

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
MESTRADO PROFISSIONAL EM AUTOMAÇÃO E SISTEMAS**

FRANCISCO RICARDO DIAS NETO

**VOU DE BUSÃO - SISTEMA COLABORATIVO PARA MONITORAMENTO DO
TRANSPORTE COLETIVO URBANO EM CIDADES DE PEQUENO E MÉDIO PORTE**

LEOPOLDINA

2026

FRANCISCO RICARDO DIAS NETO

**VOU DE BUSÃO - SISTEMA COLABORATIVO PARA MONITORAMENTO DO
TRANSPORTE COLETIVO URBANO EM CIDADES DE PEQUENO E MÉDIO PORTE**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Automação e Sistemas do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Campus Leopoldina, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Automação e Sistemas.

Orientador: Prof. Dr. José Geraldo Ribeiro Júnior

Coorientador: Prof. Dr. Fabiano Pereira Bhering

LEOPOLDINA

2026

Dias Neto, Francisco Ricardo.
D541v Vou de busão: sistema colaborativo para monitoramento do transporte coletivo urbano em cidades de pequeno e médio porte. / Francisco Ricardo Dias Neto. -- 2025.
91 f. : il.
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Automação e Sistemas (PPGAS), 2025.
Orientador: José Geraldo Ribeiro Júnior.
Coorientador: Fabiano Pereira Bhering.
Bibliografia.
Dissertação (mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. *Campus* Leopoldina.
1. Serviço público. 2. Monitoramento. 3. Veículos de passageiros. 4. Ônibus. 5. Aplicativos móveis. I. Ribeiro Júnior, José Geraldo. II. Bhering, Fabiano Pereira. III. Título.

CDU: 654.01

Elaboração da ficha catalográfica pela bibliotecária Luzia Adriana Damasceno,
CRB 6º 2305 / Cefet/MG *campus* Leopoldina.



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO Nº 4 / 2026 - PPGAS (11.52.20)

Nº do Protocolo: 23062.001915/2026-51

Leopoldina-MG, 15 de janeiro de 2026.

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

***VOU DE BUSÃO – SISTEMA COLABORATIVO PARA MONITORAMENTO DO
TRANSPORTE COLETIVO URBANO EM CIDADES DE PEQUENO E MÉDIO PORTE***

AUTOR: FRANCISCO RICARDO DIAS NETO

ORIENTADOR: Professor Doutor JOSÉ GERALDO RIBEIRO JÚNIOR

COORIENTADOR: Professor Doutor FABIANO PEREIRA BHERING

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou em 15 de janeiro de 2026 essa Dissertação:

Professor Doutor José Geraldo Ribeiro Júnior (ORIENTADOR)

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG

Professor Doutor Fabiano Pereira Bhering (COORIENTADOR)

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG

Professora Doutora Gabriella Castro Barbosa Costa (MEMBRO INTERNO)

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG

Professora Doutora Carla Rezende Barbosa Bonin (MEMBRO EXTERNO)

**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais -
IF Sudeste MG**

(Assinado digitalmente em 21/01/2026 10:06)
FABIANO PEREIRA BHERING
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DECOMLP (11.61.11)
Matrícula: 2556430

(Assinado digitalmente em 15/01/2026 11:21)
GABRIELLA CASTRO BARBOSA COSTA
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DECOMLP (11.61.11)
Matrícula: 2933153

(Assinado digitalmente em 15/01/2026 11:24)
JOSE GERALDO RIBEIRO JUNIOR
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DECOMLP (11.61.11)
Matrícula: 1322715

(Assinado digitalmente em 15/01/2026 11:35)
CARLA REZENDE BARBOSA BONIN
ASSINANTE EXTERNO
CPF: ###.###.046-##

Visualize o documento original em <https://sig.cefetmg.br/public/documentos/index.jsp>
informando seu número: **4**, ano: **2026**, tipo: **ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**, data de
emissão: **15/01/2026** e o código de verificação: **b9c31875ba**

Este trabalho é dedicado a Deus, à minha família e aos meus professores, cujo apoio, orientação e incentivo foram fundamentais para a realização deste projeto.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me conceder saúde, força e perseverança ao longo desta jornada.

