para análise de tendências e para demonstrar mudanças no desempenho resultantes de uma estratégia operacional, que pode ser a melhoria de capacidade (exemplo: adicionar uma faixa de tráfego) ou na mudança na demanda (exemplo: redução na demanda de tráfego pois o transporte público “atraiu” mais usuários).
- *Mean TTI*: consiste na razão entre o tempo médio de viagem e o tempo de viagem na velocidade de fluxo livre. Essa medida pode ser usada para os mesmos propósitos que o 50º percentil *TTI*. No entanto, o *TTI* médio normalmente terá valores um pouco mais altos do que o 50º percentil *TTI* devido à influência de tempos de viagem raros e muito altos na distribuição.
- *Failure or on-time Measures*: representa a porcentagem de viagens (ou porcentagem de tempo) com velocidades espaciais médias acima (no tempo) ou abaixo (falha) de um ou mais valores de velocidade alvo (por exemplo, 40 e 60 km/h). Essas medidas abordam a frequência com que as viagens são bem-sucedidas ou falham em atingir um tempo ou velocidade de viagem desejado.
- *Reliability rating*: é a porcentagem de milhas/quilômetros do veículo percorridas na via urbana associada a um *TTI* menor que 2,50. Este limite aproxima-se daquele em que os tempos de viagem de corredores de vias urbanas se tornam muito mais variáveis (ou seja, não confiáveis).
- Semidesvio padrão: é o desvio padrão unilateral com o ponto de referência na velocidade de fluxo livre em vez da média, resultando na variabilidade em relação às condições de fluxo livre.

- Desvio padrão: indica o grau de dispersão de um conjunto de dados.
- *Misery index*: é a média dos 20 (primeiros) maiores tempos de viagem (da distribuição de tempo de viagem) dividida pelo tempo de viagem de fluxo livre. Conforme o HCM-7, é utilizado para descrever as condições de quase pior caso em vias rurais.

Uma métrica alternativa é uma adaptação do *Buffer Time Index* proposta por Arezoumandi e Bham (2011). Essa adaptação consistiu em considerar como medida de tendência central a mediana ao invés de se utilizar a média do tempo de viagem em fluxo livre. Apenas Kwon et al. (2011) utilizaram-na em pesquisa.

Outras importantes medidas de desempenho são a *skew* e *width of travel time distribution*, baseadas em percentis propostas por Van Lint e Van Zuylen (2005). A *skew of travel time distribution* é definida como a razão entre a diferença entre o 90º percentil de uma amostra do tempo de viagem e a mediana e a diferença entre a mediana e o 10º percentil dessa mesma amostra:

$$\lambda^{skew} = \frac{T_{90} - T_{50}}{T_{50} - T_{10}} \quad (2.15)$$

Em geral, quanto maior a λ^{skew} , maior a probabilidade de ocorrerem tempos de viagem extremos em relação à mediana. Se $\lambda^{skew} > 1$, significa que alguns viajantes perdem mais tempo do que outros em relação a mediana do tempo de viagem (Van Lint et al., 2008; Van Lint e Van Zuylen, 2005). Segundo Van Lint e Van Zuylen (2005), quanto mais ampla for a distribuição em relação à mediana, maior será a gama de tempos de viagem que podem ocorrer e, portanto, menor será a confiabilidade do tempo de viagem.

A *width of travel time distribution* é definida como a razão entre a diferença entre o 90º percentil e a mediana de uma amostra de tempos de viagem pela mediana:

$$\lambda^{var} = \frac{T_{90} - T_{50}}{T_{50}} \quad (2.16)$$

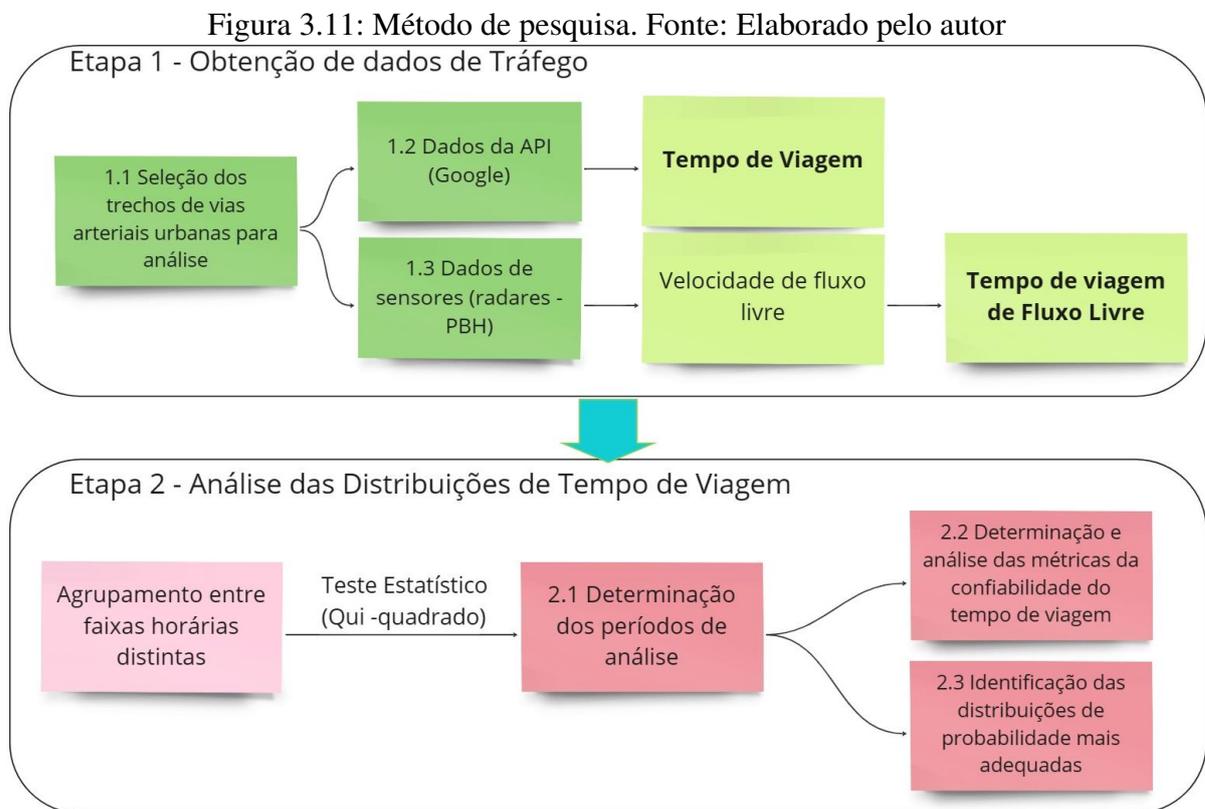
Lam e Small (2001) propõem a diferença entre os percentis 90 e 50 como um indicador de robusto de confiabilidade do tempo de viagem. Diante disso, pode ser inferido que os indicadores propostos por Van Lint e Van Zuylen (2005) são robustos para se aferir a confiabilidade.

Segundo Taylor (2017), pesquisas têm sido realizadas para o desenvolvimento de métodos para a inclusão da confiabilidade do tempo de viagem como um fator separado na análise econômica de projetos de transporte, incluindo a avaliação da variabilidade do tempo de viagem. O método de avaliação de Fosgerau (2016) inclui a consideração da confiabilidade do tempo de viagem na análise custo-benefício, adicionando a variabilidade do tempo de viagem ao conjunto de custos generalizados de viagem.

No entanto, o método de Fosgerau (2016) é complexo e exige maior capacidade computacional para processamento dos dados. Taylor (2017) propõe o uso da distribuição de Burr pode facilitar o cálculo do índice de confiabilidade e, assim, auxiliar no uso desta medida de confiabilidade do tempo de viagem para avaliação econômica de propostas de transporte conforme proposto Fosgerau (2016).

3 MÉTODO

Nesta seção são apresentadas as etapas do método para elaboração desta pesquisa, conforme ilustrado na Figura 3.11.



Na Figura 3.1, verifica-se que o método proposto possui duas etapas principais. A primeira foi a obtenção de dados para o desenvolvimento do trabalho; a segunda etapa foi a análise das distribuições de tempo de viagem. As próximas seções deste capítulo descrevem cada uma dessas etapas e suas principais atividades.

3.1 Obtenção de dados de tráfego

A etapa de obtenção de dados de tráfego compreendeu, primeiramente, em identificar trechos de vias arteriais urbanas que apresentassem características geométricas, operacionais e de extensões similares entre si. Posteriormente, foram obtidas informações de tempo de viagem e de velocidade desses trechos de vias arteriais.

3.1.1 Seleção dos trechos de vias arteriais urbanas

Para selecionar os trechos viários arteriais urbanos a serem estudados, considerou-se os trechos viários em que são vivenciados pelos seus usuários, durante o dia a dia deles, diversos congestionamentos durante os horários de pico em vários dias da semana, e que são importantes ligações no sentido bairro-centro e centro-bairro, e que conectam a porção norte/nordeste da cidade à região central dela. Assim, quaisquer interrupções dessas ligações podem levar a demanda que passariam por estas ligações à outras arteriais, vias coletoras ou locais a passarem por momentos de distúrbios de tráfego, problemas de capacidade viária que afetariam o desempenho viário dessas vias e levariam à reflexos negativos ao sistema viário da região próximo as essas vias selecionadas.

Diante disso, foram identificados quatro trechos na cidade de Belo Horizonte conforme detalhado no item 4.3 deste documento. Além disso, esses trechos foram escolhidos também devido à facilidade de se obter dados de volume de tráfego de radares que auxiliaram nas estimativas da velocidade em fluxo livre, e por conseguinte, do tempo de viagem em fluxo livre, informação que é necessária para a estimativa de algumas métricas do tempo de viagem.

3.1.2 Dados da API do Google

A Etapa 1.2 apontada na Figura 3.11 consiste nos dados empíricos de tempo de viagem. Esses dados são provenientes da *API (Application Programming Interface* ou Interface de programação de Aplicativos) *Google Distance Matrix* da plataforma de serviço de navegação/GPS *Google Maps* que possibilita o fornecimento de dados de tempos de viagem (*Google*, 2022). Por meio de APIs, desenvolvedores podem criar algoritmos e aplicativos capazes de se comunicar com outras plataformas e coletar informações.

Através da *Google Distance Matrix API*, fornecida pela *Google*, pode-se solicitar o tempo (médio) de viagem em tempo real entre duas localidades dos usuários *Google* que se deslocaram entre eles naquele momento. Assim, foi desenvolvida uma rotina computacional em Python para a extração automática, em tempo real, dos dados de tempo de viagem para o modo de transporte individual (viajantes que utilizaram automóveis e moto) da *Google Distance Matrix API* do Google, considerando os pontos iniciais e finais dos trechos, de forma a salvar os dados coletados, de quinze em quinze minutos – isso para se obter amostras de tempo de viagem a

cada quinze minutos das faixas horárias. Essa extração foi realizada para o período de estudo de 24 horas, em dias de semana (segunda a sexta-feira) entre março de 2022 e março de 2023, o que foi necessário para se estudar a confiabilidade nos trechos viários de estudo para ambos os sentidos de circulação.

3.1.3 Dados de sensores de tráfego

A etapa 1.3 evidenciada na Figura 3.11 refere-se aos dados de radares coletados de laço indutivo. Esses dados de radares podem compreender, além do volume veicular e tipos de veículos, as velocidades aferidas dos veículos que passaram por eles. A informação das velocidades aferidas por radares pode ser utilizada para ajudar a estimar a velocidade em fluxo livre, e por conseguinte, os tempos de viagem em fluxo livre, conforme é descrito em mais detalhes no item 4.5 deste trabalho.

3.2 *Análise das distribuições do tempo de viagem*

Nesta seção é apresentado o procedimento de análise dos dados empíricos das distribuições do tempo de viagem para os trechos de vias arteriais urbanas analisados. Os próximos itens descrevem como foram definidos os períodos de análise, além da identificação das distribuições teóricas dos dados de tempo de viagem e o cálculo e a análise das métricas de confiabilidade.

3.2.1 Definição dos períodos de estudo

Os conceitos dos períodos de análise, de estudo e de confiabilidade são fundamentais para o entendimento da confiabilidade do tempo de viagem. O HCM-7 (TRB, 2022) define o período de estudo com sendo a parte de um determinado dia que será analisado, geralmente entre 1 e 6 horas de duração. O período de análise é o intervalo de tempo avaliado para cada período de estudo (de 15 minutos em 15 minutos ou de hora em hora). O período de confiabilidade é o número de dias em que a distribuição de tempo de viagem em que será estimada a sua consistência. O período de confiabilidade é utilizado com o período de estudo para descrever a representação temporal da medida de desempenho a ser estimada, como, por exemplo, o tempo de viagem médio, em dias de semana, das 7 h às 9 h da manhã, para um dado ano.

Neste trabalho, o período de confiabilidade escolhido foi o intervalo de 1 ano, e o período de análise foi de hora em hora, identificando-se as amostras de dados de 15 em 15 minutos em sua

respectiva hora de coleta, conforme mencionado na obtenção dos dados de tempo de viagem. Os dados de tempo de viagem foram obtidos durante 24 horas e em dias de semana.

Diante disso, há uma grande disponibilidade de períodos de estudo para a estimativa da confiabilidade do tempo de viagem dos trechos viários de estudo. Sendo assim, foi proposto um método para agrupar faixas horárias para cada trecho viário estudado, reduzindo a quantidade de métricas da confiabilidade do tempo de viagem a serem analisadas.

A sistemática para a determinação das faixas horárias por trecho viário de estudo compreendeu as seguintes atividades: (1) classificar os dados coletados em faixas horárias; (2) aplicar o teste de Kolmogorov-Smirnov para verificar a aderência das distribuições dos tempos de viagem à distribuição normal (por faixa horária para cada dia da semana e sentido); (3) comparar as distribuições dos tempos de viagem empíricas hora a hora (para cada dia da semana e sentido do trecho) através do teste do Qui-quadrado; (4) elaborar uma matriz de resultados dos testes do Qui-quadrado do item (3), indicando se as hipóteses nulas obtidas de igualdade entre distribuições empíricas hora a hora foram rejeitadas ou deixaram de ser rejeitadas; (5) determinar, a partir das matrizes de resultados da atividade (4), os agrupamentos das faixas horárias para obtenção das métricas da confiabilidade dos tempos de viagem. O Capítulo 5 contém uma descrição detalhada sobre essas atividades para determinar as faixas horárias.

3.2.2 Identificação das distribuições teóricas dos dados de tempo de viagem

Uma variedade de medidas de desempenho tem sido proposta para quantificar a confiabilidade. Muitos desses indicadores são baseados em percentis de tempo de viagem. Um bom conhecimento da distribuição do tempo de viagem é necessário para estimar adequadamente esses valores. Se não houvesse congestionamento, o tempo de viagem seria estimado por uma distribuição Normal. O congestionamento, no entanto, distorce a distribuição e outra distribuição estatística é necessária para modelar a confiabilidade do tempo de viagem. (Aron et al. (2014).

Diante disso, e fundamentando-se nos períodos de estudo definidos no item anterior, foram analisados os ajustes dos dados empíricos (segmentados por períodos de estudo, por sentido e por trecho viário), às seguintes distribuições de probabilidade: Lognormal, Burr, Weibull e Gamma. Selecionou-se essas distribuições para essa finalidade devido a referência os estudos

similares a esta pesquisa na literatura, como os trabalhos de Chen e Fan (2020) e Chen et al. (2018), em que os autores realizaram o ajuste à essas distribuições e analisaram a confiabilidade do tempo de viagem considerando diferentes horas do dia e dias da semana. Outro exemplo é o estudo de Aron et al. (2014), que apresenta uma comparação de seis distribuições estatísticas usadas para modelar o tempo de viagem: Lognormal, Gamma, Burr, Weibull, Normal Mixture (uma mistura de duas distribuições normais) e Gamma Mixture (uma mistura de duas distribuições Gamma).

Com base nisso, esta etapa consistiu em identificar a distribuição teórica mais frequente entre intervalos de estudo e dias da semana, e relacionar e comparar esse resultado a estudos da literatura de forma a determinar a distribuição teórica que melhor representa as distribuições empíricas ao longo dos períodos de estudo coincidentes. Os resultados de adequação de cada distribuição foram calculados utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) ao nível de significância de 5%. Tomando-se como referência o trabalho de Chen e Fan (2020), foi utilizado o teste do Qui Quadrado, e recomendaram utilizar os testes de Anderson Darling (AS) e Kolmogorov-Smirnov (K-S) para futuros ajustes no futuro. A pesquisa de Chen et al. (2018) utilizou os testes do Qui Quadrado, de Anderson Darling (AS) e de Kolmogorov-Smirnov (K-S) para verificar a aderência das distribuições teóricas. O capítulo 6 apresenta os resultados alcançados da adequação dos dados empíricos às distribuições teóricas em que foi adotado o teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) para verificar a aderência das distribuições teóricas.

3.2.3 Estimativa das métricas de confiabilidade do tempo de viagem

As métricas de confiabilidade do tempo de viagem foram calculadas por período de estudo, conforme agrupamentos definidos no item 3.2.1, para cada dia da semana em cada trecho viário analisado. Os resultados obtidos são apresentados na seção 7 desta dissertação.

Fundamentando-se na literatura evidenciada no item 2.2, foram selecionados as três métricas mais utilizadas na literatura para a estimativa da confiabilidade do tempo de viagem: desvio padrão; *95th percentile TTI* ou *planning time index (PTI)* e *Buffer Index*. Isso considerando as distribuições do tempo de viagem identificadas na atividade anterior (3.2.2) e dos dados empíricos.

Também foram calculados, tanto diretamente dos dados empíricos quanto das distribuições do tempo de viagem identificadas na atividade anterior (3.2.2), os seguintes percentis das distribuições dos tempos de viagem e a média: 10º percentil; 50º percentil; 90º percentil, 95º percentil. Os percentis encontrados para cada trecho viário de estudo, separados por sentido, dia da semana e intervalo de estudo, são apresentados no Apêndice A.

4 COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS

Nesta seção são descritas a coleta e o tratamento dos dados utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa. Nos próximos itens são apresentadas as caracterizações dos trechos de vias arteriais urbanas selecionados e o detalhamento da obtenção e tratamento dos dados de tempos de viagem e dos dados de sensores de tráfego.

4.3 *Os trechos de vias arteriais urbanas*

Conforme mencionado no item 3.1.1, foram selecionados quatro trechos viários arteriais urbanos de Belo Horizonte para o desenvolvimento do estudo. A seguir são apresentados uma breve descrição dos trechos selecionados e um resumo dos seus atributos utilizados na seleção dos trechos.

O trecho viário 1 está compreendido entre as ruas Cônego Floriano e Jacuí (Bairro União) na Avenida Cristiano Machado. O trecho viário 2 está situado entre as ruas Teixeira Vasconcelos e Comendador Nohme Salomão na Avenida Presidente Antônio Carlos. O trecho viário 3 situa-se na Avenida José Cândido da Silveira entre as ruas São Lázaro e Marcelino Ferreira. O trecho viário 4 está localizado na Avenida Bernardo Vasconcelos entre Rua Madureira e Avenida José Cleto.

O trecho viário 1 está situado na Avenida Cristiano Machado, um eixo viário arterial com fluxos de veículos no sentido norte-sul ou sul-norte, na cidade de Belo Horizonte, conectando as regionais de Venda Nova, Norte, Nordeste e Leste à regional Centro-Sul da cidade. Essa avenida apresenta continuidade junto à Rodovia MG-010, principal acesso da capital mineira ao Aeroporto Internacional de Confins. No trecho viário de estudo, como pode ser exemplificado na Figura 4.12, a avenida apresenta quatro faixas de tráfego por sentido de circulação, separadas por canteiro central e pela pista central (pista exclusiva de ônibus); no local, há estacionamento proibido e sinalização vertical e horizontal em bom estado de conservação.

Figura 4.12: Avenida Cristiano Machado



O trecho viário 2 está situado na Avenida Presidente Antônio Carlos, um eixo viário arterial com fluxos de veículos no sentido norte-sul ou sul-norte conectando as regionais de Belo Horizonte de Venda Nova, Norte, Pampulha e Noroeste à regional Centro-Sul da cidade. Essa avenida apresenta continuidade junto à Rodovia MG-010, principal acesso da capital mineira ao Aeroporto Internacional de Confins. Assim como o trecho viário 1, o trecho viário 2 (Figura 4.13) apresenta quatro faixas de tráfego por sentido de circulação, separadas por canteiro central e pela pista central (pista exclusiva de ônibus); também há estacionamento proibido e sinalização vertical e horizontal em bom estado de conservação.

Figura 4.13: Avenida Presidente Antônio Carlos



O trecho viário 3 está situado na Avenida José Cândido da Silveira, que representa um eixo viário arterial que conecta as regionais Nordeste e Leste à Avenida Cristiano Machado. Essa avenida apresenta continuidade junto a Rodovia MG-005, que dá acesso ao município de Sabará. No trecho viário de estudo, como pode ser visto na Figura 4.14, a avenida apresenta duas faixas de tráfego por sentido de circulação, separadas por canteiro central; no local, o

estacionamento é permitido e a sinalização vertical e horizontal estão em bom estado de conservação.

Figura 4.14: Avenida José Candido da Silveira



O trecho viário 4 está situado na Avenida Bernardo Vasconcelos, um eixo viário arterial que conecta as regionais Nordeste e Noroeste de Belo Horizonte. Assim como o trecho viário 4, o trecho viário 3 (Figura 4.15) apresenta duas faixas de tráfego por sentido de circulação, separadas por canteiro central com estacionamento permitido e sinalização vertical e horizontal em bom estado de conservação.

Figura 4.15: Avenida Bernardo Vasconcelos



A Tabela 3.1 indica um resumo das características dos trechos viários arteriais urbanos que foram escolhidos para execução desta pesquisa. Percebe-se que as avenidas Cristiano Machado e Presidente Antônio Carlos são similares, pois existe conformidade em números de faixas; além disso, há a presença de pista exclusiva de ônibus e não apresentam retornos não semaforizados em nível.

As avenidas José Cândido da Silveira e Bernardo Vasconcelos possuem algumas características equivalentes, com similaridades em número de faixas, na ausência de pista exclusiva de ônibus e na presença de retornos não semaforizados em nível. Observa-se também que todos os trechos viários possuem velocidades máximas permitidas iguais; além disso, há a presença de interseções com acessos em desnível (trincheiras/viadutos), com a existência de interseções semaforizadas em nível e extensões próximas.

Tabela 4.2: Características físicas e operacionais de tráfego dos trechos viários de estudo

Característica	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3	Trecho 4
Início	Rua Jacuí	Rua Teixeira Vasconcelos	Rua Marcelino Ferreira	Avenida José Cleto
Fim	Rua Cônego Floriano	Rua Comendador Nohme Salomão	Rua São Lázaro	Rua Madureira
Via Arterial Urbana	Avenida Cristiano Machado	Avenida Presidente Antônio Carlos	Avenida José Cândido da Silveira	Avenida Bernardo Vasconcelos
Número de faixas por sentido	4	4	2	2
Velocidade máxima permitida (km/h)	60	60	60	60
Interseções ou acessos em desnível	Presente	Presente	Presente	Presente
Pista exclusiva de ônibus	Presente	Presente	Ausente	Ausente
Retorno não semaforizado em nível	Ausente	Ausente	Presente	Presente
Extensão (km)	2,80	3,00	2,95	3,14

Os trechos escolhidos são apresentados na Figura 4.16 e na Figura 4.17, em que os pontos destacados em roxo são os marcos indicativos de início ou fim dos trechos viários de estudo. A Figura 4.16 salienta a localização dos trechos na cidade de Belo Horizonte, bem como a dos sensores (radares) próximos aos trechos.

Figura 4.16: Localização dos trechos viários selecionados para obtenção de dados de tráfego.
 Fonte: Google Earth/Elaborado pelo autor

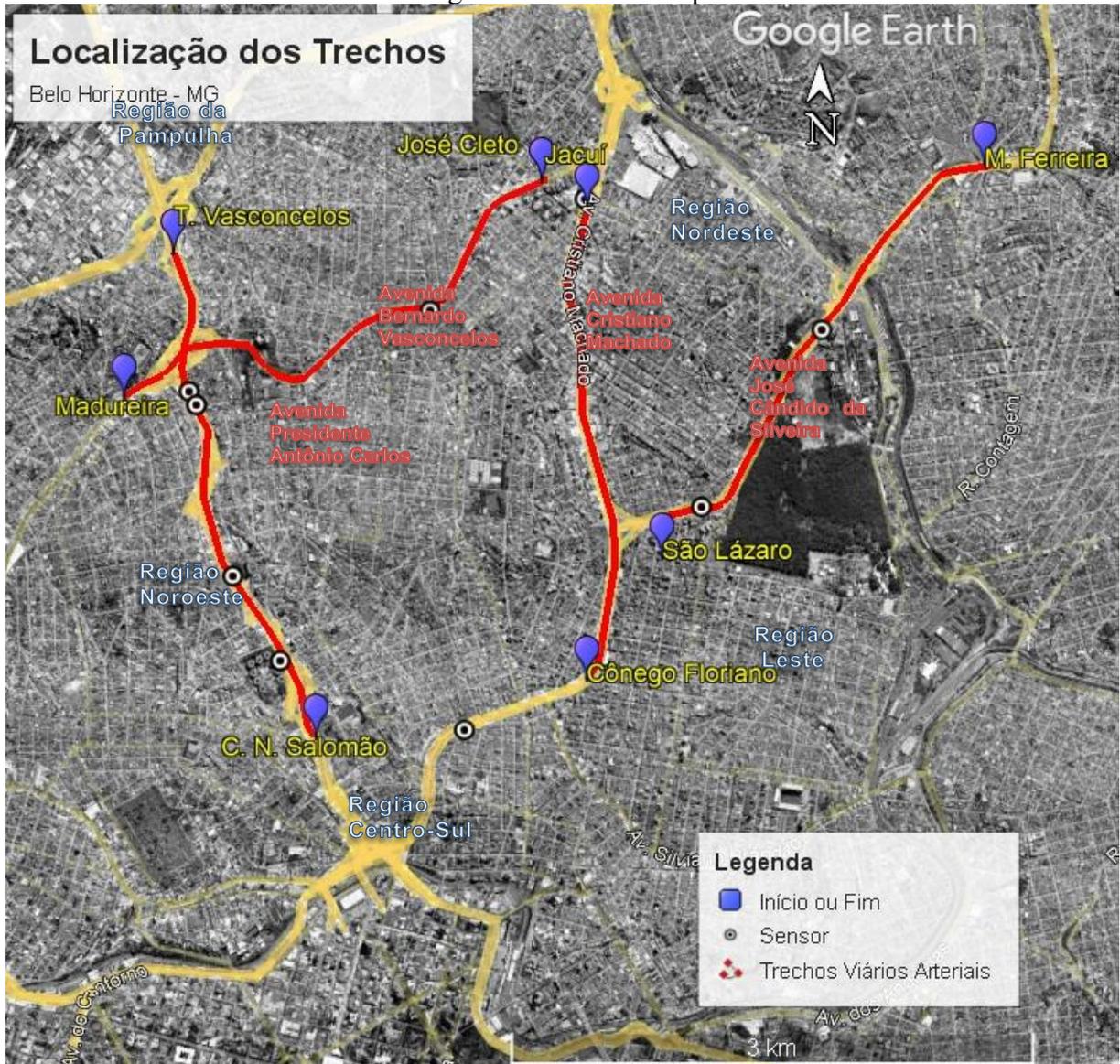


Figura 4.17: Vista aérea dos trechos viários selecionados para obtenção de dados de tráfego.
 Fonte: Google Earth/Elaborado pelo autor

Conforme indicado na Figura 4.17, observa-se a proximidade geográfica entre os trechos viários arteriais de estudo, sendo as avenidas Presidente Antônio Carlos e Cristiano Machados sendo os principais eixos com fluxos no sentido Norte-Sul e Sul-Norte, conectando a região norte de Belo Horizonte à sua região Centro-Sul. Diante disso, quaisquer obstruções/interrupções nessas vias levariam à reflexos negativos ao sistema viário arterial/coletor entre elas, como, por exemplo, da Avenida Bernardo Vasconcelos, com fluxos de tráfego no sentido Leste-Oeste e

Oeste -Leste, seria afetada pelo aumento de demanda e levaria ter problemas de desempenho viário. Além disso, para a escolha das vias, foi observada a classificação viária hierárquica do município de Belo Horizonte (Belo Horizonte, 1996), conforme Lei nº 7.166 de 1996 do município de Belo Horizonte e alterações – Lei de Parcelamento, ocupação e Uso do Solo – para identificar as vias arteriais.

Trecho viário 1: Avenida Cristiano Machado (Entre as ruas Cônego Floriano e Jacuí (Bairro União) – 2,80 km).



Trecho viário 2: Avenida Presidente Antônio Carlos (Entre as ruas Teixeira Vasconcelos e Comendador Nohme Salomão– 3,00 km).



Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira (Entre as ruas São Lázaro e Marcelino Ferreira – 2,95 km).



Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos (Entre Rua Madureira e Avenida José Cleto – 3,14 km).



4.4 Dados de tempos de viagem – Google Distance Matrix

O *Google Distance Matrix API* (Google, 2022) é um serviço da Plataforma *Google Maps* que fornece a distância e o tempo de viagem entre uma matriz de origens e destinos, para um determinado modo de transporte. É possível especificar várias opções de busca, como o modo de transporte –individual (carro e moto), bicicleta, transporte público ou a pé – e as unidades de medida – como quilômetros ou milhas. Para a realização desta pesquisa, o algoritmo desenvolvido para coletar os dados de tempo de viagem considerou a solicitação à API (*Application Programming Interface* ou Interface de Programação de Aplicativos) sobre os dados referentes ao modo de transporte (individual). A API retorna os dados em formato *JSON* (*JavaScript Object Notation*) ou *XML*.

Para utilizar a API, foi preciso criar uma conta no *Google Cloud Platform*, gerar uma chave de API e construir uma rotina computacional em Python de solicitação com os parâmetros desejados, a partir dos pares de coordenadas geográficas de origem e destino dos trechos de vias arteriais, por sentido e o modo de transporte individual (carro ou moto). A coleta de dados de tempos de viagem ocorreu no período entre 15 de março de 2022 e 15 de março de 2023, para os trechos de vias arteriais selecionados. Essa rotina computacional realizou a extração automática, em tempo real, dos dados de tempo de viagem da API, de forma a salvar os dados coletados de quinze em quinze minutos para o período de estudo de 24 horas e em dias de semana (segunda-feira a sexta-feira).

Conforme a documentação da *Google Distance Matrix API* (Google, 2022), as coletas de dados pela API têm custo por elemento requisitado, e a plataforma fornecia um número limitado de requisições gratuitas por mês. Diante disso, a elaboração do banco de dados de tempos de viagem foi restrita a essa limitação econômica, de forma a contemplar pelo menos quatro trechos viários de estudo (em ambos os sentidos de circulação) e realizar oito requisições a cada 15 minutos à API, durante dias de semana ao longo de cada mês. Isso de forma a resultar em 768 requisições por dia; 3.840 requisições por semana (cinco dias da semana multiplicado por 768); e aproximadamente 76.800 requisições por mês (20 a 21 dias úteis por mês multiplicado por 3.840), sem extrapolar a cota mensal gratuita de requisições naquela época (aproximadamente 80.000 requisições mensais).

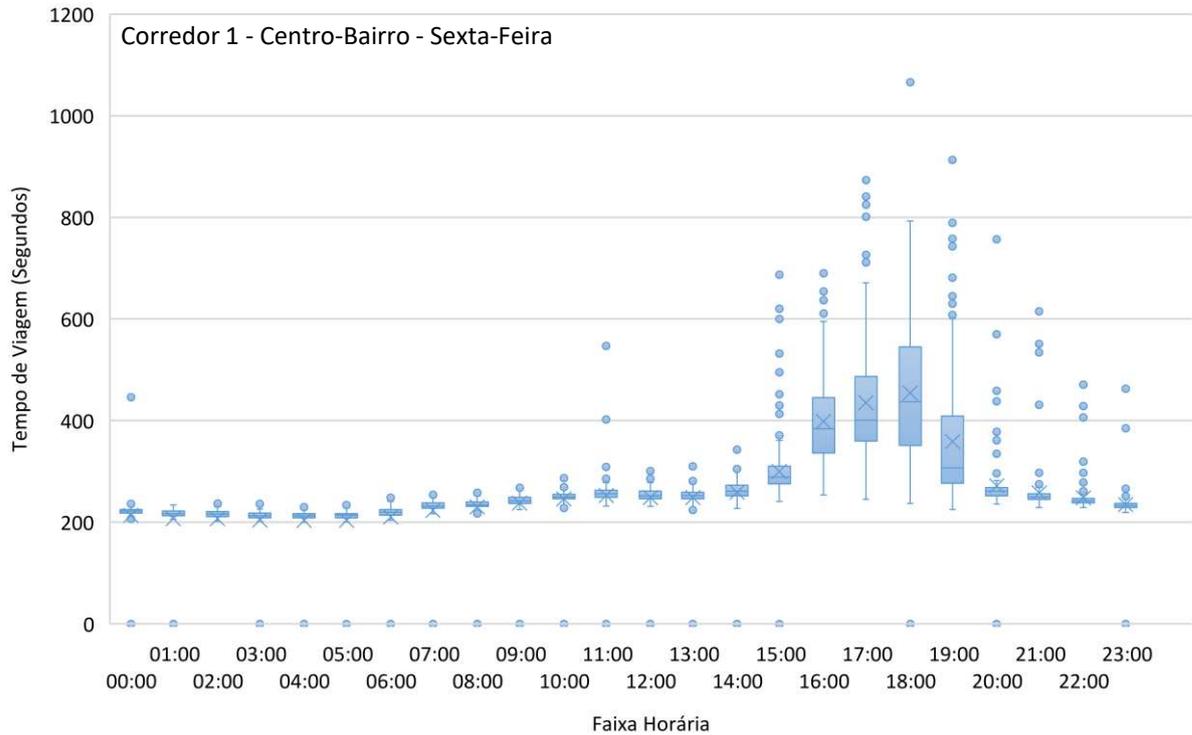
A documentação da *Google Distance Matrix API* do Google (2022) não mencionava muitos detalhes sobre o dado coletado. Apenas foi informado que é cedida pela plataforma a média do tempo de viagem ocorrida em tempo real da amostra de usuários que realizaram sua viagem naquele trecho da via e naquele período, sem revelar essa quantidade de usuários. Além disso, não foi encontrada na documentação da API se há a possibilidade de a plataforma oferecer dados históricos de tempos de viagem.

Ao fim do período de coleta de dados, os arquivos JSON foram convertidos em arquivos TXT para que fosse consolidado o banco de dados em formato de tabela, uma vez que JSON é um formato de texto padrão para representar dados estruturados baseados na sintaxe do objeto *JavaScript*. O formato JSON é comumente utilizado para transmitir dados em aplicações *web*, como enviar alguns dados do servidor para o cliente, ou vice-versa; ou seja, dados estruturados para a troca de informações entre máquinas.

Após isso, foi realizada uma análise prévia com a elaboração de histogramas para identificar os valores atípicos ou *outliers*. Para isso, foram elaborados histogramas dos tempos de viagem para cada dia da semana (segunda a sexta-feira), considerando o período de 24 horas, por sentido e por faixa horária.

A Figura 4.18 apresenta um exemplo do histograma da segunda-feira para o trecho viário 1. Os histogramas elaborados para todos os trechos viários são apresentados no Apêndice B. Uma vez identificados no banco de dados, os valores atípicos foram desconsiderados para a análise da distribuição do tempo de viagem.

Figura 4.18: Histograma – trecho viário 1 (Centro-Bairro). Fonte: Elaborado pelo autor



4.5 Dados de velocidade

A etapa 1.3 evidenciada na Figura 3.11 refere-se aos dados coletados por 43 radares de laço indutivo do município de Belo Horizonte. Os dados dos radares do município de Belo Horizonte estão disponíveis no website da Prefeitura de Belo Horizonte (PBH, 2023) e são atualizados mensalmente. A Figura 4.19 apresenta a localização dos sensores de fiscalização eletrônica de velocidade que foram selecionados para aferição da velocidade de fluxo livre nos locais.

Figura 4.19: Localização dos sensores de tráfego selecionados. Fonte: Google Earth/Elaborado pelo autor



O tempo de viagem em condições de fluxo livre foi calculado dividindo-se o comprimento do segmento pela velocidade de fluxo livre, definida como o percentil 85 da velocidade durante a noite, das 22 h às 5 h (FDOT, 2011; Schrank et al., 2015; Fan e Gong, 2017). O tempo de viagem em fluxo livre é uma das componentes de cálculo para a estimativa da métrica de confiabilidade *planning time index* (PTI), apresentada na seção 3.2.3.

Diante disso, foram utilizados os dados coletados por radares de laço indutivo do município de Belo Horizonte para efetuar o cálculo do percentil 85 da velocidade aferida pelos equipamentos mais próximos ou situados nos trechos viários em estudo. Esse cálculo considerou o período compreendido entre 22 h e 5 h para o ano de 2022. A Tabela 4.3 aponta a velocidade em fluxo livre aferida por tipo de veículo identificado pelos equipamentos (carro, moto e caminhão/ônibus) e o endereço dos sensores. Observa-se que os valores de velocidade em fluxo livre são similares entre os trechos 1 e 2, e entre os trechos 3 e 4.

Tabela 4.3: Velocidade de fluxo livre obtida de sensores de tráfego

Sensor	190	204	222	195	231A	231B	187	211
	Av. Presidente Antônio Carlos, nº 1089	Av. Presidente Antônio Carlos, nº 1.694	Av. Cristiano Machado, nº 673	Av. Cristiano Machado, a 12 metros da rua Pitangui	Av. Bernardo de Vasconcelo s, oposto ao nº 1.720	Av. Bernardo de Vasconcel os, nº 1.720	Av. José Cândido da Silveira, nº 509	Av. José Cândido da Silveira, nº 1.500
Sentido	Bairro/ Centro	Centro/ Bairro	Bairro/ Centro	Centro/ Bairro	Leste/ Oeste	Oeste/Les te	Bairro/ Centro	Centro/ Bairro
AUTOMÓVEL	56	57	58	56	55	52	54	52
MOTO	58	58	59	57	58	52	55	54
CAMINHÃO / ÔNIBUS	54	56	59	57	56	53	55	55

5 DETERMINAÇÃO DOS PERÍODOS DE ANÁLISE

A segunda etapa do método de pesquisa proposto é a análise das distribuições de tempo de viagem como indicado na Figura 3.1. Para isso, foi necessária a determinação dos períodos de análise, conforme mencionado no item 3.2.1. Essa atividade consistiu numa sistemática para a determinação das faixas horárias por trecho viário de estudo, constituída das seguintes ações: (1) agrupar os dados coletados em faixas horárias de 60 minutos; (2) comparar as distribuições dos tempos de viagem empíricas hora a hora (para cada dia da semana e sentido do trecho) através do teste do Qui-quadrado; (3) elaborar uma matriz de resultados dos testes do Qui-quadrado do item (2) indicando se as hipóteses nulas obtidas foram rejeitadas ou deixaram de ser rejeitadas; (4) determinar, a partir das matrizes de resultados da atividade (3), os agrupamentos das faixas horárias e, conseqüentemente, os períodos de obtenção das métricas da confiabilidade dos tempos de viagem. Esta seção apresenta a descrição de cada uma dessas ações, bem como os resultados da determinação dos períodos de análise.

A primeira ação foi agrupar os dados de tempo de viagem em períodos de 60 minutos, uma vez que cada linha do banco de dados consolidado dos tempos de viagem compreende uma média (por sentido e por trecho viário) a cada 15 minutos. A segunda ação consistiu na comparação entre as distribuições dos tempos de viagem empíricas horárias (para cada dia da semana e sentido de trecho) através do teste do Qui-quadrado, entre todos os pares de subamostras horárias possíveis de serem combinados entre si. Por exemplo, tomando-se as subamostras do trecho viário 1, referentes à segunda-feira no sentido bairro-centro, o teste foi executado entre a subamostra de 00 h - 01 h (aqui denotada por 00 h) com a subamostra de 01 h - 02 h (ou 01 h), e, consecutivamente, entre subamostra de 00 h - 01 h (ou 01 h) com a subamostra de 02 h - 03 h (ou 02 h), e assim por diante.

Logo, há 24 possibilidades de subamostras horárias que podem ser testadas com outras 23 possibilidades de subamostras (das demais faixas horárias); sendo assim, foram realizados 552 testes estatísticos por tipo dia e sentido de trecho viário. Considerando-se que são dois sentidos de circulação do trecho viário e há cinco dias da semana analisados (de segunda-feira a sexta-feira) disponíveis no banco de dados de média de tempo de viagem, foram aplicados 5.520 testes do Qui-quadrado por trecho viário.

Diante disso, foi desenvolvido um algoritmo em *Python* para a execução dos testes do Qui-quadrado, de forma a executar os 5.520 testes supracitados. Nessa rotina computacional foi empregada a biblioteca *scipy* e sua função *chi2_contingency* do *python*. No caso de as faixas horárias possuírem aderência de acordo com o teste do Qui-quadrado, os subgrupos correspondentes seriam considerados um único grupo para se obter as métricas da confiabilidade do tempo de viagem.

A segunda ação para determinar os períodos de análise foi consolidar as matrizes de resultados dos testes do Qui-quadrado obtidos anteriormente. As matrizes de resultados por tipo de dia e sentido de circulação do trecho viário foram desenvolvidas de forma a visualizar os resultados do teste, ou seja, se as hipóteses escolhidas no teste apontavam aderência significativa entre os grupos de subamostras. No caso de haver aderência foi indicado o valor 1, enquanto o resultado oposto recebeu o valor zero, conforme indicado na Figura 5.20.

Figura 5.20: Matriz de Resultados iniciais – Sentido bairro-centro do trecho 1. Fonte: Elaborado pelo autor

Trecho 1 - Bairro-Centro - Segunda-Feira																							
	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
00h	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
01h		1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
02h			1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
03h				1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
04h					1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
05h						0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
06h							0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07h								0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08h									0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09h										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10h											1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11h												1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12h													1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13h														1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14h															1	1	1	1	1	1	1	1	1
15h																1	1	1	1	1	1	1	1
16h																	1	1	1	1	1	1	1
17h																		1	1	1	1	1	1
18h																			1	1	1	1	1
19h																				1	1	1	1
20h																					1	1	1
21h																						1	1
22h																							1

Seria pouco prático realizar a análise das métricas da confiabilidade do tempo de viagem para cada grupo de faixa horária dos trechos viários, por trecho viário, por tipo de dia da semana e

Figura 5.22: Matriz de Resultados – Sentido centro-bairro do trecho 1. Fonte: Elaborado pelo autor

Geral - Centro-Bairro																							
	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
00h	80%	80%	80%	80%	73%	53%	53%	53%	53%	53%	40%	47%	53%	40%	27%	0%	0%	0%	0%	40%	53%	53%	80%
01h		80%	80%	80%	73%	53%	53%	53%	53%	53%	40%	40%	53%	40%	27%	0%	0%	0%	0%	40%	53%	53%	80%
02h			80%	80%	73%	53%	53%	53%	53%	53%	40%	40%	53%	40%	27%	0%	0%	0%	0%	40%	53%	53%	80%
03h				80%	73%	53%	53%	53%	53%	53%	40%	40%	53%	40%	27%	0%	0%	0%	0%	40%	53%	53%	80%
04h					73%	53%	53%	53%	53%	53%	40%	47%	53%	40%	27%	0%	0%	0%	0%	40%	53%	53%	80%
05h						53%	53%	53%	53%	53%	40%	47%	53%	40%	27%	0%	0%	0%	0%	40%	53%	53%	80%
06h							67%	73%	80%	80%	67%	73%	80%	67%	53%	0%	0%	0%	0%	67%	67%	60%	53%
07h								73%	67%	67%	60%	67%	67%	67%	47%	0%	0%	0%	0%	53%	53%	53%	53%
08h									73%	73%	67%	80%	80%	67%	53%	0%	0%	0%	0%	67%	53%	53%	53%
09h										80%	73%	73%	80%	80%	47%	0%	0%	0%	0%	80%	67%	53%	53%
10h											80%	73%	80%	80%	47%	0%	0%	0%	0%	80%	67%	53%	53%
11h												80%	80%	80%	53%	0%	0%	0%	0%	80%	47%	40%	40%
12h													80%	73%	53%	0%	0%	0%	0%	80%	60%	47%	40%
13h														80%	47%	0%	0%	0%	0%	80%	60%	53%	53%
14h															40%	0%	0%	0%	0%	80%	60%	40%	40%
15h																0%	0%	0%	20%	53%	33%	27%	27%
16h																	7%	0%	20%	0%	0%	0%	0%
17h																		13%	7%	0%	0%	0%	0%
18h																			0%	0%	0%	0%	0%
19h																				0%	0%	0%	0%
20h																					60%	40%	40%
21h																						80%	53%
22h																							53%

A partir das matrizes de resultados da ação anterior (3), a quarta ação compreendeu realizar a agregação das faixas horárias. Assim, foi implementada uma avaliação sistemática e condicional configurada em uma matriz (24x24) – denotada por $R(24 \times 24)$ – de agregação horária em que o resultado na sua diagonal principal é calculado com uma fórmula condicional em *MS Excel*, tendo como referência a matriz de resultado apresentada no período anterior.

Foram adotadas premissas para cada um desses critérios. A primeira foi a de que a média da coluna j da matriz de resultados ($R(24 \times 24)$) fosse maior que 53%. A segunda premissa compreendeu a média das células da submatriz ($i \times j$) advinda da matriz de resultados $R(24 \times 24)$ – em que i e j são referentes à posição da célula na diagonal principal da matriz de agregação horária – de modo que também fosse maior que 53%. Nesse caso, é retornado o valor “ok”, e caso seja menor que 53%, retorna o valor “não”. O valor de 53% foi utilizado como referência, pois representa a maior parte das matrizes como o valor “ok”, portanto oito em quinze matrizes com esse valor (oito por quinze equivale a 53%).

Figura 5.24: Matriz de agregação horária – Sentido centro-bairro. Fonte: Elaborado pelo autor

Geral - Centro-Bairro																							
	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
00h	ok																						
01h		ok																					
02h			ok																				
03h				ok																			
04h					ok																		
05h						ok																	
06h							ok																
07h								ok															
08h									ok														
09h										ok													
10h											ok												
11h												ok											
12h													ok										
13h														ok									
14h															não								
15h																não							
16h																	não						
17h																		não					
18h																			não				
19h																				não			
20h																					não		
21h																						ok	
22h																							não

Figura 5.25: Esquema de rotina de agregação horária – Situação A

	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
00h	80%	80%	80%	80%	80%	7%	0%	0%	0%	20%	40%	33%	7%	27%	40%	33%	40%	33%	40%	60%	80%	80%	80%
01h		80%	80%	80%	80%	7%	0%	0%	0%	20%	40%	33%	7%	27%	40%	33%	40%	33%	40%	60%	80%	80%	80%
02h			80%	80%	80%	7%	0%	0%	0%	20%	40%	33%	7%	27%	40%	33%	40%	33%	40%	60%	80%	80%	80%
03h				80%	80%	7%	0%	0%	0%	20%	40%	33%	7%	27%	40%	33%	40%	33%	40%	60%	80%	80%	80%
04h					80%	7%	0%	0%	0%	20%	40%	33%	7%	27%	40%	33%	40%	33%	40%	60%	80%	80%	80%
05h						7%	0%	0%	0%	20%	40%	33%	7%	27%	40%	33%	40%	33%	40%	60%	80%	80%	80%
06h							0%	7%	7%	20%	33%	20%	7%	27%	27%	27%	7%	20%	27%	13%	7%	7%	7%
07h								33%	13%	20%	7%	0%	0%	13%	13%	7%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
08h									27%	13%	13%	27%	27%	33%	40%	33%	20%	33%	7%	0%	0%	0%	0%
09h										33%	20%	20%	33%	40%	33%	27%	27%	33%	20%	0%	0%	0%	0%
10h											47%	40%	60%	73%	53%	40%	27%	33%	47%	33%	20%	20%	20%
11h												73%	40%	73%	80%	53%	33%	67%	80%	53%	40%	40%	40%
12h													67%	67%	80%	73%	60%	67%	47%	40%	33%	33%	33%
13h														67%	60%	67%	47%	33%	20%	7%	7%	7%	7%
14h															80%	73%	60%	80%	53%	27%	27%	27%	27%
15h																73%	67%	80%	60%	47%	40%	40%	40%
16h																	67%	73%	33%	40%	33%	33%	33%
17h																		53%	40%	40%	40%	40%	40%
18h																			53%	40%	33%	33%	33%
19h																				73%	60%	60%	60%
20h																					80%	80%	80%
21h																							
22h																							

	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h	d
1 00h	ok								
1 01h		ok							
1 02h			ok						
1 03h				ok					
1 04h					ok				
1 05h						não			
1 06h							não		
1 07h								não	
1 08h									não
1 09h									
1 22h									

	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h
1 00h	ok							
1 01h		ok						
1 02h			ok					
1 03h				ok				
1 04h					ok			
1 05h						não		
1 06h							não	
1 07h								não
1 08h								

	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h
1 00h	ok							
1 01h		ok						
1 02h			ok					
1 03h				ok				
1 04h					ok			
1 05h						não		
1 06h							não	
1 07h								não
1 08h								

	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h
1 00h	ok							
1 01h		ok						
1 02h			ok					
1 03h				ok				
1 04h					ok			
1 05h						não		
1 06h							não	
1 07h								não
1 08h								

	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h
1 00h	ok							
1 01h		ok						
1 02h			ok					
1 03h				ok				
1 04h					ok			
1 05h						não		
1 06h							não	
1 07h								não
1 08h								

	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h
1 00h	ok							
1 01h		ok						
1 02h			ok					
1 03h				ok				
1 04h					ok			
1 05h						não		
1 06h							não	
1 07h								não
1 08h								

	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h
1 00h	ok							
1 01h		ok						
1 02h			ok					
1 03h				ok				
1 04h					ok			
1 05h						não		
1 06h							não	
1 07h								não
1 08h								

	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h
1 00h	ok							
1 01h		ok						
1 02h			ok					
1 03h				ok				
1 04h					ok			
1 05h						não		
1 06h							não	
1 07h								não
1 08h								

	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h
1 00h	ok							
1 01h		ok						
1 02h			ok					
1 03h				ok				
1 04h					ok			
1 05h						não		
1 06h							não	
1 07h								não
1 08h								

	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h
1 00h	ok							
1 01h		ok						
1 02h			ok					
1 03h				ok				
1 04h					ok			
1 05h						não		
1 06h							não	
1 07h								não
1 08h								

	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h
1 00h	ok							
1 01h		ok						
1 02h			ok					
1 03h				ok				
1 04h					ok			
1 05h						não		
1 06h							não	
1 07h								não

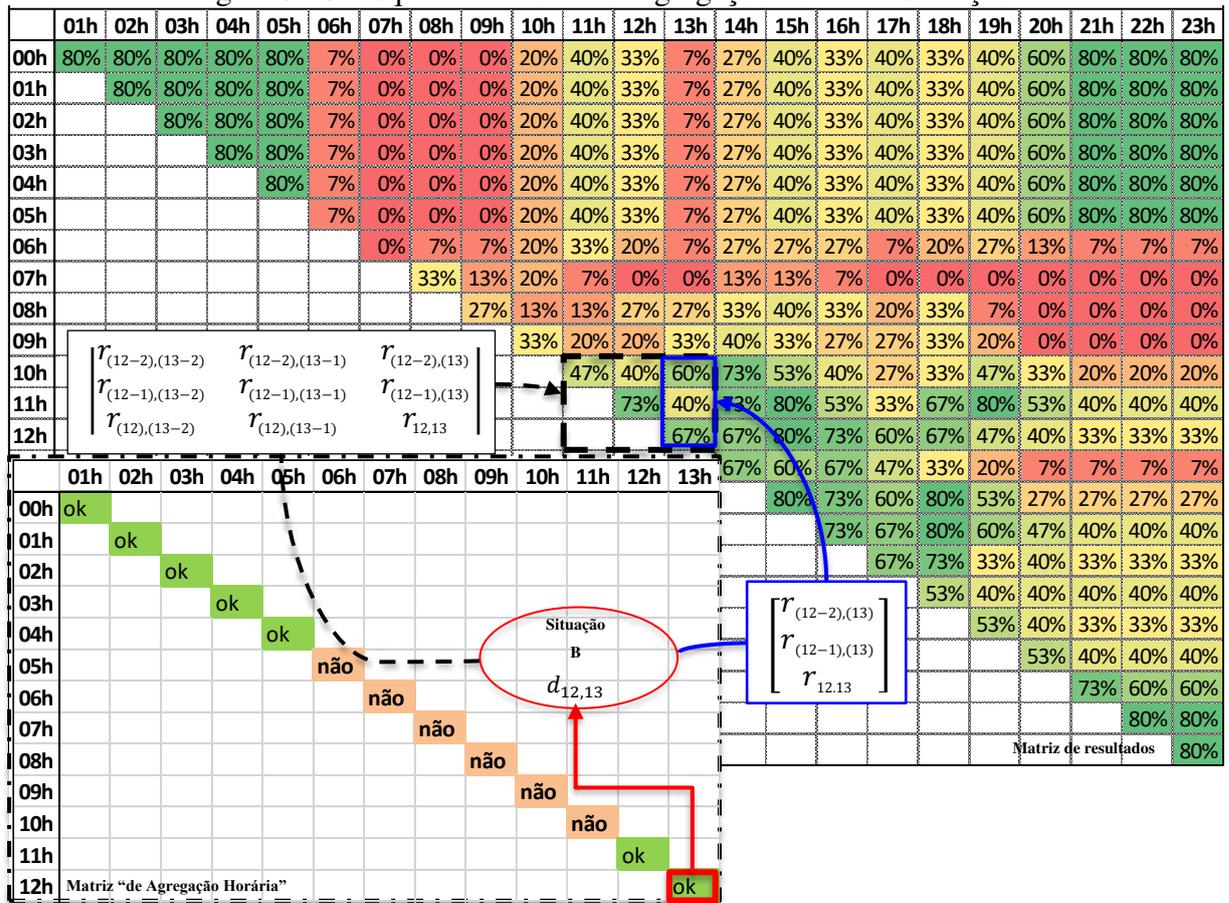
Caso resulte em “não”, esse processo é repetido de forma subsequente até que o resultado seja “ok” na célula da diagonal principal (ver a situação B, na Figura 5.26). Quando isso ocorre, ao efetuar o cálculo da fórmula condicional da próxima célula da diagonal da nova matriz de resultados; assim, a última célula da diagonal principal $d_{i,j}$ com o valor “não” passa ser a referência, sendo a célula $r(i), (j+m)$ na matriz de resultados a primeira célula de cálculo de média do vetor para a primeira premissa, com a célula $r(i), (j)$ sendo a primeira célula da submatriz da segunda premissa. Dessa forma, a média da primeira premissa conteve um vetor de sua coluna com a forma geral $[r_{i,j+m} \dots r_{i+n,j+m}]$ em que n é o número de linhas subsequentes do vetor e m é o número de colunas que são as colunas adjacentes em relação à localização da coluna onde foi encontrada a diagonal principal com valor “não”. A segunda premissa representa a média que compreende a submatriz dos resultados com essa forma geral:

$$\begin{bmatrix} r_{i,j} & \dots & r_{i,j+m} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ r_{i+n,j} & \dots & r_{i+n,j+m} \end{bmatrix}$$

Se, ao efetuar a execução dessa fórmula condicional, o resultado se mantiver em “ok” ao longo da diagonal principal da matriz de “agregação horária”, então o número de linhas do vetor (da média da primeira premissa) e o número de linhas e colunas da submatriz (da média da segunda premissa) é acumulado em mais uma unidade, de forma a expandir ambas as áreas de região das médias na matriz de resultados. Esse roteiro de cálculo foi repetido até finalizar a diagonal da matriz de agregação horária.

Conforme as informações apresentadas nas figuras anteriores, foram definidas as seguintes faixas horárias de análise para o sentido bairro-centro: das 00 h até às 05 h; das 10 h até às 18 h; e das 19 h até às 23 h. Com relação ao sentido centro-bairro, determinou-se as seguintes faixas horárias: das 00 h até às 14 h; e das 20 h até às 22 h. As demais horas que não foram agregadas foram consideradas individualmente. Dessa forma, foi possível calcular as métricas de confiabilidade do tempo de viagem como detalhado no Capítulo 7 deste documento.

Figura 5.26: Esquema de rotina de agregação horária – Situação B



6 IDENTIFICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DOS TEMPOS DE VIAGEM

Conforme o método de pesquisa apresentado no Capítulo 3 deste documento, a segunda etapa de realização deste trabalho, indicado na Figura 3.1, compreendeu na análise das distribuições do tempo de viagem. Essa análise foi constituída em três ações; a primeira foi detalhada no capítulo anterior (capítulo cinco), a determinação dos períodos de análise; a segunda ação foi a identificação da distribuição dos tempos de viagem; e a última ação é apresentada no próximo capítulo – as métricas de confiabilidade do tempo de viagem (capítulo 7).

Essa segunda ação foi descrita de forma preliminar no item 3.2.2 e é detalhada nesta seção. Assim, tomando-se como referência os últimos trabalhos da literatura em que foi realizada essa atividade de identificação das distribuições teóricas dos tempos de viagem, foram avaliadas as seguintes distribuições de probabilidade: Lognormal, Burr, Weibull e Gamma. Para verificar sua aderência aos conjuntos de dados de tempos de viagem, foi utilizado o teste estatístico de Kolmogorov-Smirnov (K-S). Dessa forma, essas quatro distribuições foram ajustadas aos dados de tempo de viagem observados em campo para cada segmento para diferentes dias da semana (segunda a sexta-feira) e para cada período de análise definido no Capítulo 5. Por exemplo, a Figura 6.27 ilustra diferentes modelos ajustados para a densidade de probabilidade e a função distribuição acumulada para os dados de tempo de viagem observados no Trecho 1 – faixa horaria de 00 h - 05 h para o sentido Bairro-Centro.

Figura 6.27: Gráfico – Densidade de probabilidade– 00 h - 05 h – Segunda-Feira– sentido Bairro-Centro – trecho 1. Fonte: Elaborado pelo autor

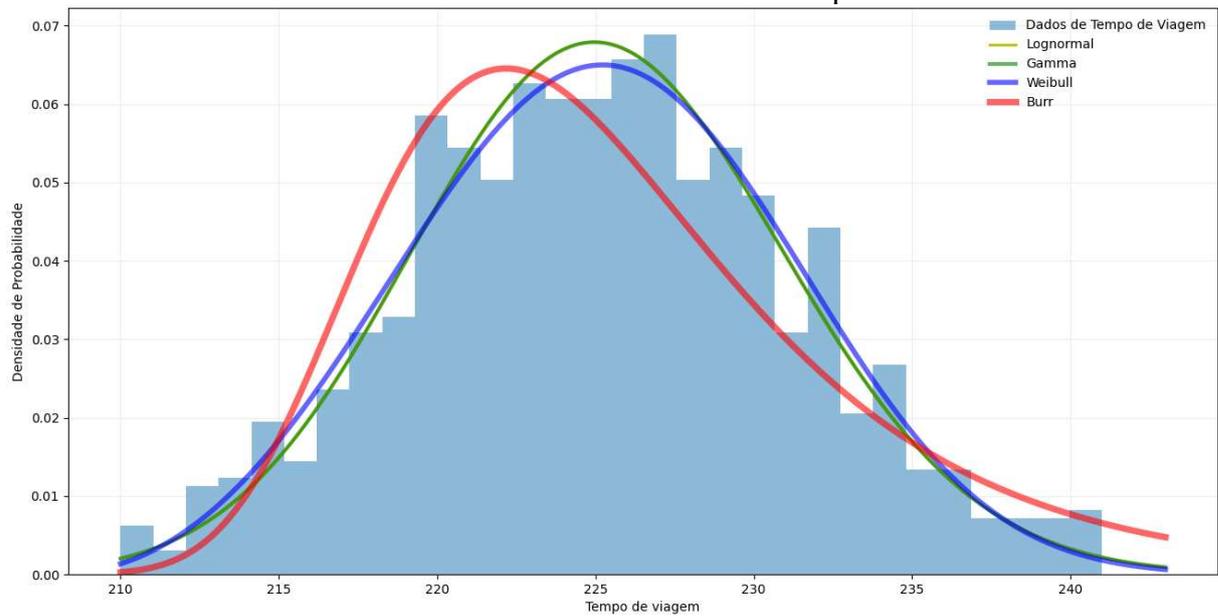
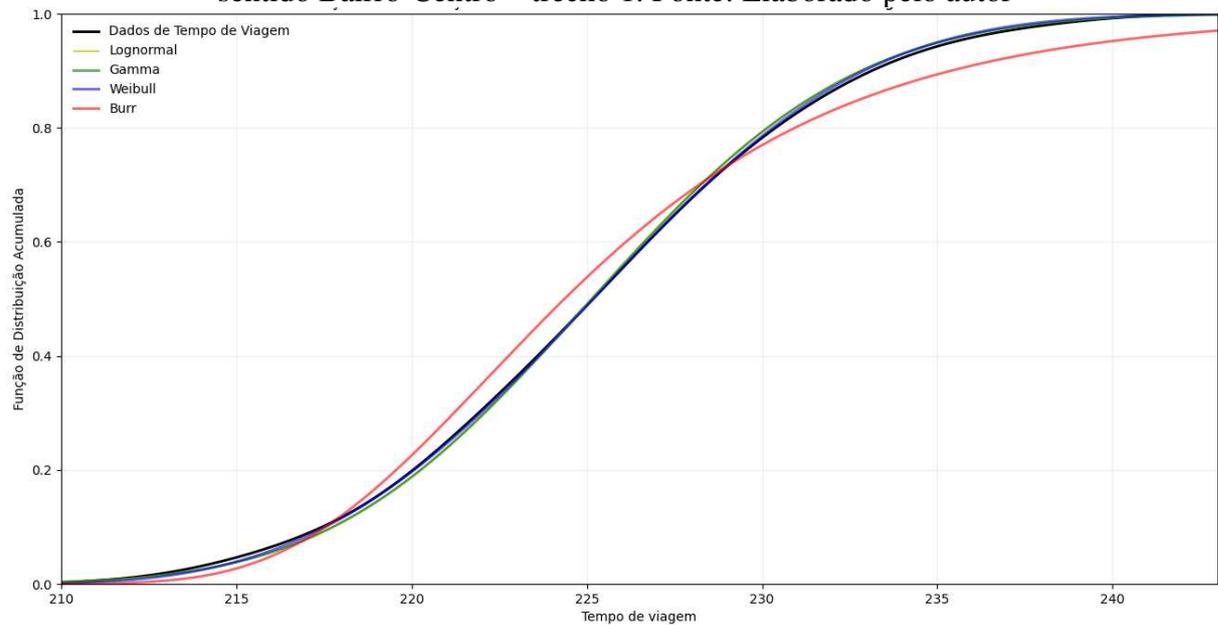


Figura 6.28: Gráfico – Função de distribuição Acumulada – 00 h - 05 h – Segunda-Feira– sentido Bairro-Centro – trecho 1. Fonte: Elaborado pelo autor



Observando-se as curvas em vermelho da Figura 6.27 e da Figura 6.28, percebe-se que a Distribuição Burr não se adequa bem aos dados empíricos. A Tabela C. 1, a Tabela C. 2 e a Tabela C. 3, apresentadas no Apêndice C, ilustram os resultados do teste de aderência das distribuições Lognormal, Gamma, Weibull e Burr aos dados de tempo de viagem, quanto a aceitação ou não, levando em consideração as diferentes faixas horárias e os dias da semana.

A Tabela 6.4 e a Tabela 6.5 apontam um resumo da aderência às distribuições teóricas realizado a partir das tabelas do Apêndice C. Essas tabelas indicam a contabilização do número de rejeições de aderência, considerando de segunda-feira a sexta-feira e os trechos 1, 2 e 3, discriminadas por faixa horária, distribuição teórica e sentido.

Tabela 6.4: Resumo da rejeição dos testes de aderência das distribuições por faixa horária – Trechos 1, 2 e 3 – Sentido bairro-centro.

Faixa Horária	Lognormal	Gamma	Weibull	Burr
00h-05h	9	10	0	15
05h-06h	0	0	0	3
06h-07h	1	1	2	3
07h-08h	0	0	1	4
08h-09h	1	1	3	0
09h-10h	1	4	4	1
10h-11h	0	0	3	0
11h-18h	6	15	9	14
18h-19h	0	0	3	0
19h-20h	0	0	0	0
20h-23h	0	0	0	0
Total	18	31	25	40

Tabela 6.5: Resumo da rejeição dos testes de aderência das distribuições por faixa horária – Trechos 1, 2 e 3 – Sentido centro-bairro.

Faixa Horária	Lognormal	Gamma	Weibull	Burr
00h-14h	15	15	0	15
14h-15h	1	1	1	1
15h-16h	0	1	4	0
16h-17h	0	0	1	2
17h-18h	0	0	5	0
18h-19h	1	1	2	3
19h-20h	4	5	2	7
20h-21h	2	2	1	0
21h-22h	1	1	2	2

Faixa Horária	Lognormal	Gamma	Weibull	Burr
22h-23h	3	1	0	12
23h-00h	0	0	0	0
Total	27	27	18	42

De forma geral, para o sentido bairro-centro – considerando de segunda-feira a sexta-feira, as diferentes faixas horárias e os trechos 1, 2 e 3 – a distribuição Lognormal teve sua aderência aos dados de tempo de viagem rejeitada 18 vezes. Por sua vez, a distribuição Gamma foi rejeitada 31 vezes, a distribuição Weibull 25 vezes e a distribuição Burr 40 vezes. Para o sentido centro-bairro, a distribuição Lognormal foi rejeitada 28 vezes, a distribuição Gamma 28 vezes, a distribuição Weibull 18 vezes e a distribuição Burr 42 vezes. Verifica-se que não há uma distribuição unanime dentre as diferentes faixas horárias, para ambos os sentidos. Portanto, infere-se que cada faixa horária apresentará sua distribuição particular.

A Tabela 6.6 e a Tabela 6.7 apontam um resumo da aderência às distribuições teóricas realizado a partir das tabelas do Apêndice D. Essas tabelas indicam a contabilização do número de rejeições de aderência, considerando de segunda-feira a sexta-feira para o trecho 4, discriminadas por faixa horária, distribuição teórica e sentido.

Tabela 6.6: Resumo da rejeição dos testes de aderência das distribuições por faixa horária – Trecho 4 – Sentido oeste-leste.

Faixa Horária	Lognormal	Gamma	Weibull	Burr
00h-02h	0	0	0	0
02h-03h	0	0	0	0
03h-04h	0	0	0	0
07h-08h	0	0	0	0
08h-09h	0	0	0	0
09h-10h	0	0	0	0
10h-12h	0	0	0	0
14h-15h	0	0	0	0
16h-17h	0	0	0	0
18h-19h	0	0	0	0
20h-21h	0	0	0	0

Faixa Horária	Lognormal	Gamma	Weibull	Burr
21h-22h	0	0	0	0
23h-00h	0	0	0	0
06h-07h	0	0	0	1
15h-16h	0	0	0	2
22h-23h	0	0	0	2
04h-05h	0	0	1	0
13h-14h	0	0	1	0
05h-06h	0	0	2	0
17h-18h	0	1	0	1
19h-20h	1	1	1	0
Total	1	2	5	6

Tabela 6.7: Resumo da rejeição dos testes de aderência das distribuições por faixa horária – Trecho 4 – Sentido Leste-Oeste.

Faixa Horária	Lognormal	Gamma	Weibull	Burr
00h-03h	0	0	0	0
03h-04h	0	0	0	0
04h-05h	0	0	2	0
05h-06h	0	0	0	1
06h-07h	0	0	0	0
07h-08h	0	0	0	2
08h-09h	0	1	2	0
09h-11h	0	0	0	0
12h-13h	0	0	0	0
13h-14h	0	0	0	1
14h-15h	0	0	0	3
15h-16h	0	0	0	2
16h-17h	0	0	0	0
17h-18h	0	0	0	1
18h-19h	1	1	0	3
19h-20h	0	0	0	1
20h-21h	0	0	0	0
21h-22h	0	0	1	1

Faixa Horária	Lognormal	Gamma	Weibull	Burr
22h-23h	0	0	0	0
23h-00h	0	0	0	0
Total	1	2	5	15

De maneira geral, para o sentido Oeste-Leste, considerando o trecho 4, a distribuição Lognormal foi rejeitada uma vez, enquanto a distribuição Gamma foi rejeitada duas vezes, a distribuição Weibull 5 vezes e a distribuição Burr 6 vezes. Para o sentido Leste-Oeste, a distribuição Lognormal foi rejeitada 1 vez, enquanto a distribuição Gamma apenas uma 1 vez; a distribuição Weibull foi rejeitada 5 vezes e a distribuição Burr 15 vezes.

Constata-se que a distribuição Lognormal foi a que mais se aderiu aos dados de tempo de viagem para ambos os sentidos do trecho 4. Portanto, essa distribuição foi adotada para representar os dados de tempo de viagem desse trecho.

Tendo em vista as informações supracitadas, definiu-se, para identificação da distribuição que melhor se ajusta aos dados de tempo de viagem dos trechos 1, 2 e 3, por faixa horária de análise e por sentido, os seguintes critérios, na ordem: (1) o menor número de rejeições de ajustamentos aos dados e (2) a menor rejeição dentre todas as faixas horárias (exemplo: a Lognormal é a distribuição menos rejeitada no sentido bairro centro, considerando os trechos 1, 2 e 3). Para o trecho 4, conforme já mencionado anteriormente, a distribuição Lognormal foi a mais adequada para todas as faixas horárias e ambos os sentidos.

Com base nesses critérios, a Tabela 6.8 e a Tabela 6.9 ilustram as distribuições identificadas como mais adequadas para cada caso, ou seja, por faixa horária e por sentido de tráfego. Assim, essas distribuições teóricas são as que melhor representam os dados de tempo de viagem e foram utilizadas para calcular as métricas de confiabilidade e, posteriormente, compará-las às métricas obtidas diretamente dos dados empíricos, conforme apresentado no Capítulo 7.

