



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ALEX CACAU MONTENEGRO

**ANÁLISE DE INDICADORES DE CONFIABILIDADE EM UMA LINHA DE
TRANSPORTE PÚBLICO**

FORTALEZA

2023

ALEX CACAU MONTENEGRO

ANÁLISE DE INDICADORES DE CONFIABILIDADE EM UMA LINHA DE
TRANSPORTE PÚBLICO

Dissertação apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenheiro Civil. Área de concentração: Engenharia de Transportes

Orientador: Prof. Dr. Francisco Moraes de Oliveira Neto.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- M783a Montenegro, Alex Cacau.
Análise de indicadores de confiabilidade em uma linha de transporte público / Alex Cacau Montenegro. – 2023.
91 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Francisco Moraes de Oliveira Neto.
1. Transporte público. 2. Confiabilidade. 3. AVL. I. Título.

CDD 620

ALEX CACAU MONTENEGRO

ANÁLISE DE INDICADORES DE CONFIABILIDADE EM UMA LINHA DE
TRANSPORTE PÚBLICO

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil. Área de concentração: Engenharia de Transportes

Orientador: Prof. Dr. Francisco Moraes de Oliveira Neto.

Aprovada em: 13/12/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Francisco Moraes de Oliveira Neto, D. Sc. (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Mário Angelo Nunes de Azevedo Filho, D. Sc.
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Nelson de Oliveira Quesado Filho, M. Sc.
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À Jesus Cristo.

Aos meus pais, Josiane e Erivelton.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, por ter me amparado e sempre ser minha maior incentivadora em todos os momentos da minha vida.

À minha família, por todo o apoio e torcida durante minha jornada acadêmica.

Aos meus amigos Vladimir, Felipe, Airton e Paloma, por terem topado dividir seus espaços comigo em Fortaleza, terem me ensinado bastante sobre convivência e me incentivado durante o período que moramos juntos.

Ao professor Moraes, por ter me dado a oportunidade de desenvolver pesquisa, por ser meu orientador desde a iniciação científica e por toda a amizade, paciência, disponibilidade, conselhos e conhecimentos compartilhados comigo ao longo de minha trajetória acadêmica.

Aos professores Mário e Nelson por terem se disponibilizado a participar da banca e contribuições para o trabalho.

À professora Marisete, pela excelente condução da disciplina de Projeto de Graduação e todos os conhecimentos e ensinamentos repassados ao longo da minha jornada de Graduando.

Aos meus amigos Anny, Natã, Ilana e Rebeca, pela grande amizade construída ao longo dos anos e cumplicidade em todos os momentos da minha vida pessoal e profissional.

Ao meu grande amigo Paullyneli por ter sido um fiel amigo ao longo dos anos, além de todos os momentos felizes divididos nos festivais e shows.

Aos amigos Beatriz, Brenda, Bárbara, Caio, Gabriela(s), Joelia, Natália e Ivan pela amizade durante os anos de faculdade e fora dela também, além da parceria nos inúmeros trabalhos que fizemos juntos.

Aos amigos Alexandre, Daniel, Jéssica, Luis Paulo, Luzardo, Pedro Levi, Roberto e Wanderson por toda a parceria durante a graduação e os momentos felizes divididos dentro e fora de *Summoners Rift*.

Aos amigos do Mobills e PicPay, por terem acreditado no meu potencial, no meu trabalho e proporcionado ensinamentos que levarei por toda a minha carreira.

A todos os amigos e colegas que cativei durante minha jornada na Graduação.

“Às vezes, você tem que sangrar para saber que você está vivo e tem uma alma.” (Joseph, 2015, tradução nossa).

RESUMO

O transporte público coletivo vem ganhando mais atenção à medida em que o caos urbano e os problemas ambientais decorrentes se tornam realidade na vida da maioria das pessoas. A insuficiência de planejamento urbano no atual ritmo de crescimento das cidades e o uso generalizado do transporte motorizado individual nos grandes centros urbanos contribuem para um sistema de transporte público cada vez mais ineficiente e pouco atrativo. Diante deste cenário de redução do acesso a um transporte público de qualidade e em face da disponibilidade de dados do mês de Novembro de 2018 da operação da frota do transporte público da cidade de Fortaleza, identificou-se a oportunidade de analisar este sistema à luz da confiabilidade dos tempos de trajeto e *headway* em uma importante linha de tráfego misto, levando em consideração os problemas de qualidade atrelados às fontes de dados de AVL (Automatic Vehicle Locating), GTFS (General Transit Feed Specification) e Bilhetagem Eletrônica. O método aplicado consistiu em um pré-processamento dos dados de forma a prepará-los para a análise dos tempos de trajeto a partir de indicadores de desempenho em seções da linha “075 – Campus do Pici / Unifor” em ambos os seus sentidos e para a análise do *headway* e suas distribuições em paradas selecionadas em cada uma das seções de acordo com suas proximidades de áreas prováveis de acontecerem muitos embarques, identificadas a partir de dados do *Open Street Maps*. Como resultados, identificaram-se trechos com boa confiabilidade em relação a ambos os aspectos analisados em períodos de pico e entrepico, como a seção “Av. J. Feitosa”, além de seções que possivelmente são gargalos na operação da linha, como o trecho “Av. 13 de Maio”, revelando existirem oportunidades de melhorias no planejamento da linha.

Palavras-chave: transporte público; confiabilidade; AVL.

ABSTRACT

The collective public transportation has been gaining more attention as urban chaos and resulting environmental problems become a reality in the lives of the majority of people. The inadequacy of urban planning at the current pace of city growth and the widespread use of individual motorized transport in large urban centers contribute to an increasingly inefficient and unattractive public transportation system. Faced with this scenario of reduced access to quality public transportation and in the availability of November 2018 data from the operation of the public transportation fleet in the city of Fortaleza, an opportunity arose to analyze this system in terms of the reliability of travel times and headway on a major mixed-traffic route. This analysis takes into account the quality issues associated with AVL (Automatic Vehicle Locating), GTFS (General Transit Feed Specification) and Smart Card data sources. The applied method involved preprocessing the data to prepare it for the analysis of travel times based on performance indicators in sections of the "075 – Campus do Pici / Unifor" route in both directions. It also involved the analysis of headway and its distributions at selected stops in each section based on their proximity to areas likely to experience high boarding activity, identified from Open Street Maps data. As a result, sections with good reliability in relation to both analyzed aspects during peak and off-peak periods were identified, such as the "Av. J. Feitosa" section. Additionally, sections that are potentially bottlenecks in the route's operation, such as the "Av. 13 de Maio" section, were identified, revealing opportunities for improvements in route planning.

Keywords: public transportation; reliability; AVL.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Brasil: evolução das despesas em transporte por tipo por faixa de renda (2002-2017)	22
Figura 2 – Diferença entre o tempo de viagem reportado e experienciado pelos usuários	26
Figura 3 – Diagrama de Classe de arquivos GTFS	37
Figura 4 – Forma da rota da Linha 075 – Campus do Pici / Unifor	42
Figura 5 – Fluxograma do método proposto	42
Figura 6 – Esquematização dos atributos necessários à estimação do momento de passagem em um ponto de referência utilizando o primeiro método	46
Figura 7 – Esquematização dos atributos necessários à estimação do momento de passagem em um ponto de referência utilizando pelo segundo método	46
Figura 8 – Pontos de GPS sem tratamento sobre a forma da rota da linha 075	52
Figura 9 – Pontos de GPS após tratamento sobre a forma da rota da linha 075	53
Figura 10 – Padronização do sentido das viagens pelos dados de Bilhetagem Eletrônica	53
Figura 11 – Definição do sentido das viagens para os pontos de GPS dos dados de AVL	54
Figura 12 – Associação de pontos de GPS a segmentos entre paradas no sentido “volta”	54
Figura 13 – Identificação sequencial dos segmentos entre paradas: início do sentido “volta”	55
Figura 14 – Usos do solo ao longo da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no ano de 2018	58
Figura 15 – Paradas ao longo da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no ano de 2018	58
Figura 16 – Trechos do sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor”	62
Figura 17 – Trechos do sentido “Volta” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor”	62
Figura 18 – Parada selecionadas no sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor”	63
Figura 19 – Parada selecionadas no sentido “Volta” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor”	64

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Porcentagem diária de identificação dos veículos da operação nos dados de AVL	.51
Gráfico 2 – Segmento de encerramento das viagens no sentido “volta”	.....56
Gráfico 3 – Segmento de encerramento das viagens no sentido “ida”	.....57
Gráfico 4 – Validações de bilhetes eletrônicos agregadas por hora e sentido da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018	.....59
Gráfico 5 – Validações de bilhetes eletrônicos agregadas por hora e tipo de cartão validado no sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018	.....60
Gráfico 6 – Validações de bilhetes eletrônicos agregadas por hora e tipo de cartão validado no sentido “Volta” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018	.....60
Gráfico 7 – Tempo médio de trajeto agregado por hora no sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018	.....61
Gráfico 8 – Tempo médio de trajeto agregado por hora no sentido “Volta” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018	.....61
Gráfico 9 – Tempo médio de trajeto agregado por hora no sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018	.....65
Gráfico 10 – Tempo médio de trajeto agregado por hora no sentido “Volta” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018	.....66
Gráfico 11 – Tempo médio de trajeto por distância percorrida agregado por hora no sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018	.....67
Gráfico 12 – Tempo médio de trajeto por distância percorrida agregado por hora no sentido “Volta” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018	.....67
Gráfico 13 – Coeficiente de variação do tempo de trajeto agregado por hora no sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018	.....68
Gráfico 14 – Coeficiente de variação do tempo de trajeto agregado por hora no sentido “Volta” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018	.....68
Gráfico 15 – Distribuição da taxa de viagem no período de entrepico (9:00 às 12:00) do sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018	.....69

Gráfico 16 – Distribuição da taxa de viagem no período de pico (16:00 às 18:00) do sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018	70
Gráfico 17 – Distribuição da taxa de viagem no período de entrepico (9:00 às 12:00) do sentido “Volta” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018	71
Gráfico 18 – Distribuição da taxa de viagem no período de pico (16:00 às 19:00) do sentido “Volta” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018	72
Gráfico 19 – Frequência de passagens programadas no sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018	73
Gráfico 20 – Frequência de passagens realizadas no sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018	74
Gráfico 21 – Distribuição do headway programado no período de entrepico para as paradas selecionadas do sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018	75
Gráfico 22 – Distribuição do headway efetivo no período de entrepico para as paradas selecionadas do sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018	75
Gráfico 23 – Distribuição do headway programado no período de pico para as paradas selecionadas do sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018	76
Gráfico 24 – Distribuição do headway efetivo no período de pico para as paradas selecionadas do sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018	77
Gráfico 25 – Distribuição do headway programado no período de entrepico para as paradas selecionadas do sentido “Volta” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018	78
Gráfico 26 – Distribuição do headway efetivo no período de entrepico para as paradas selecionadas do sentido “Volta” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018	78
Gráfico 27 – Distribuição do headway programado no período de pico para as paradas selecionadas do sentido “Volta” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018	79

Gráfico 28 – Distribuição do headway efetivo no período de pico para as paradas selecionadas do sentido “Volta” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018 .80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Medianas da taxa de viagem por trecho nos períodos de entrepico e pico do sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018	70
Tabela 2 – Medianas da taxa de viagem por trecho nos períodos de entrepico e pico do sentido “Volta” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018	72
Tabela 3 – Indicadores de confiabilidade do tempo de trajeto nos períodos de entrepico e pico do sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018	81
Tabela 4 – Indicadores de confiabilidade do tempo de trajeto nos períodos de entrepico e pico do sentido “Volta” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018	82
Tabela 5 – Indicadores de confiabilidade de headway nos períodos de entrepico e pico dos dois sentidos da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018	83

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Variáveis da confiabilidade do serviço de transporte coletivo por ônibus	23
Quadro 2 – Schema dos dados de AVL do SIT-FOR	39
Quadro 3 – Quadro de arquivos de GTFS	40
Quadro 4 – Quadro de campos dos dados de Bilhetagem Eletrônica	41
Quadro 5 – Quadro resumo dos trechos definidos para estudo da confiabilidade	63
Quadro 6 – Quadro resumo das paradas definidas para estudo da confiabilidade	64
Quadro 7 – Quadro resumo dos períodos definidos para estudo da confiabilidade	65

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Problema de pesquisa	19
1.2	Questões motivadoras	19
1.3	Objetivos	20
<i>1.3.1</i>	<i>Objetivo geral</i>	20
<i>1.3.2</i>	<i>Objetivos específicos</i>	20
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1	Confiabilidade no Transporte Público por ônibus	21
2.2	Caracterização da Confiabilidade em linhas de Transporte Público por ônibus	23
<i>2.2.1</i>	<i>Variáveis relacionadas à Confiabilidade</i>	23
<i>2.2.2</i>	<i>Indicadores de Confiabilidade</i>	26
<i>2.2.2.1</i>	<i>Travel Time Index (Índice do Tempo de Trajeto)</i>	27
<i>2.2.2.2</i>	<i>Buffer Index (Índice de Buffer)</i>	28
<i>2.2.2.3</i>	<i>Planning Time Index (Índice do Tempo de Planejamento)</i>	28
<i>2.2.2.4</i>	<i>Excess Waiting Time (Tempo de Espera em Excesso)</i>	29
<i>2.2.2.5</i>	<i>Outros Indicadores de Confiabilidade</i>	31
<i>2.2.3</i>	<i>Métodos de avaliação da Confiabilidade</i>	31
2.3	Fontes de dados geoespaciais aplicadas em estudos de transportes	33
<i>2.3.1</i>	<i>GPS (Global Positioning System)</i>	33
<i>2.3.2</i>	<i>GTFS (General Transit Feed Specification)</i>	36
<i>2.3.3</i>	<i>Dados de Bilhetagem Eletrônica</i>	37
3	MATERIAIS E MÉTODO	39
3.1	Materiais	39
<i>3.1.1</i>	<i>Dados de AVL</i>	39
<i>3.1.2</i>	<i>Dados de GTFS</i>	40
<i>3.1.3</i>	<i>Dados de Bilhetagem Eletrônica</i>	41
3.2	Método	41
<i>3.2.1</i>	<i>Pré-processamento dos dados de AVL</i>	42
<i>3.2.1.1</i>	<i>Filtragem dos dados da linha de estudo</i>	43
<i>3.2.1.2</i>	<i>Tratamento de falhas nos dados</i>	43

3.2.1.3	<i>Definição do Sentido das Viagens</i>	44
3.2.1.4	<i>Determinação do momento de passagem pelas paradas de ônibus</i>	45
3.2.2	<i>Caracterização da linha de Transporte Público em estudo</i>	47
3.2.3	<i>Definição de trechos, paradas e períodos para estudo da Confiabilidade</i>	48
3.2.4	<i>Determinação dos indicadores de Confiabilidade</i>	49
3.2.5	<i>Análise dos resultados obtidos</i>	50
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1	Resultados do pré-processamento dos dados de AVL	51
4.2	Caracterização da linha de Transporte Público em estudo	57
4.3	Definição dos trechos, paradas e períodos para estudo da Confiabilidade .	62
4.4	Análise do Tempo de Trajeto, Headway e suas distribuições	65
4.5	Análise dos indicadores de Confiabilidade	80
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	85
	REFERÊNCIAS	87
	APÊNDICE A	91

1 INTRODUÇÃO

À medida em que se assiste à escalada dos transportes individuais de pessoas sobre os modais coletivos em todos os extratos sociais no Brasil (IPEA, 2021), é racional se aprofundarem as reflexões a respeito da qualidade do serviço de transporte público coletivo, dos fatores envolvidos na manutenção da atratividade deste importante modal e sobre como as tecnologias das quais dispõem os planejadores e gestores dos sistemas de transporte público podem auxiliar na avaliação e monitoramento da qualidade do serviço prestado.

É papel do governo garantir condições de mobilidade coletiva de qualidade, eficientes e acessíveis a todos os cidadãos, de forma que os anseios sociais, individuais e coletivos, sejam atendidos. Para tanto, deve haver um equilíbrio constante na satisfação das necessidades dos atores que compõem o sistema de mobilidade urbana, tendo como prioridade os modais coletivos. Este equilíbrio, denominado de Sustentabilidade da Qualidade, tem seus atores representados pelo governo, usuários do transporte público, trabalhadores responsáveis pela operação, gestores e planejadores do sistema, empresários e a comunidade, onde cada um destes possui os seus direitos e deveres estabelecidos e interconectados (Ferraz; Torres, 2004).

Na literatura, a satisfação dos principais atores do sistema de transporte público, ou seja, os seus usuários, está intimamente relacionada com a confiabilidade da prestação do serviço de transporte (Abkowitz; Tozzi, 1987; Balcombe *et al.*, 2004; Ceder, 2007). Cerca de 1/3 da percepção dos usuários sobre a qualidade dos serviços prestados por agências de transportes coletivos advém da confiabilidade, fator do sistema associado à previsibilidade de variáveis da operação como tempo de trajeto e aderência dos *headways* reais aos *headways* planejados (Balcombe *et al.*, 2004). Sob essa perspectiva, infere-se que para garantir que o sistema de transportes funcione de maneira harmônica, priorizando a experiência dos seus principais atores, também é necessário que se compreenda o comportamento do sistema no dia a dia da operação, visto que abordagens empíricas são mais representativas da realidade enfrentada pelos usuários e trazem maior respaldo ao planejamento e gestão dos sistemas de transportes (Abkowitz; Tozzi, 1987).

Durante muito tempo, a obtenção de informações sobre o comportamento dos sistemas de transportes se deu de forma onerosa do ponto de vista do capital e de recursos humanos, haja visto que o processo de pesquisa de campo, outrora única alternativa, demanda, além de planejamento, altos investimentos e tempo (Stopher; Stecher, 2006; Ferraz; Torres, 2004). Com o advento do Sistema de Posicionamento Global — GPS (*Global Positioning System*), tornou-se possível coletar automaticamente informações de geolocalização de frotas

veiculares inteiras e, à medida em que os Sistemas de Transportes Inteligentes — ITS (*Intelligent Transportation Systems*) foram se popularizando entre as agências de transporte público, habilitou-se a realização de pesquisas de forma mais eficiente e menos dispendiosa (Monteiro; Pons; Speicys, 2015).

A credibilidade no uso destes dados coletados automaticamente na obtenção, análise e divulgação de indicadores operacionais está, entretanto, atrelada à qualidade das informações coletadas que, portanto, necessitam passar por investigações e tratamentos que assegurem uma representação plausível do que acontece no dia a dia da operação (Saavedra *et al.*, 2011; Wiktorski; Foss, 2016; Monteiro; Pons; Speicys, 2015). Para além da percepção da qualidade do sistema pelos operadores e responsáveis pelo planejamento e gestão, a credibilidade também é relevante no que diz respeito às informações que são repassadas aos usuários sobre o desempenho operacional, haja visto que existe uma constante interação entre o planejamento diário das viagens realizadas pelos usuários e o que de fato o sistema está oferecendo em performance para assegurar que os usuários cheguem aos seus destinos com certa previsibilidade (Office Of Operations, 2006).

Neste contexto, o presente trabalho busca abordar a qualidade do serviço de transporte público coletivo sob a perspectiva da confiabilidade utilizando informações coletadas por um dos Sistemas de Transportes Inteligentes, o AVL (*Automatic Vehicle Location*), e dados de Especificação Geral de Feed de Trânsito — GTFS (*General Transit Feed Specification*) para o caso de uma importante linha da cidade Fortaleza/CE, listada pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2021) dentre uma das importantes capitais brasileiras que estão passando por um processo de perda de demanda para o transporte individual.

Com isso, espera-se contribuir com uma maior compreensão acerca do uso e das limitações de dados de coletados automaticamente por ITS na análise de indicadores de confiabilidade que levem em consideração as distribuições do tempo de trajeto e do *headway* nos dois sentidos de uma importante linha do sistema público de transporte coletivo da cidade de Fortaleza, de forma que este entendimento possa vir a ser utilizado pelos tomadores de decisão na avaliação e implementação de melhorias na operação do sistema e, conseqüentemente, na experiência de seus usuários.

1.1 Problema de Pesquisa

O tópico de pesquisa que este projeto busca explorar se fundamenta na atual conjuntura de ineficiência dos serviços de transporte público prestados no Brasil, problemática percebida pelos índices amplamente publicados sobre perda de demanda ao longo dos anos (IPEA, 2021). Neste sentido, busca-se abordar esse desafio sob a perspectiva de indicadores de confiabilidade do sistema, aspecto que tem grande influência no desempenho global do sistema e, conseqüentemente, na experiência e atratividade dos usuários no uso deste modal (Ferraz; Torres, 2004).

Dentre as cidades listadas por Ipea (2021), Fortaleza foi a selecionada para ter uma importante linha de seu sistema de transporte público como objeto de estudo do presente trabalho. Sua escolha se deu devido à presença de um sistema de geolocalização dos veículos utilizados no transporte público, o AVL, pela oportunidade de realização do estudo da qualidade do transporte público sob a perspectiva da confiabilidade, ainda pouco explorada no contexto da cidade, e pela disponibilidade dos dados de Especificação Geral do Feed de Trânsito.

Além disso, a contribuição deste trabalho visa se estender ao entendimento das limitações quanto ao uso de dados de geolocalização coletados automaticamente na obtenção e análise de indicadores de desempenho de sistemas de transportes, visto que estes dados estão suscetíveis a erros de captura e imprecisões que se desdobram em impactos práticos que podem comprometer a análise destes sistemas (Solano *et al.*, 2017; Stombaugh *et al.*, 2005; Wiktorski; Foss, 2016; Monteiro; Pons; Speicys, 2015).

1.2 Questões Motivadoras

- a) Como podem ser obtidos indicadores de confiabilidade em uma linha de transporte público usando dados de GPS e GTFS?
- b) Quais as limitações quanto ao uso dos dados de GPS e GTFS da operação de transporte público coletivo na avaliação da confiabilidade nestes sistemas?
- c) Como os indicadores de confiabilidade podem representar o desempenho do sistema em diferentes períodos do dia em uma linha de transporte público coletivo?
- d) Qual o impacto que os indicadores de confiabilidade representam na experiência dos usuários em uma linha de transporte público coletivo?

1.3 Objetivos

Em face das questões motivadoras levantadas, foram definidos os objetivos gerais e específicos apresentados a seguir.

1.3.1 *Objetivo Geral*

O objetivo geral do estudo se concentra na análise de indicadores de confiabilidade em uma linha de transporte público da cidade de Fortaleza, Ceará. Essa análise se justifica pela necessidade de avaliar como se comporta a operação do transporte público na capital do Ceará ao longo de um mês típico de operações e entender os impactos que os indicadores de confiabilidade do tempo de trajeto e do *headway* representam no desempenho do sistema.

1.3.2 *Objetivos Específicos*

- a) Conceituar a confiabilidade e as fontes de dados geoespaciais disponíveis para análise em uma linha de transporte público;
- b) Propor um método de análise de confiabilidade em uma linha de transporte público;
- c) Adequar os dados geoespaciais disponíveis para habilitar a obtenção de indicadores de confiabilidade;
- d) Obter e analisar indicadores de confiabilidade nos dois sentidos de uma linha de transporte público por ônibus.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A partir de pesquisas na literatura acerca do tema, são apresentados nos tópicos a seguir a revisão bibliográfica que embasou o presente estudo.

2.1 Confiabilidade no Transporte Público por Ônibus

Abkowitz e Tozzi (1978) entendem a confiabilidade nos sistemas de transportes como a não, ou pequena, variabilidade dos atributos do serviço de transporte que exercem influência sobre a tomada de decisão dos usuários do sistema. Isso se traduz, em termos práticos, na concordância entre a expectativa de realização de viagens pelos passageiros dos coletivos e a condição que o sistema está proporcionando à efetivação destas viagens. Sob esta definição, os autores destacam a relevância da qualidade da operação dos transportes no nível de serviço percebido pelo usuário e sua relação na adesão ao transporte coletivo como modo cativo de deslocamento, listando a insatisfação com a não confiabilidade de um sistema de transporte coletivo como um fator de busca por outros modais.

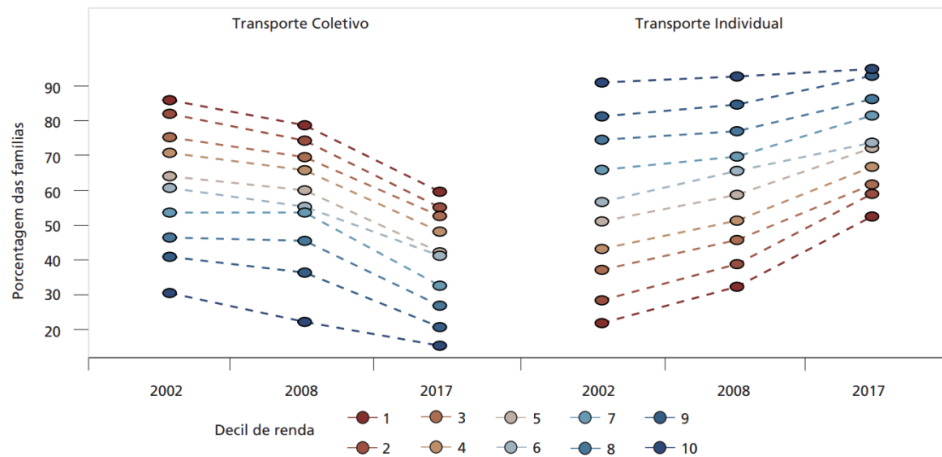
De acordo com Ferraz e Torres (2004), é papel do governo criar condições para que a mobilidade urbana das cidades atenda aos anseios sociais de suas diversas esferas, garantindo aos indivíduos acesso às oportunidades independentemente de suas classes sociais e priorizando os modais coletivos. Neste sentido, torna-se evidente o desafio associado ao equilíbrio dos fatores pertencentes a este prisma: a manutenção da satisfação dos atores que compõem o sistema de mobilidade urbana, aspecto denominado pelos autores de Sustentabilidade da Qualidade.

Recentemente, a confiabilidade vem ganhando relevância na discussão em torno da perda de demanda de usuários do transporte coletivo para o transporte privado à medida em que se acelera o processo de *uberização* nos transportes de passageiros, fenômeno que tem afetado todos os estratos sociais no Brasil de acordo com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada — IPEA (2021) e que vem notadamente crescendo ao se perceber aumentos nos gastos com transporte individual nas famílias com decis de renda mais baixos nos últimos anos, como mostra a Figura 1. Neste sentido, é relevante destacar os impactos práticos desse fenômeno nas esferas socioambiental e econômica.

Ferraz e Torres (2004) argumentam que o uso massivo dos transportes individuais contribui para a intensificação do tráfego, ocorrência de acidentes, poluição atmosférica, aumento de custos com manutenção de infraestruturas de transporte, dentre outras consequências negativas que a evasão de demanda dos transportes coletivos implica com o

consequente aumento de veículos particulares circulando, o que gera uma maior disputa por espaço físico no dia-a-dia da operação quando inexitem linhas exclusivas para ônibus. Com isso, o sistema fica suscetível a uma maior quantidade de fatores de imprevisibilidade que impactam o desempenho da operação, nuance estreitamente relacionada com a confiabilidade (Transport, 2009).

Figura 1 – Brasil: evolução das despesas em transporte por tipo por faixa de renda (2002-2017).



Fonte: Ipea (2021).

Neste sentido, para além do impacto no desempenho da operação, grandes variações nos atributos que têm relação com a confiabilidade dos sistemas de transporte público (serão discutidas no tópico 4.2) também estão ligados a efeitos secundários na saúde laboral de seus usuários e operadores como estresse, atrasos em atividades do dia a dia, redução da concentração e qualidade do sono (Koslowsky; Kluger, 1995).

No aspecto operacional, Margiotta *et al.* (2012) expõem que existe também um custo extra associado à confiabilidade que deve ser incorporado ao planejamento e operação do sistema, visto que incidentes e congestionamentos, por exemplo, estão relacionados a uma impedância na eficiência do sistema que, conseqüentemente, geram custos.

Balcombe *et al.* (2004, *apud* Ceder 2007, p. 523) relatam que os atributos operacionais do sistema de transporte público têm influência com pesos diferentes sobre a percepção dos usuários a respeito da qualidade do serviço de transporte público ofertado, tendo sido encontrada em seus estudos a seguinte distribuição percentual de importância desses atributos: confiabilidade (34%), frequência (17%), condição dos veículos (14%), comportamento do motorista no trânsito (12%), rotas (11%), tarifa (7%) e informações do sistema (5%). Com base nessa distribuição, fica-se evidente a relevância que a confiabilidade possui sobre os demais atributos da operação.

De forma isolada, a confiabilidade possui diversas variáveis intrínsecas à cada perspectiva que ela pode ser abordada, sendo elas em relação: ao indivíduo utilizador do sistema; ao responsável pela operação e a fatores externos. Levando em consideração esta divisão proposta por Ceder (2007, p. 525), a próxima seção tratará das diversas variáveis que permitem caracterizar a confiabilidade em linhas de transporte público.

2.2 Caracterização da Confiabilidade em Linhas de Transporte Público por Ônibus

A confiabilidade em linhas de transporte público pode ser caracterizada em relação a inúmeras variáveis e indicadores resultantes da operação. Ceder (2007) propôs uma divisão dessas variáveis segundo os três elementos do sistema definidos anteriormente. Essas variáveis são a base para o cálculo de diversos indicadores que buscam representar o comportamento do sistema e serão apresentadas adiante.

2.2.1 Variáveis relacionadas à Confiabilidade

No dia a dia da operação do transporte coletivo, os atores deste sistema interagem entre si e com fatores externos. Essas interações podem ser representadas por variáveis associadas a cada um desses elementos, como sintetiza o quadro a seguir.

Quadro 1 – Variáveis da confiabilidade do serviço de transporte coletivo por ônibus.

Elemento do sistema	Variáveis
Passageiro	Tempo de espera, tempo de embarque, disponibilidade de assento, tempo no veículo, tempo de desembarque, tempo total de viagem, tempo de transferência, perdas de conexão, tempo de informação (pré-viagem) e tempo requerido para acesso à parada (pré-viagem)
Agência de Transportes	Despacho em aderência ao cronograma, posição em rota com aderência ao cronograma, distribuição de <i>headways</i> , <i>headway</i> individual do veículo, distribuição de carregamento de passageiros, contagem de passageiros por veículo, partida em aderência ao cronograma, viagens perdidas, falhas mecânicas, proficiência do motorista e proficiência do expedidor e agentes de trânsito
Fatores externos	Atrasos devido a congestionamentos, acidentes de trânsito (que impossibilitem o tráfego), condições climáticas

Fonte: Adaptado de Ceder (2007).