À minha família, pelo apoio incondicional, pela compreensão e pelo incentivo constante durante todo o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos meus professores, pela orientação segura, pelas contribuições valiosas e pelo rigor acadêmico que enriqueceram este estudo.

Ao CEFET-MG, campus Leopoldina, pela oportunidade de crescimento acadêmico e profissional, bem como por toda a estrutura oferecida ao longo do curso.

Aos colegas e colaboradores que, direta ou indiretamente, contribuíram para a construção e aprimoramento deste projeto.

Por fim, a todos que acreditaram na relevância desta proposta e incentivaram sua concretização.

*“Não vos amoldeis às estruturas deste mundo,
mas transformai-vos pela renovação da mente,
a fim de distinguir qual é a vontade de Deus:
o que é bom, o que Lhe é agradável, o que é perfeito.”
(BÍBLIA SAGRADA, Romanos 12: 2).*

RESUMO

Esta dissertação propõe o desenvolvimento de uma solução computacional para melhorar a qualidade do serviço de transporte coletivo urbano em cidades de pequeno e médio porte. Nestas cidades, este tipo de transporte é essencial, mas frequentemente apresenta deficiências operacionais, muitas vezes sob o argumento de ser caro o investimento para disponibilizar uma solução desse porte. A solução proposta tem como destaque um aplicativo móvel para o monitoramento do transporte coletivo (do tipo ônibus) em tempo real, apresentando a posição atual dos ônibus em um mapa disponível no aplicativo móvel. Esse monitoramento visa aumentar a previsibilidade para os usuários e incentivar o uso do serviço. Utilizando a metodologia *Lean Startup*, o projeto foi desenvolvido em fases, incluindo a construção de um Produto Mínimo Viável (MVP), testes com um grupo controlado de usuários nos municípios de Leopoldina e Cataguases (MG) e preparação da solução para escalabilidade em nuvem. Este projeto demonstrou relevância ao aumentar a previsibilidade do serviço de transporte público para seus usuários. Ao tornar o deslocamento mais previsível, a solução apresenta potencial para contribuir indiretamente para a redução do uso do transporte particular, o que, em longo prazo, pode impactar positivamente indicadores urbanos, como a diminuição de congestionamentos, acidentes de trânsito e emissões de poluentes, bem como favorecer benefícios econômicos e sociais.

Palavras-chave: serviço público; monitoramento; ônibus; aplicativo.

ABSTRACT

This dissertation proposes the development of a computational solution to improve the quality of urban public transportation services in small and medium-sized cities. In these cities, this type of transportation is essential, yet it often presents operational deficiencies, frequently justified by the high investment required to deploy solutions of this scale. The proposed solution highlights a mobile application for real-time monitoring of urban public transportation (bus-based), displaying the current position of buses on a map available within the mobile application. This monitoring aims to increase service predictability for users and to encourage its use. Using the Lean Startup methodology, the project was developed in phases, including the construction of a Minimum Viable Product (MVP), testing with a controlled group of users in the municipalities of Leopoldina and Cataguases (MG), and preparing the solution for cloud scalability. This project demonstrated its relevance by increasing the predictability of public transportation services for users. By making travel more predictable, the solution shows potential to indirectly contribute to a reduction in the use of private transportation, which, in the long term, may positively impact urban indicators such as decreased congestion, traffic accidents, and pollutant emissions, while also promoting economic and social benefits.