Tabela 6.8: Distribuições por faixa horária – Trechos 1, 2 e 3.

Faixa Horária	Bairro - Centro	Faixa Horária	Centro-Bairro
00h-05h	Weibull	00h-14h	Weibull
05h-06h	Lognormal	14h-15h	Weibull

Faixa Horária	Bairro - Centro	Faixa Horária	Centro-Bairro
06h-07h	Lognormal	15h-16h	Lognormal
07h-08h	Lognormal	16h-17h	Lognormal
08h-09h	Burr	17h-18h	Lognormal
09h-10h	Lognormal	18h-19h	Lognormal
10h-11h	Lognormal	19h-20h	Weibull
11h-18h	Lognormal	20h-21h	Burr
18h-19h	Lognormal	21h-22h	Lognormal
19h-20h	Lognormal	22h-23h	Weibull
20h-23h	Lognormal	23h-00h	Weibull
23h-00h	Lognormal		

Tabela 6.9: Distribuições por faixa horária – Trecho 4.

Faixa Horária	Oeste - Leste	Faixa Horária	Leste-Oeste
00h-02h	Lognormal	00h-03h	Lognormal
03h-04h	Lognormal	04h-05h	Lognormal
04h-05h	Lognormal	05h-06h	Lognormal
05h-06h	Lognormal	06h-07h	Lognormal
06h-07h	Lognormal	07h-08h	Lognormal
07h-08h	Lognormal	08h-09h	Lognormal
08h-09h	Lognormal	09h-11h	Lognormal
09h-10h	Lognormal	12h-13h	Lognormal
10h-12h	Lognormal	13h-14h	Lognormal
13h-14h	Lognormal	14h-15h	Lognormal
14h-15h	Lognormal	15h-16h	Lognormal
15h-16h	Lognormal	16h-17h	Lognormal
16h-17h	Lognormal	17h-18h	Lognormal
17h-18h	Lognormal	18h-19h	Lognormal
18h-19h	Lognormal	19h-20h	Lognormal
19h-20h	Lognormal	20h-21h	Lognormal
20h-21h	Lognormal	21h-22h	Lognormal
21h-22h	Lognormal	22h-23h	Lognormal
22h-23h	Lognormal	23h-00h	Lognormal
23h-00h	Lognormal		

7 MÉTRICAS DE CONFIABILIDADE DO TEMPO DE VIAGEM

O cálculo das métricas de confiabilidade do tempo de viagem compreendeu a última ação da segunda etapa desta pesquisa, conforme indicado na Figura 3.1. Conforme mencionado no capítulo 2, diversos estudos de confiabilidade do tempo de viagem obtiveram distribuições de tempo de viagem a partir de dados empíricos e, posteriormente, calcularam as métricas da confiabilidade do tempo de viagem, a partir dessas distribuições e dos dados empíricos.

Aron et al. (2014) compararam seis distribuições de probabilidade usadas para modelar o tempo de viagem: Lognormal, Gamma, Burr, Weibull, Normal Mixture (uma mistura de duas distribuições normais) e Gamma Mixture (uma mistura de duas distribuições Gamma), considerando os resultados de média, desvio padrão e percentis dentre as distribuições e os dados empíricos, bem como os resultados das métricas de confiabilidade do tempo de viagem (*Buffer index, Planning Time Index, skew e width of travel time distribution*).

Assim, entendeu-se que seria interessante obter a média e desvio padrão, bem como os percentis, das distribuições aderidas aos conjuntos de dados, pois o tempo de viagem é uma variável aleatória contínua e pode ser representada pelas distribuições Lognormal, Weibull e Burr. Dessa forma, cada uma dessas distribuições apresenta média e desvio padrão que representam os conjuntos de dados calculados em função dos parâmetros de forma, escala e localização de suas respectivas funções de densidade de probabilidade. Fundamentando-se nisso, foram calculadas a média, o desvio padrão e os percentis 95, 90, 50 e 10 para os dados empíricos e para as distribuições Lognormal, Weibull e Burr – segundo sua faixa horária. Essas informações podem ser encontradas no Apêndice D.

Diante do exposto, a seguir são apresentados os resultados do cálculo das métricas de confiabilidade do tempo de viagem a partir das distribuições do tempo de viagem, conforme delineado nos itens 2.2 para as três métricas mais em uso na literatura, que são: desvio padrão, *95th percentile TTI* ou *planning time index (PTI)* e *Buffer Index*. Os resultados dessas métricas calculadas (percentis, média e desvio padrão dos dados empíricos) são apresentados no Apêndice A.

7.1 Desvio padrão

Os desvios padrão por faixa horária para cada trecho viário de segunda-feira a sexta-feira são apresentados entre a Figura 7.29 e a Figura 7.36. Observam-se que os períodos com elevada dispersão da média de tempo de viagem em relação as demais para os trechos viários 1 e 2 no sentido Bairro/Centro são entre 6 h até as 10 h; já no sentido contrário, é o período compreendido das entre 16 h e 20 h.

Nota-se que entre os horários de 8 h e 9 h no trecho 1, no sentido bairro centro, a terça-feira apresenta a maior dispersão do tempo de viagem. Já para o trecho 2, no mesmo sentido, e para as mesmas faixas horárias, a quinta-feira apresenta a maior dispersão do tempo de viagem. Verifica-se que entre os horários de 18 h até as 19 h no trecho 1, no sentido centro-bairro, a sexta-feira apresenta a maior dispersão do tempo de viagem. Enquanto para o trecho 2, no mesmo sentido, e para as mesmas faixas horárias, a quarta-feira apresenta a maior dispersão do tempo de viagem.

Figura 7.29: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – Desvio Padrão – Sentido Bairro/Centro – Distribuição teórica

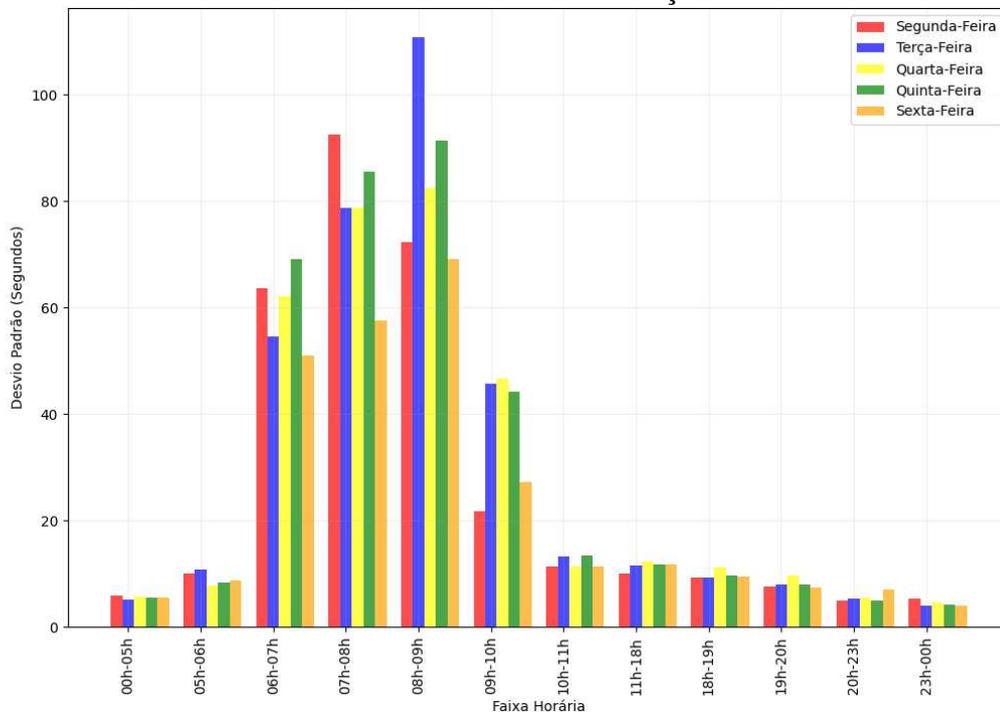


Figura 7.30: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – Desvio Padrão – Sentido Centro/Bairro – Distribuição teórica

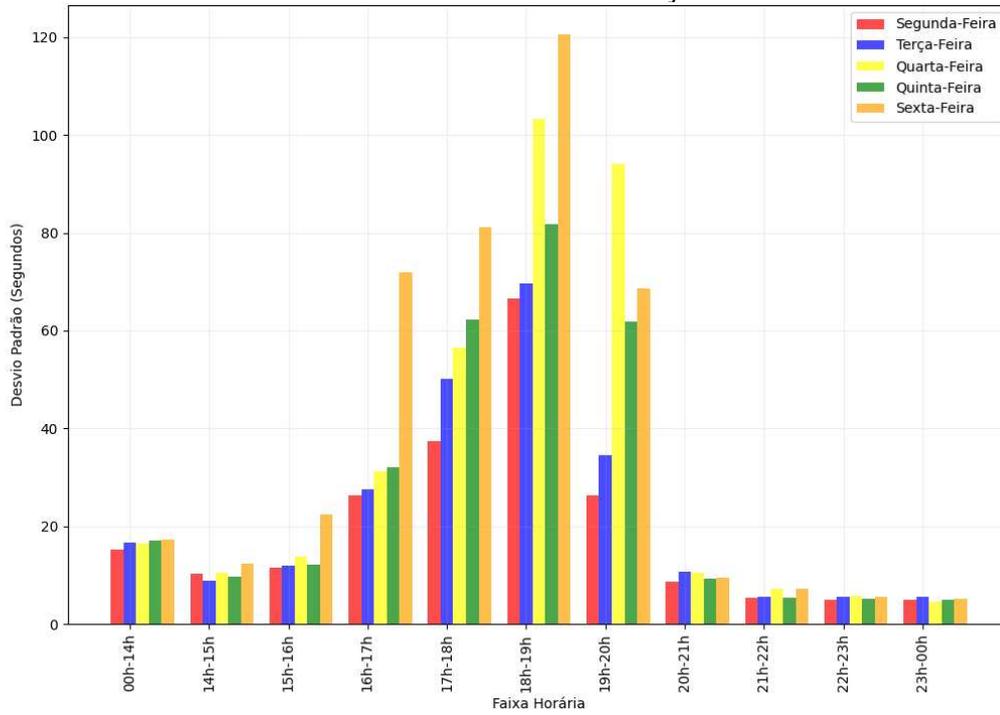


Figura 7.31: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado – Desvio Padrão – Sentido Bairro/Centro – Distribuição teórica

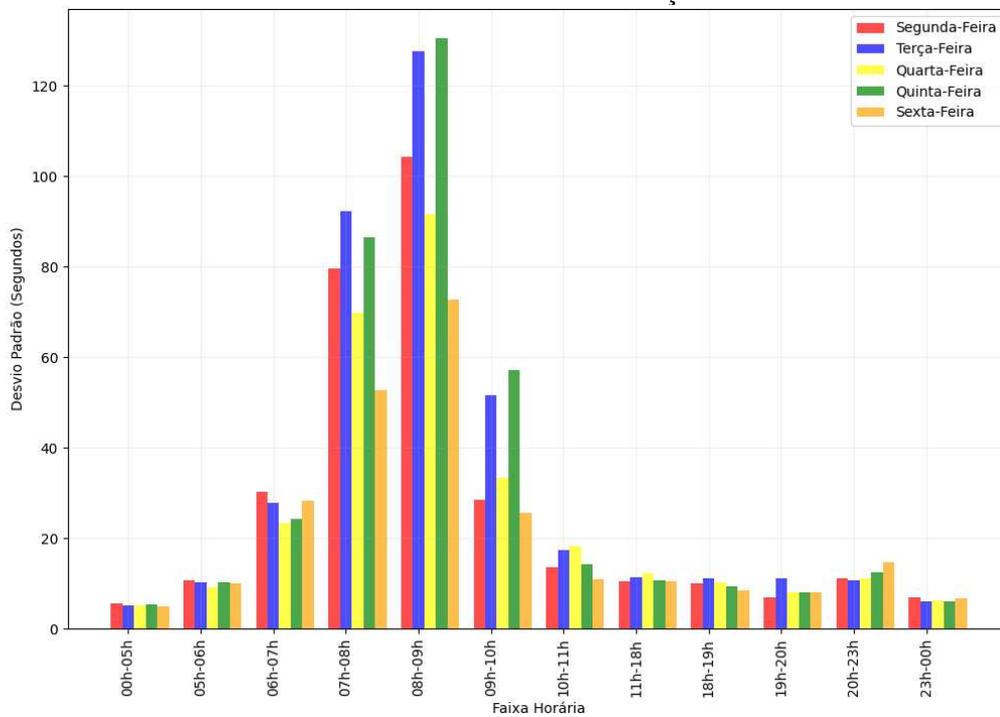
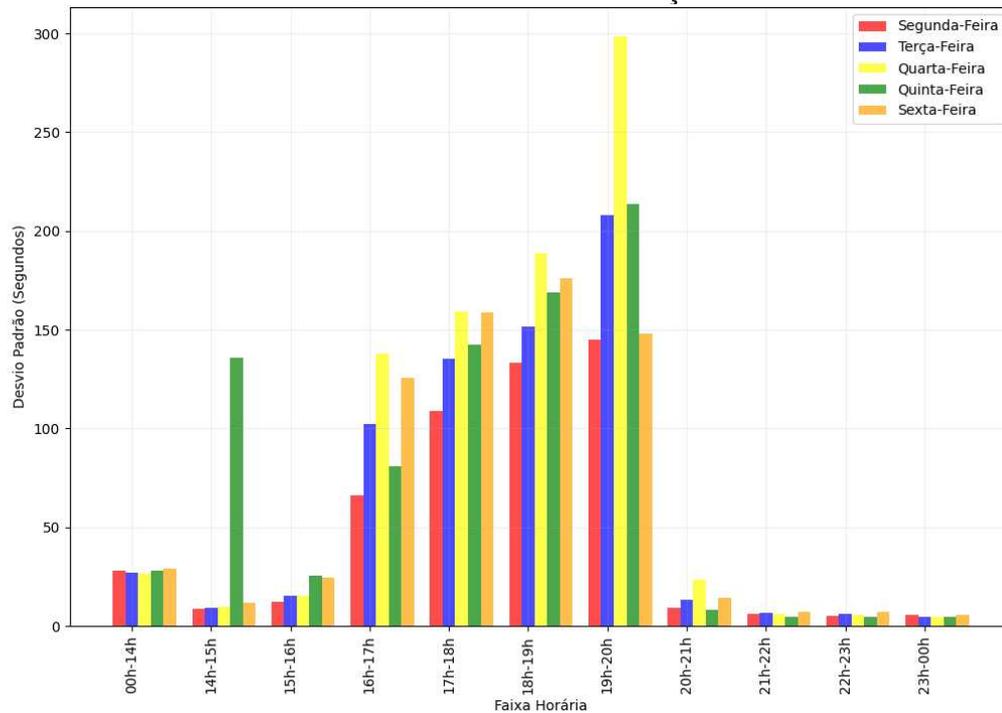


Figura 7.32: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado – Desvio Padrão – Sentido Centro/Bairro – Distribuição teórica



O trecho viário 3 na faixa horária entre 6 h e 8 h é a que apresenta a mais elevada dispersão dos tempos de viagem em relação às demais faixas horárias, no sentido Bairro/Centro; já no sentido contrário, os maiores desvios padrões ocorreram nos períodos entre 0 h e 14 h e entre 16 h até 20 h. Nota-se que entre os horários de 6 h até as 8 h no trecho 3, no sentido bairro centro, a segunda-feira apresenta a maior dispersão do tempo de viagem; para o sentido contrário, e nos períodos das 0 h até as 14 h e das 16 h até as 20 h, a sexta-feira apresenta a maior dispersão do tempo de viagem.

Figura 7.33: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – Desvio Padrão – Sentido Bairro/Centro – Distribuição teórica

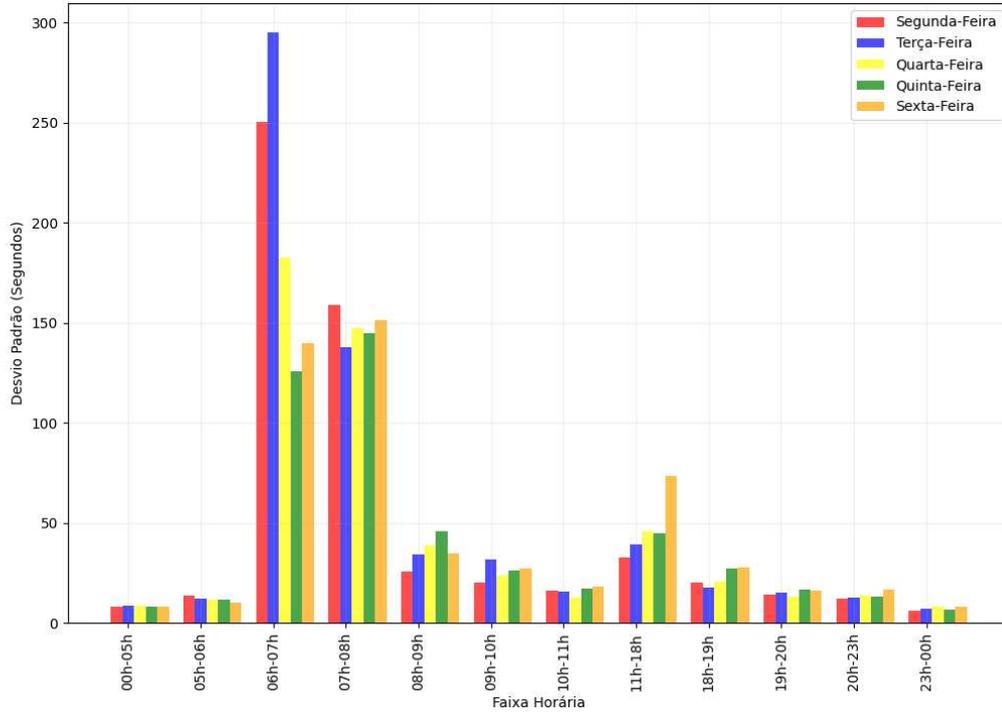
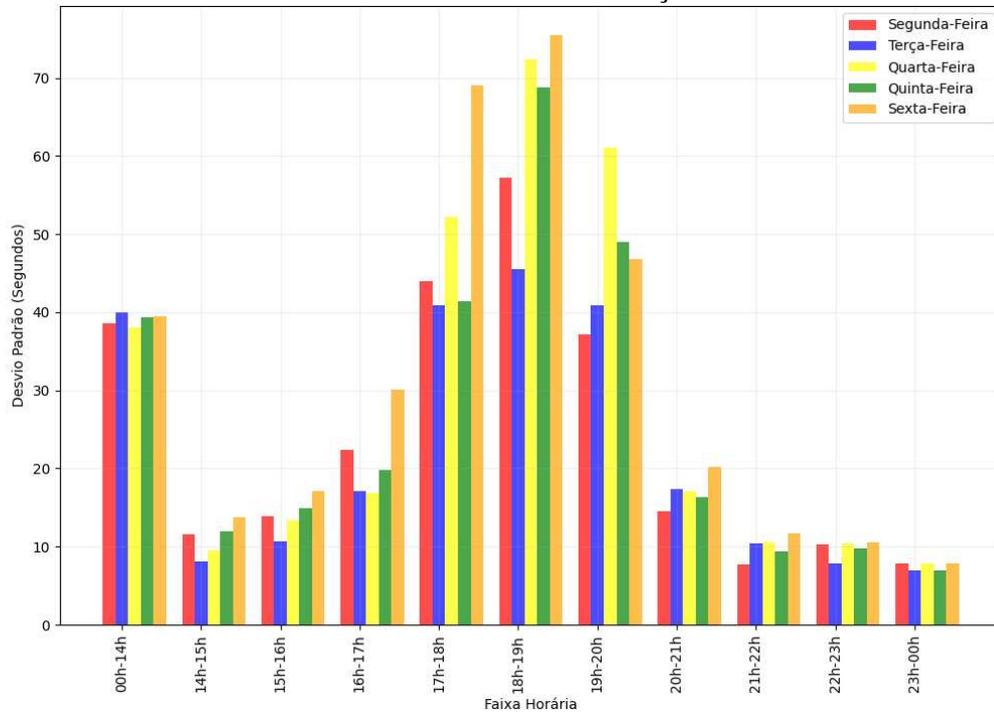


Figura 7.34: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – Desvio Padrão – Sentido Centro/Bairro – Distribuição teórica



No trecho viário 4, vale ressaltar os períodos com elevada dispersão de tempo de viagem em relação aos demais, que é das 4 h até 6 h no sentido Leste/Oeste e das 18 h até 21 h, sentido Oeste/Leste. A quarta-feira, para ambos os sentidos e essas faixas horárias, apresentou a maior dispersão dos dados de tempo de viagem em relação aos demais dias da semana.

Figura 7.35: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – Desvio Padrão – Sentido Leste/Oeste – Distribuição teórica

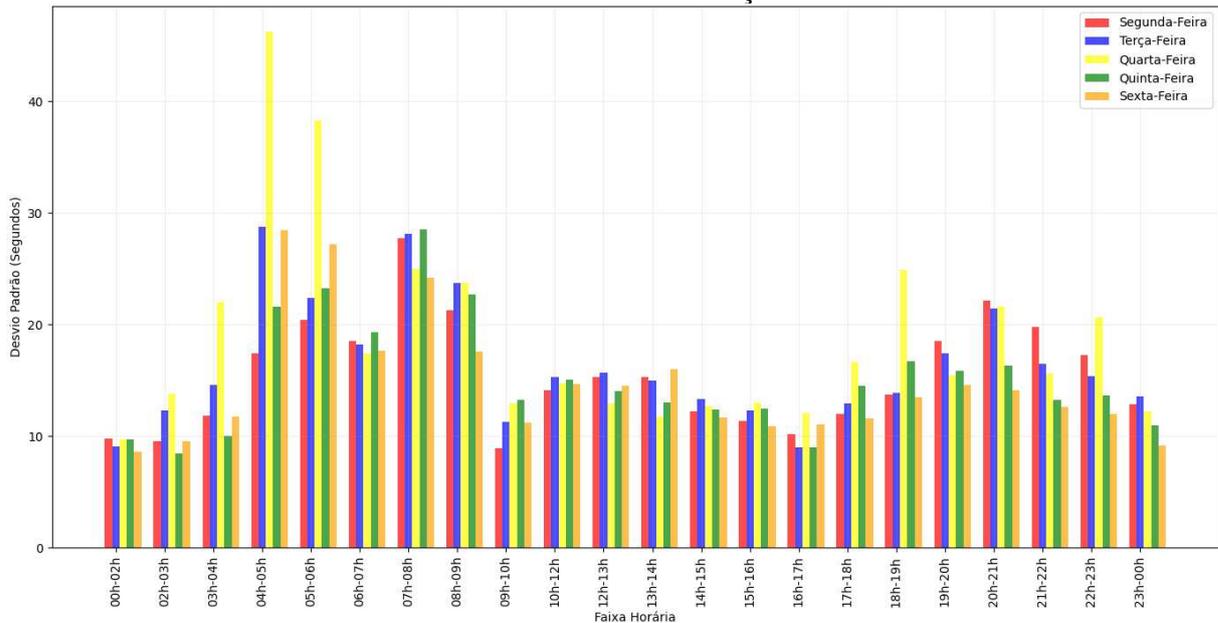
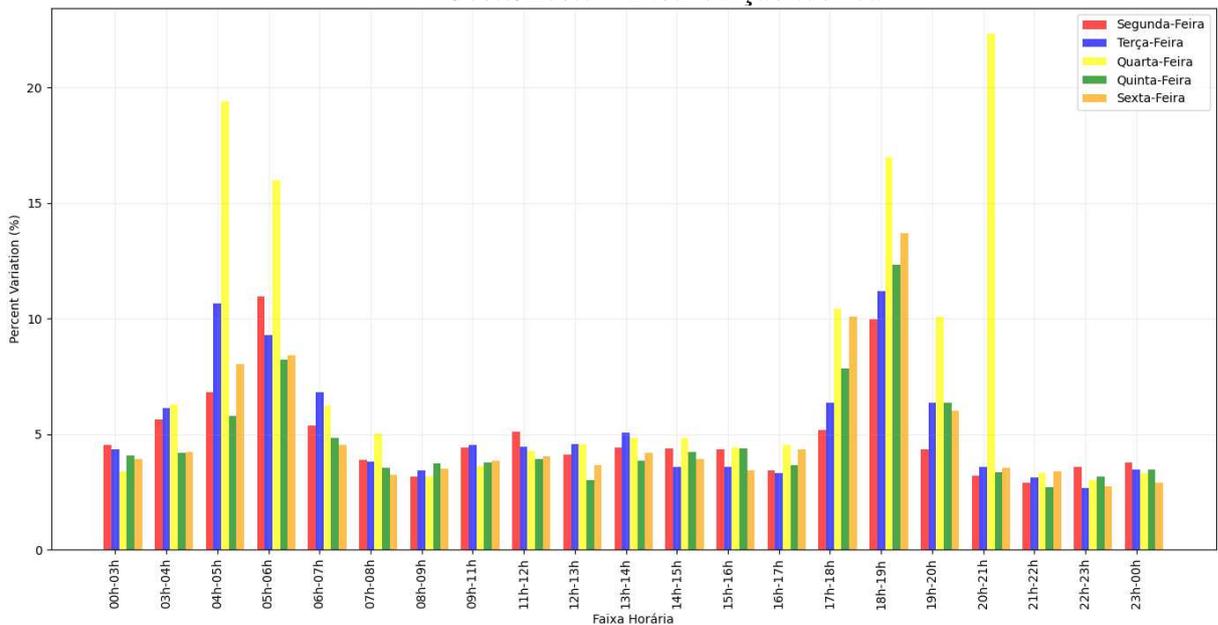


Figura 7.36: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – Desvio Padrão – Sentido Oeste/Leste – Distribuição teórica



7.2 95th percentile TTI ou planning time index (PTI)

O *planning time index (PTI)* é a razão do percentil 95 de uma amostra de tempos de viagem pelo tempo de viagem em condições de fluxo livre (FHWA, 2006; TRB, 2022), conforme a equação (2.13). Expressa o tempo extra que um viajante deve reservar além do tempo de viagem de fluxo livre para chegar no horário planejado em, ao menos, 95% das vezes.

Os resultados para o *PTI* são apresentados entre a Figura 7.37 e Figura 7.44. Verifica-se que há períodos com *PTI* entre 2,5 e 3,5, o que significa que a chance do viajante experimentar um tempo de viagem extra para chegar no horário em 95% das ocasiões entre 2,5 e 3,5 vezes maior em relação ao normal. Isso ocorreu para os trechos viários 1 e 2, no sentido Bairro/Centro, das 6 h até 10 h, em geral. No sentido contrário, é o período compreendido entre 16 h e 20 h.

Em relação aos dias da semana com maior destaque, nota-se que entre os horários de 6 h até 8 h no trecho 1, no sentido bairro centro, a segunda-feira apresenta a maior *PTI*. Já para o trecho 2, no mesmo sentido, e para as mesmas faixas horárias, a terça-feira apresenta a maior *PTI*. Isso implica ao usuário, em condições normais, que apresenta uma viagem de 4 minutos nestes trechos, considerando o período de análise de 8h até as 9 h, reservar pelo menos 9,2 minutos a mais para realizar esse mesmo deslocamento, já que o tempo de viagem total será de 13,20 minutos (*PTI* de 3,3) isso para o trecho viário 1 durante as segundas-feiras. Já para o trecho viário 2, considerando a mesma viagem hipotética de 4 minutos, o usuário reservaria aproximadamente de 8,8 minutos para antecipar sua viagem durante as terças feiras (*PTI* de 3,2).

Verifica-se que dentre os horários de 16 h até 20 h no trecho 1, no sentido centro-bairro, entre os dias da semana, a sexta-feira apresenta a maior *PTI*. Enquanto para o trecho 2, no mesmo sentido, e para as mesmas faixas horárias, a quarta-feira apresenta a maior *PTI*. Isso implica ao usuário, em condições normais, que apresenta uma viagem de 4 minutos nestes trechos, considerando o período de análise de 18h até as 19 h, reservar pelo menos 10,40 minutos a mais para realizar esse mesmo deslocamento, já que o tempo de viagem total será de 14,40 minutos (*PTI* de 3,6) isso para o trecho viário 1 durante as sextas-feiras no sentido centro-bairro. Já para o trecho viário 2, considerando a mesma viagem hipotética de 4 minutos, o usuário reservaria

aproximadamente de 17,20 minutos para antecipar sua viagem durante as quartas feiras no sentido centro-bairro e período de análise 19 h até as 20 h (PTI de 5,30).

Figura 7.37:: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos –Planning Time Index– Sentido Bairro/Centro – Distribuição teórica

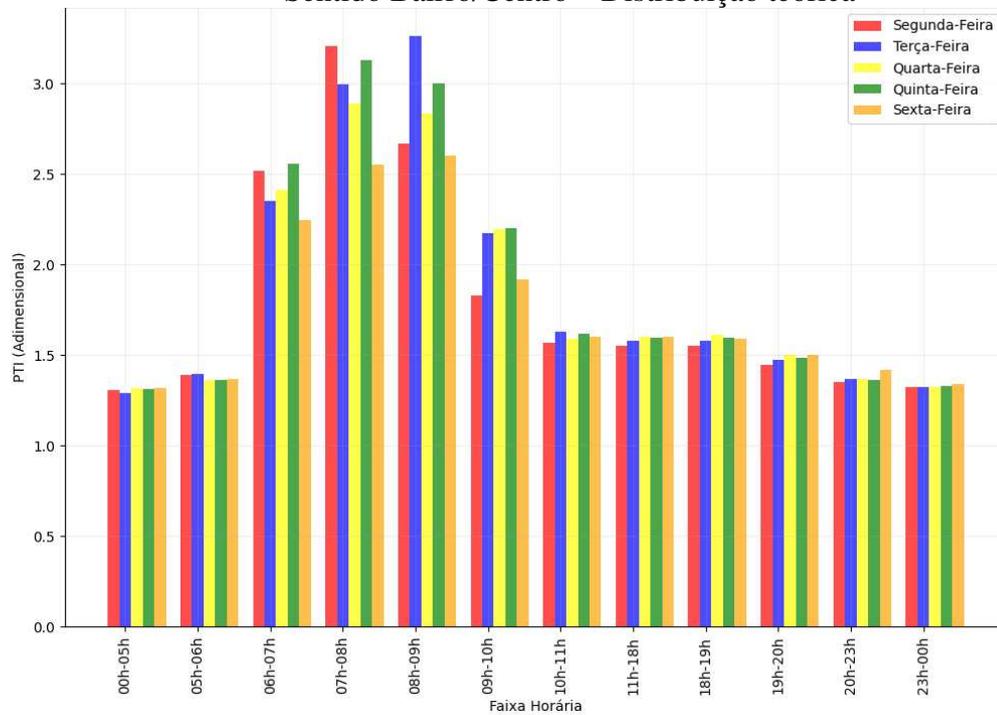


Figura 7.38: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos –Planning Time Index– Sentido Centro/Bairro – Distribuição teórica

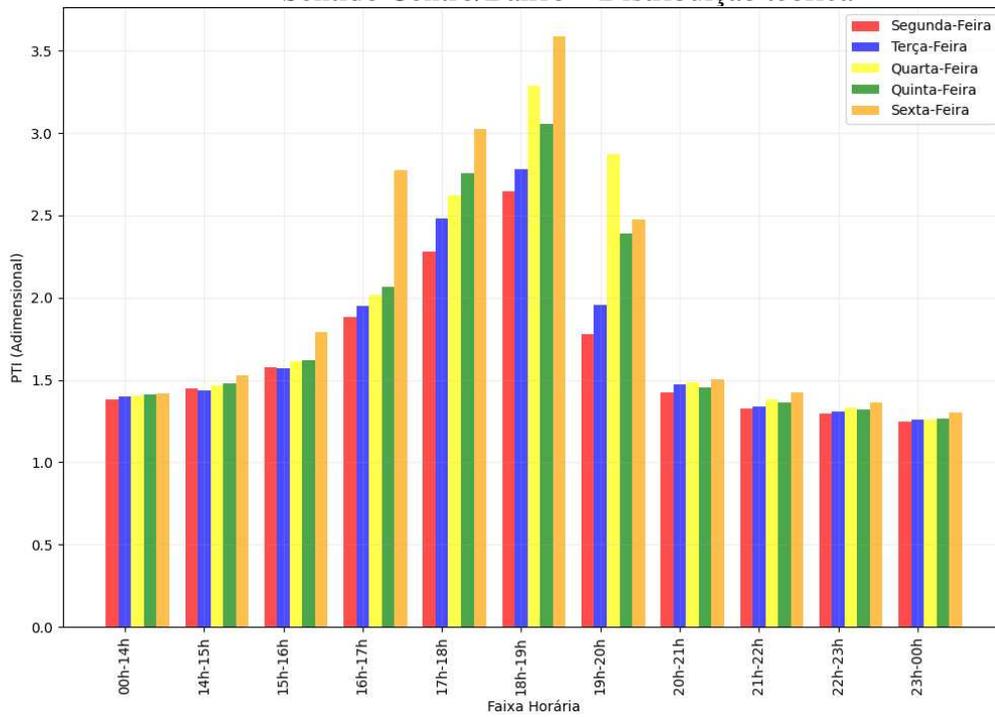


Figura 7.39: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado – Planning Time Index – Sentido Bairro/Centro – Distribuição teórica

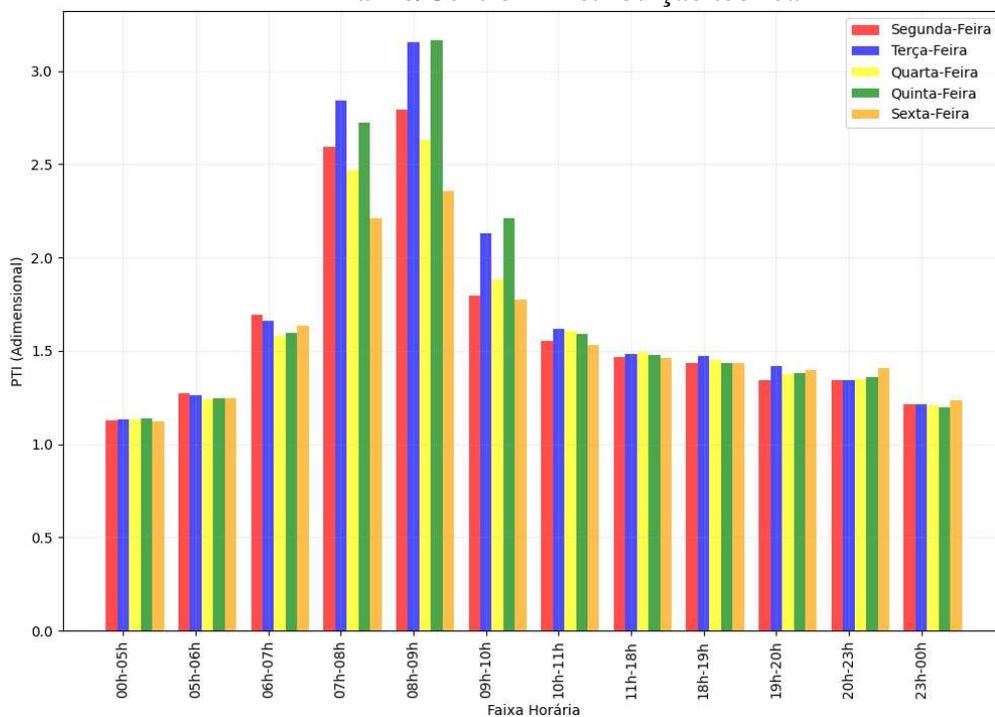
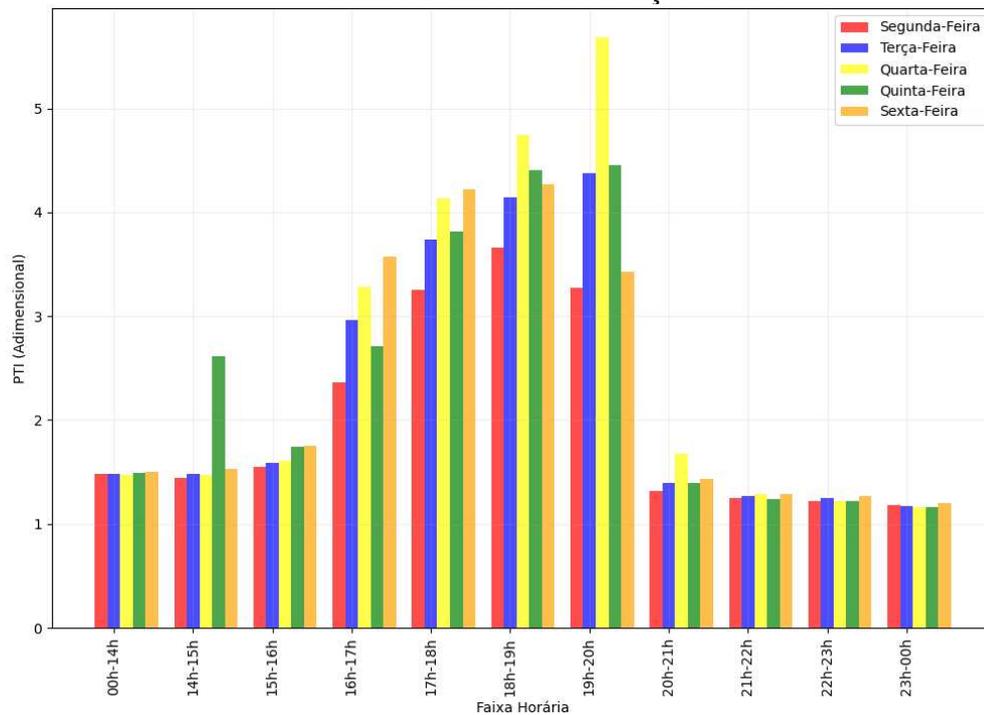


Figura 7.40: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– Planning Time Index– Sentido Centro/Bairro – Distribuição teórica



Para o trecho viário 3, no sentido Bairro/Centro, os maiores *PTIs* ocorrem na faixa horária de 6 h até 8 h, com valores entre 2,0 e 5,0, de segunda-feira a sexta-feira. No sentido contrário, os maiores valores de *PTI* (entre 2,0 e 3,5) foram observados no período entre 16 h e 20 h.

Nota-se que entre os horários de 6 h até 8 h no trecho 3, no sentido bairro centro, a segunda-feira apresenta o maior *PTI*; para o sentido contrário, e nos períodos das 0 h até 14 h e das 16 h até 20 h, a sexta-feira apresenta a maior *PTI*. Isso implica ao usuário, em condições normais, que apresenta uma viagem de 4 minutos, considerando o período de análise de 6 h até as 7 h, reservar pelo menos 17,20 minutos a mais para realizar esse mesmo deslocamento, já que o tempo de viagem total será de 21,20 minutos (*PTI* de 5,0) isso para o trecho viário 3 durante as segundas-feiras no sentido bairro-centro. Já para o sentido contrário, o trecho viário 3, considerando a mesma viagem hipotética de 4 minutos e período de análise, o usuário reservaria aproximadamente de 10,40 minutos para antecipar sua viagem durante as sextas-feiras no sentido centro-bairro (*PTI* de 3,6).

Figura 7.41: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira– Planning Time Index– Sentido Bairro/Centro – Distribuição teórica

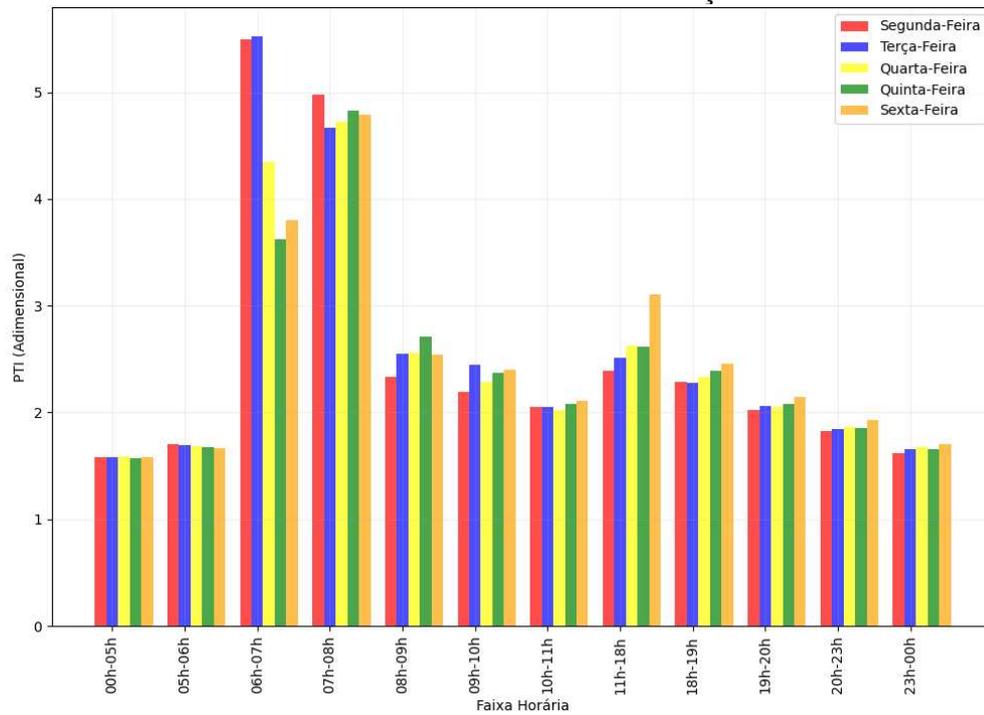
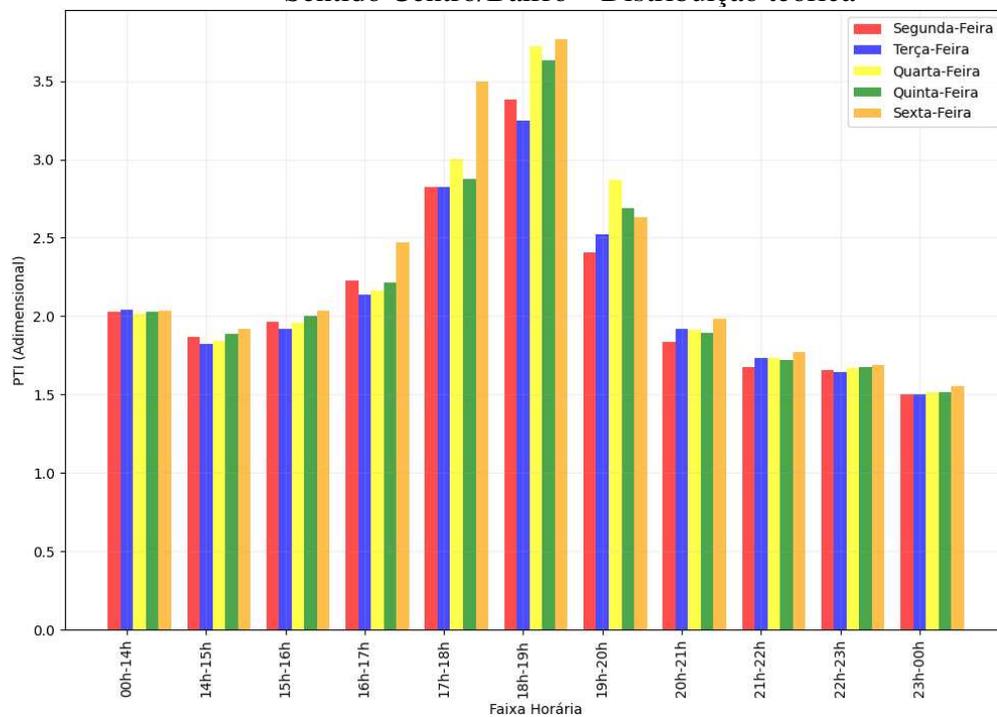


Figura 7.42: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira– Planning Time Index– Sentido Centro/Bairro – Distribuição teórica



O trecho viário 4 apresenta valores de *PTI* entre 1,5 e 2,5 ao longo de todos os dias e faixas horárias, em ambos os sentidos, com exceção dos períodos da madrugada (00 h - 05 h). Cabe destacar que os períodos entre 7 h e 9 h, no sentido Leste-Oeste, e entre 18 h e 19 h, no sentido contrário, apresentaram *PTIs* maiores em relação às demais faixas horárias.

A terça-feira, para o sentido oeste-leste (os períodos entre 7 h e 8 h), apresentou o maior *PTI* em relação aos demais dias da semana. Já no sentido contrário e entre 18 h e 19 h, a quarta-feira apresentou a maior *PTI* em relação aos demais dias da semana. Isso implica ao usuário, em condições normais, que apresenta uma viagem de 4 minutos nestes trechos, considerando o período de análise de 7 h até as 8 h, reservar pelo menos 5,60 minutos a mais para realizar esse mesmo deslocamento, já que o tempo de viagem total será de 9,60 minutos (*PTI* de 2,4) isso para o trecho viário 4 durante as segundas-feiras no sentido oeste-leste. Já para o sentido contrário, o trecho viário 4, considerando a mesma viagem hipotética de 4 minutos e período de análise, o usuário reservaria aproximadamente de 7,20 minutos para antecipar sua viagem durante as quartas feiras (*PTI* de 2,8).

Figura 7.43: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos– Planning Time Index– Sentido Leste/Oeste – Distribuição teórica

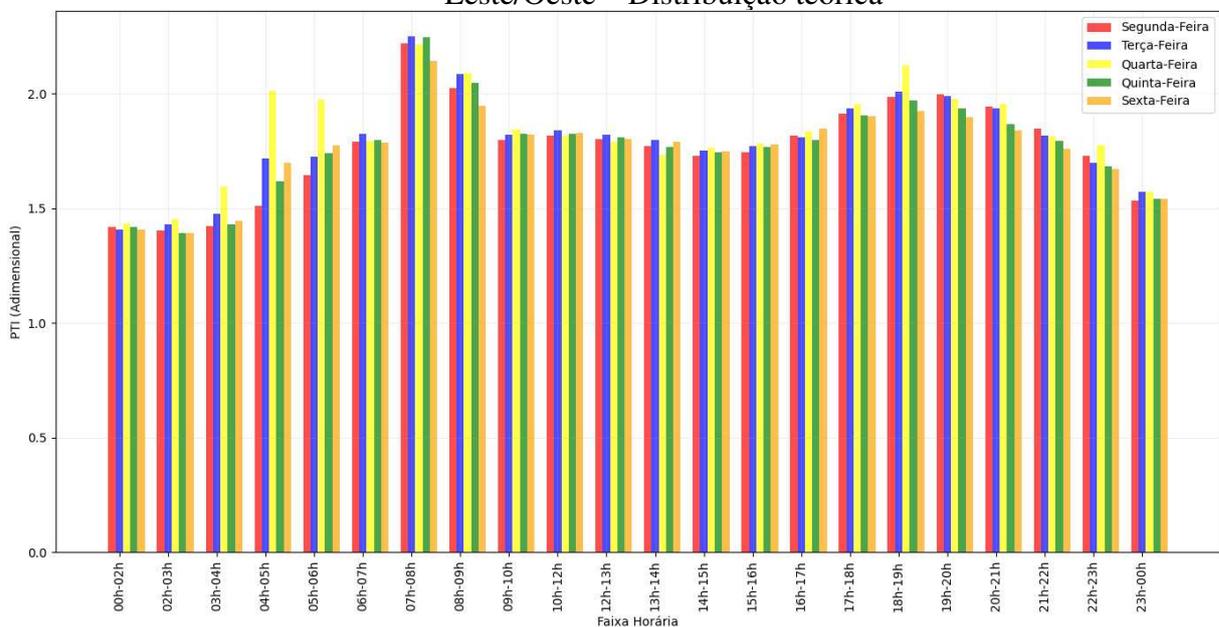
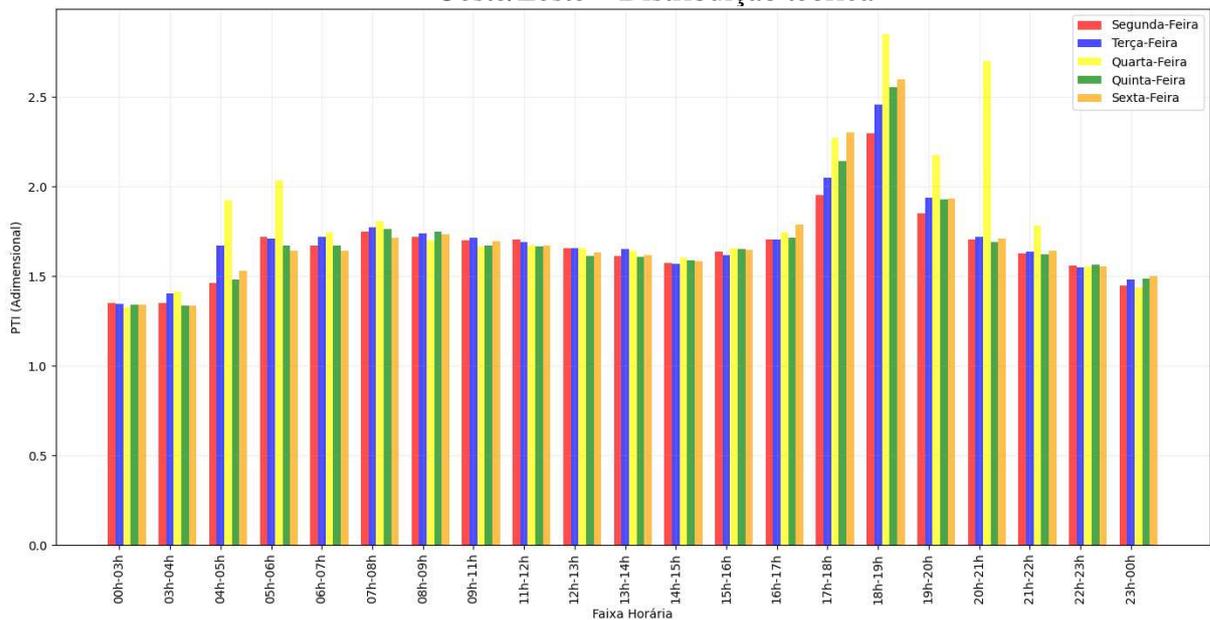


Figura 7.44: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos– Planning Time Index– Sentido Oeste/Leste – Distribuição teórica



7.3 Buffer Index

O tempo de *buffer* é o tempo extra necessário para chegar a tempo no destino, além do médio de tempo de viagem em condições “normais”. O *Buffer Index* é uma medida que expressa o valor extra proporcional ao tempo (ou reserva de tempo) que um viajante deve estimar além do tempo de viagem necessário em condições médias para chegar a tempo em 95% das vezes (FHWA, 2006) expressa pela equação (2.14).

Os resultados para o *Buffer Index* são apresentados entre a Figura 7.45 e a Figura 7.52. Observa-se que há uma tendência similar com as métricas anteriores (desvio padrão e *planning time index*) em relação aos períodos com os índices mais elevados ou tempo de viagem: para os trechos viários 1 e 2, no sentido Bairro/Centro, é de 6 h até 10 h. No sentido contrário, é o período compreendido das 16 h até as 20 h.

Em relação aos dias da semana com maior destaque, nota-se que entre os horários de 8 h até 9 h no trecho 1, no sentido bairro centro, a terça-feira apresenta o maior *Buffer Index*. Já para o trecho 2, no mesmo sentido, e para as mesmas faixas horárias, a segunda-feira apresenta a maior *Buffer Index*. Isso implica ao usuário, em condições normais, que apresenta uma viagem de 4 minutos nestes trechos, considerando o período de análise de 8h até as 9 h, reservar pelo menos

2,2 minutos a mais para realizar esse mesmo deslocamento, já que o tempo de viagem total será de 6,2 minutos (*Buffer Index de 0,55*) isso para o trecho viário 1 durante as terças-feiras. Já para o trecho viário 2, considerando a mesma viagem hipotética de 4 minutos, o usuário reservaria aproximadamente de 2,40 minutos para antecipar sua viagem durante as quintas-feiras (*Buffer Index de 0,6*).

Verifica-se que entre os horários de 19h até as 20h no trecho 1, no sentido centro-bairro, entre os dias da semana, a sexta-feira apresenta a maior *Buffer Index*. Enquanto para o trecho 2, no mesmo sentido, e para as mesmas faixas horárias, a quarta-feira apresenta a maior *Buffer Index*. Isso implica ao usuário, em condições normais, que apresenta uma viagem de 4 minutos nestes trechos, considerando o período de análise de 18 h até as 19 h, reservar pelo menos 2 minutos a mais para realizar esse mesmo deslocamento, já que o tempo de viagem total será de 6 minutos (*Buffer Index de 0,5*) isso para o trecho viário 1 durante as sextas-feiras. Já para o trecho viário 2, considerando a mesma viagem hipotética de 4 minutos, o usuário reservaria aproximadamente de 5,20 minutos para antecipar sua viagem durante as quartas-feiras (*Buffer Index de 1,3*).

Figura 7.45: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – Buffer Index – Sentido Bairro/Centro – Distribuição teórica

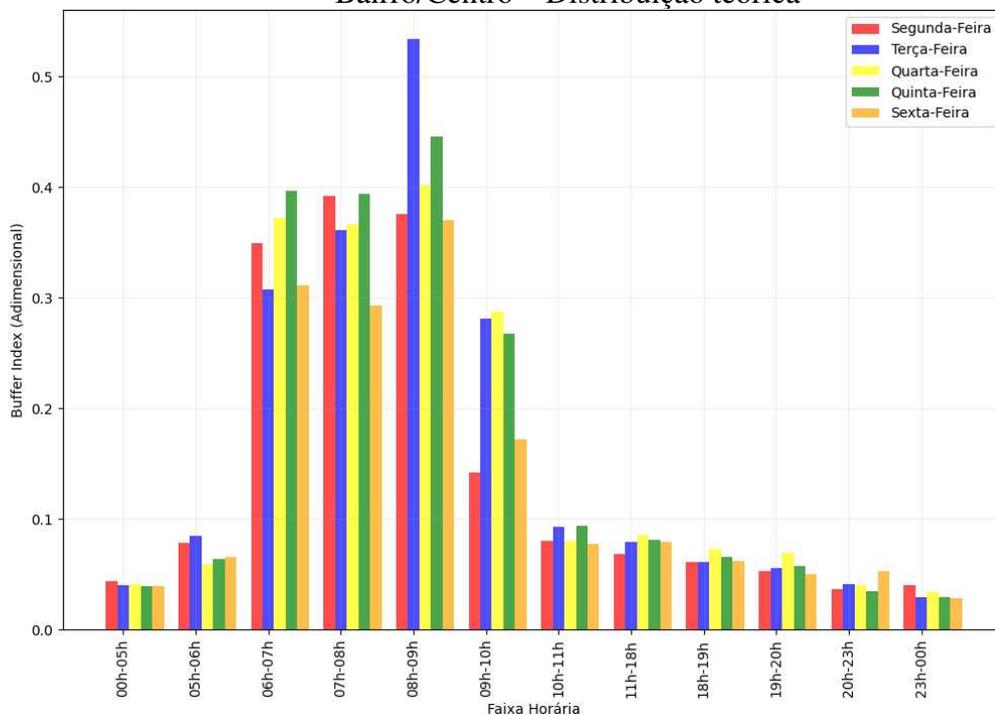


Figura 7.46: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – Buffer Index – Sentido Centro/Bairro – Distribuição teórica

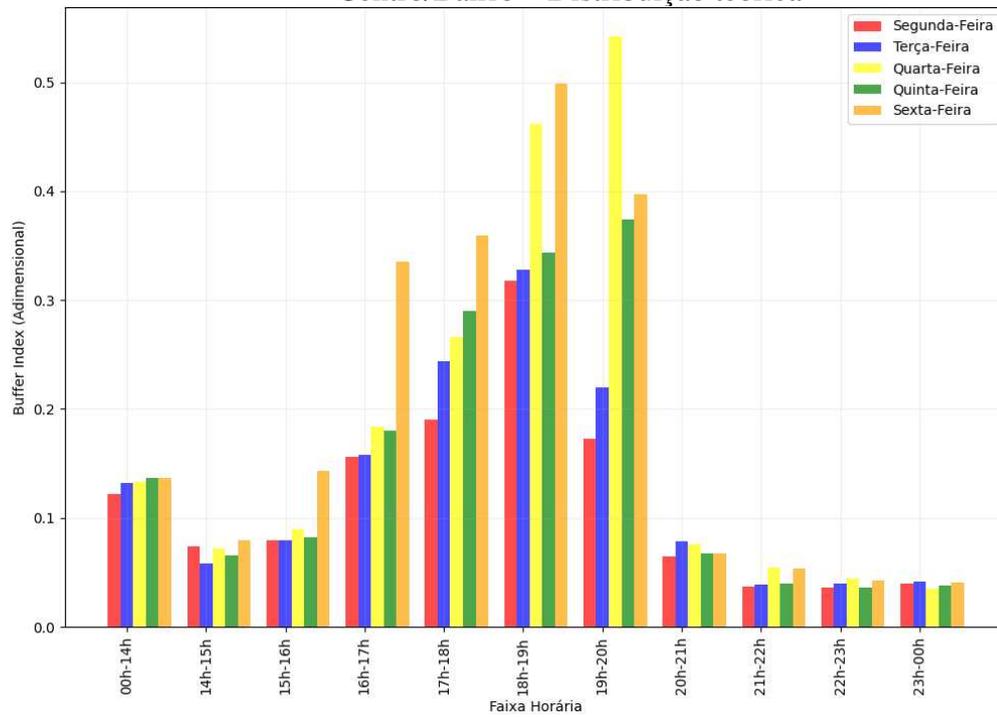


Figura 7.47: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado – Buffer Index – Sentido Bairro/Centro – Distribuição teórica

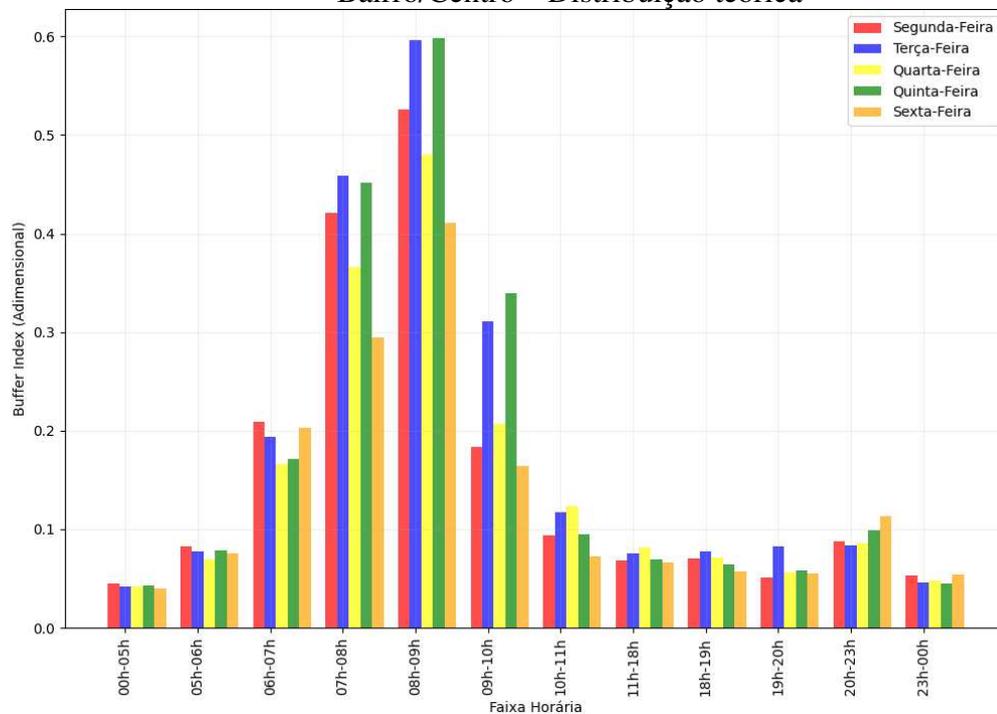
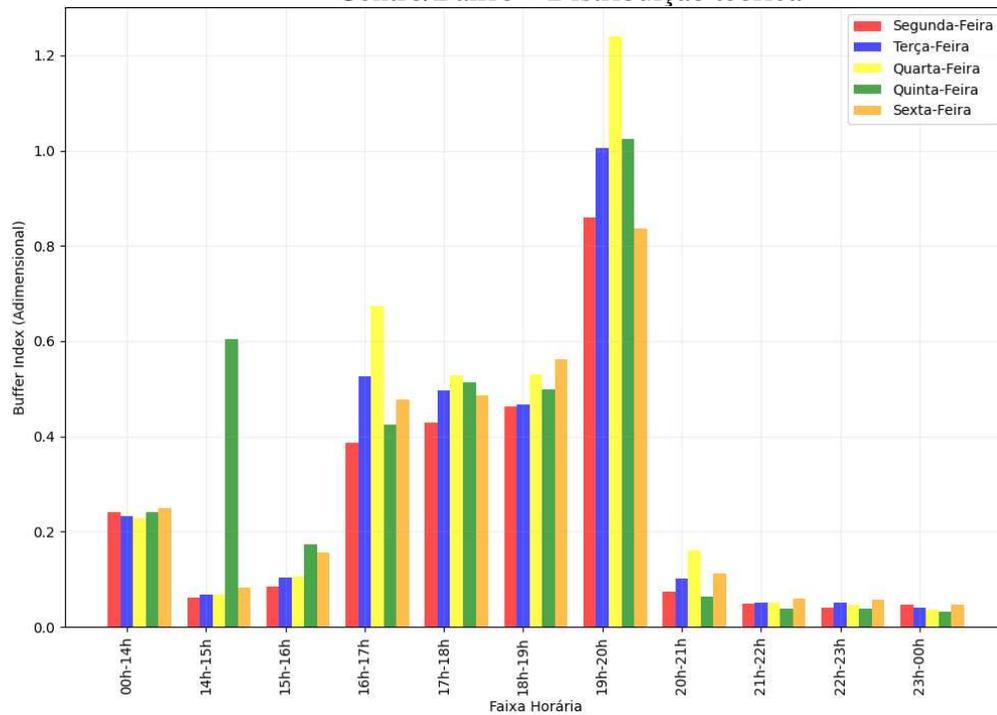


Figura 7.48: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– Buffer Index– Sentido Centro/Bairro – Distribuição teórica



No trecho 3 também se observa que há uma tendência similar às métricas anteriores (média, desvio padrão e *planning time index*) em relação aos períodos com os índices mais elevados ou tempo de viagem. No sentido Bairro/Centro, ocorre das 6 h até 10 h. No sentido contrário, o período com os maiores valores é de 16 h até 20 h – com exceção da faixa horária entre 0 h e 14 h. Nota-se que entre os horários de 6 h até 8 h, no trecho 3, no sentido bairro centro, a terça-feira apresenta o maior *Buffer Index*; para o sentido contrário, é nos períodos entre 0 h até 14 h e de 16 h até 20 h. Isso implica ao usuário, em condições normais, que apresenta uma viagem de 4 minutos, considerando o período de análise de 6 h até as 7 h, reservar pelo menos 4 minutos a mais para realizar esse mesmo deslocamento, já que o tempo de viagem total será de 8 minutos (*Buffer Index de 1,0*) isso para o trecho viário 3 durante as terças-feiras no sentido centro-bairro. Já para o sentido contrário, o trecho viário 3, considerando a mesma viagem hipotética de 4 minutos e período de análise das 18 h às 19 h, o usuário reservaria aproximadamente de 1,3 minutos para antecipar sua viagem durante as quartas-feiras no sentido centro-bairro (*Buffer Index de 0,32*).

Figura 7.49: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – *Buffer Index* – Sentido Bairro/Centro – Distribuição teórica

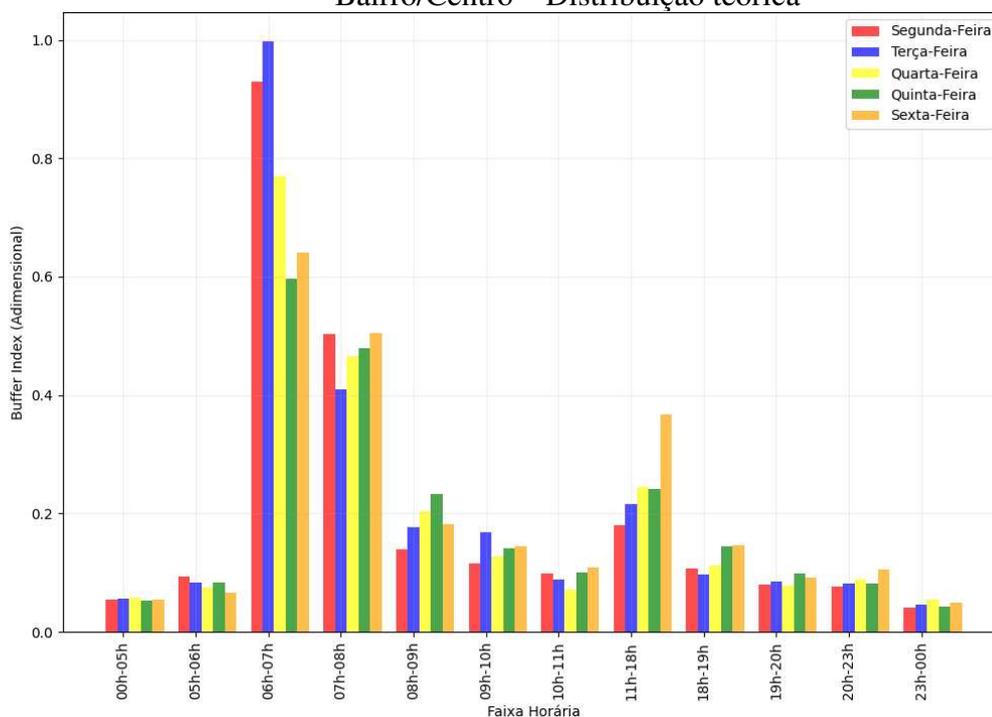
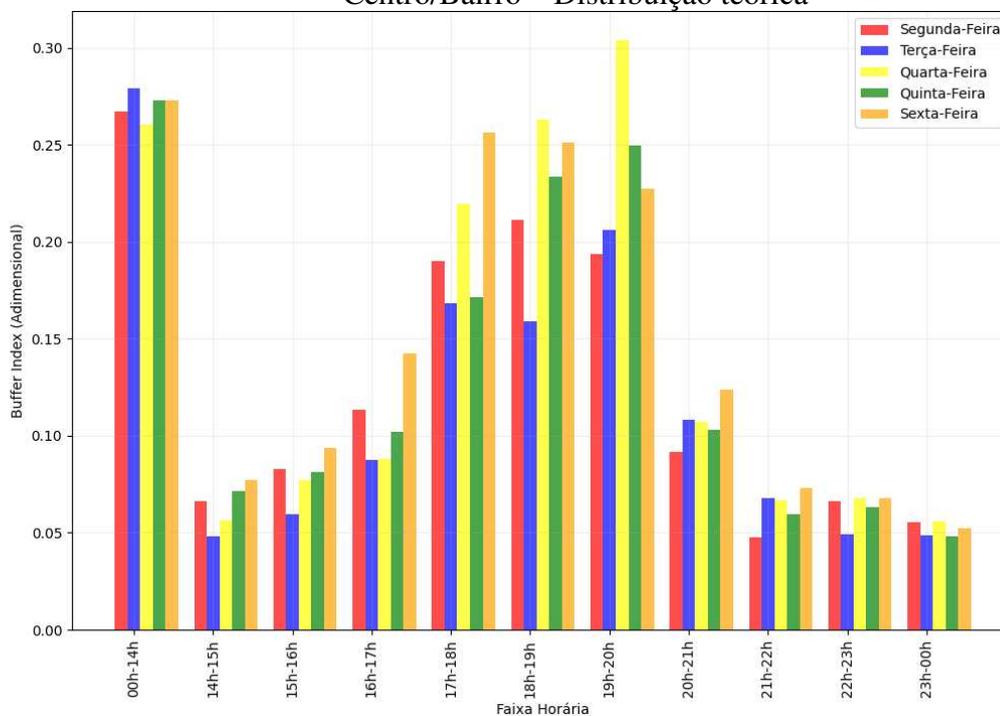


Figura 7.50: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – *Buffer Index* – Sentido Centro/Bairro – Distribuição teórica



No trecho viário 4 também se observa que há uma tendência similar com as métricas anteriores (desvio padrão e *planning time index*) em relação aos períodos com os índices mais elevados ou tempo de viagem. Vale destacar que os períodos entre 4 h e 5 h, no sentido Leste-Oeste, e entre 20 h e 21 h no sentido contrário, apresentam *Buffer Index* mais acentuados em relação às demais faixas horárias, em que o viajante vai dispendir um tempo extra maior em relação os outros períodos para realizar seu deslocamento.

A quarta-feira, para o sentido Leste-Oeste (os períodos entre 4 h e 6 h), apresentou o maior *Buffer Index* em relação aos demais dias da semana. Já no sentido contrário e entre 18 h e 21 h, a quarta-feira também apresentou a maior *Buffer Index* em relação aos demais dias da semana. Isso implica ao usuário, em condições normais, que apresenta uma viagem de 4 minutos, considerando o período de análise de 4 h até as 5 h, reservar pelo menos 1,12 minutos a mais para realizar esse mesmo deslocamento, já que o tempo de viagem total será de 5,12 minutos (*Buffer Index de 0,28*) isso para o trecho viário 4 durante as quartas-feiras no sentido Leste-Oeste. Já para o sentido contrário, o trecho viário 4, considerando a mesma viagem hipotética de 4 minutos e período de análise, o usuário reservaria aproximadamente de 1,52 minutos para antecipar sua viagem durante as quartas-feiras (*Buffer Index de 0,38*).