Os passageiros, principais atores do sistema (Ferraz; Torres, 2004), têm uma jornada bem definida desde o momento em que decidem realizar uma viagem por transporte público coletivo por ônibus. Ceder (2007) traduz essa jornada em, dentre outros, parcelas de tempo que são atribuídas a cada uma das etapas necessárias para que uma viagem seja realizada com sucesso, ou seja, transportar passageiros de uma parada A até uma parada B. Esses tempos podem ser definidos como: tempo de informação e tempo requerido para acesso à parada, variáveis que são relacionados à jornada do passageiro antes de sua chegada à parada; tempo de espera, que é contabilizado desde o momento da chegada do passageiro em uma parada até a chegada do veículo em que será feito o embarque, aspecto frequentemente sinalizado como fator de grande influência na deterioração da satisfação dos usuários com o serviço de transporte público (Millonig; Sleszynski; Ulm, 2012); tempo de embarque, medido desde a entrada do passageiro no veículo em qual irá embarcar até sua acomodação em um assento, quando disponível; tempo no veículo, identificado como o tempo em que o passageiro passa dentro do veículo durante a viagem, parcela frequentemente estudada em associação com outros fatores como lotação dos veículos na mensuração da percepção do usuário sobre o tempo de viagem experienciado (Shao *et al.*, 2022); tempo total de viagem, considerado como a soma do tempo de espera e o tempo no veículo, ou em trajeto (Ceder, 2007); tempo de desembarque, associado ao intervalo de tempo entre a chegada do veículo na parada de destino e o desembarque do passageiro; e o tempo de transferência, definido como o tempo gasto entre o desembarque de um ônibus e o embarque em um outro, variável bastante influenciada pela frequência de atendimento (Yin; Leurent, 2022).

Em relação às agências de transportes, órgãos responsáveis pela oferta do serviço de transporte público com qualidade (Ferraz; Torres, 2004), existe uma série de variáveis que estão ligadas à previsibilidade do serviço prestado aos seus usuários e que têm estreita relação com o desempenho do sistema de transporte público (Abkowitz; Tozzi, 1987; Balcombe *et al.*, 2004; Ceder, 2007). Dentre elas, estão: despacho, partida e posição em rota com aderência ao cronograma, aspectos frequentemente relacionados a problemas como *bus bunching*, que é o enfileiramento de ônibus ao longo de uma rota, e estão ligados à satisfação da demanda das paradas e uso dos recursos de forma eficiente (Gentile; Noekel, 2016); distribuição de *headway* e *headway* individual dos veículos, onde esses *headways* são, respectivamente, a diferença entre os tempos de passagem de dois veículos por um mesmo ponto ou parada e o intervalo de tempo entre um veículo e outro que o precede em uma mesma rota, variáveis importantes para quantificar e melhorar a operação real do transporte público por meio de análises como a aderência ao *headway* programado (Kurauchi; Schmöcker, 2017; Daganzo, 2009); distribuição

de carregamento de passageiros e contagem de passageiros por veículo, variáveis relacionadas, respectivamente, à forma como é distribuída a demanda de passageiros nos veículos que operam em uma rota e ao volume de passageiros nesses veículos individualmente, componentes que trazem à tona aos operadores e gestores de tráfego possíveis problemas de lotação ou subutilização de veículos (TRB, 2006); viagens perdidas, que referem-se às viagens programadas que não foram realizadas por vários motivos como baixa disponibilidade de veículos ou ausência de operadores (Wolf; Bricka; Ashby; Gorugantua, 2004; Ferraz; Torres, 2004); falhas mecânicas que podem ocasionar indisponibilidade de veículos para completar ou realizar novas viagens e proficiência do motorista, do cobrador e agentes de trânsito, aspectos fundamentais para que a operação ocorra em segurança e com eficiência.

Adicionalmente, existem as variáveis que estão associadas a fatores externos, mas que possuem efeitos que estão diretamente relacionadas aos passageiros e às agências de transporte (Ceder, 2007) e são representadas por: atrasos devido a congestionamentos, com impacto mais elevado quando há uma disputa intensa pelo espaço trafegável; acidentes de trânsito, podendo congestionar as vias no caso de acidentes com terceiros ou inviabilizar viagens na situação de acidente em que o ônibus está envolvido; e condições climáticas, fator ambiental que pode diminuir a velocidade do tráfego (Chmielewski; Budzynski, 2019) ou impossibilitar a realização de viagens em casos de alagamentos extremos, por exemplo.

Por fim, além dos atributos componentes da confiabilidade listados por Ceder, Ferraz e Torres (2004) listam alguns outros fatores que impactam de forma direta a confiabilidade de sistemas de transportes públicos. Dentre os aspectos adicionais estão os “[...] acidentes com passageiros no interior dos veículos e nas operações de embarque e desembarque, desentendimentos graves e assaltos no interior dos veículos [...]” (Ferraz; Torres, 2004, p. 104).

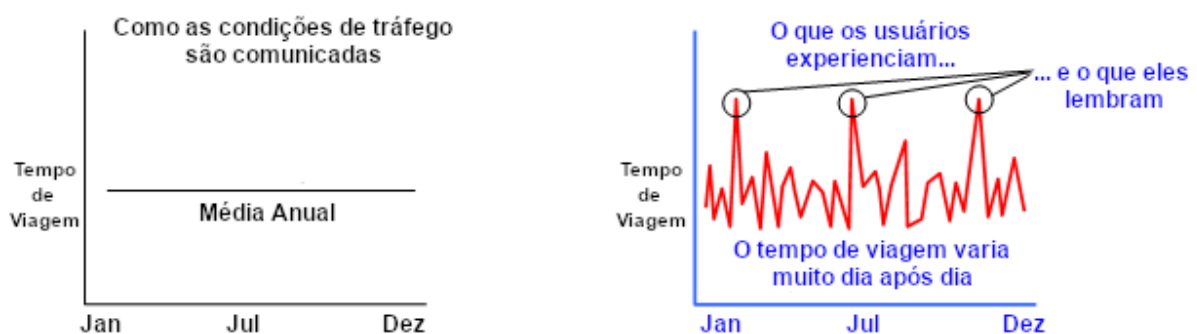
Para a compreensão das distribuições de todos esses atributos definidos anteriormente, que variam ao longo do tempo e do espaço, métricas como média, mediana, desvio padrão, variância, dentre outros, podem ser exploradas (Ceder, 2007). Porém, do ponto de vista da análise da operação, também é interessante associar atributos e métricas a indicadores que auxiliem de forma mais clara na caracterização da confiabilidade do sistema. Na literatura, existem alguns indicadores de confiabilidade que são utilizados por diversas agências de transportes ao redor do mundo na composição dos relatórios de performance de seus sistemas, frequentemente utilizados como fundamentação em decisões relativas a intervenções na infraestrutura, programação da operação, dentre outros. Alguns dos principais indicadores de confiabilidade da literatura, como aqueles relacionados ao tempo de trajeto com

o veículo em movimento (Ceder, 2007, p. 533; Haghani; Zhang; Hamed, 2014) e *headways*, são apresentados e discutidos na seção a seguir.

2.2.2 Indicadores de Confiabilidade

De acordo com Office of Operations (2006), órgão federal de operações rodoviárias dos Estados Unidos, os passageiros tendem a lembrar dos dias mais conturbados da operação ao realizar o planejamento de suas viagens. De fato, para os usuários do transporte público, ter previsibilidade do tempo que será gasto dentro do ônibus para a realização de suas viagens ou quanto tempo devem esperar para embarcar é essencial para o cumprimento de seus compromissos. Porém, muitas vezes as informações que são disponibilizadas para os usuários utilizarem como base para o planejamento de suas viagens, ou seja, informações sobre o nível de serviço, não condizem com a realidade ou sequer são reportadas. No primeiro caso, a divulgação e representação de atributos por médias, por exemplo, não informa corretamente aos usuários sobre as condições de operação do sistema e podem causar uma quebra de expectativa nos usuários pela realização de suas viagens devido às oscilações. A figura a seguir ilustra o problema dessa representação para o caso do tempo de viagem.

Figura 2 – Diferença entre o tempo de viagem reportado e experienciado pelos usuários.



Fonte: Adaptado de Office of Operations (2006).

Além das variações nos tempos de viagem experienciados pelos usuários entre os meses, dentro de um mesmo dia estes tempos podem variar bastante devido, principalmente, às condições de tráfego. Neste sentido, a representação da confiabilidade por indicadores que adicionam o efeito da variabilidade é mais útil tanto do ponto de vista de gestão da operação quanto do ponto de vista do usuário, que pode se utilizar desse tipo de informação para realizar o planejamento de suas viagens de forma mais assertiva ao ter maior previsibilidade do tempo

terá que disponibilizar para chegar em seu destino de forma pontual utilizando o transporte coletivo.

Neste sentido, a seguir são descritos alguns dos principais indicadores de confiabilidade e os seus contextos de aplicação relacionados ao tempo de trajeto, que, neste estudo, supõe-se ter relação direta com o tempo de viagem experienciado pelos usuários, e ao *headway*.

2.2.2.1 Travel Time Index (Índice do Tempo de Trajeto)

O TTI (*Travel Time Index*) é um indicador de índice de confiabilidade que faz parte do conjunto de indicadores de *Travel Time Reliability* — TTR (Kurauchi; Schmöcker, 2017), ou Confiabilidade do Tempo de Trajeto em tradução adequada ao contexto deste estudo. O TTI é definido por:

$$TTI = \frac{TT}{TT_{FL}} \quad (1)$$

Onde:

TTI é o Índice do Tempo de Trajeto

TT é o Tempo de Trajeto

TT_{FL} é o Tempo de Trajeto em Fluxo Livre

Este indicador representa o quão maior é o tempo total de necessário para percorrer um trajeto em comparação com o tempo em fluxo livre (desprezando a influência do tráfego), ou seja, se o TTI é 2 para determinado período do dia, isso significa dizer que o tempo de trajeto neste mesmo período é duas vezes maior que o experienciado em uma situação de fluxo livre. É geralmente avaliado na hora ou período de pico, podendo também ser comparado com períodos fora do pico ou entrepicos.

Margiotta *et al.* (2012) relatam que são características de seções não congestionadas valores de TTI menores que 1,1. Já para seções congestionadas, valores TTI maiores que 1,4 são comuns. Em vias de tráfego não interrompido, Margiotta *et al.* (2012) relatam ainda que, em seus estudos, a velocidade máxima da via pôde ser aplicada de forma constante nos trechos analisados na determinação do tempo de trajeto em fluxo livre. Já para vias semaforizadas ou rurais, citam que as variações no limite máximo de velocidade ao longo dos trechos e a influência da interrupção do fluxo veicular devido a programação semafórica impedem a

utilização da mesma premissa, tendo adotado, em substituição, o 85º percentil da velocidade média do trecho como a velocidade em fluxo livre para determinar o tempo de trajeto em fluxo livre. Dada a complexidade dessa variável em vias sinalizadas, outras hipóteses também podem ser adotadas para representar a velocidade em fluxo livre de forma a representar o cenário em que os veículos não enfrentam a influência do tráfego em seus trajetos.

No uso do conceito do TTI , geralmente são calculados também o $TTI_{méd}$ e o TTI_{95} , comumente utilizados em conjunto com outros indicadores de índice de confiabilidade que serão apresentados em tópicos seguintes, sendo o $TTI_{méd}$ calculado utilizando a média do tempo de trajeto no período analisado e o TTI_{95} utilizando o 95º percentil do tempo de trajeto.

2.2.2.2 Buffer Index (Índice de buffer)

O BI (*Buffer Index*) é um indicador de índice de confiabilidade que faz parte do grupo de indicadores do Tempo de Trajeto (Margiotta *et al.*, 2012), sendo definido por:

$$BI = \frac{TT_{95} - TT_{méd}}{TT_{méd}} \quad (2)$$

Onde:

BI é o Índice de Buffer

TT_{95} é o 95º percentil do Tempo de Trajeto

$TT_{méd}$ é o Tempo de Trajeto Médio

Este indicador representa o tempo adicional que deve ser alocado pelos usuários da via para chegar aos seus destinos de forma pontual em 95% das viagens (Office Of Operations, 2006). Para seu cálculo, também é geralmente considerado o TT_{50} , ao invés do $TT_{méd}$, para corrigir os efeitos na média causados pelas distribuições caudais dessa variável, além de valores extremos (Margiotta *et al.*, 2012). Ainda assim, podem existir situações em que o Índice de Buffer pode não representar bem toda a distribuição dos tempos de trajeto e, dessa forma, é recomendado também recorrer à análise das próprias distribuições ou combinação de outros de indicadores desta variável (Margiotta *et al.*, 2012).

2.2.2.3 Planning Time Index (Índice do Tempo de Planejamento)

Se o Índice de Buffer se refere ao tempo de trajeto adicional, o PTI (*Planning Time Index*) refere-se ao tempo total que os usuários das vias devem alocar para chegar em seus destinos de forma pontual em 95% das viagens. Ele é definido por:

$$PTI = \frac{TT_{95}}{TT_{FL}} \quad (3)$$

Onde:

PTI é o Índice do Tempo de Planejamento

TT_{95} é o 95º percentil do Tempo de Trajeto

TT_{FL} é o Tempo de Trajeto em Fluxo Livre

Margiotta *et al.* (2012) relata que, em alguns casos, o PTI é preferido como métrica principal de Tempo de Trajeto em detrimento do BI devido, principalmente, a um decréscimo maior no $TT_{méd}$ que no TT_{95} , ou seja, as viagens mais longas continuam a acontecer, mas as viagens, em média, sofrem reduções consideráveis no tempo de trajeto, como em algumas situações comparativas de períodos em que houveram redução de demanda e congestionamento na maior parte do tempo, fazendo com que o BI seja alto mesmo em condições melhores de trafegabilidade. Nestes casos, o PTI pode refletir de forma mais efetiva os efeitos do congestionamento na confiabilidade das seções analisadas. Entretanto, no contexto comparativo do presente estudo, o BI tem uma maior aplicabilidade pois pode ser combinado com outros indicadores como o *Travel Index*, ou Índice de Trajeto em tradução adequada ao contexto deste estudo, descrita por Margiotta *et al.* (2012) como o inverso da Velocidade Média Espacial, representando, combinado ao BI, o tempo adicional por unidade de distância para percorrer determinado trajeto.

2.2.2.4 Excess Waiting Time (Tempo de Espera em Excesso)

Diferentemente dos indicadores descritos até aqui, o EWT (*Excess Waiting Time*), ou Tempo de Espera em Excesso, faz parte dos indicadores de confiabilidade relacionados ao *headway* e representa o tempo em excesso que os usuários de transporte público de determinada linha aguardam para embarcar em um veículo considerando chegadas a taxas uniformes e de forma aleatória. Essa é uma informação importante a ser obtida de uma linha de transporte público pois, dado que a operação dificilmente irá ocorrer estritamente conforme o planejado,

podem ser identificados gargalos operacionais que podem estar impactando a experiência dos usuários.

Kurauchi e Schmöcker (2017) relatam que este indicador é muito utilizado na avaliação da confiabilidade de linhas de alta frequência, podendo ser classificadas assim as linhas em que partem 5 ou mais veículos por hora. Para obter este indicador, são necessárias duas fontes de dados que habilitem a obtenção de *headways* programados e *headways* reais da operação. O EWT é obtido pela seguinte formulação:

$$EWT = AWT - SWT \quad (4)$$

Onde:

EWT é o Tempo de Espera em Excesso

AWT é o Tempo de Espera Médio Efetivo

SWT é o Tempo de Espera Médio Programado

As formulações das parcelas *AWT* (*Average Actual Waiting Time*) e *SWT* (*Average Scheduled Waiting Time*) são como segue:

$$AWT = \frac{\sum H_a^2}{2 \sum H_a} \quad (5)$$

$$SWT = \frac{\sum H_s^2}{2 \sum H_s} \quad (6)$$

Onde:

AWT é o Tempo de Espera Médio Efetivo

SWT é o Tempo de Espera Médio Programado

H_a é o *Headway* Efetivo (calculado com base em dados da operação real)

H_s é o *Headway* Programado

No caso do *Headway* Efetivo, ou seja, aquele que realmente aconteceu durante a operação, dados de AVL ou similares podem ser utilizados na sua obtenção. Já o *Headway* Programado pode ser obtido a partir dos dados de GTFS, pois, em sua especificação, esta é uma informação obrigatória que é definida no arquivo *stop_times* e que pode ser obtida para qualquer

parada que esteja especificada na rota de interesse em intervalos de tempo definidos a critério do analista, possibilitando o cálculo deste indicador.

Pela formulação das parcelas do EWT, observa-se que há um peso maior atribuído aos *headways* longos que ocorrem na operação devido à soma dos quadrados no numerador, seja na parcela programada ou real.

2.2.2.5 Outros indicadores de confiabilidade

Além dos indicadores já mencionados em seções anteriores, existem outros indicadores que são abordados na literatura que também podem trazer um maior entendimento da confiabilidade de uma linha.

Margiotta *et al.* (2012) lista em seus estudos o Indicador de Pontualidade e Atraso (*Failure and on-time measure*) que se refere à razão do total de viagens que têm tempo de percurso inferiores, no caso da Pontualidade, à mediana dos tempos de percurso mais um *threshold*, ou seja, um intervalo de aceitabilidade, que geralmente é adotado como 10 ou 25% da mediana da variável tempo de percurso. O indicador recíproco, ou seja, o de Atraso, é calculado subtraindo o valor encontrado anteriormente de 100%. Além da consideração do tempo de trajeto, Margiotta também cita que a Velocidade Média Espacial (média harmônica das velocidades em uma seção) pode ser adotada como critério para calcular este indicador.

Outro indicador que pode trazer maior compreensão a respeito da confiabilidade é a Estatística de Assimetria (*Skew Statistics*), que padroniza a assimetria da distribuição dos tempos de trajeto em relação à mediana e aos 90º e 10º percentis do TT. Quanto mais assimétrica for a distribuição, maior o valor da Estatística de Assimetria, indicando que pode haver problemas de confiabilidade em relação a variabilidade do tempo de trajeto no local e período em que o indicador foi obtido.

Já Carrion e Levinson (2012) discorrem sobre dois indicadores que associam um valor monetário aos benefícios de redução do tempo de trajeto e a variabilidade do tempo de trajeto, sendo eles o VOT – *Value of Travel Time* (Valor do Tempo de Trajeto) e o VOR – *Value of Reliability* (Valor da Confiabilidade), respectivamente. Estes indicadores são importantes tanto na avaliação de viagens realizadas por transportes públicos (Minal; Ravi; Madhu, 2022) quanto por transportes fretados ou de mercadorias (Larranaga; De Souza; Arellana, 2021).

2.2.3 Métodos de avaliação da Confiabilidade

Existem diversos estudos na literatura que buscam estabelecer parâmetros de qualidade, representar e entender o comportamento dos sistemas baseados em indicadores obtidos a partir dos atributos da confiabilidade discutidos, mas com abordagens distintas em relação às fontes de dados. No contexto empírico, Ferraz e Torres (2004) sugerem que a confiabilidade pode ser avaliada sob a ótica de indicadores percentuais de viagens não realizadas ou com atraso maiores que 5 minutos ou adiantamentos maiores que 3 minutos em relação às viagens programadas, fazendo referência ao uso de dados coletados por pesquisa de campo para este propósito. O autor fornece escalas na avaliação da confiabilidade, atribuindo a classificação “Boa” se o percentual das viagens afetadas for abaixo de 1%, “Regular” entre 1% e 3% e “Ruim” para percentuais maiores que 3%. Já Vuchic (2007) considera, por sua vez, um indicador de porcentagem de chegadas aos terminais com atrasos inferiores a 4 minutos em relação ao horário de chegada programado, apontando que em áreas urbanas congestionadas esta medida de confiabilidade variando de 50% a 70% não é rara, principalmente em horários de pico, ao passo em que em cidades pequenas essa mesma medida não é muito afetada pelas condições de tráfego. Vuchic (2007) ainda destaca que, em serviços de transporte público que não são regularizados, estudos neste sentido podem ser comprometidos devido à ausência de informações da operação, mas na presença de regularização, como no caso de Zurique e de muitos outros países citados pelo autor, sistemas como o AVL (será discutido na seção 4.3) podem auxiliar neste propósito.

No contexto puramente analítico, Adebisi (1986) contribuiu com avanços importantes ao conceber um modelo que representa a variância do *headway* em ônibus com rotas fixas, onde identificou que as condições de carregamento do veículo e as condições de tráfego ao longo da rota são fatores determinantes para a variabilidade do *headway*. Abkowitz e Tozzi (1978) listam que essa métrica, sob grandes variações, é característica primária de um sistema operando sob baixa confiabilidade, elencando que essas variações são propagadas ao longo da rota e que existem fortes correlações com as condições de tráfego e o tempo que o veículo fica parado nos pontos ou estações de ônibus, chamado de *dwell time*. No mesmo estudo, os autores também citam que as variações no *headway* se configura como fator de grande influência no tempo de espera dos passageiros tanto em condições de experimentos analíticos quanto empíricos. Deterministicamente, o tempo de espera médio é definido como a metade dos intervalos entre os atendimentos de determinada parada (Ferraz; Torres, 2004, p. 103).

À medida em que as redes de transportes crescem, a complexidade de suas representações também segue esta tendência. Neste sentido, Abkowitz e Tozzi (1978) fazem

menção à necessidade de abordagens cada vez mais empíricas de forma a representar a amplitude do comportamento dos sistemas, já que muitas premissas consideradas em modelos analíticos podem não condizer com a realidade. Entretanto, durante muito tempo, estudos empíricos em escala sobre os sistemas de transportes eram limitados devido à inexistência de dados coletados por sistemas automatizados (estes sistemas serão discutidos na seção 4.3). Com os avanços tecnológicos e o advento do GPS (*Global Positioning System* — Sistema de Posicionamento Global em tradução livre), os sistemas de coleta foram ganhando cada vez mais robustez e capacidade de armazenamento e processamento, fatores que aumentaram a escalabilidade e difusão dos estudos empíricos usando dados massivos nas mais diversas áreas dos transportes.

2.3 Fontes de dados geoespaciais aplicadas em estudos de Transportes

Neste tópico será apresentada uma revisão bibliográfica a respeito das fontes de dados mais utilizadas na avaliação da confiabilidade em sistemas de transportes públicos.

2.3.1 GPS (*Global Positioning System*)

O surgimento do GPS data de meados dos anos 80 e teve como propósito inicial munir as forças armadas dos Estados Unidos com um sistema de navegação eficiente (Kumar *et al.*, 2002). A partir de então, entretanto, o GPS passou a ser utilizado em diversas aplicações nos mais variados setores. Hoje, é quase improvável mensurar todo o impacto que o advento do GPS trouxe para a sociedade. O'Connor *et al.* (2019) estimam que entre 1984 e 2017, apenas nos Estados Unidos, o uso do GPS em aplicações como agricultura, mineração, telecomunicações, dentre outros, gerou 1,4 trilhões de dólares em benefícios econômicos.

No contexto dos transportes, o GPS está inserido no conjunto de tecnologias utilizadas nos Sistemas de Transporte Inteligente ou ITS (*Intelligent Transportation System*), um movimento global que tem por objetivo integrar veículos, usuários e vias para trazer soluções eficientes para os problemas de congestionamento, eficiência de transportes, segurança etc. (Figueiredo *et al.*, 2001).

Por ser um conceito amplo, alguns autores dividem os ITS em alguns grupos de tecnologias. Dentre as categorias de tecnologias dos ITS listadas por Figueiredo *et al.* (2001), os sistemas CVO (*Commercial Vehicle Operation* — Operação de Veículos Comerciais) se enquadram no grupo que tem por objetivo melhorar a segurança e a eficiência da operação de

veículos comerciais e frotas veiculares no geral. Nesses sistemas que embarcam tecnologias de captura de informações de pedestres, gestão de tráfego, controle veicular, dentre outros, está o AVL (*Automatic Vehicle Location* — Localização Automática de Veículos em tradução livre), tecnologia que habilita o monitoramento da posição de um veículo ou de uma frota completa por meio de sinais de GPS e GSMC (*Global System for Mobile Communications*).

Assim como todo sistema de captura de informações do mundo real, os dados de GPS podem conter erros e variações na acurácia. Stombaugh *et al.* (2005) elenca algumas fontes de erros que podem afetar a qualidade das informações obtidas por dispositivos de GPS. Dentre estas fontes de erros, estão: *delays* na comunicação entre os satélites e os dispositivos receptores de sinal, fator que tem impacto minimizado com o aumento da quantidade de satélites na determinação da posição de objetos; a configuração dos satélites no céu, onde um curto espaçamento entre eles provoca um efeito negativo na triangulação do sinal de rádio e, conseqüentemente, piora a acurácia das medições; interferências atmosféricas também podem acontecer, onde o sinal de rádio pode ser refratado ao atravessar a atmosfera terrestre e demorar mais tempo para chegar aos receptores; chegada do mesmo sinal ao receptor em dois intervalos de tempo diferentes, situação que é causada principalmente por obstáculos entre a chegada do sinal e o receptor; dentre outros fatores.

Nas aplicações dos dados de AVL em transportes públicos, encontram-se na literatura diversas abordagens que buscaram modelar, representar e estimar comportamentos dos sistemas alvos desses estudos.

Realizando um estudo de tomada de decisão em tempo real, Shalaby e Farhan (2004) utilizaram uma combinação de dados AVL e APC (*Automatic Passenger Counter* — Contagem Automática de Passageiros em tradução livre), ambas tecnologias pertencentes ao grupo dos sistemas CVO, para a criação de um modelo de estimação do tempo de partida e de chegada dos ônibus em paradas. O modelo é consumido por um aplicativo de computador que fornece informações de predições de chegada e partida dos ônibus para os usuários, de forma que estes possam evitar a situação de não aderência entre as viagens programadas e a operação real. No estudo, que foi realizado para uma rota de ônibus de média-baixa frequência do distrito de Downtown Toronto, Canadá, os autores retroalimentam as bases de dados utilizadas para as estimações com os tempos de viagem entre os trechos da rota e os tempos que os ônibus ficam parados nos pontos. Hipóteses como distribuições uniformes de chegada de passageiros às paradas e desconsideração de mudança de rotas foram adotadas. Neste mesmo sentido, vale destacar também os estudos notáveis de Jeong e Rilett (2005) para o caso de Houston, Texas, e de Cevallos *et al.* (2011).

Analisando e comparando dados históricos de tempos de trajeto, representados por métricas como médias e coeficientes de variação, coletados via GPS para três corredores de BRTs (*Bus Rapid Transit* — Ônibus de Trânsito Rápido em tradução livre) controlados por um Centro de Controle Operacional (CCO), Silva (2015) conclui que níveis de variabilidade média do tempo de trajeto entre 2 a 3 minutos e coeficientes de variação oscilando entre 4 a 6% são características de sistemas bem projetados, comparando ainda estas medidas encontradas à confiabilidade elevada que é observada em sistemas de transportes sobre trilhos.

Estudando dados históricos de AVL para fins de suporte a avaliações e intervenções em sistemas de transportes, Braga *et al.* (2019) imprime esforços na reconstrução de arquivos GTFS (*General Transit Feed Specification* — Especificação Geral sobre Feeds de Transporte Público) a partir de dados de GPS. Os dados de GTFS serão melhor discutidos no próximo tópico deste estudo, porém, em essência, estes dados representam informações geométricas das rotas como pontos de paradas e informações da operação como grades horárias planejadas dos ônibus, de forma que tempo de trajeto, *headway* e outros indicadores ficam bem definidos neste formato de arquivo e, conseqüentemente, mais fáceis de se obterem, já que existem diversas bibliotecas para linguagens de programação que consideram este tipo de arquivo como *input*.

Neste sentido, Braga *et al.* (2019) traz uma abordagem empírica para arquivos de formato GTFS que, em essência, são planejamentos da operação, acrescentando aspectos da operação que realmente aconteceram, de forma que a tomada de decisão nas intervenções do sistema e avaliação de performance da operação se tornem condizentes com a realidade. Em suas análises para o caso de Fortaleza-CE, Braga *et al.* (2019) considerou o tempo de trajeto agregado a cada 15 minutos por trecho entre paradas, utilizando a mediana e o 85º percentil desta variável como indicadores para avaliar a variabilidade na acessibilidade por transportes na Capital do Ceará. No estudo, concluiu que os dados de GTFS programados superestimam a performance do sistema em relação aos dois indicadores empíricos em até 50% (no caso da mediana), o que sugere que o sistema estaria operando abaixo da expectativa planejada. Também foram identificadas algumas limitações no estudo como inexata correspondência entre dados de GPS e bilhetagem para algumas linhas e veículos, bem como a falta de informações de algumas linhas.

Abordagens levando em consideração a operação real do sistema são interessantes, pois podem ser úteis na identificação de gargalos operacionais, aspecto relevante para se ter ciência na execução de intervenções nas operações de transportes. Nessas abordagens, alguns fatores como tráfego, alterações de trajeto, acidentes, dentre outros, refletem naturalmente nos dados gerados pelos sistemas que capturam as informações, como os sistemas de AVL. Braga

et al. (2019) cita que avaliações puramente baseadas em dados de GTFS impõem limitações na compreensão do sistema como um todo, mas não deixam de ter sua relevância. De fato, o formato deste tipo de dado traz muita eficiência na representação do que é planejado para o sistema e de seus componentes. Na seção a seguir será introduzido o GTFS.

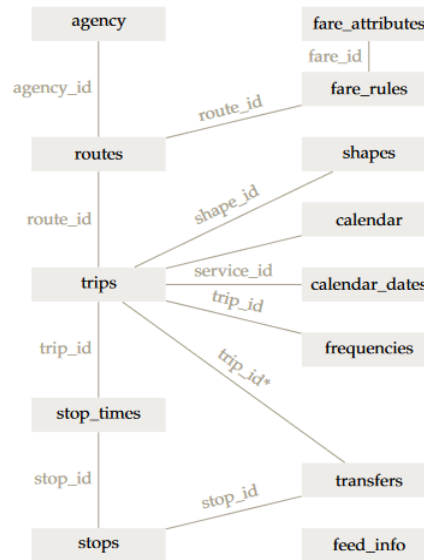
2.3.2 GTFS (General Transit Feed Specification)

O *General Transit Feed Specification*, ou simplesmente GTFS, foi um projeto que surgiu em 2005 e foi desenvolvido e lançado pelo Google em 2006 com o objetivo inicial de incorporar informações de trânsito ao serviço de geolocalização *Google Maps* (Roush, 2012). Por ser aberto, ou seja, ter documentações e usos irrestritos, possui uma grande comunidade de contribuidores formada por usuários de transportes, agências de transportes, governos, dentre outros.

Também conhecido como GTFS Estático, este tipo de dado contém informações a respeito da geolocalização de paradas, forma das vias, tabela de horários de transporte público, tarifas, rotas, dentre outras informações que podem ser obrigatórias ou não dentro da especificação dos arquivos, variando com o tipo de uso que as agências ou governos considerarem relevantes para a gestão de suas frotas. Dentre as informações que não são obrigatórias, mas que podem contribuir para a realização de análises da linha podem-se listar as datas e exceções do serviço de transporte, obrigatórias apenas sob certas circunstâncias, as informações de frequência das viagens, forma da rota, os caminhos que conectam os locais dentro das estações, os níveis dentro das estações, traduções da especificação do feed, regras de aplicação e informações gerais das tarifas aplicadas aos passageiros, metadados do feed e atribuições da empresa de transporte público.