Keywords: public service; monitoring; buses; app.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1	Visualização de congestionamento em Münster — 1991. Adaptado de [DRAGICEVIC e JANSEN 2012].	15
Figura 1.2	Frota de Veículos - 2024. Adaptado de [Ministério dos Transportes 2024].	16
Figura 2.1	Arquitetura da solução proposta.	23
Figura 3.1	Estrutura de dados implementada.	40
Figura 3.2	Jornada do usuário.	42
Figura 3.3	Telas de login, cadastro e recuperação de senha.	44
Figura 3.4	Tela para consentimento do uso dos dados.	45
Figura 3.5	Tela para escolha da opção.	47
Figura 3.6	Aplicativo Móvel - Tela de pesquisa do itinerário.	49
Figura 3.7	Aplicativo Móvel - Tela de pesquisa do itinerário com alerta sobre o tempo de tela.	51
Figura 3.8	Aplicativo Móvel - Tela de acompanhamento da localização do transporte.	52
Figura 3.9	Aplicativo Móvel - Tela leitura do código QR.	53
Figura 3.10	Aplicativo Móvel - Tela de compartilhamento da posição atual.	55
Figura 3.11	Compartilhar localização em segundo plano	56
Figura 3.12	Aplicativo Móvel - Pesquisa de recomendação do serviço.	58
Figura 3.13	Aplicativo <i>Web</i> - Tela de login.	59
Figura 3.14	Aplicativo <i>Web</i> - Tela de criação de conta.	60
Figura 3.15	Aplicativo <i>Web</i> - Tela de recuperação de senha.	60
Figura 3.16	Aplicativo <i>Web</i> - Tela do usuário comum logado.	61
Figura 3.17	Aplicativo <i>Web</i> - Tela de busca por ônibus com visualização de rota e posição em tempo real.	62
Figura 3.18	Aplicativo <i>Web</i> - Tela de gerenciamento de posições dos ônibus.	63
Figura 3.19	Aplicativo <i>Web</i> - Visualização do trajeto do ônibus selecionado.	64
Figura 3.20	Aplicativo <i>Web</i> - Tela de gerenciamento de itinerários.	65
Figura 3.21	Aplicativo <i>Web</i> - Tela de gerenciamento de cidades e bairros.	66
Figura 3.22	Aplicativo <i>Web</i> - Tela de gerenciamento de usuários.	67
Figura 3.23	Aplicativo <i>Web</i> - Tela de gerenciamento das respostas de pesquisa.	68
Figura 3.24	Aplicativo <i>Web</i> - Tela de definição de coordenadas e geração de rota.	69
Figura 3.25	Aplicativo <i>Web</i> - Mapa interativo para seleção de coordenadas.	69
Figura 3.26	Interface de documentação da API do sistema Vou de Busão.	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Comparativo com os principais aplicativos de transporte coletivo no Brasil.	34
------------	---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API Interface de programação de aplicativos (Application Programming Interface).

CBIICS Sistema integrado de informações de ônibus urbanos (City Bus Integrated Information System).

CNH Carteira Nacional de Habilitação.

CO₂ Dióxido de carbono.

GPS Sistema de Posicionamento Global (Global Positioning System).

JSON Notação de Objetos JavaScript (JavaScript Object Notation).

LGPD Lei Geral de Proteção de Dados.

MaaS Mobilidade como serviço (Mobility as a Service).

MVP Produto Mínimo Viável (Minimum Viable Product).

NPS Índice de Promotores Líquidos (Net Promoter Score).

SDK Kit de desenvolvimento de software (Software Development Kit).

LISTA DE SÍMBOLOS

d Distância entre dois pontos geográficos (km).

Δlat Variação de latitude ($lat_2 - lat_1$).

Δlon Variação de longitude ($lon_2 - lon_1$).

R Raio médio da Terra (aproximadamente 6371 km).