Figura 7.51: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – *Buffer Index* – Sentido Leste/Oeste – Distribuição teórica

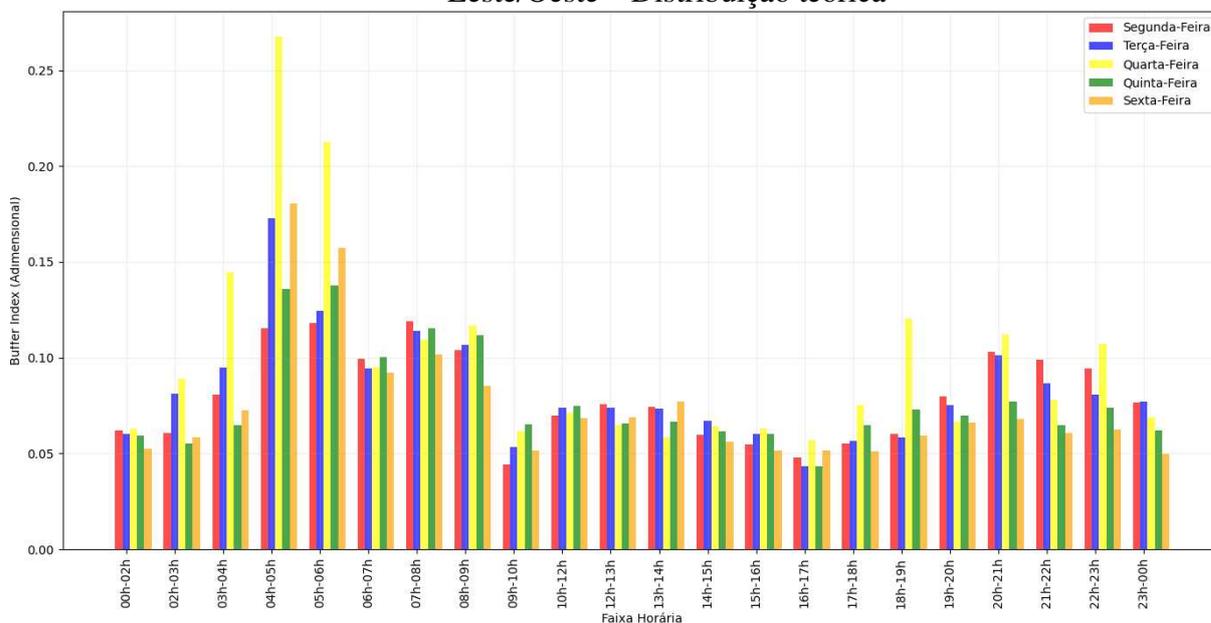
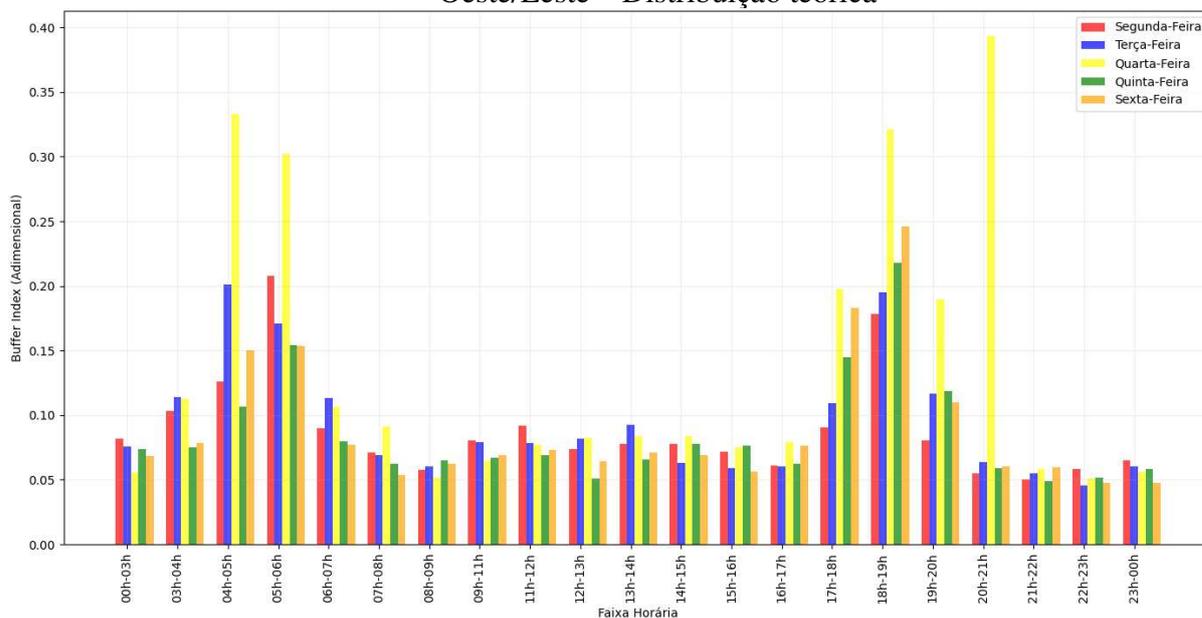


Figura 7.52: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – *Buffer Index* – Sentido Oeste/Leste – Distribuição teórica



7.4 Comparativo dos resultados

Com base nos resultados apresentados anteriormente, nesta seção é apresentado um panorama comparativo geral dos resultados, conforme pode ser visto entre a Tabela 7.10 e a Tabela 7.13. Essas tabelas indicam para cada métrica, segmentados por trecho viário e sentido de circulação, os horários em que ocorrem os maiores valores das métricas e em quais dias da semana eles são mais acentuados, de forma a destacar os dias e horários de baixa confiabilidade do tempo de viagem, conforme já delineado na revisão de literatura, são o resultado da interação entre a demanda (a quantidade de viajantes que entram em uma rede) e a oferta de tráfego (a capacidade disponível na infraestrutura) em determinados períodos do dia (flutuação horária) ou dias da semana (flutuação ao longo dos dias), tal que a distribuição diária dos tempos de viagem é resultado de flutuações diárias, tanto na demanda quanto nas características da oferta, consequentemente, as métricas refletem tal situação.

Tabela 7.10: Resumo das métricas de confiabilidade do tempo de viagem – Trecho 1

Métricas	Bairro-Centro				Centro-Bairro			
	Dados Empíricos		Distribuição teórica		Dados Empíricos		Distribuição teórica	
	Período crítico	Dia da semana	Período crítico	Dia da semana	Período crítico	Dia da semana	Período crítico	Dia da semana
Desvio padrão	6 h-10 h	2 ^a	6 h-10 h	3 ^a	16 h-20 h	6 ^a	16 h-20 h	6 ^a
<i>PTI</i>	6 h-10 h	2 ^a	6 h-10 h	3 ^a	16 h-20 h	6 ^a	16 h-20 h	6 ^a
<i>Buffer Index</i>	6 h-10 h	3 ^a	6 h-10 h	3 ^a	16 h-20 h	6 ^a	16 h-20 h	6 ^a

Tabela 7.11: Resumo das métricas de confiabilidade do tempo de viagem – Trecho 2

Métricas	Bairro-Centro				Centro-Bairro			
	Dados Empíricos		Distribuição teórica		Dados Empíricos		Distribuição teórica	
	Período crítico	Dia da semana	Período crítico	Dia da semana	Período crítico	Dia da semana	Período crítico	Dia da semana
Desvio padrão	6 h-10 h	3 ^a	6 h-10 h	5 ^a	16 h-20 h	4 ^a	16 h-20 h	4 ^a
<i>PTI</i>	6 h-10 h	3 ^a	6 h-10 h	3 ^a	16 h-20 h	4 ^a	16 h-20 h	4 ^a
<i>Buffer Index</i>	6 h-10 h	2 ^a	6 h-10 h	5 ^a	16 h-20 h	3 ^a	16 h-20 h	4 ^a

Tabela 7.12: Resumo das métricas de confiabilidade do tempo de viagem – Trecho 3

Métricas	Bairro-Centro				Centro-Bairro			
	Dados Empíricos		Distribuição teórica		Dados Empíricos		Distribuição teórica	
	Período crítico	Dia da semana	Período crítico	Dia da semana	Período crítico	Dia da semana	Período crítico	Dia da semana
Desvio padrão	6 h-8 h	2 ^a	6 h-8 h	3 ^a	16 h-20 h	6 ^a	16 h-20 h	6 ^a
<i>PTI</i>	6 h-8 h	2 ^a	6 h-8 h	2 ^a	16 h-20 h	6 ^a	16 h-20 h	6 ^a
<i>Buffer Index</i>	6 h-8 h	3 ^a	6 h-8 h	3 ^a	16 h-20 h	6 ^a	16 h-20 h	6 ^a

Tabela 7.13: Resumo das métricas de confiabilidade do tempo de viagem – Trecho 4

Métricas	Leste-Oeste				Oeste-Leste			
	Dados Empíricos		Distribuição teórica		Dados Empíricos		Distribuição teórica	
	Período crítico	Dia da semana	Período crítico	Dia da semana	Período crítico	Dia da semana	Período crítico	Dia da semana
	Desvio padrão	4 h-6 h	4 ^a	4 h-6 h	4 ^a	18 h-21 h	4 ^a	18 h-21 h
<i>PTI</i>	7 h-9 h	3 ^a	7 h-9 h	3 ^a	18 h-19 h	4 ^a	18 h-19 h	4 ^a
<i>Buffer Index</i>	4 h-6 h	4 ^a	4 h-6 h	4 ^a	18 h-21 h	4 ^a	18 h-21 h	4 ^a

Com base, nos períodos críticos indicados entre a Tabela 7.10 e a Tabela 7.13, consolidou-se a comparação dos resultados das métricas com os resultados das distribuições empíricas (Apêndice D), apresentado na Tabela 7.15, para os períodos de análise em que os valores das métricas foram mais intensos entre os dias da semana – compreendidos dentro dos períodos críticos – com base nas informações dos gráficos das seções anteriores (Tabela 7.14).

Tabela 7.14: Período Crítico e Período de Análise para o Comparativo de Resultados

Métrica	Trecho /Sentido	Período crítico	Dia da semana	Período de Análise
Desvio padrão	Trecho 1 – Bairro - Centro	6 h-10 h	3 ^a	8 h-9 h
<i>PTI</i>	Trecho 1 – Bairro - Centro	6 h-10 h	3 ^a	8 h-9 h
<i>Buffer Index</i>	Trecho 1 – Bairro - Centro	6 h-10 h	3 ^a	8 h-9 h
Desvio padrão	Trecho 1 – Centro - Bairro	16 h-20 h	6 ^a	18h -19 h
<i>PTI</i>	Trecho 1 – Centro - Bairro	16 h-20 h	6 ^a	18h -19 h
<i>Buffer Index</i>	Trecho 1 – Centro - Bairro	16 h-20 h	6 ^a	18h -19 h
Desvio padrão	Trecho 2 – Bairro - Centro	6 h-10 h	5 ^a	8 h-9 h
<i>PTI</i>	Trecho 2 – Bairro - Centro	6 h-10 h	3 ^a	8 h-9 h
<i>Buffer Index</i>	Trecho 2 – Bairro - Centro	6 h-10 h	5 ^a	8 h-9 h
Desvio padrão	Trecho 2 – Centro - Bairro	16 h-20 h	4 ^a	19h -20 h
<i>PTI</i>	Trecho 2 – Centro - Bairro	16 h-20 h	4 ^a	19h -20 h
<i>Buffer Index</i>	Trecho 2 – Centro - Bairro	16 h-20 h	4 ^a	19h -20 h
Desvio padrão	Trecho 3 – Bairro - Centro	6 h-8 h	3 ^a	6 h-7 h
<i>PTI</i>	Trecho 3 – Bairro - Centro	6 h-8 h	2 ^a	6 h-7 h
<i>Buffer Index</i>	Trecho 3 – Bairro - Centro	6 h-8 h	3 ^a	6 h-7 h
Desvio padrão	Trecho 3 – Centro - Bairro	16 h-20 h	6 ^a	18h -19 h
<i>PTI</i>	Trecho 3 – Centro - Bairro	16 h-20 h	6 ^a	18h -19 h
<i>Buffer Index</i>	Trecho 3 – Centro - Bairro	16 h-20 h	6 ^a	18h -19 h
Desvio padrão	Trecho 4 - Leste-Oeste	4 h-6 h	4 ^a	4 h-5 h
<i>PTI</i>	Trecho 4 - Leste-Oeste	7 h-9 h	3 ^a	7 h-8 h
<i>Buffer Index</i>	Trecho 4 - Leste-Oeste	4 h-6 h	4 ^a	4 h-5 h
Desvio padrão	Trecho 4 - Oeste-Leste	18 h-21 h	4 ^a	20 h-21 h
<i>PTI</i>	Trecho 4 - Oeste-Leste	18 h-19 h	4 ^a	18 h-19 h
<i>Buffer Index</i>	Trecho 4 - Oeste-Leste	18 h-21 h	4 ^a	20 h-21 h

Tabela 7.15: Comparativo de Resultados das métricas entre estimado pelas Distribuições teóricas e dados empíricos

Métrica	Trecho	Sentido	Dia da semana	Período de Análise	Estimado	Empírico	Dif. Percentual
Desvio padrão	Trecho 1	Bairro - Centro	3a	8 h-9 h	110	100	10%
<i>PTI</i>	Trecho 1	Bairro - Centro	3a	8 h-9 h	3,30	3,40	-3%
<i>Buffer Index</i>	Trecho 1	Bairro - Centro	3a	8 h-9 h	0,55	0,57	-4%
Desvio padrão	Trecho 1	Centro - Bairro	6 ^a	18h -19 h	120	118	2%
<i>PTI</i>	Trecho 1	Centro - Bairro	6 ^a	18h -19 h	3,60	3,60	0%
<i>Buffer Index</i>	Trecho 1	Centro - Bairro	6 ^a	18h -19 h	0,50	0,59	-15%
Desvio padrão	Trecho 2	Bairro - Centro	5 ^a	8 h-9 h	130	110	18%
<i>PTI</i>	Trecho 2	Bairro - Centro	3 ^a	8 h-9 h	3,20	2,90	10%
<i>Buffer Index</i>	Trecho 2	Bairro - Centro	5 ^a	8 h-9 h	0,60	0,52	15%
Desvio padrão	Trecho 2	Centro - Bairro	4 ^a	19h -20 h	180	240	-25%
<i>PTI</i>	Trecho 2	Centro - Bairro	4 ^a	19h -20 h	5,30	4,30	23%
<i>Buffer Index</i>	Trecho 2	Centro - Bairro	4 ^a	19h -20 h	1,30	0,9	44%
Desvio padrão	Trecho 3	Bairro - Centro	3 ^a	6 h-7 h	280	160	75%
<i>PTI</i>	Trecho 3	Bairro - Centro	2 ^a	6 h-7 h	5,30	4,9	8%
<i>Buffer Index</i>	Trecho 3	Bairro - Centro	3 ^a	6 h-7 h	1,00	0,68	47%
Desvio padrão	Trecho 3	Centro - Bairro	6 ^a	18h -19 h	75	75	0%
<i>PTI</i>	Trecho 3	Centro - Bairro	6 ^a	18h -19 h	3,60	3,60	0%
<i>Buffer Index</i>	Trecho 3	Centro - Bairro	6 ^a	18h -19 h	0,32	0,25	28%
Desvio padrão	Trecho 4	Leste-Oeste	4 ^a	4 h-5 h	47	45	4%
<i>PTI</i>	Trecho 4	Leste-Oeste	3 ^a	7 h-8 h	2,40	2,4	0%
<i>Buffer Index</i>	Trecho 4	Leste-Oeste	4 ^a	4 h-5 h	0,28	0,24	17%
Desvio padrão	Trecho 4	Oeste-Leste	4 ^a	20 h-21 h	24	75	-68%
<i>PTI</i>	Trecho 4	Oeste-Leste	4 ^a	18 h-19 h	2,80	2,70	4%
<i>Buffer Index</i>	Trecho 4	Oeste-Leste	4 ^a	20 h-21 h	0,38	0,36	6%

No que concerne a comparação dos resultados das métricas com os resultados das distribuições empíricas (Apêndice D), observou-se as mesmas tendências apresentadas com a utilização das distribuições teóricas. Vale destacar que houve uma elevada superestimação da métrica de confiabilidade do tempo de viagem desvio padrão para o trecho (75% comparação relativa entre a diferença entre estimado e empírico pela divisão do valor do empírico) para o trecho 3 sentido bairro-centro. Apesar disso, a maior parte das métricas obtiveram estimativas relativas bem próximas. Pode-se inferir que as distribuições teóricas aderiram bem aos dados de tempo de viagem dos trechos.

Observando-se os resultados da seção 7.1 verifica-se em geral a métrica desvio padrão indica que quanto mais próximo dos períodos críticos/períodos de análise, maior a variabilidade da média de viagem influenciada pela dinâmica da oferta e demanda nos trechos viários estudados. Já com relação as métricas *PTI* e *Buffer Index*, observando as seções 7.2 e 7.3, constata-se que a métrica *Planning Time Index* deve ser utilizada para tomadas de decisões de planejamento de

transportes de agências de transporte das cidades e que a métrica *Buffer Index* já é mais voltada ao planejamento de viagem dos usuários dos trechos.

Isso devido ao cálculo da *Planning Time Index* é baseado no tempo de viagem de fluxo livre enquanto a *Buffer Index* é fundamentada no tempo médio de viagem do trecho em estudo. Logo, os resultados da *PTI* são mais rigorosos quanto ao desempenho viário em relação a segunda, que aparentemente apresenta resultados mais convenientes para a estimativa de planejamento de viagem dos usuários. Isso pode ser constatado na literatura, conforme indicado no capítulo 2. Por exemplo, a Tabela 7.16 apresenta o comparativo de estimativa de planejamento de viagem de hipotética: uma viagem de que ocorreria 240 segundos (4 minutos) nos períodos de análise e dias da semana críticos já delineados anteriormente.

Tabela 7.16: Comparativo de Resultados das métricas – Planejamento de Viagem

Métrica	Trecho	Sentido	Dia da semana	Período de Análise	Estimado	Tempo de viagem (min)	Tempo extra de viagem (min)	Tempo de viagem total (min)
<i>PTI</i>	Trecho 1	Bairro - Centro	3a	8 h-9 h	3,30	4,00	9,20	13,20
<i>Buffer Index</i>	Trecho 1	Bairro - Centro	3a	8 h-9 h	0,55	4,00	2,20	6,20
<i>PTI</i>	Trecho 1	Centro - Bairro	6ª	18h -19 h	3,60	4,00	10,40	14,40
<i>Buffer Index</i>	Trecho 1	Centro - Bairro	6ª	18h -19 h	0,50	4,00	2,00	6,00
<i>PTI</i>	Trecho 2	Bairro - Centro	3ª	8 h-9 h	3,20	4,00	8,80	12,80
<i>Buffer Index</i>	Trecho 2	Bairro - Centro	5ª	8 h-9 h	0,60	4,00	2,40	6,40
<i>PTI</i>	Trecho 2	Centro - Bairro	4ª	19h -20 h	5,30	4,00	17,20	21,20
<i>Buffer Index</i>	Trecho 2	Centro - Bairro	4ª	19h -20 h	1,30	4,00	5,20	9,20
<i>PTI</i>	Trecho 3	Bairro - Centro	2ª	6 h-7 h	5,30	4,00	17,20	21,20
<i>Buffer Index</i>	Trecho 3	Bairro - Centro	3ª	6 h-7 h	1,00	4,00	4,00	8,00
<i>PTI</i>	Trecho 3	Centro - Bairro	6ª	18h -19 h	3,60	4,00	10,40	14,40
<i>Buffer Index</i>	Trecho 3	Centro - Bairro	6ª	18h -19 h	0,32	4,00	1,28	5,28
<i>PTI</i>	Trecho 4	Leste-Oeste	3ª	7 h-8 h	2,40	4,00	5,60	9,60
<i>Buffer Index</i>	Trecho 4	Leste-Oeste	4ª	4 h-5 h	0,28	4,00	1,12	5,12
<i>PTI</i>	Trecho 4	Oeste-Leste	4ª	18 h-19 h	2,80	4,00	7,20	11,20
<i>Buffer Index</i>	Trecho 4	Oeste-Leste	4ª	20 h-21 h	0,38	4,00	1,52	5,52

Através dos resultados indicados na Tabela 7.16, fica evidente que a métrica a *Buffer Index* é mais apropriada ao planejamento da viagem dos usuários dos trechos em estudo, e a *PTI* é mais adequada ao gerenciamento do tráfego nos trechos viários de estudo. Conforme já evidenciado no capítulo 2, a métrica *PTI* foi utilizada por diversos autores para classificar os trechos que devem ser priorizados para realização de medias de gerenciamento de tráfego que possam

melhorar as condições de desempenho viário nestes locais. Como um exemplo de aplicação da métrica *PTI*, através dos resultados supracitados nesta seção, os trechos podem ser classificados pelo maior valor de *PTI*, conforme indicado na Tabela 7.17.

Tabela 7.17: Classificação dos trechos segundo a *PTI*

Classificação	Trecho	Sentido	Dia da semana	Período de Análise	<i>PTI</i>
1 ^o	Trecho 2	Centro - Bairro	4a	19h -20 h	5,3
2 ^o	Trecho 3	Bairro - Centro	2a	6 h-7 h	5,3
3 ^o	Trecho 1	Centro - Bairro	6a	18h -19 h	3,6
4 ^o	Trecho 3	Centro - Bairro	6a	18h -19 h	3,6
5 ^o	Trecho 1	Bairro - Centro	3a	8 h-9 h	3,3
6 ^o	Trecho 2	Bairro - Centro	3a	8 h-9 h	3,2
7 ^o	Trecho 4	Oeste-Leste	4a	18 h-19 h	2,8
8 ^o	Trecho 4	Leste-Oeste	3a	7 h-8 h	2,4

Verifica-se nesse exemplo de aplicação da métrica *PTI*: o trecho 2 no sentido Centro-bairro, e o trecho 3 no sentido bairro centro, podem ser priorizados pela autoridade de transporte da cidade para que sejam aplicadas medidas de gerenciamento de tráfego que auxiliem a atenuar os efeitos dos congestionamentos nestes locais. Alguns exemplos dessas medidas que podem auxiliar no gerenciamento do tráfego nesses locais: incentivos ao uso do transporte público pelos usuários (redução da tarifa, melhoria da oferta e qualidade dos serviços dentre outros), instalação de infraestrutura de ciclovias conectadas às estações de transporte público.

8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O objetivo geral desta pesquisa foi estimar a confiabilidade do tempo de viagem em vias arteriais urbanas de Belo Horizonte. Para essa finalidade, buscou-se, primeiramente, por meio de uma revisão da literatura, selecionar métricas de confiabilidade do tempo de viagem voltadas para vias arteriais urbanas e que fossem adequadas ao contexto local. Em segundo lugar, foi desenvolvido um método sistemático para agrupar períodos do dia que tenham comportamentos similares em relação ao tempo de viagem. Posteriormente, as distribuições de tempo de viagem foram caracterizadas, buscando-se encontrar modelos de probabilidade que melhor se adequassem aos dados de campo. E, por fim, foi avaliada a confiabilidade do tempo de viagem em relação aos períodos de análise e aos dias da semana (de segunda-feira a sexta-feira), comparando-se resultados obtidos a partir de dados empíricos e de distribuições teóricas.

Optou-se por selecionar as métricas de confiabilidade do tempo de viagem mais utilizadas na literatura, conforme delineado no Capítulo 2, seção 2.2. Foram determinados os períodos de análise de forma a agrupar as faixas horárias em conformidade com a aderência estatística entre as distribuições entre pares de conjunto de dados de tempo de viagem por faixas horárias, conforme detalhado no Capítulo 5. Assim, as faixas horárias foram agregadas para os trechos viários 1, 2 e 3, o que não ocorreu para o trecho viário 4 em maior parte de suas faixas horárias. Foi observada uma grande variabilidade dos dados desse trecho ao longo das faixas horárias de análise, podendo estar relacionada às fontes que descrevem as condições subjacentes que mudam ao longo do tempo e fazem com que o tempo de viagem varie, por exemplo, com incidentes de trânsito e zonas de obras.

Por conseguinte, procurou-se conhecer as distribuições teóricas que possuíam aderência aos dados de tempo de viagem por faixa horária e dia da semana (segunda-feira a sexta-feira), conforme descrito no Capítulo 6. Observou-se que, na maior parte das faixas horárias de análise, a distribuição lognormal foi a que mais se adequou aos dados de tempo de viagem nos trechos viários, por faixa horária, sentido e dia da semana. Constatou-se que algumas faixas horárias dos trechos viários 1, 2 e 3 puderam ser representadas pelas distribuições Weibull e Burr.

A partir da análise das distribuições de probabilidade, foram estimadas as métricas de confiabilidade do tempo de viagem (média, desvio padrão e percentis), uma vez que cada distribuição tem sua forma de obter esses valores. Com algumas pequenas diferenças, para

algumas faixas horárias, percebeu-se que as distribuições teóricas aderiram bem aos dados de tempos de viagem dos trechos, pois conseguiram representar a confiabilidade encontrada entre faixas horárias e dias da semana (segunda a sexta-feira) que foi estimado a partir das distribuições teóricas para as métricas: desvio padrão, *planning time index* e *Buffer Index*.

Segundo Pu (2011), há um debate sobre o uso de diferentes medidas de confiabilidade do tempo de viagem na prática acadêmica e profissional. Diferentes métricas podem ser consideradas apropriadas a partir de diferentes perspectivas e contextos na obtenção de diretrizes de políticas de transporte ou de medidas operacionais no trânsito. Este trabalho também visou apresentar as métricas de confiabilidade do tempo de viagem e analisá-las de uma maneira geral e que pudessem fomentem essa discussão no âmbito municipal, considerando o caso de Belo Horizonte.

Por fim, observou-se através das métricas de confiabilidade do tempo de viagem (desvio padrão, *planning time index* e *buffer index*) que para os trechos viários 1 e 2, no sentido Bairro/Centro, há uma menor confiabilidade no período de 6 h até 10 h – durante as segundas-feiras e as terças-feiras; já no sentido contrário, isso ocorre entre 16 h e 20 h – durante as quartas-feiras e sextas-feiras. Para o trecho viário 3, assim como os trechos viários 1 e 2, há uma menor confiabilidade no sentido Bairro/Centro, de 6 h até 10 h. No entanto, nesses horários, essa situação é agravada principalmente durante as segundas-feiras. Já no sentido contrário, no trecho viário 3, os períodos de menor confiabilidade do tempo de viagem ocorreram entre 0 h e 14 h e de 16 h até 20 h para as sextas-feiras. No Trecho 4, os períodos com menor confiabilidade do tempo de viagem foi entre 7 h e 9 h, no sentido Leste-Oeste, e entre 18 h e 19 h no sentido contrário, sendo a quarta-feira como o dia menos confiável para ambos os sentidos e dentro dessas faixas horárias. Portanto, esses períodos são de baixa em termos de confiabilidade do tempo de viagem nos trechos viários analisados e são o resultado da interação entre a demanda (a quantidade de viajantes) e a oferta de tráfego (a capacidade disponível na infraestrutura) em determinados períodos do dia (flutuação horária) ou dias da semana (flutuação ao longo dos dias), por conseguinte, as métricas refletem tal situação.

A partir das métricas de confiabilidade do tempo de viagem constatou-se que foi possível determinar o desempenho viário tanto para usuários dos trechos viários quanto para técnicos/gestores desse sistema viário, conforme já mencionado anteriormente a métrica PTI é

mais adequada aos técnicos/gestores das cidades com a finalidade de se determinar quais trechos podem ser priorizados em uma possível estratégia de melhoria de condições de desempenho viário, conforme indicado no item 7.4, os trechos trecho 2 no sentido Centro-bairro, e o trecho 3 no sentido bairro centro, podem ser priorizados dentre os trechos estudados para tal. No capítulo 7 ainda seção foi apresentado uma estimativa de viagem hipotética de 4 minutos em que foi utilizada a métrica *Buffer Index*, para estimar o tempo de viagem extra para que o usuário chegue no horário em seu deslocamento (planejamento de viagem do usuários), por exemplo, observou-se que para o trecho 2, período de análise de 19 h às 20 h, durante as quartas feiras o usuário deve reservar aproximadamente 5 minutos a mais e antecipar sua viagem para chegar no horário em 95% das vezes, considerando o período de confiabilidade do tempo de viagem de 2022 a 2023, segundo o conceito da métrica *Buffer Index*, um indicador importante para ajudar os usuários a planejar suas viagens nos trechos viários estudados em esta dissertação.

Uma limitação evidente no exemplo apresentado para a priorização dos trechos reside na necessidade de considerar todas as vias arteriais do município para efetuar uma melhoria significativa no desempenho viário, uma responsabilidade dos planejadores e gestores da autarquia de trânsito da cidade. O exemplo fornecido neste trabalho é válido apenas no contexto didático, demonstrando a aplicação da métrica *PTI*. Contudo, abranger todas as vias da cidade seria impraticável financeiramente, especialmente considerando que a pesquisa se baseou em dados de amostra gratuitos da API da Google. A magnitude do esforço necessário poderia tornar a realização do trabalho inviável dentro do cronograma do programa de mestrado. Além disso, uma outra limitação foi a coleta de dados de tempo de viagem, que requer um período extenso - aproximadamente um ano ou mais, conforme a literatura - para garantir a confiabilidade do tempo de viagem. Isso demanda uma coleta de dados extensa e resiliente. Consequentemente, essas limitações influenciaram na prorrogação do prazo do curso de mestrado para a conclusão desta dissertação.

Em trabalhos futuros, recomenda-se avaliar a aderência das distribuições de tempo de viagem às distribuições teóricas junto a dados como acidentes de trânsito e de ocorrências de chuvas, para verificar a sua influência nos dados de tempos de viagem, pois, conforme conceituado no Capítulo 2, elas são importantes fontes de variabilidade das distribuições do tempo de viagem.

Outra recomendação é realizar essa avaliação da confiabilidade em outros locais, em cidades similares a Belo Horizonte, ou ainda cidades de porte menor, para que seja possível avaliar o método proposto neste trabalho a fim de encontrar resultados acerca do tema da confiabilidade do tempo de viagem. Além disso, como os tipos de distribuição probabilidade neste estudo incluíram apenas quatro distribuições padrão, deve-se avaliar a adequação de outras distribuições, como a distribuição multimodo e distribuição truncada, conforme recomendado por Chen et al. (2018).

Zang et al. (2022) recomendam ainda a modelagem da confiabilidade do tempo de viagem de redes de transporte multimodais; nesta pesquisa, foi abordado apenas o modo de transporte individual (carro e moto). Com o rápido desenvolvimento da escala da cidade e da aglomeração urbana, muitas viagens envolvem mais de um modo de viagem. Num sistema de transporte multimodal, os viajantes podem não conseguir completar toda a sua viagem se não puderem acessar a um dos modos de viagem necessários e, portanto, seria importante desenvolver métodos para modelar a confiabilidade do tempo de viagem em rotas que envolvam vários modos de viagem (Zang et al., 2022). Uma ênfase poderia ser dada, ainda, ao transporte público urbano.

9 REFERÊNCIAS

- Al-Deek, H.; Emam, E.B. (2006). New methodology for estimating reliability in transportation networks with degraded link capacities. *J Intel. Transp. Syst.* 10:117–129
- Aron, M.; Bhouri, N.; Guessous, Y. (2014). Estimating travel time distribution for reliability analysis. *Transportation Research Arena, TRA*, paper 19638
- Arezoumandi, M.; G. H. Bham. (2011). “Travel Time Reliability Estimation: Use of Median Travel Time As Measure of Central Tendency.” *ProcT and DI congress 2011: integrated transportation and development for a better tomorrow – Proceedings of the 1st congress of the transportation and development institute of ASCE*, 59–68.
- Bates, J.; Polak, J.; Jones, P.; Cook, A. (2001). The valuation of reliability for personal travel. *Transp. Res Part E Logist. Transp. Rev*37:191–229. [https://doi.org/10.1016/s1366-5545\(00\)00011-9](https://doi.org/10.1016/s1366-5545(00)00011-9)
- Belo Horizonte (1996). Lei nº7.166 do município de Belo Horizonte e alterações – Lei de Parcelamento, ocupação e Uso do Solo.
- Belo Horizonte (2023) Contagens Volumétricas de Radares. Disponível em: <https://servicosbhtrans.pbh.gov.br/Bhtrans/webservice/> Acessos entre 01 de Jan 2022 e 30 Abr de 2023.
- Cambridge Systematics (2013). *SHRP 2 Report S2-L03-RR-1: Analytical Procedures for Determining the Impacts of Reliability Mitigation Strategies*. Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Chen, P.; Tong, R.; Lu, G.; Wang, Y. (2018). "Exploring travel time distribution and variability patterns using probe vehicle data": case study in Beijing. *J. Adv. Trans.*
- Chen, Z.; Fan, W. D. (2020). " Analyzing travel time distribution based on different travel time reliability patterns using probe vehicle data". *International Journal of Transportation Science and Technology*, 9(1), 64-75.

Dowling, R.G.; Skabardonis, A.; Margiotta, R. A.; Hallenbeck, M.E; (2009). Reliability breakpoints on freeways. Transportation Research Board 88th Annual Meeting (No. 09-0813).

Fan, W.; Gong, L. (2017). Developing a systematic approach to improving bottleneck analysis in North Carolina. North Carolina DOT.

Figliozzi, M. A.; Wheeler, N.; Albright, E.; Walker, L.; Sarkar, S.; Rice, D. (2011). “Algorithms for studying the impact of travel time reliability along multisegmented trucking freight corridors.” *Transp. Res. Rec.* 2224 (1): 26–34. <https://doi.org/10.3141/2224-04>.

Fosgerau, M.; Karlstrom, A. (2010). The value of reliability. *Transp. Res. Part B* 44, 38–49.

Google (2022) Google Distance Matrix API Developer Guide. Disponível em: <https://developers.google.com/maps/documentation/distance-matrix/overview> Acesso 15 de Jan 2022.

Fosgerau, M. (2016). The valuation of travel time variability. Final Discussion Paper Prepared for the Roundtable on Quantifying the Socio-Economic Benefits of Transport (9-10 November 2015, Paris). International Transport Forum, Organization for Economic Cooperation and Development, Paris [http://www. itf- oecd.org/quantifying- socio- economic- benefits- transport- roundtable](http://www.itf-oecd.org/quantifying-socio-economic-benefits-transport-roundtable).

Hall, R. W. (1983). “Travel Outcome and Performance: The Effect of Uncertainty on Accessibility.” *Transportation Research B* 17 (4): 275–290.

Iida, Y. (1999). “Basic Concepts and Future Directions of Road Network Reliability Analysis.” *Journal of Advanced Transportation* 33 (2): 125–134.

INRIX. (2022) *INRIX Global Traffic Scorecard*. Report.

Jackson, W. B.; J. V. Jucker. (1982). “An Empirical Study of Travel Time Variability and Travel Choice Behavior.” *Transportation Science* 16 (4): 460–475.

Karmakar, N.; Aghdashi, S.; Roupail, N. M.; Williams, B. M. (2018) Validation and Calibration of Freeway Reliability Methodology in the Highway Capacity Manual: Method and

Case Studies. *Journal of The Transportation Research Record* 1–12. DOI: 10.1177/0361198118798723

Kwon, J.; Hranac, R.; Petty, K.; Compin, N. (2011). Decomposition of Travel Time Reliability into Various Sources, 28–33. Washington, DC: Transportation Research Record 2229.

Lam, T. C.; Small K. A. (2001). “The Value of Time and Reliability: Measurement from a Value Pricing Experiment.” *Transportation Research E* 37 (2–3): 231–251.

Lomax, T.; Schrank, D.; Turner, S.; Margiotta, R. (2003). Selecting Travel Time Reliability Measures. Texas Transportation Institute. <http://tti.tamu.edu/documents/474360-1.pdf>.

Montgomery, D. C.; Runger, G. C.; Hubele, N. F. (2011). *Engineering Statistics*. Arizona State University. John Wiley & Sons, Inc.

Li, R.; Chai, H.; Tang, J. (2013). Empirical Study of Travel Time Estimation and Reliability. *Mathematical Problems in Engineering* Volume 2013, Article ID 504579, 9 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2013/504579>

Lyman, K.; Bertini, R.L.; (2008). Using travel time reliability measures to improve regional transportation planning and operations. *Transp. Res. Rec.* 2046 (1), 1–10.

Milliken, E.; Young, R. (2015). Use of travel time, travel time reliability, and winter condition index information for improved operation of rural interstates. (No. MPC 15-295). University of Wyoming Department of Civil and Architectural Engineering, 84p. Laramie, WY, USA.

Nicholson, A. J.; Schmoecker, J. D.; Bell, M. G. H.; Iida, Y. (2003). “Assessing Transport Reliability: Malevolence and User Knowledge.” In *Network Reliability of Transport*, edited by M. G. H. Bell and Y. Iida, 1–22. Proceedings of the 1st international symposium on transportation network reliability (INSTR). Oxford: Elsevier

Noland, R. B. (1997). “Commuter Responses to Travel Time Uncertainty under Congested Conditions: Expected Costs and the Provision of Information.” *Journal of Urban Economics* 41 (3): 377–406.

- Polus, A. (1979). A Study of Travel Time and Reliability on Arterial Routes. *Transportation* 8 (2): 141–151.
- Pu, W. (2011). Analytic relationships between travel time reliability measures. *Transp. Res. Rec.* 2254:122–130. <https://doi.org/10.31412F225413>
- Rakha, H.; El-Shawarby, I.; Arafeh, M. (2010). “Trip Travel-Time Reliability: Issues and Proposed Solutions.” *Journal of Intelligent Transportation Systems* 14 (4): 232–250.
- Rakha, H.; El-Shawarby, I.; Arafeh, M.; Dion, F. (2006). “Estimating Path Travel-Time Reliability.” *Proceedings of the intelligent transportation systems conference ITSC’06*, 236–241. New York: IEEE.
- Shlayan, N., P. Kachroo, and S. Wadoo. 2011. “Transportation Reliability based on Information Theory.” *Proceedings of the IEEE conference on intelligent transportation systems (ITSC)*, art. no. 6083067, 1415–1420. Toronto, Ontario: IEEE.
- Susilawati, S.; Taylor, M. A. P.; Somenahalli, S. (2010). “Travel Time Reliability and the Bimodal Travel Time Distribution for an Arterial Road.” *Road and Transport Research* 19 (4): 37–50.
- Susilawati, S.; Taylor, M. A. P.; Somenahalli, S. (2011). “Modelling Urban Travel Time Variability with the Burr Regression Technique.” *Papers of the Australasian Transport Research Forum* 34. www.patrec.org/atr.aspx
- Taylor, M. A. P. (1982). “Travel Time Variability – The Case of Two Public Modes.” *Transportation Science* 16 (4): 507–521.
- Taylor, M. A. P. (2013). “Travel through time: The story of research on travel time reliability.” *Transportmetrica B: Transport Dyn.* (3): 174–194. <https://doi.org/10.1080/21680566.2013.859107>.
- Taylor, M.A.P. (2017). Fosgerau’s travel time reliability ratio and the Burr distribution. *Transp. Res. Part B* 97, 50–63.

TRB (2014). *SHRP 2 Report S2-L07-RR-1: Identification and Evaluation of the Cost-Effectiveness of Highway Design Features to Reduce Nonrecurrent Congestion*. Transportation Research Board, Washington, D.C.

TRB (2016). *Highway Capacity Manual: A Guide for Multimodal Mobility Analysis*, 6th ed. Transportation Research Board, Washington, D.C.

TRB (2022). *Highway Capacity Manual: A Guide for Multimodal Mobility Analysis*, 7th ed. Transportation Research Board, Washington, D.C.

Tufuor, E. O. A.; Rilett, L. R. (2019) Validation of the Highway Capacity Manual Urban Street Travel Time Reliability Methodology using Empirical Data. *Journal of The Transportation Research Record*, Vol. 2673, n° 4, p. 415–426. DOI: 10.1177/0361198119838854

Tufuor, E. O. A.; Rilett, L. R.; Zhao, L. (2020) Calibrating the Highway Capacity Manual Arterial Travel Time Reliability Model. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*. v. 146, n°12, p. 04020131. DOI: 10.1061/JTEPBS.0000451.

U.S. Federal Highway Administration (FHWA) (2006). *Travel time reliability: Making it there on time, all the time*. FHWA Report, Federal Highway Administration, US Department of Transportation, Washington, D.C.

U.S. Federal Highway Administration e USDOT (Federal Highway Administration and USDOT). (2015). “Fixing America’s surface transportation act.” Accessed December 9,2019. <http://www.fhwa.dot.gov/fastact/>.

U.S. Federal Highway Administration FHWA (2017) Federal Register 2017-00681. *National Performance Management Measures; Assessing Performance of the National Highway System, Freight Movement on the Interstate System, and Congestion Mitigation and Air Quality Improvement Program*. Department of Transportation, Washington, D.C.

Van Lint, J.; Van Zuylen, H. (2005). *Monitoring and predicting freeway travel time reliability: using width and skew of day-to-day travel time distribution*. *Transp. Res. Rec.* 191, 54–62.

Van Lint, J.; Van Zuylen, H.; Tu, H. (2008). "Travel Time Unreliability on Freeways: Why Measures based on Variance Tell Only Half the Story." *Transportation Research A* 42 (1): 258–277.

Van Loon, R.; Rietveld, P.; Brons, M. (2011). "Travel-Time Reliability Impacts on Railway Passenger Demand: A Revealed Preference Analysis." *Journal of Transport Geography* 19 (4): 917–925.

Wu, z.; Rilett, L. R.; Ren, w. (2021). New methodologies for predicting corridor travel time mean and reliability, *International Journal of Urban Sciences*, DOI: 10.1080/12265934.2021.1899844

Yang, S.; Wu, Y. (2016). Mixture models for fitting freeway travel time distributions and measuring travel time reliability. *Transp. Res. Rec.* 2594, 95–106.

Yang, Y.; Huang, S.; Wen, M.; Chen, X.; Zhang, Q.; Liu, W. (2021). Analyzing travel time belief reliability in road network under uncertain random environment. <https://doi.org/10.1007/s00500-021-05940-w>

Zhao, W.; McCormack, E.; Dailey, D.J.; Scharnhorst, E.; (2013). Using truck probe GPS data to identify and rank roadway bottlenecks. *J. Transp. Eng.* 139, 1–7.

Zheng, F.; van Zuylen, H.; Liu, X., Li, J.; Lu, C. (2017). Travel Time Reliability for Urban Networks: Modelling and Empirics. *Journal of Advanced Transportation*. <https://doi.org/10.1155/2017/9147356>

APÊNDICE A - 10º PERCENTIL; 50º PERCENTIL; 90º PERCENTIL, 95º PERCENTIL E A MÉDIA

Trecho Viário 1 – Distribuições Teóricas

Figura A. 1: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – 10º Percentil – Sentido Bairro/Centro

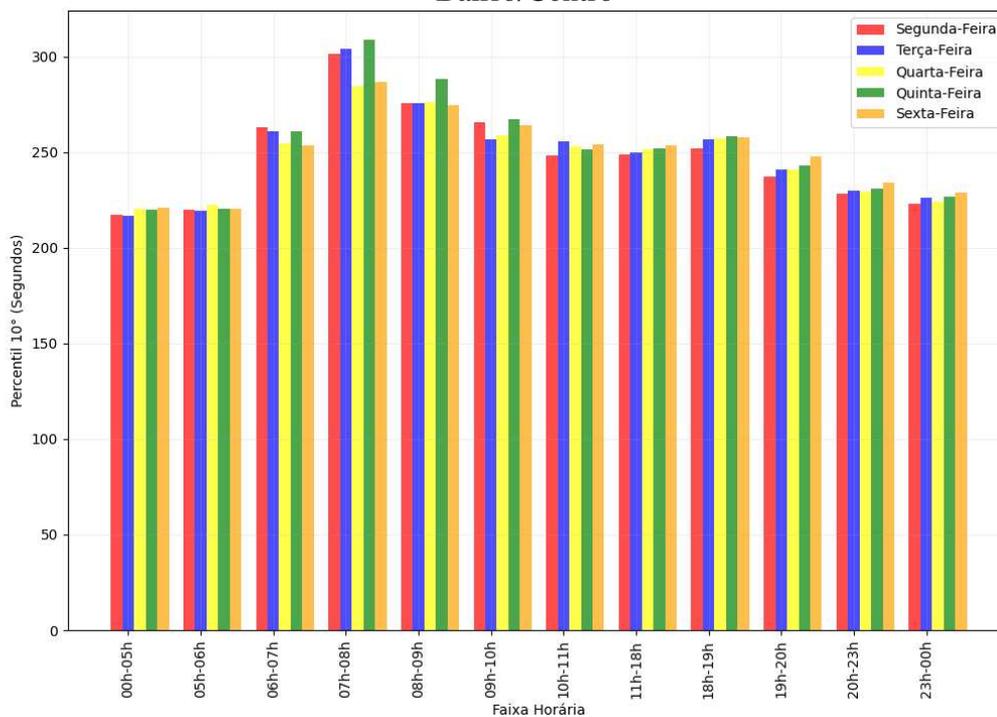


Figura A. 2: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – 10º Percentil – Sentido Centro/Bairro

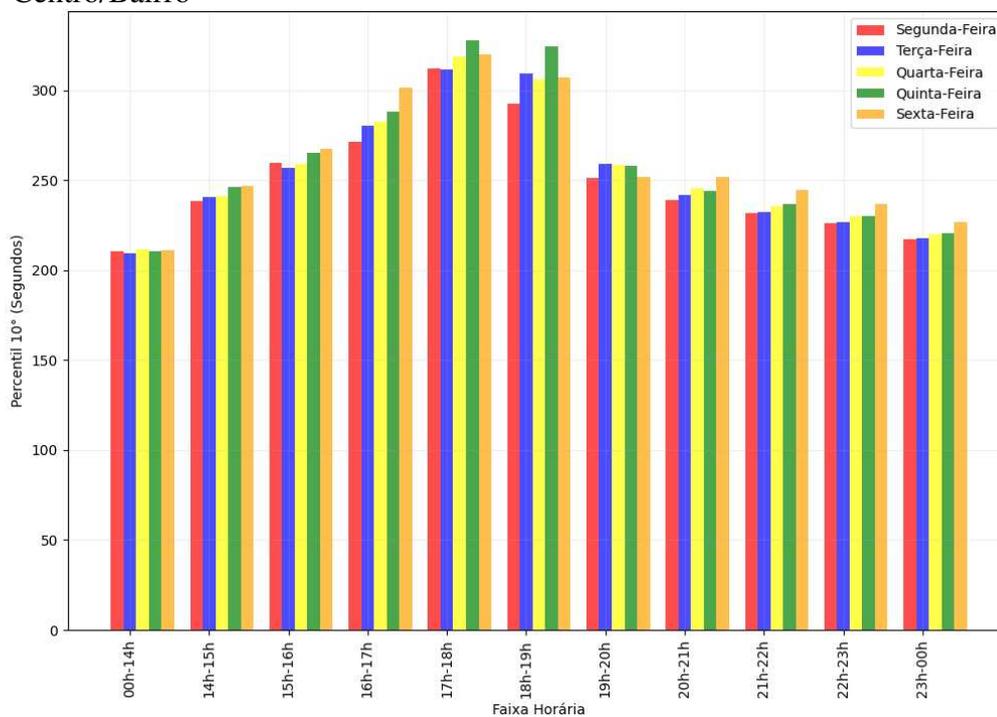


Figura A. 3: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – 50º Percentil – Sentido Bairro/Centro

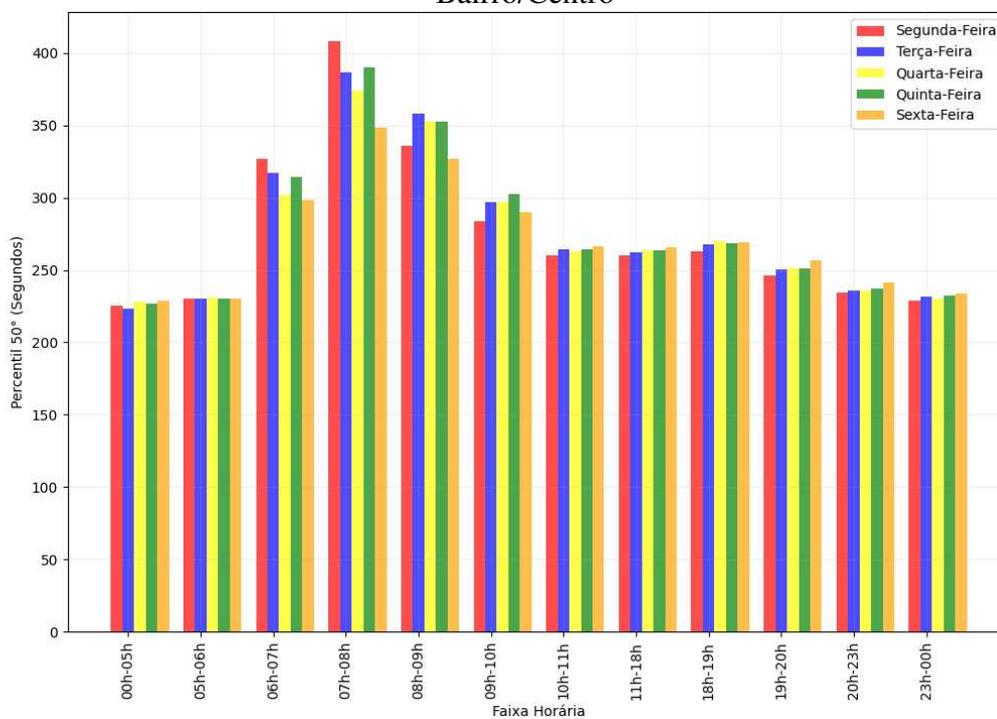


Figura A. 4: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos –50° Percentil– Sentido Centro/Bairro

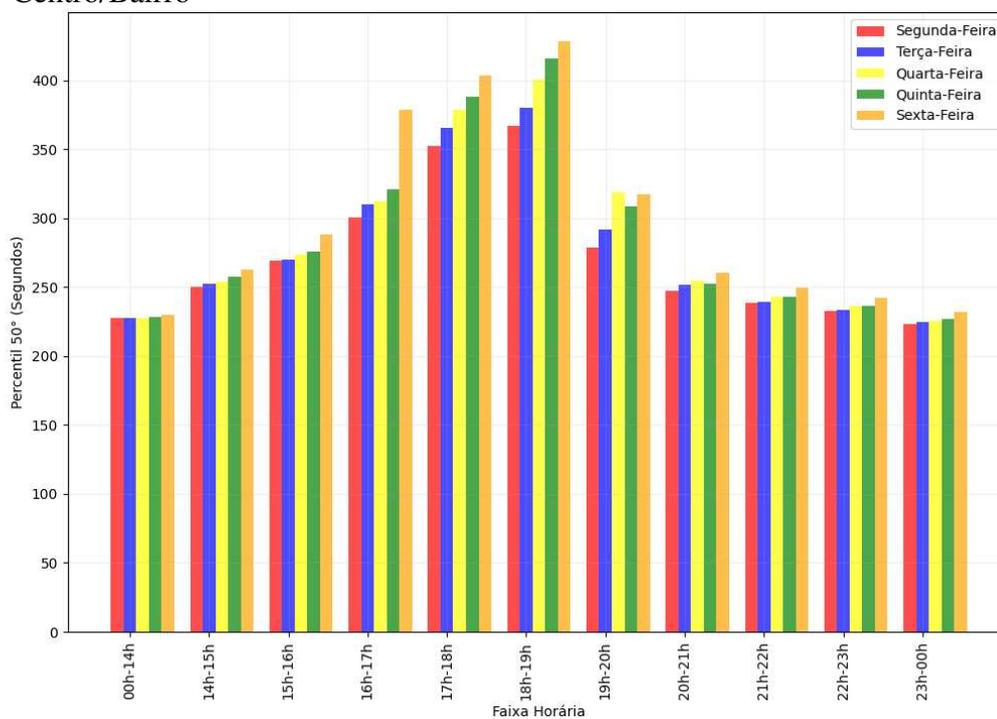


Figura A. 5: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – 90° Percentil – Sentido Bairro/Centro

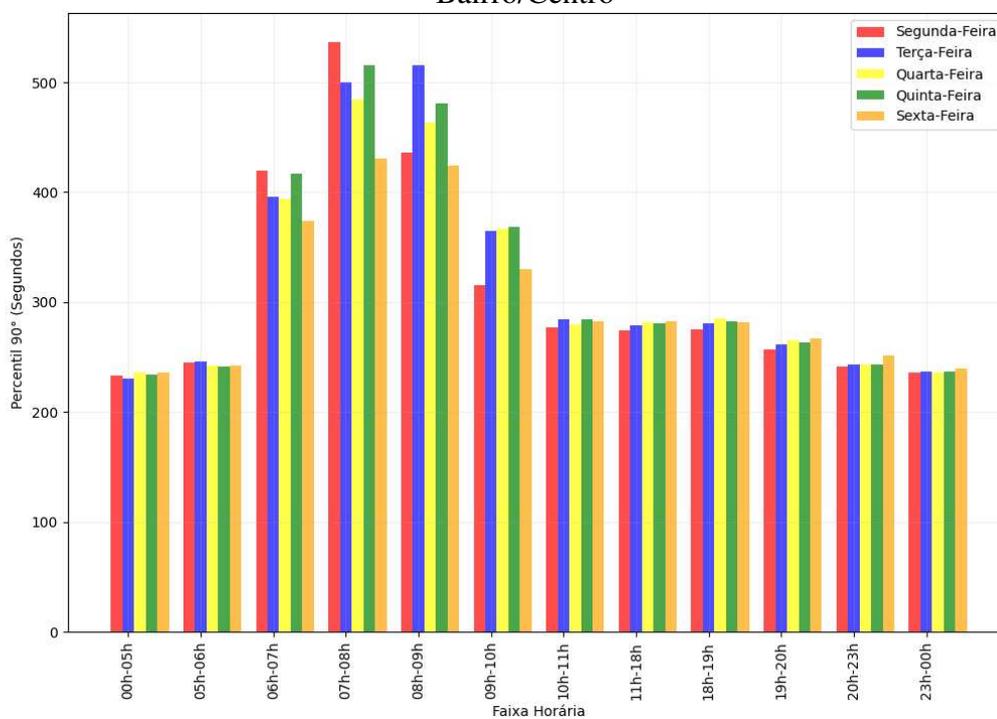


Figura A. 6: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos –90° Percentil– Sentido Centro/Bairro

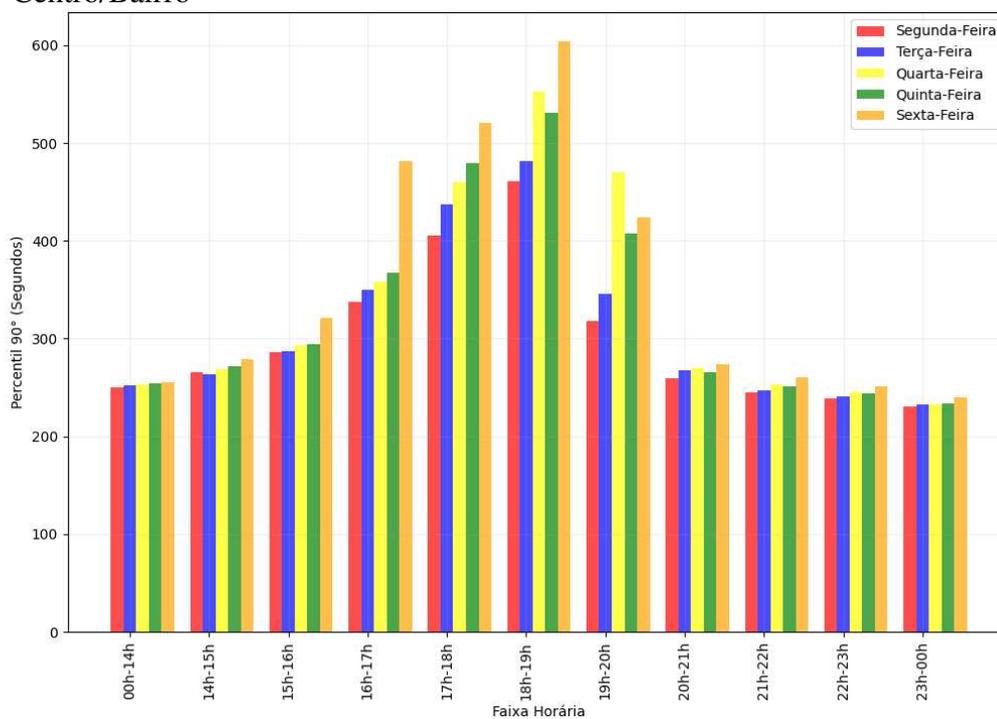


Figura A. 7: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – 95° Percentil – Sentido Bairro/Centro

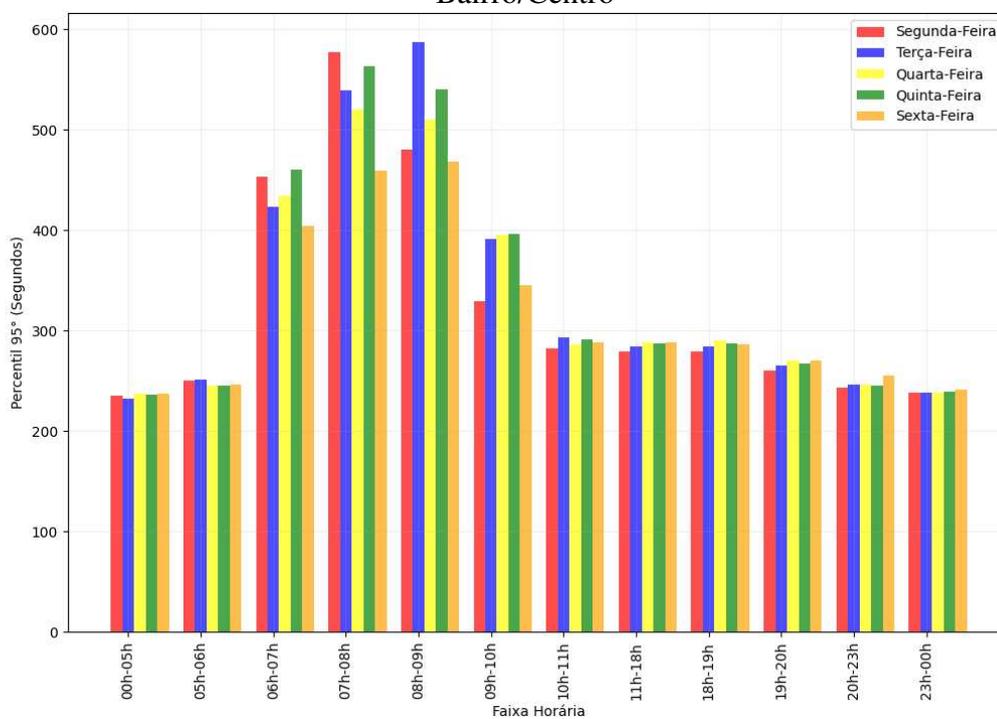


Figura A. 8: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos –95° Percentil– Sentido Centro/Bairro

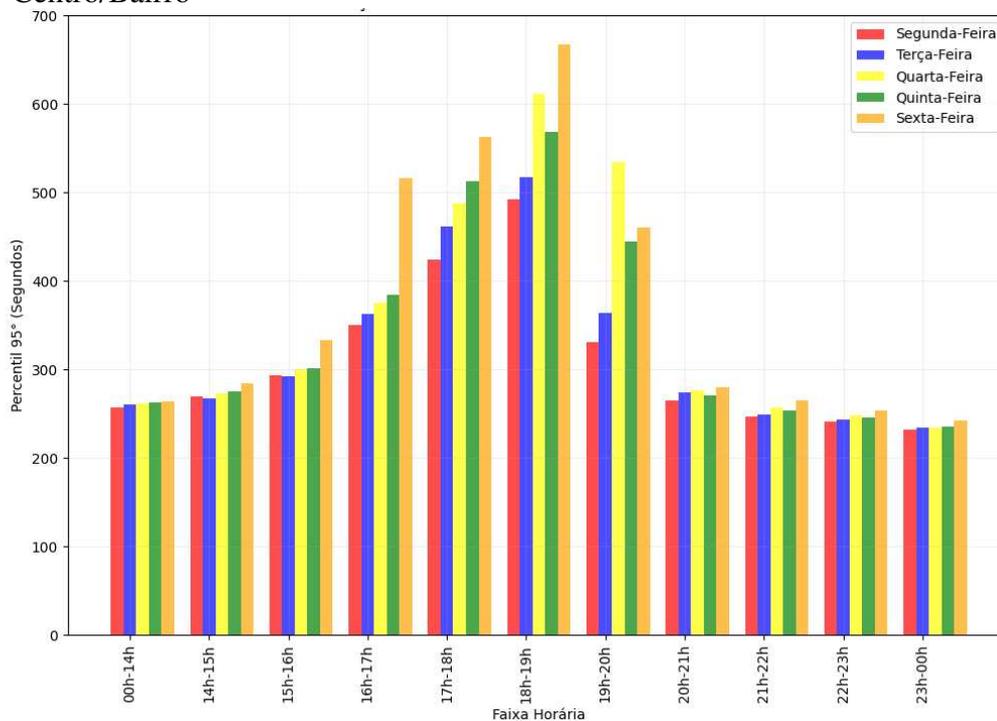


Figura A. 9: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – Média do tempo de viagem no Sentido Bairro/Centro – distribuição teórica

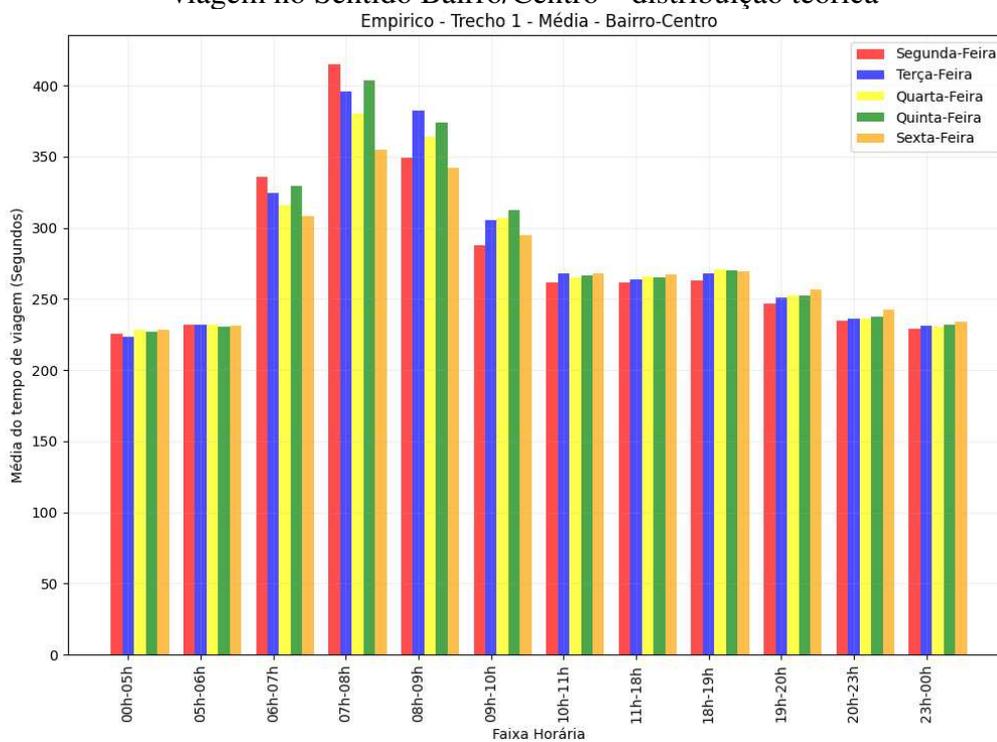
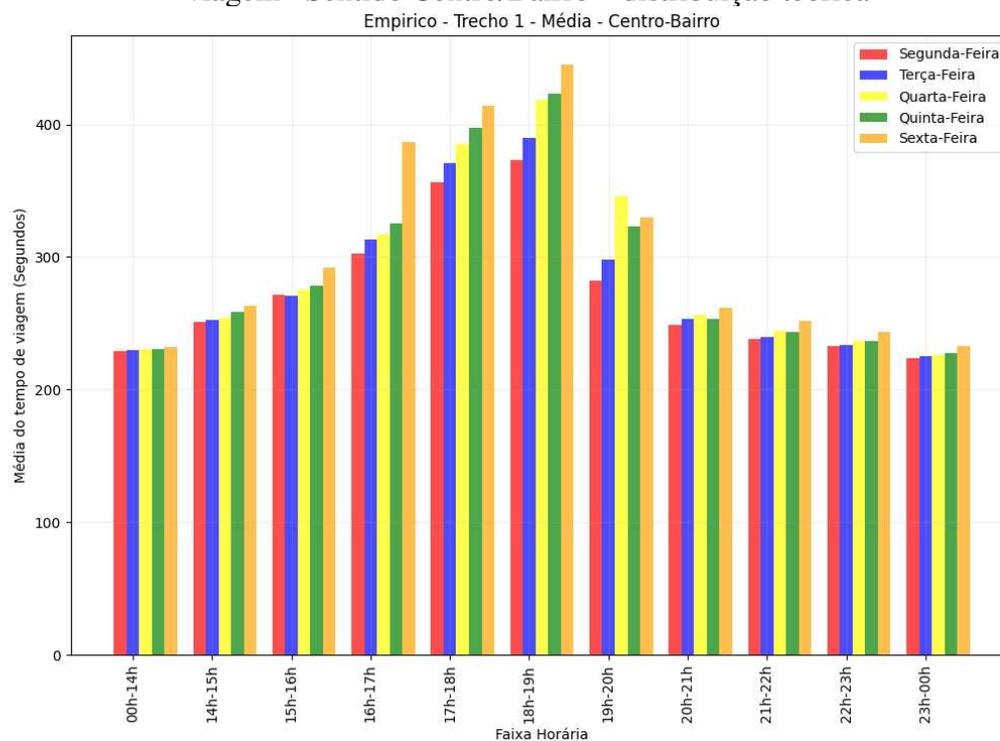


Figura A. 10: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos –Média do tempo de viagem– Sentido Centro/Bairro – distribuição teórica



Trecho Viário 2 – Distribuições Teóricas

Figura A. 11: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– 10º Percentil– Sentido Bairro/Centro

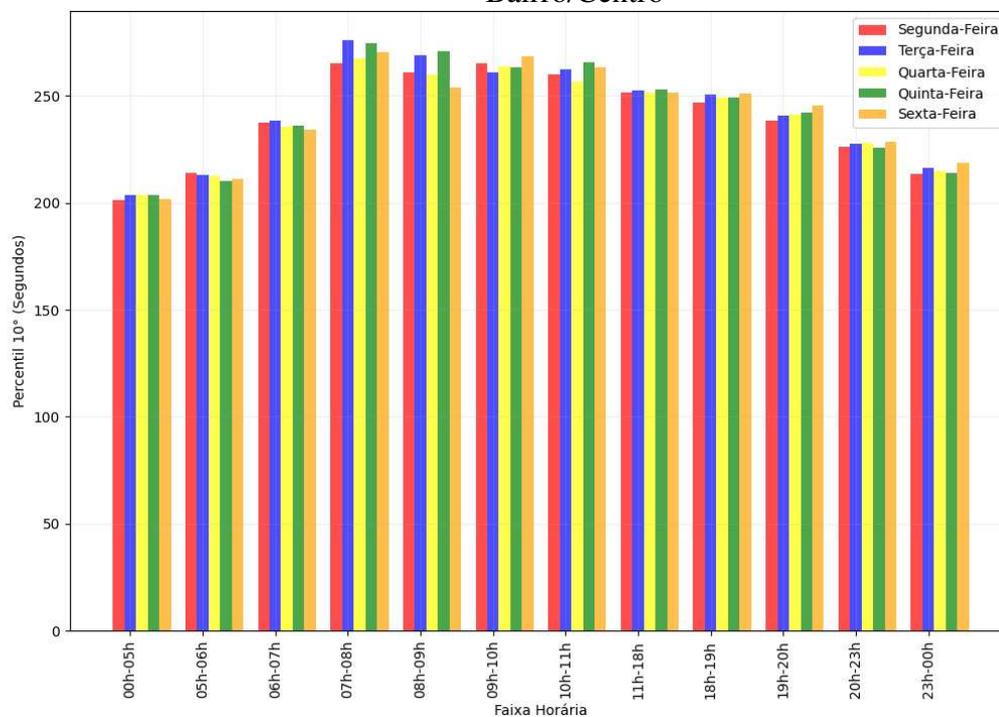


Figura A. 12: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– 10º Percentil– Sentido Centro/Bairro

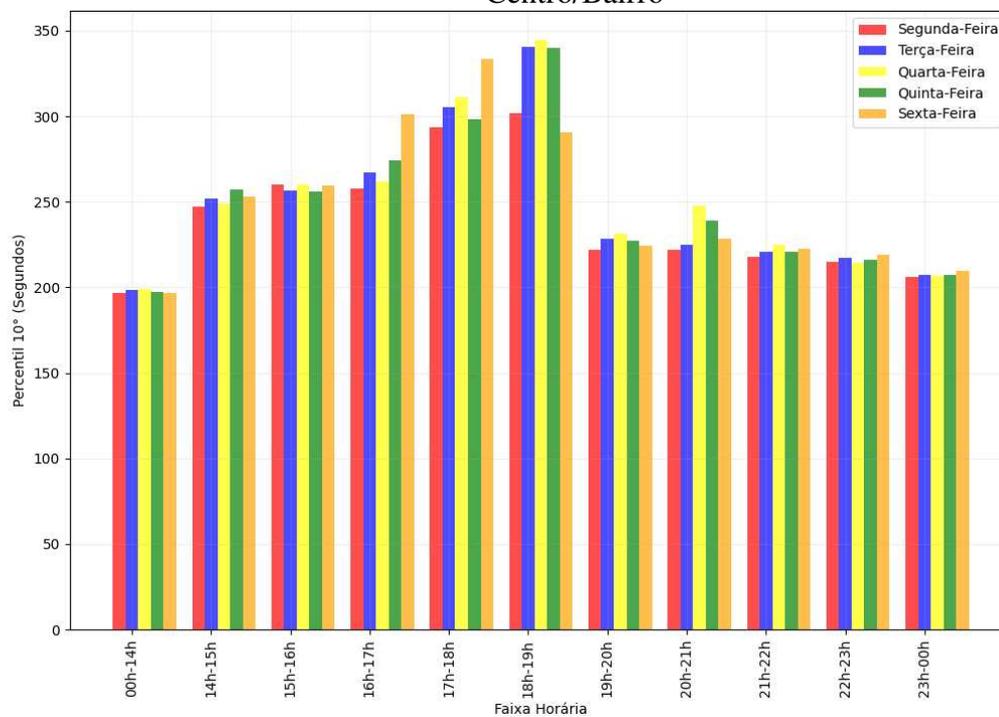


Figura A. 13: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– 50º Percentil– Sentido Bairro/Centro