Os dados de *feed* (como são chamadas as informações geradas) são gravados em arquivos no formato texto (.txt) separados por vírgulas (*Comma Separated Values*, popularmente conhecido pela sigla “CSV”) e podem ser publicados em repositórios para consumo da comunidade, aplicativos etc. Todos os arquivos gerados são relacionados entre si, conforme esquematizado por Kaufmann (2015).

Figura 3 – Diagrama de Classe de arquivos GTFS.



Fonte: Kauffman (2015).

Cada arquivo gerado possui uma chave-primária própria que se relaciona com um ou mais arquivos, de forma que diferentes aspectos da operação podem ser representados juntos. Algumas linguagens de programação possuem bibliotecas específicas para tratar deste tipo de dado, como a biblioteca *tidytransit* da linguagem R. Com ela, é possível ler estes arquivos, validá-los e obter aspectos programados da operação como *headways*, por exemplo.

Entretanto, como já explicitado no tópico anterior, abordagens que buscam descrever e avaliar os sistemas com uso estrito de dados de GTFS Estáticos trazem premissas muito fortes para as análises, cabendo aos analistas e tomadores de decisão valerem-se de aspectos das operações reais para fundamentar seus estudos.

2.3.3 Dados de Bilhetagem Eletrônica

Os dados de Bilhetagem Eletrônica, também chamados de *Smart Card Data*, fazem parte da coleta de dados automática dos sistemas AFC – *Automated Fare Collection* (Coleta Automatizada de Tarifa) e se caracterizam como uma fonte rica em informações a respeito dos usuários dos Transportes Públicos. Ao realizarem embarques, os usuários têm seus cartões validados e, no caso da não gratuidade, cobrados pela taxa de transporte das viagens. Nos sistemas embutidos nas catracas, são capturadas as informações básicas dos usuários e identificado o tipo de cartão que define a taxa a ser cobrada.

No sistema AFC que gerou os dados utilizados por este estudo, informações relevantes para as análises são capturadas como o momento e a data em que ocorreram as validações, tipo de cartão utilizado, linha em que o veículo está operando, identificação do veículo, identificação do usuário e identificação da viagem como uma integração ou não. Ademais, vale destacar que existem diferenças quanto aos dados coletados por sistemas AFC a depender do modal. Por exemplo, os dados de AFC de metrô utilizados por Chen *et al.* (2018) têm a robustez de identificação da origem e o destino das viagens, além dos momentos de validação em cada uma das validações.

Em termos de estudos utilizando dados de AFC, estes contribuem para o entendimento da demanda de forma temporal e, no caso de coleta de dados georreferenciados, espacial, de forma que os analistas e tomadores de decisão podem valer-se dessa rica fonte de *insights* para adequar a operação à demanda que está sendo gerada, além de ampliar a visão dos aspectos operacionais que dados provenientes de sistemas de coleta automática fornecem sobre a operação real.

3 MATERIAIS E MÉTODO

Nesta seção serão detalhados os materiais e métodos utilizados como insumo para a produção das análises.

3.1 Materiais

3.1.1 Dados de AVL (*Automatic Vehicle Location*)

Os dados de AVL de um mês de operações do Transporte Público de Fortaleza utilizados nas análises foram cedidos pelos técnicos do Sistema Integrado de Transporte Público de Fortaleza (SIT-FOR). Estes dados são referentes aos 20 dias úteis do mês de novembro de 2018. Para as análises, foi selecionada uma importante linha do transporte público de Fortaleza chamada “075 – Campus do Pici / Unifor”. O *schema* dos dados de AVL do SIT-FOR é detalhado no quadro a seguir.

Quadro 2 – *Schema* dos dados de AVL do SIT-FOR.

Campo	Descrição
Latitude	Latitude do ponto capturado pelo dispositivo GPS
Longitude	Longitude do ponto capturado pelo dispositivo GPS
Data-Hora	Data e hora do momento em que o ponto é capturado pelo dispositivo GPS
Odômetro	Marcação de distância percorrida pelo veículo. É cumulativo e não reseta entre os dias de operação
Velocidade	Velocidade do veículo no momento da captura do ponto de GPS
Id do Veículo	Código dos veículos referentes aos dados de GPS

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

No *schema* apresentado, não figura a informação da linha de operação do veículo. Para obter essa informação, foi necessário aplicar uma junção dessa base com outra fonte de dados que habilita a correspondência entre a *Linha do Veículo* e o *Id do Veículo* presente nos dados de AVL. Para este propósito, foi utilizado um dicionário de correspondência que relaciona o *Id do Veículo* com o *Prefixo Carro* encontrado na base dados auxiliar de bilhetagem eletrônica, insumo detalhado por Braga *et al.* (2019). Como a essência das informações desta base auxiliar não foi utilizada na correspondência, vale destacar apenas os campos necessários para a criação

da correspondência com base no *dicionário*, que foram: linha do veículo, prefixo do carro e data-hora de ocorrência da autenticação do bilhete eletrônico. Para realizar o processamento desses dados foram utilizados um Sistema de Informações Geográficas (SIG) de código aberto chamado QGIS e a linguagem de programação R.

3.1.2 Dados de GTFS (*General Transit Feed Specification*)

Os dados de GTFS (*General Transit Feed Specification* ou Especificação Geral de Feeds de Transporte Público) para o período correspondente aos dados de AVL foram obtidos através da Prefeitura Municipal de Fortaleza. O conjunto de arquivos dos dados de GTFS foram utilizados para a obtenção do *shape* da rota, das paradas e *headways* programados, requisitos para as análises. Estes atributos são estáticos, conforme já citado na revisão bibliográfica. As descrições dos arquivos componentes dos dados utilizados neste estudo são mostradas no quadro a seguir.

Quadro 3 – Quadro de arquivos de GTFS.

Arquivo	Descrição
<i>agency</i>	Empresas de transporte público presentes nos serviços descritos pelos dados
<i>routes</i>	Trajetos do transporte público
<i>trips</i>	Viagens de cada trajeto
<i>stop_times</i>	Horários de partida e chegada dos veículos nas paradas de ônibus
<i>stops</i>	Paradas onde os veículos pegam ou deixam passageiros
<i>shapes</i>	Forma dos caminhos das viagens dos veículos
<i>calendar</i>	Calendário da operação dos veículos
<i>calendar_dates</i>	Exceções dos dias em que o serviço irá operar
<i>fare_attributes</i>	Informações sobre a tarifa de transporte e métodos de pagamento
<i>fare_rules</i>	Especificação de como as tarifas devem ser aplicadas por itinerário

Fonte: Adaptado de GTFS Reference. Disponível em: developers.google.com/transit/gtfs/reference (2023).

Para realizar o processamento dos dados de GTFS e obter o *shape* da rota e dos pontos das paradas foram utilizados o software QGIS e um plugin chamado GTFS-GO. Já para a obtenção do *headway* programado foi utilizada a biblioteca do R chamada *tidytransit*, onde parâmetros como *id* da parada, dia e hora são os inputs.

3.1.3 Dados de Bilhetagem Eletrônica

Os dados de Bilhetagem Eletrônica, relativos ao mesmo período correspondente às outras duas fontes de dados já mencionadas, foram cedidos pela Prefeitura Municipal de Fortaleza. Os campos referentes a estes dados são detalhados no quadro a seguir.

Quadro 4 – Quadro de campos dos dados de Bilhetagem Eletrônica.

Campo	Descrição
Id	Código que identifica o usuário do transporte público
Linha	Código da linha de transporte público
Prefixo Carro	Código dos veículos referentes aos dados de Bilhetagem
Tipo Cartão	Modalidade de tarifa que o usuário deverá pagar
Sentido viagem	Sentido da viagem que está sendo realizada
Integração	Representa se a viagem do usuário é uma integração ou não
Dia	Dia em que ocorreu a validação do bilhete eletrônico
Momento	Horário em que ocorreu a validação do bilhete eletrônico

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

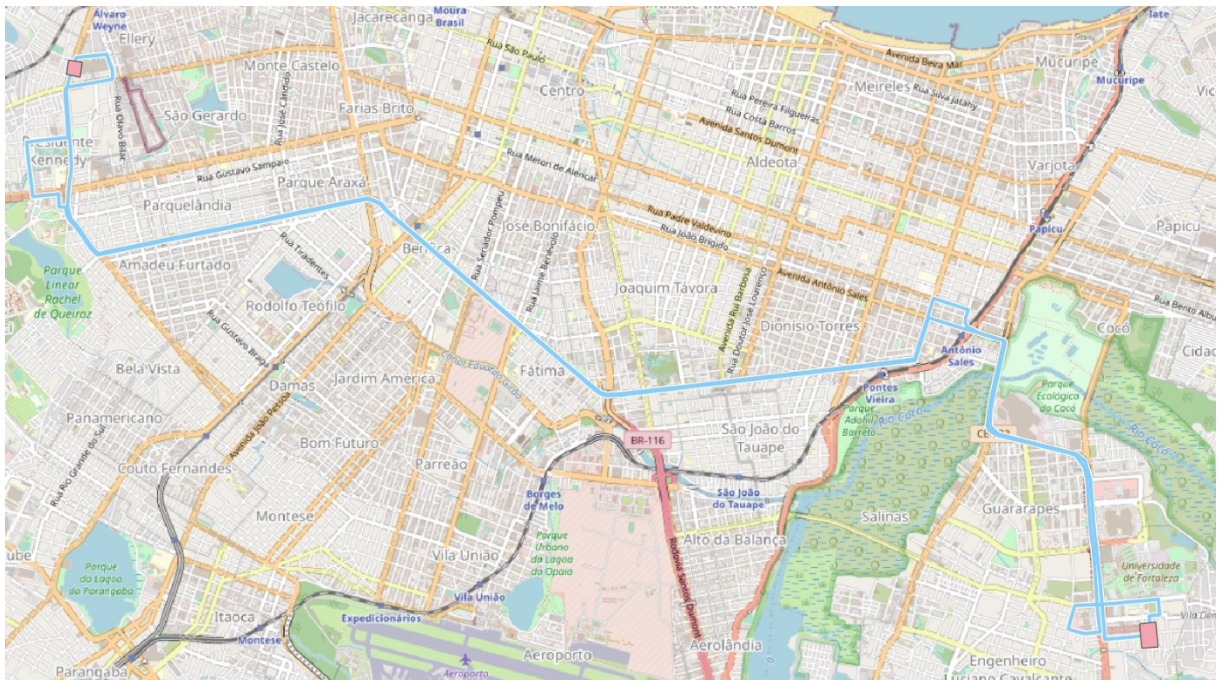
Por não possuírem, de forma isolada, a identificação da posição georreferenciada em que as validações dos bilhetes acontecem, estes dados fornecem apenas condições para a realização de análises temporais. Neste sentido, esta fonte de dados será incorporada nas etapas de análise temporal da linha e de escolha do intervalo pico dos dias da análise.

3.2 Método

Nesta seção são descritas as características básicas da rota estudada e as etapas da metodologia aplicada para a produção e análise dos resultados.

A linha 075, também conhecida como “Campus do Pici/Unifor”, possui uma rota de aproximadamente de 16,5 Km no sentido Oeste-Leste e 51 paradas ao longo da extensão neste sentido. Já no sentido Leste-Oeste, a distância em rota é de aproximadamente 14,0 Km e com 43 paradas. A seguir é representada no mapa a linha de transporte descrita e as regiões das paradas representativas de início e fim da rota.

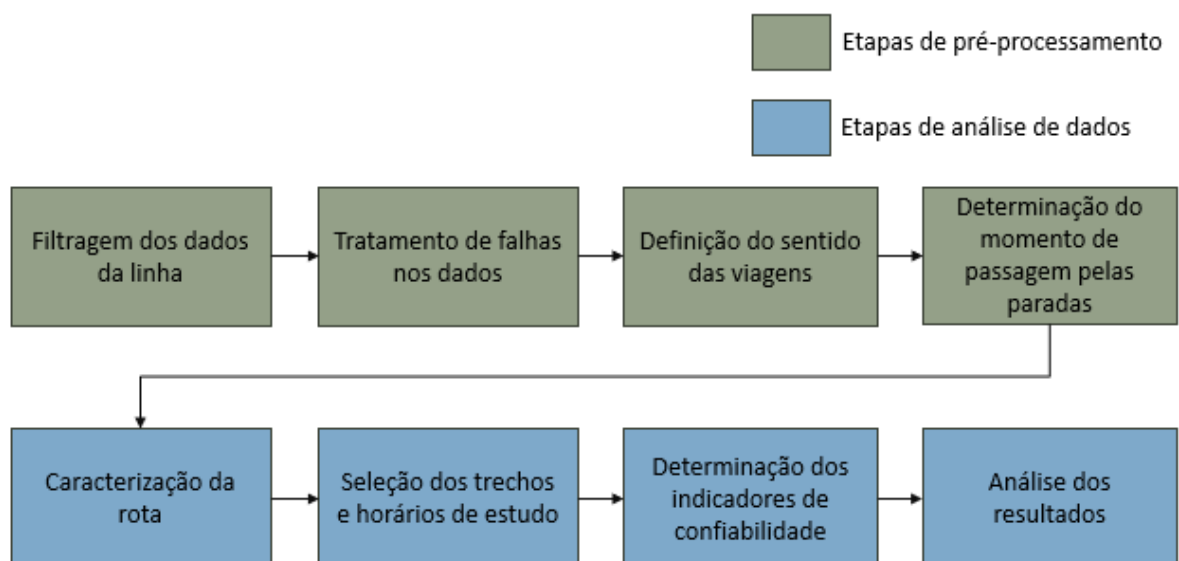
Figura 4 – Forma da rota da Linha 075 – Campus do Pici / Unifor.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

As etapas sequenciais do método aplicado estão representadas no fluxo a seguir e são descritas nos tópicos desta seção.

Figura 5 – Fluxograma do método proposto.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

3.2.1 Pré-processamento dos dados de AVL

Esta etapa tem por objetivo adequar os dados para o processamento das análises e, portanto, agrega todas as etapas de pré-processamento dos dados.

3.2.1.1 Filtragem dos dados da linha de estudo

Na estrutura original dos dados de AVL disponibilizados, a informação da linha a qual faz parte a operação dos veículos não é informada. Para resolver este problema, foi necessário recorrer a dados de bilhetagem eletrônica da operação. Aplicando um dicionário de dados fornecido pelo SIT-FOR que correlaciona o campo *Id do Veículo* presente nos dados de AVL com o campo *Prefixo Carro* presente nos dados de bilhetagem eletrônica, foi possível selecionar a linha em análise, os veículos que operaram na mesma e os momentos em que aconteceram as primeiras e últimas validações de bilhete eletrônico ao longo dos dias das operações, de forma que foi considerado que estes limites são os que definem, aproximadamente, o início e fim da operação dos veículos a cada dia de operação. Braga *et al.* (2019) reconhece que o dicionário fornecido não possui uma correspondência perfeita entre o *Prefixo* e o *Id* dos veículos, mas que este processo é fundamental para o prosseguimento das análises.

Com a relação *de-para* entre os veículos presentes nos dados de AVL e os veículos presentes nos dados de bilhetagem, levando em consideração os momentos de início e fim da operação definidos anteriormente, criou-se condições de filtrar o arquivo de AVL para os veículos da linha em questão.

3.2.1.2 Tratamento de falhas nos dados

Tendo posse dos dados da operação da linha em questão já filtrados, foi necessário tratar alguns casos de inconsistências percebidas nos dados de AVL que também são discutidas na literatura (SAAVEDRA *et al.*, 2011). Braga *et al.* (2019) cita em seu estudo para a cidade de Fortaleza a presença de veículos operando em mais de uma linha ao longo de suas jornadas diárias como uma inconsistência para as análises. Além disso, nos dados do presente estudo também foram identificados registros de GPS em trajetos não correspondentes à operação normal da rota como pausas para descanso, mudanças de escala, falhas operacionais e do próprio dispositivo de GPS, dentre outros. Inicialmente, para tratar as falhas visualmente aparentes, com o auxílio do QGIS e da linguagem R, pôde-se remover estes pontos analisando a seleção das viagens completas na tabela de atributos no caso do atendimento de outras rotas

durante uma operação, ou seja, viagens que se iniciaram em uma parada de referência e terminaram nesta mesma parada, na maioria dos casos.

Após esta primeira etapa, criou-se condições de executar a determinação do sentido das viagens (será discutido do tópico 5.2.1.3). Com os sentidos das viagens definidos, associou-se os de pontos GPS aos trechos da rota definidos por duas paradas consecutivas, criando-se condições de identificar pontos de GPS em viagens *outliers* que não puderam ser removidos na inspeção visual, de forma que os ajustes nas etapas seguintes foram minimizados. A associação dos pontos de GPS aos trechos da foi necessária pois, além de habilitar a análise de trechos com a identificação dos mesmos em uma coluna na tabela de atributos, permitiu-se avaliar a existência de viagens que não foram completadas e a detecção de falhas operacionais ou do sistema de GPS na captura de pontos ao longo de todo o percurso das viagens, de forma que pôde-se considerar, além da remoção de viagens com pontos de GPS insuficientes, tratar viagens com poucos pontos faltantes ao longo da extensão do percurso utilizando as velocidades médias nos trechos das viagens, reduzindo o efeito nas análises destas viagens com erros nos dados.

Para executar a associação, no software QGIS criou-se superfícies entre as paradas que continham todos os pontos que passam pelos respectivos trechos. De posse dessas superfícies definidas por dois *shapes*, um para cada sentido das viagens (determinado conforme será descrito no tópico 5.2.1.3) e nomeadas conforme o *Id da Parada* a qual os pontos que estão nestes trechos estão se aproximando, executou-se uma função de geoprocessamento de vetores no QGIS chamada *interseção*, onde a camada de entrada é a camada de pontos já classificados para os dois sentidos da viagem e a camada de sobreposição é definida pelas superfícies, de forma que o resultado final foi a atribuição do número dos trechos aos pontos ao longo da rota.

Foram necessários tratamentos adicionais devido a geometria da devido a presença de trechos onde estiveram presentes viadutos e curvas que sobrepuseram as trajetórias na representação da rota. Nestes casos, criou-se *shapes* adicionais para os trechos que se sobrepuseram e, levando em consideração o sequenciamento temporal de pontos ao longo da rota, avaliou-se a presença de pontos que foram capturados por mais de um *shape* e criou-se filtros com base na temporalidade dos registros, removendo pontos que já passaram por determinados trechos anteriores dos trechos posteriores que também capturaram estes pontos.

3.2.1.3 Definição do sentido das viagens

Com os dados de AVL filtrados obtidos com a realização da etapa descrita no início do tópico anterior, criou-se condições de definir o sentido das viagens.

Para a realização desta etapa, foi necessário ordenar de forma crescente os pontos da operação diária dos veículos pelo campo *Data-Hora* que define o momento da captura pelo dispositivo de GPS. Além disso, também foi necessário obter as coordenadas das paradas da rota com o auxílio dos dados de GTFS e o *plugin* GTFS-GO do QGIS, classificando-as como paradas *de ida* e *de volta* em suas tabelas de atributo conforme os dados de bilhetagem. Então, calculou-se a distância em rota de cada ponto de GPS até as duas paradas que definem a mudança de sentido da rota com o auxílio da biblioteca *osrm* da linguagem R, passando para a função *osrmTable* as coordenadas dos pontos registrados pelos veículos e das paradas, de forma que com isso foi possível determinar o sentido da viagem e atribuí-lo a cada ponto avaliando a redução sequencial das distâncias calculadas em direção a uma parada e o aumento em relação a outra.

Para cada alteração de sentido, portanto, foi definido um número para a viagem que é atribuído a uma coluna auxiliar, de forma a possibilitar a identificação de cada viagem. Um processo semelhante foi descrito por Braga *et al.* (2019) na determinação do sentido de uma viagem, que também se utilizou de distâncias entre pontos e paradas mais próximas sob uma abordagem de proximidade entre estes dois elementos.

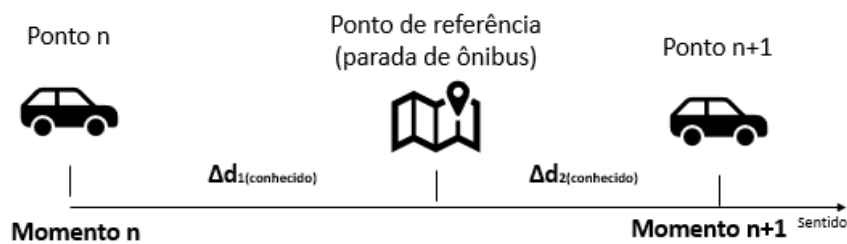
3.2.1.4 Determinação do momento de passagem pelas paradas

A captura de registros de posicionamento dos veículos no sistema AVL em estudo não é contínua, ou seja, a posição do veículo não é capturada em todos os momentos em que a operação acontece. A depender da resolução temporal dos registros dos pontos de AVL, ou seja, dos intervalos de tempo entre os registros dos pontos, os ajustes da passagem destes pontos por determinada referência na rota podem ter maior ou menor precisão.

Estas correções são pequenas dependendo da quantidade de pontos em cada trecho em uma viagem, visto que são realizadas apenas em pontos próximos às paradas, mas são necessárias para corrigir os efeitos imputados pelos intervalos de captura destes pontos. Um método para este propósito foi descrito por Braga *et al.* (2019) levando em consideração a distância acumulada dos pontos e das paradas ao longo da rota para a estimação do momento de passagem em cada parada, porém, não ficou muito claro como são contornados problemas como alterações de rota, de forma que foi adotado para o presente estudo, portanto, dois métodos descritos a seguir.

O primeiro dos métodos é a realização de uma interpolação linear entre o último ponto de um trecho entre duas paradas consecutivas em uma dada viagem e o primeiro ponto do trecho seguinte, utilizando como parâmetros para a interpolação linear a distância dos pontos até a parada de referência da passagem e a diferença de tempo entre a marcação dos dois pontos, representados na figura a seguir.

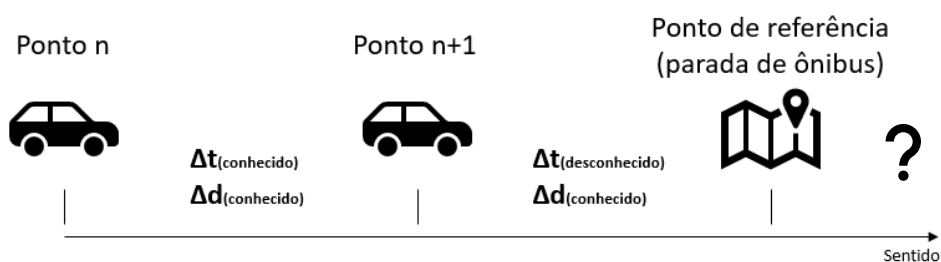
Figura 6 – Esquemática dos atributos necessários à estimação do momento de passagem em um ponto de referência utilizando o primeiro método.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Já o segundo método é semelhante ao adotado por Silva (2022), que se utilizou da velocidade média dos veículos em relação às paradas em que estão se aproximando para realizar a determinação da passagem do veículo pela parada. No presente estudo, esta abordagem foi aplicada apenas nos casos em que, em uma dada viagem, o veículo não marca pontos de GPS em determinado trecho entre duas paradas, impossibilitando a aplicação do primeiro método descrito, e na correção das viagens que não marcaram pontos de GPS ao longo de toda a rota.

Figura 7 – Esquemática dos atributos necessários à estimação do momento de passagem em um ponto de referência utilizando pelo segundo método.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Com a associação dos pontos de GPS a cada trecho da rota que interliga duas paradas consecutivas, fica definida a posição e o momento dos pontos que estão imediatamente antes da parada por qual é determinado o momento de passagem e que estão contidos no trecho definido por cada parada. Desta forma, considerou-se a velocidade média desempenhada no trecho no dia da operação como a velocidade de aproximação em relação à parada, definindo, assim, o momento de passagem a partir do último ponto de GPS no trecho em uma viagem.

No cálculo da distância entre pontos de GPS, definidos por coordenadas geográficas de latitude e longitude, foi considerada a distância de Haversine, amplamente utilizada (Silva, 2022) devido a consideração da esfericidade da Terra em sua formulação (Sinnott, 1984). Sua formulação está implementada no pacote *geosphere* do software R.

3.2.2 Caracterização da linha de transporte público em estudo

Na caracterização da linha em estudo foram levadas em consideração as informações de GPS e bilhetagem descritas em tópicos anteriores, além dos aspectos inerentes às conexões que a rota propicia para a cidade de Fortaleza, como a ligação de importantes Polos Geradores de Viagens – PGV. As análises de cada uma dessas fontes e do entorno, a partir dos dados de geolocalização do *Open Street Maps*, contribuíram para a compreensão de aspectos como uso do solo do entorno da rota que embasaram o estudo da confiabilidade, bem como fundamentaram a determinação dos períodos de pico e entrepico e a definição dos trechos e paradas a serem avaliadas sob a perspectiva da confiabilidade.

Em relação aos dados de AVL, foi analisado o comportamento do tempo de trajeto da rota completa. Adicionalmente, também foi analisado o comportamento de uma métrica descrita por Margiotta *et al.* (2012) como *travel rate*, ou taxa de viagem, possuindo dimensão minuto por quilômetro no contexto deste trabalho. Com isso, objetivou-se de capturar a intensidade do efeito do tráfego no tempo de trajeto em cada um dos sentidos da linha ao longo do dia, de forma que foi possível identificar, juntamente com a avaliação das validações dos bilhetes eletrônicos detalhada no tópico seguinte, os períodos de pico e entrepico que foram considerados para o cálculo dos indicadores de confiabilidade. Para atingir este objetivo, foi analisada a média como a medida de tendência central, agregada de forma horária para o período completo de operação, ou seja, 20 dias úteis da operação de Transporte Público de Fortaleza-Ceará do mês de novembro de 2018.

No que diz respeito aos dados de bilhetagem eletrônica, foi analisado o total de validações agregado de forma horária para o mesmo período de operação considerado na

caracterização com os dados de AVL. O objetivo de realizar esta avaliação foi de reforçar o embasamento da escolha do período de pico e entrepico, além de caracterizar o volume de usuários que utilizaram a rota no mês do estudo e os motivos das viagens, possibilitado devido à classificação dos bilhetes (Oliveira, 2019).

Por fim, também foram descritas características da rota como PGVs ao longo de sua extensão e classificação das interseções que se conectam ao trajeto da linha em análise, de forma que trechos com características semelhantes ao longo de suas extensões foram definidos para análise dos indicadores do tempo de trajeto, bem como paradas de interesse para análise de indicadores de *headway* escolhidas com base em possíveis usos do solo que estão ligados a grandes quantidades de embarques e desembarques como shoppings, universidades, igrejas, etc.

3.2.3 Definição dos trechos, paradas e períodos para estudo da confiabilidade

Para estudos de confiabilidade, Margiotta *et al.* (2012) descreve alguns princípios que podem ser adotados como guias para a escolha das seções de estudo, fazendo ainda considerações a respeito dos horários em que podem ser avaliados alguns indicadores.

Apesar da metodologia aplicada na obtenção dos indicadores pelo autor supracitado contemplar dados de dispositivos de fiscalização eletrônica que capturam o volume e a velocidade dos veículos, os princípios de homogeneidade geométrica da rota e consideração de trechos da rota em referência às porções das viagens realizadas pelos passageiros foram adotados na escolha dos trechos de estudo deste trabalho.

A linha em análise possui diversos Polos Geradores de Viagem ao longo de sua extensão. Desta forma, os trechos foram selecionados de acordo com as suas proximidades de centros comerciais, escolas, faculdades e hospitais, além da consideração de comprimentos em rota adequados para análise do tempo de trajeto. Essas regiões de PGVs criam nos usuários motivação para a realização de viagens e, como consequência, geram-se muitos embarques e desembarques nessas proximidades. É esperado, neste sentido, que nessas regiões aconteçam aglomerações de pessoas nas paradas de ônibus. Portanto, justificam-se também as análises de indicadores relativos aos *headways* dos ônibus nessas paradas, como o Tempo de Espera em Excesso, haja visto que muitas pessoas são impactadas ao mesmo tempo pela espera de um mesmo ônibus. Desta forma, também são escolhidas paradas ao longo dos trechos para estudo.

Em relação aos horários de análise dos indicadores de confiabilidade, Margiotta *et al.* (2012) sugere a consideração de períodos de análise. Neste sentido, com os resultados da

caracterização, foi possível identificar os períodos de pico da demanda pela análise das validações dos bilhetes eletrônicos ao longo do dia e os períodos de pico do tráfego pela análise do tempo médio de trajeto da rota completa, consideradas assim as viagens entre as paradas de referência de início e fim da rota. Com base em ambas as fontes, são selecionados dois períodos de análise: um período de pico e um período de entrepico.

3.2.4 Determinação dos indicadores de confiabilidade

Para a obtenção dos indicadores de confiabilidade, foram utilizados os resultados encontrados na etapa de pré-processamento dos dados e as definições de horário e trechos para a análise, pois tendo sido determinados os momentos de passagem dos ônibus pelas paradas, ficaram definidas as variáveis base para o cálculo dos indicadores.

Os tempos de viagem são determinados pela diferença dos momentos de passagem de um mesmo ônibus, em uma mesma viagem, entre duas paradas em que se objetivou calcular o tempo de trajeto.

O *headway* ocorrido em uma parada pôde ser obtido com os dados de GPS realizando-se a diferença entre dois momentos de passagem consecutivos por essa mesma parada. Já o *headway* programado foi obtido para cada dia da operação a partir dos dados de GTFS com a biblioteca do R *tidytransit* passando-se para a função *filter_feed_by_date* as datas dos dias úteis da análise e filtrando as paradas de interesse com a função *filter_feed_by_stops*, de forma que é obtida a tabela de momentos de passagem (*arrival_time*) pelas paradas a partir do objeto gerado (*stop_times*) pela última função de filtro.

Com os tempos de viagem definidos nos trechos e horários da análise, partiu-se para a determinação das métricas utilizadas no cálculo dos indicadores do tempo de trajeto, como o 95º percentil, a mediana e a média do tempo de trajeto com as funções *quantile*, *median* e *mean* do *software* R, respectivamente.

O indicador Tempo de Espera em Excesso que leva em consideração os *headways* programado e real foi avaliado em paradas de referência em cada trecho analisado em regiões em que se espera uma maior concentração de pessoas embarcando, ou seja, próximo de shoppings, locais de trabalho, escolas etc. Determinado a partir de observações no período de pico e entrepico para os dois sentidos da rota em análise, este indicador tem suas parcelas calculadas individualmente para os dados reais de GPS e para a operação programada pelos dados de GTFS, de forma que, ao final, são combinados em um resultado que expressa o tempo

adicional que os usuários de ônibus esperaram para realizar o embarque, considerando as suas chegadas a uma taxa uniforme e de forma aleatória.