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivos	19
1.1.1	Objetivo Geral	19
1.1.2	Objetivos Específicos	19
1.1.3	Principais Contribuições	20
1.2	Organização	20
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1	Tecnologias e Ferramentas Utilizadas	22
2.1.1	Arquitetura Cliente-Servidor	22
2.1.1.1	Arquitetura da Solução	23
2.1.2	Infraestrutura em Nuvem	24
2.1.2.1	Infraestrutura da Solução	24
2.1.2.2	Estimativa de Custos Operacionais	25
2.1.3	Desenvolvimento do <i>Backend</i>	28
2.1.4	Desenvolvimento do <i>Frontend</i>	29
2.1.5	Armazenamento dos Dados	30
2.1.6	Monitoramento	30
2.2	Estado da Arte	31
3	SOLUÇÃO PROPOSTA	35
3.1	Funcionamento da Solução Proposta	36
3.1.1	Privacidade, aspectos éticos e conformidade legal	36
3.1.2	Banco de Dados Realtime com Firebase	37
3.1.3	Jornada do Usuário	41
3.1.4	Cálculo da Distância entre Pontos no Mapa	43
3.1.5	Aplicativo Móvel	43
3.1.6	Aplicativo <i>Web</i>	58
3.1.7	API para Integração e Gerenciamento de Dados	70
3.1.8	Problemas encontrados	71
3.1.8.1	Desafios no uso de localização em segundo plano no Android	72
4	APLICAÇÕES E RESULTADOS	75
4.1	Definição do Ambiente de Teste	75
4.2	Resultados obtidos	76
4.3	Conclusões sobre os Experimentos	77
4.4	Outras Aplicações do Sistema em Cenários de Mobilidade Urbana	78

4.4.1	Acompanhamento do Transporte Escolar	78
4.4.2	Fiscalização e Auditoria de Serviços de Transporte Concedidos . .	78
4.4.3	Apoio ao Planejamento da Mobilidade Urbana	79
4.4.4	Monitoramento de Serviços Urbanos Móveis	79
4.4.5	Gestão de Frotas de Veículos Oficiais	79
4.4.6	Suporte a Serviços de Emergência e Resposta Rápida	80
4.4.7	Base Tecnológica para Plataformas de Mobilidade como Serviço .	80
4.4.8	Ambiente Experimental para Pesquisa em Mobilidade Urbana . . .	80
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
5.1	Benefícios da Solução	82
5.2	Limitações da Solução	82
5.3	Sugestões de Continuidade	83
5.4	Perspectivas Futuras	84
	REFERÊNCIAS	87

1 INTRODUÇÃO

A ocupação do espaço urbano é um problema causado pela predominância de veículos de até cinco passageiros. O excesso de automóveis resulta em engarrafamentos cada vez mais longos e constantes. A Figura 1.1 demonstra uma ação realizada em 1991 na cidade de Münster, na Alemanha, para incentivar o uso do ônibus. Na figura compara-se o espaço ocupado por 72 carros e por 1 ônibus para atender o mesmo número de pessoas.