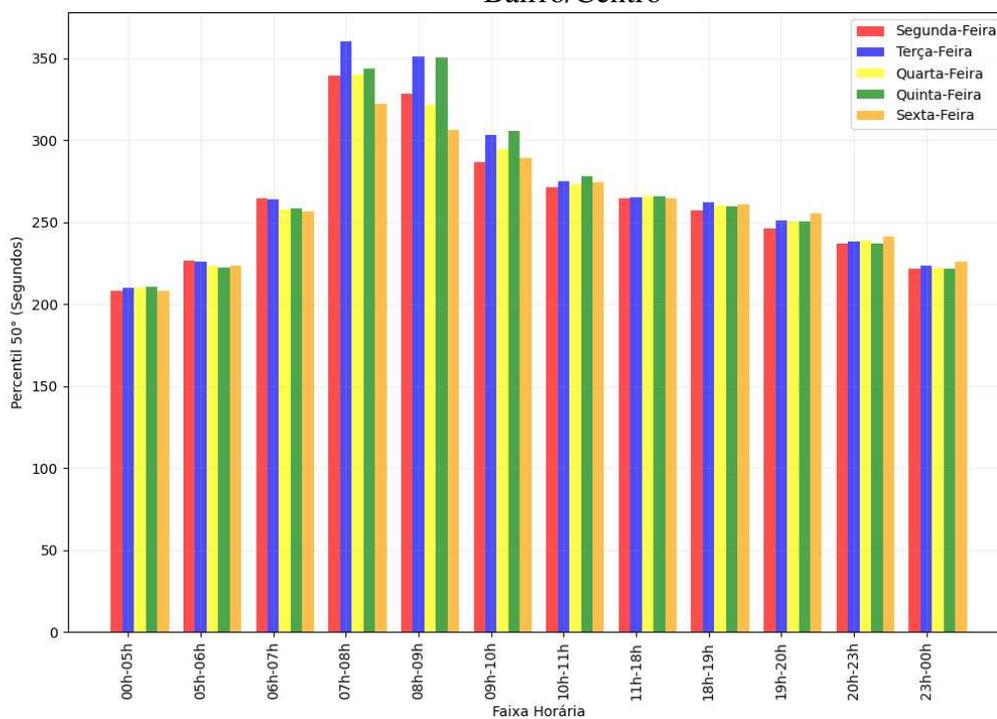


Figura A. 14: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– 50º Percentil– Sentido Centro/Bairro

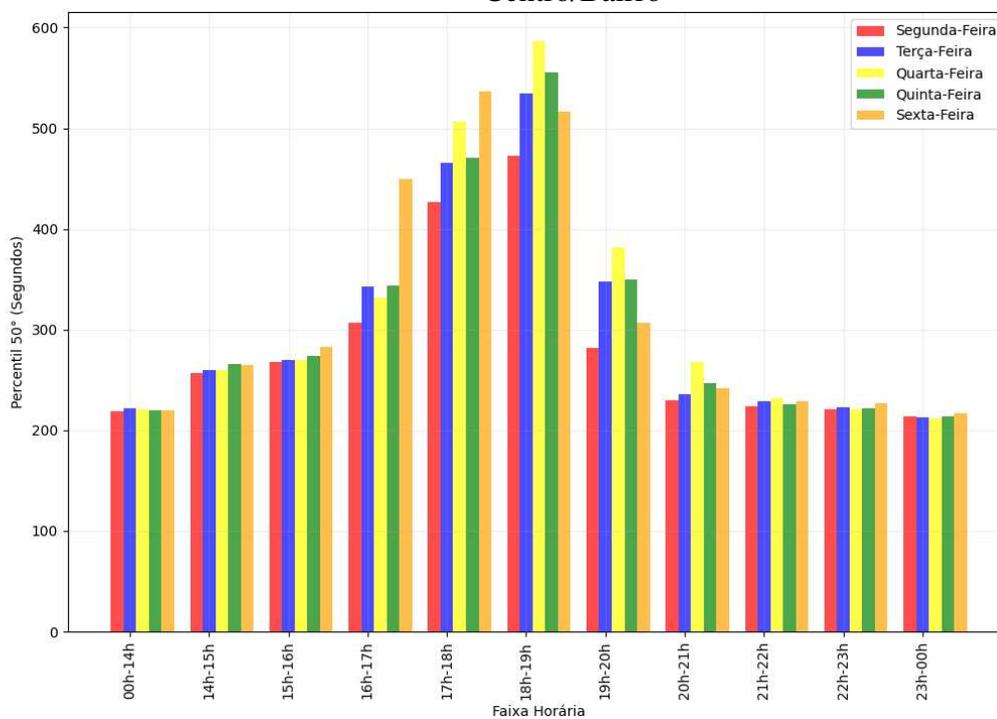


Figura A. 15: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– 90º Percentil– Sentido Bairro/Centro

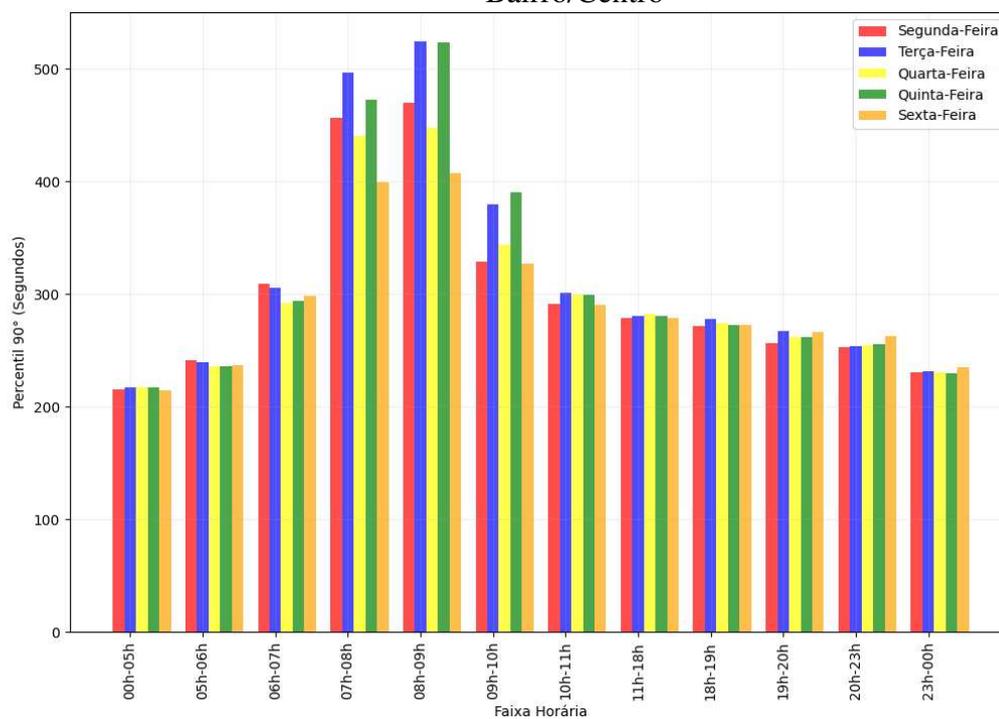


Figura A. 16: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– 90º Percentil– Sentido Centro/Bairro

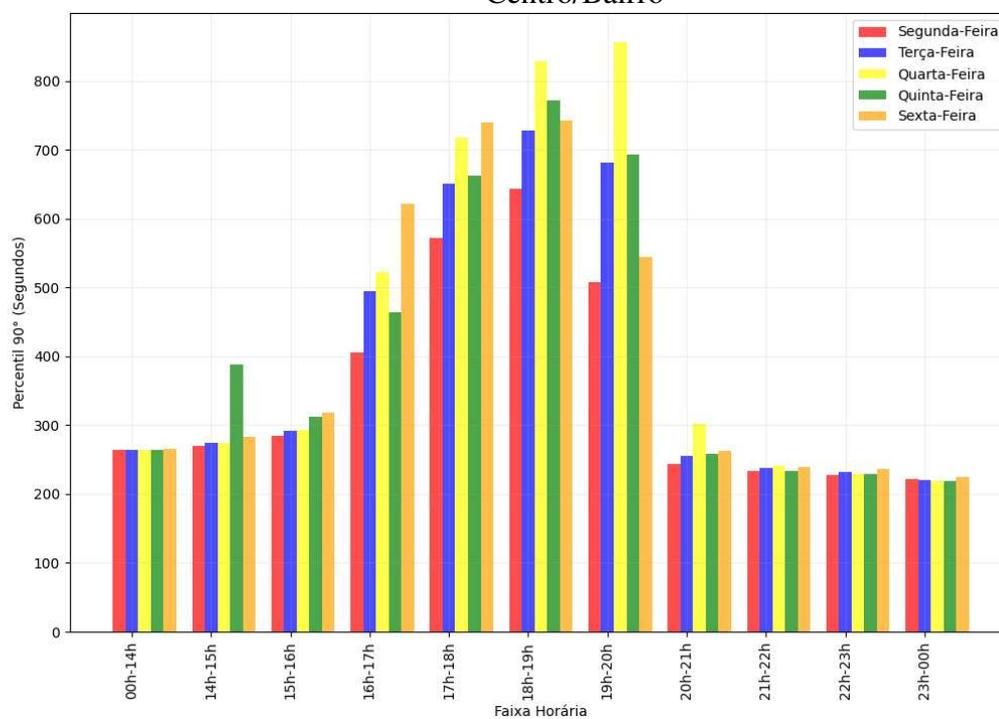


Figura A. 17: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– 95º Percentil– Sentido Bairro/Centro

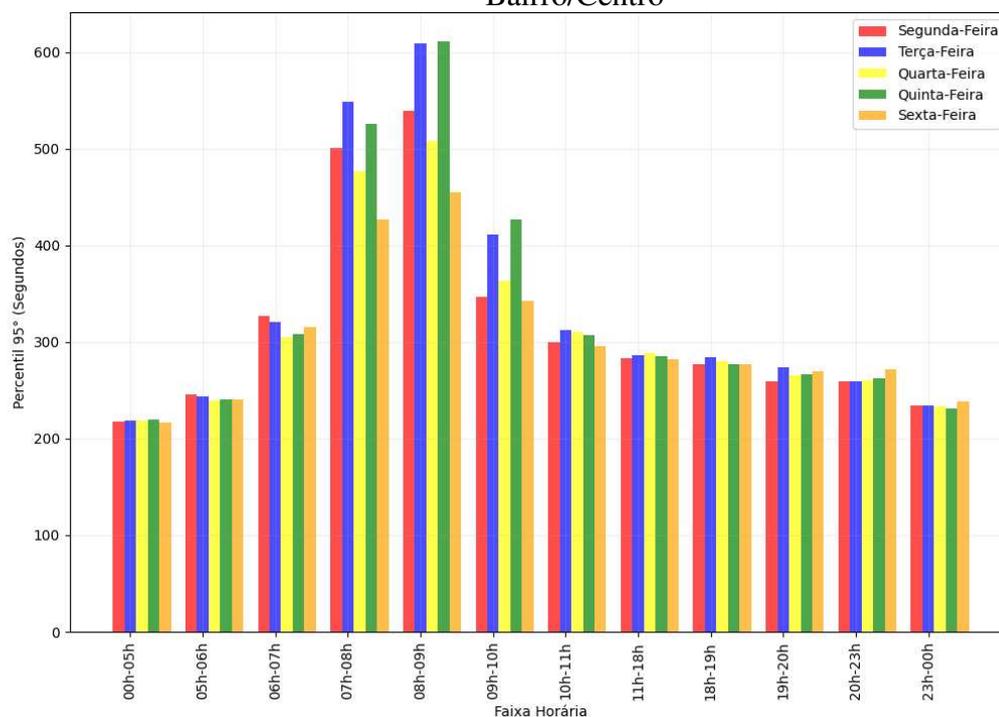


Figura A. 18: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– 95º Percentil– Sentido Centro/Bairro

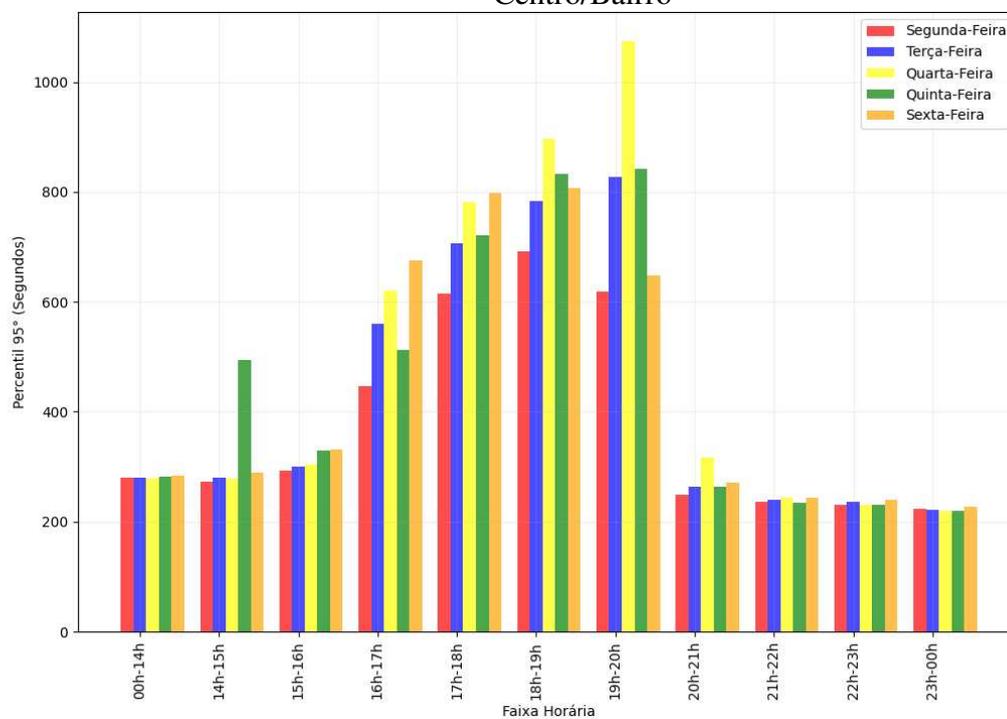


Figura A. 19: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– Média do tempo de Viagem– Sentido Bairro/Centro – distribuição teórica

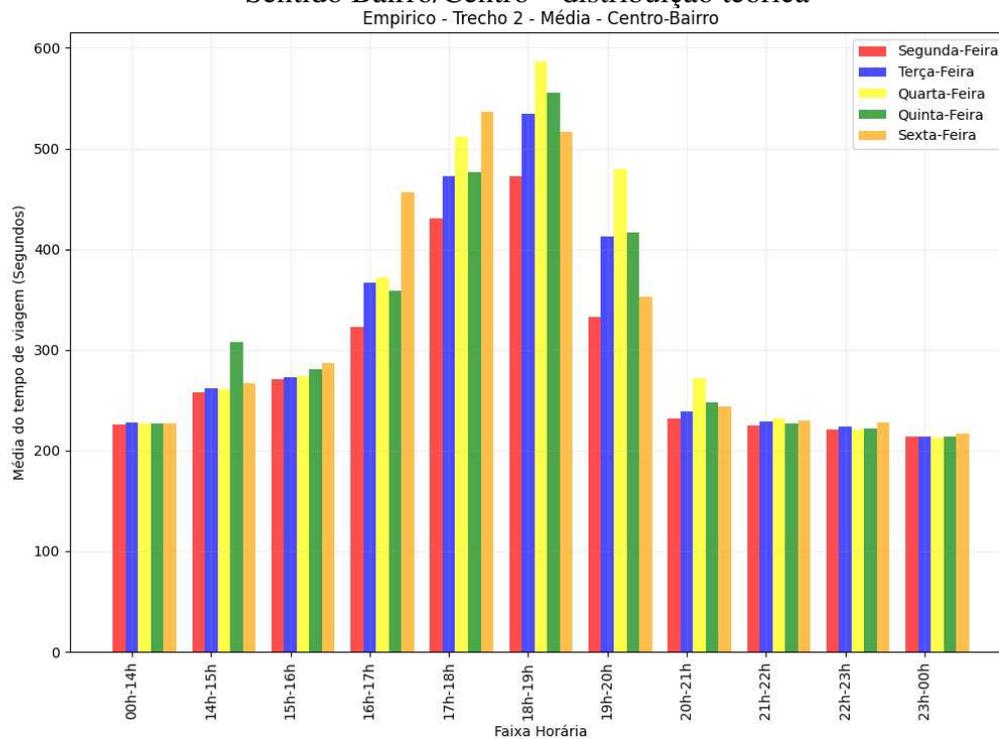
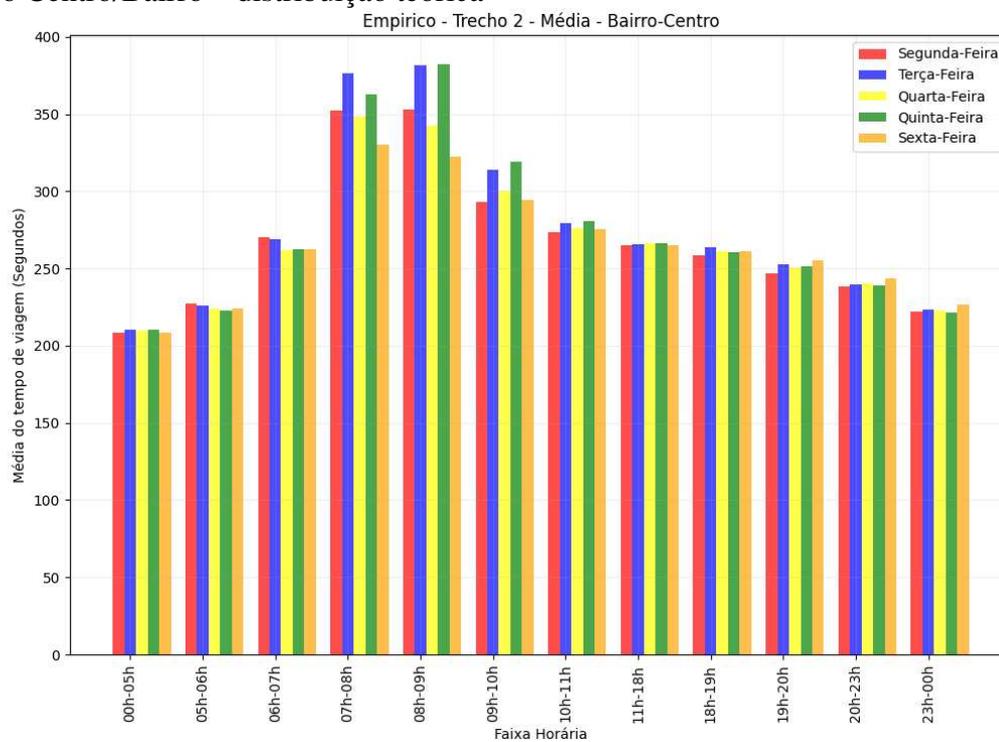


Figura A. 20: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– Média do tempo de viagem– Sentido Centro/Bairro – distribuição teórica



Trecho Viário 3 – Distribuições Teóricas

Figura A. 21: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira– 10º Percentil– Sentido Bairro/Centro

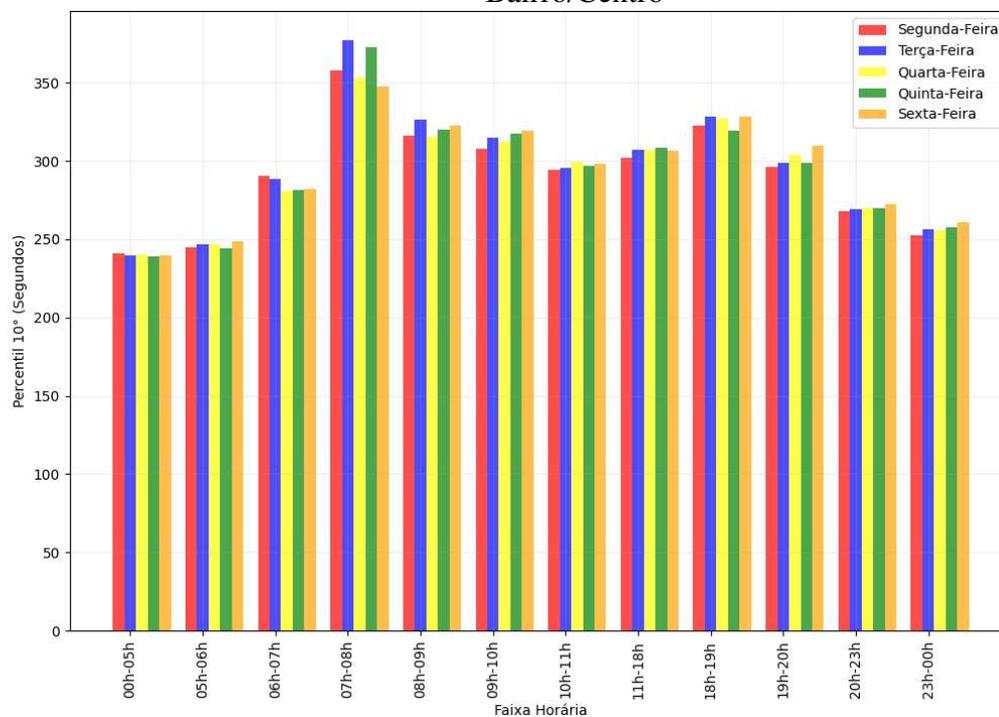


Figura A. 22: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira– 10º Percentil– Sentido Centro/Bairro

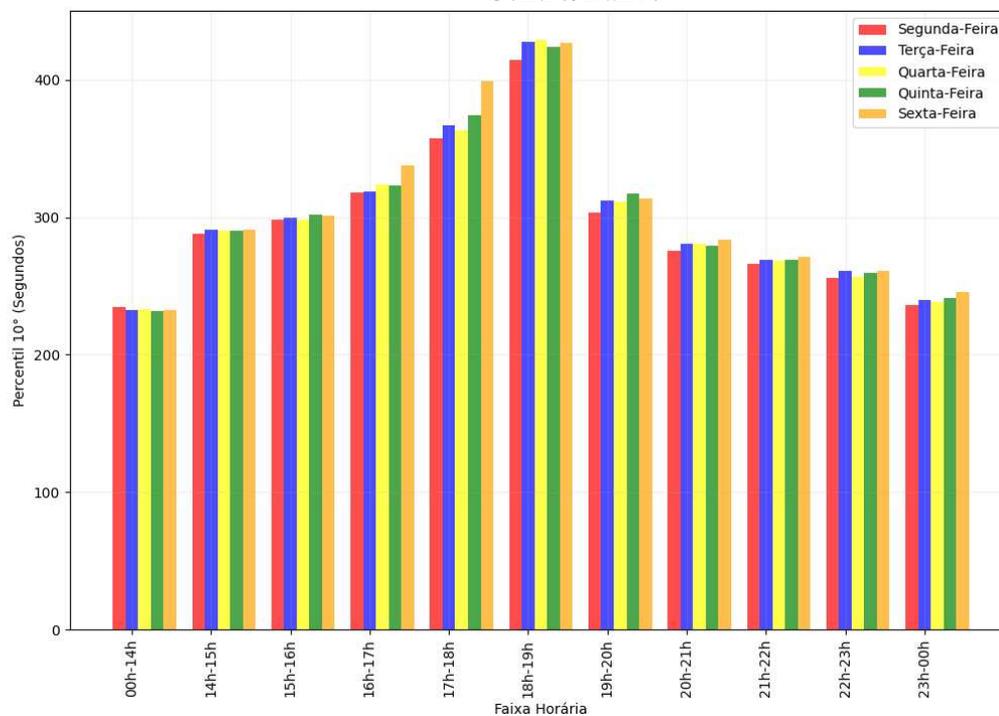


Figura A. 23: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira– 50º Percentil– Sentido Bairro/Centro

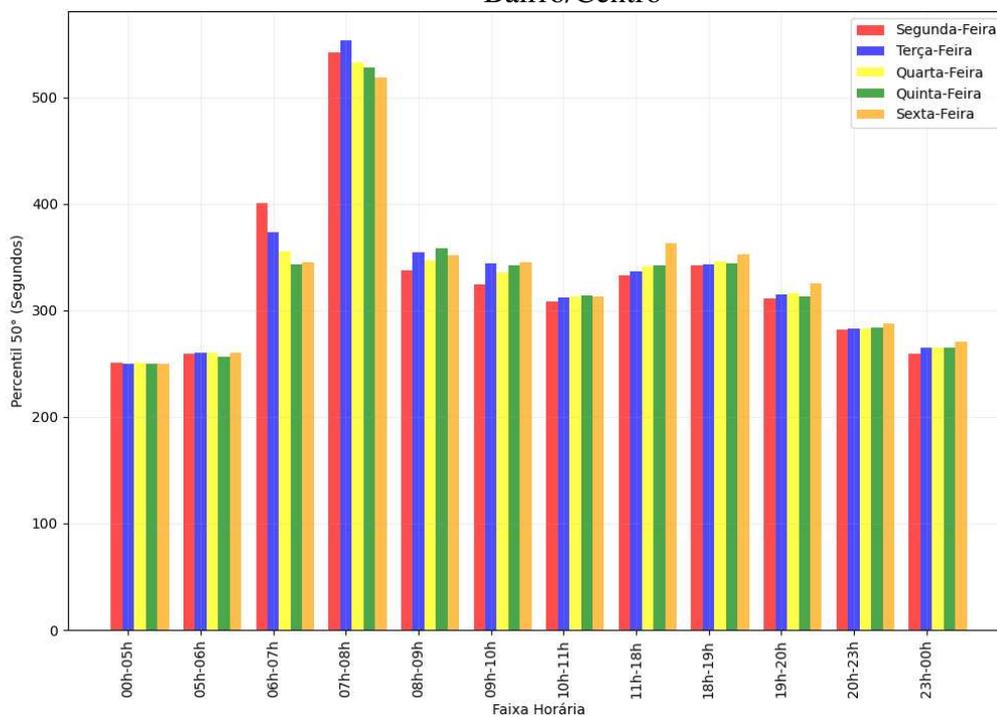


Figura A. 24: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira– 50º Percentil– Sentido Centro/Bairro

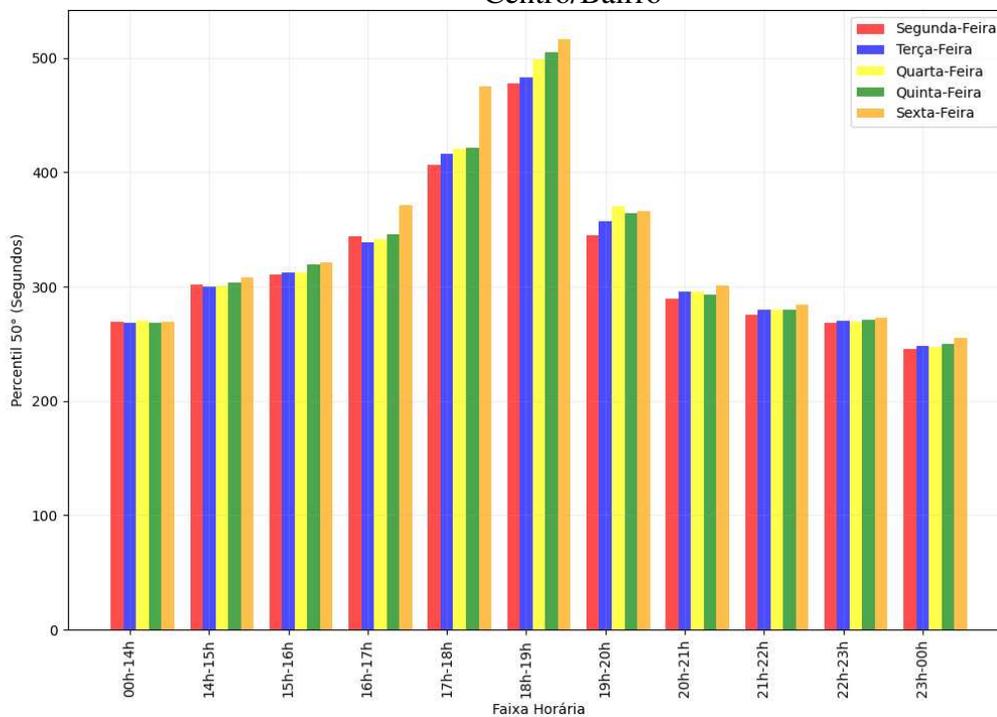


Figura A. 25: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira– 90º Percentil– Sentido Bairro/Centro

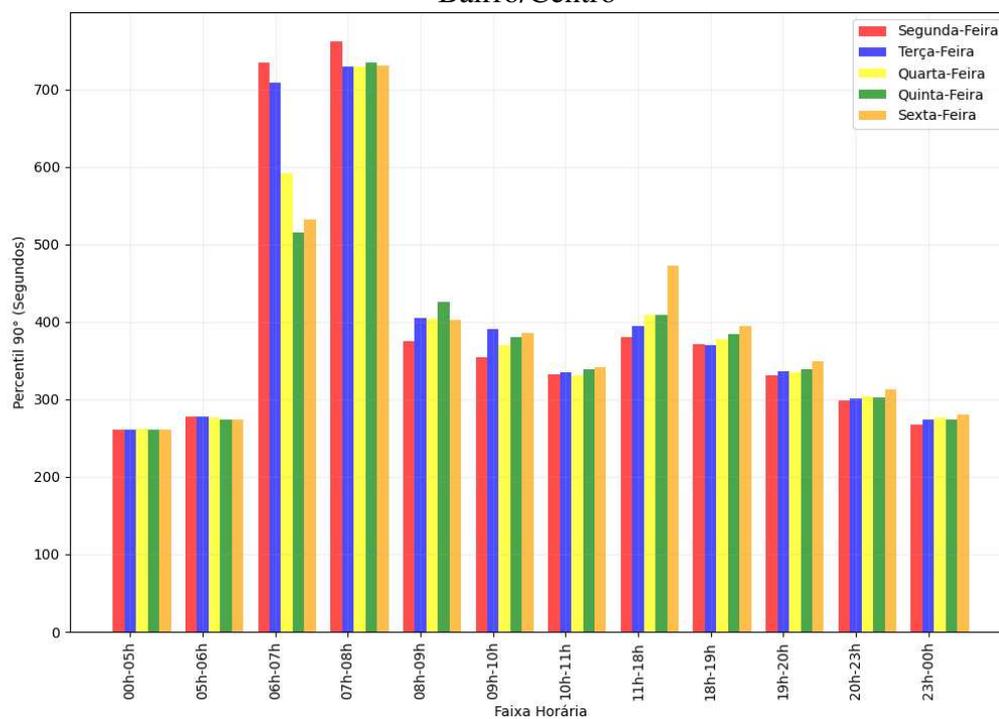


Figura A. 26: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira– 90º Percentil– Sentido Centro/Bairro

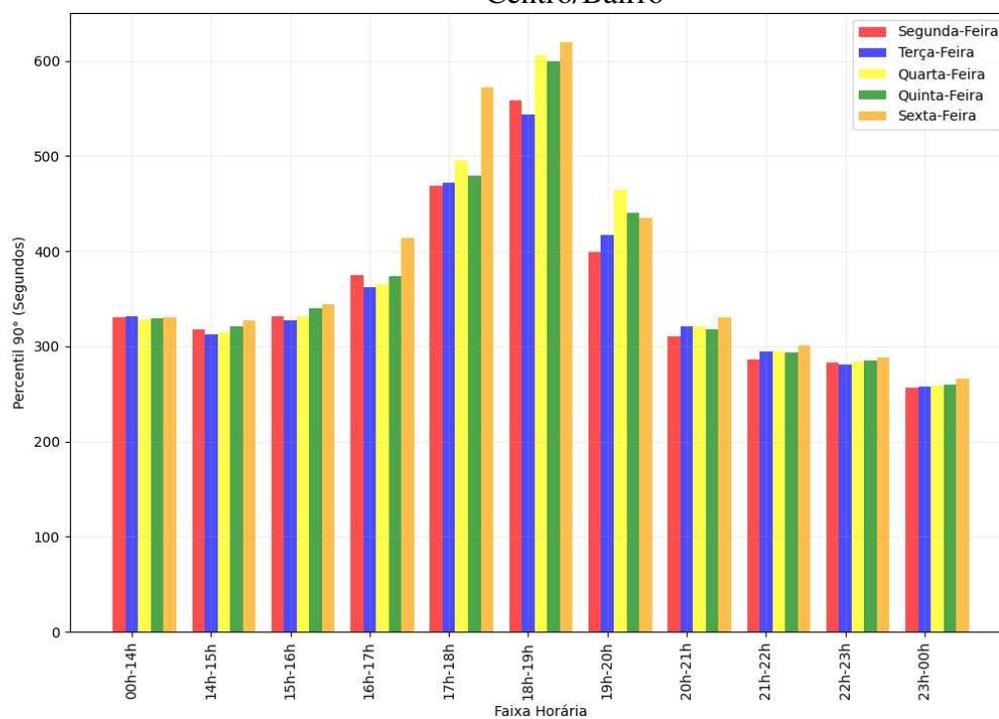


Figura A. 27: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira– 95° Percentil– Sentido Bairro/Centro

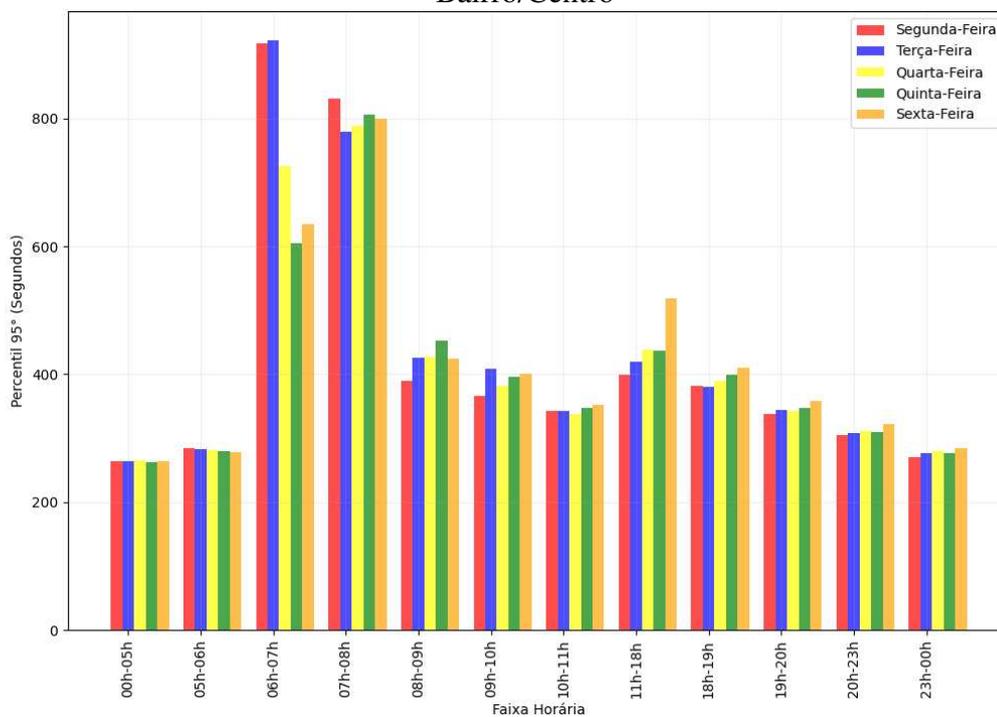


Figura A. 28: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira– 95° Percentil– Sentido Centro/Bairro

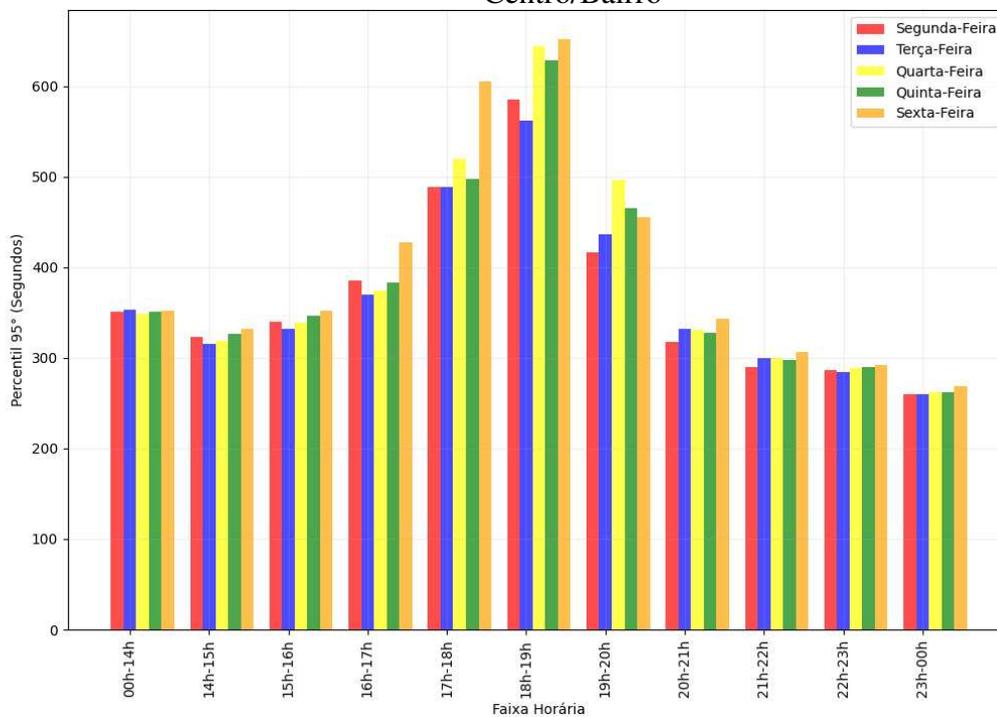


Figura A. 29: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira– Média do tempo de Viagem– Sentido Bairro/Centro – distribuição teórica

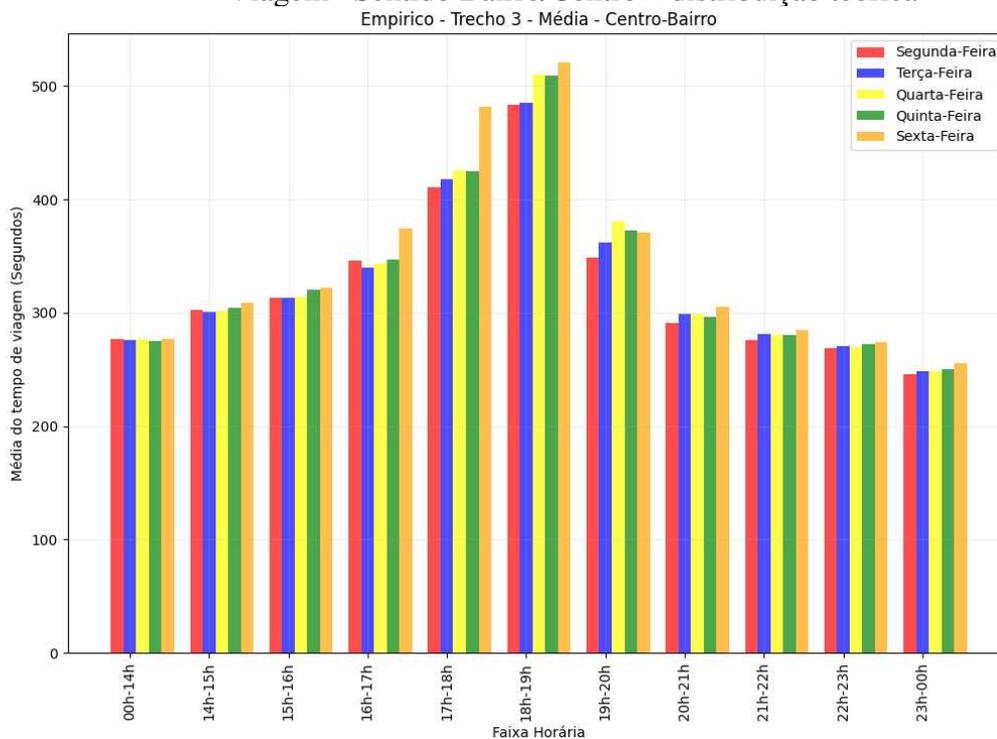
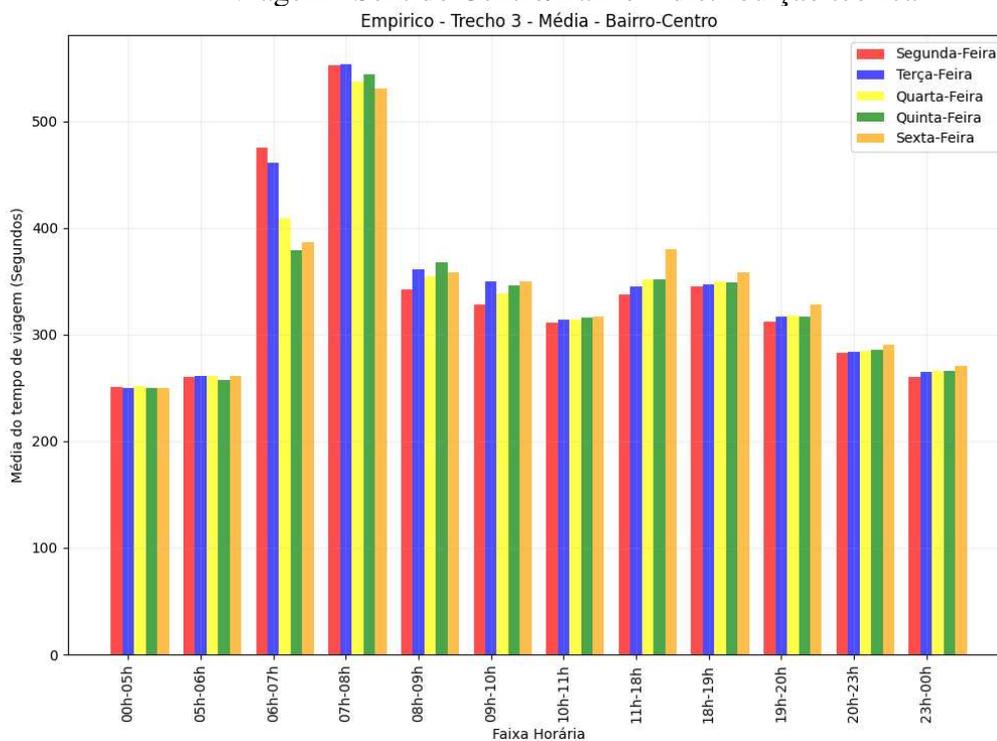


Figura A. 30: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira– Média do tempo de Viagem– Sentido Centro/Bairro – distribuição teórica



Trecho Viário 4 – Distribuições Teóricas

Figura A. 31: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos– 10º Percentil– Sentido Leste/Oeste

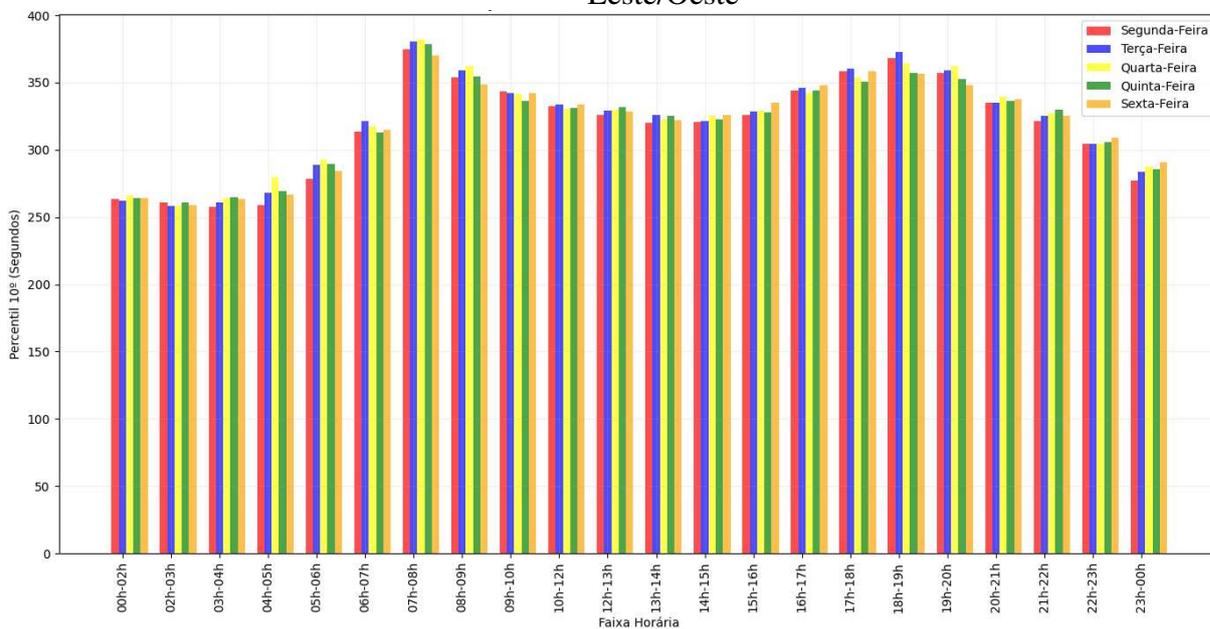


Figura A. 32: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos– 10º Percentil– Sentido Oeste/Leste

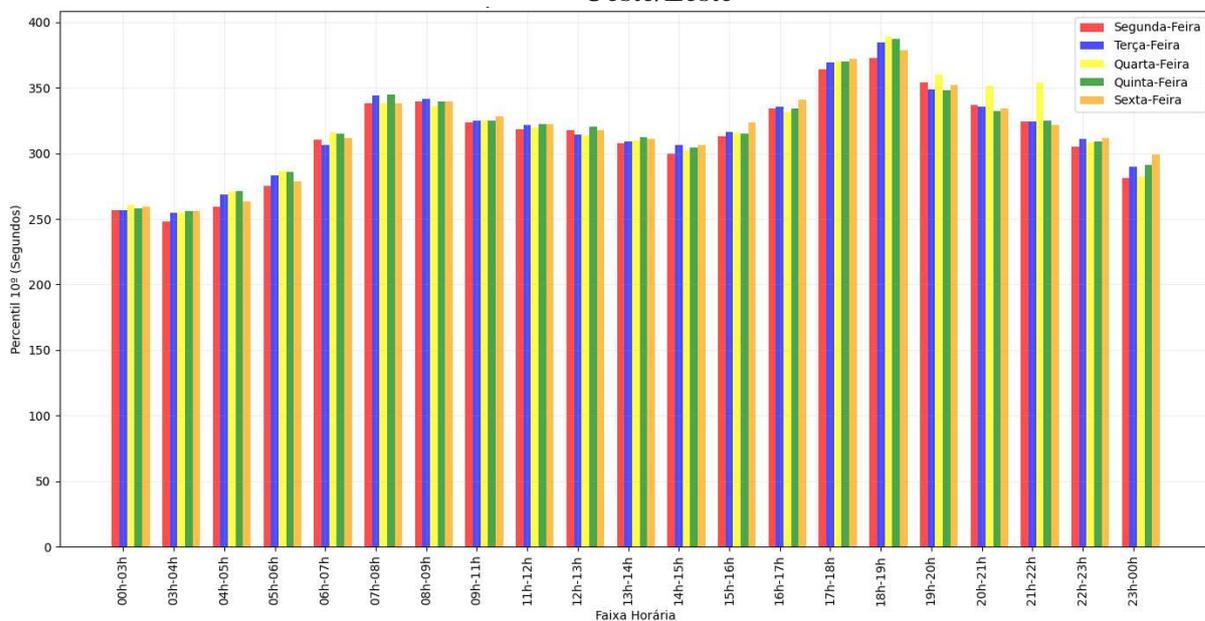


Figura A. 33: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos– 50º Percentil– Sentido Leste/Oeste

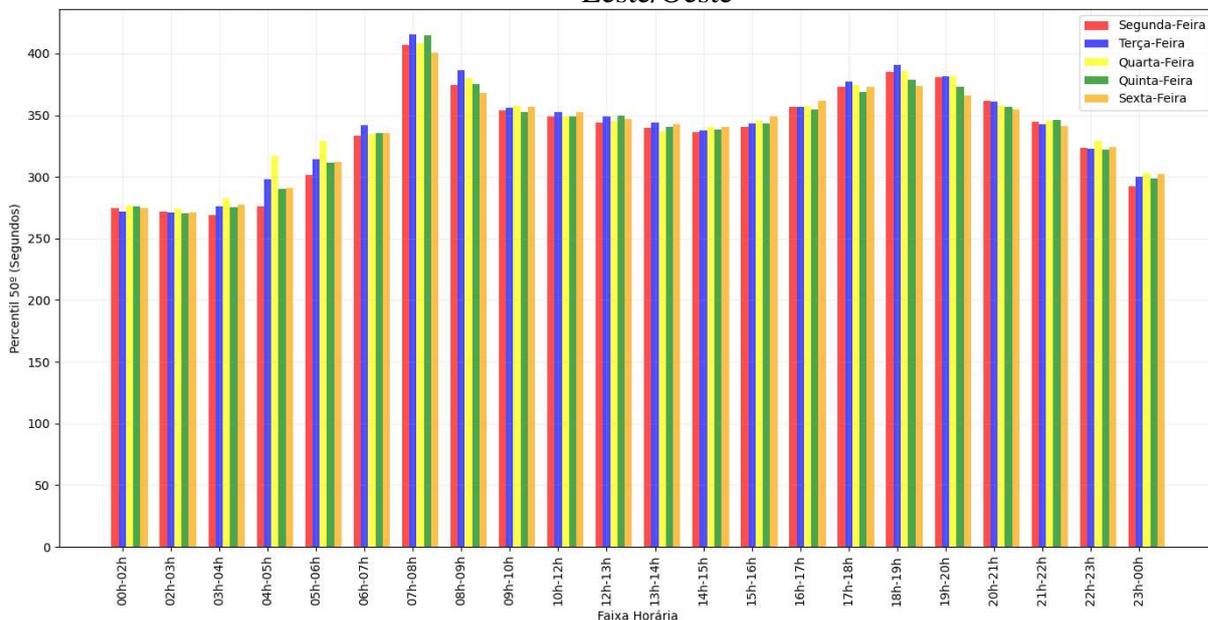


Figura A. 34: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos– 50º Percentil– Sentido Oeste/Leste

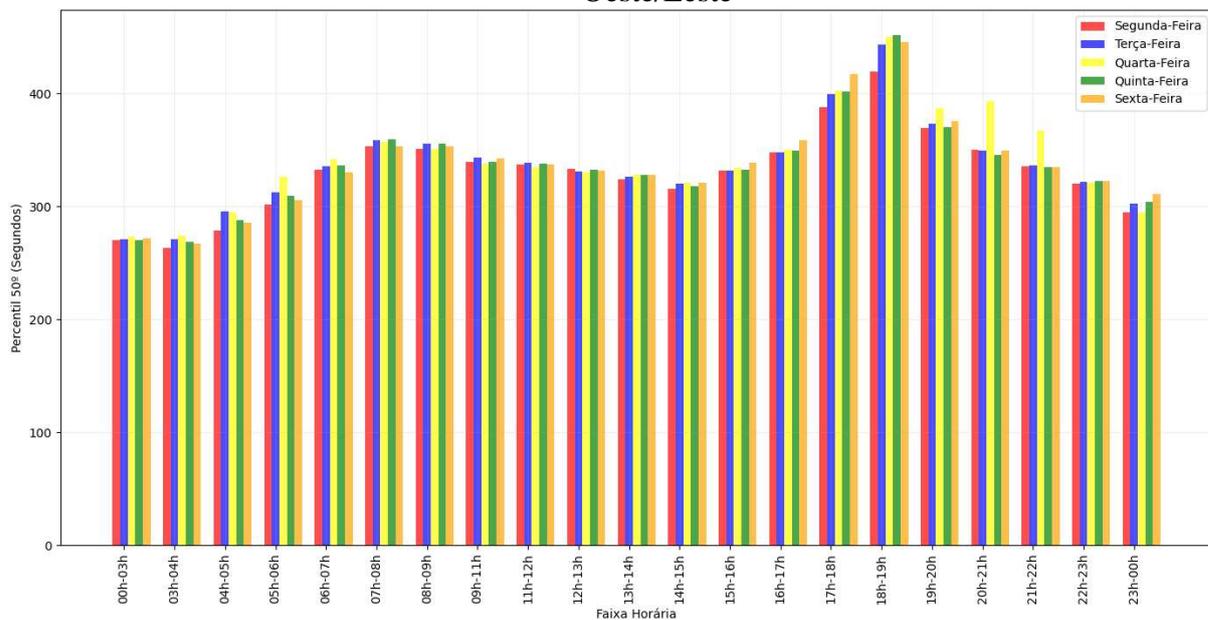


Figura A. 35: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos– 90º Percentil– Sentido Leste/Oeste

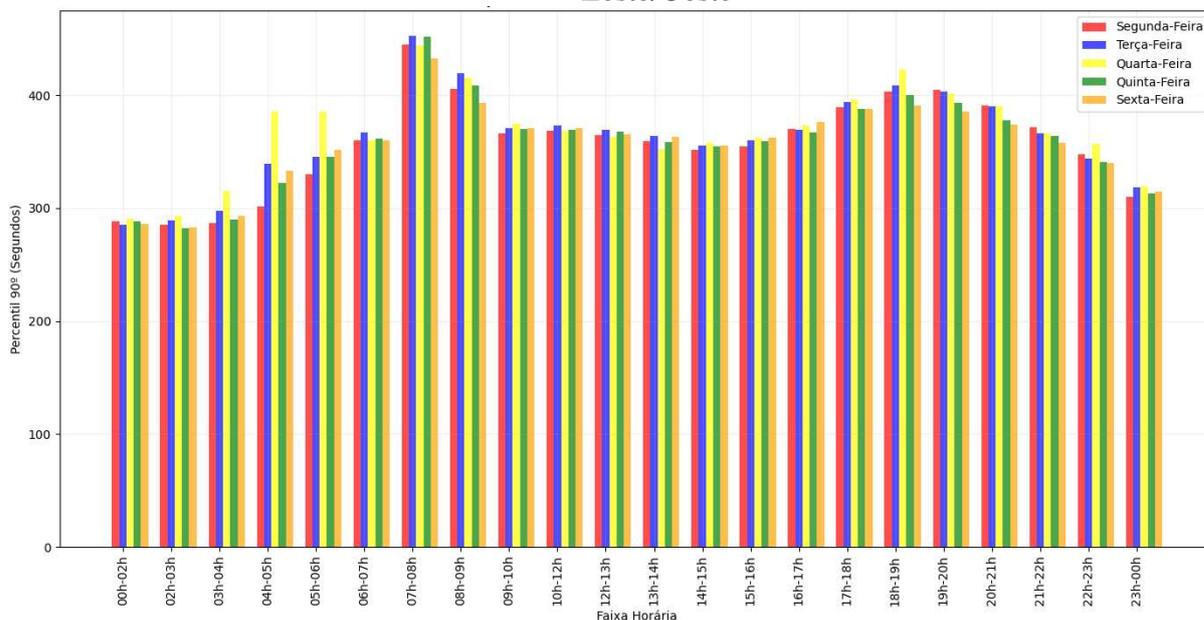


Figura A. 36: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos– 90º Percentil– Sentido Oeste/Leste

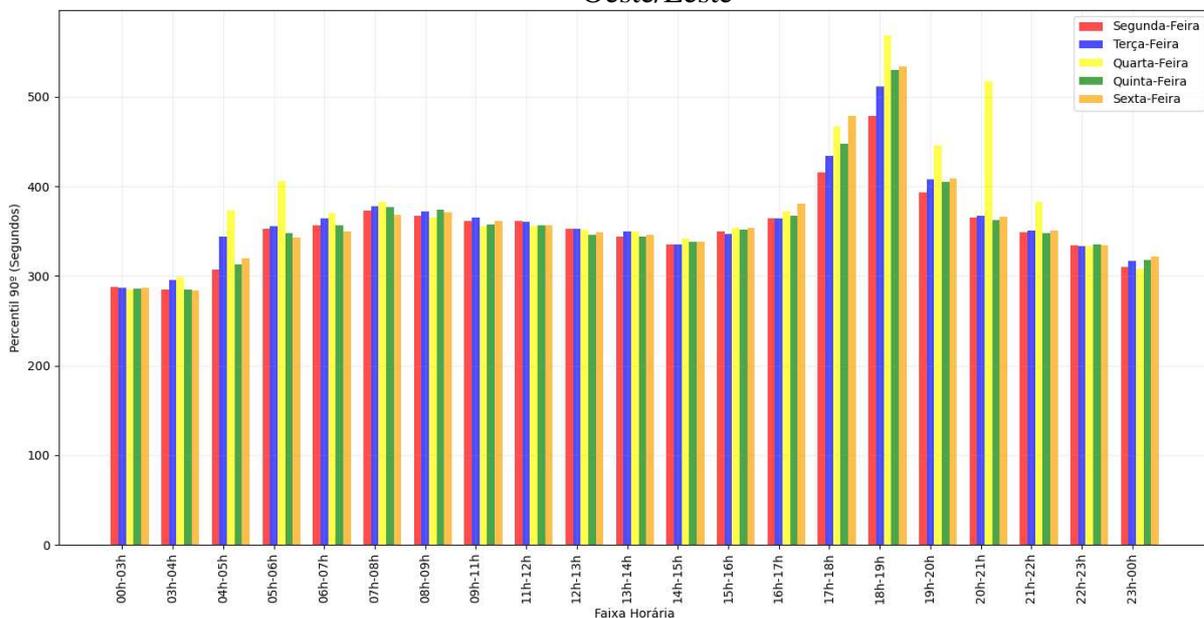


Figura A. 37: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos– 95º Percentil– Sentido Leste/Oeste

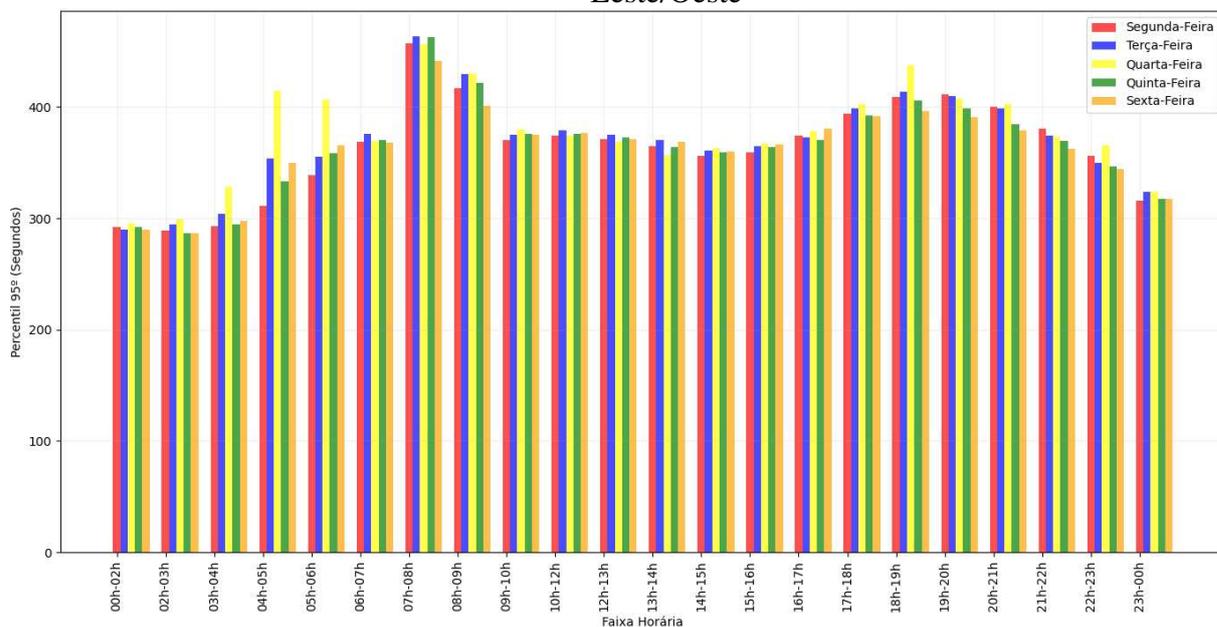


Figura A. 38: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos– 95º Percentil– Sentido Oeste/Leste

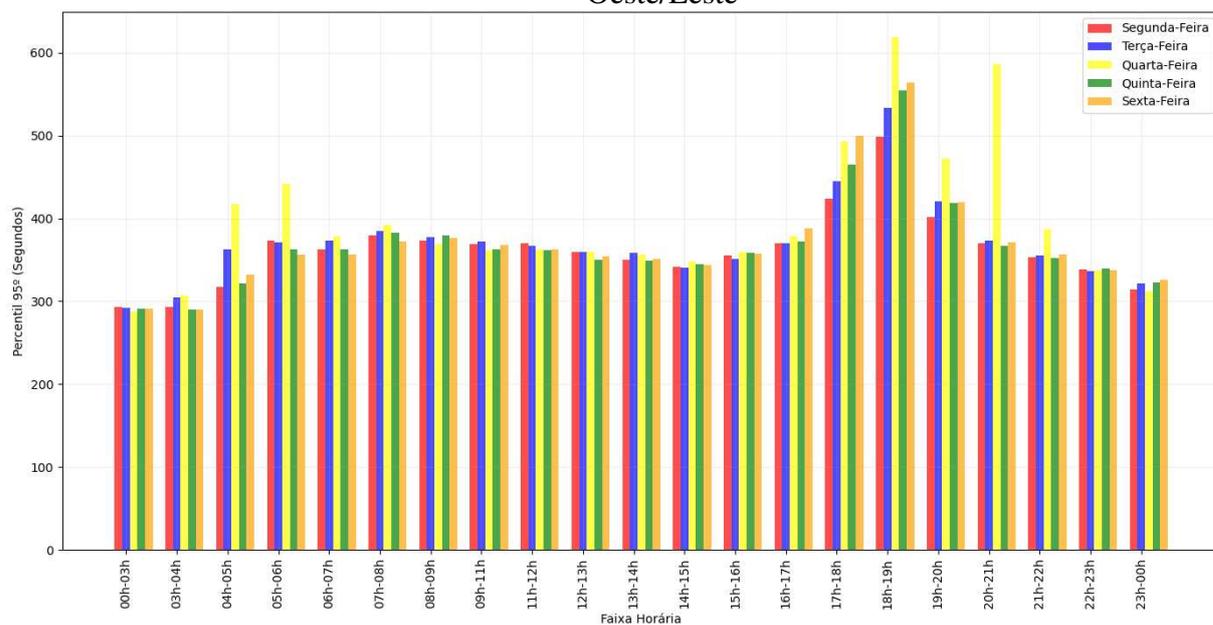


Figura A. 39: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos– Média do tempo de Viagem– Sentido Leste/Oeste – distribuição teórica

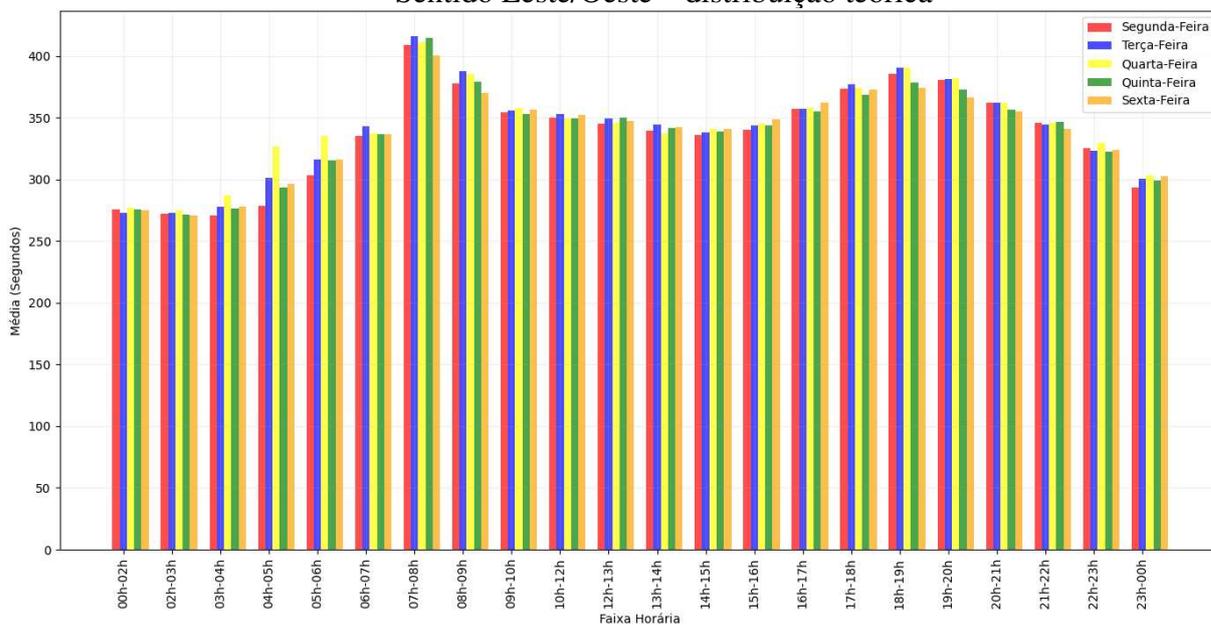
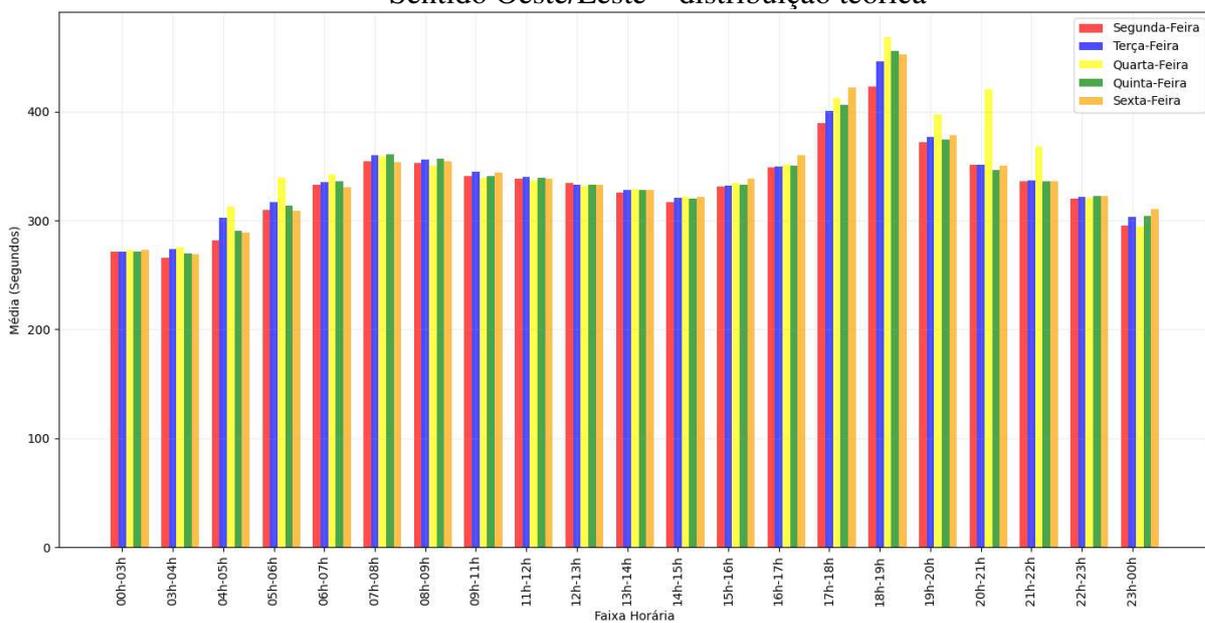


Figura A. 40: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos– Média do tempo de Viagem– Sentido Oeste/Leste – distribuição teórica



Trecho Viário 1 – Dados Empíricos

Figura A. 41: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – 10º Percentil – Sentido Bairro/Centro