3.2.5 Análise dos resultados obtidos

Em relação ao uso dos dados de GPS, buscou-se analisar e mitigar os impactos que as falhas associadas a estes tipos de dados trazem para as análises ao identificar e eliminar os possíveis problemas listados no tópico 5.2.1.2.

Para a análise dos resultados obtidos com os dados tratados, são propostos confrontamentos de métricas e indicadores de confiabilidade em relação aos três aspectos temporais e espaciais definidos anteriormente, sendo eles: os períodos do dia em que os indicadores foram determinados, ou seja, os períodos de pico e entrepico, visto que a confiabilidade é intimamente relacionada com as condições de tráfego e demais fatores associados a períodos de tráfego mais intenso; os dois sentidos da rota, pois estes compartilham de infraestrutura e geometria semelhantes, além de se esperar que exista um maior balanço de viagens em um dos sentidos no pico da manhã e um balanço semelhante no sentido oposto no pico da tarde devido ao fato de que a rota em análise interliga Polos Geradores de Viagens com motivos diversos ao longo de sua extensão e que uma de suas extremidades está presente em uma região mais central da cidade e a outra em uma região mais periférica; e, por último, em relação às seções da rota definidas no tópico 5.2.6, visto que estas possuem características espaciais mistas com o uso do solo e que, portanto, espera-se que tenham desempenhos distintos com relação à confiabilidade.

Com isso, espera-se identificar nas análises os trechos e horários que apresentam maiores variabilidades na confiabilidade que, neste contexto de análise, configuram-se como oportunidades de melhoria do desempenho da operação da rota. Ademais, também se somam às contribuições de identificação de gargalos operacionais as avaliações pontuais de paradas específicas nos trechos definidos que possivelmente aglomeram uma grande quantidade de passageiros aguardando para embarcar. Nestas análises, foram calculados os indicadores de *headway* relacionados ao Tempo de Espera Adicional dos usuários para cada dia de operação nestas paradas e avaliada a média dessas esperas para o período de um mês, comparando os resultados obtidos em relação aos aspectos temporais e espaciais já mencionados, além da avaliação do valor bruto dessas esperas, visto que Tempo de Espera Adicional maior que zero já configura atraso da operação real em comparação com a programação que foi realizada e que é obtida a partir dos dados de GTFS.

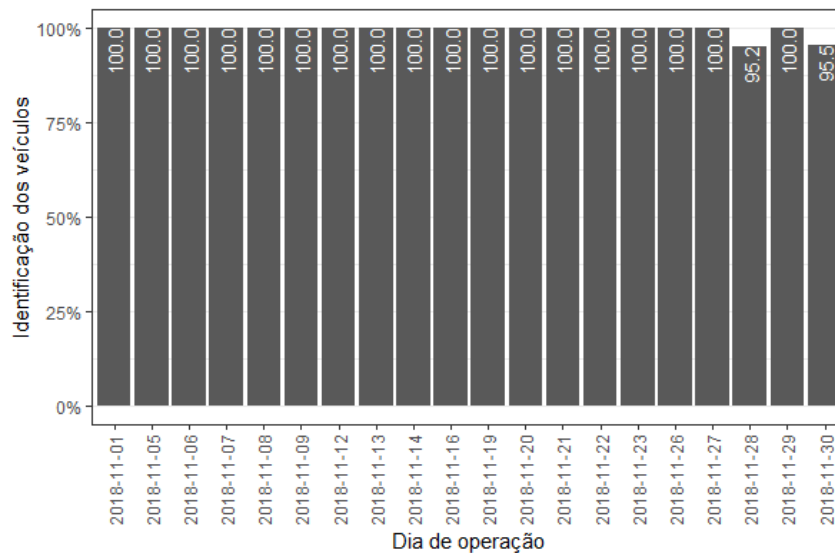
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir da aplicação dos métodos elucidados na seção anterior.

4.1 Resultados do pré-processamento dos dados de AVL

A etapa de filtragem dos dados de AVL da linha em análise 075 – Campus do Pici/Unifor da cidade de Fortaleza se seguiu como descrito no tópico 5.2.1.1. A partir da associação do dicionário de correspondência entre as identificações dos veículos para a linha 075 com os dados de AVL (*Id do Veículo*) e de Bilhetagem Eletrônica (*Prefixo do Carro*), obteve-se a seguinte taxa de identificação diária dos veículos dos dados de AVL operantes na linha em relação aos veículos que realizaram validações de Bilhetagem Eletrônica.

Gráfico 1 – Porcentagem diária de identificação dos veículos da operação nos dados de AVL.

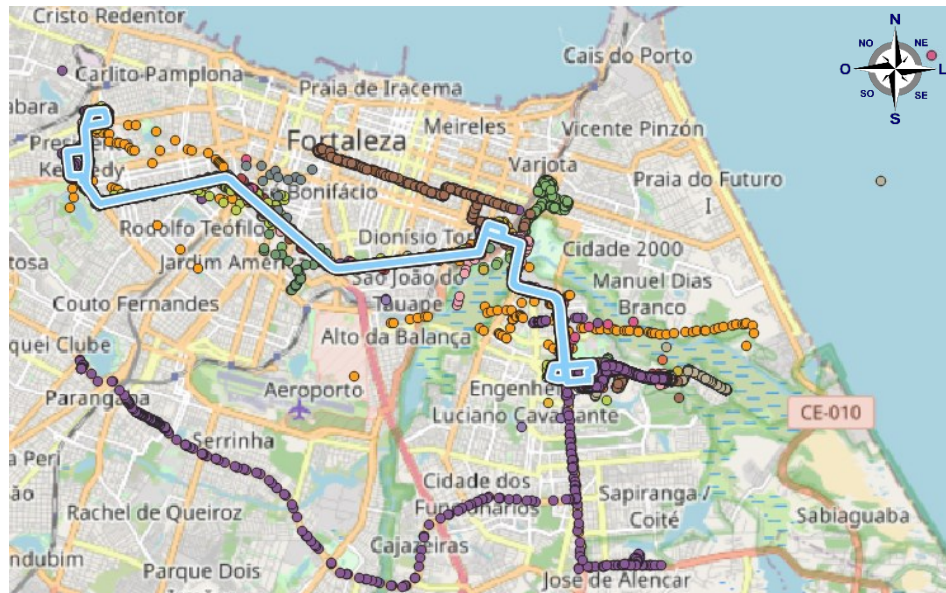


Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Era esperado que a correspondência não fosse perfeita entre o dicionário de associação dos veículos e os dados de AVL (Braga *et al.*, 2019). A maioria dos dias apresentaram uma cobertura de 100% na identificação dos veículos na operação, não tendo sido identificados apenas dois veículos, um em cada dia das operações dos dias 28 e 30 de novembro de 2018. Dessa forma, a linha tem uma cobertura de identificação dos pontos de GPS de 94,7% da frota nos 20 dias úteis considerados na análise.

Após a filtragem dos dados de AVL da linha, prosseguiu-se para o tratamento de falhas. Esta é uma importante etapa dentro da metodologia pois mitiga as chances de considerar nas análises viagens de veículos que também operaram em uma rota diferente durante um dia em que também operou na linha 075, por exemplo. A seguir, é mostrado o mapa da rota com os pontos de GPS imediatamente após a etapa de filtragem dos dados de AVL.

Figura 8 – Pontos de GPS sem tratamento sobre a forma da rota da linha 075.

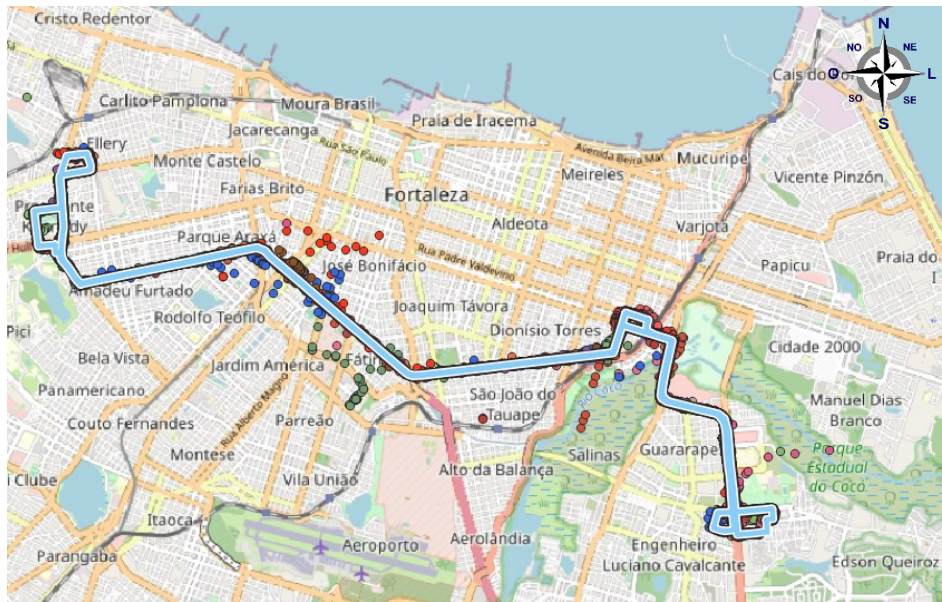


Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Cada cor no *plot* dos pontos de GPS representa um dia da operação. Percebe-se que existem alguns dias da operação em que os veículos atendem a mais de uma linha de ônibus. Também é notável uma grande nuvem de pontos próximos da extremidade leste da rota que se supõe se tratar de um local de estacionamento dos veículos. Além disso, pontos dentro do mar evidenciam os erros do GPS associados à imprecisão deste tipo de dispositivo. Para tratar estes casos de falhas aparentes, a primeira parte do método descrito no tópico 5.2.1.2 foi executada e obteve-se, assim, a seguinte nuvem de pontos de GPS.

Após a realização da primeira etapa de tratamento dos dados, foram excluídas principalmente viagens fora da rota da linha 075. Com isso, criou-se condições de definir os sentidos das viagens.

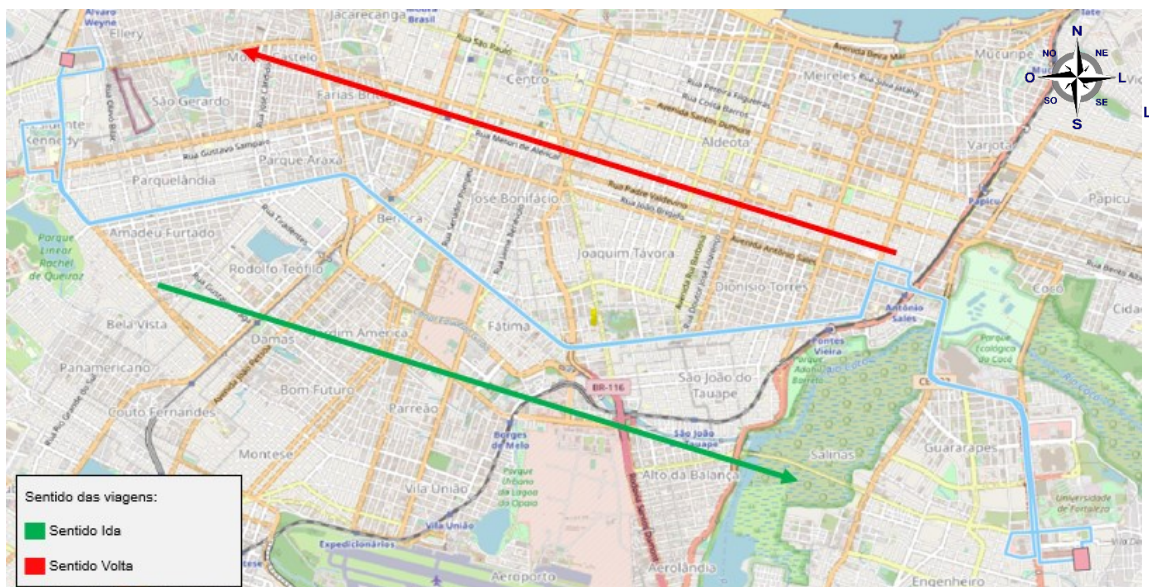
Figura 9 – Pontos de GPS após tratamento sobre a forma da rota da linha 075.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

A categorização do sentido das viagens em “ida” e “volta” é definida pelos dados de Bilhetagem Eletrônica. Avaliando concomitantemente as validações de Bilhetagem e os pontos de GPS dos dados de AVL ao longo da operação de um veículo em um dia, identificou-se que o sentido “ida” é definido para viagens que se iniciam na extremidade oeste e terminam na extremidade leste da rota e, portanto, as viagens de sentido “volta” ocorrem na direção contrária, ou seja, da extremidade leste para a oeste.

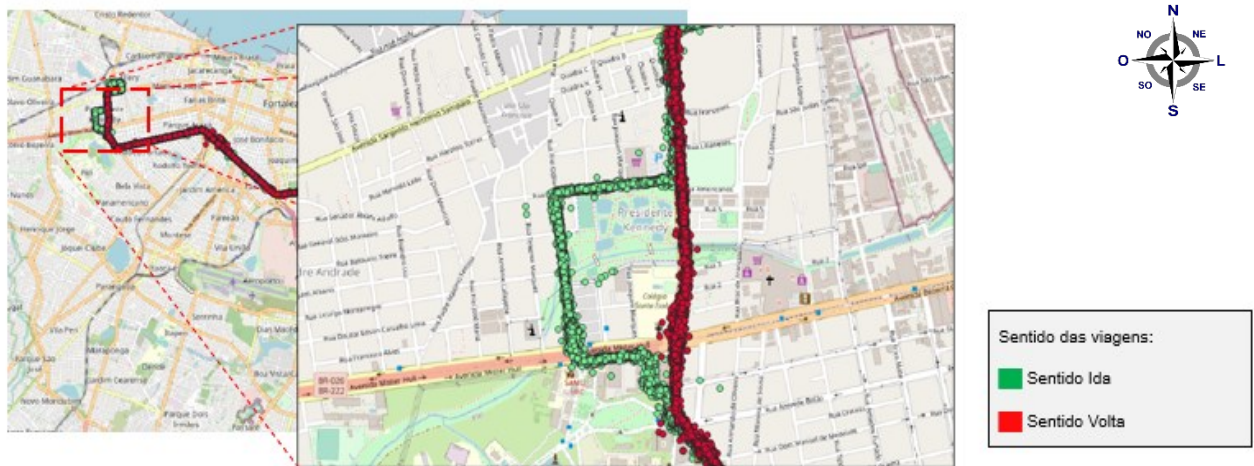
Figura 10 – Padronização do sentido das viagens pelos dados de Bilhetagem Eletrônica.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Aplicando o método de determinação do sentido das viagens descrito na seção 5.2.1.3, obteve-se uma coluna na tabela dos dados de AVL com a classificação do sentido das viagens para os pontos de GPS da linha. A seguir, é mostrado um trecho em que há uma separação das faixas dos dois sentidos da rota que permite uma visualização dessa classificação.

Figura 11 – Definição do sentido das viagens para os pontos de GPS dos dados de AVL.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Após a determinação do sentido das viagens, associou-se os pontos de GPS dos dados de AVL aos segmentos da rota definidos por trechos entre duas paradas consecutivas. Como discutido na seção 5.2.1.2, esta associação propiciará condições para a identificação de viagens que não marcam pontos de GPS ao longo de toda a extensão da rota e facilitará a remoção de pontos que não pertencem a nenhuma viagem, ou seja, casos que não foram possíveis tratar na etapa de tratamento por inspeção visual.

Figura 12 – Associação de pontos de GPS a segmentos entre paradas no sentido “volta”.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Os identificadores numéricos com uma escala maior se referem aos *Ids das Paradas* que, na imagem acima, pertencem à rota no sentido “volta” e são representadas por círculos vermelhos maiores. Já os identificadores numéricos em escala menor são os *Ids dos Segmentos* entre duas paradas consecutivas, convencionados de forma a serem iguais ao *Ids das Paradas* a jusante.

Com isso, tem-se a identificação dos pontos de GPS que estão em cada um dos trechos e, desta forma, as distâncias calculadas em relação à parada com o mesmo número de identificação sempre corresponderá a distâncias a serem percorridas e, portanto, cria-se condições de executar a metodologia de determinação do momento de passagem por cada uma das paradas.

Para os casos em que não existem, em uma dada viagem completa, pontos em algum dos trechos, é utilizado o momento de passagem da parada anterior e a velocidade média do trecho para determinar a passagem pela parada que se relaciona com o trecho sem pontos.

Adicionalmente, também foi atribuído aos segmentos especificados anteriormente um identificador sequencial que se inicia, para cada um dos sentidos, a partir do primeiro trecho entre a parada de referência de início da rota e a parada seguinte.

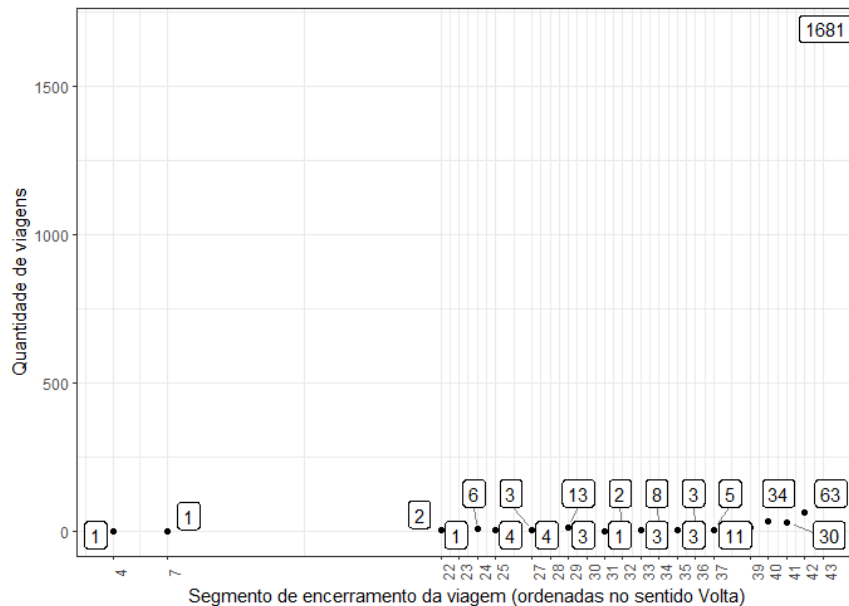
Figura 13 – Identificação sequencial dos segmentos entre paradas: início do sentido “volta”.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Um resultado direto do sequenciamento dos segmentos é a identificação de viagens que precisam ser corrigidas utilizando a velocidade média do trecho no dia da operação e de viagens que precisam ser removidas da análise devido à ausência de muitos pontos ao longo da rota para determinar as passagens por cada uma das paradas.

Gráfico 2 – Segmento de encerramento das viagens no sentido “volta”.



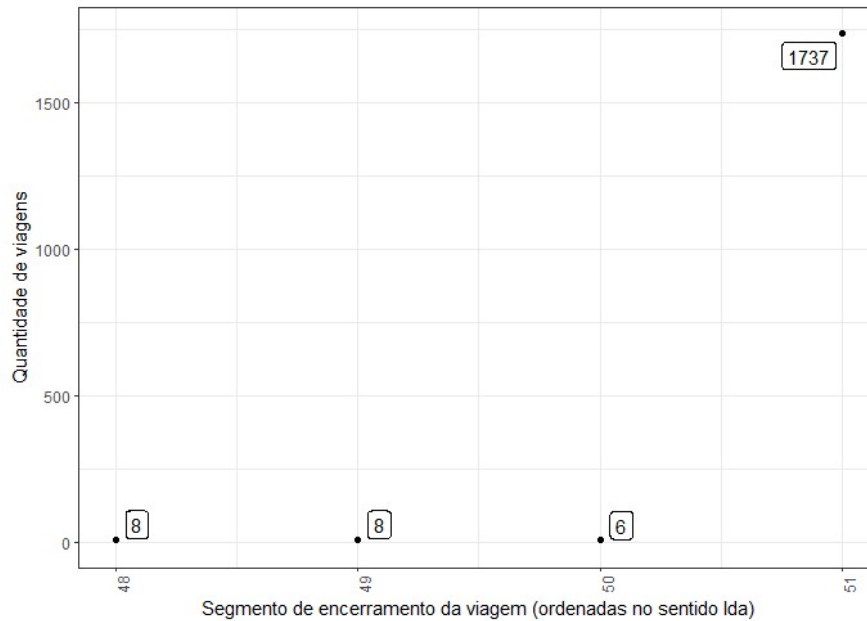
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

No gráfico apresentado acima, as duas viagens que tiveram as últimas marcações de pontos de GPS nos segmentos 4 e 7 foram removidas da análise por insuficiência de pontos necessários para determinar se os veículos que realizaram estas viagens realmente percorreram toda a rota. Além disso, percebe-se que a maioria das viagens finalizaram com marcação de pontos de GPS sobre o último segmento da rota no sentido “volta”, 43, indicando que correções adicionais sobre os momentos de passagem afetam apenas uma pequena parcela das viagens.

Para o sentido “ida”, os encerramentos das viagens se deram, de maneira geral, bem próximos da última parada da rota neste sentido, de forma as correções nos momentos de passagem foram realizadas em uma parcela ainda menor que no sentido “volta”.

Além da análise dos segmentos em que se encerraram as viagens, uma análise semelhante foi realizada para os segmentos onde elas se iniciaram. Estes resultados podem ser encontrados no Apêndice A.

Gráfico 3 – Segmento de encerramento das viagens no sentido “ida”.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

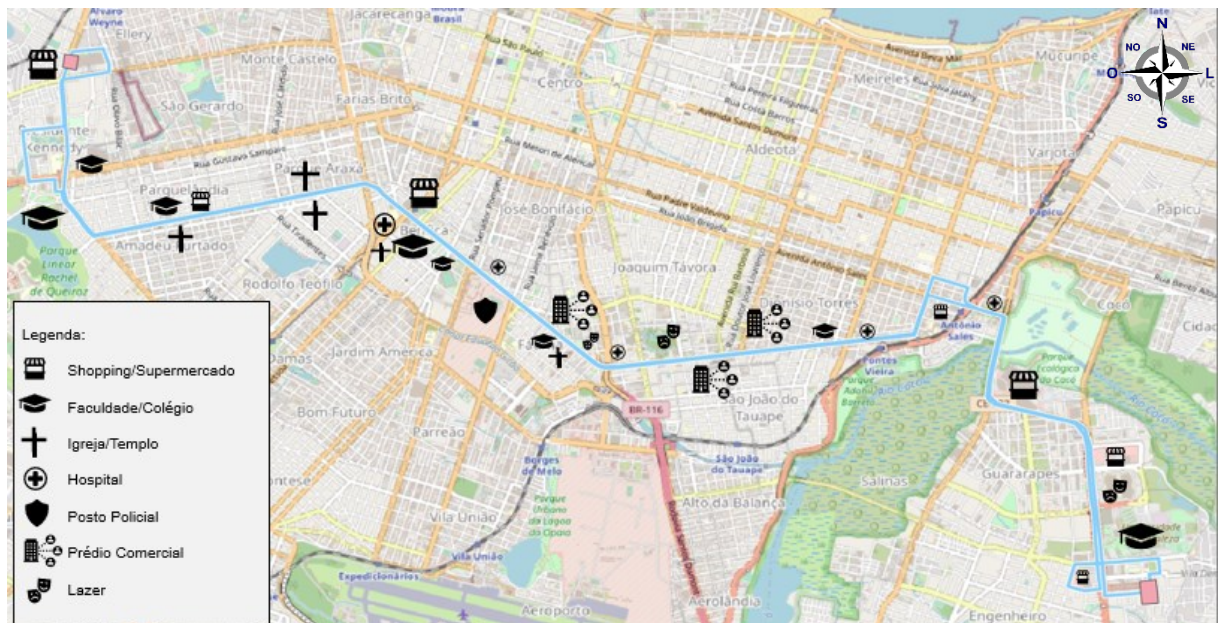
Com os pontos de GPS para ambos os sentidos tratados, prosseguiu-se para a determinação dos momentos de passagem pelas paradas de todas as viagens em ambos os sentidos de acordo com a metodologia descrita 5.2.1.4, que é baseada em interpolações lineares e velocidades nos segmentos definidos entre os trechos, onde as correções das viagens que não foram completadas nas proximidades das paradas de fim da rota se fizeram relevantes para reduzir o impacto de uma não passagem de um ônibus por determinada parada no valor do *headway* do veículo seguinte, por exemplo.

Feito o pré-processamento dos dados de AVL, prosseguiu-se para a caracterização da linha em estudo.

4.2 Caracterização da linha de transporte público em estudo

A linha “075 – Campus do Pici / Unifor” é uma importante linha de tráfego misto do sistema de transporte público de Fortaleza. Ela interliga importantes Polos Geradores de Viagens localizados em suas extremidades, além de possuir diversos outros ao longo de sua extensão. No mapa a seguir, são destacados alguns dos usos do solo ao longo desta linha. Os usos do solo apresentados no mapa foram obtidos a partir dos dados públicos do Open Street Map para o ano de 2018, mesmo ano dos dados de GPS, GTFS e Bilhetagem Eletrônica utilizados no presente estudo.

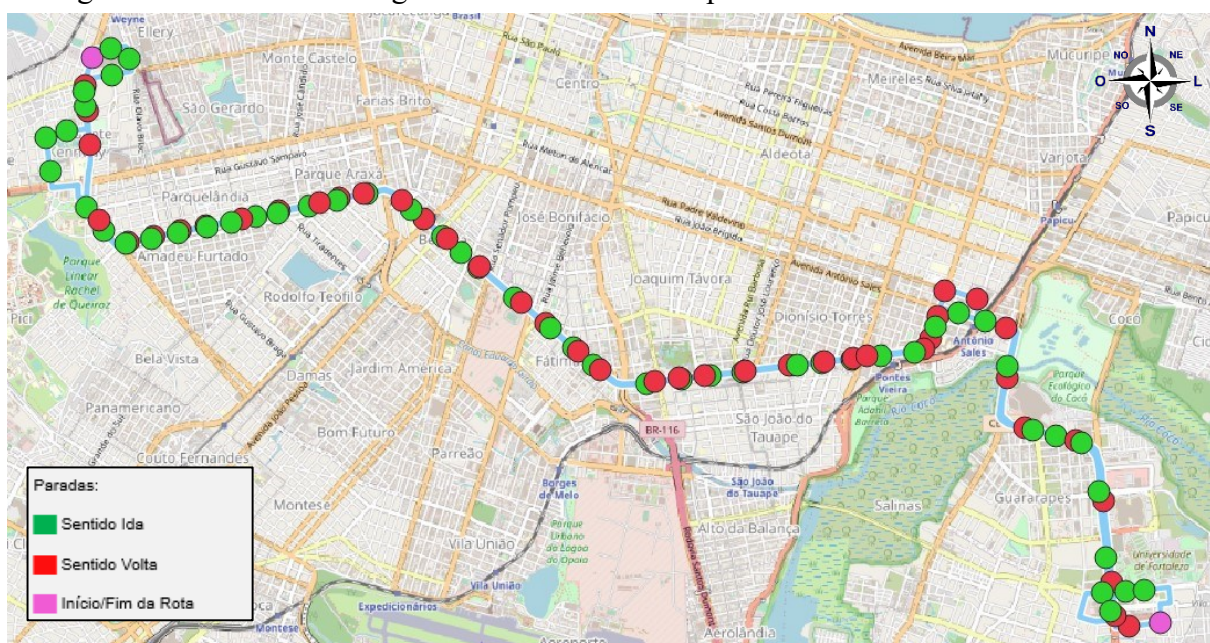
Figura 14 – Usos do solo ao longo da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no ano de 2018.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Do mapa, percebe-se um uso do solo mais adensado e diversificado no entorno da região central da linha, com muitos prédios comerciais, hospitais, colégios e universidades ao longo de sua extensão. Devido a estes fatores, espera-se uma variabilidade maior nos tempos de trajeto nestes trechos, além de tempos mais longos, devido a um possível efeito mais intenso do tráfego e dos embarques/desembarques nas paradas destas regiões.

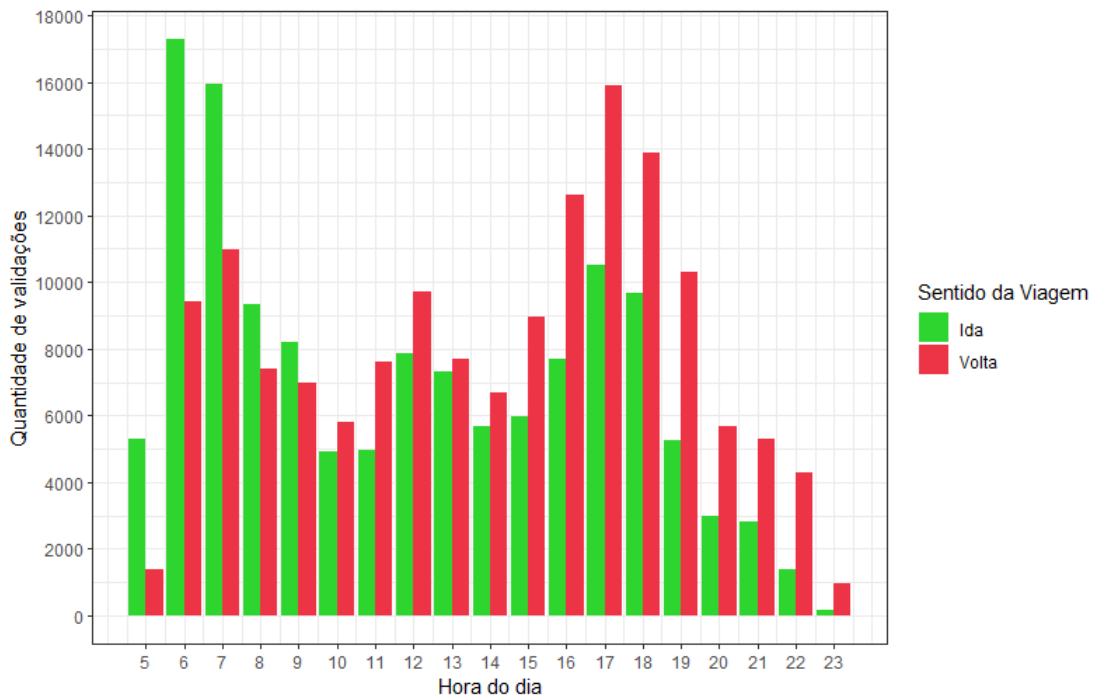
Figura 15 – Paradas ao longo da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no ano de 2018.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

A linha em análise no sentido “ida” possui 51 paradas ao longo dos seus 18 Km de comprimento trafegáveis, já o sentido “volta” possui 43 paradas em seus 15,6 Km de extensão, onde cada um dos sentidos contabiliza uma das paradas de início/fim da rota representadas no mapa. Nestas paradas, mensalmente embarcam e desembarcam milhares de passageiros, como mostra o gráfico a seguir.

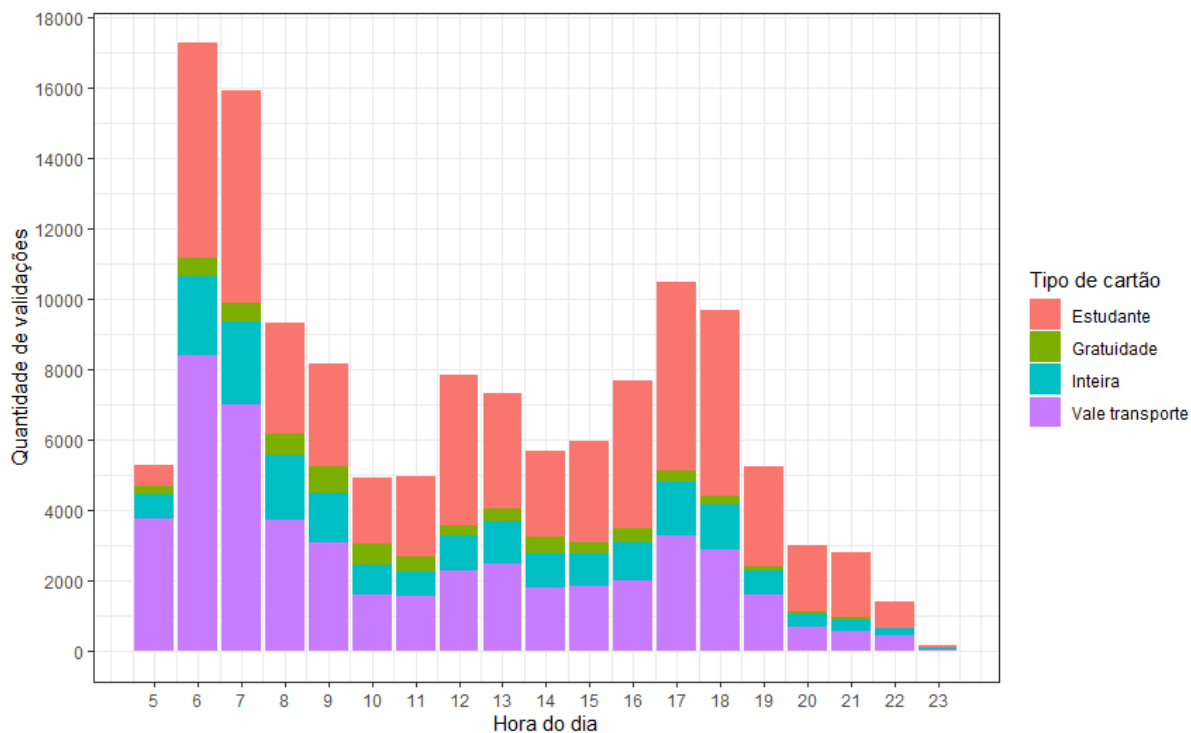
Gráfico 4 – Validações de bilhetes eletrônicos agregadas por hora e sentido da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

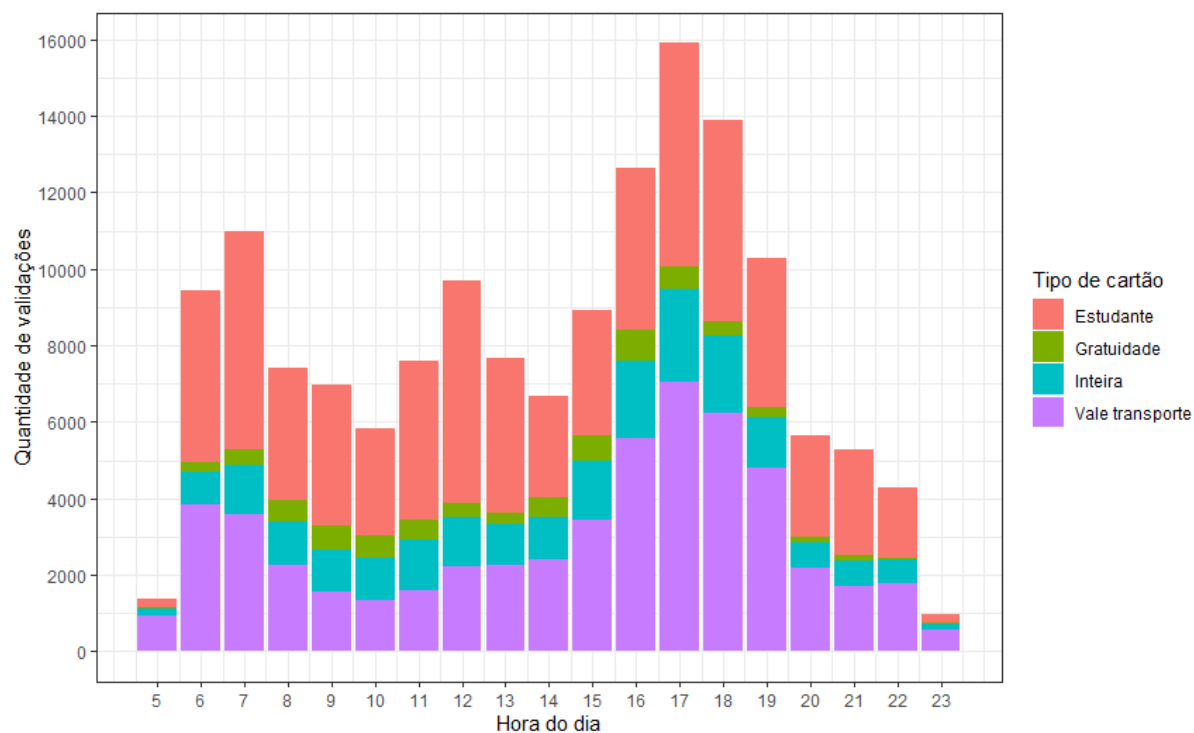
Do gráfico, nota-se que a linha 075 possui um volume maior de validações de bilhetes eletrônicos no sentido “ida” referentes ao período da manhã em comparação ao sentido oposto. Já no período da tarde, o sentido “volta” possui um volume superior ao do sentido contrário, de forma que se infere um possível movimento pendular mais intenso de passageiros em direção ao Centro da cidade de Fortaleza em virtude dos tipos cartões utilizados nas validações dos picos, compostos, principalmente, por cartões dos tipos “Estudante” e “Vale Transporte”, como mostram os gráficos a seguir. Considerando que os cartões do tipo “Vale Transporte” são utilizados principalmente por trabalhadores formais (Oliveira, 2019, p. 29), pode-se inferir que as motivações das viagens nestes possíveis movimentos pendulares são compostas, principalmente, por educação e trabalho.

Gráfico 5 – Validações de bilhetes eletrônicos agregadas por hora e tipo de cartão validado no sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

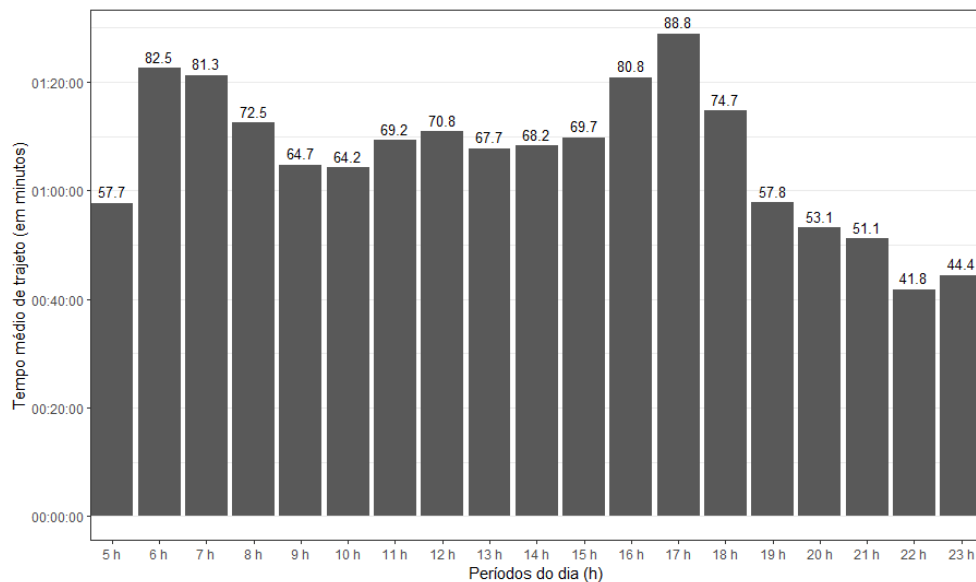
Gráfico 6 – Validações de bilhetes eletrônicos agregadas por hora e tipo de cartão validado no sentido “Volta” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

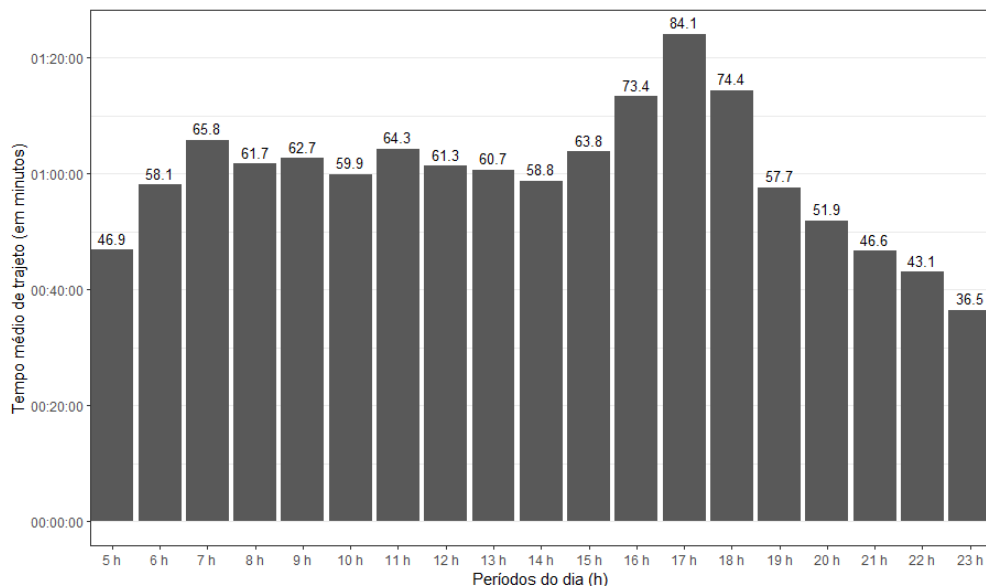
Em relação ao tempo de trajeto total, a linha 075 apresenta níveis médios semelhantes no horário de pico da noite, às 18 horas, como mostram os gráficos a seguir. Entretanto, há uma diferença considerável nos níveis de tempo médio de trajeto nas primeiras horas do dia, possivelmente devido a uma maior densidade veicular na rota em direção ao Centro da cidade, ou seja, no sentido “Ida” da linha 075.

Gráfico 7 – Tempo médio de trajeto agregado por hora no sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Gráfico 8 – Tempo médio de trajeto agregado por hora no sentido “Volta” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.

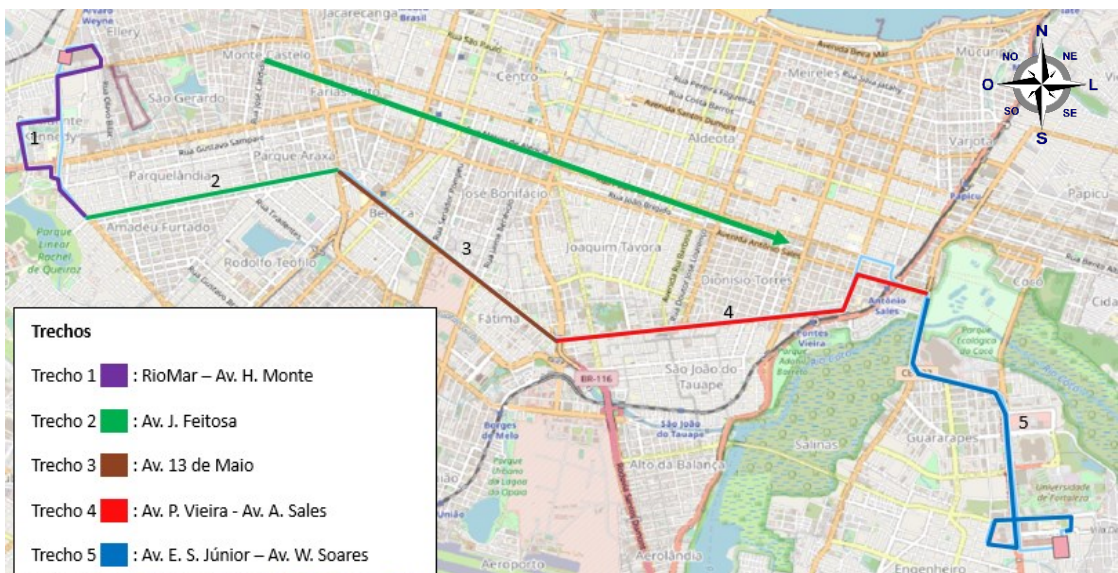


Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

4.3 Definição dos trechos, paradas e períodos para estudo da confiabilidade

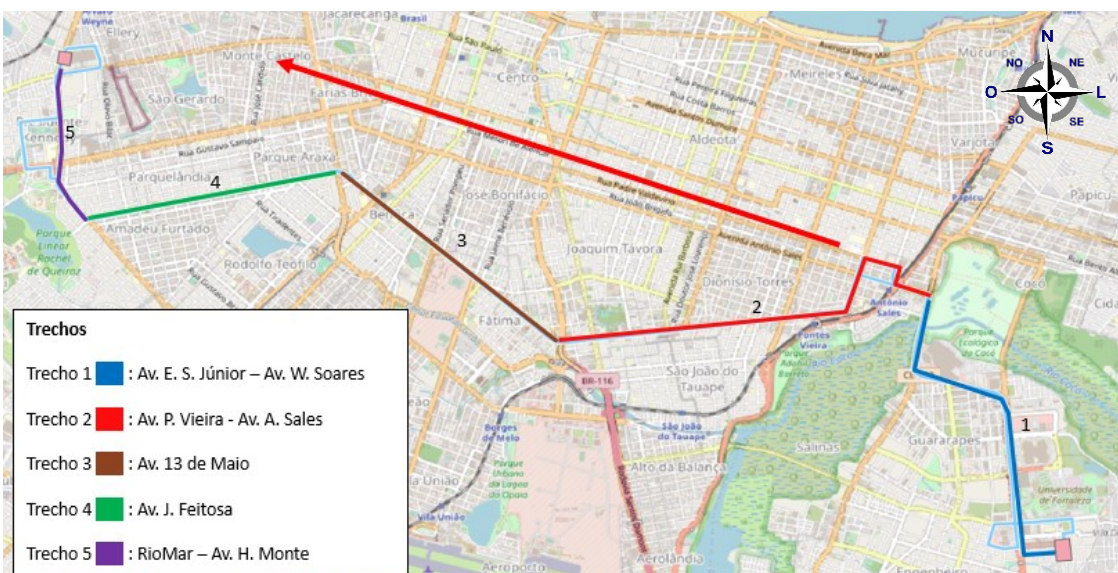
Com base na caracterização da linha “075 – Campus do Pici / Unifor” apresentada na seção anterior e nas recomendações de Margiotta *et al.* (2012) quanto a escolha de trechos com características semelhantes e comprimentos adequados para o estudo da confiabilidade, definiu-se os trechos e paradas em cada um dos sentidos e os períodos do dia para a realização das análises e cálculo dos indicadores. Inicialmente, são mostrados os trechos definidos e suas nomenclaturas nas figuras a seguir.

Figura 16 – Trechos do sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor”.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 17 – Trechos do sentido “Volta” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor”.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Quadro 5 – Quadro resumo dos trechos definidos para estudo da confiabilidade.

Sentido	Nome do Trecho	Sequência do Trecho
Ida	RioMar – Av. H. Monte	1
Ida	Av. J. Feitosa	2
Ida	Av. 13 de Maio	3
Ida	Av. P. Vieira – Av. A. Sales	4
Ida	Av. E. S. Júnior – Av. W. Soares	5
Volta	Av. E. S. Júnior – Av. W. Soares	1
Volta	Av. P. Vieira – Av. A. Sales	2
Volta	Av. 13 de Maio	3
Volta	Av. J. Feitosa	4
Volta	RioMar – Av. H. Monte	5

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

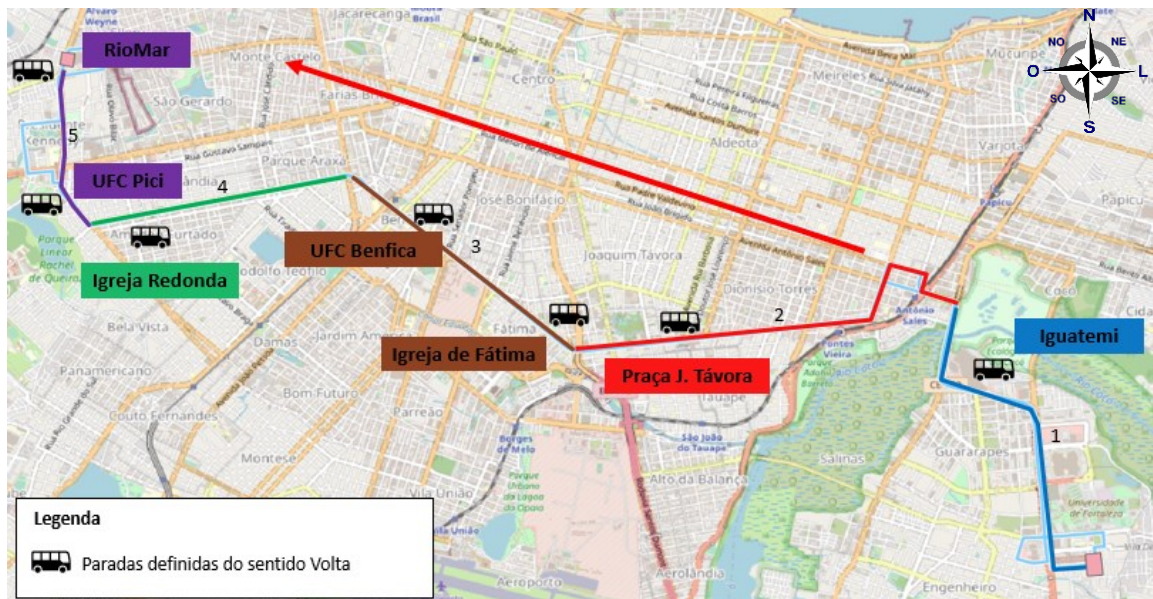
As enumerações dos trechos foram atribuídas conforme a sequência de trechos que os veículos percorreram a rota em relação aos sentidos da linha. Dessa forma, para comparar os resultados de trechos semelhantes, deve-se atentar para os nomes dos trechos nos gráficos apresentados nas próximas seções. Além disso, também foram definidas paradas em cada um dos trechos apresentados para o estudo do *headway*, principalmente o indicador de Tempo de Espera em Excesso, selecionadas conforme suas proximidades de zonas em que se esperam ocorrer muitos embarques e desembarques, além da equivalência de paradas em cada sentido, permitindo a comparação dos resultados obtidos. Paradas no final da rota de cada sentido também foram definidas para a análise dos indicadores de confiabilidade e são apresentadas a seguir.

Figura 18 – Parada selecionadas no sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor”.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 19 – Parada selecionadas no sentido “Volta” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor”.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Quadro 6 – Quadro resumo das paradas definidas para estudo da confiabilidade.

Sentido	Nome da Parada	Número do Trecho
Ida	UFC Pici	1
Ida	Igreja Redonda	2
Ida	UFC Benfica	3
Ida	Igreja de Fátima	3
Ida	Praça J. Távora	4
Ida	Iguatemi	5
Ida	Unifor	5
Volta	Iguatemi	1
Volta	Praça J. Távora	2
Volta	Igreja de Fátima	3
Volta	UFC Benfica	3
Volta	Igreja Redonda	4
Volta	UFC Pici	5
Volta	RioMar	5

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Com essas definições, paradas com nomes iguais, mas em sentidos diferentes, podem ter seus resultados comparados por terem usos do solo semelhantes em seu entorno. Além disso, também foram selecionadas duas paradas ao final da rota de cada um dos sentidos para avaliar o Tempo de Espera em Excesso para embarque nos veículos nestas regiões.

Em relação aos períodos de análise da confiabilidade, estes foram definidos com base nos gráficos apresentados na seção anterior referentes às validações de bilhetes eletrônicos e de tempo de trajeto agregados de forma horária. Com isso, o período do pico da tarde foi adotado para as análises por ser um pico mais intenso que o período de pico da manhã em relação aos tempos médios de trajeto em ambos os sentidos da linha. Ademais, também foi selecionado um período de entropico, com duração correspondente ao período de pico, para comparação dos efeitos do tráfego nos indicadores de confiabilidade.

Quadro 7 – Quadro resumo dos períodos definidos para estudo da confiabilidade.

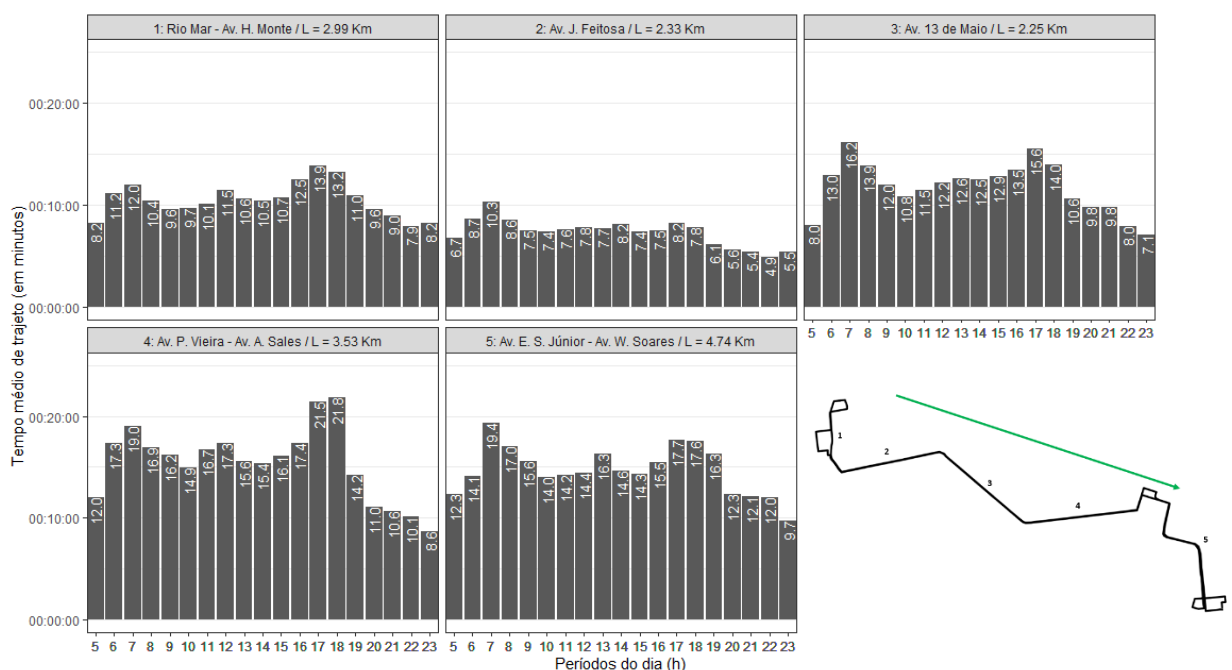
Período	Faixa Horária
Pico	16:00 às 19:00
Entrepico	9:00 às 12:00

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

4.4 Análise do Tempo de Trajeto, Headway e suas distribuições

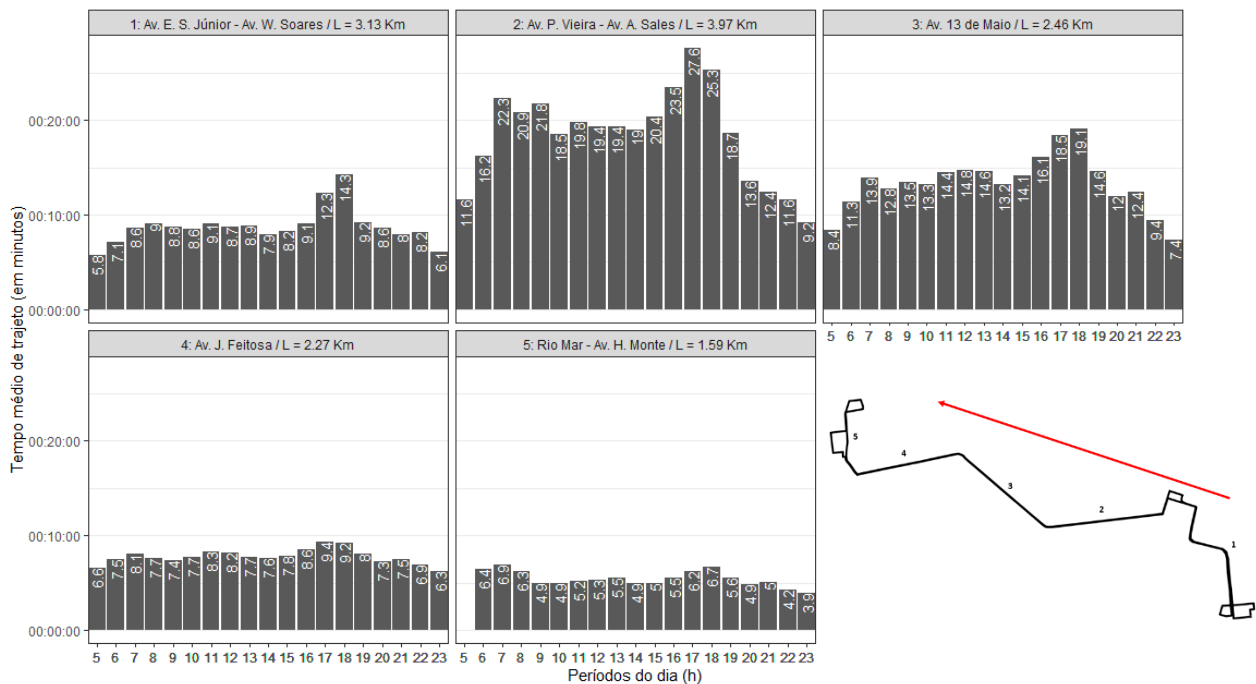
Inicialmente, para avaliar a intensidade do Tempo de Trajeto nos trechos ao longo do dia, representou-se o Tempo Médio de Trajeto agregado de forma horária para cada um dos sentidos e trechos.

Gráfico 9 – Tempo médio de trajeto agregado por hora no sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Gráfico 10 – Tempo médio de trajeto agregado por hora no sentido “Volta” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.

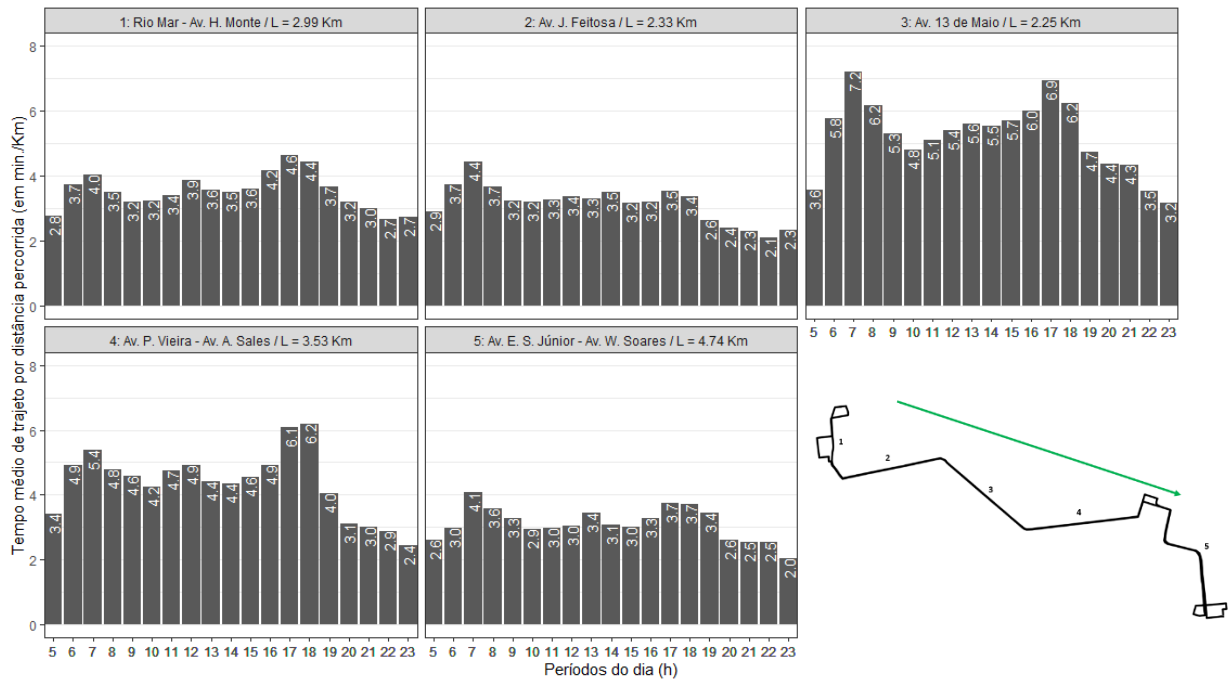


Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Dos gráficos, percebem-se níveis maiores na média do tempo de trajeto durante todo o dia para os trechos “Av. P. Vieira – Av. A. Sales” e “Av. 13 de Maio”, em ambos os sentidos da linha. Estes trechos possuem um uso do solo bastante adensado e misto em comparação com os demais trechos, de forma que, além de níveis maiores de tempo de trajeto, também apresentam uma grande amplitude na média ao longo do dia. Além disso, vale destacar os níveis elevados na média do tempo de trajeto no trecho “Av. E. S. Júnior – Av. W. Soares” no sentido “Ida”, possivelmente relacionados com o movimento pendular mais intenso em direção ao centro da cidade, observado a partir das validações de bilhetes eletrônicos, e os baixos níveis do tempo de trajeto nos trechos “Av. J. Feitosa” e “Rio Mar – Av. H. Monte”.