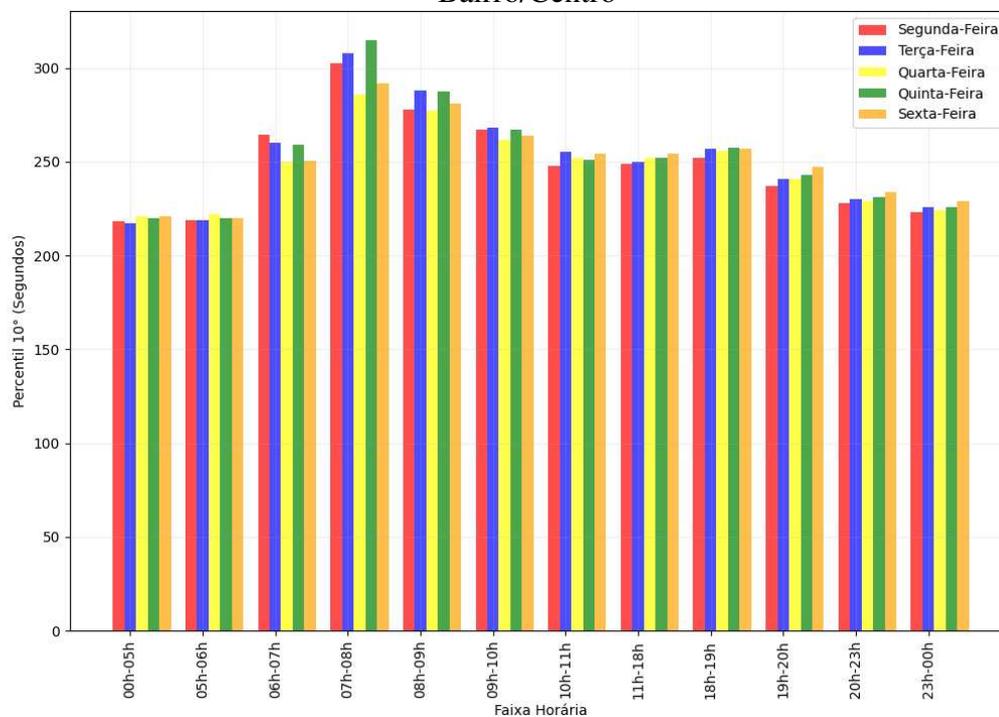


Figura A. 42: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – 10º Percentil – Sentido Centro/Bairro

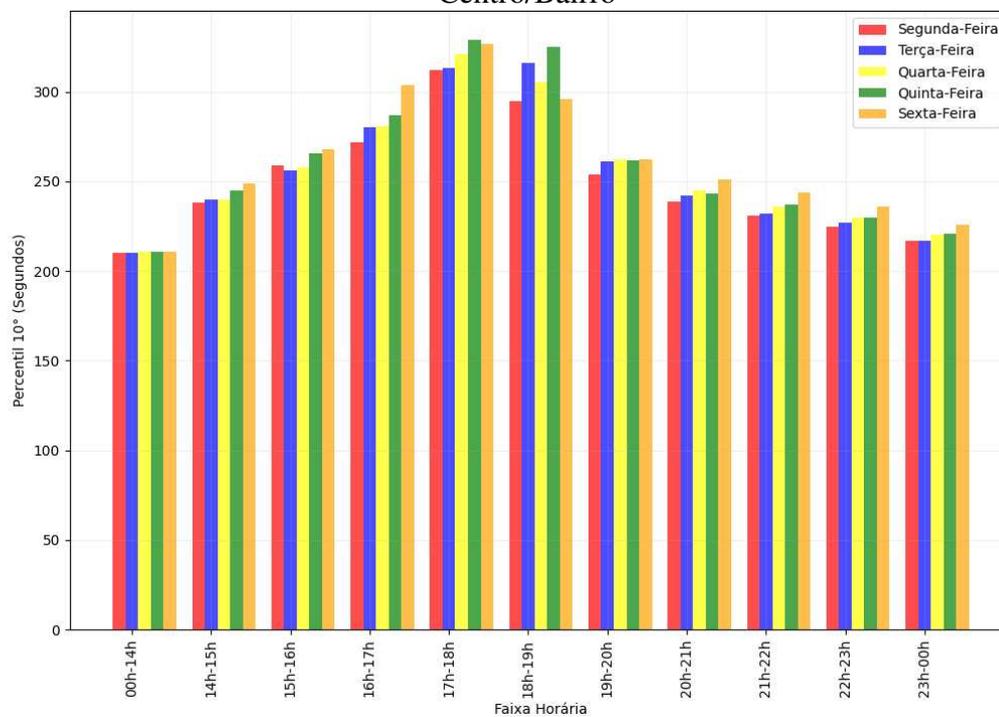


Figura A. 43: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – 50º Percentil – Sentido Bairro/Centro

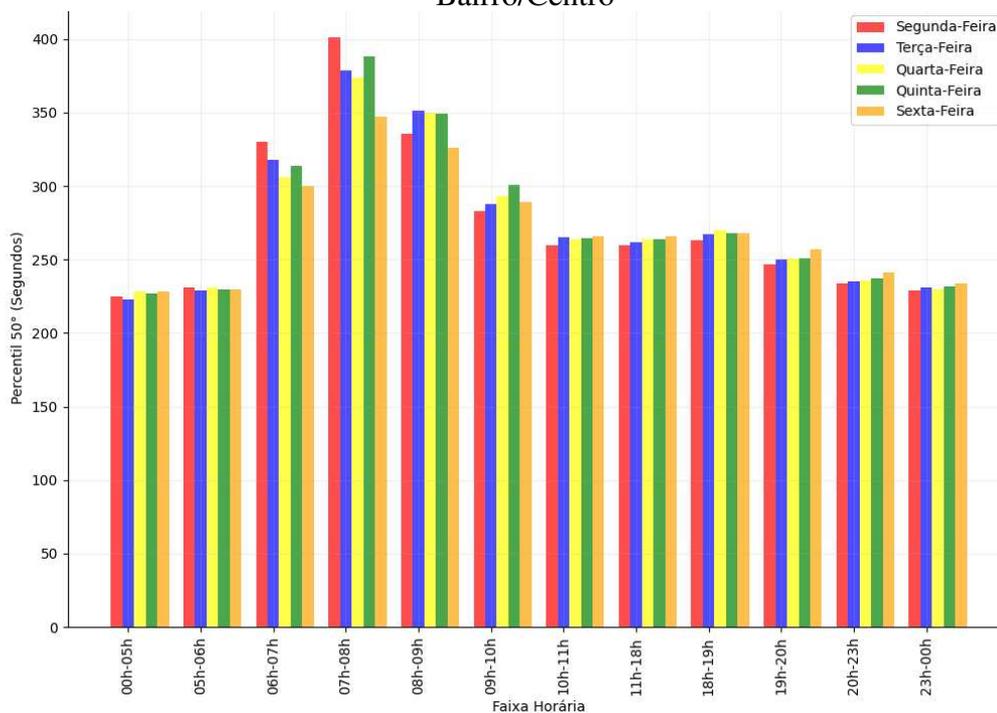


Figura A. 44: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – 50º Percentil – Sentido Centro/Bairro

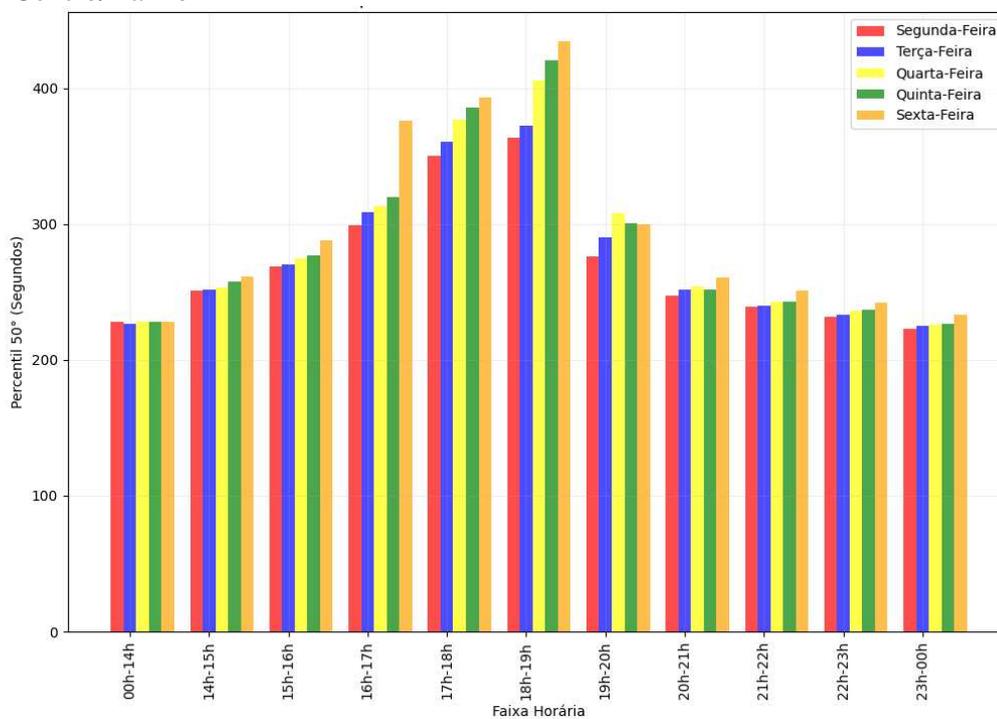


Figura A. 45: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – 90° Percentil – Sentido Bairro/Centro

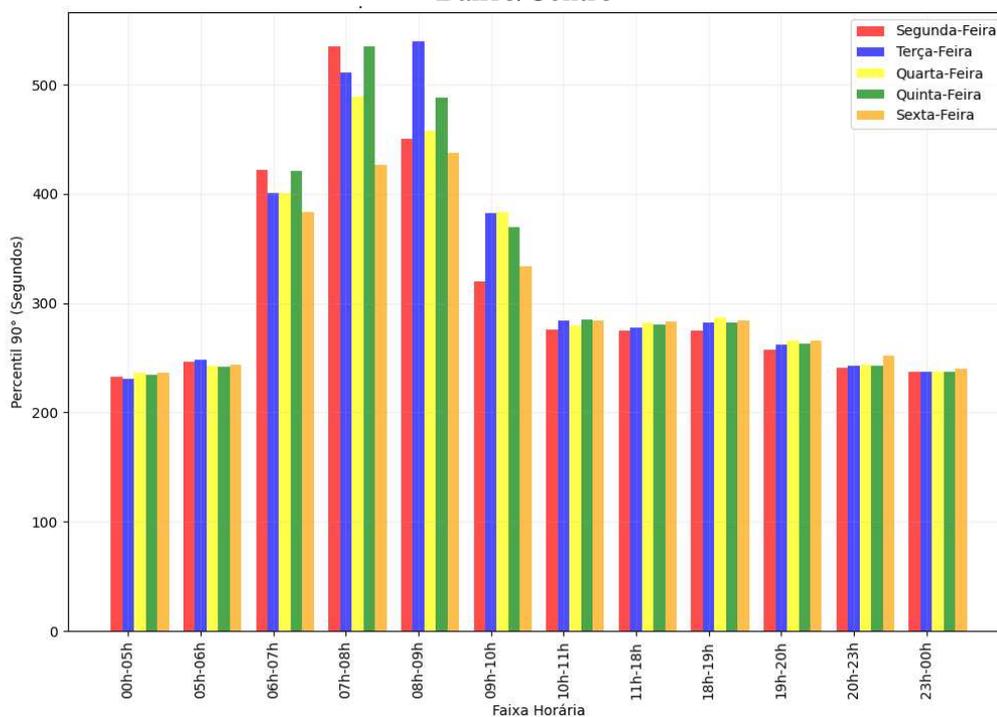


Figura A. 46: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – 90° Percentil – Sentido Centro/Bairro

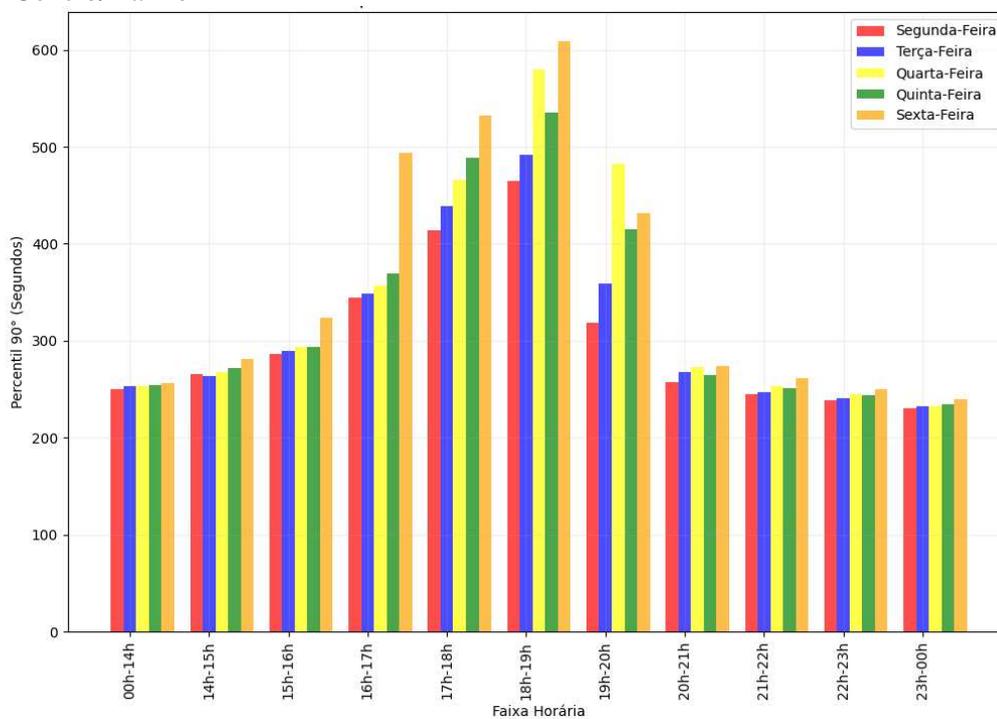


Figura A. 47: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – 95° Percentil – Sentido Bairro/Centro

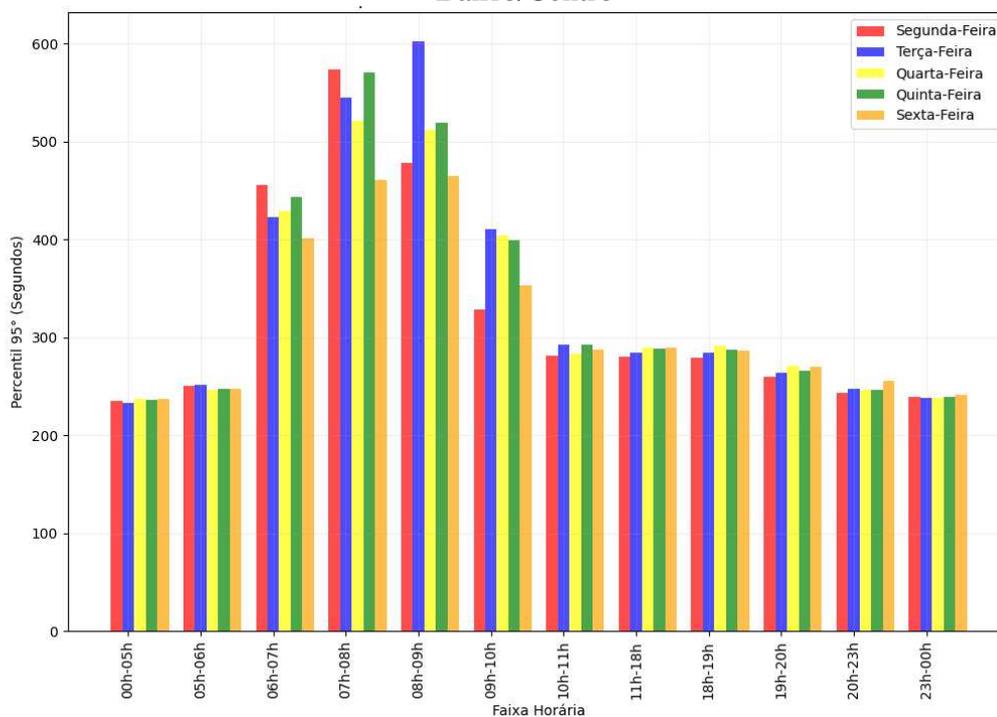


Figura A. 48: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – 95° Percentil – Sentido Centro/Bairro

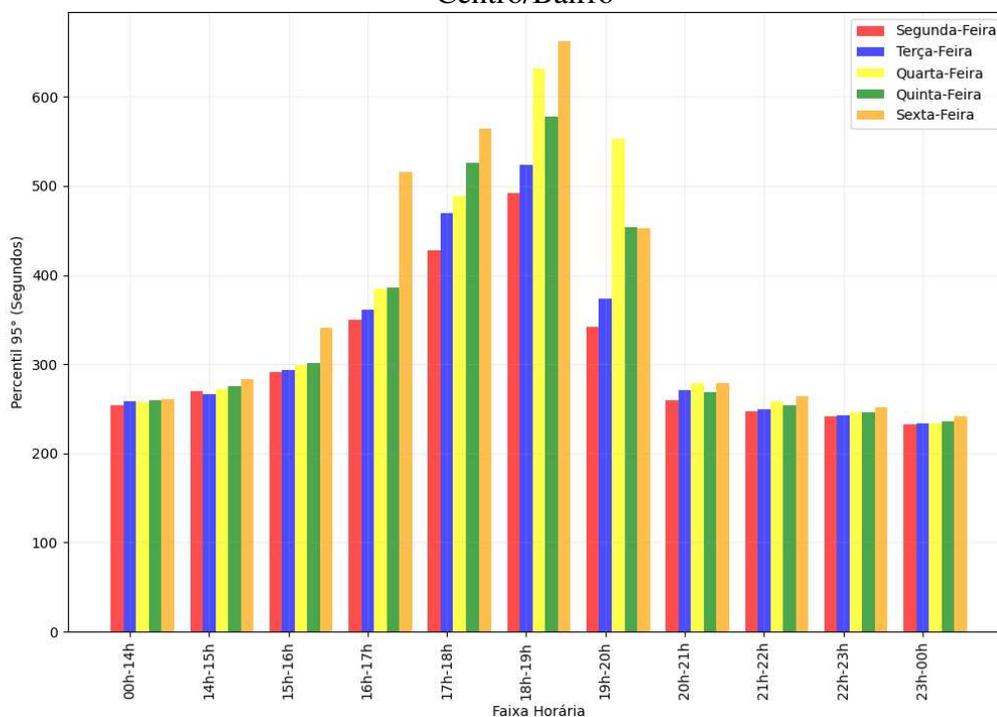


Figura A. 49: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – Média do tempo de viagem no Sentido Bairro/Centro – Dados Empíricos

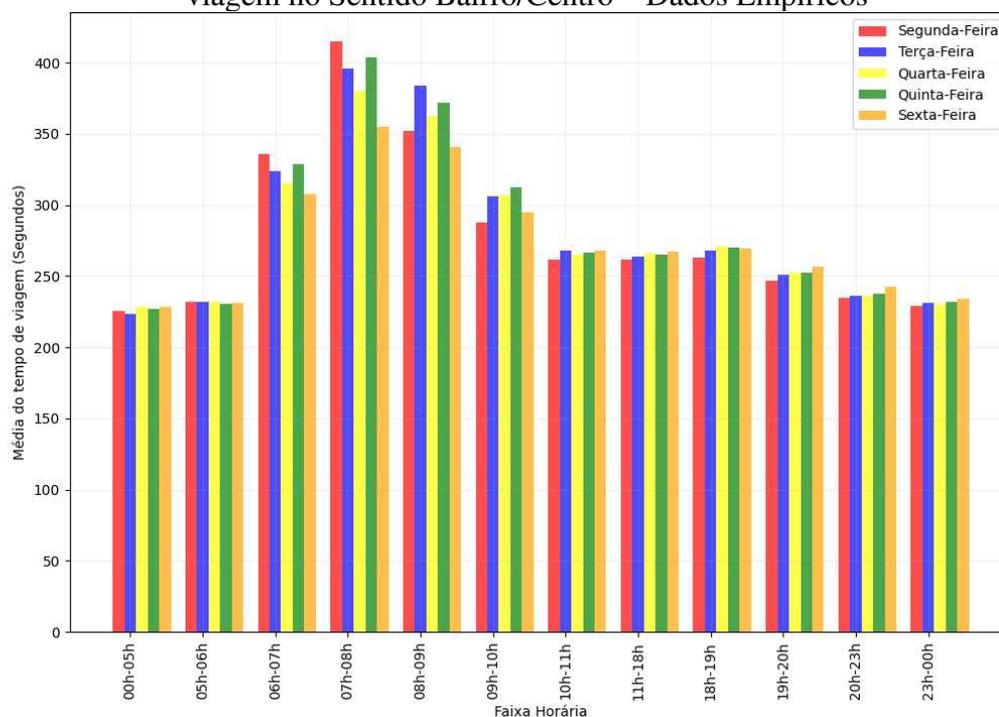
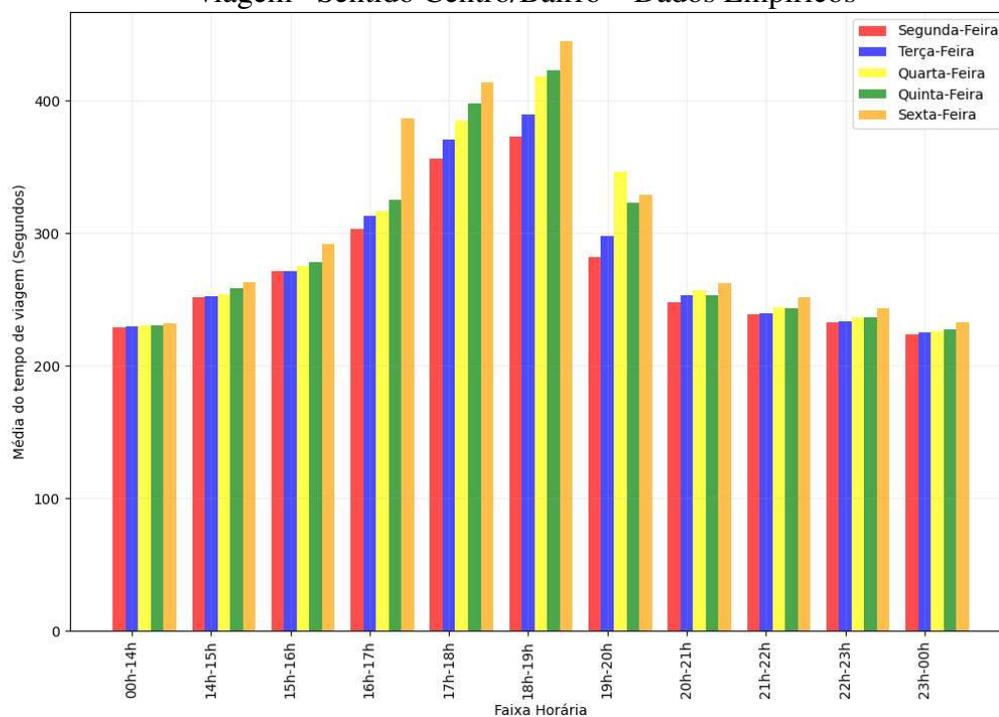


Figura A. 50: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – Média do tempo de viagem – Sentido Centro/Bairro – Dados Empíricos



Trecho Viário 2 – Dados Empíricos

Figura A. 51: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– 10º Percentil– Sentido Bairro/Centro

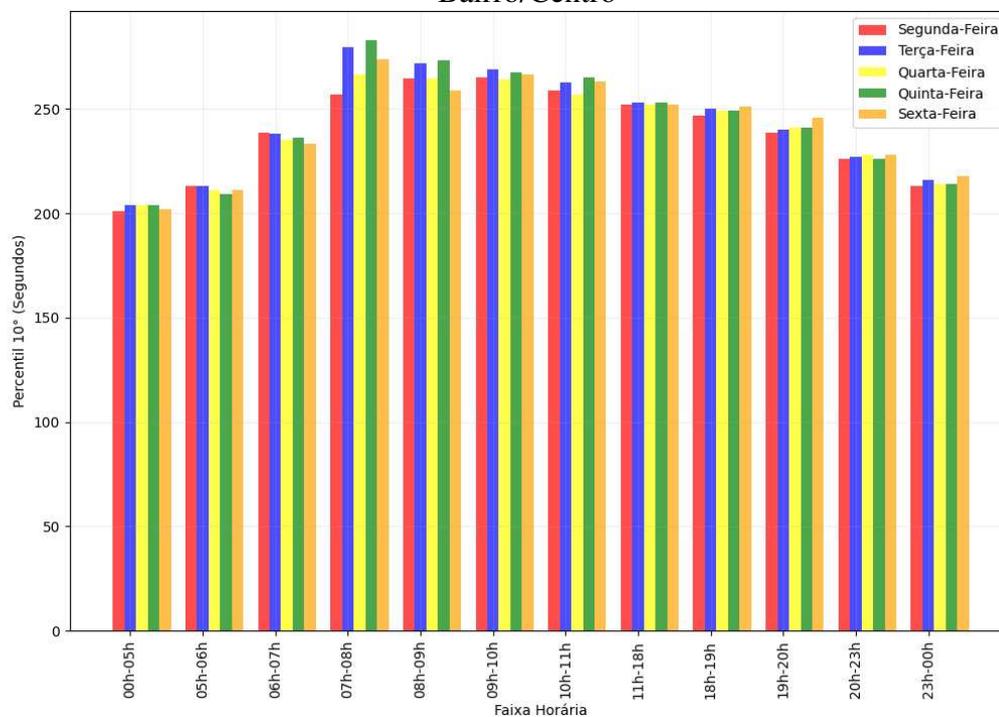


Figura A. 52: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado – 10º Percentil – Sentido Centro/Bairro

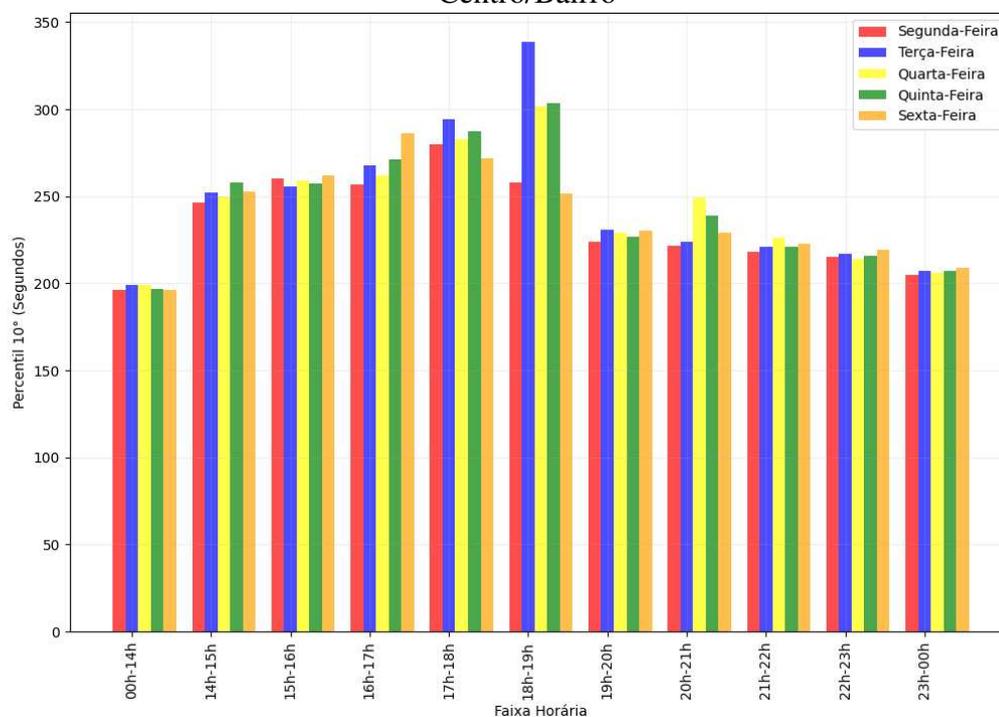


Figura A. 53: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado – 50º Percentil – Sentido Bairro/Centro

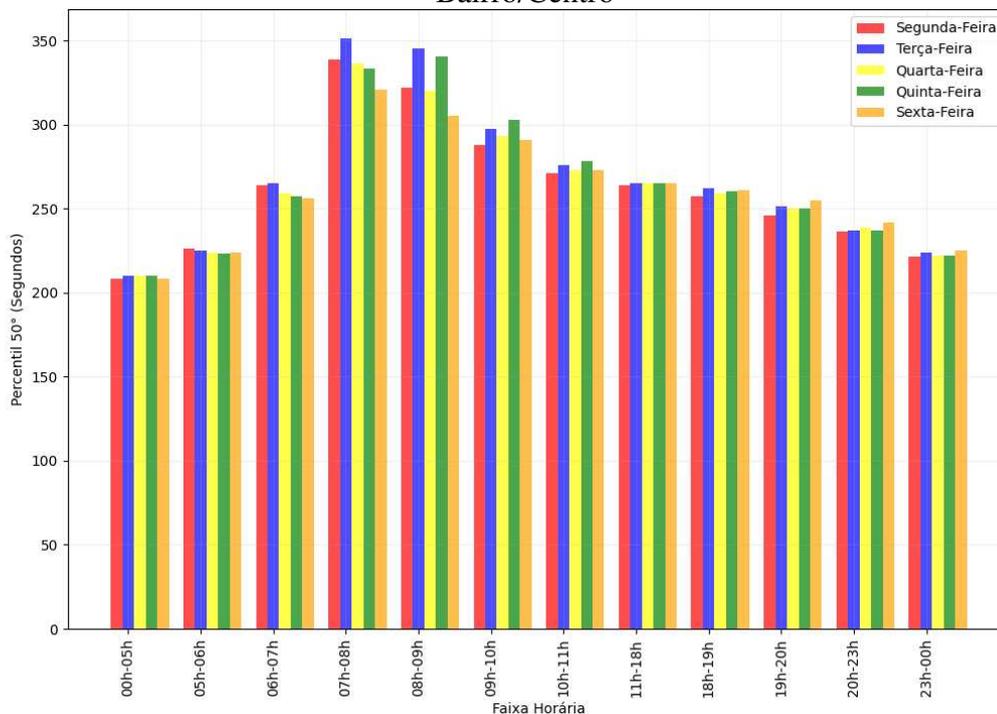


Figura A. 54: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado – 50º Percentil – Sentido Centro/Bairro

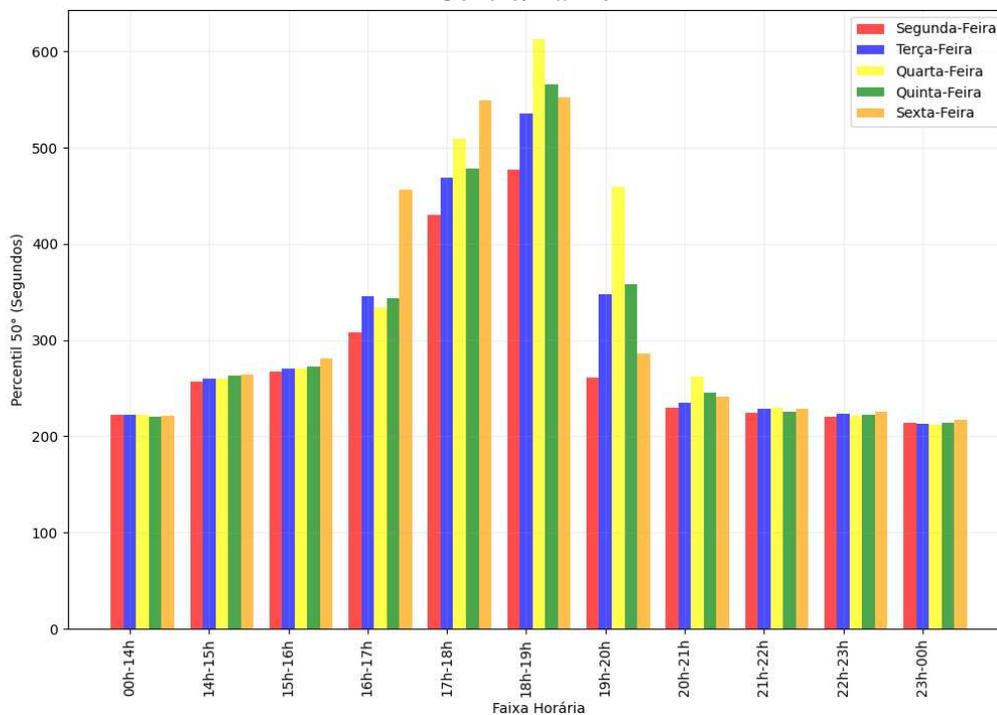


Figura A. 55: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– 90º Percentil – Sentido Bairro/Centro

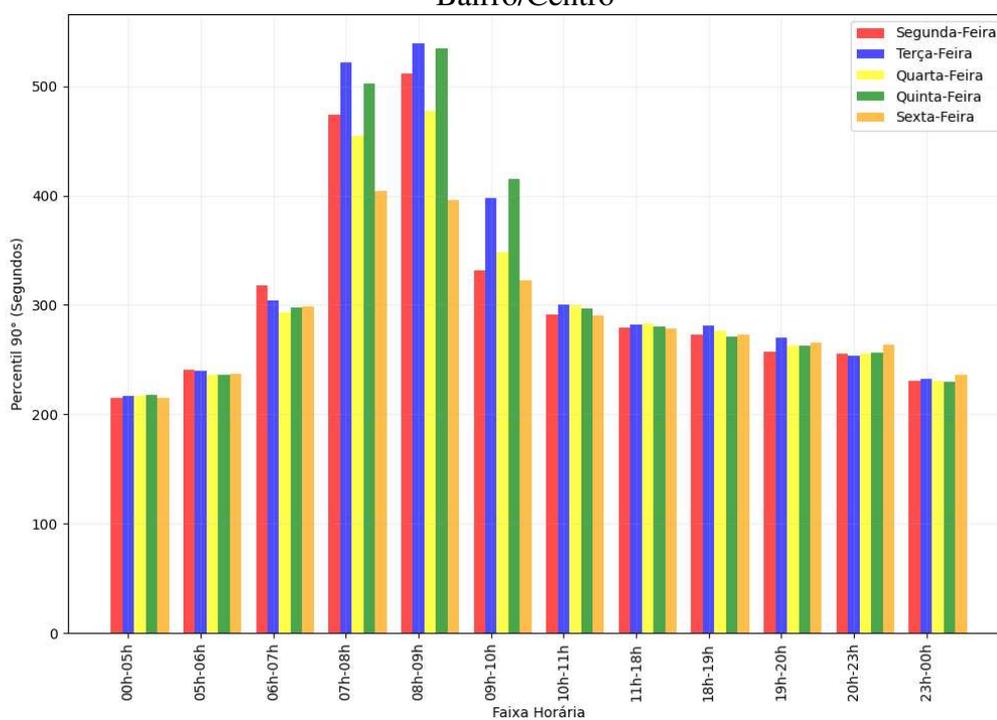


Figura A. 56: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– 90º Percentil – Sentido Centro/Bairro

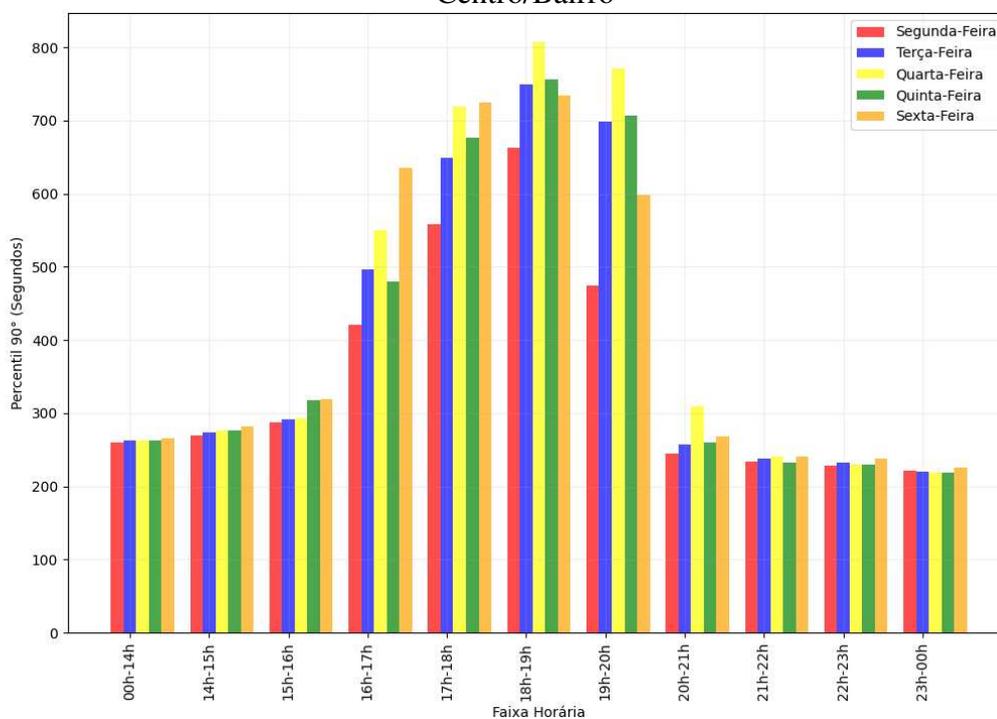


Figura A. 57: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado – 95º Percentil – Sentido Bairro/Centro

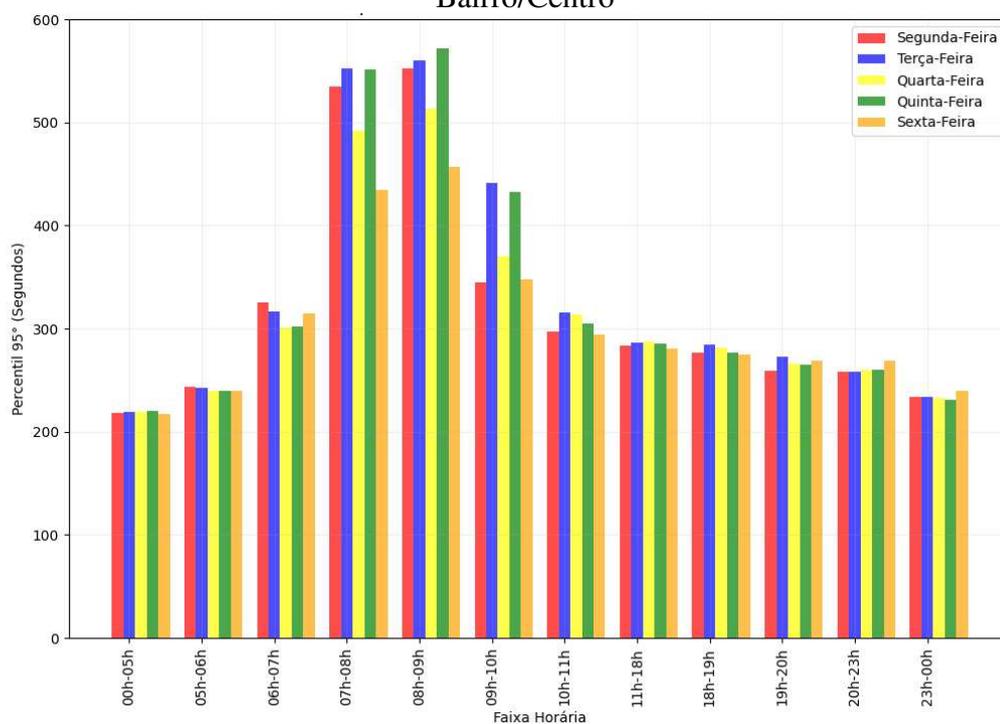


Figura A. 58: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado – 95º Percentil– Sentido Centro/Bairro

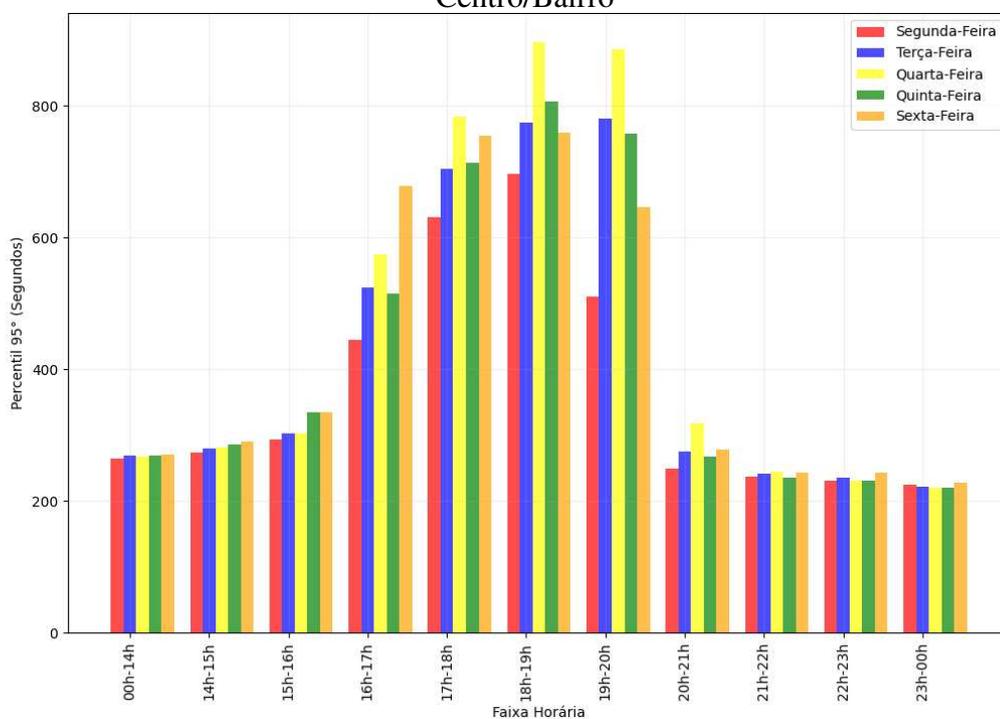


Figura A. 59: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– Média do tempo de Viagem– Sentido Bairro/Centro – Dados Empíricos

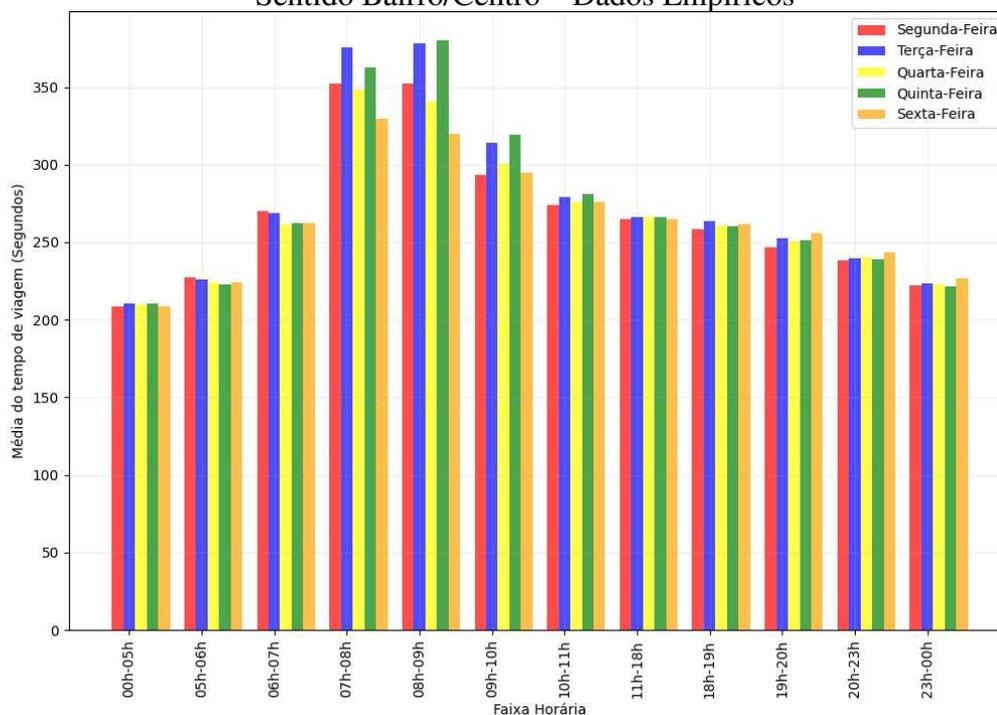
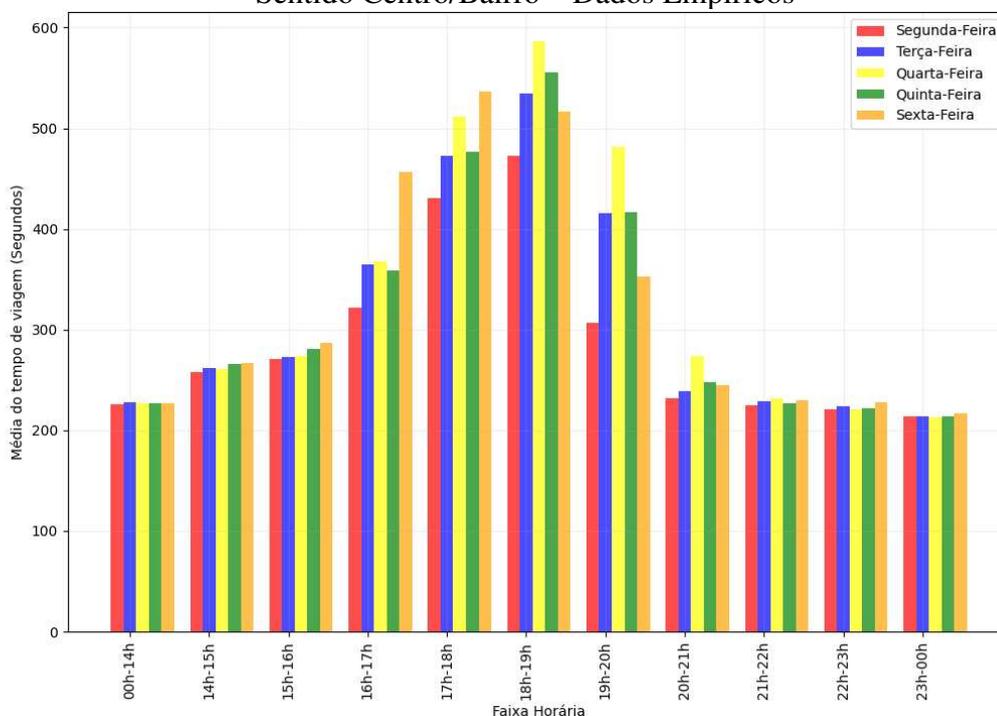


Figura A. 60: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– Média do tempo de viagem– Sentido Centro/Bairro – Dados Empíricos



Trecho Viário 3 – Dados Empíricos

Figura A. 61: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – 10º Percentil– Sentido Bairro/Centro

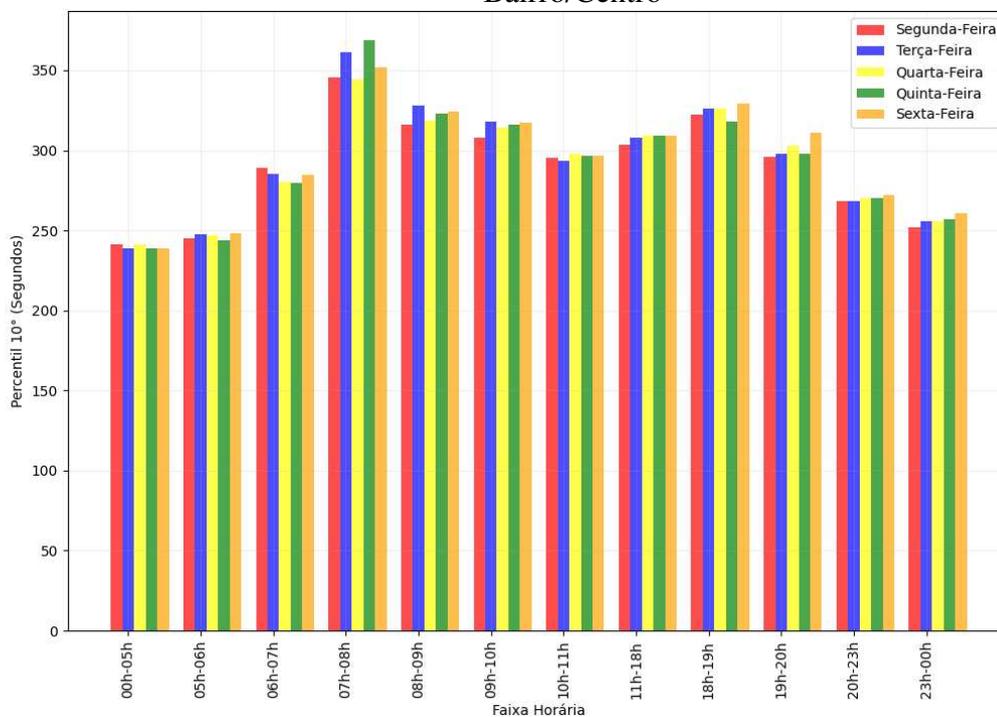


Figura A. 62: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – 10º Percentil– Sentido Centro/Bairro

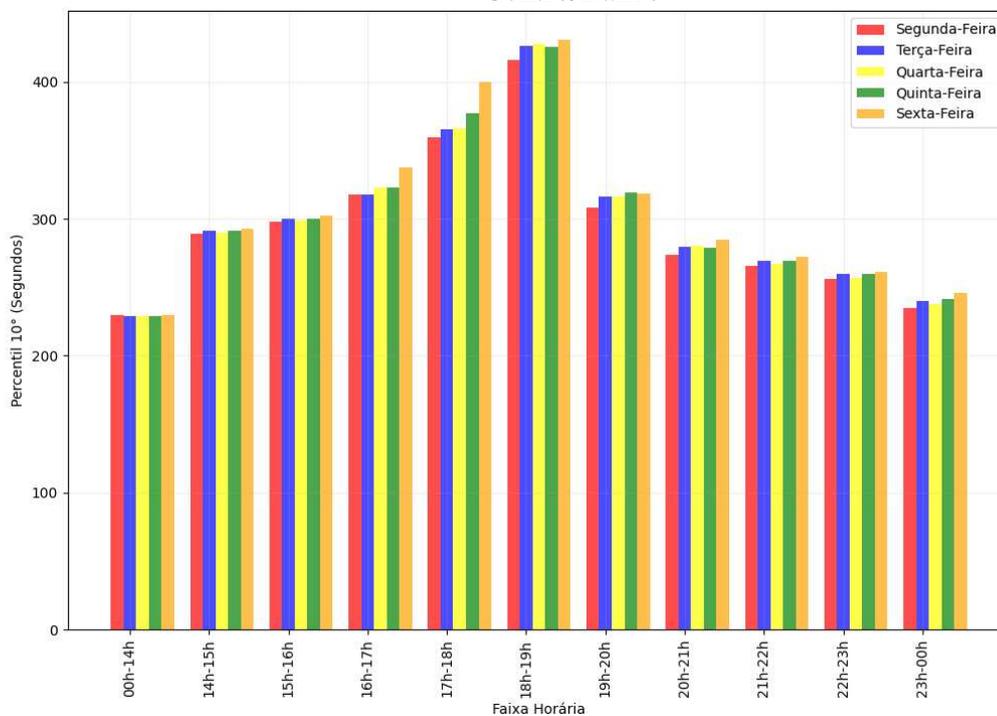


Figura A. 63: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – 50º Percentil– Sentido Bairro/Centro

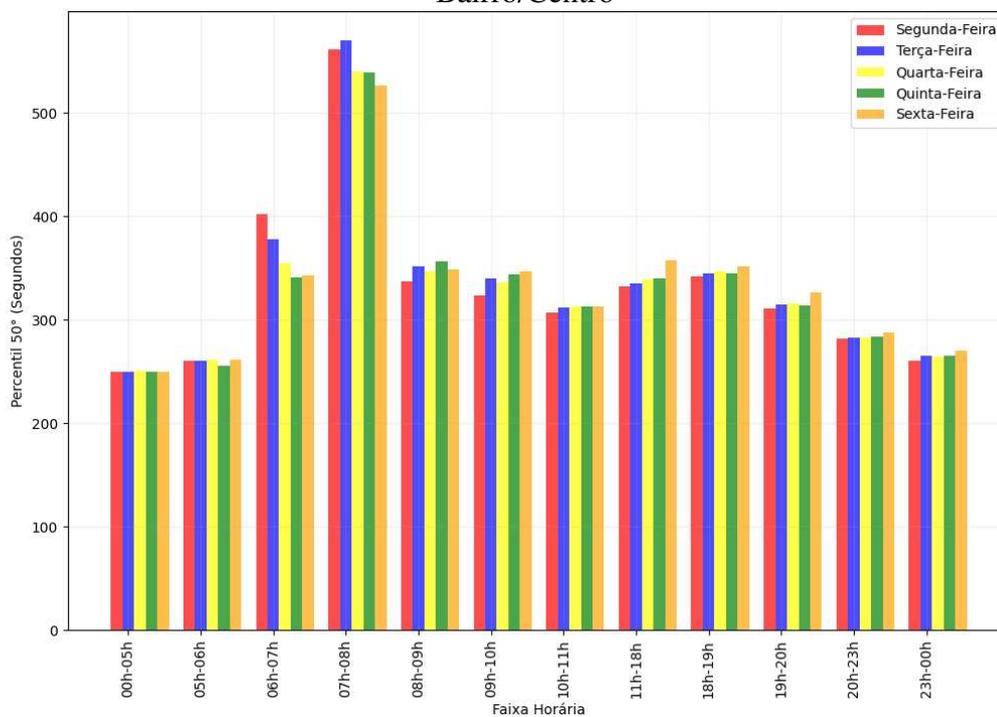


Figura A. 64: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – 50º Percentil– Sentido Centro/Bairro

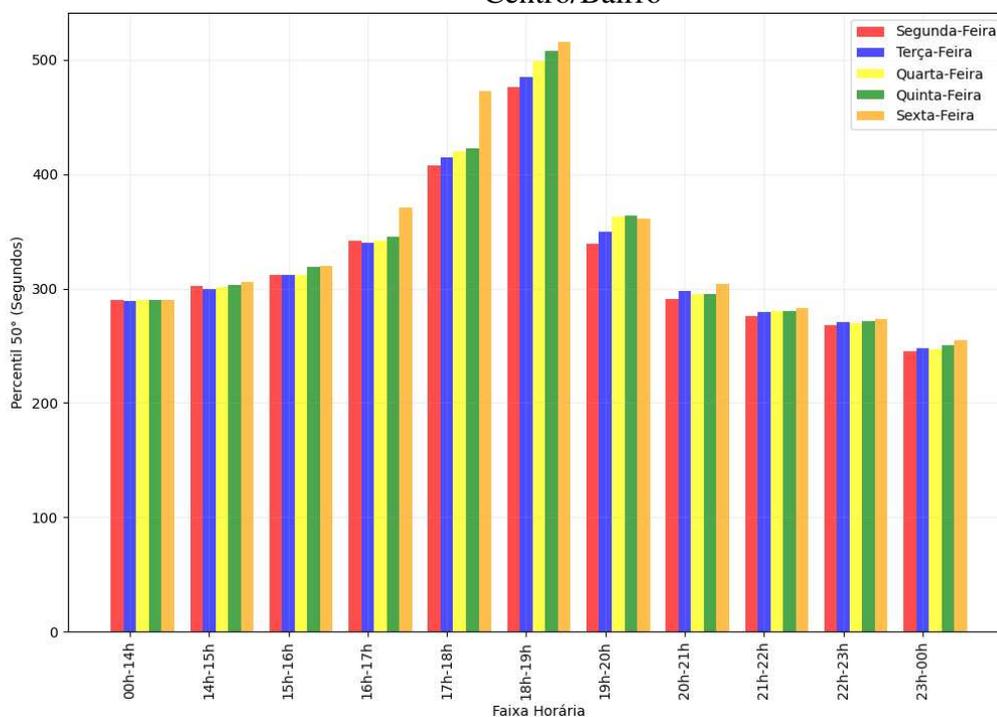


Figura A. 65: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – 90º Percentil– Sentido Bairro/Centro

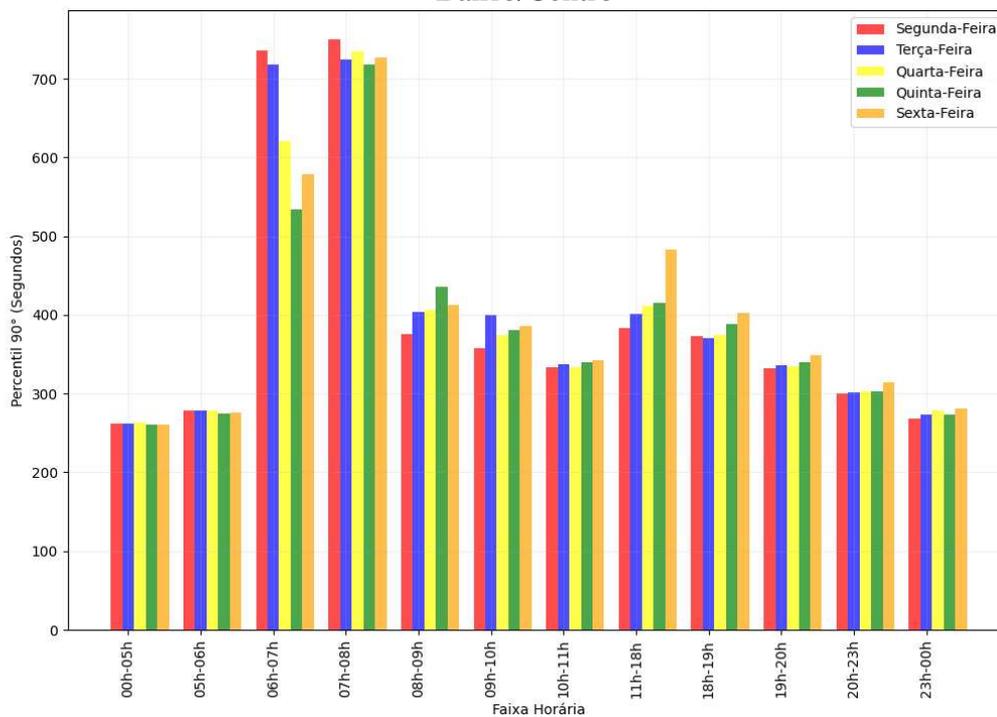


Figura A. 66: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – 90º Percentil– Sentido Centro/Bairro

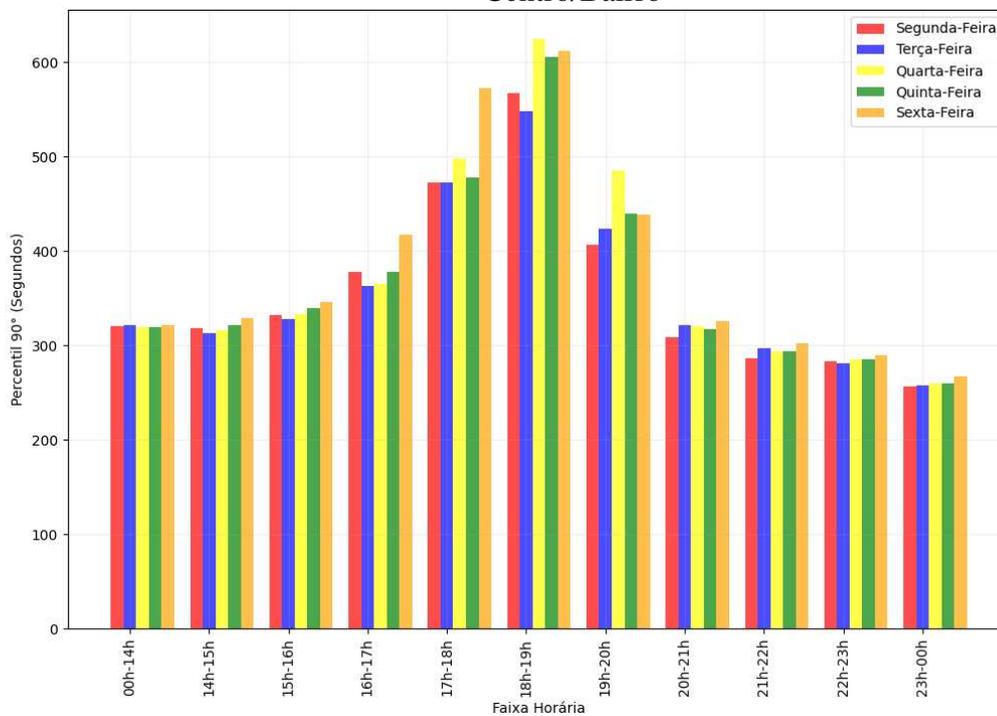


Figura A. 67: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – 95º Percentil– Sentido Bairro/Centro

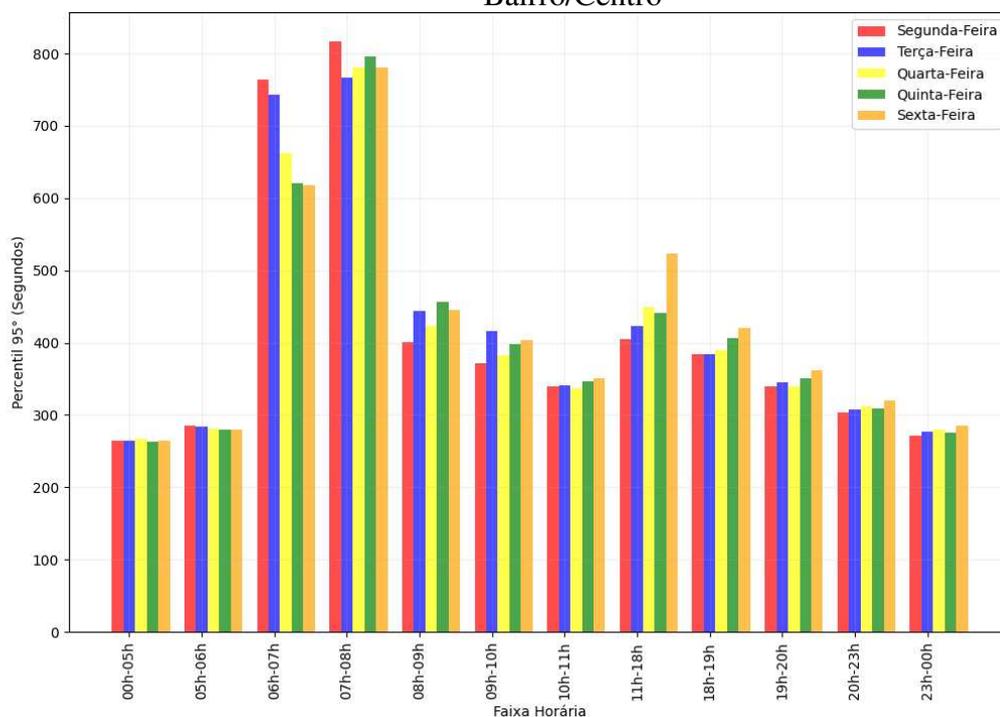


Figura A. 68: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – 95º Percentil– Sentido Centro/Bairro

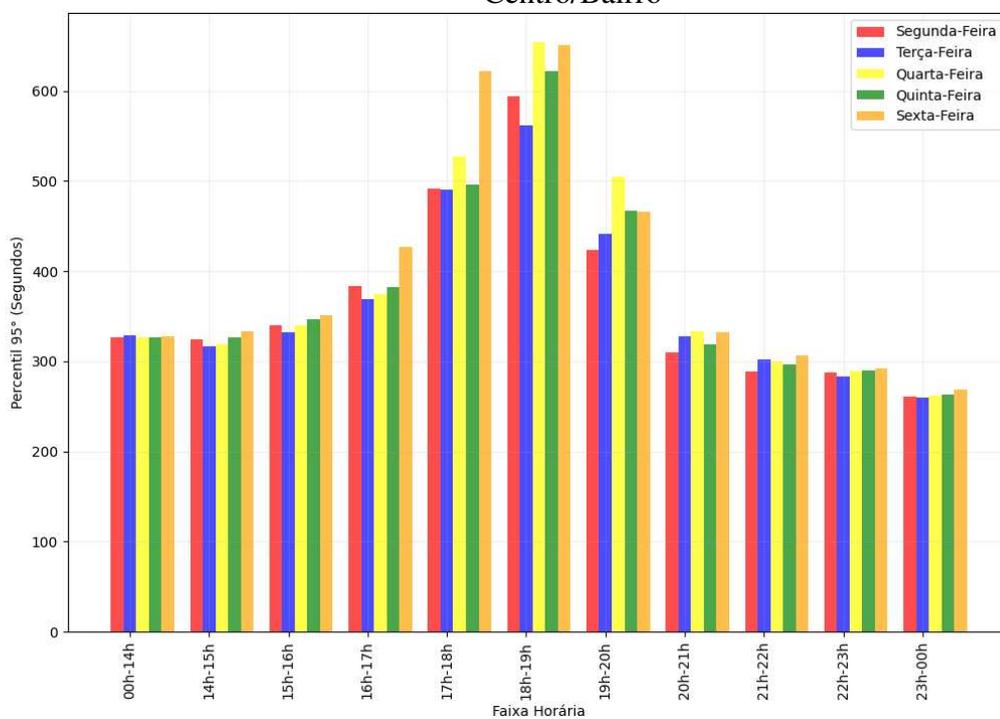


Figura A. 69: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira– Média do tempo de Viagem– Sentido Bairro/Centro – Dados Empíricos

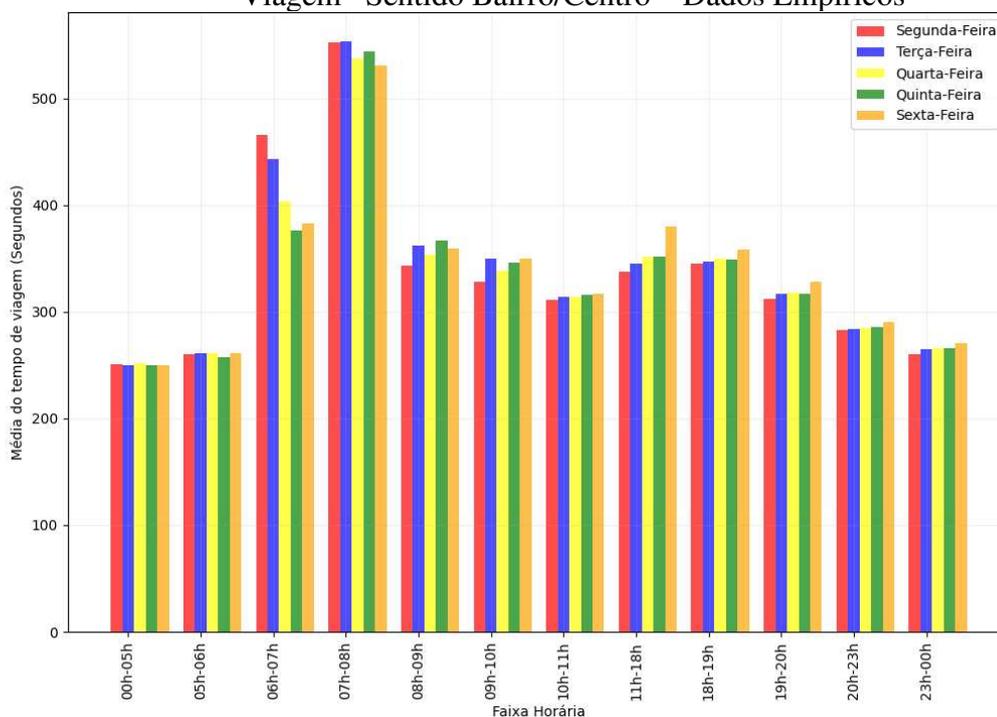
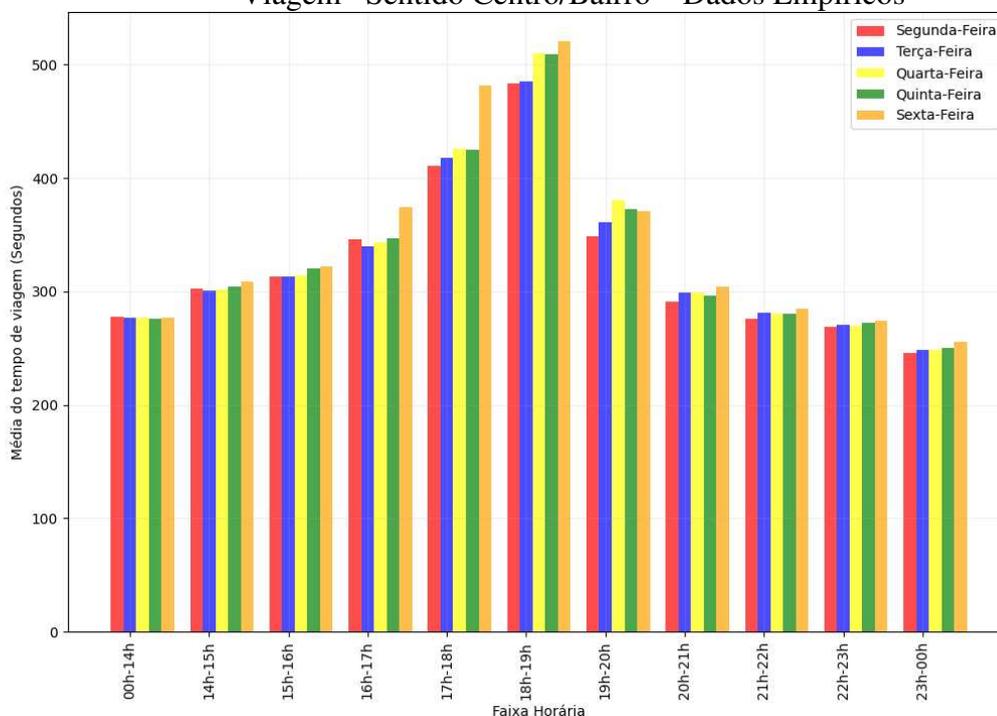


Figura A. 70: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira– Média do tempo de Viagem– Sentido Centro/Bairro – Dados Empíricos



Trecho Viário 4 – Dados Empíricos

Figura A. 71: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – 10º Percentil – Sentido Leste/Oeste

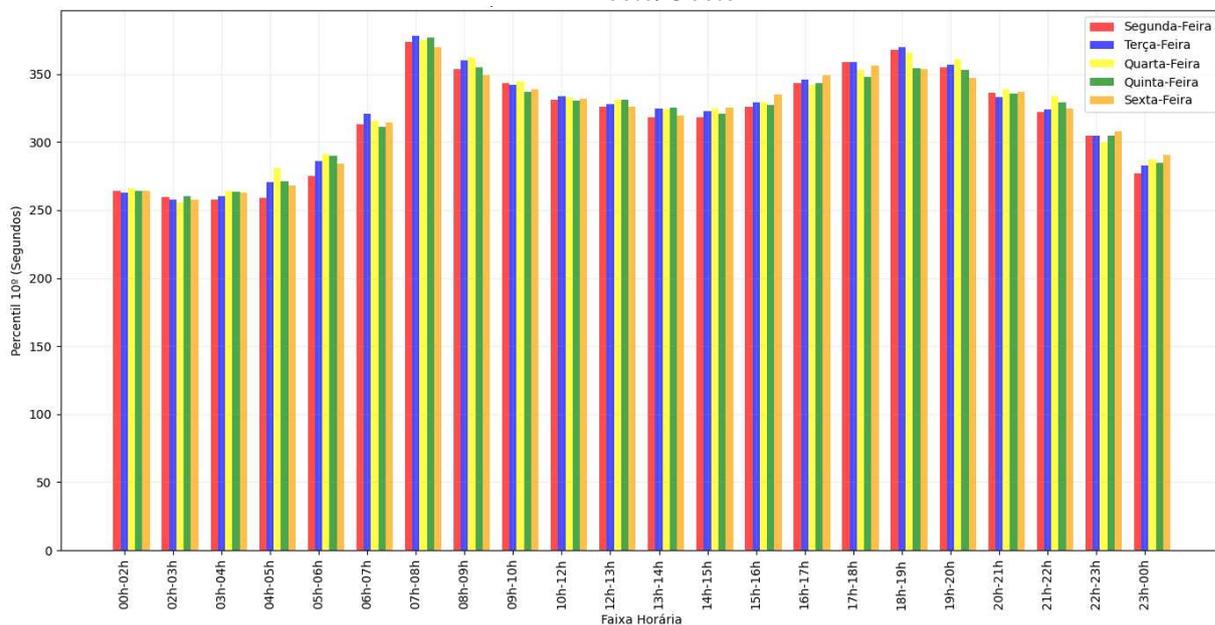


Figura A. 72: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – 10º Percentil – Sentido Oeste/Leste

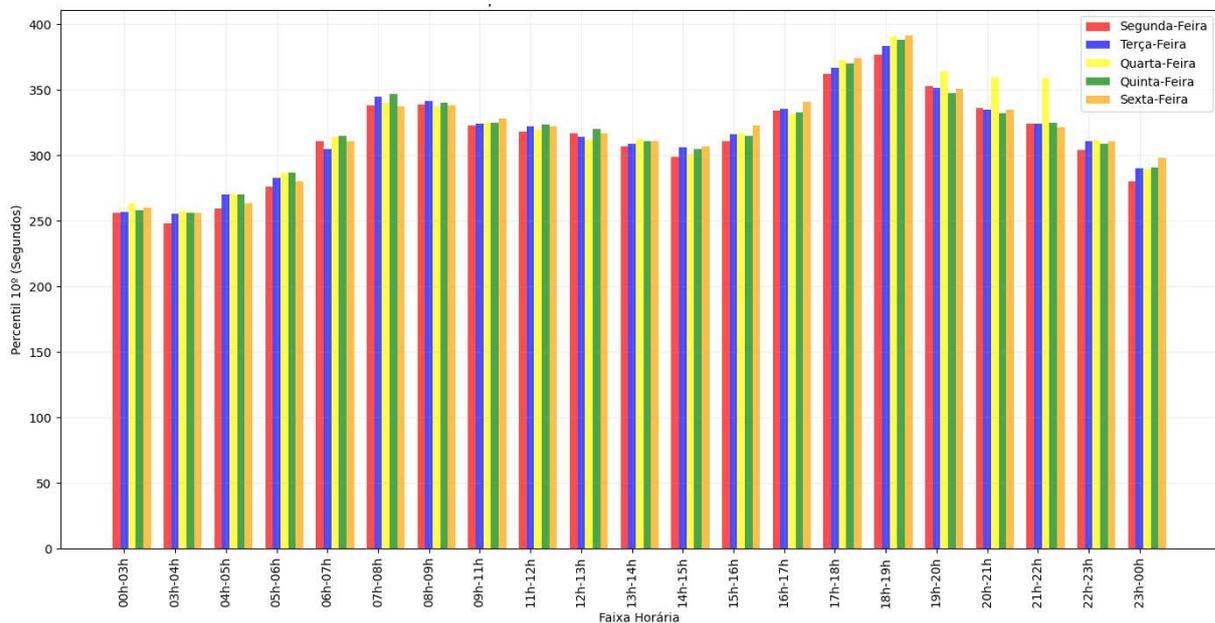


Figura A. 73: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – 50º Percentil – Sentido Leste/Oeste

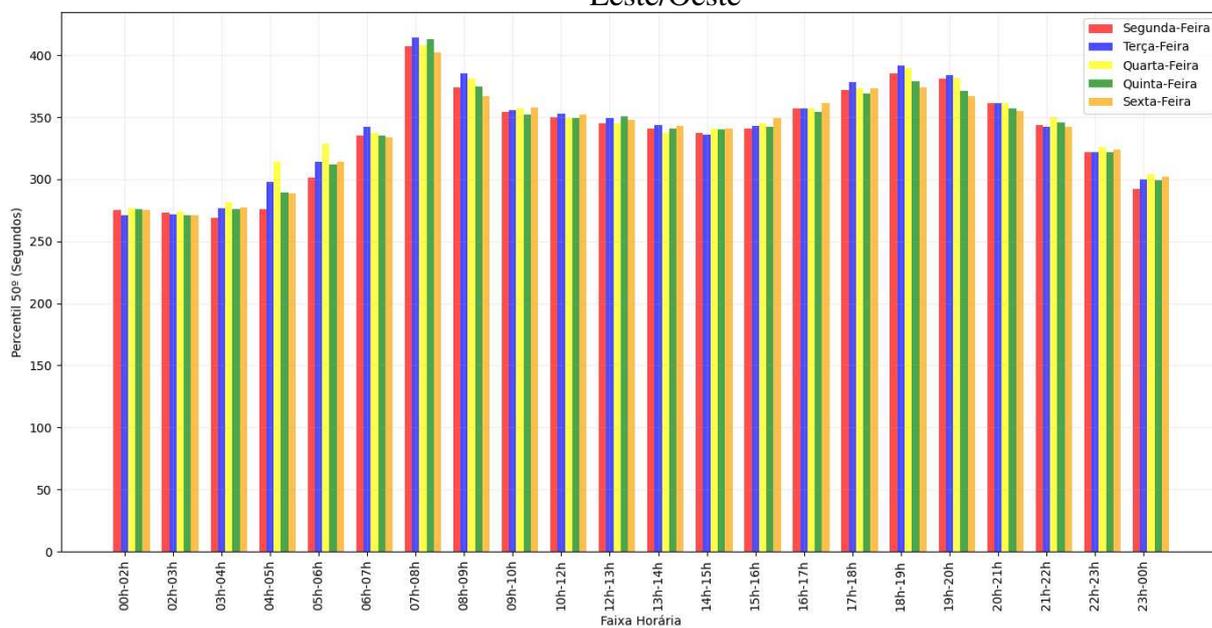


Figura A. 74: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – 50º Percentil – Sentido Oeste/Leste

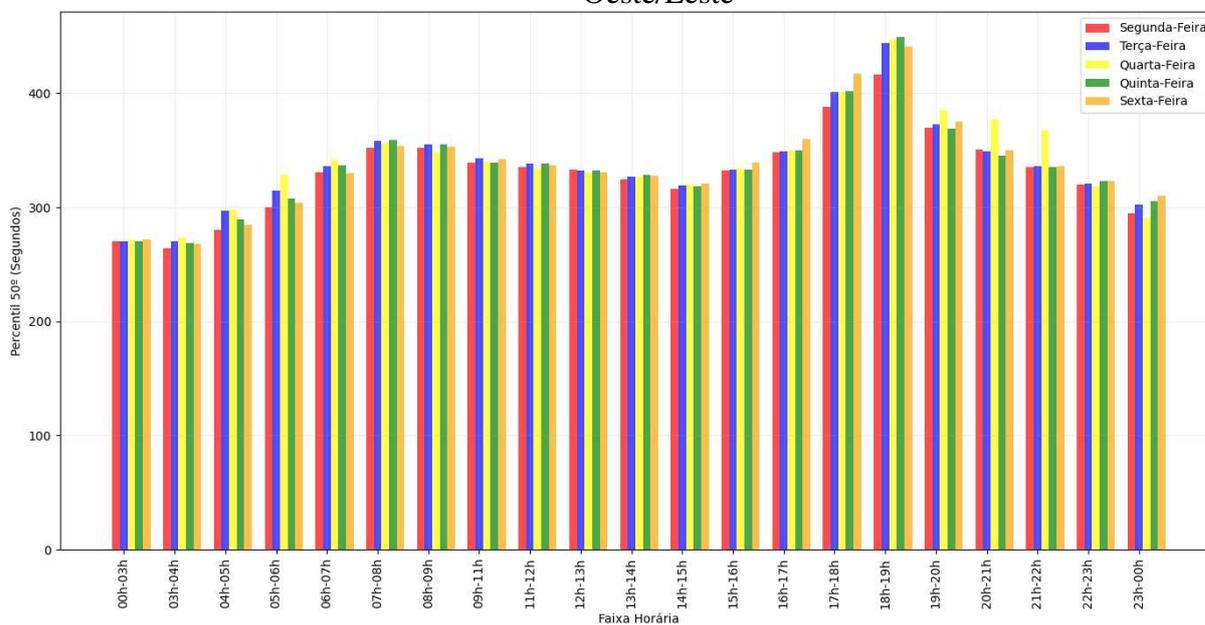


Figura A. 75: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – 90º Percentil – Sentido Leste/Oeste

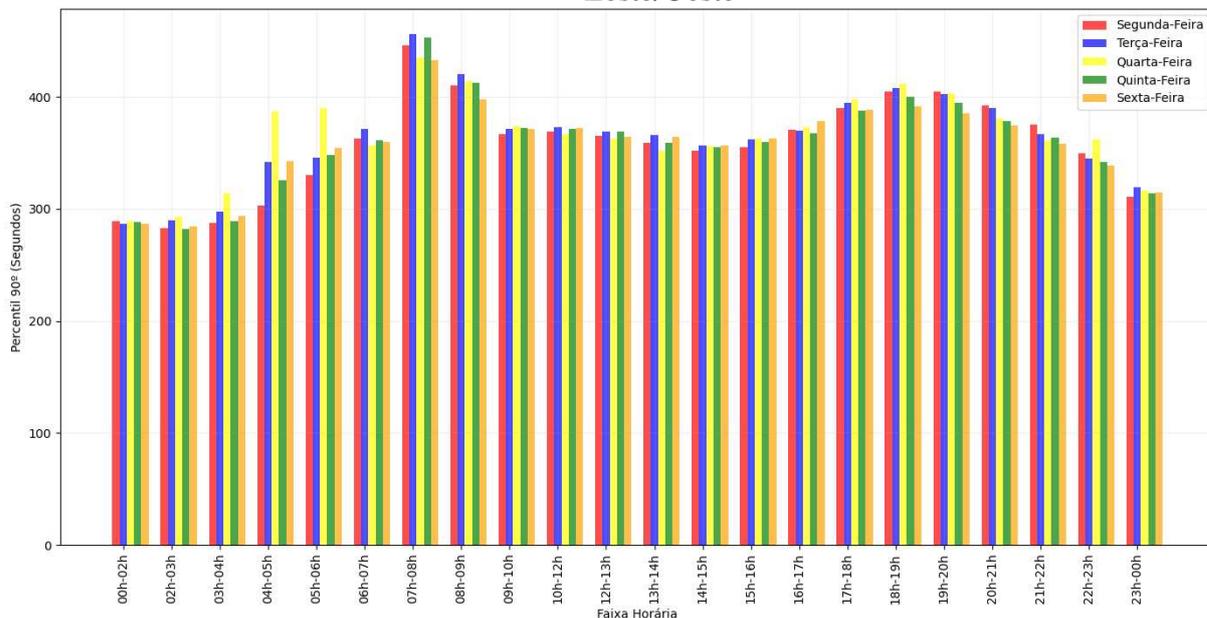


Figura A. 76: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – 90º Percentil – Sentido Oeste/Leste

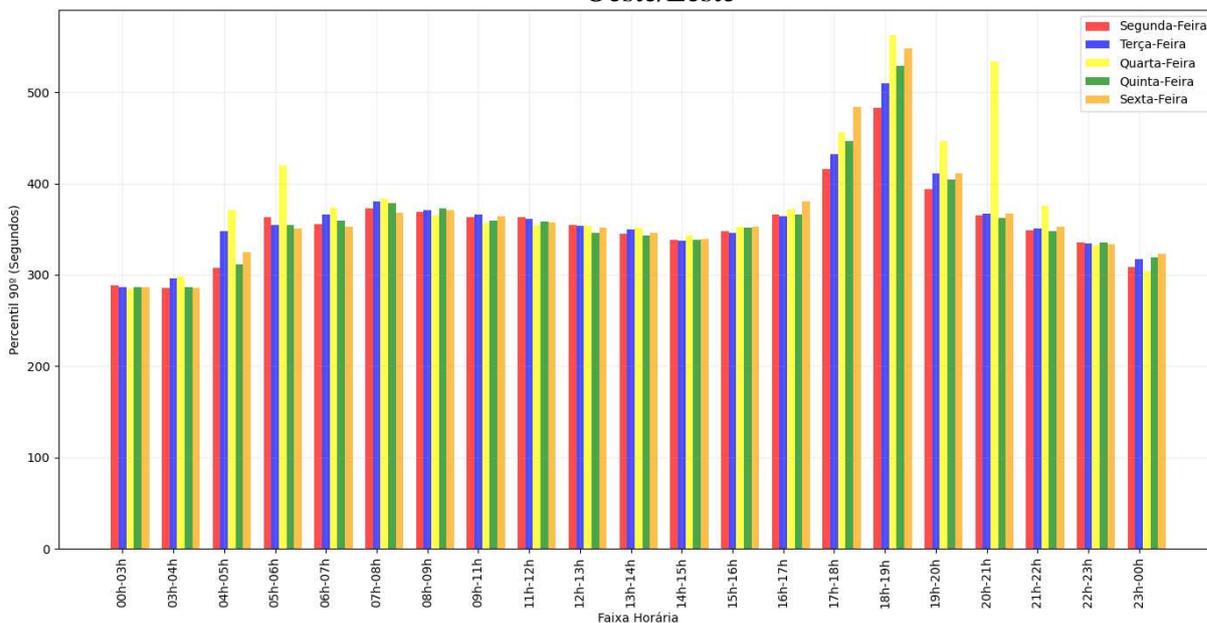


Figura A. 77: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – 95º Percentil – Sentido Leste/Oeste

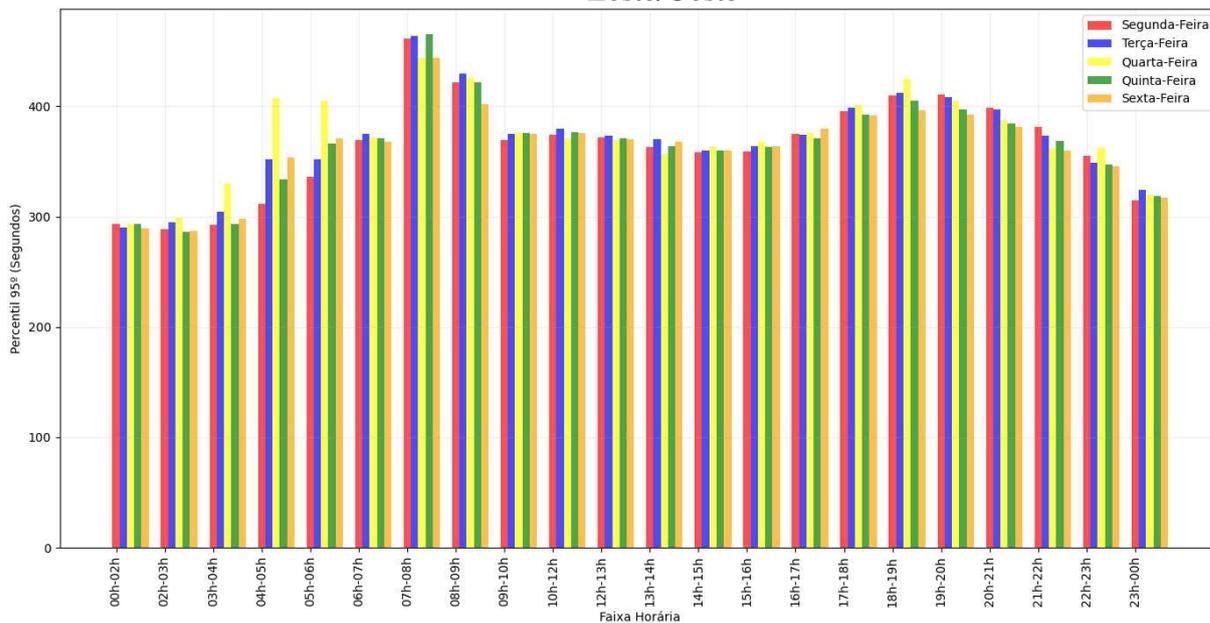


Figura A. 78: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – 95º Percentil – Sentido Oeste/Leste

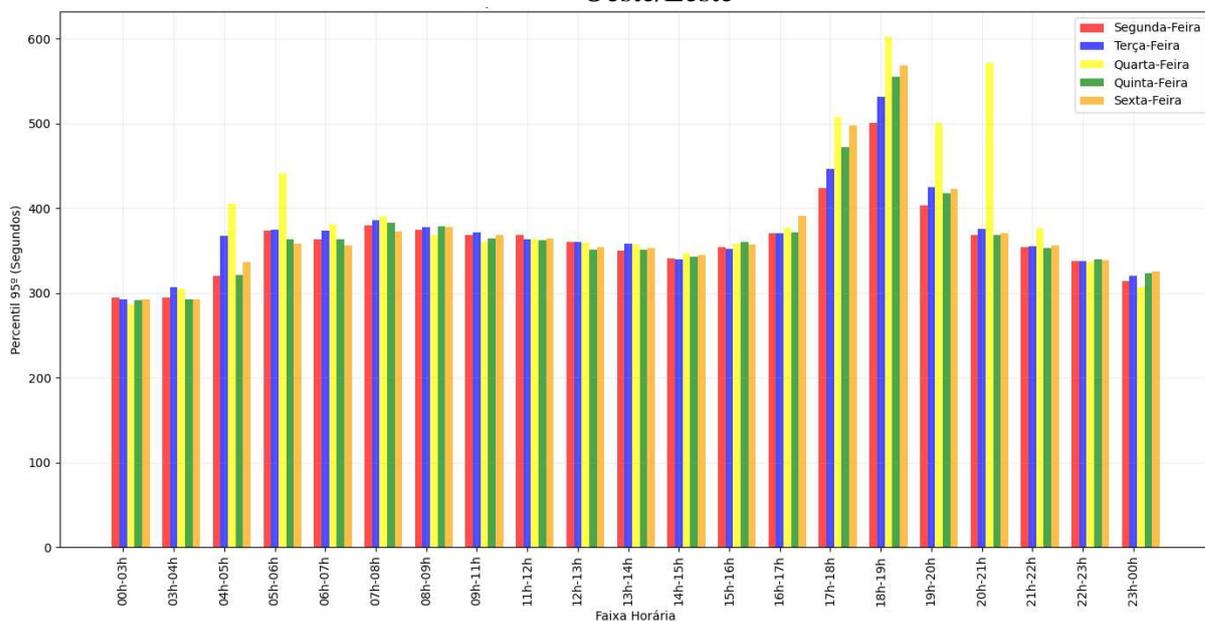


Figura A. 79: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos– Média do tempo de Viagem– Sentido Leste/Oeste – Dados Empíricos

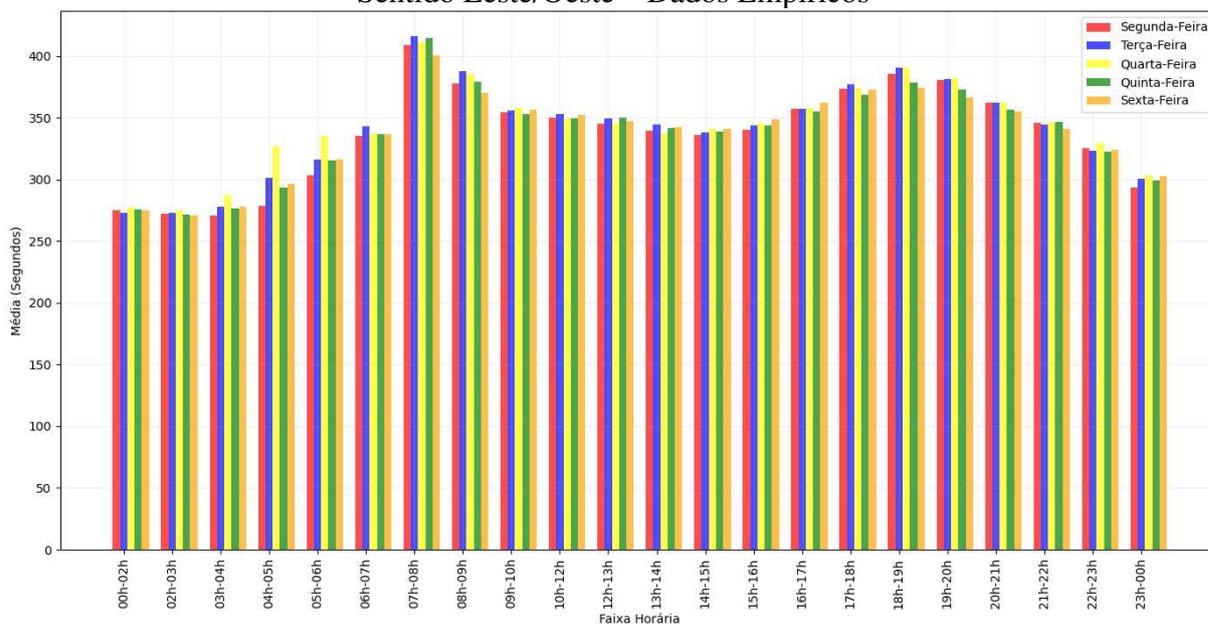
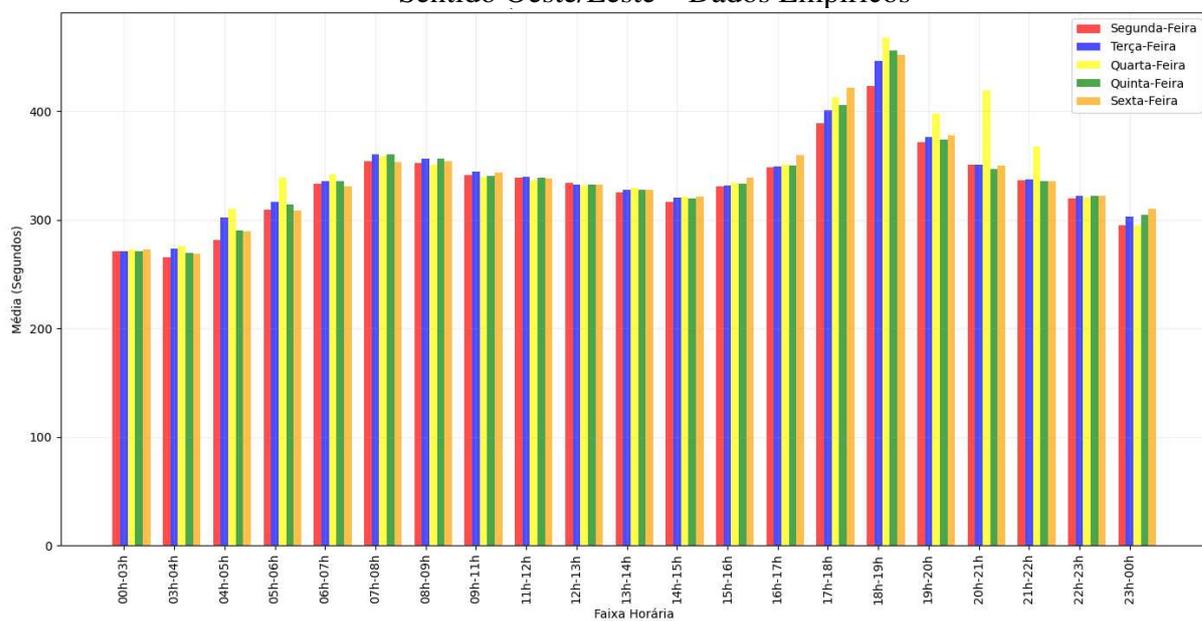


Figura A. 80: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos– Média do tempo de Viagem– Sentido Oeste/Leste – Dados Empíricos