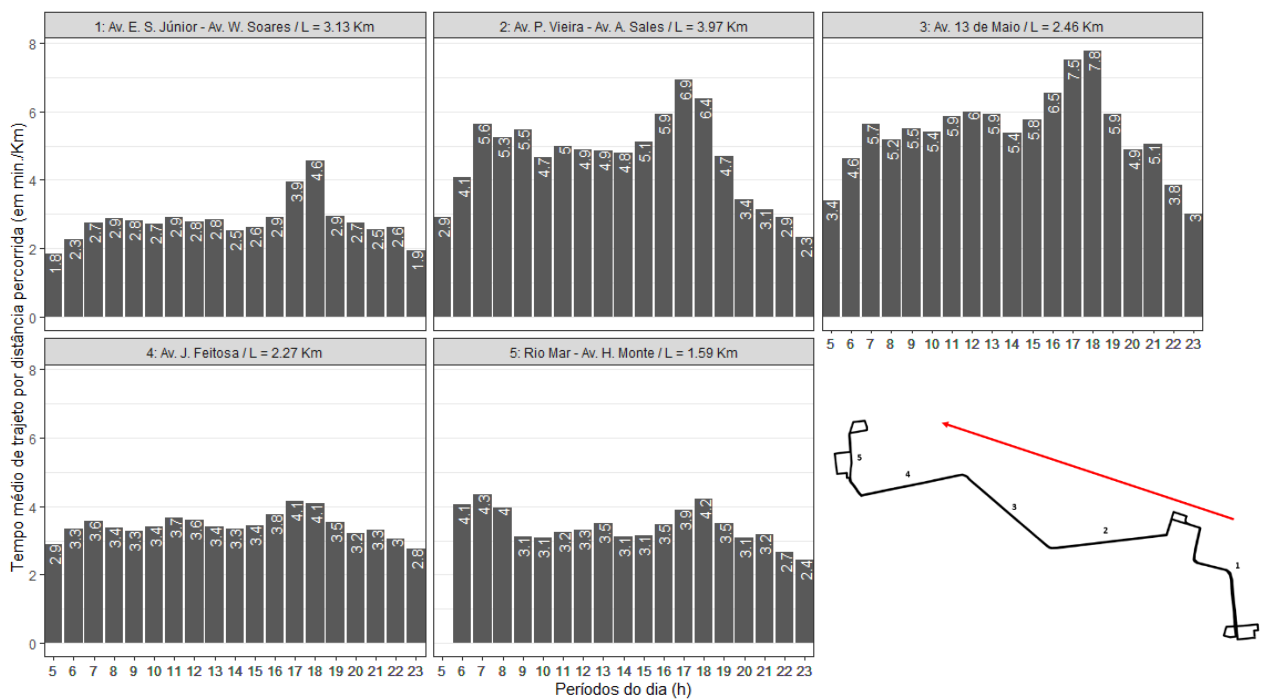
É notável que trechos com nomes correspondentes em relação aos sentidos da linha possuem comprimentos diferentes. Para tornar possível a comparação dos trechos correspondentes e posteriormente analisar as distribuições do tempo de trajeto nestes trechos para os horários de pico e entropico definidos, obteve-se uma métrica descrita por Margiotta *et al.* (2012) como taxa de viagem, que, no contexto deste trabalho, representa o tempo de trajeto por distância percorrida. Os gráficos da taxa de viagem agregada de forma horária para ambos os sentidos são apresentados a seguir, explicitando, novamente, os altos níveis de tempo de trajeto nos trechos “Av. P. Vieira – Av. A. Sales” e “Av. 13 de Maio” e a diferença entre sentidos.

Gráfico 11 – Tempo médio de trajeto por distância percorrida agregado por hora no sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

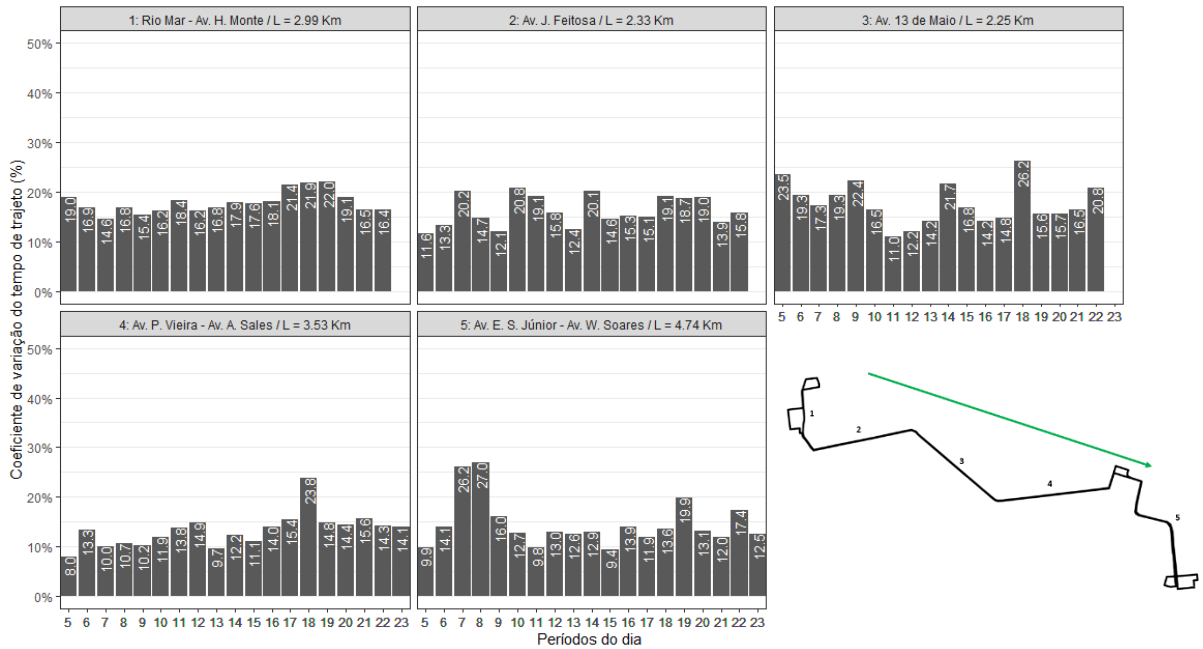
Gráfico 12 – Tempo médio de trajeto por distância percorrida agregado por hora no sentido “Volta” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

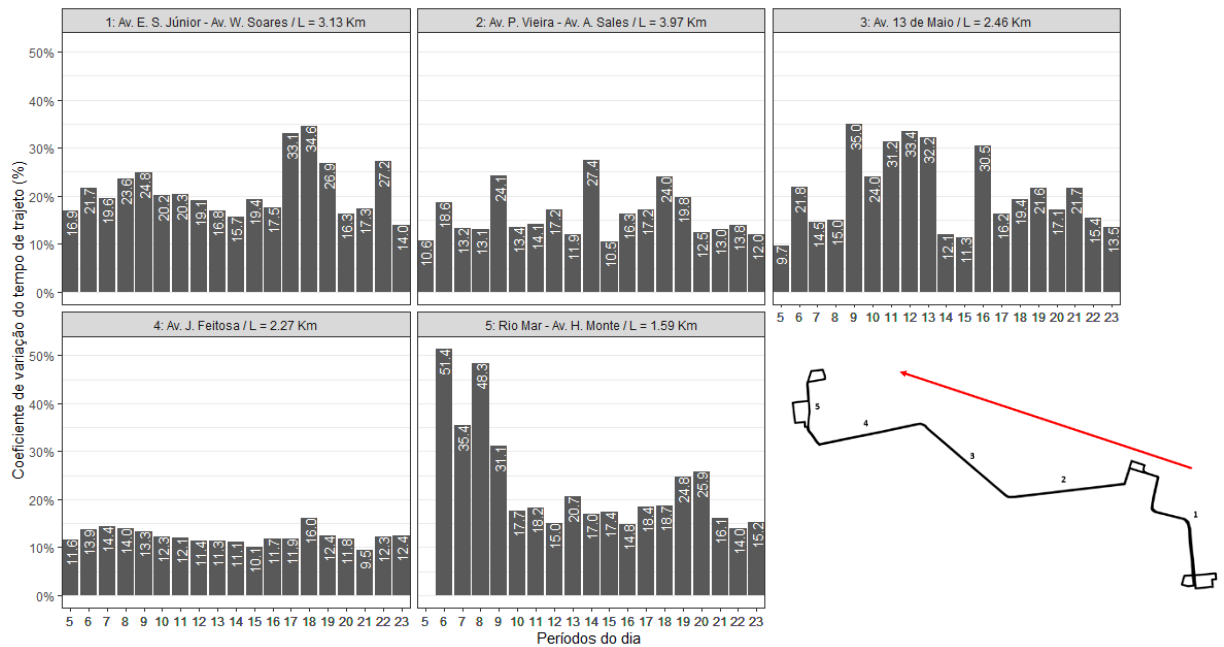
Na avaliação da variabilidade nestes trechos de forma horária para o dia todo, analisou-se os coeficientes de variação do tempo de trajeto, representados nos gráficos a seguir.

Gráfico 13 – Coeficiente de variação do tempo de trajeto agregado por hora no sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Gráfico 14 – Coeficiente de variação do tempo de trajeto agregado por hora no sentido “Volta” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

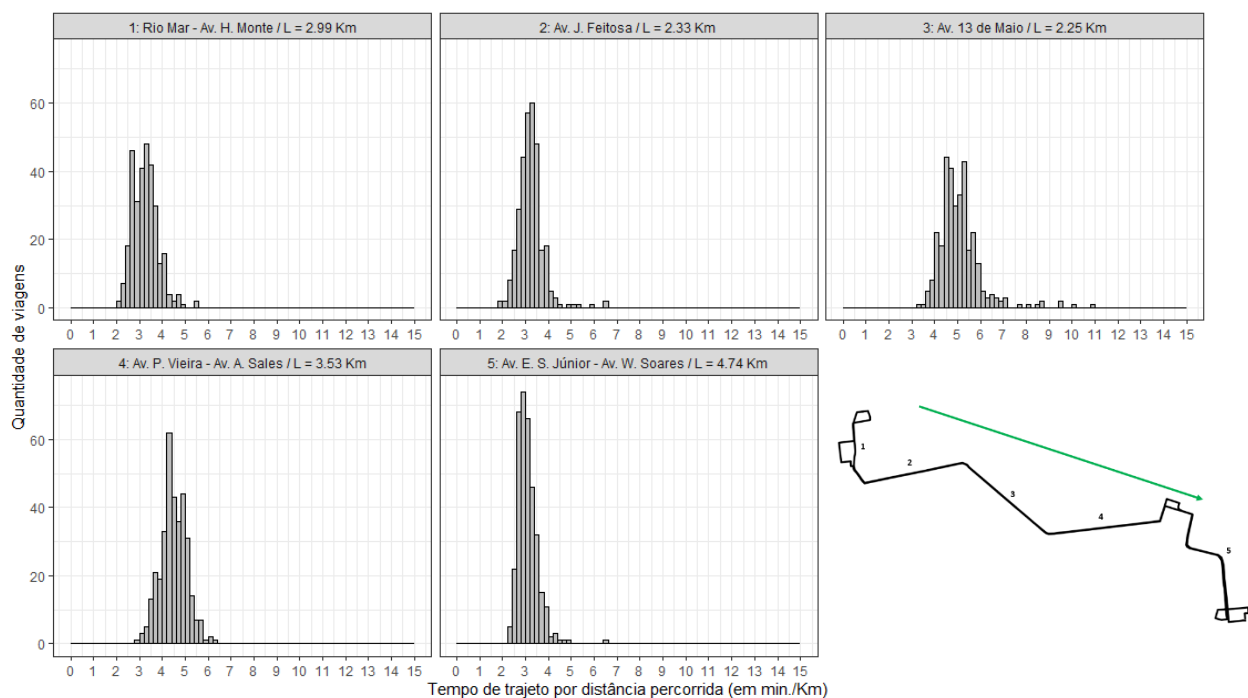
Pela análise dos gráficos, verificam-se altos valores de coeficientes de variação em trechos que também possuem níveis altos de tempo de trajeto, como os trechos “Av. P. Vieira – Av. A. Sales” e “Av. 13 de Maio”, o que pode ser um indicativo que estes trechos enfrentam problemas de confiabilidade em relação aos tempos de trajeto.

Adicionalmente, o trecho “Rio Mar – Av. H. Monte” apresentou os valores mais altos de coeficiente de variação no período da manhã no sentido “volta”, porém, por se tratar do trecho mais curto e revelar os menores níveis de tempo de trajeto, não se espera que este trecho apresente problemas quanto a confiabilidade do tempo de trajeto. Ressalta-se, ainda, um indicativo de alta confiabilidade do trecho “Av. J. Feitosa”, principalmente no sentido “volta”, devido a manutenção de baixos coeficientes de variação ao longo de todo o dia.

Para além das análises de todo o período diário de operações, agregado de forma horária por médias e coeficientes de variação em relação aos tempos de trajeto, analisou-se também as distribuições da taxa de viagem nos trechos durante os períodos de entropico e pico definidos pelos horários das 9:00 às 12:00 e 16:00 às 19:00, respectivamente.

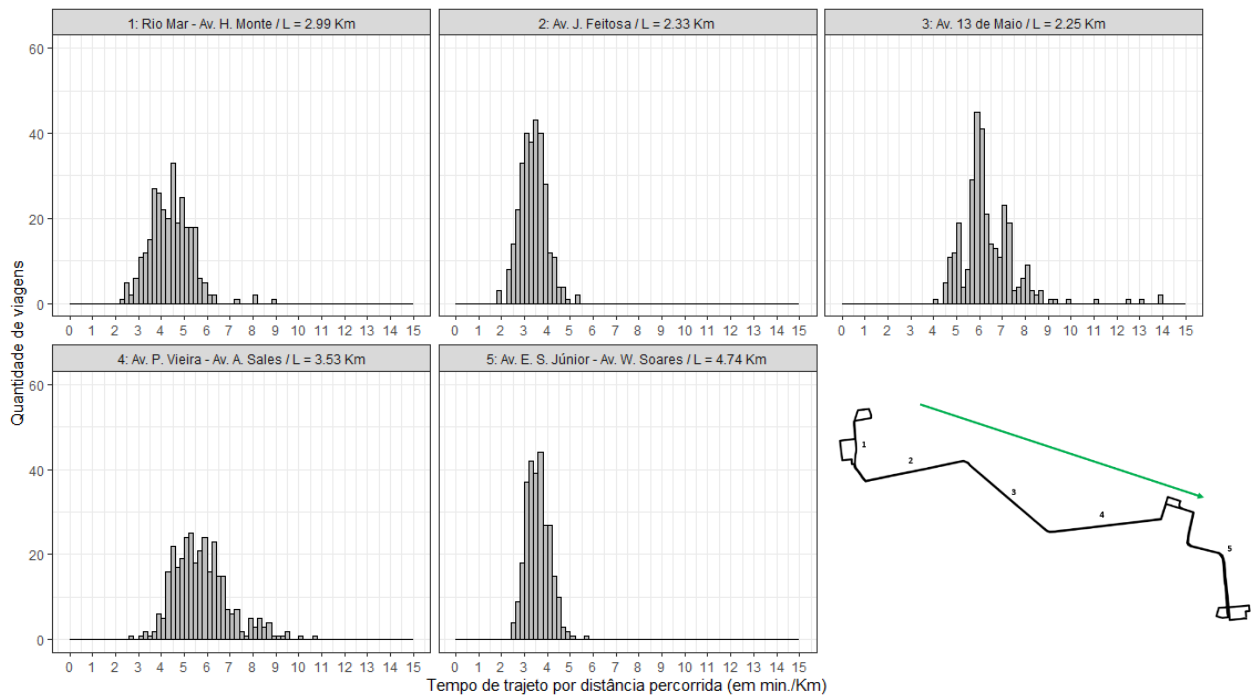
Inicialmente, apresenta-se nos gráficos a seguir as distribuições da taxa de viagem para os períodos de entropico e pico, respectivamente, do sentido “Ida” com intervalos de 0.2 minutos/Km.

Gráfico 15 – Distribuição da taxa de viagem no período de entropico (9:00 às 12:00) do sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Gráfico 16 – Distribuição da taxa de viagem no período de pico (16:00 às 18:00) do sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

De maneira geral, as distribuições da taxa de viagem no período de pico sofreram um aumento na mediana quando comparados ao período de entrepico, como esperado, devido, principalmente, à influência do tráfego. Entretanto, alguns trechos apresentaram mudanças na forma da distribuição, como os trechos “Rio Mar – Av. H. Monte”, “Av. 13 de Maio” e “Av. P. Vieira – Av. A. Sales”, que se tornaram mais achatadas, dando indícios de problemas de confiabilidade quanto ao tempo de trajeto nestes trechos. A tabela a seguir mostra as medianas da taxa de viagem e seus respectivos aumentos em comparação ao período de entrepico e pico.

Tabela 1 – Medianas da taxa de viagem por trecho nos períodos de entrepico e pico do sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.

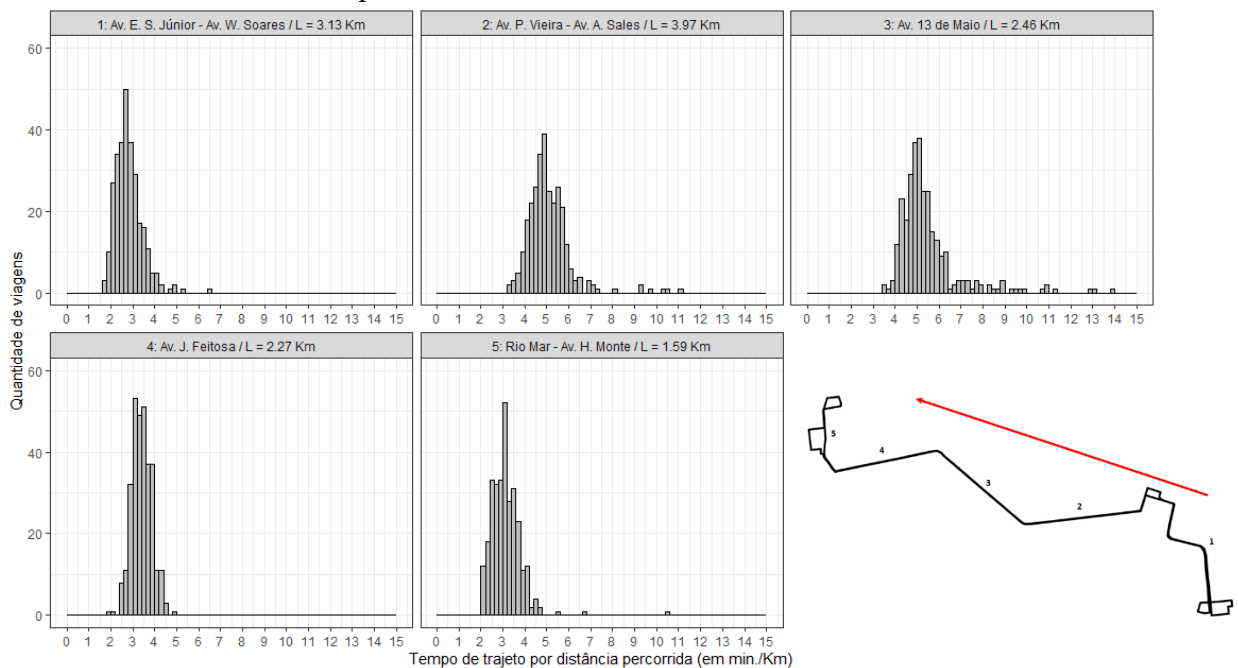
Nome do Trecho	Mediana da taxa de viagem no entrepico (min./Km)	Mediana da taxa de viagem no pico (min./Km)	Aumento (%)
Rio Mar – Av. H. Monte	3,32	4,41	32,8
Av. J. Feitosa	3,20	3,33	4,1
Av. 13 de Maio	4,96	6,11	23,2
Av. P. Vieira - Av. A. Sales	4,45	5,61	26,1

Av. E. S. Júnior - Av. W. Soares	3,01	3,55	17,9
----------------------------------	------	------	------

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

No sentido “volta”, também se observou achatamentos nas distribuições mencionadas anteriormente, com destaque para aumentos expressivos nas caudas.

Gráfico 17 – Distribuição da taxa de viagem no período de entropico (9:00 às 12:00) do sentido “Volta” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.



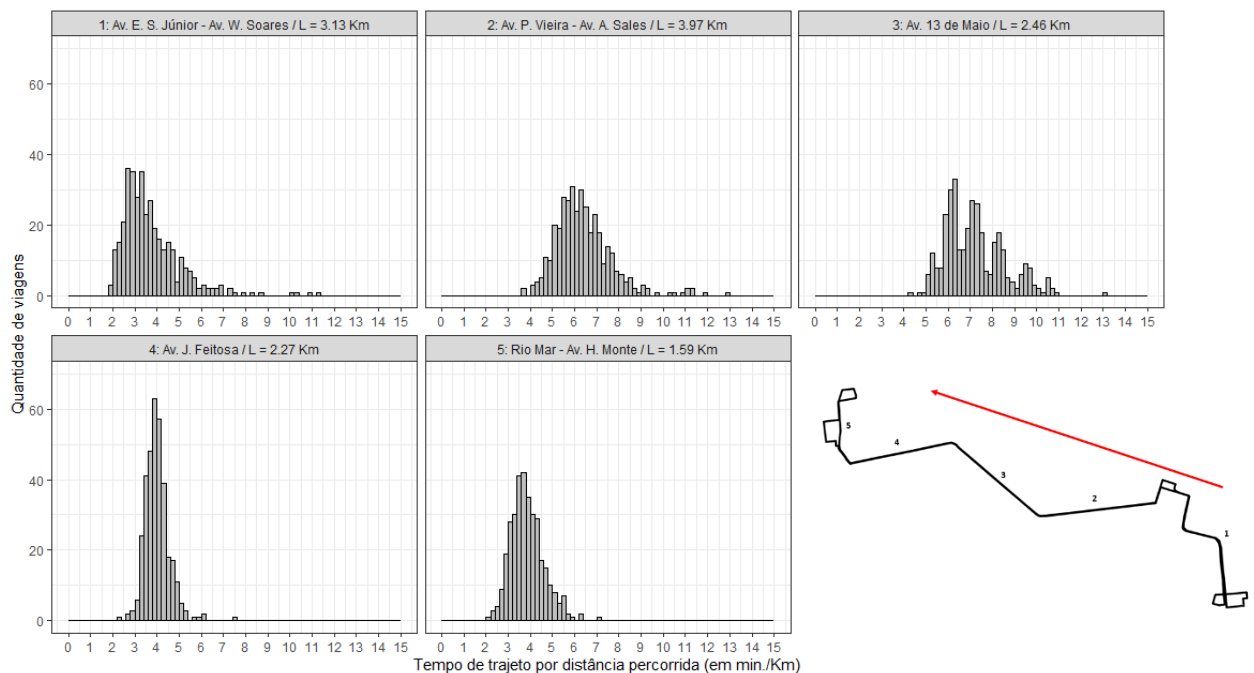
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

No sentido “volta”, também se observaram achatamentos e aumentos nas medianas das distribuições mencionadas anteriormente, com destaque para aumentos expressivos nas caudas, principalmente no trecho “Av. 13 de Maio”.

Quando isso acontece, espera-se que estejam atuando fortes efeitos do tráfego ou de eventos que estejam obstruindo ou reduzindo a passagem de veículos pelas vias, pois aumentam-se a quantidade de viagens que passam a desempenhar velocidades muito baixas nestes trechos.

Nesta perspectiva, percebe-se que, apesar de que a mediana do trecho “Av. E. S. Júnior – Av. W. Soares” não tenha sofrido aumentos absolutos muito altos, indo de 2,73 min./Km para 3,40 min./Km, um aumento expressivo na cauda indica que os passageiros possivelmente experienciaram condições de trafegabilidade piores com mais frequência, o que configura uma redução na confiabilidade do trecho no período de pico no sentido “Volta”.

Gráfico 18 – Distribuição da taxa de viagem no período de pico (16:00 às 19:00) do sentido “Volta” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Os resultados apresentados a seguir demonstram que, em relação ao sentido “Ida”, o sentido “Volta” apresentou aumentos percentuais e absolutos mais expressivos em trechos com altos níveis de tempo de trajeto, como “Av. P. Vieira – Av. A. Sales” e “Av. 13 de Maio”, um indicativo de que estes trechos, no sentido “Volta”, tendem a ter uma experiência de viagem pior que o sentido “Ida”, a depender da percepção dos usuários quanto aos tempos de trajeto (Margiotta *et al.*, 2012, p. 61).

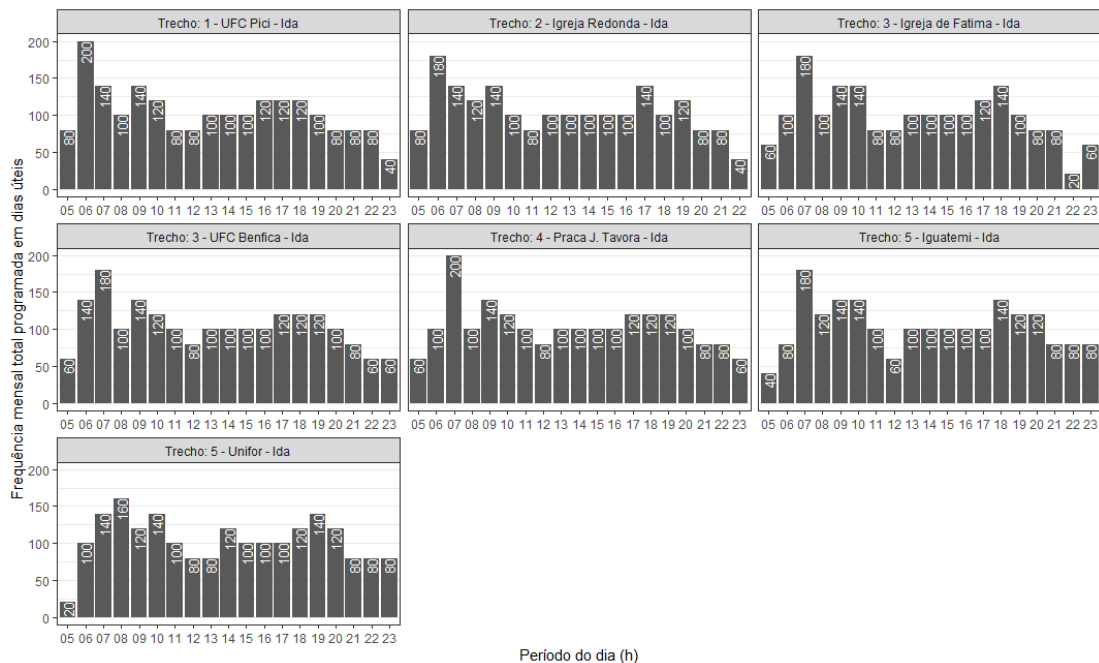
Tabela 2 – Medianas da taxa de viagem por trecho nos períodos de entropico e pico do sentido “Volta” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.

Nome do Trecho	Mediana da taxa de viagem no entropico (min./Km)	Mediana da taxa de viagem no pico (min./Km)	Aumento (%)
Av. E. S. Júnior - Av. W. Soares	2,73	3,40	24,5
Av. P. Vieira - Av. A. Sales	4,93	6,24	26,6
Av. 13 de Maio	5,13	7,06	37,6
Av. J. Feitosa	3,39	3,96	16,8
Rio Mar – Av. H. Monte	3,08	3,76	22,08

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Em relação aos *headways*, inicialmente analisou-se a frequência mensal de passagens agregadas de forma horária em cada uma das paradas definidas anteriormente, em ambos os sentidos da linha, confrontando-se a operação programada obtida a partir dos dados de GTFS e a operação realizada, capturada pelos dispositivos de GPS. Os resultados obtidos para o sentido “Ida” são mostrados a seguir.

Gráfico 19 – Frequência de passagens programadas no sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.



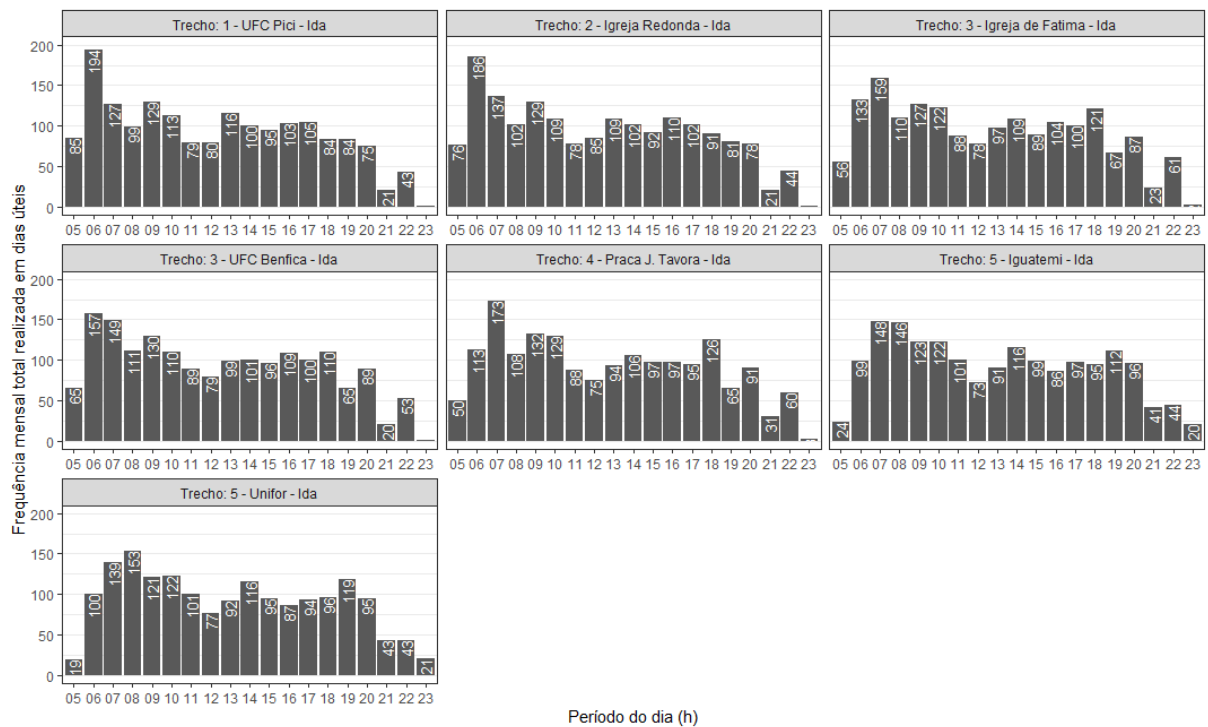
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Para realizar a agregação horária, foram consideradas as passagens pelas paradas dentro de cada intervalo horário definido ao longo do dia. Por exemplo, para o horário das 6h, foram consideradas as passagens das 6:00:00 até as 6:59:59.

Percebe-se pelo gráfico de frequência mensal horária que a programação das passagens pelas paradas pode sofrer variações de *headway* ao longo do dia. De fato, isso faz sentido do ponto de vista do planejamento devido às flutuações na demanda por transporte público durante o dia.

Além disso, também podem ser observadas variações nas programações nos períodos de entropico e pico definidos para as análises dos indicadores deste estudo, de forma que um efeito combinado da variabilidade natural dos *headways* devido ao tráfego, por exemplo, e da programação de *headways* não uniformes nestes períodos estão embutidos nos resultados obtidos para a operação da linha em análise.

Gráfico 20 – Frequência de passagens realizadas no sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.



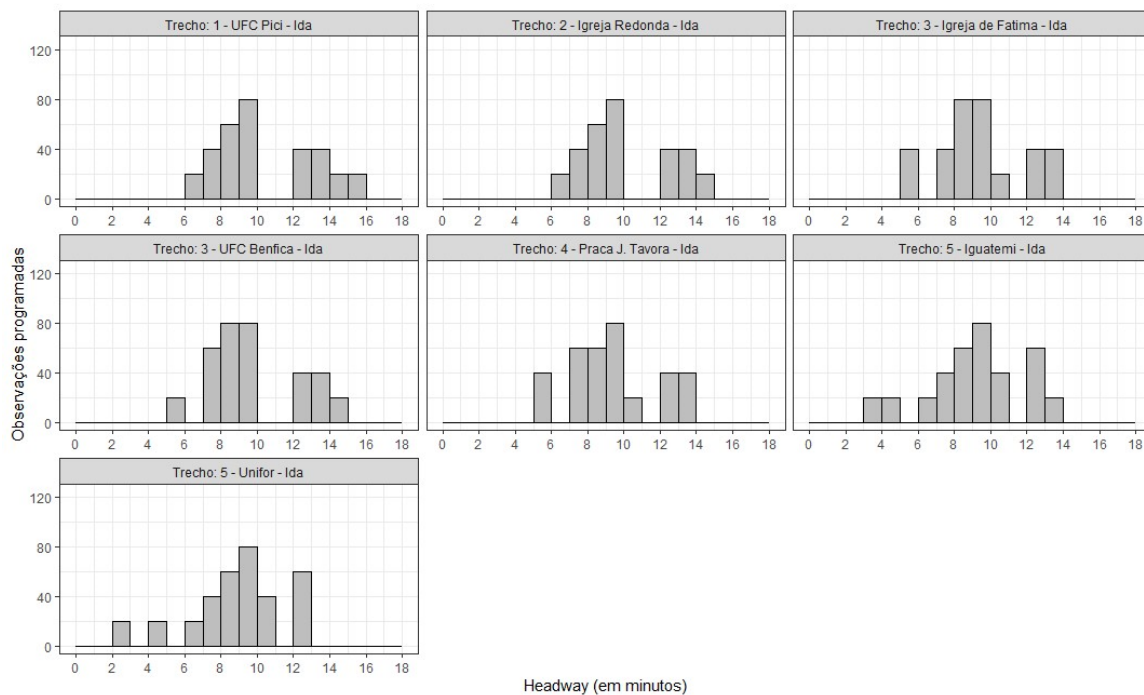
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Dos gráficos, observa-se uma maior proximidade da frequência programada com a frequência efetiva nos horários do pico e fora do pico durante o dia. Já na operação ocorrida a partir das 20h, nota-se um maior distanciamento da operação programada, possivelmente devido a reduções drásticas na demanda (Gráfico 5), acompanhada de reduções na oferta de transporte público para viagens em direção ao Centro, haja visto que para o sentido “Volta” há uma maior conformidade na operação noturna em relação à programação desta linha (Apêndice A).

No que tange às distribuições de *headway* nos períodos de análise definidos, a seguir são apresentados e discutidos os gráficos das distribuições da operação programada e realizada, respectivamente, para as paradas selecionadas do sentido “Ida” no período de entropico da linha em análise.

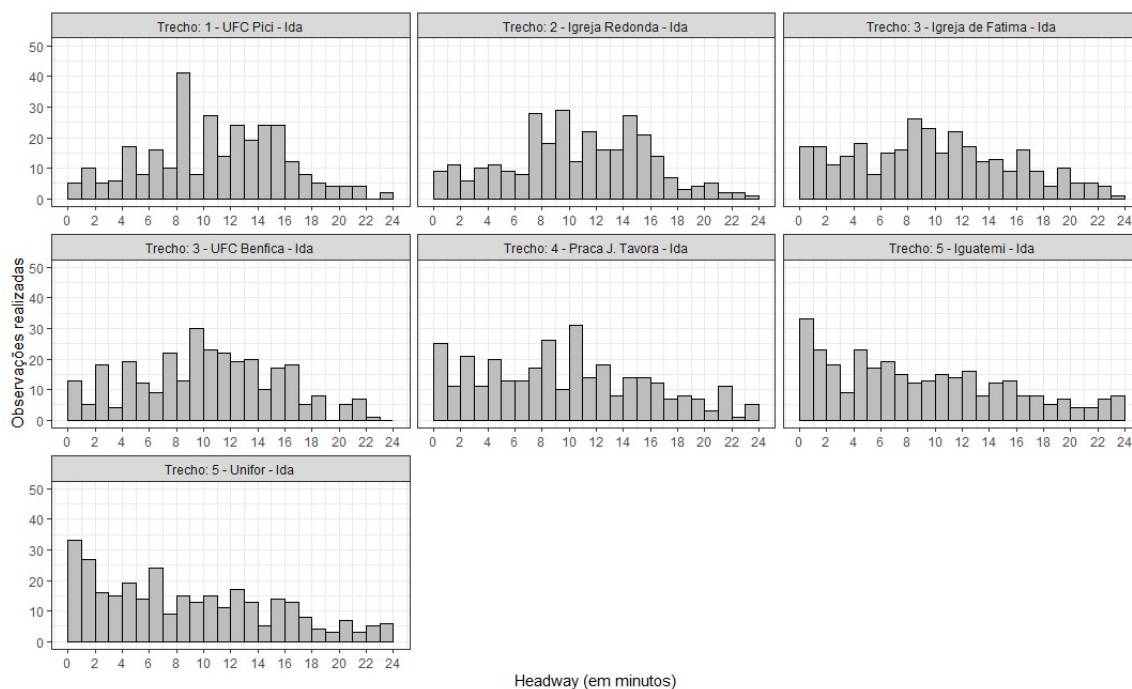
A partir do gráfico da distribuição de *headway* programado, evidencia-se que a programação de frequência de passagens no período de entropico não é uniforme. Além disso, verifica-se que é projetada uma frequência maior de passagens para as paradas selecionadas que pertencem aos trechos finais da linha no sentido “Ida” no entropico. Todavia, a partir do gráfico de *headway* efetivo, percebe-se que houve um misto de *headways* muito grandes e muito pequenos, o que pode indicar problemas de confiabilidade quanto ao *headway* nestas paradas.

Gráfico 21 – Distribuição do *headway* programado no período de entropico para as paradas selecionadas do sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

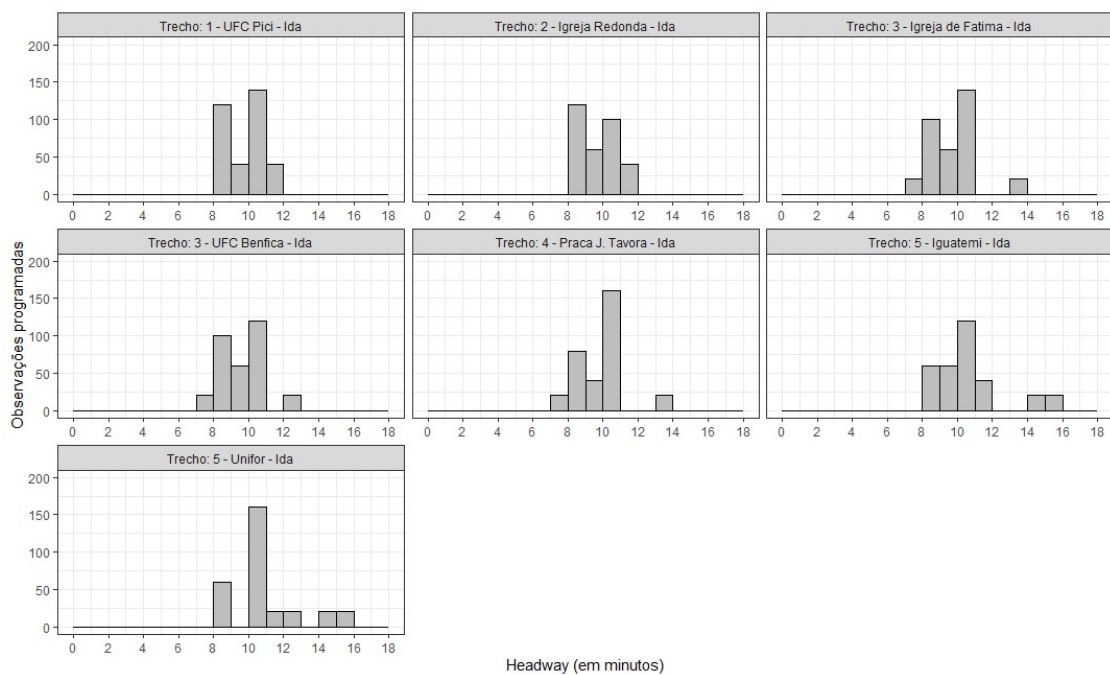
Gráfico 22 – Distribuição do *headway* efetivo no período de entropico para as paradas selecionadas do sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

No que tange ao período de pico para as paradas do sentido “Ida”, há uma programação com *headways* um pouco maiores que no entropico, mas com uma dispersão menor. Entretanto, detecta-se que, a partir das paradas do Trecho 3 (“Av. 13 de Maio”), há uma possível formação de pelotões de veículos devido ao aumento expressivo de *headways* curtos na distribuição de *headway* efetivo no pico, situação que não é observada de forma intensa no período de entropico. Os resultados para o período de pico são mostrados nas figuras a seguir.

Gráfico 23 – Distribuição do *headway* programado no período de pico para as paradas selecionadas do sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.

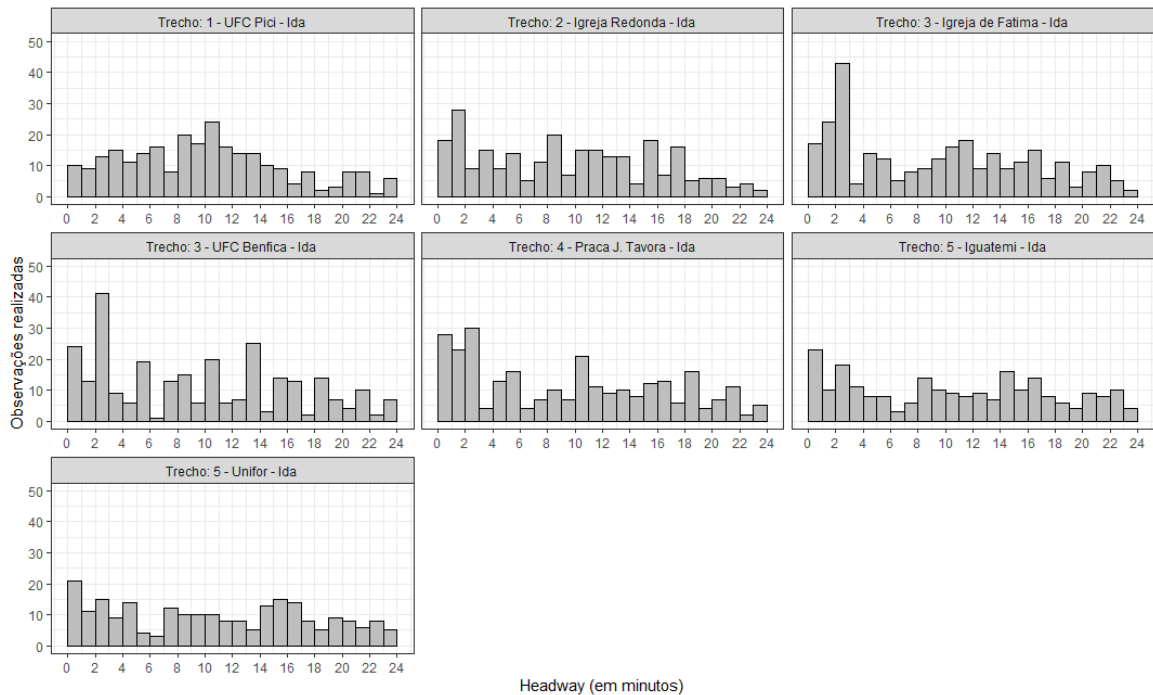


Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

A partir das observações anteriores, prevê-se que, durante o período de entropico, o indicador de Tempo de Espera em Excesso contabilize níveis de intensidade crescentes para o sentido “Ida” da linha, pois além da possível formação de pelotões, a distribuição de *headway* efetivo torna-se mais dispersa ao longo das paradas da rota no sentido analisado.

Ademais, também se espera que, devido à possível formação de pelotões a partir do trecho 3 (“Av. 13 de Maio”) no período de pico, formação essa evidenciada no gráfico a seguir, e devido à maior influência do tráfego, os Tempos de Espera em Excesso apresentem níveis superiores para o pico em relação ao entropico.

Gráfico 24 – Distribuição do *headway* efetivo no período de pico para as paradas selecionadas do sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Para o sentido “volta” no período de entropico, as seguintes distribuições foram obtidas para os *headways* programados e efetivos, respectivamente.

Dos gráficos, nota-se uma maior concentração de *headways* efetivos próximos dos intervalos de *headways* programados, principalmente nas paradas dos trechos 1 e 2, o que pode ser um indicativo de bons desempenhos quanto à confiabilidade nos *headways* nestas paradas, ou seja, pequenos valores de Tempo de Espera em Excesso.

Outrossim, a partir das paradas do trecho 3, a distribuição de *headways* efetivos começaram a apresentar uma maior dispersão, não planejada com tamanha intensidade de acordo com a distribuição dos *headways* programados, sendo um indicativo que o Excesso de Tempo de Espera para os trechos a partir do trecho 3 apresentam valores maiores.

Ademais, vale pontuar que a programação de *headways* para as paradas selecionadas nos trechos da linha no sentido “Volta” no entropico apresentaram uma dispersão menor e valores mais altos que para as paradas da linha no sentido “Ida” no mesmo período, apesar de que, neste período da análise, é observado que há uma inversão na quantidade de validações de bilhetes eletrônicos próxima das 10 da manhã, o que pode indicar um fluxo maior de pessoas e veículos no sentido “Volta” neste período e, conseqüentemente, uma maior influência nos indicadores de tempo de trajeto.

Gráfico 25 – Distribuição do *headway* programado no período de entropico para as paradas selecionadas do sentido “Volta” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.

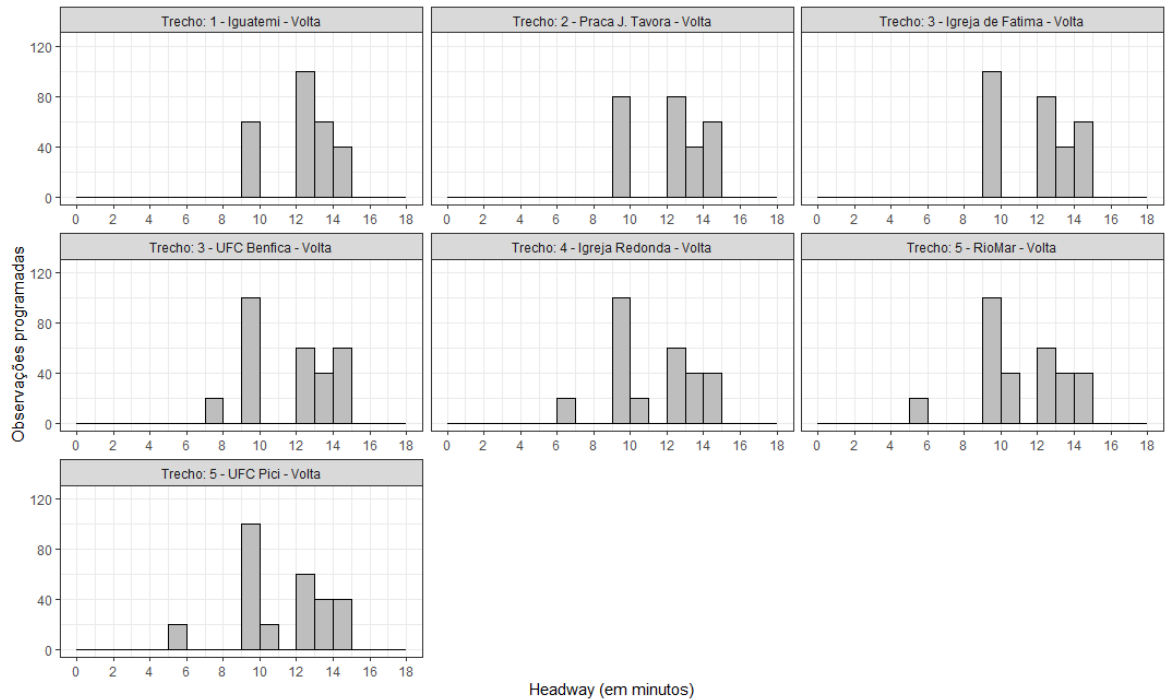
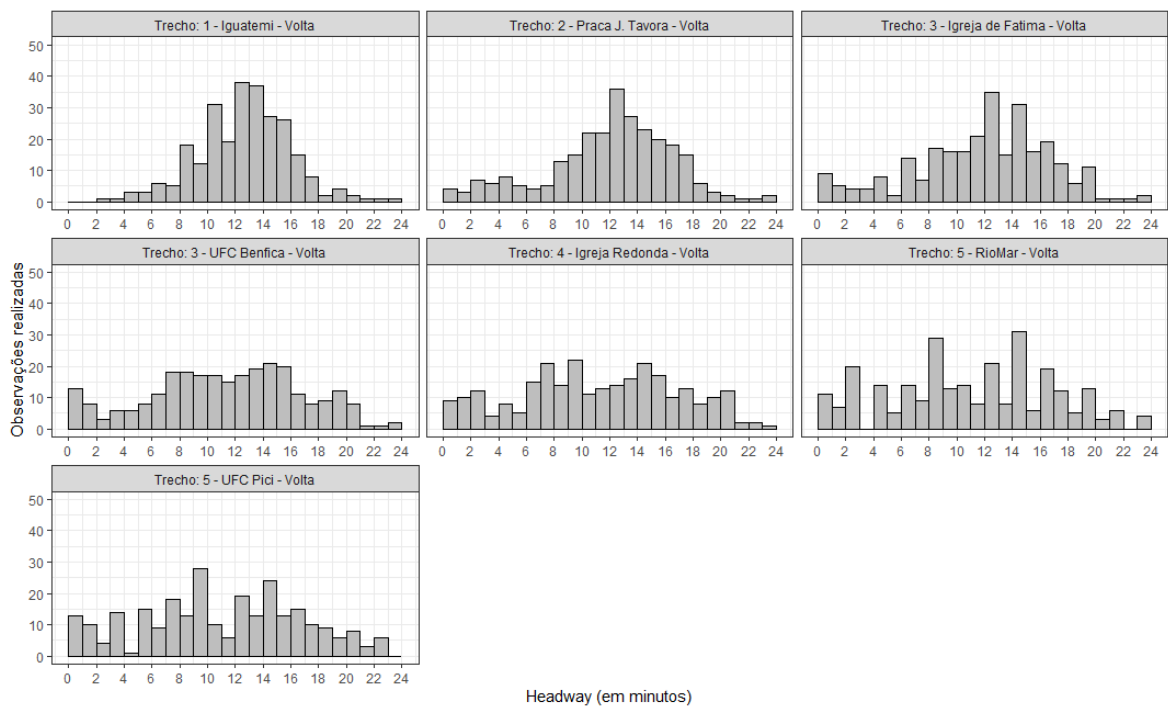


Gráfico 26 – Distribuição do *headway* efetivo no período de entropico para as paradas selecionadas do sentido “Volta” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.

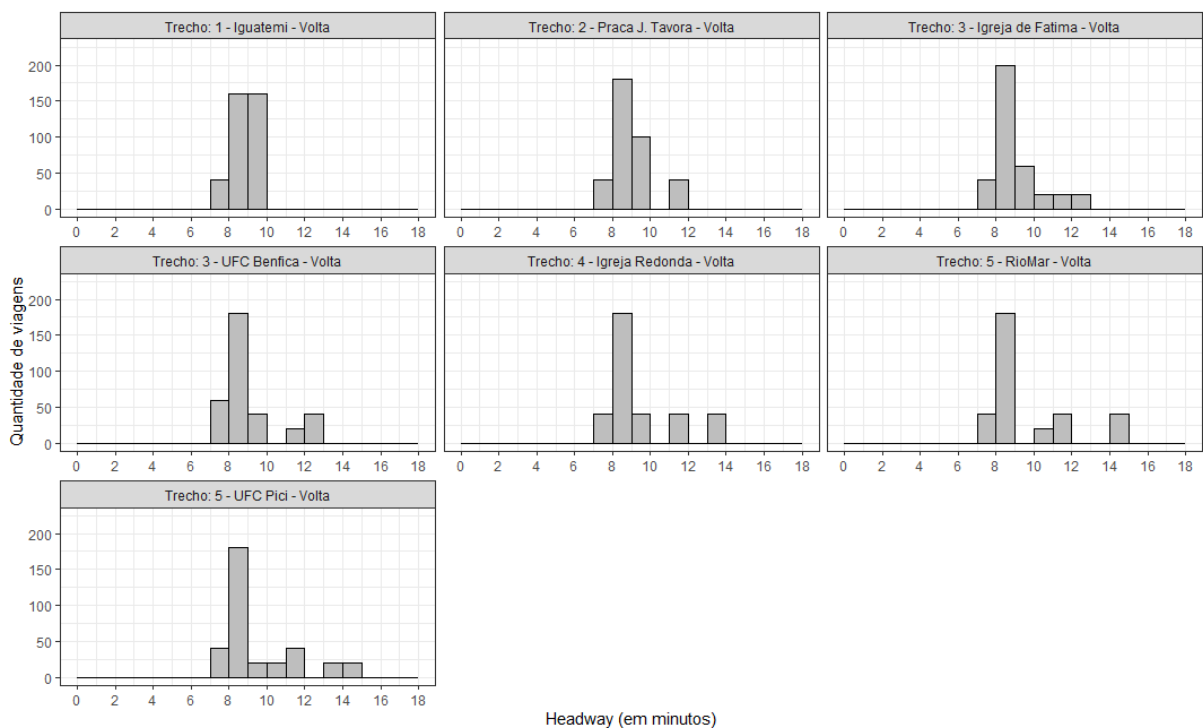


Por fim, são apresentadas e analisadas as distribuições de *headway* para o período de pico nas paradas selecionadas do sentido “Volta”.

Em comparação com o entropico deste mesmo sentido, houve um aumento considerável na frequência de passagens programadas, além de uma menor dispersão dos *headways* programados nas paradas dos trechos iniciais e com poucos *headways* de valores altos nas paradas seguintes.

Ainda assim, são esperados *headways* longos a partir do trecho 2, aumentando progressivamente ao longo dos trechos até o fim da rota neste sentido, como mostra o gráfico a seguir.

Gráfico 27 – Distribuição do *headway* programado no período de pico para as paradas selecionadas do sentido “Volta” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.

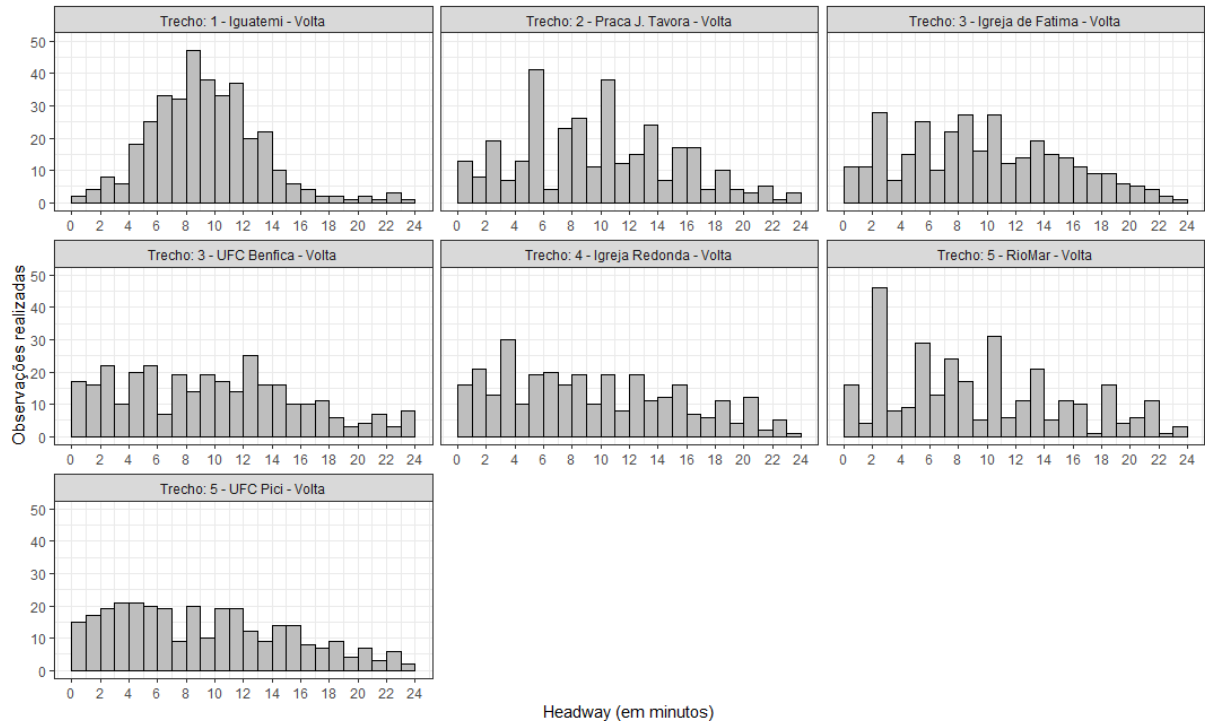


Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

De forma geral, o sentido “Volta” apresentou no período de pico grandes dispersões nos *headways* efetivos a partir do trecho 2, o que pode indicar uma forte influência do tráfego no sentido “Volta” neste período, corroborado pelas validações de bilhetes eletrônicos neste sentido. Em todo caso, parte desses aumentos no *headway* são esperados devido à programação, de tal forma que o impacto desses *headways* longos no Tempo de Espera em Excesso para o

sentido “Volta” no pico foram menores que a alta dispersão no sentido “Ida” para o mesmo período, como irão ser demonstrados no tópico seguinte.

Gráfico 28 – Distribuição do *headway* efetivo no período de pico para as paradas selecionadas do sentido “Volta” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

4.5 Análise dos indicadores de confiabilidade

A partir das distribuições e análises expostas nos tópicos anteriores, foram obtidos os indicadores de confiabilidade do tempo de trajeto e de *headway* que serão apresentados e discutidos nesta seção.

A seguir, são apresentados na tabela resumo os indicadores de confiabilidade do tempo de trajeto do sentido “Ida” nos períodos de pico e entrepico da linha de transporte público “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.

Indo de encontro com as discussões levantadas acerca do trecho “Av. 13 de Maio” na seção anterior, este apresentou alguns dos piores índices de confiabilidade do tempo de trajeto nos períodos de pico e entrepico. De fato, o tráfego misto e o uso do solo mais adensado neste trecho comprometeram seu desempenho, com possíveis aumentos de até 2,07 min./Km nos tempos de trajetos realizados no período de pico, calculado como o produto do Buffer Index pela taxa de viagem mediana do trecho.

Tabela 3 – Indicadores de confiabilidade do tempo de trajeto nos períodos de entrepico e pico do sentido “Ida” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.

Nome do Trecho	Período	Comprimento do trecho (km)	Mediana do tempo de trajeto (min.)	95º percentil do tempo de trajeto (min.)	Buffer Index	Taxa de viagem adicional (min./Km)
Rio Mar / Av. H. Monte	Entrepico	2,99	9,65	12,45	0,290	0,94
Av. J. Feitosa	Entrepico	2,33	7,45	9,30	0,247	0,79
Av. 13 de Maio	Entrepico	2,25	11,16	14,85	0,331	1,64
Av. P. Vieira / Av. A. Sales	Entrepico	3,53	15,70	19,06	0,215	0,95
Av. E. S. Júnior / Av. W. Soares	Entrepico	4,74	14,28	18,10	0,268	0,81
Rio Mar / Av. H. Monte	Pico	2,99	13,16	17,14	0,302	1,33
Av. J. Feitosa	Pico	2,33	7,77	9,98	0,286	0,95
Av. 13 de Maio	Pico	2,25	13,73	18,38	0,338	2,07
Av. P. Vieira / Av. A. Sales	Pico	3,53	19,81	29,14	0,471	2,65
Av. E. S. Júnior / Av. W. Soares	Pico	4,74	16,84	21,33	0,267	0,95

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Além do trecho “Av. 13 de Maio”, destaca-se também o trecho “Av. P. Vieira / Av. A. Sales” em relação ao aumento expressivo na sua mediana e, principalmente, no 95º percentil do tempo de trajeto quando comparados o entrepico e o pico, explicitando que os piores trajetos nestes trechos realizados durante o entrepico diferem em 10 minutos daqueles realizados durante o pico. De fato, pode-se observar um aumento no tempo de trajeto de até 2,65 min./Km durante o pico, o que representa uma grande variabilidade no tempo de trajeto deste trecho em comparação com os possíveis aumentos de até 0,95 min./Km no entrepico.

Os demais trechos do sentido “Ida” não apresentaram indicativos de problemas quanto à confiabilidade do tempo de trajeto.

A seguir, são mostrados os resultados para o sentido “Volta” dos indicadores de confiabilidade do tempo de trajeto nos períodos de pico e entrepico da linha de transporte público “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.

Tabela 4 – Indicadores de confiabilidade do tempo de trajeto nos períodos de entrepico e pico do sentido “Volta” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.

Nome do Trecho	Período	Comprimento do trecho (km)	Mediana do tempo de trajeto (min.)	95° percentil do tempo de trajeto (min.)	Buffer Index	Taxa de viagem adicional (min./Km)
Rio Mar /Av. H. Monte	Entrepico	1,59	4,88	6,53	0,337	1,04
Av. J. Feitosa	Entrepico	2,27	7,68	9,50	0,236	0,80
Av. 13 de Maio	Entrepico	2,46	12,59	21,87	0,737	3,78
Av. P. Vieira / Av. A. Sales	Entrepico	3,97	19,58	25,88	0,322	1,59
Av. E. S. Júnior / Av. W. Soares	Entrepico	3,13	8,56	12,26	0,433	1,18
Rio Mar /Av. H. Monte	Pico	1,59	5,97	8,28	0,388	1,46
Av. J. Feitosa	Pico	2,27	8,97	11,11	0,239	0,95
Av. 13 de Maio	Pico	2,46	17,35	23,79	0,371	2,62
Av. P. Vieira / Av. A. Sales	Pico	3,97	24,75	33,50	0,354	2,20
Av. E. S. Júnior / Av. W. Soares	Pico	3,13	10,63	19,38	0,823	2,79

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

No sentido “volta”, destaca-se novamente o trecho “Av. J. Feitosa” por manter níveis altos de confiabilidade ao apresentar os menores valores de Buffer Index e taxa de viagem adicional dentre os trechos. Adicionalmente, o trecho “Rio Mar / Av. H. Monte” também se manteve com bons índices de confiabilidade do tempo de trajeto, principalmente por ser um trecho curto e ter baixos níveis de tempo de trajeto.