APÊNDICE B – HISTOGRAMAS

Figura B. 1: Trecho Viário 1 – Centro-Bairro – Segunda Feira

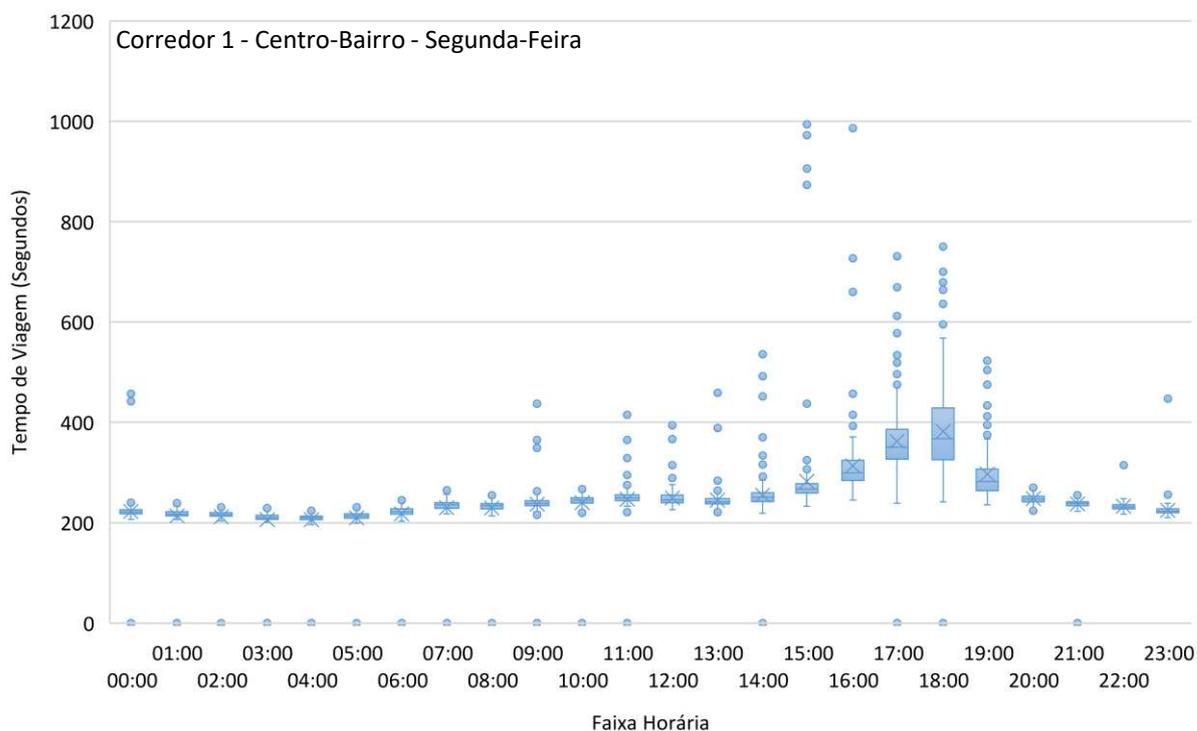


Figura B. 2: Trecho Viário 2 – Centro-Bairro – Segunda Feira

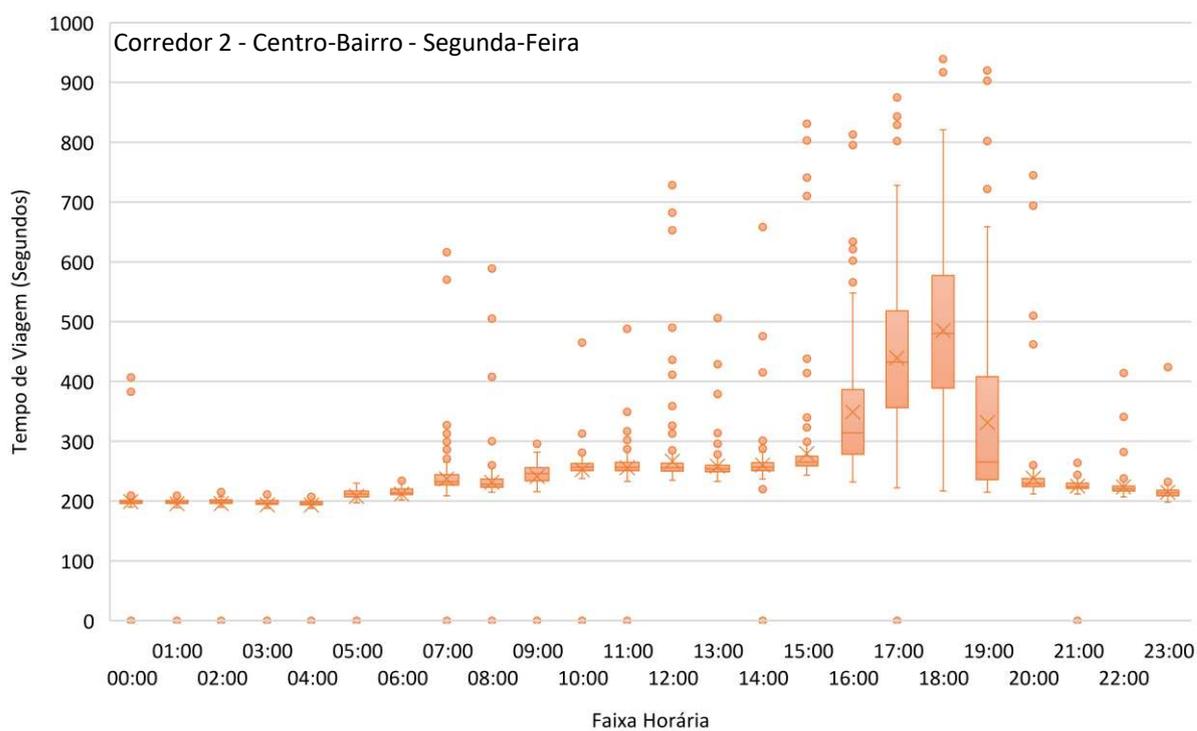


Figura B. 3: Trecho Viário 3 – Centro-Bairro – Segunda Feira

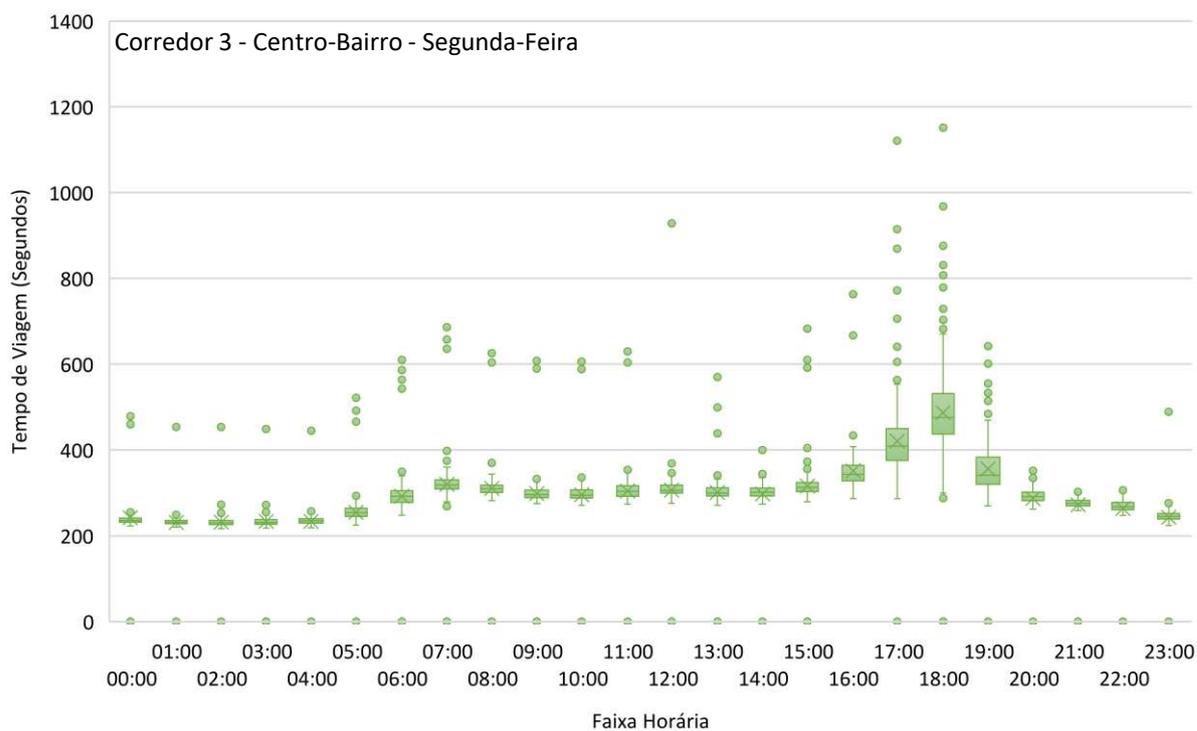


Figura B. 4 Trecho Viário 4 – Oeste-Leste – Segunda Feira

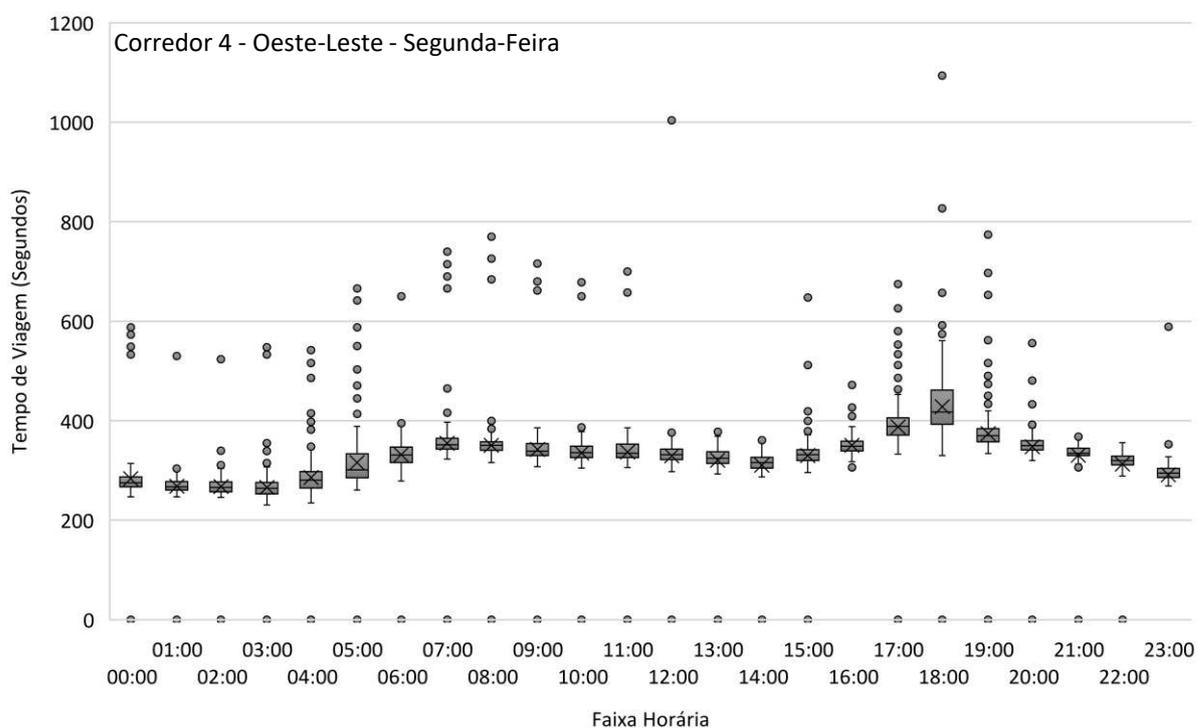


Figura B. 5: Trecho Viário 1 – Bairro-Centro – Segunda Feira

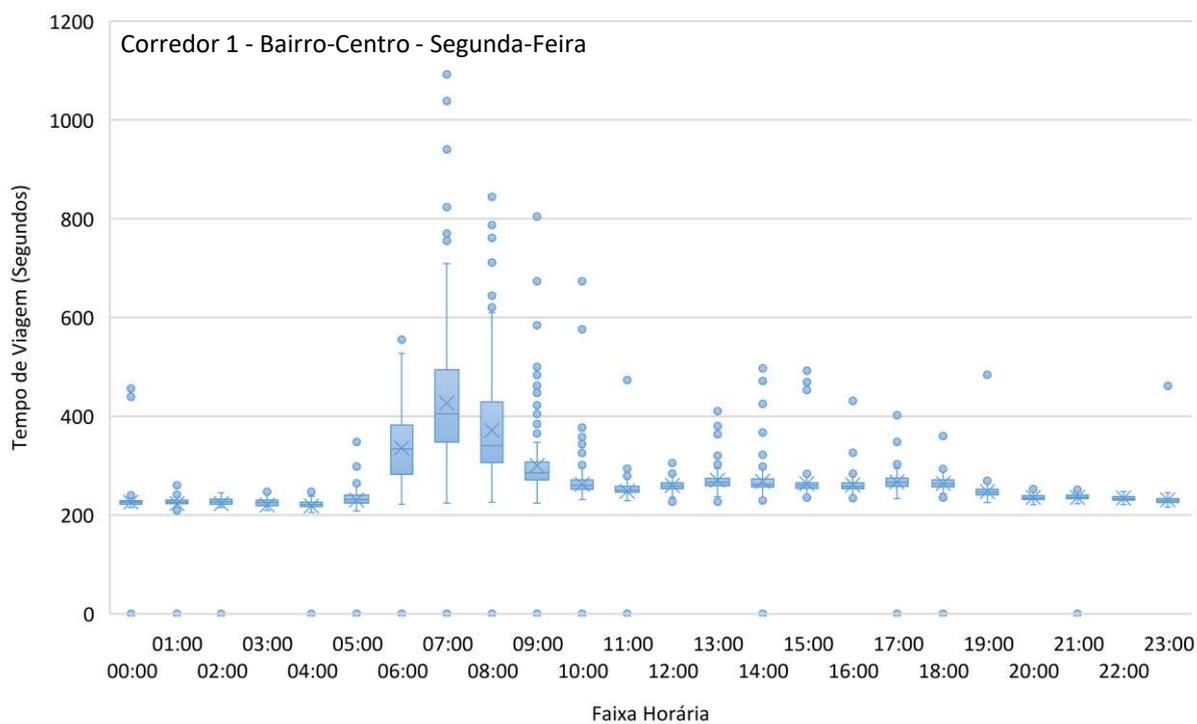


Figura B. 6: Trecho Viário 2 – Bairro-Centro – Segunda Feira

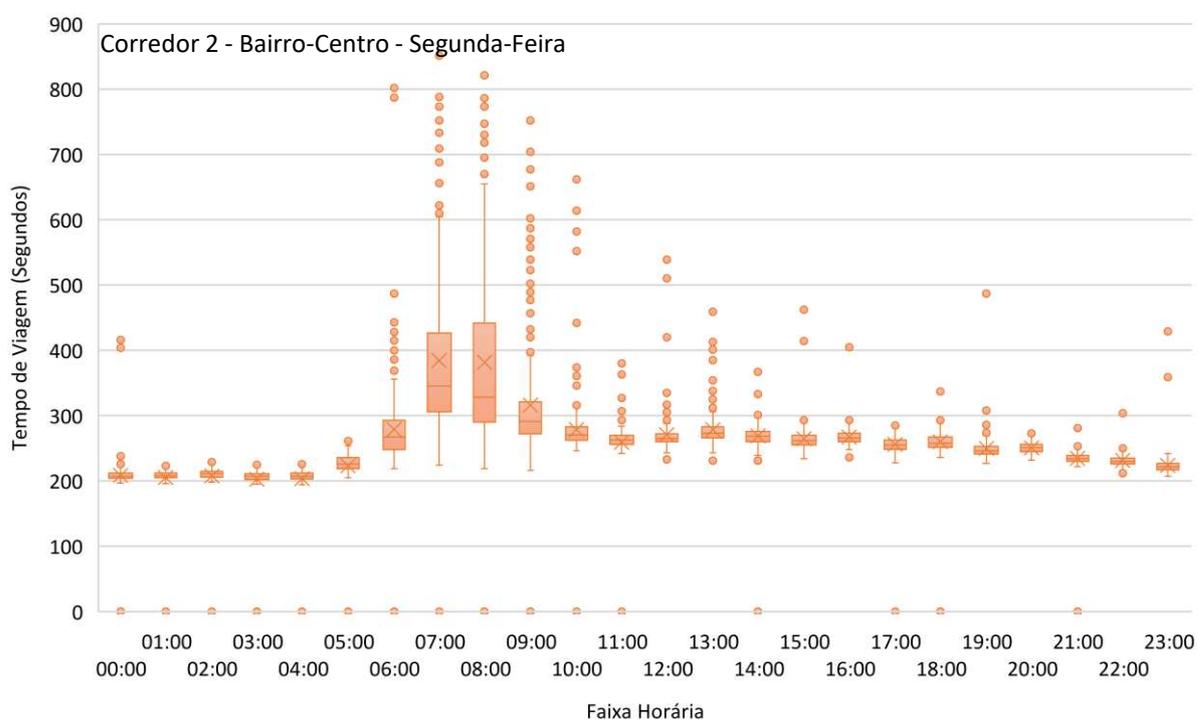


Figura B. 7: Trecho Viário 3 – Bairro-Centro – Segunda Feira

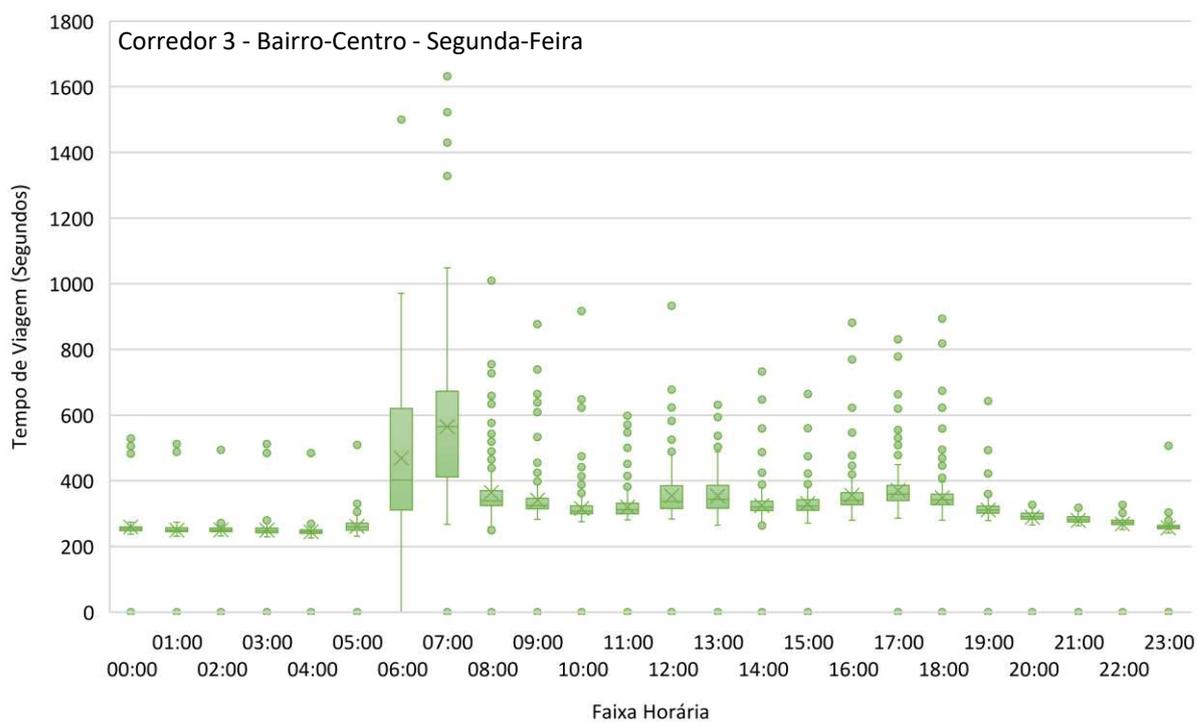


Figura B. 8 Trecho Viário 4 – Leste-Oeste – Segunda Feira

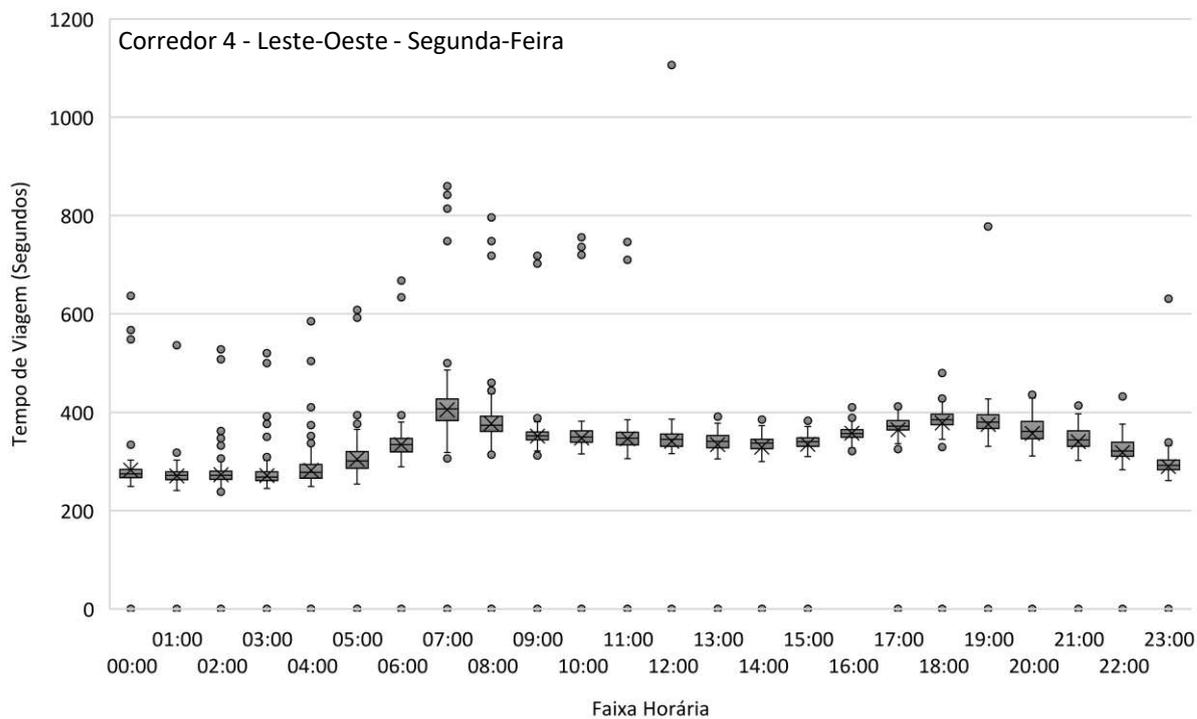


Figura B. 9: Trecho Viário 1 – Centro-Bairro – Terça Feira

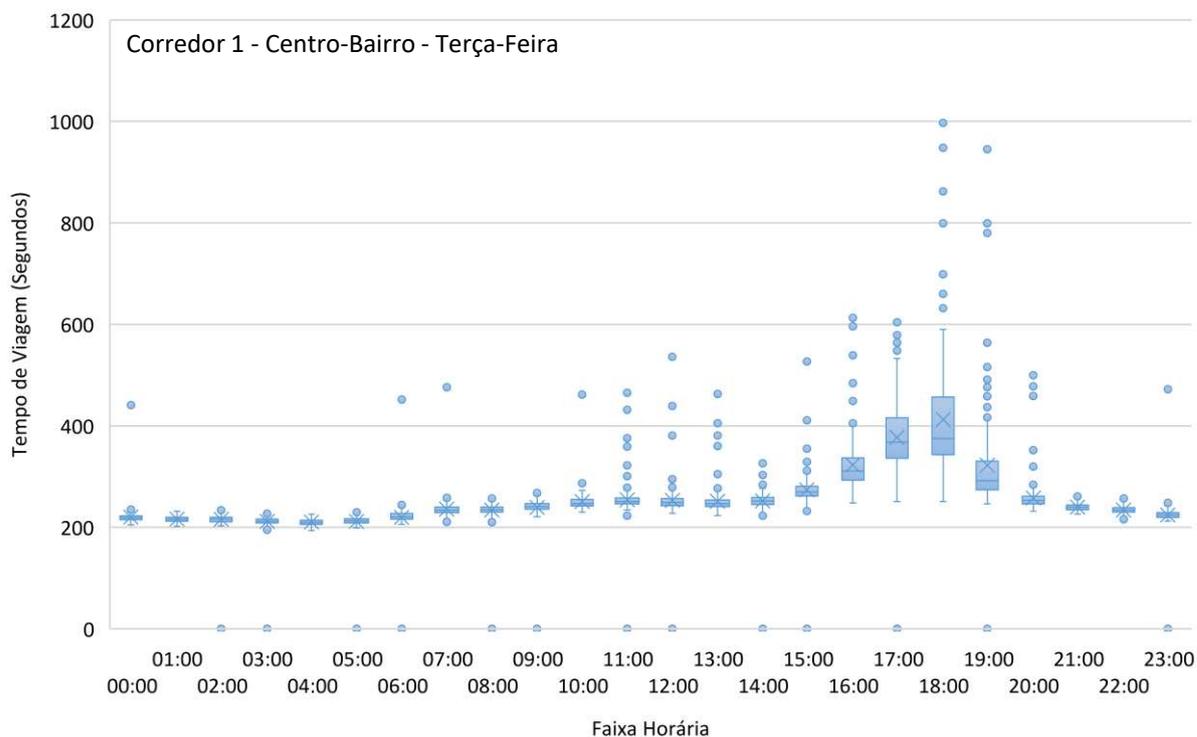


Figura B. 10: Trecho Viário 2 – Centro-Bairro – Terça Feira

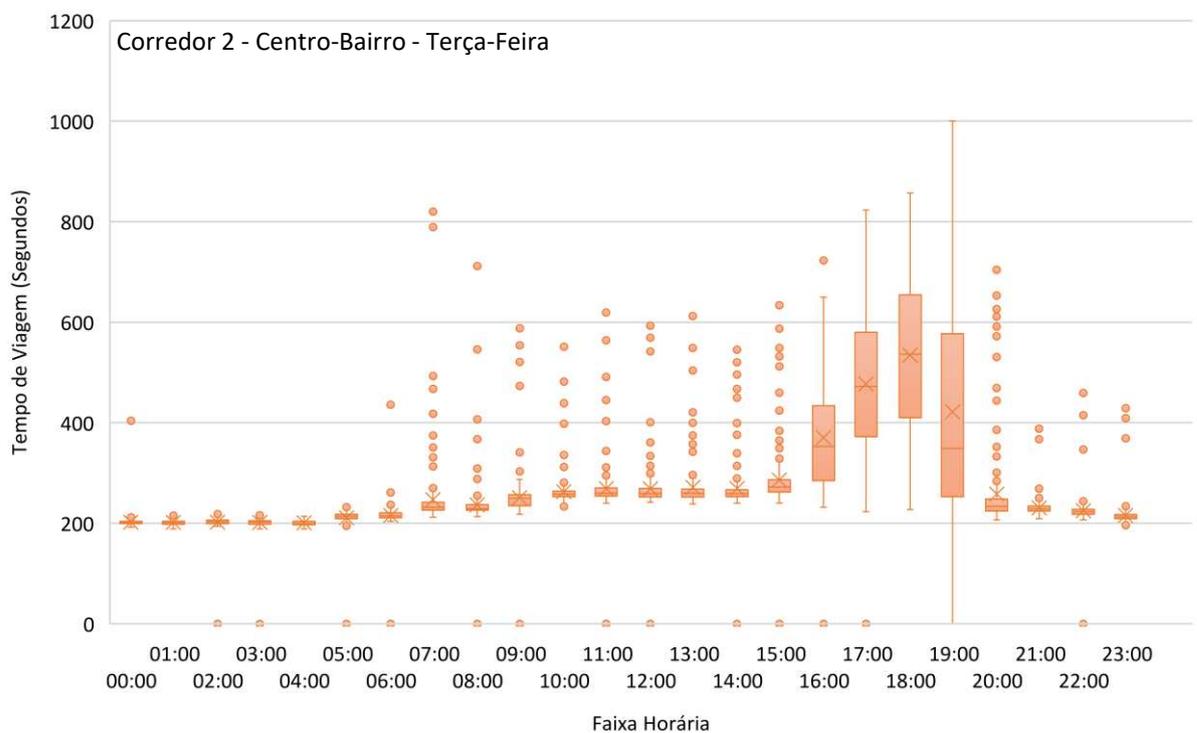


Figura B. 11: Trecho Viário 3 – Centro-Bairro – Terça Feira

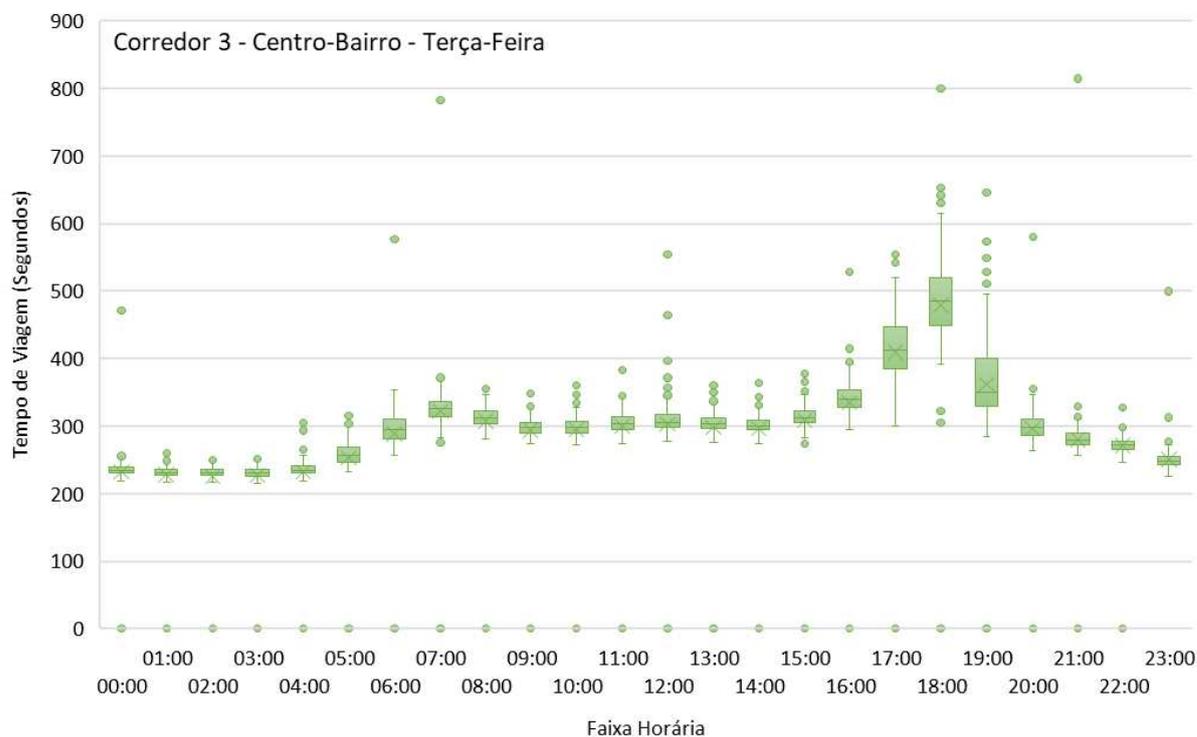


Figura B. 12: Trecho Viário 4 – Oeste-Leste – Terça Feira

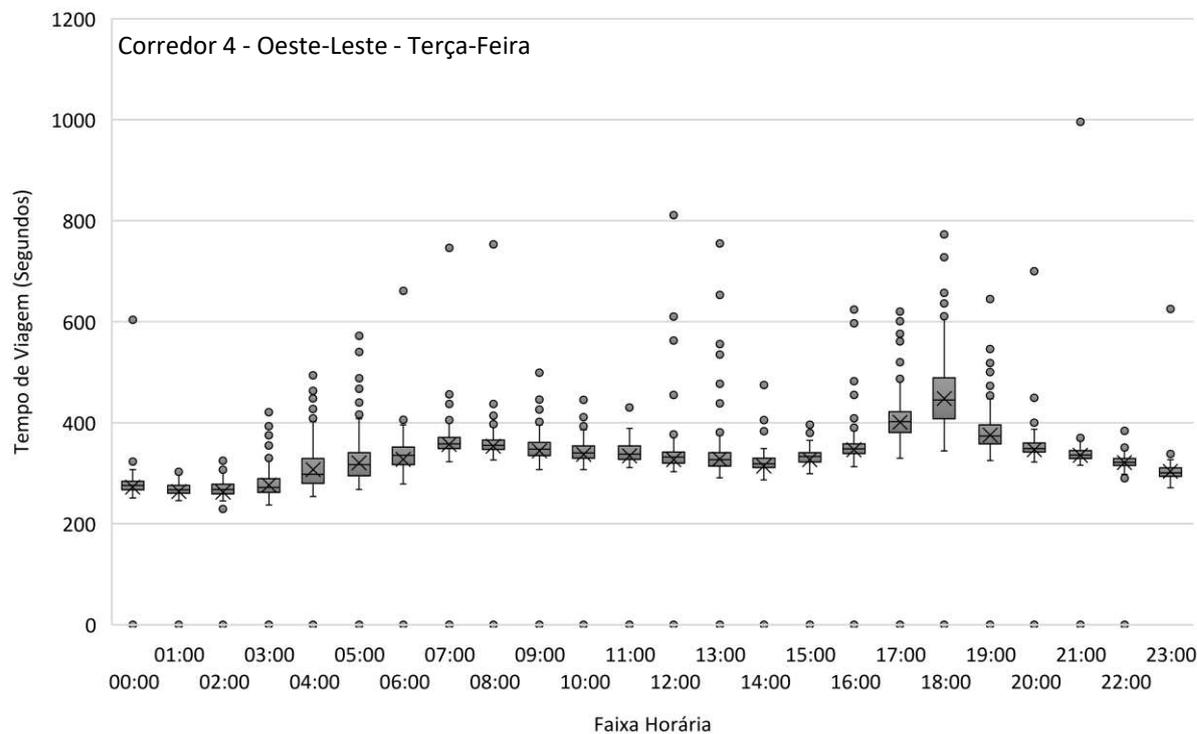


Figura B. 13: Trecho Viário 1 – Bairro-Centro – Terça Feira

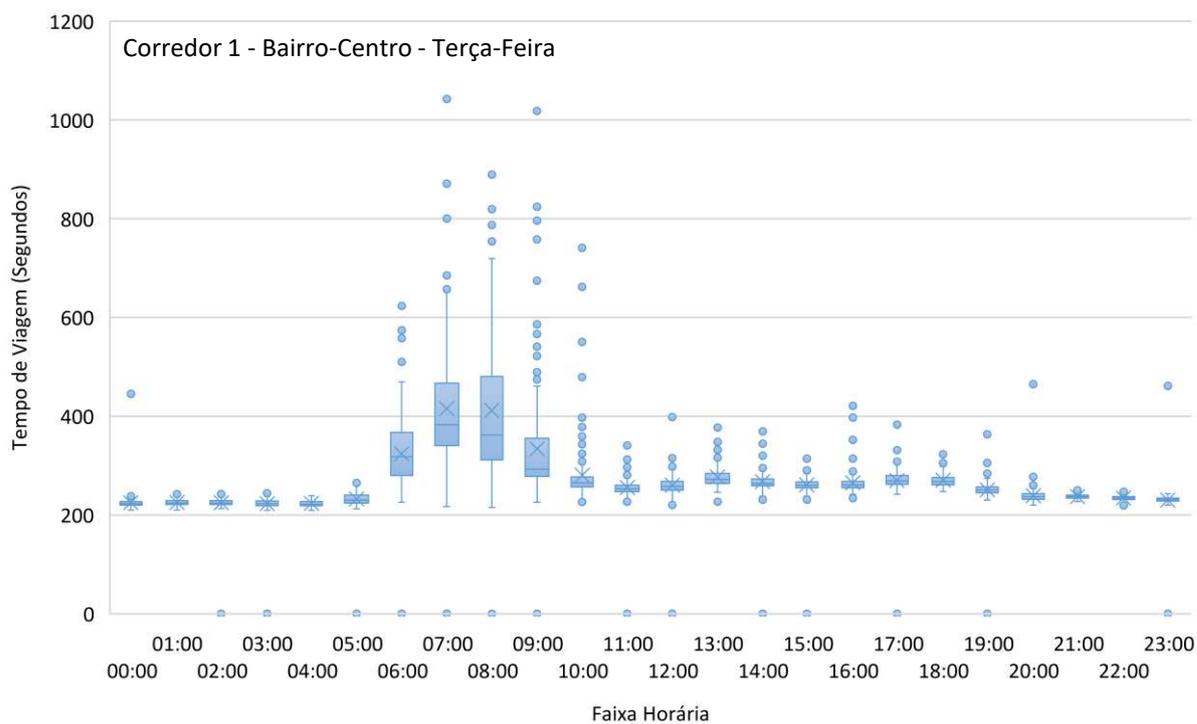


Figura B. 14: Trecho Viário 2 – Bairro-Centro – Terça Feira

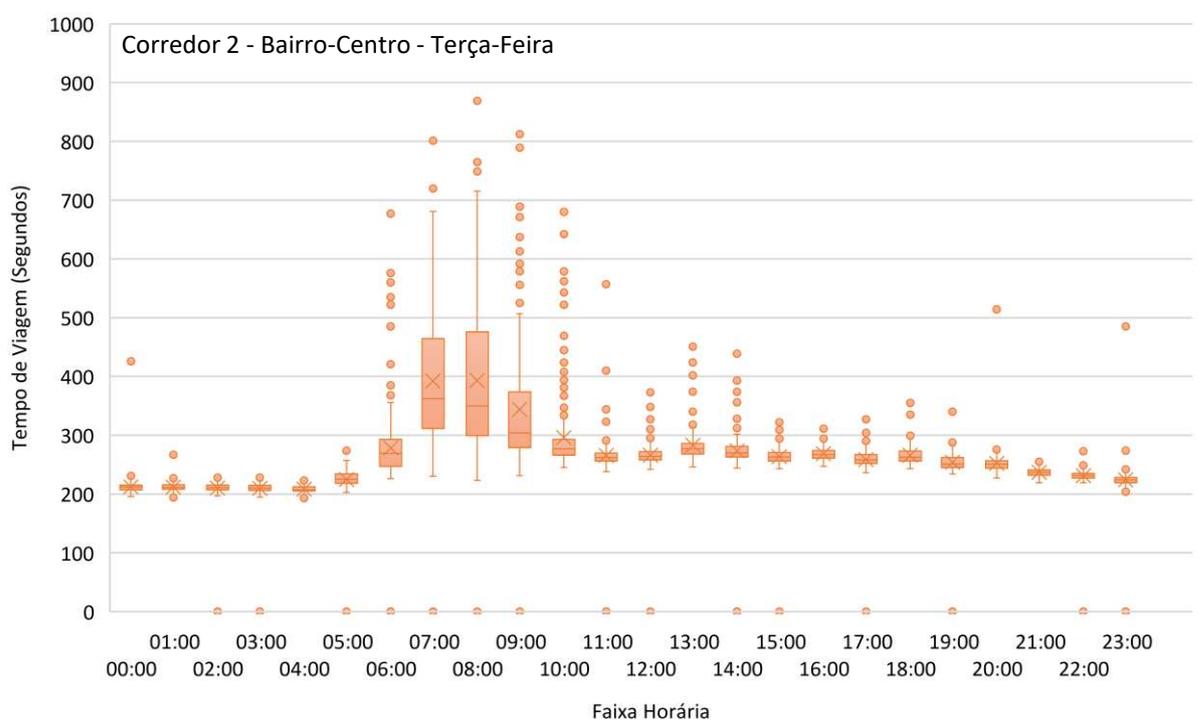


Figura B. 15: Trecho Viário 3 – Bairro-Centro – Terça Feira

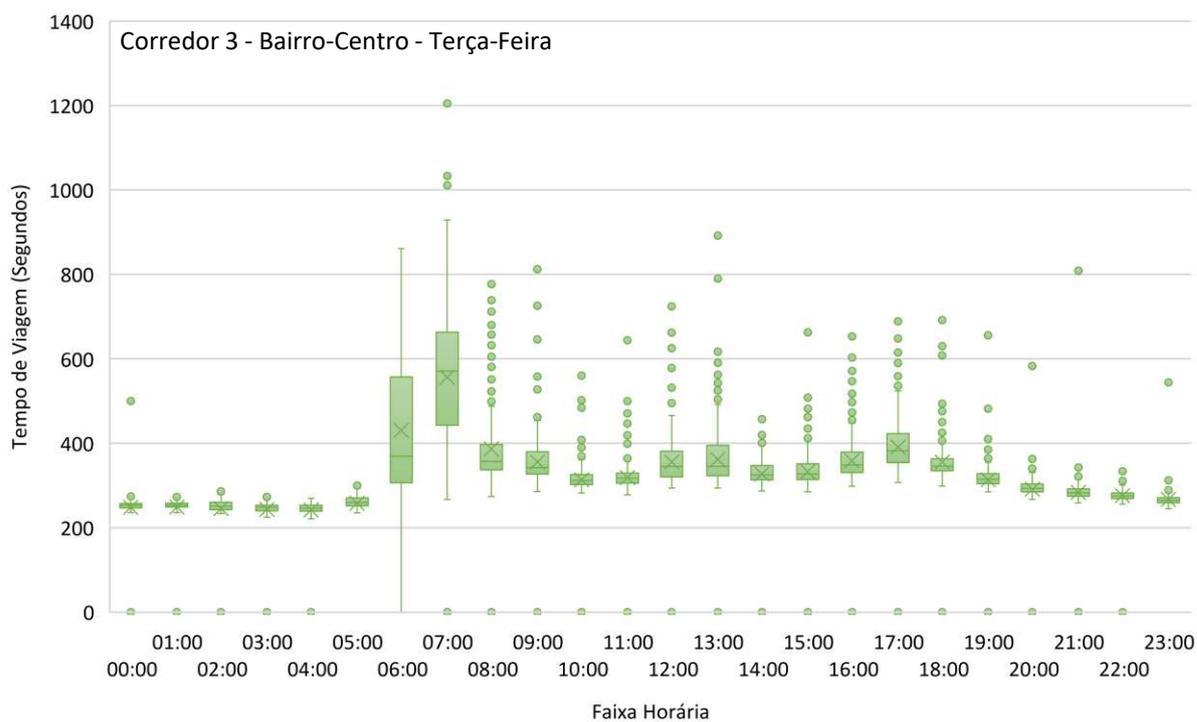


Figura B. 16: Trecho Viário 4 – Leste-Oeste – Terça Feira

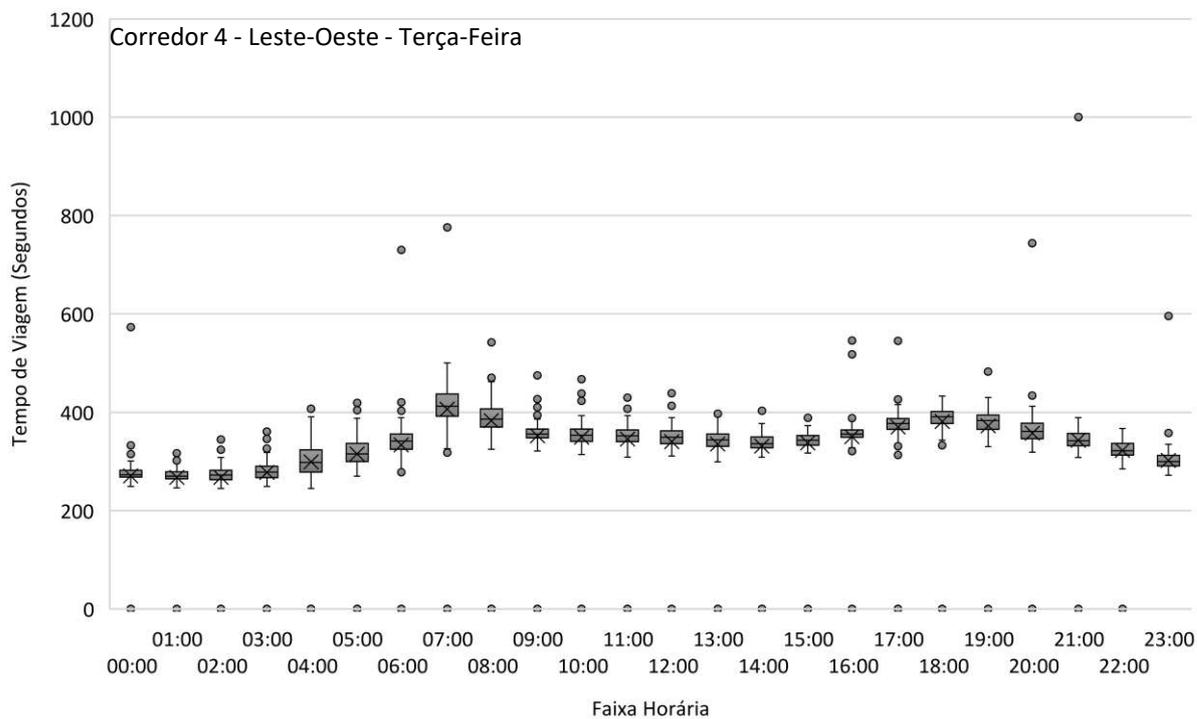


Figura B. 17: Trecho Viário 1 – Centro-Bairro – Quarta Feira

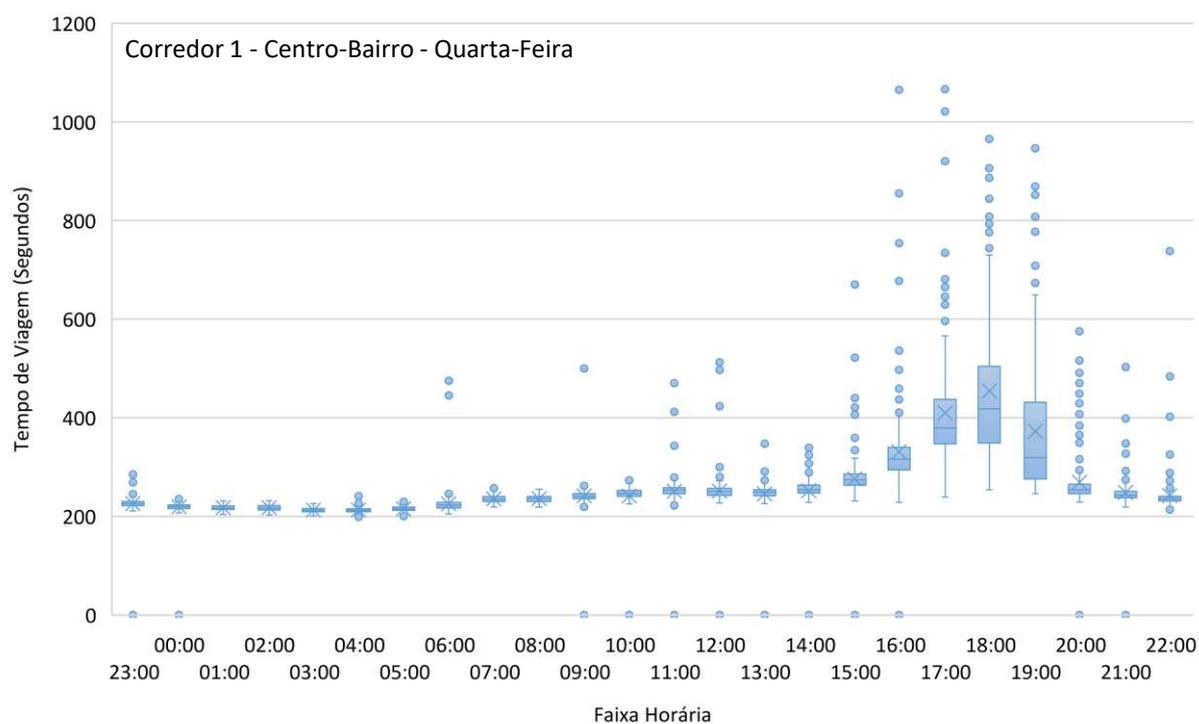


Figura B. 18: Trecho Viário 2 – Centro-Bairro – Quarta-Feira

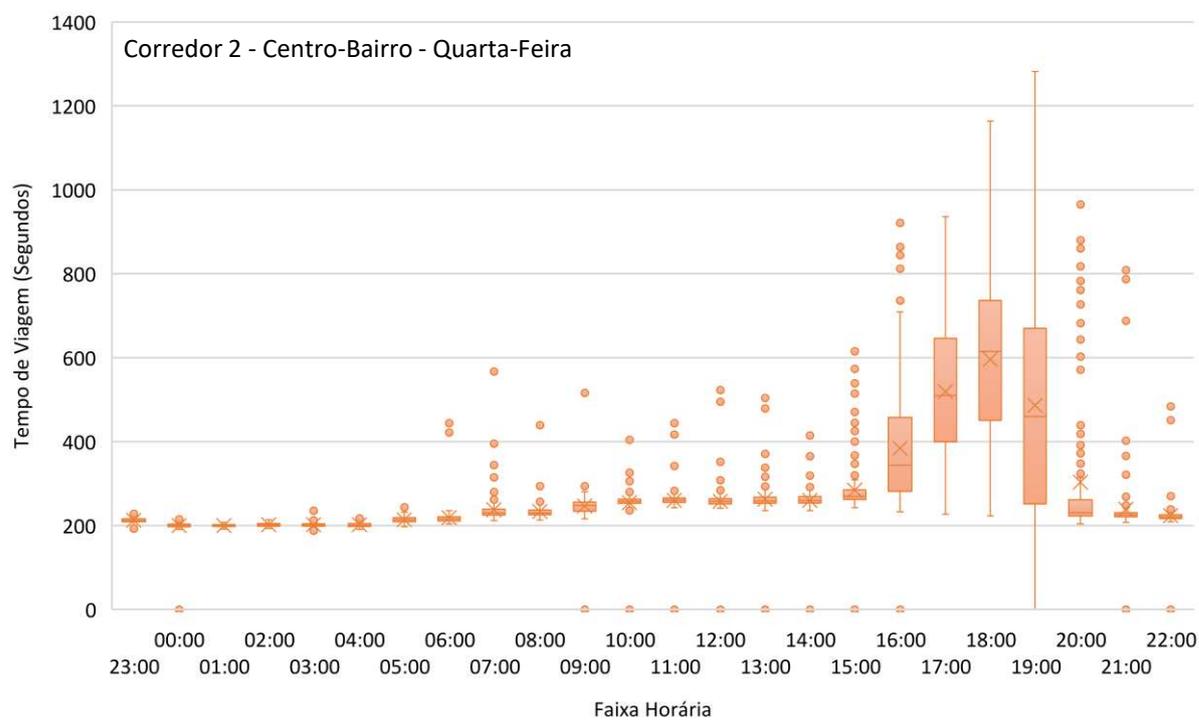


Figura B. 19: Trecho Viário 3 – Centro-Bairro – Quarta-Feira

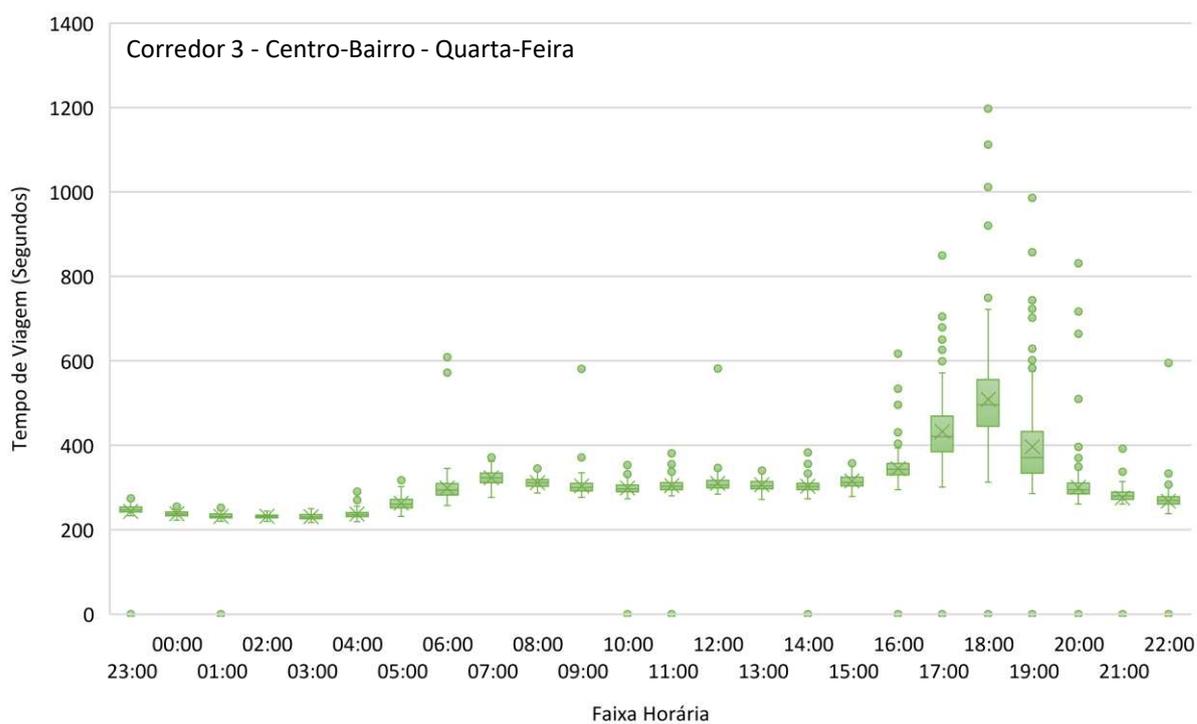


Figura B. 20: Trecho Viário 4 – Oeste-Leste – Quarta Feira

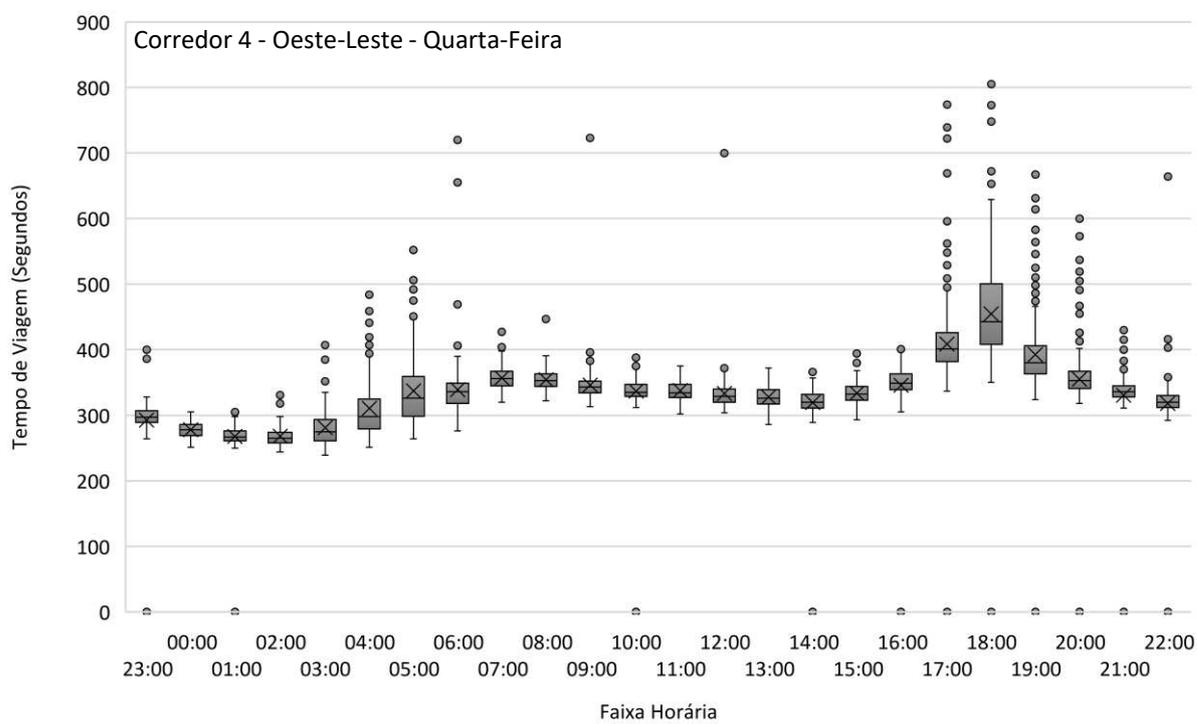


Figura B. 21: Trecho Viário 1 – Bairro-Centro – Quarta Feira

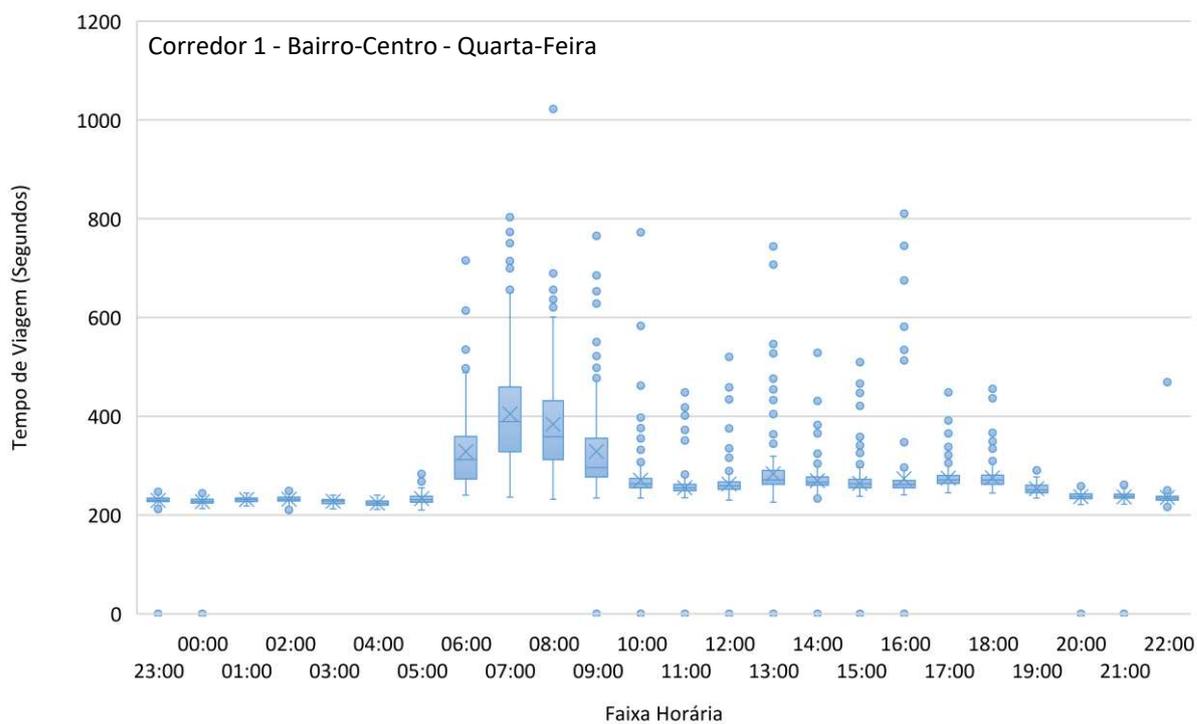


Figura B. 22: Trecho Viário 2 – Bairro-Centro – Quarta Feira

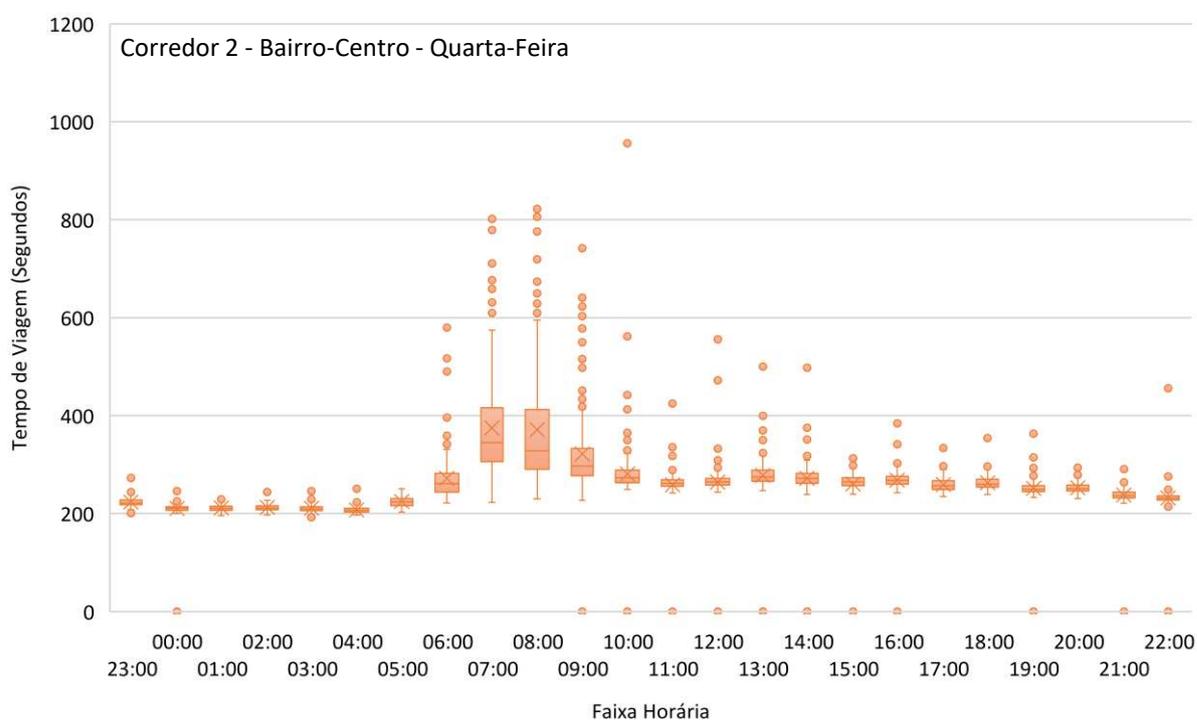


Figura B. 23: Trecho Viário 3 – Bairro-Centro – Quarta Feira

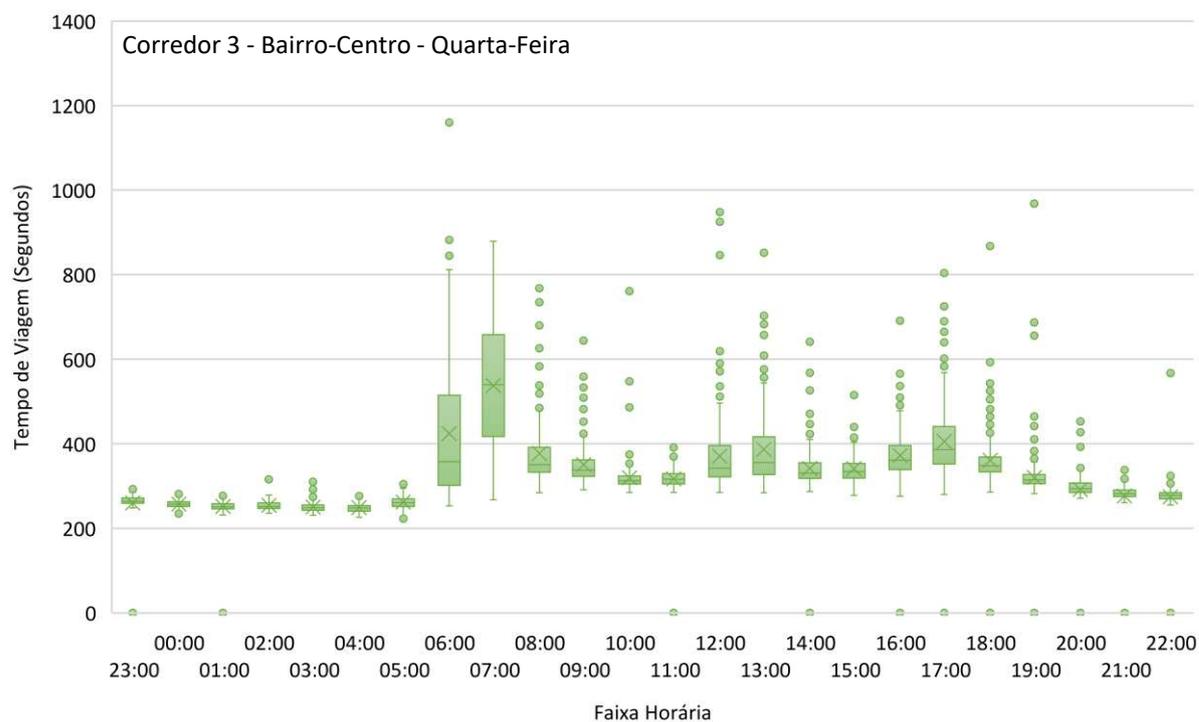


Figura B. 24: Trecho Viário 4 – Leste-Oeste – Quarta Feira

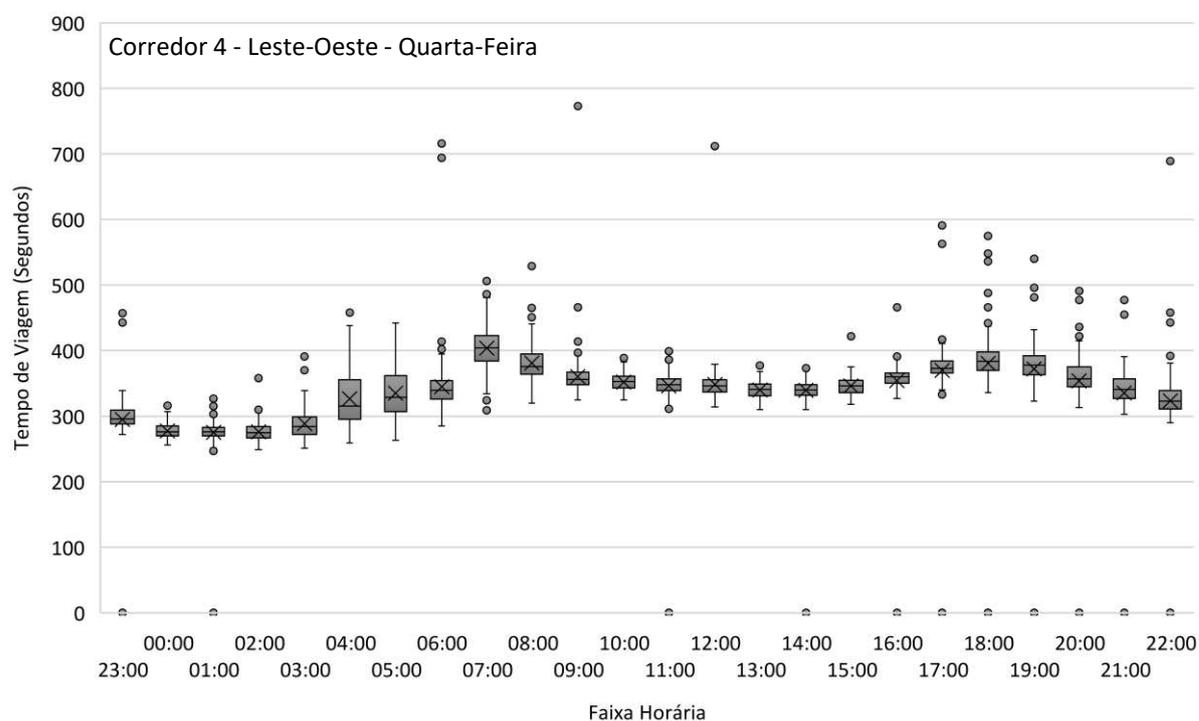


Figura B. 25: Trecho Viário 1 – Centro-Bairro – Quinta Feira

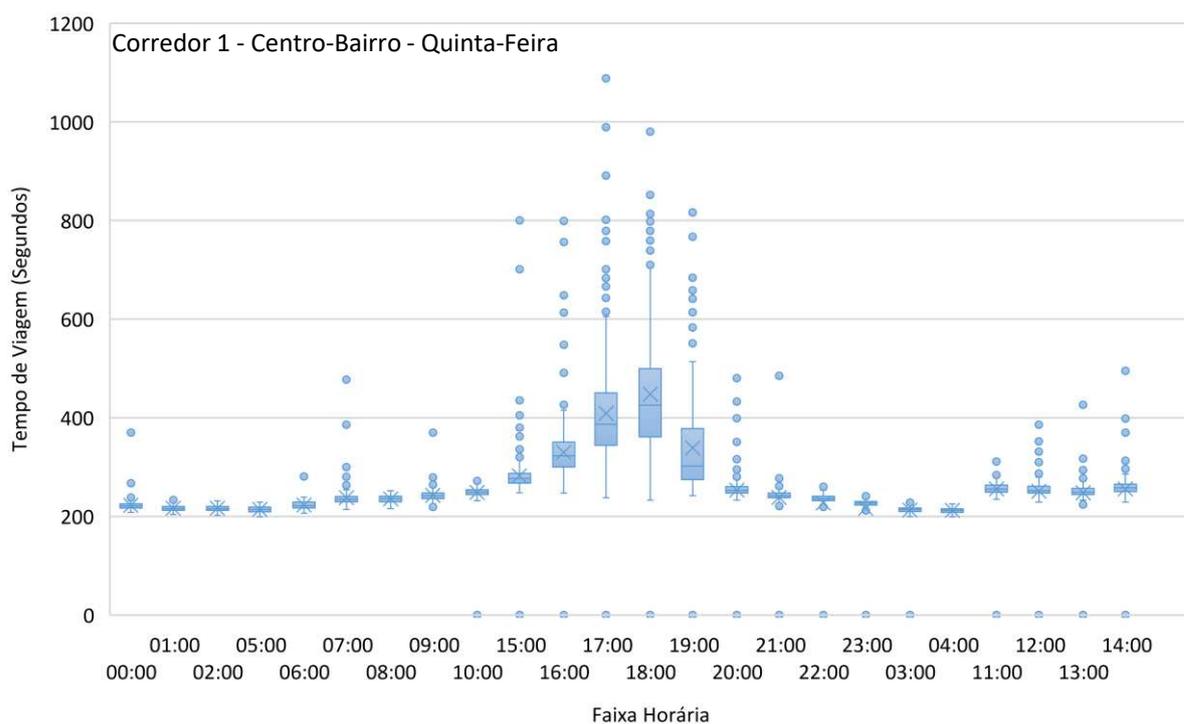


Figura B. 26: Trecho Viário 2 – Centro-Bairro – Quinta Feira

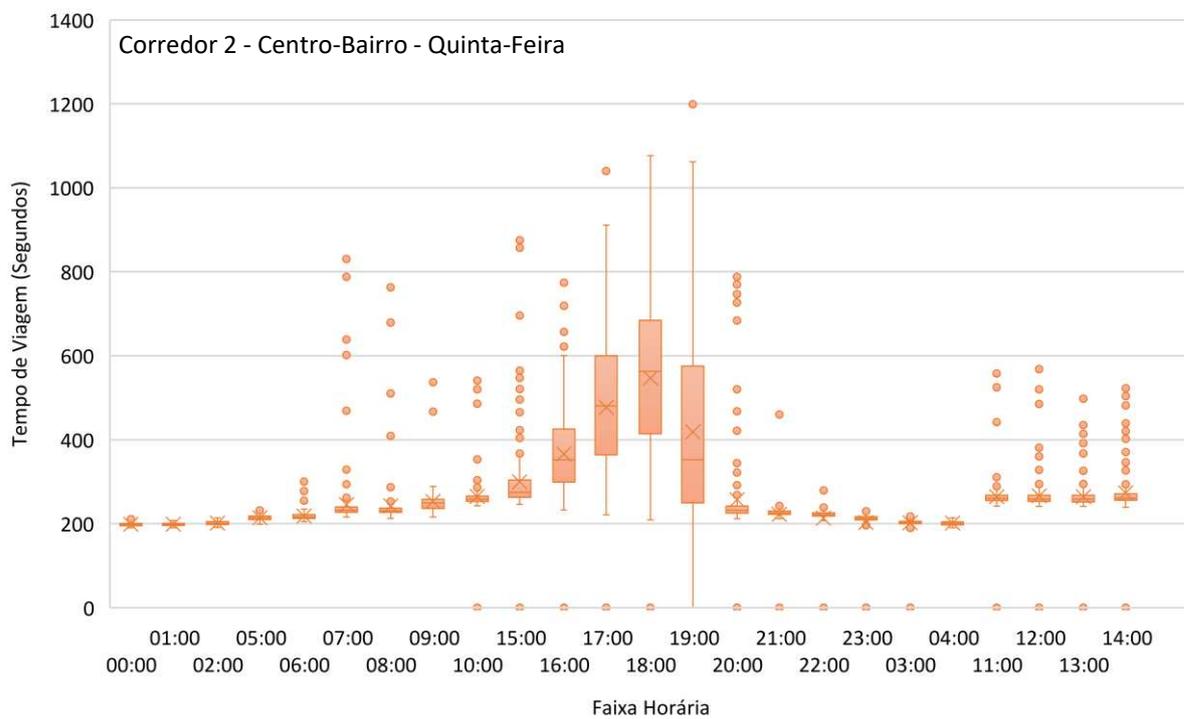


Figura B. 27: Trecho Viário 3 – Centro-Bairro – Quinta Feira

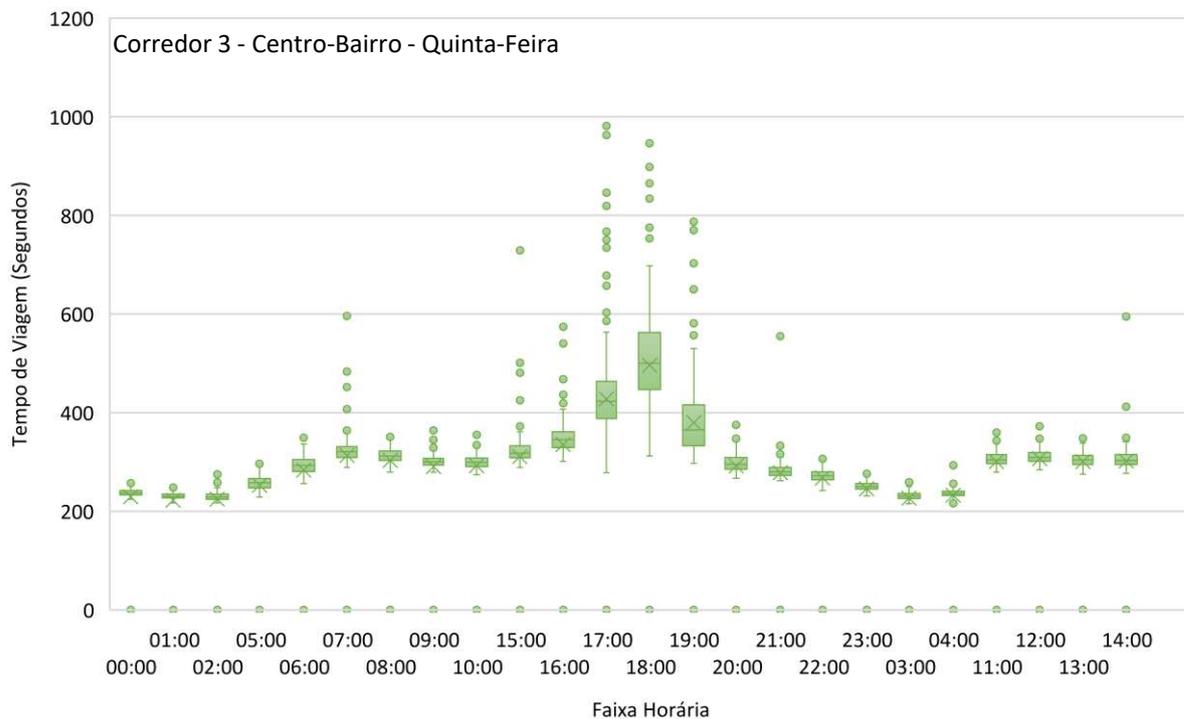


Figura B. 28 Trecho Viário 4 – Oeste-Leste – Quinta Feira

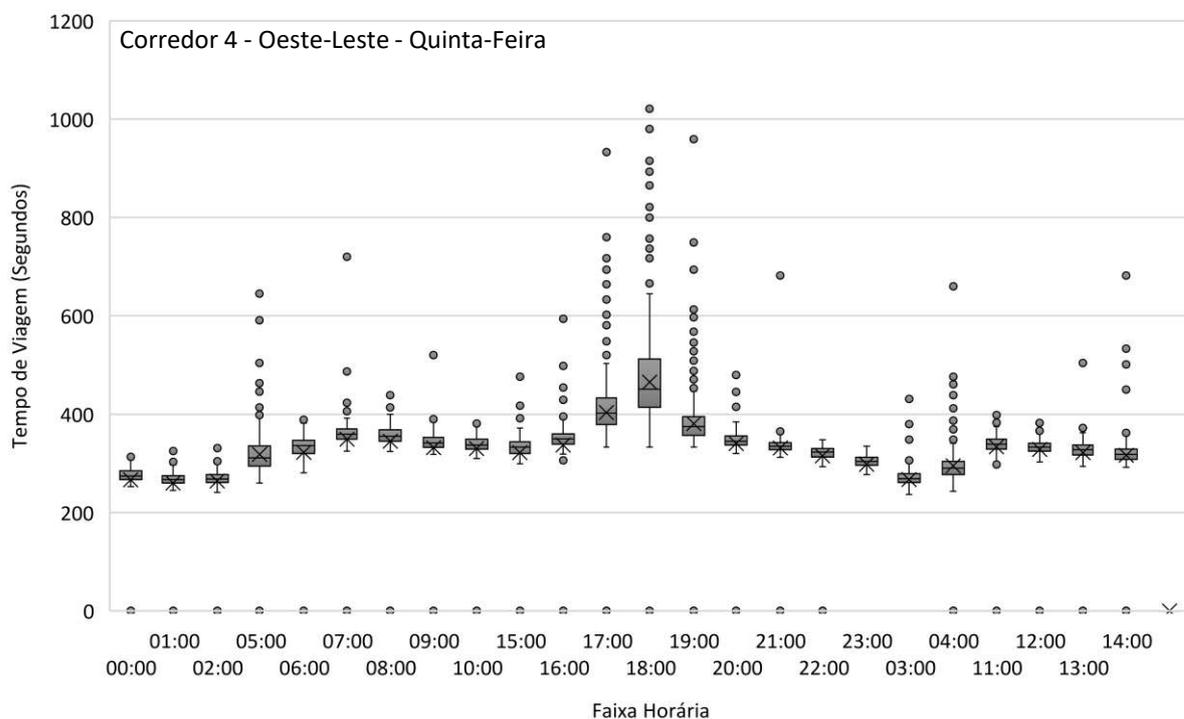


Figura B. 29: Trecho Viário 1 – Bairro-Centro – Quinta Feira

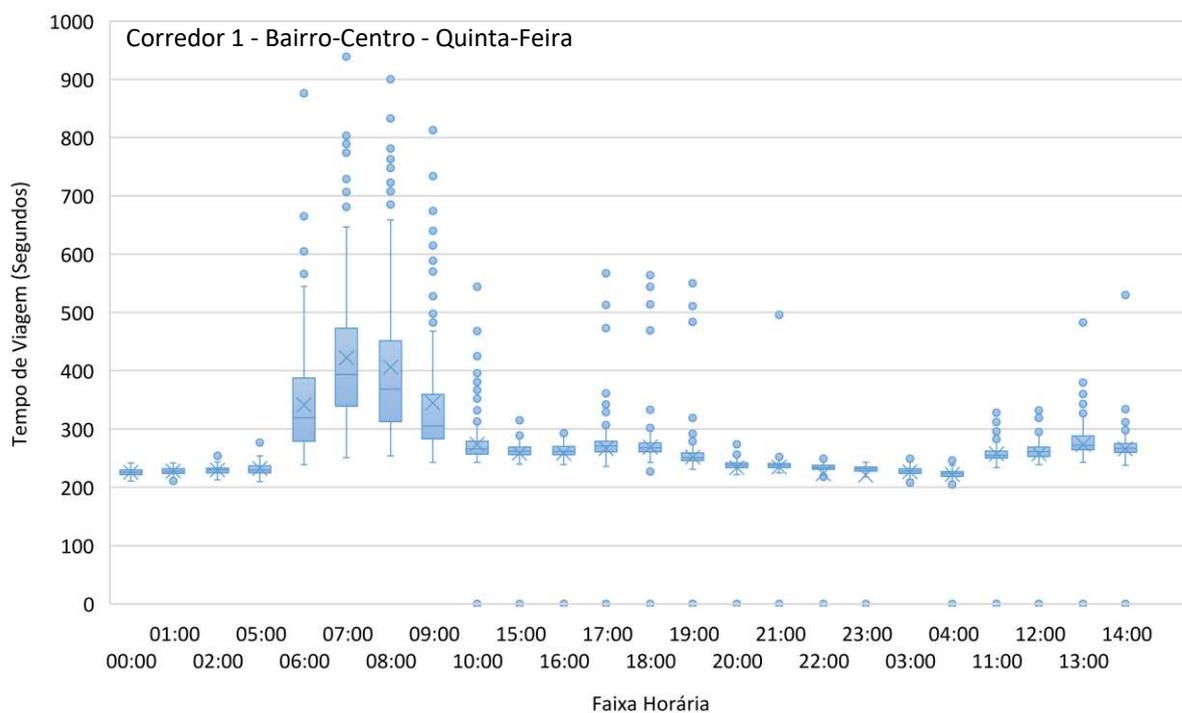


Figura B. 30: Trecho Viário 2 – Bairro-Centro – Quinta Feira

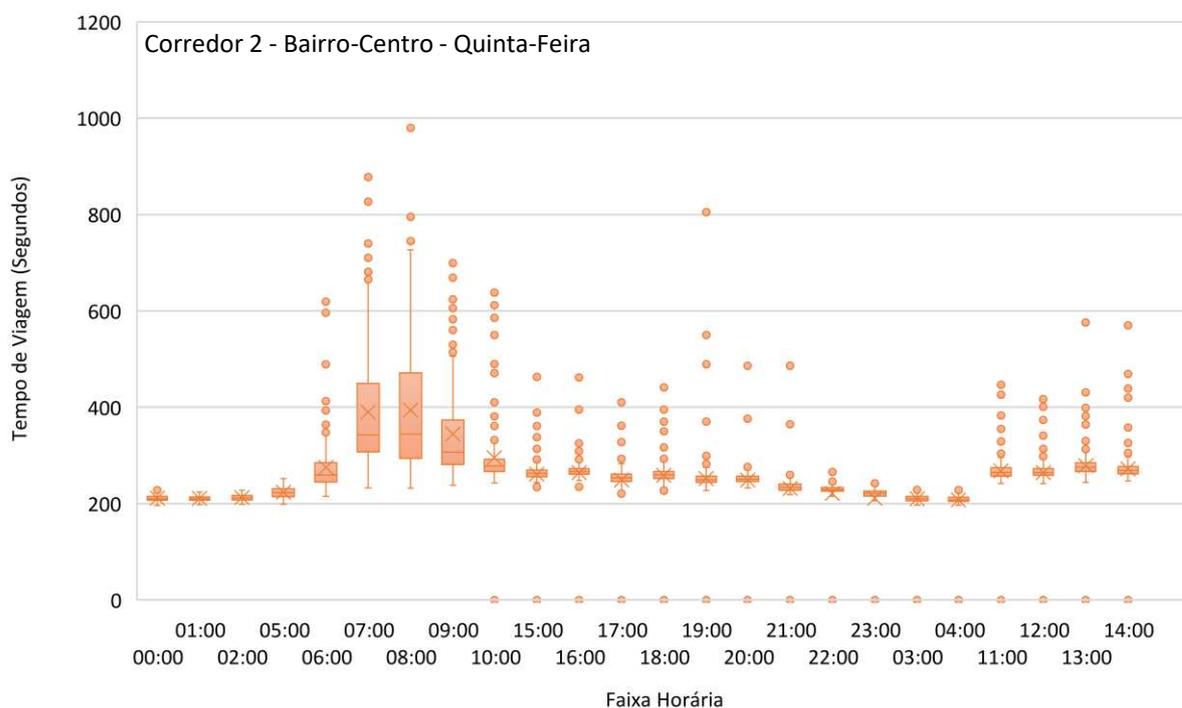


Figura B. 31: Trecho Viário 3 – Bairro-Centro – Quinta Feira

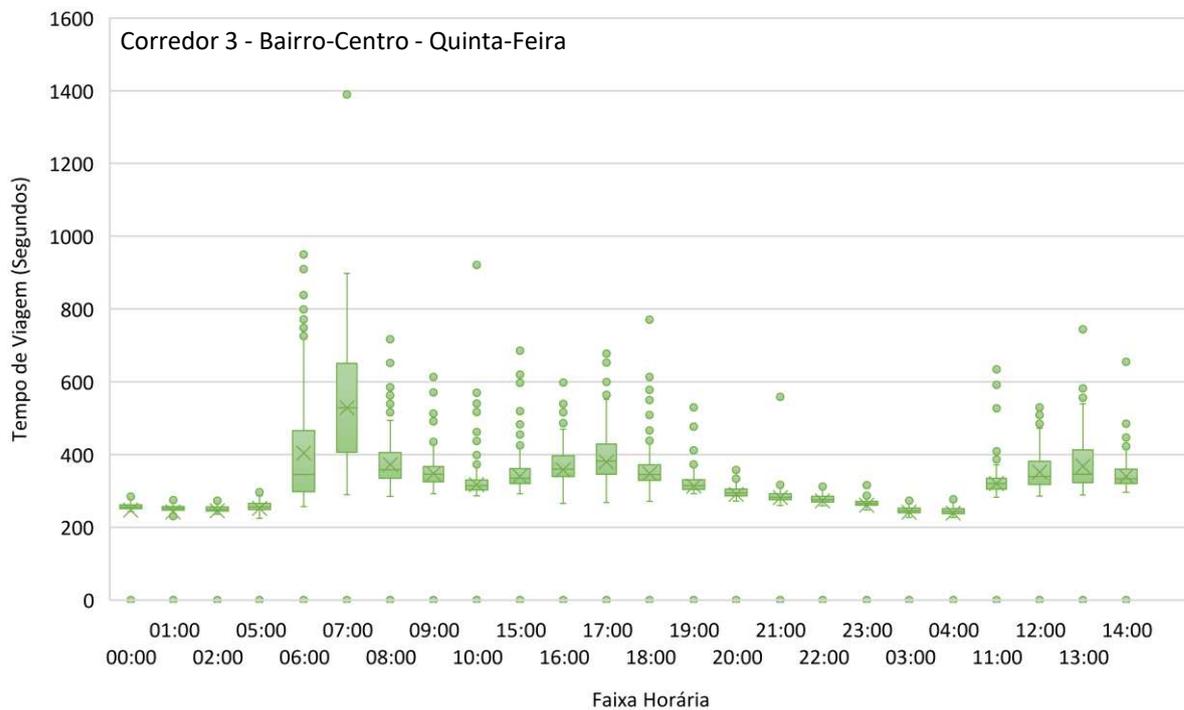


Figura B. 32: Trecho Viário 4 – Leste-Oeste – Quinta Feira

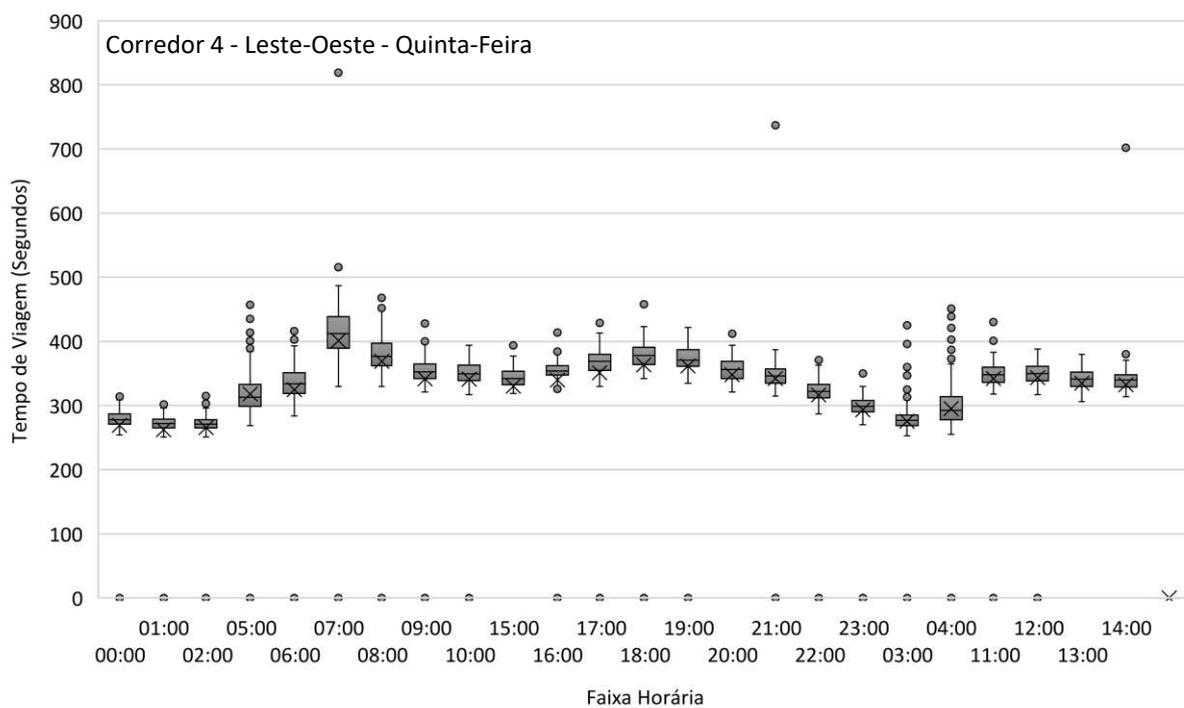


Figura B. 33: Trecho Viário 1 – Centro-Bairro – Sexta Feira

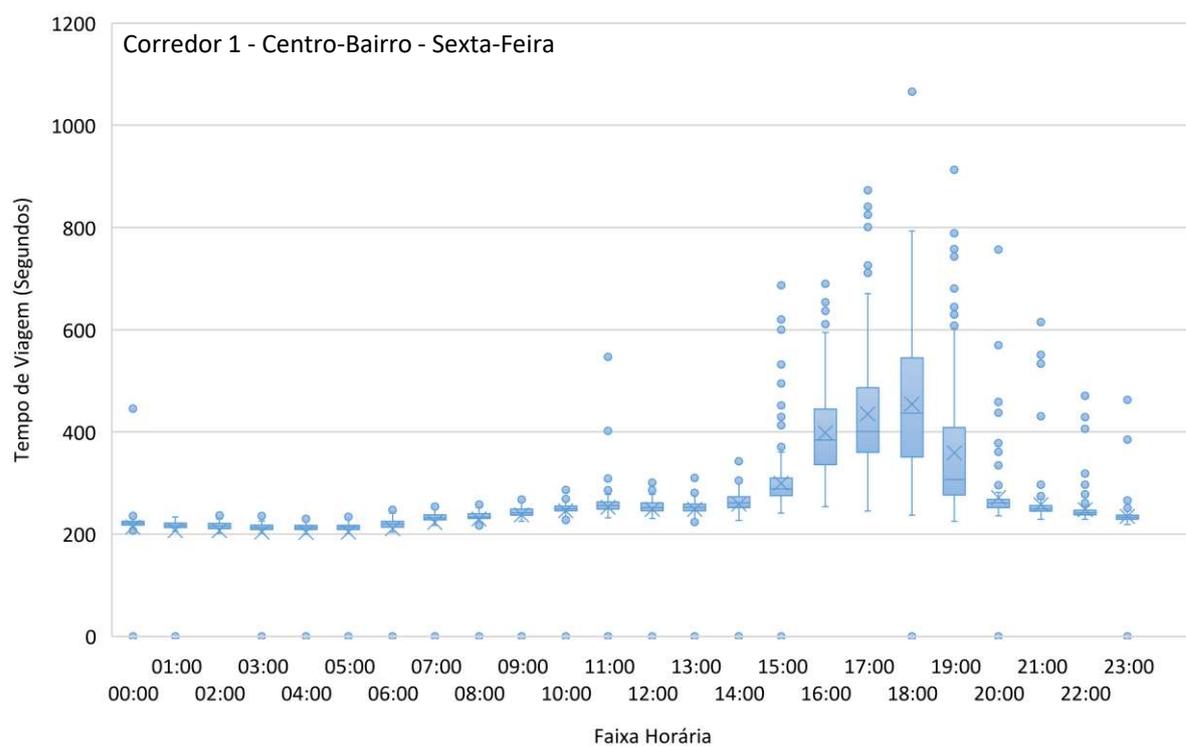


Figura B. 34: Trecho Viário 2 – Centro-Bairro – Sexta Feira

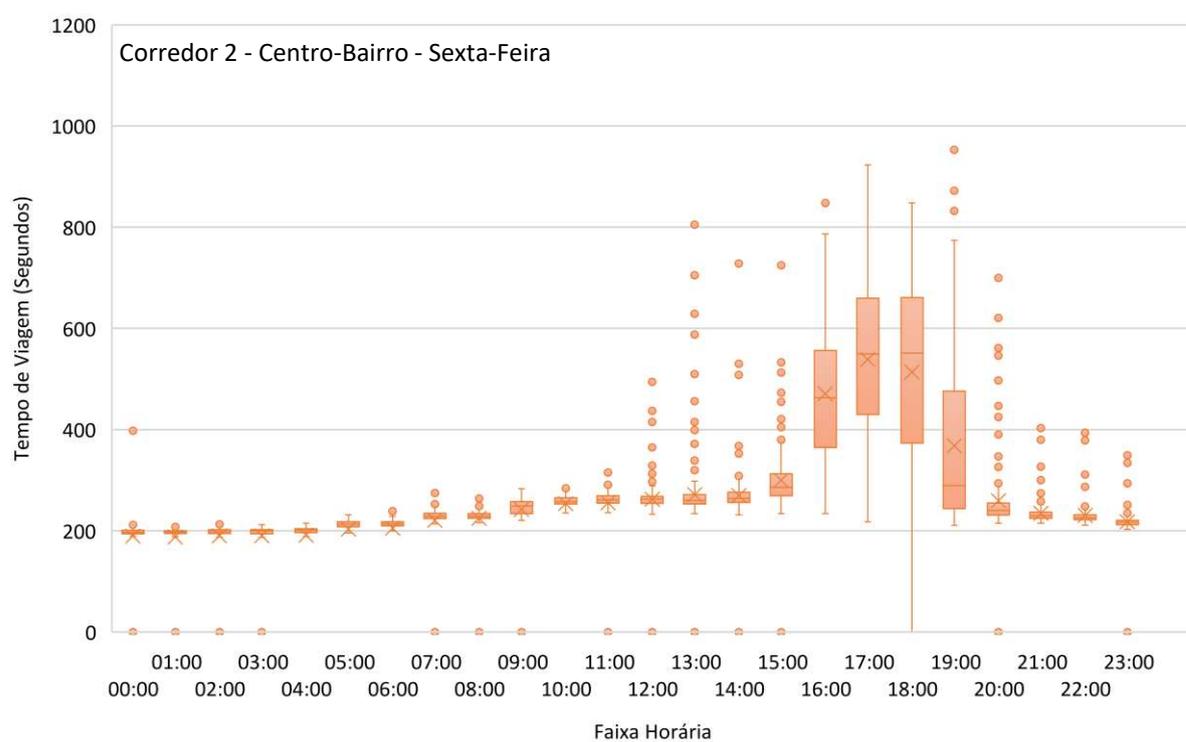


Figura B. 35: Trecho Viário 3 – Centro-Bairro – Sexta Feira

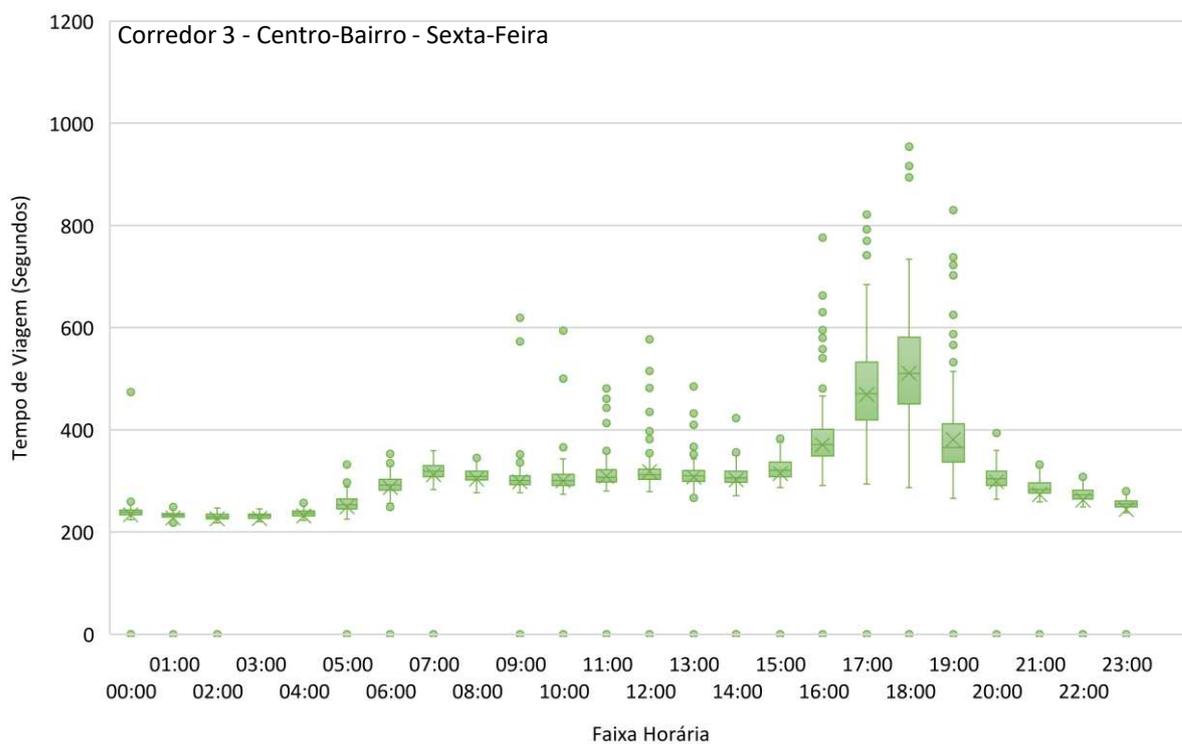


Figura B. 36: Trecho Viário 4 – Oeste-Leste – Sexta Feira

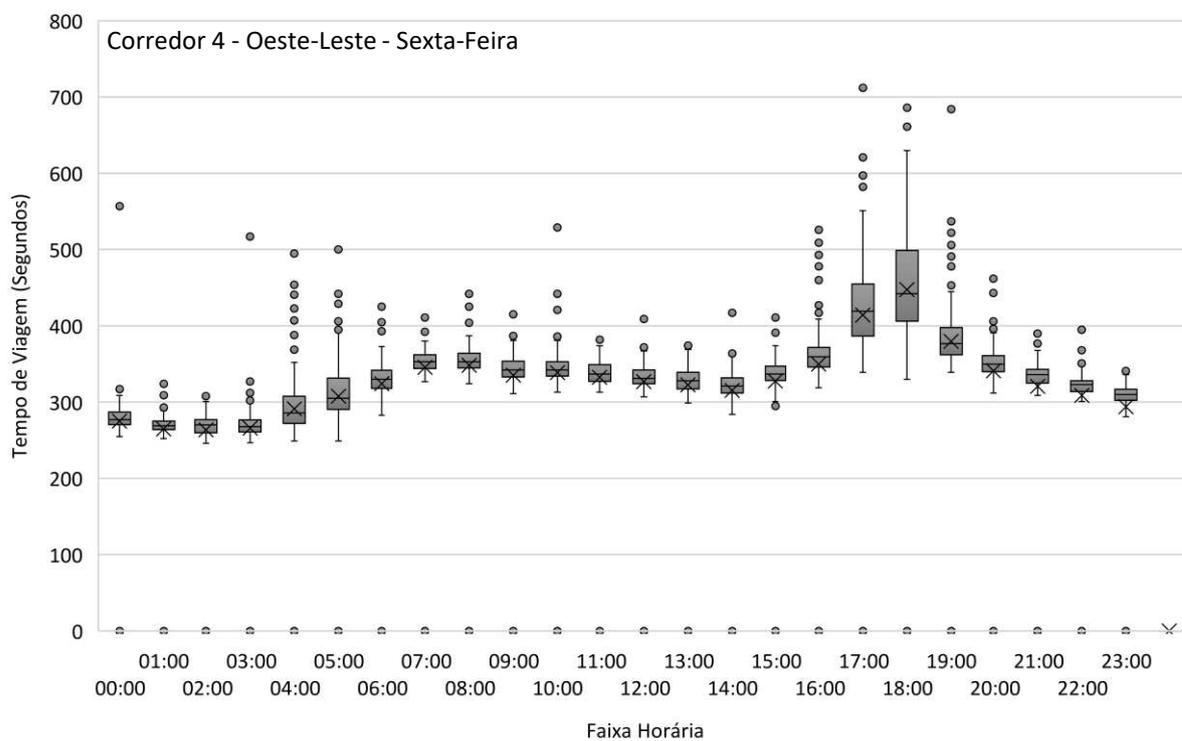


Figura B. 37: Trecho Viário 1 – Bairro-Centro – Sexta Feira

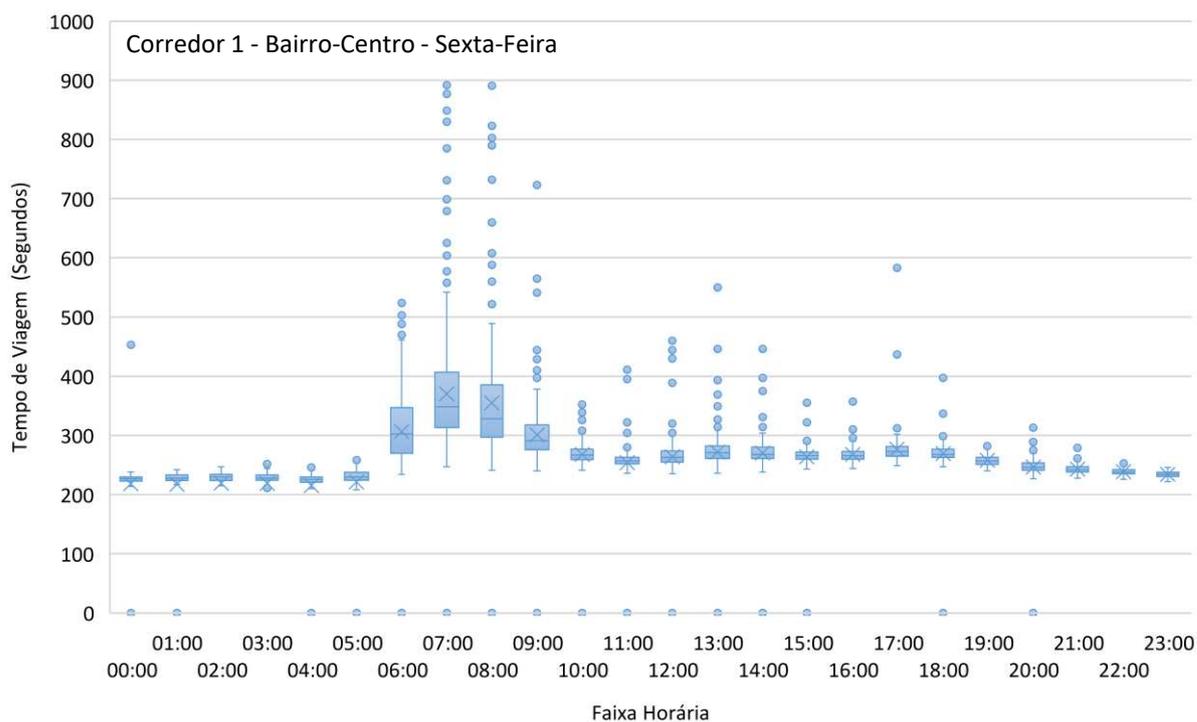


Figura B. 38: Trecho Viário 2 – Bairro-Centro – Sexta Feira

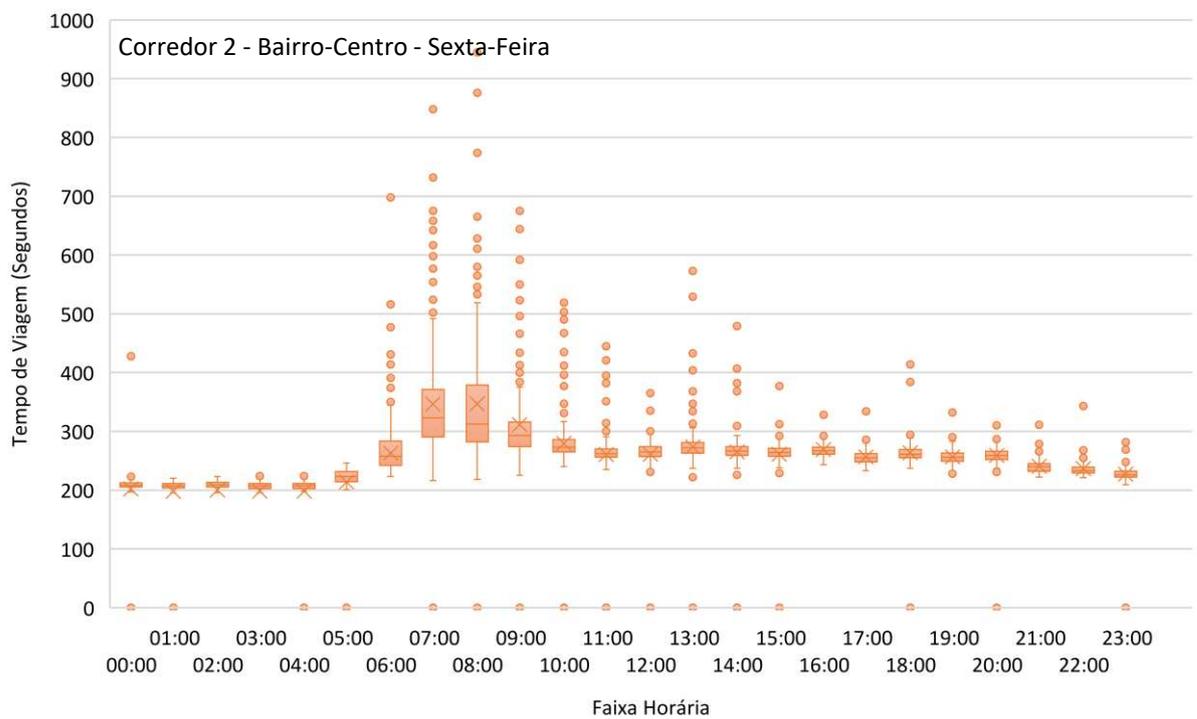


Figura B. 39: Trecho Viário 3 – Bairro-Centro – Sexta Feira

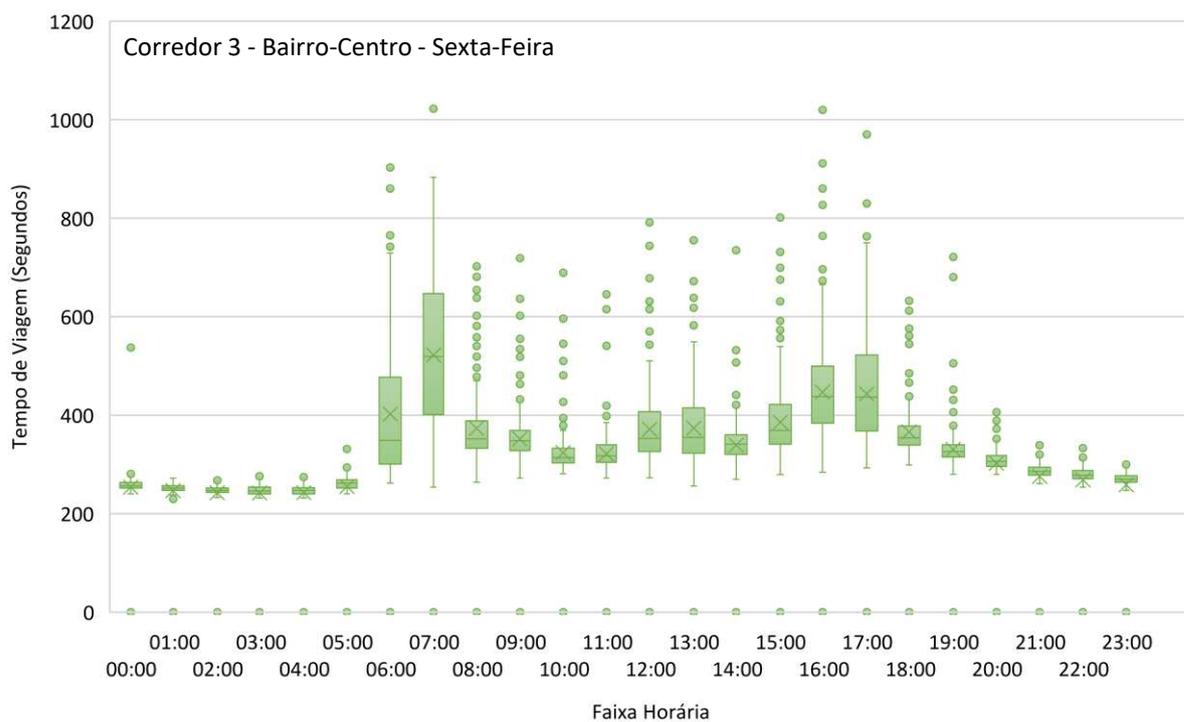
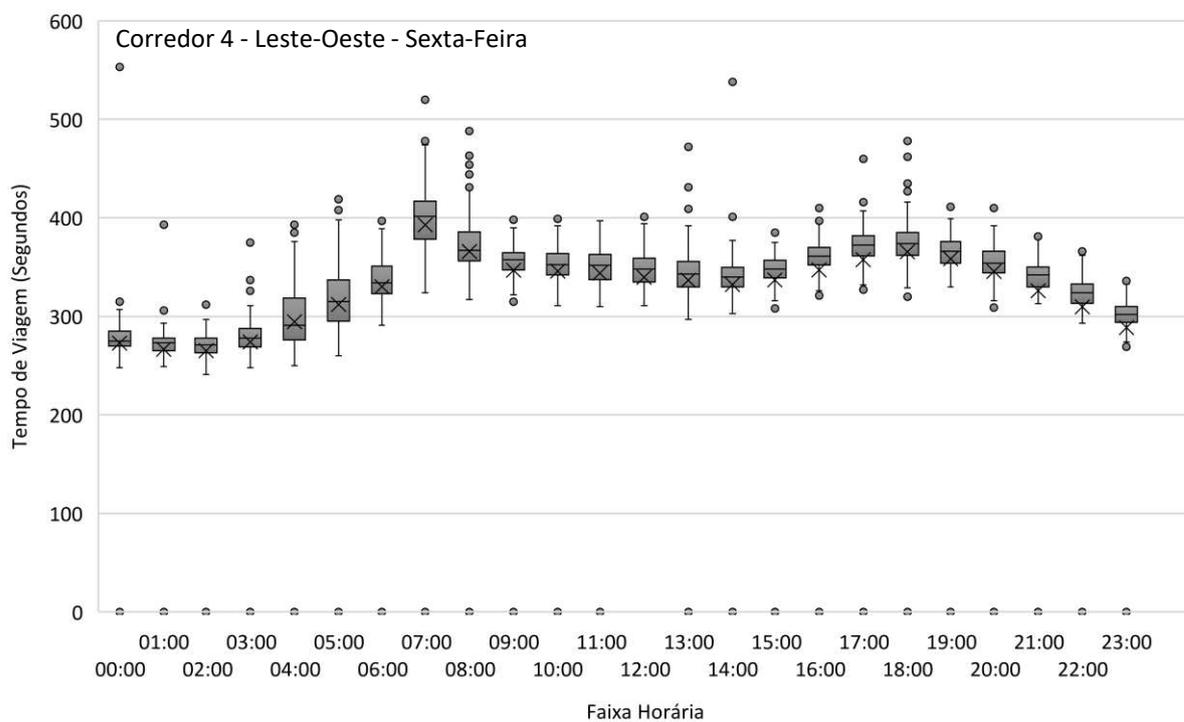


Figura B. 40: Trecho Viário 4 – Leste-Oeste – Sexta Feira



**APÊNDICE C - RESULTADOS DO TESTE DE ADEQUAÇÃO (K-S) PARA AS
DISTRIBUIÇÕES LOGNORMAL, GAMMA, WEIBULL E BURR
AJUSTADAS AOS DADOS DE TEMPO DE VIAGEM**

Tabela C. 1: Resultados do teste de adequação (K-S) para as distribuições Lognormal, Gamma, Weibull e Burr ajustadas aos dados de tempo de viagem – Bairro-centro.

Dia	Faixa Horária	Trecho 1				Trecho 2				Trecho 3			
		Lognormal	Gamma	Weibull	Burr	Lognormal	Gamma	Weibull	Burr	Lognormal	Gamma	Weibull	Burr
Segunda-Feira	00h-05h	NR	NR	NR	R	R	R	NR	R	NR	NR	NR	R
Segunda-Feira	05h-06h	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Segunda-Feira	06h-07h	NR	NR	NR	NR	NR	NR	R	NR	R	R	NR	R
Segunda-Feira	07h-08h	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	R
Segunda-Feira	08h-09h	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	R	NR	R	NR
Segunda-Feira	09h-10h	NR	NR	R	NR	NR	NR	R	NR	NR	NR	NR	NR
Segunda-Feira	10h-11h	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Segunda-Feira	11h-18h	NR	R	NR	R	NR	R	NR	R	R	R	R	NR
Segunda-Feira	18h-19h	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Segunda-Feira	19h-20h	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Segunda-Feira	20h-23h	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Terça-Feira	00h-05h	R	R	NR	R	R	R	NR	R	NR	NR	NR	R
Terça-Feira	05h-06h	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	R	NR	NR	NR	NR
Terça-Feira	06h-07h	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	R
Terça-Feira	07h-08h	NR	NR	R	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	R
Terça-Feira	08h-09h	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Terça-Feira	09h-10h	R	R	NR	R	NR	R	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Terça-Feira	10h-11h	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Terça-Feira	11h-18h	NR	R	NR	R	NR	R	R	R	R	R	NR	R
Terça-Feira	18h-19h	NR	NR	NR	NR	NR	NR	R	NR	NR	NR	NR	NR
Terça-Feira	19h-20h	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Terça-Feira	20h-23h	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Quarta-Feira	00h-05h	R	R	NR	R	R	R	NR	R	NR	R	NR	R
Quarta-Feira	05h-06h	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	R
Quarta-Feira	06h-07h	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	R
Quarta-Feira	07h-08h	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Quarta-Feira	08h-09h	NR	NR	R	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Quarta-Feira	09h-10h	NR	R	NR	NR	NR	NR	R	NR	NR	NR	R	NR
Quarta-Feira	10h-11h	NR	NR	R	NR	NR	NR	R	NR	NR	NR	NR	NR

Dia	Faixa Horária	Trecho 1				Trecho 2				Trecho 3			
		Lognormal	Gamma	Weibull	Burr	Lognormal	Gamma	Weibull	Burr	Lognormal	Gamma	Weibull	Burr
Quinta-Feira	22h-23h	NR	NR	NR	R	NR	NR	NR	R	NR	NR	NR	NR
Sexta-Feira	00h-14h	R	R	NR	R	R	R	NR	R	R	R	NR	R
Sexta-Feira	14h-15h	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Sexta-Feira	15h-16h	NR	NR	R	NR	NR	NR	R	NR	NR	NR	NR	NR
Sexta-Feira	16h-17h	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	R	NR	NR	NR	NR
Sexta-Feira	17h-18h	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Sexta-Feira	18h-19h	NR	NR	NR	NR	R	R	NR	R	NR	NR	NR	NR
Sexta-Feira	19h-20h	R	R	NR	R	R	R	NR	R	NR	NR	R	NR
Sexta-Feira	20h-21h	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Sexta-Feira	21h-22h	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	R	NR
Sexta-Feira	22h-23h	NR	NR	NR	R	NR	NR	NR	R	NR	NR	NR	NR

Legenda: R=Rejeitada; NR = Não Rejeitada.