Além disso, observam-se aumentos expressivos na mediana e nos tempos dos piores trajetos realizados, ou 95° percentil do tempo de trajeto, nos trechos “Av. P. Vieira / Av. A. Sales”, “Av. 13 de Maio” e “Av. E. S. Júnior / Av. W. Soares”. Este último, que obteve bons índices de confiabilidade no sentido “ida” tanto no pico quanto no entrepico, apresentou um aumento expressivo principalmente no 95° percentil, se tornando um dos trechos com os piores desempenhos no pico do sentido “volta”, juntamente com os trechos “Av. P. Vieira / Av. A. Sales” e “Av. 13 de Maio”, o que possivelmente pode ser explicado pelo inferido fluxo do movimento pendular mais intenso no sentido “volta” a partir do início do período de entrepico.

Para além da comparação dos trechos com eles mesmos em períodos diferentes, observou-se que, em relação aos sentidos das viagens, os trechos “Av. J. Feitosa” e “Rio Mar /

Av. H. Monte” mantiveram bons níveis de confiabilidade tanto no pico quanto no entrepico. Já o trecho “Av. J. Feitosa” demonstrou piores desempenhos quanto à confiabilidade do tempo de trajeto tanto no pico quanto no entrepico do sentido “volta” em comparação ao sentido “ida”, tendência seguida também pelo trecho “Av. P. Vieira / Av. A. Sales” no entrepico e pelo trecho “Av. E. S. Júnior / Av. W. Soares” no pico.

Em relação à confiabilidade do *headway*, a seguir são apresentados os resultados para os indicadores de Tempo de Espera em Excesso para as paradas selecionadas em ambos os sentidos nos períodos de análise definidos, ordenados conforme a sequência de trechos do sentido “Ida”, apresentados inicialmente no Quadro 5.

Tabela 5 – Indicadores de confiabilidade de *headway* nos períodos de entrepico e pico dos dois sentidos da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.

Nome do Trecho	Nome da Parada	Período	Mediana do Tempo de Espera em Excesso / Sentido “Ida” (min.)	Mediana do Tempo de Espera em Excesso / Sentido “Volta” (min.)
Rio Mar /Av. H. Monte	RioMar	Entrepico	-	1,23
Rio Mar /Av. H. Monte	RioMar	Pico	-	2,06
Rio Mar /Av. H. Monte	UFC Pici	Entrepico	0,97	1,20
Rio Mar /Av. H. Monte	UFC Pici	Pico	2,46	2,07
Av. J. Feitosa	Igreja Redonda	Entrepico	1,09	1,18
Av. J. Feitosa	Igreja Redonda	Pico	2,83	2,13
Av. 13 de Maio	UFC Benfica	Entrepico	1,47	0,92
Av. 13 de Maio	UFC Benfica	Pico	2,83	2,41
Av. 13 de Maio	Igreja de Fátima	Entrepico	1,78	0,52
Av. 13 de Maio	Igreja de Fátima	Pico	3,11	1,94
Av. P. Vieira / Av. A. Sales	Praça J. Távora	Entrepico	1,98	0,38
Av. P. Vieira / Av. A. Sales	Praça J. Távora	Pico	3,24	1,68
Av. E. S. Júnior / Av. W. Soares	Iguatemi	Entrepico	2,51	0,21
Av. E. S. Júnior / Av. W. Soares	Iguatemi	Pico	3,92	0,60
Av. E. S. Júnior / Av. W. Soares	Unifor	Entrepico	2,69	-

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Conforme esperado, de acordo com os resultados mostrados por Kurauchi e Schmöcker (2017, p. 156), houve um aumento progressivo no tempo de espera em excesso ao longo das paradas do trajeto em cada um dos sentidos.

No sentido “ida”, esses aumentos foram verificados de forma mais intensa. Uma das possíveis justificativas é de que há uma influência mais forte do tráfego veicular em direção ao Centro da cidade nos indicadores, principalmente no período de pico, além da influência de muitos cruzamentos a partir do trecho “Av. 13 de Maio”, o que pode dificultar o tráfego nesta região e formar pelotões de veículos. Ademais, vale destacar que o período de pico deste sentido apresentou os maiores níveis de tempo de excesso em espera nas paradas, e podem ser justificados pela redução da amplitude de *headways* programados do entrepico para o pico (Gráficos 21 e 23) que não foi acompanhada de redução na amplitude de *headways* efetivos no período do pico (Gráfico 24).

Em geral, as paradas analisadas em todos os trechos do sentido “volta” apresentaram bons desempenhos quanto à confiabilidade do *headway* no entrepico, todavia, destacam-se os aumentos consideráveis no tempo de espera em excesso observados no trecho “Av. 13 de Maio” durante o pico, em especial na parada “UFC Benfica”, possivelmente justificados pelo uso do solo adensado na região desta parada e uma grande quantidade de cruzamentos, fatores que intensificam o efeito do tráfego nos *headways* e, conseqüentemente, ocasionam um aumento na espera por ônibus nestas paradas.

Vale ressaltar, por fim, que o excesso do tempo de espera analisado nas paradas dos trechos da linha “075 – Campus do Pici / Unifor” é uma medida da confiabilidade do *headway* operacional em confronto com o que foi planejado, de forma que cada usuário pode ter uma percepção diferente sobre as esperas que o sistema está ocasionando operacionalmente, variando também de acordo com as suas chegadas nas paradas (Ceder, 2007, p. 556). Por se tratar de uma linha de alta frequência (Kurauchi e Schmöcker, 2017, p. 156), espera-se que os níveis de tempo de espera em excesso apresentados pela operação, principalmente no período de pico, impactem significativamente na experiência dos usuários desta linha, de forma que ficam explicitadas oportunidades de melhorias em trechos e paradas críticas da linha.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante dos resultados expostos, à luz dos objetivos definidos para este trabalho de análise da confiabilidade em uma linha de transporte público, foi demonstrado que a linha de tráfego misto “075 – Campus do Pici / Unifor” possui diversas oportunidades de melhorias na sua operação.

A partir da caracterização do uso do solo ao longo da linha, do volume de validações de bilhetes eletrônicos em ambos os sentidos e da análise dos tempos de trajeto da rota completa, foi possível identificar os períodos de entropico e pico da operação, 9h às 12h e 16h às 19h, respectivamente, analisados e confrontados durante todo o trabalho, além da definição de trechos e paradas em cada um dos sentidos da linha. Pelos resultados obtidos a partir da caracterização, verificou-se que a linha possui um grande volume de validações no sentido “Ida” pela manhã, sendo contrabalanceado e superado pelo volume de validações no sentido “volta” na maior parte do tempo a partir do período de entropico analisado. Dentre as validações, foi identificado uma composição maior de uso do transporte público por motivações de viagens a “trabalho” e “educação”, que justificam um possível movimento pendular de viagens em direção ao Centro da cidade.

Em relação às análises do tempo de trajeto, *headway* e suas distribuições, permitiu-se antever as interpretações dos resultados demonstrados pelos valores dos indicadores *Buffer Index*, Taxa de Viagem Adicional e Excesso do Tempo de Espera.

No que diz respeito à confiabilidade do tempo de trajeto, verificou-se que trechos pertencentes a áreas muito adensadas de usos do solo, como a “Av. 13 de Maio”, refletem percas de confiabilidade tanto no período de entropico quanto no pico, com aumentos na taxa de viagem de até 2,65 min./Km no pico do sentido “ida”. Além disso, ressalta-se o possível impacto destes trechos conturbados em trechos posteriores com usos do solo menos adensados, como o aumento em 10 minutos na mediana dos tempos de trajeto mais longos do trecho “Av. P. Vieira / Av. A. Sales” durante o pico em relação ao entropico. Outrossim, também foram identificados trechos com boa confiabilidade tanto no período de entropico quanto no pico em relação aos tempos de trajeto, como na “Av. J. Feitosa” e “Rio Mar – Av. H. Monte”, em ambos os sentidos, possivelmente por se situarem em regiões com uso do solo menos adensado e com poucos cruzamentos.

Já em relação à confiabilidade do *headway*, obteve-se o resultado esperado de aumento gradativo no indicador do Tempo de Espera em Excesso ao longo das paradas da linha (Kurauchi; Schmöcker, 2017, p. 156), com destaque para aumentos mais acentuados em paradas

pertencentes a trechos onde a influência do tráfego na confiabilidade também fora maior nos tempos de trajeto, como as paradas do trecho “Av. 13 de Maio” que apresentaram níveis maiores de tempo de espera no sentido “Ida” no entropico em relação ao sentido “Volta”, possivelmente devido à influência do movimento pendular em direção ao Centro realizado neste período. Além disso, também foi verificado uma grande dispersão na distribuição dos *headways* efetivos no período do pico, notadamente no sentido “Ida”, o que representou grandes aumentos no tempo de espera em excesso, possivelmente justificado pela impossibilidade de execução do planejamento de uma oferta com maior frequência para esse período, que foi percebido pelas distribuições de *headways* programados, provavelmente devido às condições de tráfego mais intensas durante o pico. Ressalta-se, assim, que os efeitos analisados no *headway* tem causas combinadas da variabilidade natural do *headway*, representada principalmente pela influência do tráfego e programação semafórica, e da própria programação não uniforme de *headways* para as paradas da linha, explicitada pelas distribuições dos *headways* programados nos períodos de pico e entropico.

Como limitações do estudo, lista-se o volume de dados utilizados para a obtenção das métricas, distribuições e indicadores, que se restringiu à análise dos 20 dias úteis do mês de novembro de 2018, além da representação das distribuições e cálculo dos indicadores a partir de dados amostrais, visto que modelagens destas distribuições são mais recomendadas (Margiotta *et al*, 2012, p. 126).

Além das limitações listadas anteriormente, não se sabe o efeito que as falhas nos dados de GPS causaram nas métricas, distribuições e indicadores analisados ao longo deste estudo, apesar dos esforços empreendidos nos tratamentos na execução da etapa de pré-processamento dos dados.

Ademais, à luz do que foi exposto, propõe-se como estudos futuros:

- (a) Desenvolvimento de rotinas automáticas para identificação e tratamento de falhas em dados de GPS;
- (b) Avaliação do efeito isolado da variabilidade do *headway* no indicador do Tempo de Espera em Excesso em linhas com frequências constantes ao longo dos períodos de comparação;
- (c) Comparação da confiabilidade entre linhas com tráfego misto e com faixas exclusivas para transporte público;
- (d) Análise da influência de cruzamentos na confiabilidade de trechos de linhas de transporte público.

REFERÊNCIAS

- ABKOWITZ, M.; TOZZI, J. **Research contributions to managing transit service reliability**. J. Adv. Transp., v. 21, p. 47-65, 1987. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/atr.5670210105>.
- ADEBISI, O. A mathematical model for headway variance of fixed-route buses. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 20, n. 1, p. 59-70, 1986. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0191-2615\(86\)90036-6](https://doi.org/10.1016/0191-2615(86)90036-6).
- BALCOMBE, R., MACKETT, R., PAULLEY, N., PRESTON, J., SHIRES, J., TITHERIDGE, H., WARDMAN, M.; White, P. The Demand for Public Transport: A Practical Guide. **TRL Report, TRL593, TRL Limited**, 2004. Disponível em: https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1349/1/2004_42.pdf.
- CARRION, C.; LEVINSON, D. Value of Travel Time Reliability: A Review of Current Evidence, **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 46, n.4, p. 720–741, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2012.01.003>.
- CEDER, A. Public Transit Planning and Operation (1st ed.). **CRC Press**, v. 1, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/b12853>.
- CEVALLOS, F., WANG, X., CHEN, Z., GAN, A. Using AVL Data to Improve Transit On-Time Performance. **Journal of Public Transportation**, v. 14, n. 3, p. 21-40, 2011. Disponível em: <https://digitalcommons.usf.edu/jpt/vol14/iss3/2>.
- CHEN, X., ZHOU, L., YUE, Y., et al. Data-Driven Method to Estimate the Maximum Likelihood Space–Time Trajectory in an Urban Rail Transit System. Sustainability. [S.l.], **MDPI AG**, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/su10061752>.
- CHMIELEWSKI, J.; BUDZYNSKI, M. The Impact of Weather on Traffic Speed in Urban Area. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 1 set., 2019.
- DAGANZO, C. A headway-based approach to eliminate bus bunching: Systematic analysis and comparisons. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 43, n. 10, p. 913–921, 2009. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2009.04.002>.
- FERRAZ, A. C. P.; TORRES, I. G. E. **Transporte Público Urbano**. 2a. ed. São Carlos, Rima, 2004.
- FIGUEIREDO, L.; JESUS, I.; MACHADO, J. A. T.; FERREIRA, J. R.; CARVALHO, J. L. M. Towards the development of intelligent transportation systems. **IEEE Intelligent Transportation Systems**. Oakland, CA, USA, 2001.
- GENTILE, G.; NOEKEL, K. Modelling Public Transport Passenger Flows in the Era of Intelligent Transport Systems. Springer Tracts on Transportation and Traffic. **Springer International Publishing**, v. 10, p. 577, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-25082-3>.
- HAGHANI, A.; ZHANG, Y.; HAMED, M. Impact of Data Source on Travel Time Reliability Assessment, Report No. UMD-2013-01, **University of Maryland, College Park, MD**, 2014. Disponível em: <http://www.mautc.psu.edu/docs/UMD-2013-01.pdf>.
- JEONG, R.; RILETT, L. Prediction Model of Bus Arrival Time for Real-Time Applications. **Transportation Research Record**, 2005. Disponível em: <https://www.worldtransitresearch.info/research/515/>.

- KAUFMANN, S. (2015). Opening public transit data in Germany. **Universität Ulm**. Disponível em: <https://doi.org/10.18725/OPARU-3210>.
- KOSLOWSKY, M.; KLUGER, A.N.; REICH, M. *Commuting Stress: Causes, Effects and Methods of Coping*, **Springer Science and Business Media**, Berlin, Germany, 1995.
- KUMAR, S.; MOORE, K. B. The Evolution of Global Positioning System (GPS) Technology. **Journal of Science Education and Technology**, v. 11, n. 1, p. 59–80, 2002. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/40188597>.
- KURAUCHI, F.; SCHMÖCKER, J.-D. (EDS.). *Public Transport Planning with Smart Card Data*. **CRC Press**, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/9781315370408>.
- LARRANAGA, A. M.; DE SOUZA, F. L. U.; ARELLANA, J., et al. Valor do tempo e escolha modal no transporte de carga: estudo de caso de Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul. **TRANSPORTES**. [S.l.], Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14295/transportes.v29i2.2471>.
- MARGIOTTA, R. et al. Analytical Procedures for Determining the Impacts of Reliability Mitigation Strategies. [S. l.]: **Transportation Research Board**, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17226/22806>.
- MILLONIG, A.; SLESZYNSKI, M.; ULM, M. Sitting, waiting, wishing: Waiting time perception in public transport. **15th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems**, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/itsc.2012.6338777>.
- MINAL; RAVI, S. C.; MADHU, E. Estimation of value of travel time based on mixed land use of trip origin and destination, **Case Studies on Transport Policy**, [S.l.], Elsevier BV, v. 10, n. 2, p. 1207-1222, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2022.04.009>.
- MONTEIRO, J.; PONS, I.; SPEICYS, R. **Big Data para análise de métricas de qualidade de transporte: metodologia e aplicação**, São Paulo, v. 20, 2015. Disponível em: http://files-server.antp.org.br/_5dotSystem/download/dcmDocument/2016/02/24/100EEC5A-680E-4190-BF90-16042435FEBE.pdf.
- NTU – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS. **Anuário NTU 2021-2022**. Brasília: NTU, 2022. Disponível em: <https://www.ntu.org.br/no-vo/upload/Publicacao/Pub637956588268708311.pdf>.
- O'CONNOR, A. C.; GALLAHER, M. P.; CLARK-SUTTON, K. B.; LAPIDUS, D.; OLIVER, Z.; SCOTT, T. J.; WOOD, D. W.; BROWN, E. G. Economic benefits of the Global Positioning System (GPS). **RTI International**, 2019.
- OFFICE OF OPERATIONS. *Travel Time Reliability: Making it There on Time, All the Time*, Report No. FHWA-HOP-06-070, **Federal Highway Administration**, Washington, DC, 2006. Disponível em: https://ops.fhwa.dot.gov/publications/tt_reliability/brochure/ttr_brochure.pdf.
- OLIVEIRA, J. L. A. *Análise da evolução da demanda no transporte coletivo por ônibus em fortaleza utilizando big data*. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, **Universidade Federal do Ceará**, Fortaleza, 2019.
- PEREIRA, R. H. M.; WARNER, L.; PARGA, J.; BAZZO, J.; BRAGA, C. K.; HERSZENHUT, D.; SARAIVA, M. Tendências e desigualdades da mobilidade urbana no Brasil I: o uso do transporte coletivo e individual. Rio de Janeiro: **Ipea**, 2021. Texto para Discussão, n. 2673. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/10713>.

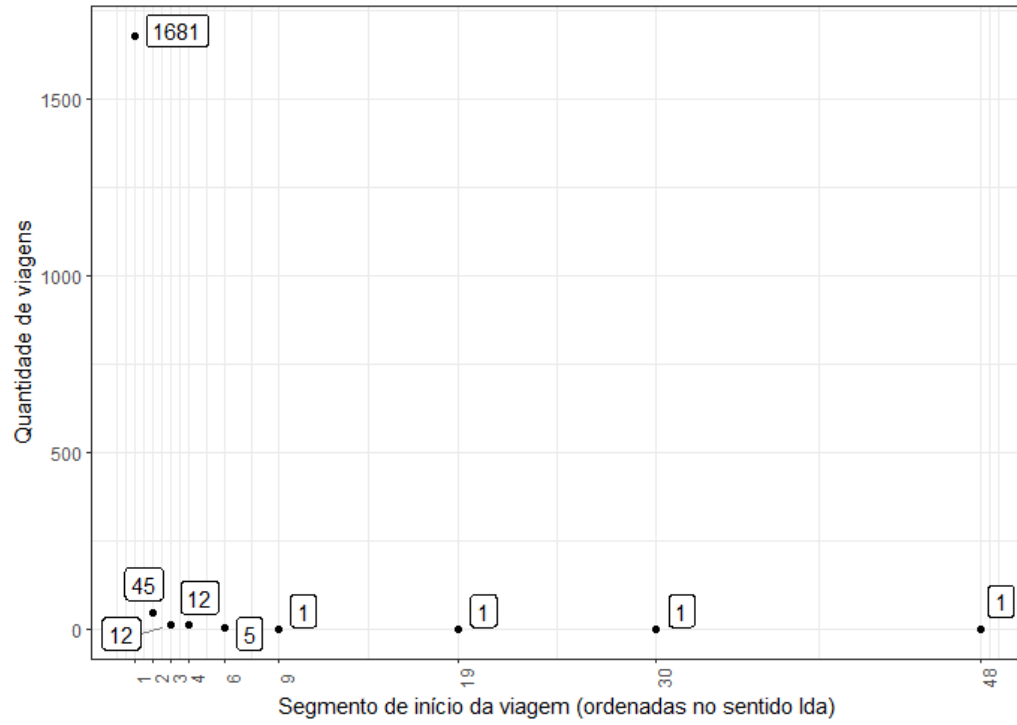
- ROUSH, W. Welcome to Google transit: How (and why) the search giant is remapping public transportation. **Community Transportation**, v. 3, 2012. Disponível em: https://ctaa.org/wp-content/uploads/2018/10/Spring_12_DigitalCT.pdf.
- SAAVEDRA, M.; HELLINGA, B.; CASELLO, J. Automated Quality Assurance Methodology for Archived Transit Data from Automatic Vehicle Location and Passenger Counting Systems. Transportation Research Record: **Journal of the Transportation Research Board**, v. 2256, n. 1, p. 130–141, 2011. Disponível em <https://doi.org/10.3141/2256-16>.
- SHALABY, A.; FARHAN, Ali. Prediction Model of Bus Arrival and Departure Times Using AVL and APC Data. **Journal of Public Transportation**, v. 7, n. 1, p. 41-61, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.5038/2375-0901.7.1.3>.
- SHAO, M.; XIE, C.; LI, T.; SUN, L. Influence of in-vehicle crowding on passenger travel time value: Insights from bus transit in Shanghai, China. **International Journal of Transportation Science and Technology**, v. 1, n. 4, p. 665–677, 2022. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2021.09.001>.
- SILVA, D. M. Análise da variabilidade do tempo de viagem em sistemas Bus Rapid Transit (BRT). Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, 2014. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/127810>.
- SILVA, J. V. A. Utilização de ferramentas de visualização de dados para auxílio no planejamento e operação de sistemas de transporte público. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, **Universidade Federal do Ceará**, Fortaleza, 2022.
- SINNOTT, R. W. **Virtues of the Haversine, Sky and Telescope**, [S.l.] 1984.
- SOLANO, R. A.; HART, M. J.; NGUYEN, D. P. Identifying Automatic Vehicle Location (AVL) Data Completeness Issues in a Rural Transit Authority System. **Asian Journal of Empirical Research**, v. 7(1), p. 1–9, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.18488/journal.1007/2017.7.1/1007.1.1.9>.
- STOMBAUGH, T. S.; MCLAREN, D.; KOOSTRA, B. K. The Global Positioning System. **Agricultural Engineering Extension Publications**. v. 5, 2005. Disponível em: https://uknowledge.uky.edu/aen_reports/5.
- STOPHER, P.; STECHER, C. Travel Survey Methods. **Emerald Group Publishing Limited**, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/9780080464015>.
- TRANSPORT RESEARCH CENTRE. Improving Reliability on Surface Transport Networks. **International Transport Forum**, Paris, France, 2009. Disponível em: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/reliabilitysum.pdf>.
- Using Archived AVL-APC Data to Improve Transit Performance and Management. [S.l.]: Transit Cooperative Research Program. **Transportation Research Board (TRB)**, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.17226/13907>.
- VUCHIC, V.R. Urban Transit Systems and Technology. **John Wiley & Sons**, p. 286, 2007.
- WIKTORSKI, T.; FOSS, I. Data quality and transit delay analysis for historical AVL data based on the SIRI protocol. **University of Stavanger**, Norway, 2016. Disponível em: <https://uis.brage.unit.no/uis-xmlui/handle/11250/2413880>.
- WOLF, J; BRICKA, S; ASHBY, T; GORUGANTUA, C. **Advances in the Application of GPS to Household Travel Surveys**, 2004. Disponível em: <https://www.researchgate.net/>

publication/265032272_Advances_in_the_Application_of_GPS_to_Household_Travel_Surveys.

YIN, B.; LEURENT, F. Estimation of Transfer Time from Multimodal Transit Services in the Paris Region. **Future Transportation**, v. 2, n. 4, p. 886–901, 2022. MDPI AG. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/futuretransp2040049>.

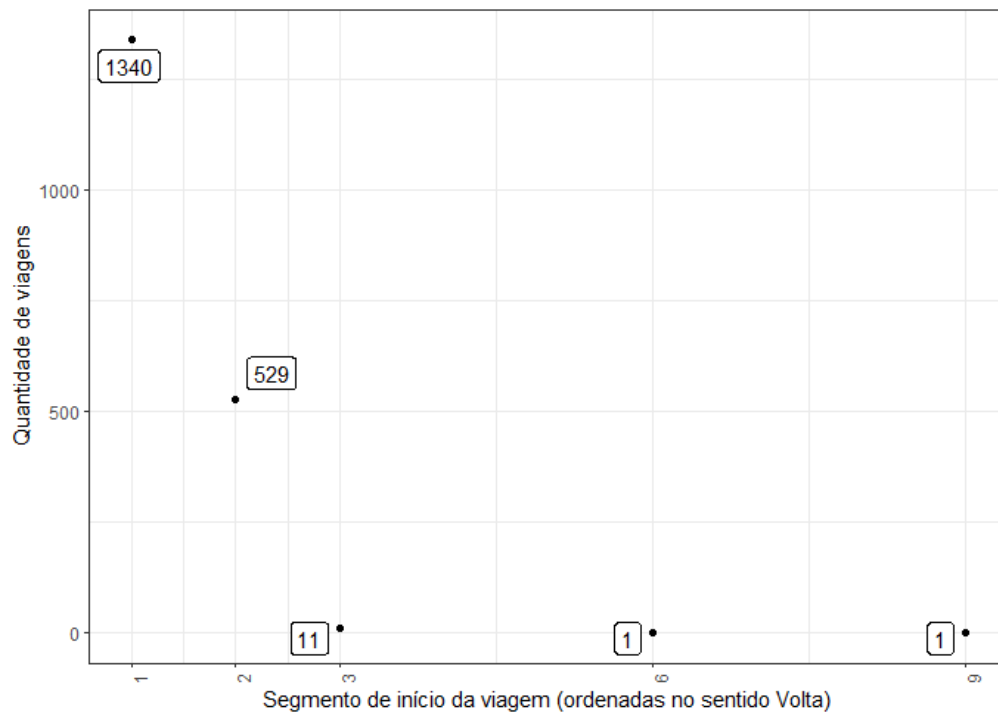
APÊNDICE A

Segmento de início das viagens no sentido “ida”.



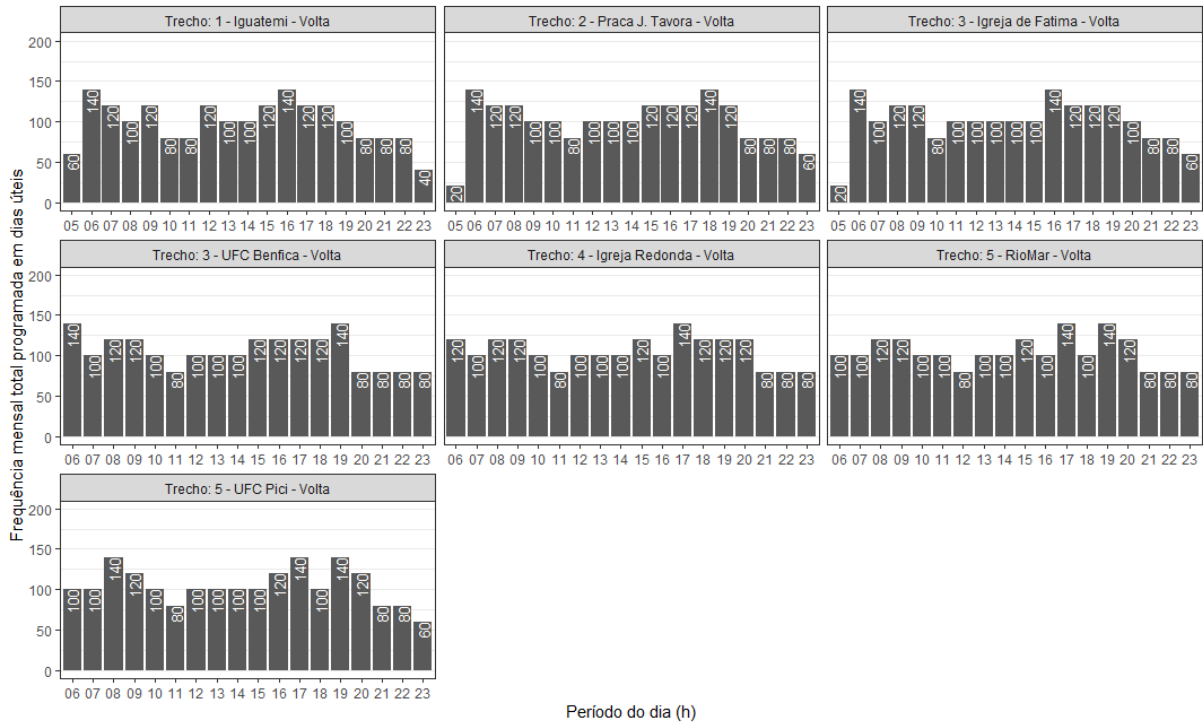
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Segmento de início das viagens no sentido “volta”.



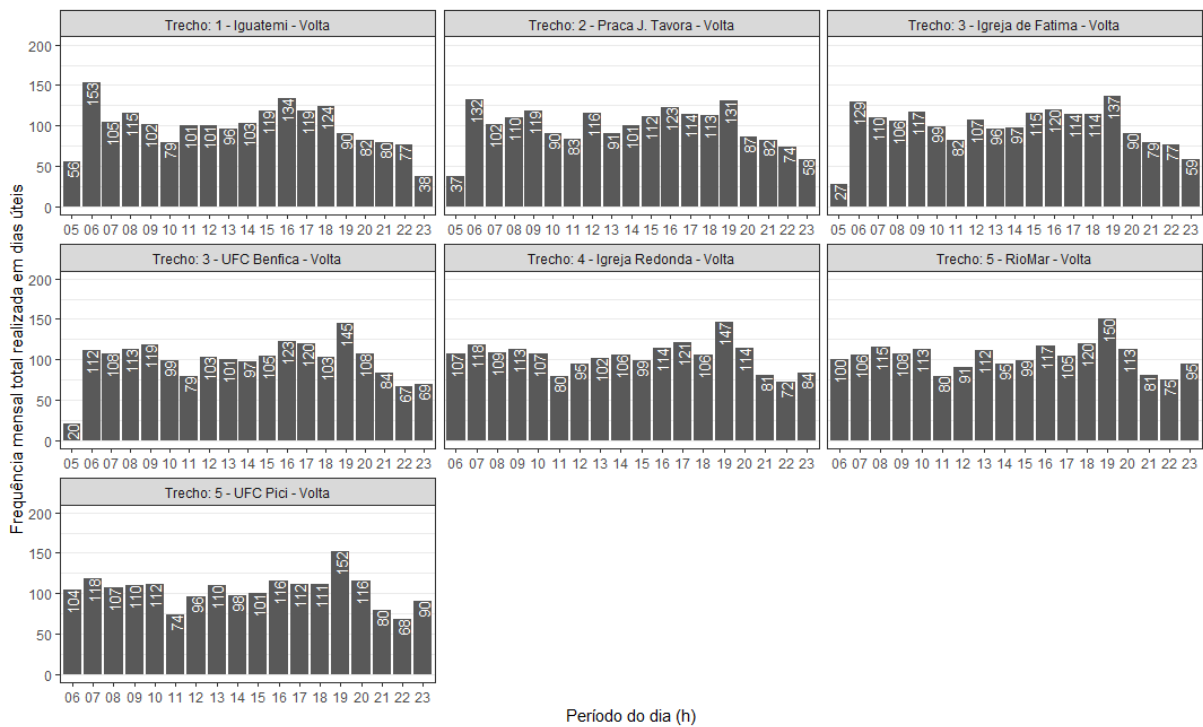
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Frequência de passagens programadas sentido “Volta” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Frequência de passagens realizadas no sentido “Volta” da Linha “075 – Campus do Pici / Unifor” no mês de novembro de 2018.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).