Tabela C. 3: Resultados do teste de adequação (K-S) para as distribuições Lognormal, Gamma, Weibull e Burr ajustadas aos dados de tempo de viagem – Trecho 4.

Dia	Faixa Horária	Leste - Oeste				Dia	Faixa Horária	Oeste-Leste			
		Lognormal	Gamma	Weibull	Burr			Lognormal	Gamma	Weibull	Burr
Segunda-Feira	00h-02h	NR	NR	NR	NR	Segunda-Feira	00h-03h	NR	NR	NR	NR
Segunda-Feira	03h-04h	NR	NR	NR	NR	Segunda-Feira	04h-05h	NR	NR	R	NR
Segunda-Feira	04h-05h	NR	NR	NR	NR	Segunda-Feira	05h-06h	NR	NR	NR	NR
Segunda-Feira	05h-06h	NR	NR	NR	NR	Segunda-Feira	06h-07h	NR	NR	NR	NR
Segunda-Feira	06h-07h	NR	NR	NR	NR	Segunda-Feira	07h-08h	NR	NR	NR	R
Segunda-Feira	07h-08h	NR	NR	NR	NR	Segunda-Feira	08h-09h	NR	NR	R	NR
Segunda-Feira	08h-09h	NR	NR	NR	NR	Segunda-Feira	09h-11h	NR	NR	NR	NR
Segunda-Feira	09h-10h	NR	NR	NR	NR	Segunda-Feira	12h-13h	NR	NR	NR	NR
Segunda-Feira	10h-12h	NR	NR	NR	NR	Segunda-Feira	13h-14h	NR	NR	NR	R
Segunda-Feira	13h-14h	NR	NR	NR	NR	Segunda-Feira	14h-15h	NR	NR	NR	R
Segunda-Feira	14h-15h	NR	NR	NR	NR	Segunda-Feira	15h-16h	NR	NR	NR	R
Segunda-Feira	15h-16h	NR	NR	NR	R	Segunda-Feira	16h-17h	NR	NR	NR	NR
Segunda-Feira	16h-17h	NR	NR	NR	NR	Segunda-Feira	17h-18h	NR	NR	NR	NR
Segunda-Feira	17h-18h	NR	NR	NR	NR	Segunda-Feira	18h-19h	NR	NR	NR	NR
Segunda-Feira	18h-19h	NR	NR	NR	NR	Segunda-Feira	19h-20h	NR	NR	NR	NR

Dia	Faixa Horária	Leste - Oeste				Dia	Faixa Horária	Oeste-Leste			
		Log normal	Gama	Weibull	Burr			Lognormal	Gama	Weibull	Burr
Segunda-Feira	19h-20h	NR	NR	NR	NR	Segunda-Feira	20h-21h	NR	NR	NR	NR
Segunda-Feira	20h-21h	NR	NR	NR	NR	Segunda-Feira	21h-22h	NR	NR	NR	NR
Segunda-Feira	21h-22h	NR	NR	NR	NR	Segunda-Feira	22h-23h	NR	NR	NR	NR
Segunda-Feira	22h-23h	NR	NR	NR	NR	Segunda-Feira	23h-00h	NR	NR	NR	NR
Segunda-Feira	23h-00h	NR	NR	NR	NR	Terça-Feira	00h-03h	NR	NR	NR	NR
Terça-Feira	00h-02h	NR	NR	NR	NR	Terça-Feira	04h-05h	NR	NR	NR	NR
Terça-Feira	03h-04h	NR	NR	NR	NR	Terça-Feira	05h-06h	NR	NR	NR	R
Terça-Feira	04h-05h	NR	NR	NR	NR	Terça-Feira	06h-07h	NR	NR	NR	NR
Terça-Feira	05h-06h	NR	NR	NR	NR	Terça-Feira	07h-08h	NR	NR	NR	NR
Terça-Feira	06h-07h	NR	NR	NR	NR	Terça-Feira	08h-09h	NR	NR	R	NR
Terça-Feira	07h-08h	NR	NR	NR	NR	Terça-Feira	09h-11h	NR	NR	NR	NR
Terça-Feira	08h-09h	NR	NR	NR	NR	Terça-Feira	12h-13h	NR	NR	NR	NR
Terça-Feira	09h-10h	NR	NR	NR	NR	Terça-Feira	13h-14h	NR	NR	NR	NR
Terça-Feira	10h-12h	NR	NR	NR	NR	Terça-Feira	14h-15h	NR	NR	NR	NR
Terça-Feira	13h-14h	NR	NR	R	NR	Terça-Feira	15h-16h	NR	NR	NR	NR
Terça-Feira	14h-15h	NR	NR	NR	NR	Terça-Feira	16h-17h	NR	NR	NR	NR
Terça-Feira	15h-16h	NR	NR	NR	R	Terça-Feira	17h-18h	NR	NR	NR	R
Terça-Feira	16h-17h	NR	NR	NR	NR	Terça-Feira	18h-19h	NR	NR	NR	R
Terça-Feira	17h-18h	NR	NR	NR	R	Terça-Feira	19h-20h	NR	NR	NR	R
Terça-Feira	18h-19h	NR	NR	NR	NR	Terça-Feira	20h-21h	NR	NR	NR	NR
Terça-Feira	19h-20h	NR	NR	R	NR	Terça-Feira	21h-22h	NR	NR	R	NR
Terça-Feira	20h-21h	NR	NR	NR	NR	Terça-Feira	22h-23h	NR	NR	NR	NR
Terça-Feira	21h-22h	NR	NR	NR	NR	Terça-Feira	23h-00h	NR	NR	NR	NR
Terça-Feira	22h-23h	NR	NR	NR	NR	Quarta-Feira	00h-03h	NR	NR	NR	NR
Terça-Feira	23h-00h	NR	NR	NR	NR	Quarta-Feira	04h-05h	NR	NR	NR	NR
Quarta-Feira	00h-02h	NR	NR	NR	NR	Quarta-Feira	05h-06h	NR	NR	NR	NR
Quarta-Feira	03h-04h	NR	NR	NR	NR	Quarta-Feira	06h-07h	NR	NR	NR	NR
Quarta-Feira	04h-05h	NR	NR	NR	NR	Quarta-Feira	07h-08h	NR	NR	NR	NR
Quarta-Feira	05h-06h	NR	NR	R	NR	Quarta-Feira	08h-09h	NR	R	NR	NR
Quarta-Feira	06h-07h	NR	NR	NR	NR	Quarta-Feira	09h-11h	NR	NR	NR	NR
Quarta-Feira	07h-08h	NR	NR	NR	NR	Quarta-Feira	12h-13h	NR	NR	NR	NR
Quarta-Feira	08h-09h	NR	NR	NR	NR	Quarta-Feira	13h-14h	NR	NR	NR	NR
Quarta-Feira	09h-10h	NR	NR	NR	NR	Quarta-Feira	14h-15h	NR	NR	NR	R
Quarta-Feira	10h-12h	NR	NR	NR	NR	Quarta-Feira	15h-16h	NR	NR	NR	NR
Quarta-Feira	13h-14h	NR	NR	NR	NR	Quinta-Feira	16h-17h	NR	NR	NR	NR
Quarta-Feira	14h-15h	NR	NR	NR	NR	Quinta-Feira	17h-18h	NR	NR	NR	NR

Dia	Faixa Horária	Leste - Oeste				Dia	Faixa Horária	Oeste-Leste			
		Log normal	Gama	Weibull	Burr			Lognormal	Gama	Weibull	Burr
Quarta-Feira	15h-16h	NR	NR	NR	NR	Quinta-Feira	18h-19h	NR	NR	NR	R
Quarta-Feira	16h-17h	NR	NR	NR	NR	Quinta-Feira	19h-20h	NR	NR	NR	NR
Quarta-Feira	17h-18h	NR	R	NR	NR	Quinta-Feira	20h-21h	NR	NR	NR	NR
Quarta-Feira	18h-19h	NR	NR	NR	NR	Quinta-Feira	21h-22h	NR	NR	NR	NR
Quarta-Feira	19h-20h	R	R	NR	NR	Quinta-Feira	22h-23h	NR	NR	NR	NR
Quarta-Feira	20h-21h	NR	NR	NR	NR	Quinta-Feira	23h-00h	NR	NR	NR	NR
Quarta-Feira	21h-22h	NR	NR	NR	NR	Quinta-Feira	00h-03h	NR	NR	NR	NR
Quarta-Feira	22h-23h	NR	NR	NR	NR	Quinta-Feira	04h-05h	NR	NR	R	NR
Quarta-Feira	23h-00h	NR	NR	NR	NR	Quinta-Feira	05h-06h	NR	NR	NR	NR
Quinta-Feira	00h-02h	NR	NR	NR	NR	Quinta-Feira	06h-07h	NR	NR	NR	NR
Quinta-Feira	03h-04h	NR	NR	NR	NR	Quinta-Feira	07h-08h	NR	NR	NR	NR
Quinta-Feira	04h-05h	NR	NR	NR	NR	Quinta-Feira	08h-09h	NR	NR	NR	NR
Quinta-Feira	05h-06h	NR	NR	R	NR	Quinta-Feira	09h-11h	NR	NR	NR	NR
Quinta-Feira	06h-07h	NR	NR	NR	NR	Quinta-Feira	12h-13h	NR	NR	NR	NR
Quinta-Feira	07h-08h	NR	NR	NR	NR	Quinta-Feira	13h-14h	NR	NR	NR	NR
Quinta-Feira	08h-09h	NR	NR	NR	NR	Quinta-Feira	14h-15h	NR	NR	NR	R
Quinta-Feira	09h-10h	NR	NR	NR	NR	Quinta-Feira	15h-16h	NR	NR	NR	NR
Quinta-Feira	10h-12h	NR	NR	NR	NR	Sexta-Feira	16h-17h	NR	NR	NR	NR
Quinta-Feira	13h-14h	NR	NR	NR	NR	Sexta-Feira	17h-18h	NR	NR	NR	NR
Quinta-Feira	14h-15h	NR	NR	NR	NR	Sexta-Feira	18h-19h	NR	NR	NR	R
Quinta-Feira	15h-16h	NR	NR	NR	NR	Sexta-Feira	19h-20h	NR	NR	NR	NR
Quinta-Feira	16h-17h	NR	NR	NR	NR	Sexta-Feira	20h-21h	NR	NR	NR	NR
Quinta-Feira	17h-18h	NR	NR	NR	NR	Sexta-Feira	21h-22h	NR	NR	NR	R
Quinta-Feira	18h-19h	NR	NR	NR	NR	Sexta-Feira	22h-23h	NR	NR	NR	NR
Quinta-Feira	19h-20h	NR	NR	NR	NR	Sexta-Feira	23h-00h	NR	NR	NR	NR
Quinta-Feira	20h-21h	NR	NR	NR	NR	Sexta-Feira	00h-03h	NR	NR	NR	NR
Quinta-Feira	21h-22h	NR	NR	NR	NR	Sexta-Feira	04h-05h	NR	NR	NR	NR
Quinta-Feira	22h-23h	NR	NR	NR	R	Sexta-Feira	05h-06h	NR	NR	NR	NR
Quinta-Feira	23h-00h	NR	NR	NR	NR	Sexta-Feira	06h-07h	NR	NR	NR	NR
Sexta-Feira	00h-02h	NR	NR	NR	NR	Sexta-Feira	07h-08h	NR	NR	NR	R
Sexta-Feira	03h-04h	NR	NR	NR	NR	Sexta-Feira	08h-09h	NR	NR	NR	NR
Sexta-Feira	04h-05h	NR	NR	R	NR	Sexta-Feira	09h-11h	NR	NR	NR	NR
Sexta-Feira	05h-06h	NR	NR	NR	NR	Sexta-Feira	12h-13h	NR	NR	NR	NR
Sexta-Feira	06h-07h	NR	NR	NR	R	Sexta-Feira	13h-14h	NR	NR	NR	NR
Sexta-Feira	07h-08h	NR	NR	NR	NR	Sexta-Feira	14h-15h	NR	NR	NR	NR
Sexta-Feira	08h-09h	NR	NR	NR	NR	Sexta-Feira	15h-16h	NR	NR	NR	R

Dia	Faixa Horária	Leste - Oeste				Dia	Faixa Horária	Oeste-Leste			
		Log normal	Gama	Weibull	Burr			Lognormal	Gama	Weibull	Burr
Sexta-Feira	09h-10h	NR	NR	NR	NR	Sexta-Feira	16h-17h	NR	NR	NR	NR
Sexta-Feira	10h-12h	NR	NR	NR	NR	Sexta-Feira	17h-18h	NR	NR	NR	NR
Sexta-Feira	13h-14h	NR	NR	NR	NR	Sexta-Feira	18h-19h	NR	NR	NR	R
Sexta-Feira	14h-15h	NR	NR	NR	NR	Sexta-Feira	19h-20h	NR	NR	NR	NR
Sexta-Feira	15h-16h	NR	NR	NR	NR	Sexta-Feira	20h-21h	NR	NR	NR	NR
Sexta-Feira	16h-17h	NR	NR	NR	NR	Sexta-Feira	21h-22h	NR	NR	NR	R
Sexta-Feira	17h-18h	NR	NR	NR	NR	Sexta-Feira	22h-23h	NR	NR	NR	NR
Sexta-Feira	18h-19h	NR	NR	NR	NR	Sexta-Feira	23h-00h	NR	NR	NR	NR
Sexta-Feira	19h-20h	NR	NR	NR	NR						
Sexta-Feira	20h-21h	NR	NR	NR	NR						
Sexta-Feira	21h-22h	NR	NR	NR	NR						
Sexta-Feira	22h-23h	NR	NR	NR	R						
Sexta-Feira	23h-00h	NR	NR	NR	NR						

Legenda: R=Rejeitada; NR = Não Rejeitada.

APÊNDICE D - MÉTRICAS DE CONFIABILIDADE DO TEMPO DE VIAGEM – DADOS EMPÍRICOS

Desvio padrão

Figura D. 1: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – Desvio Padrão – Sentido Bairro/Centro – Dados Empíricos

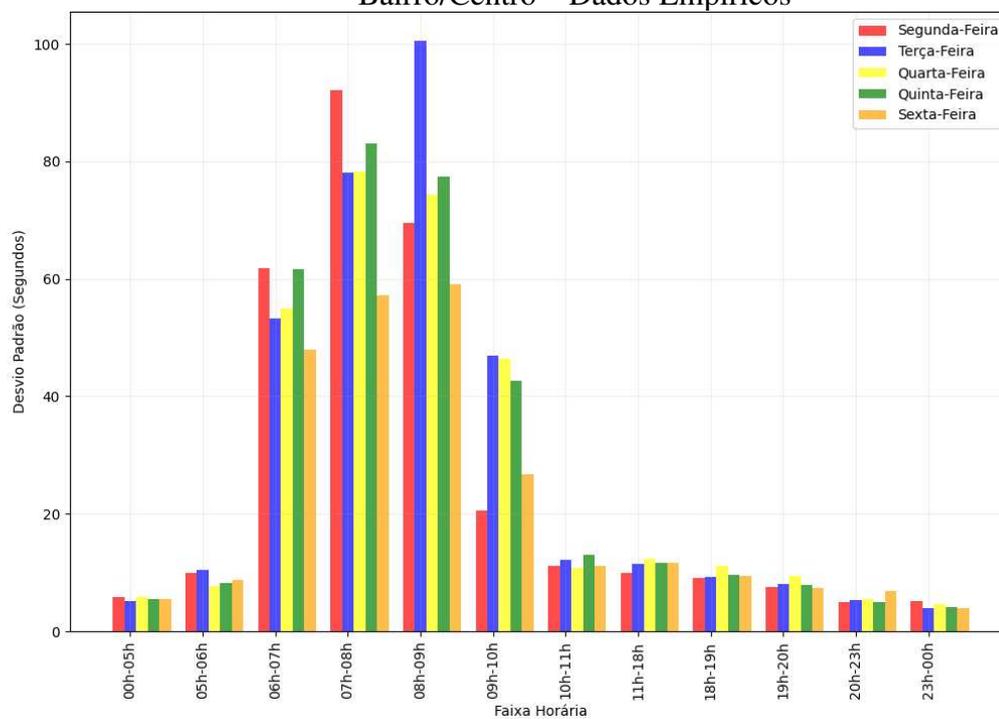


Figura D. 2: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – Desvio Padrão – Sentido Centro/Bairro – Dados Empíricos

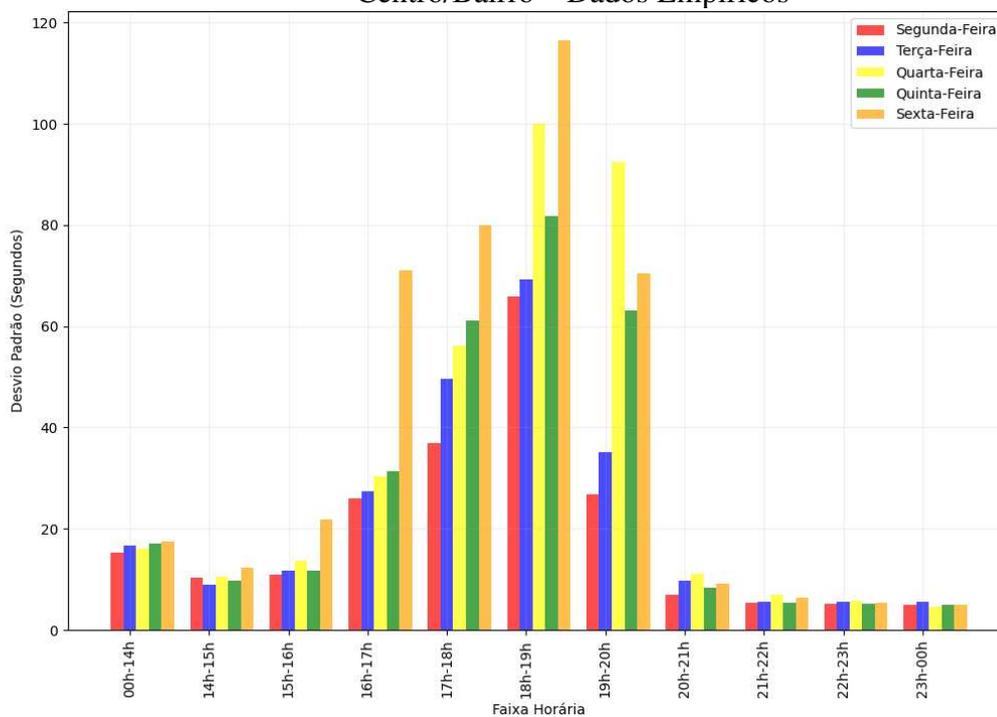


Figura D. 3: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado – Desvio Padrão – Sentido Bairro/Centro – Dados Empíricos

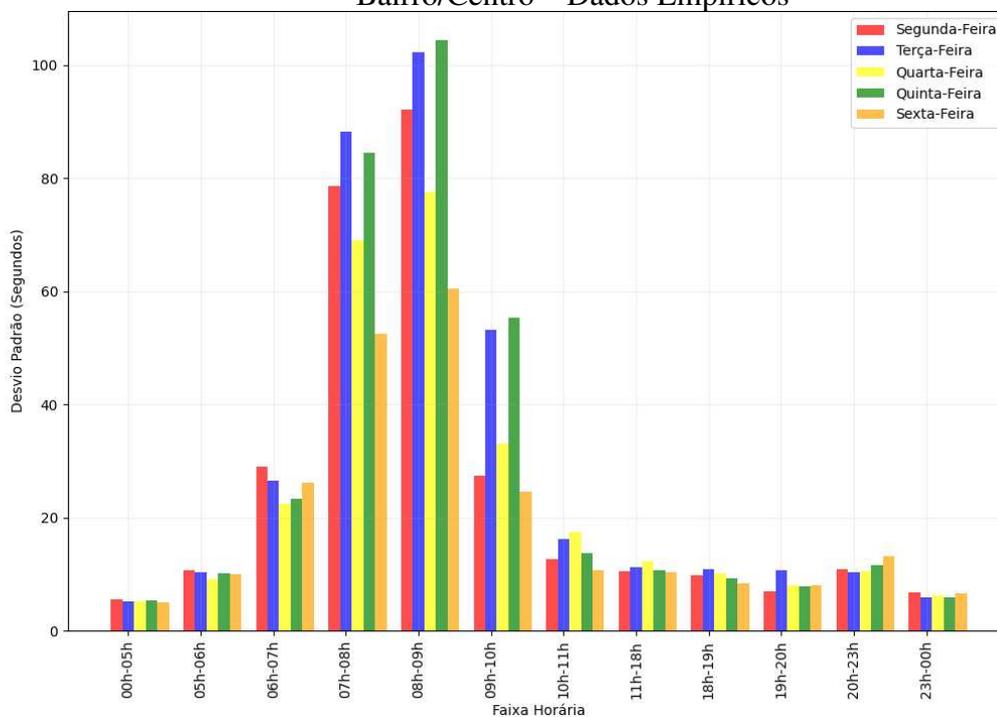


Figura D. 4: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado – Desvio Padrão – Sentido Centro/Bairro – Dados Empíricos

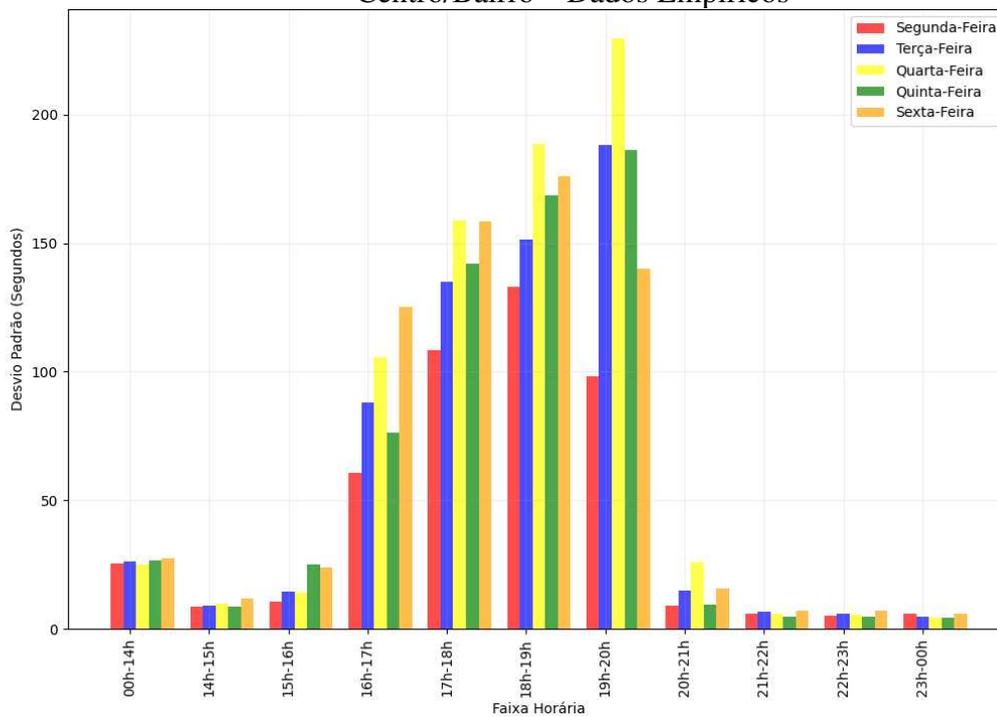


Figura D. 5: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – Desvio Padrão – Sentido Bairro/Centro – Dados Empíricos

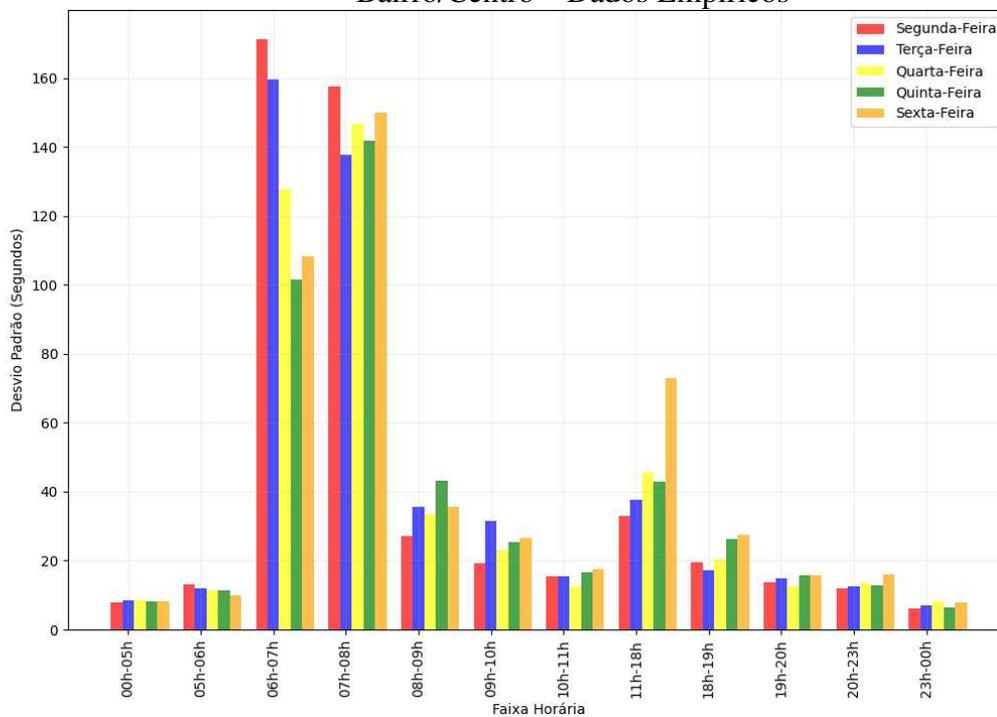


Figura D. 6: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – Desvio Padrão – Sentido Centro/Bairro – Dados Empíricos

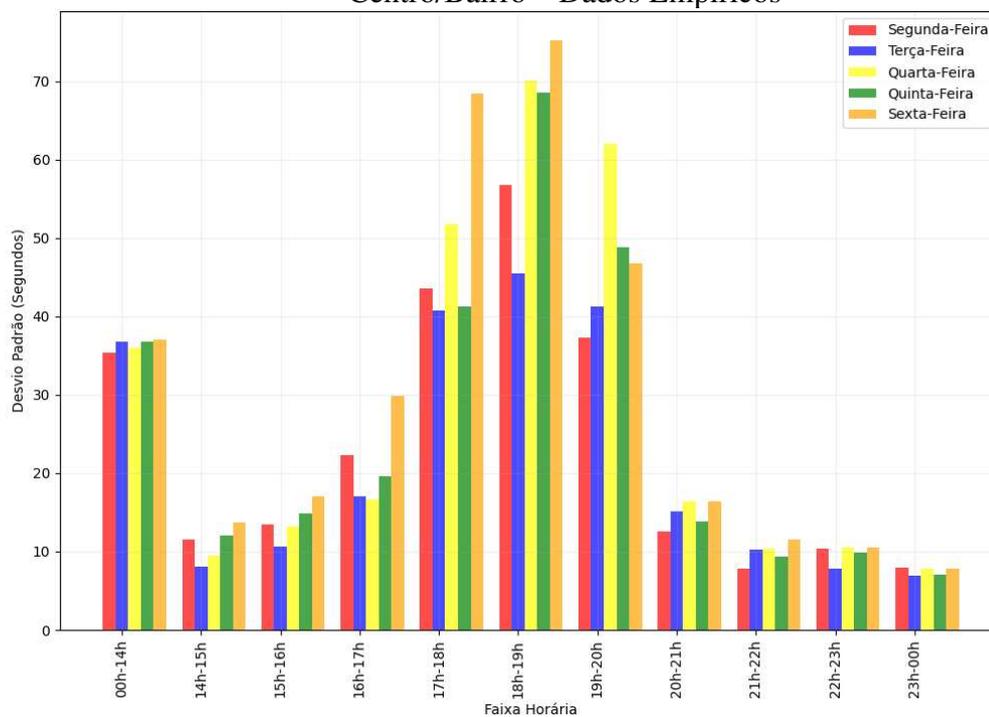


Figura D. 7: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – Desvio Padrão – Sentido Leste/Oeste – Dados Empíricos

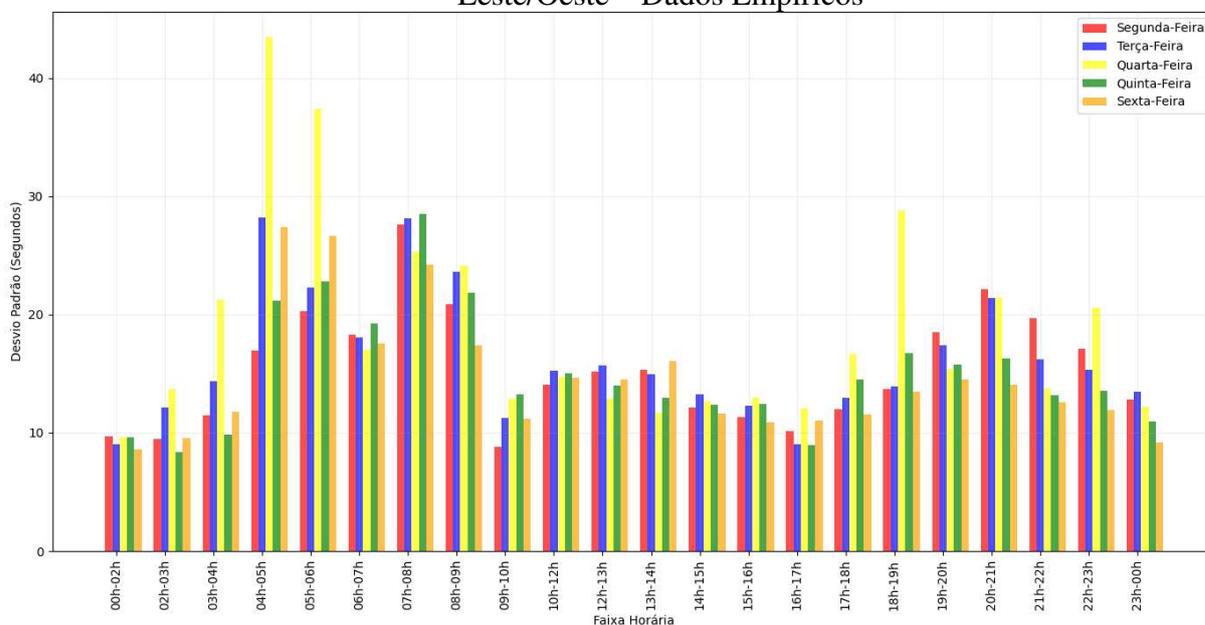
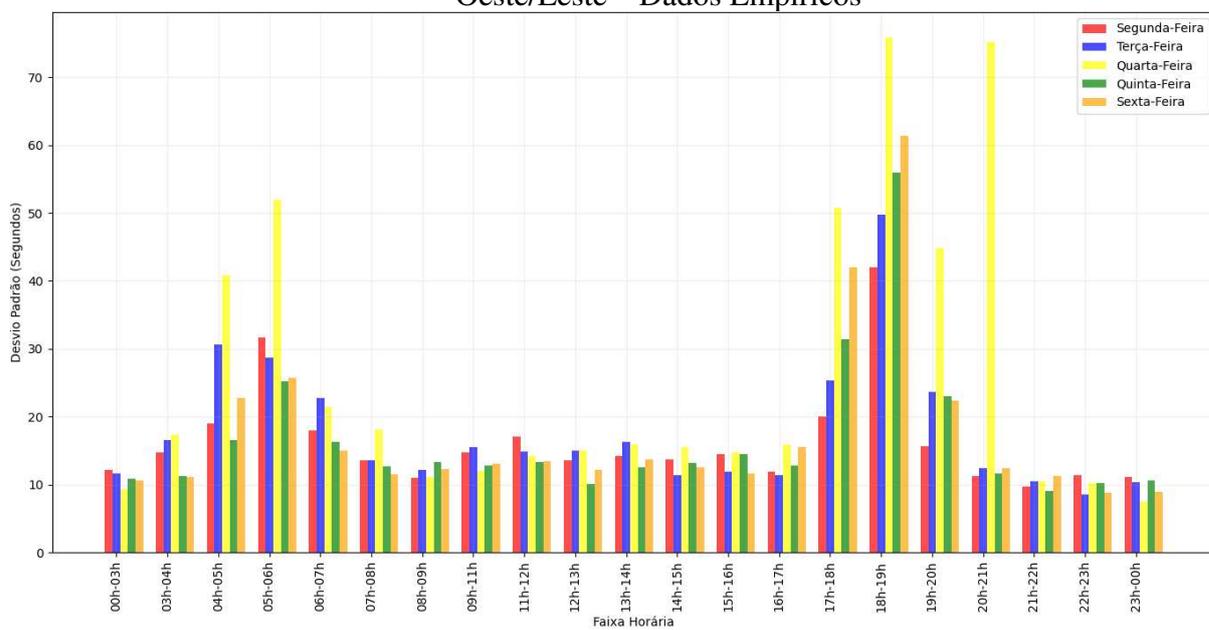


Figura D. 8: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – Desvio Padrão – Sentido Oeste/Leste – Dados Empíricos



95th percentile TTI ou planning time index (PTI)

Figura D. 9: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – Planning Time Index – Sentido Bairro/Centro – Dados Empíricos

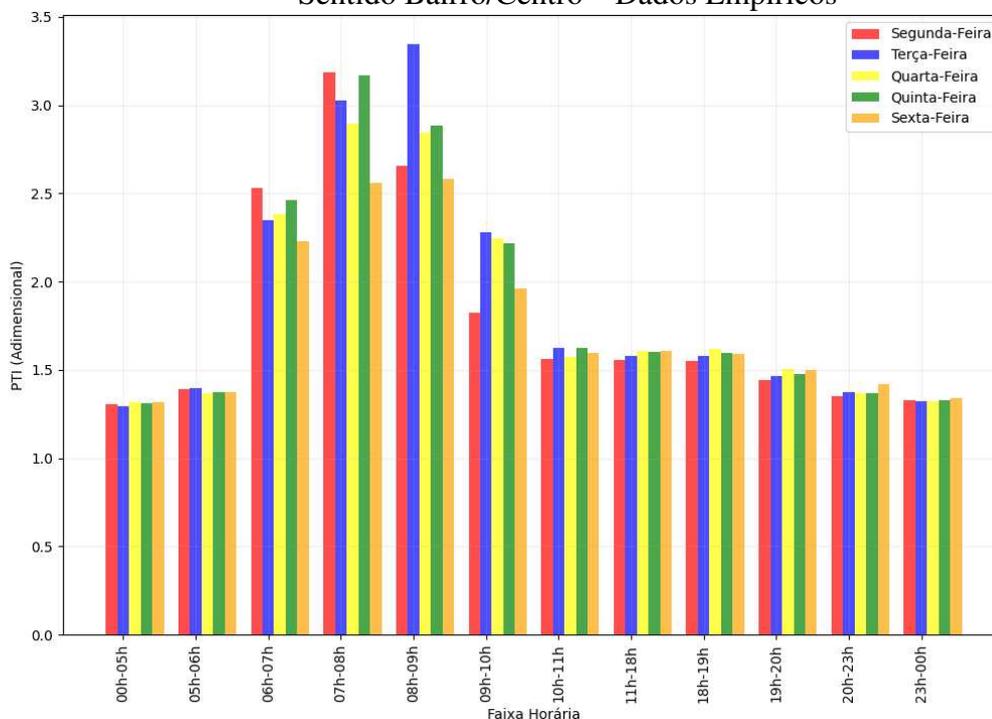


Figura D. 10: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – Planning Time Index – Sentido Centro/Bairro – Dados Empíricos

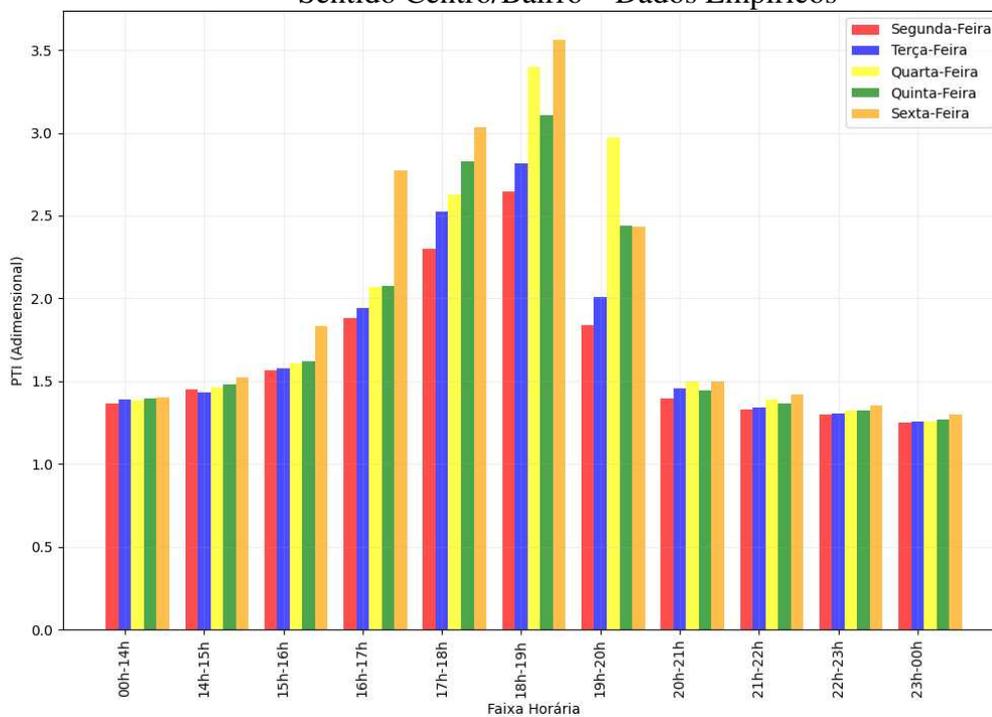


Figura D. 11: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– Planning Time Index– Sentido Bairro/Centro – Dados Empíricos

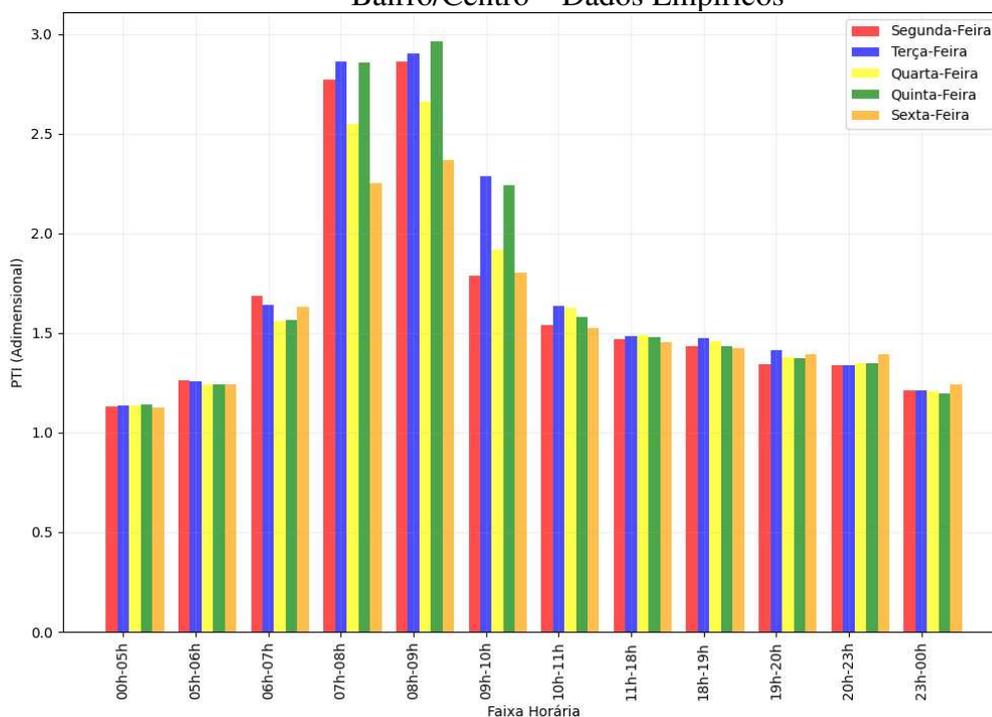


Figura D. 12: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado – Planning Time Index – Sentido Centro/Bairro – Dados Empíricos

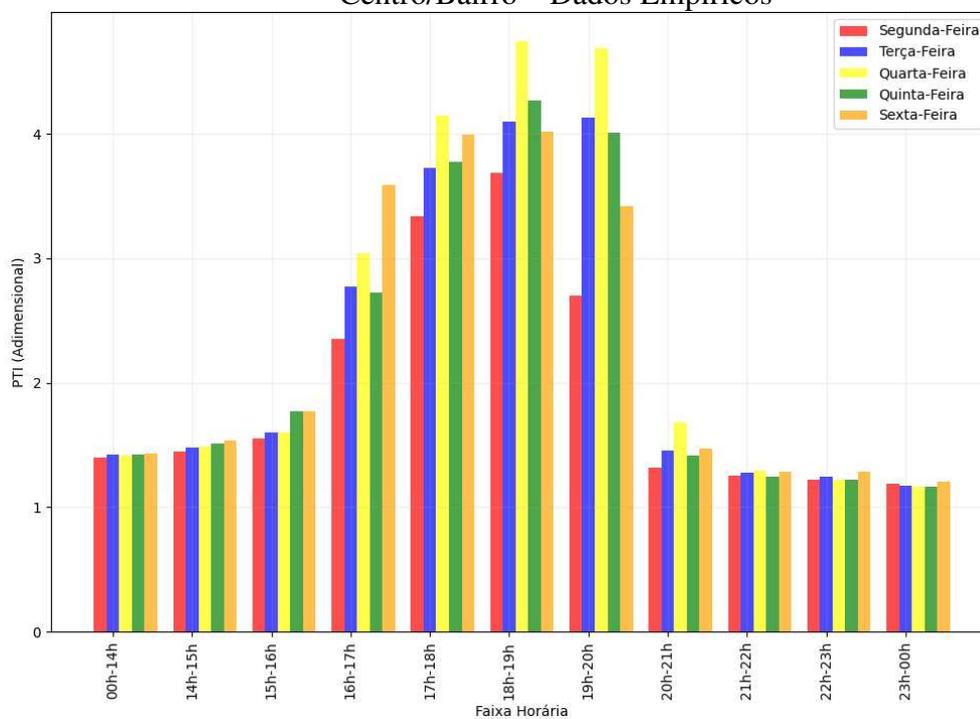


Figura D. 13: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – Planning Time Index – Sentido Bairro/Centro – Dados Empíricos

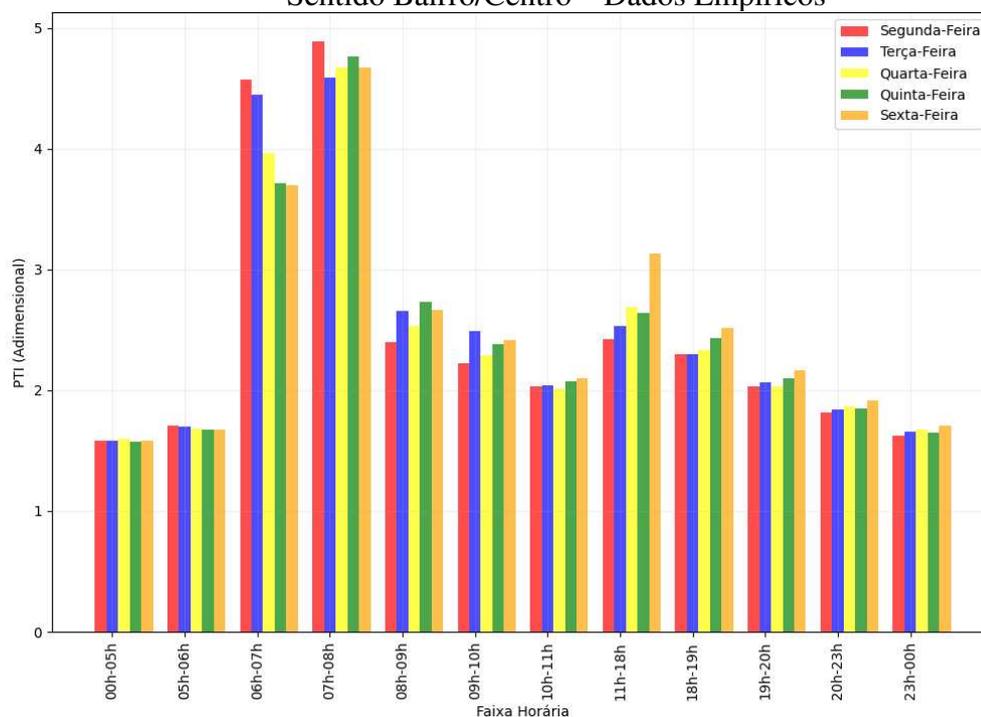


Figura D. 14: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – Planning Time Index – Sentido Centro/Bairro – Dados Empíricos

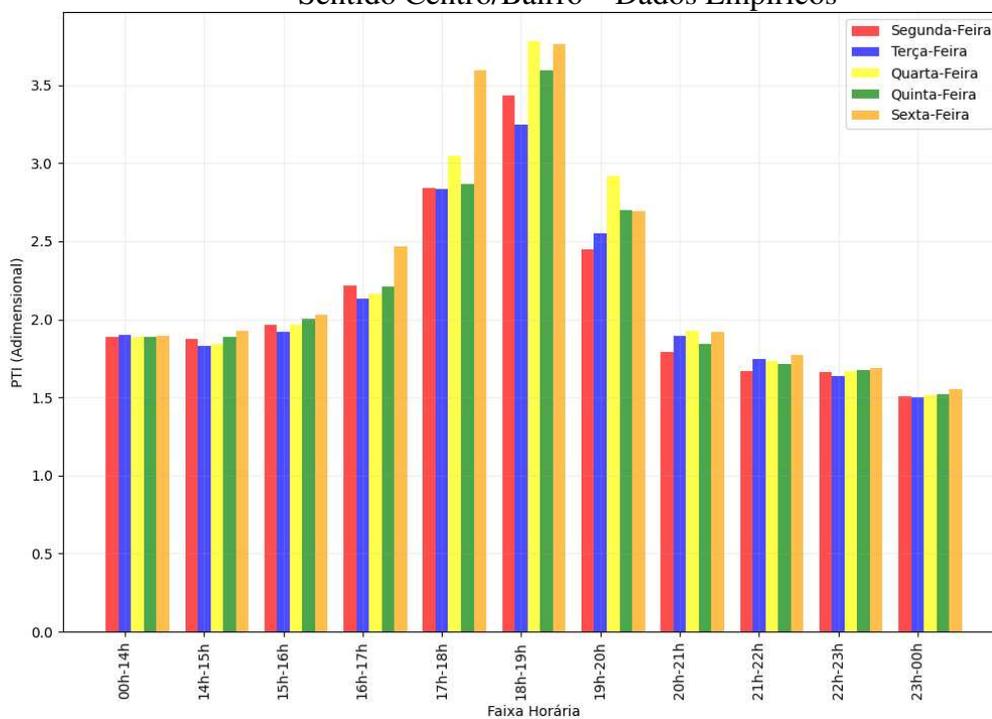


Figura D. 15: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – Planning Time Index – Sentido Leste/Oeste – Dados Empíricos

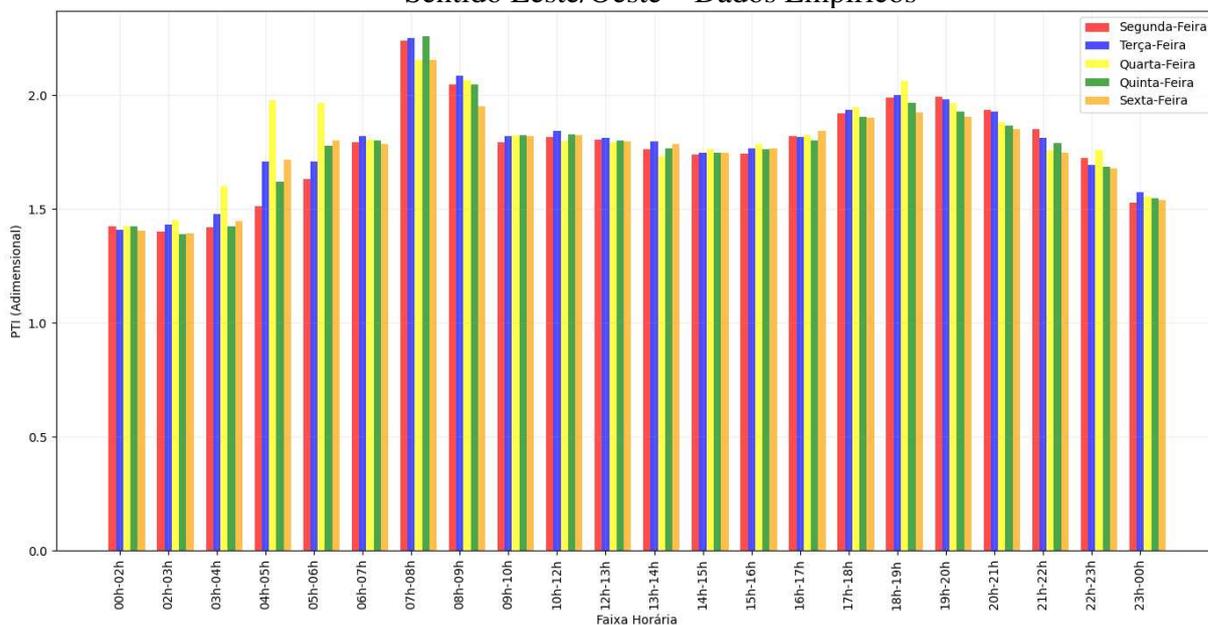
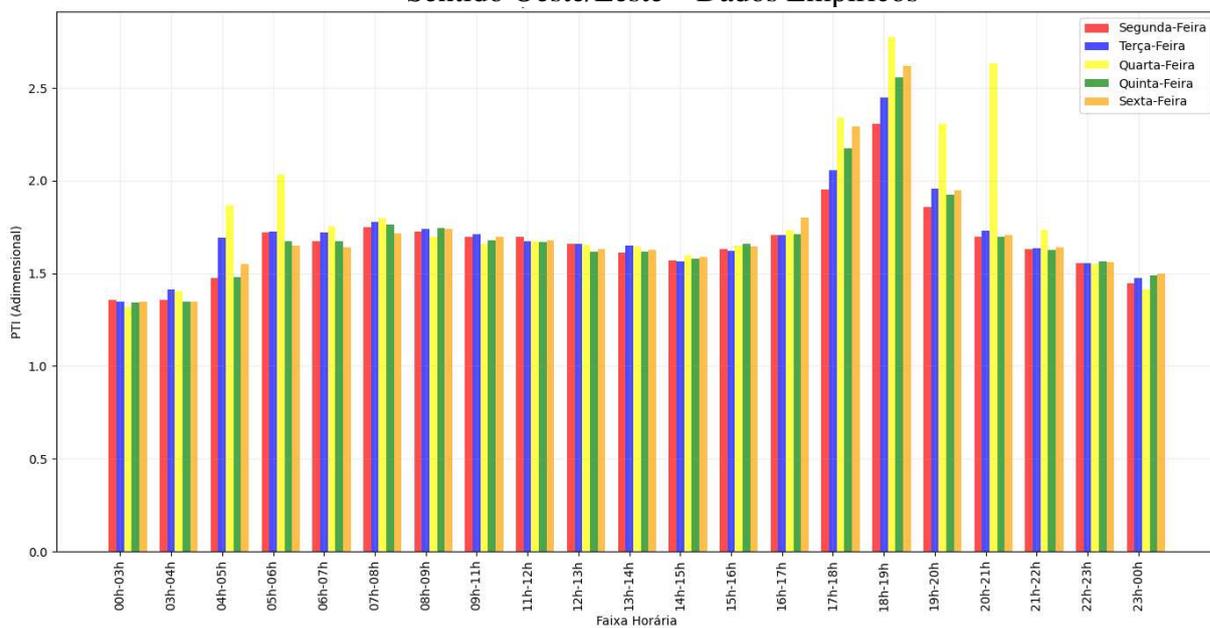


Figura D. 16: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – Planning Time Index – Sentido Oeste/Leste – Dados Empíricos



Buffer Index

Figura D. 17: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – Buffer Index – Sentido Bairro/Centro – Dados Empíricos

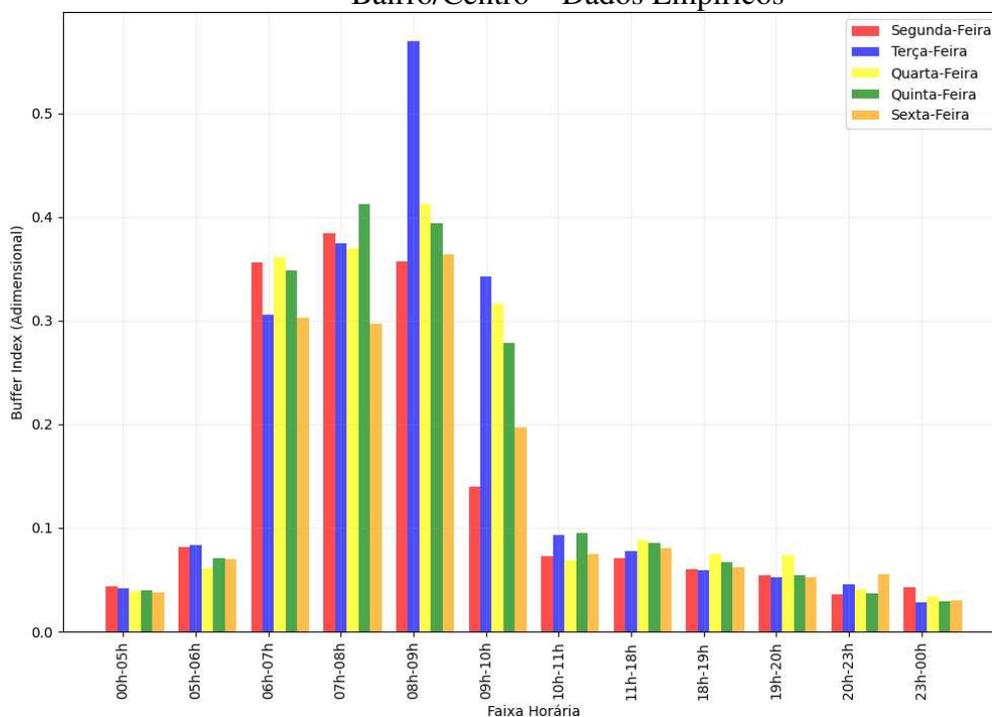


Figura D. 18: Trecho viário 1: Avenida Presidente Antônio Carlos – Buffer Index – Sentido Centro/Bairro – Dados Empíricos

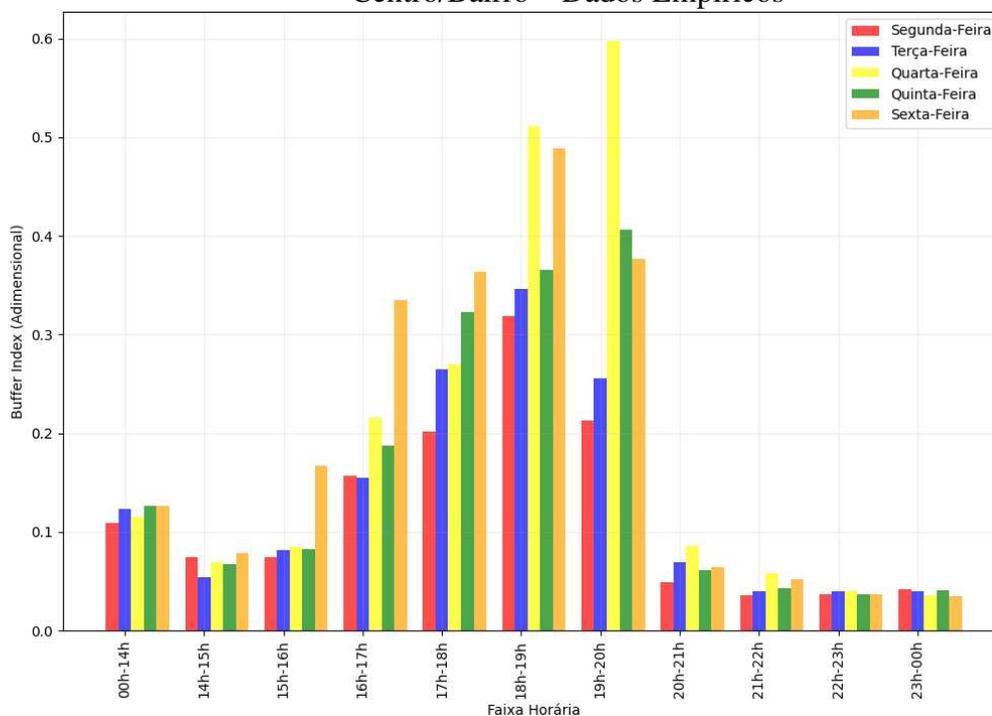


Figura D. 19: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– Buffer Index– Sentido Bairro/Centro – Dados Empíricos

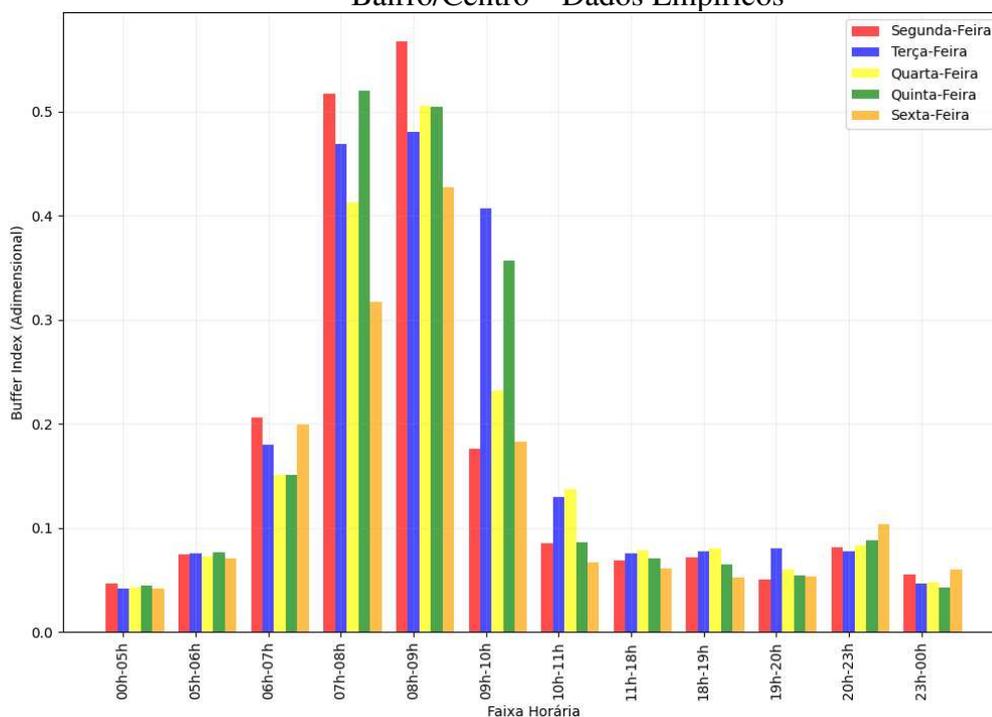


Figura D. 20: Trecho viário 2: Avenida Cristiano Machado– Buffer Index– Sentido Centro/Bairro – Dados Empíricos

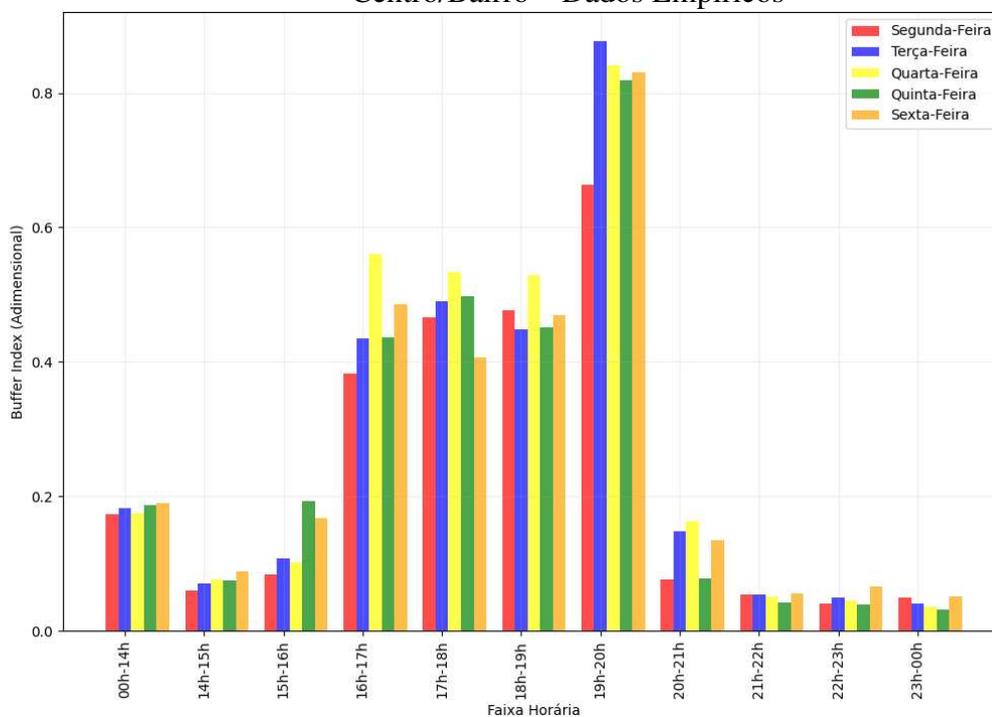


Figura D. 21: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – Buffer Index – Sentido Bairro/Centro – Dados Empíricos

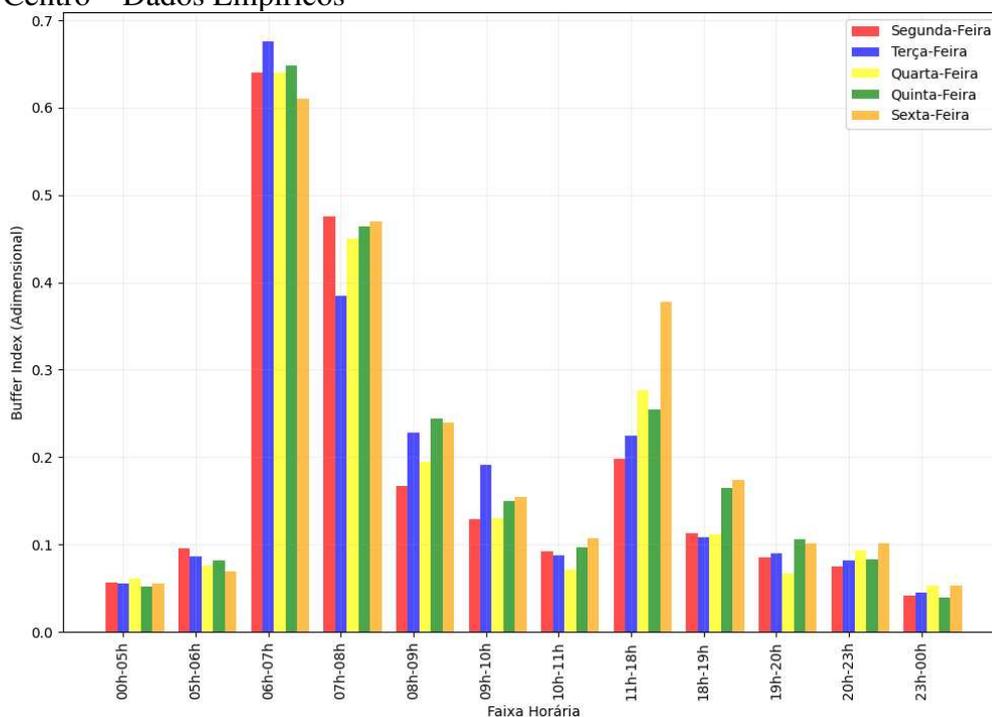


Figura D. 22: Trecho viário 3: Avenida José Cândido da Silveira – Buffer Index – Sentido Centro/Bairro – Dados Empíricos

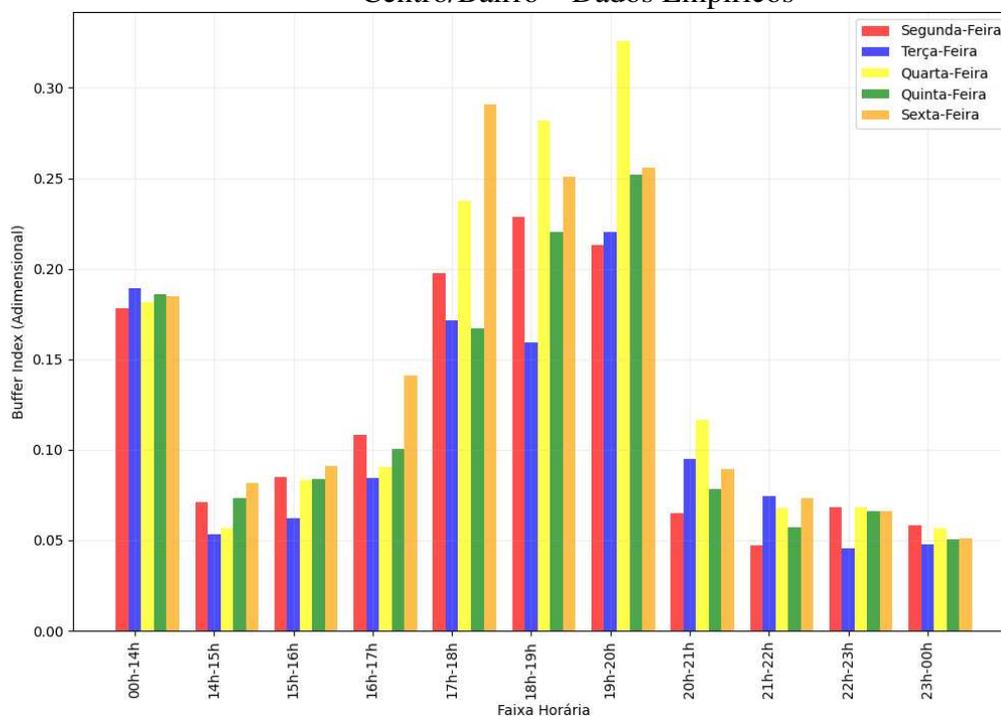


Figura D. 23: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – Buffer Index – Sentido Leste/Oeste – Dados Empíricos

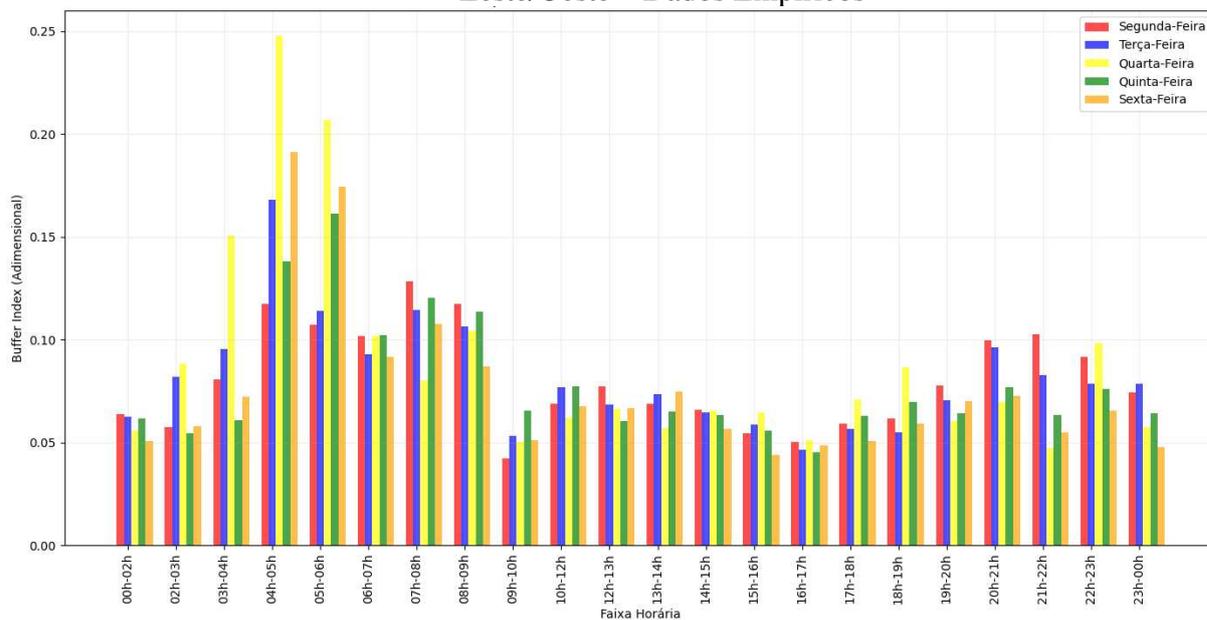


Figura D. 24: Trecho viário 4: Avenida Bernardo Vasconcelos – Buffer Index – Sentido Oeste/Leste – Dados Empíricos