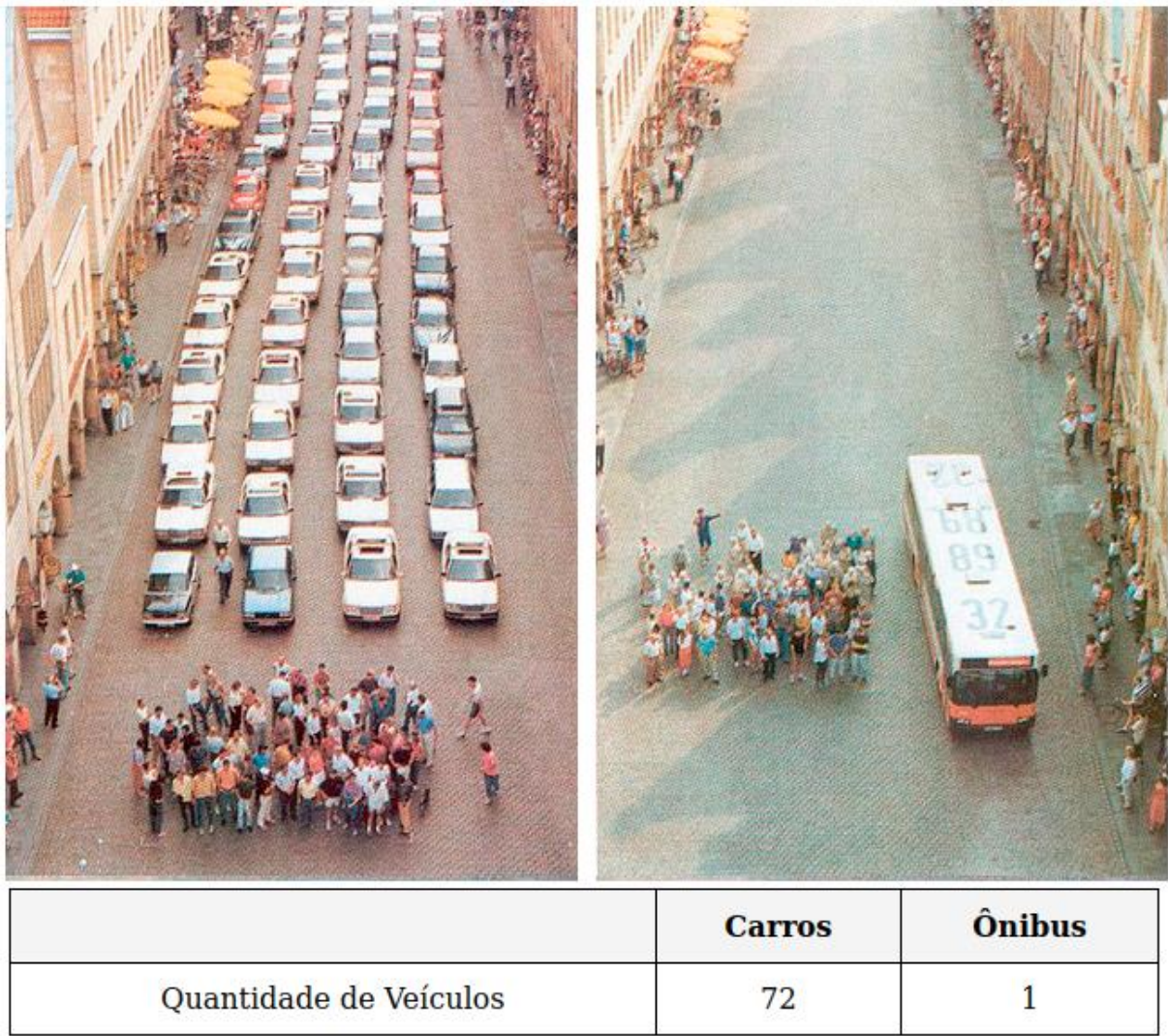


Figura 1.1: Visualização de congestionamento em Münster — 1991. Adaptado de [DRAGICEVIC e JANSEN 2012].

Dados de setembro de 2024 do Ministério dos Transportes demonstram que a quantidade de automóveis e motocicletas/motonetas supera em larga escala a quanti-

dade de ônibus em todas as regiões do país. Com destaque para o Sul e o Sudeste, que apresentam as maiores frotas de automóveis [Ministério dos Transportes 2024], como mostra o gráfico da Figura 1.2. A Secretaria Nacional de Trânsito (Senatran) divulgou um relatório publicado em 9 de setembro de 2024 no qual 28% da frota nacional é composta por motocicletas, motonetas e ciclomotores, totalizando 34,2 milhões de unidades registradas no país. Por fim, o relatório publicado pelo Ministério da Saúde em maio de 2023 demonstra que no ano de 2021 a quantidade de veículos automotores de duas ou três rodas teve um aumento de 64,7% em relação a 2011 [Ministério da Saúde 2023].

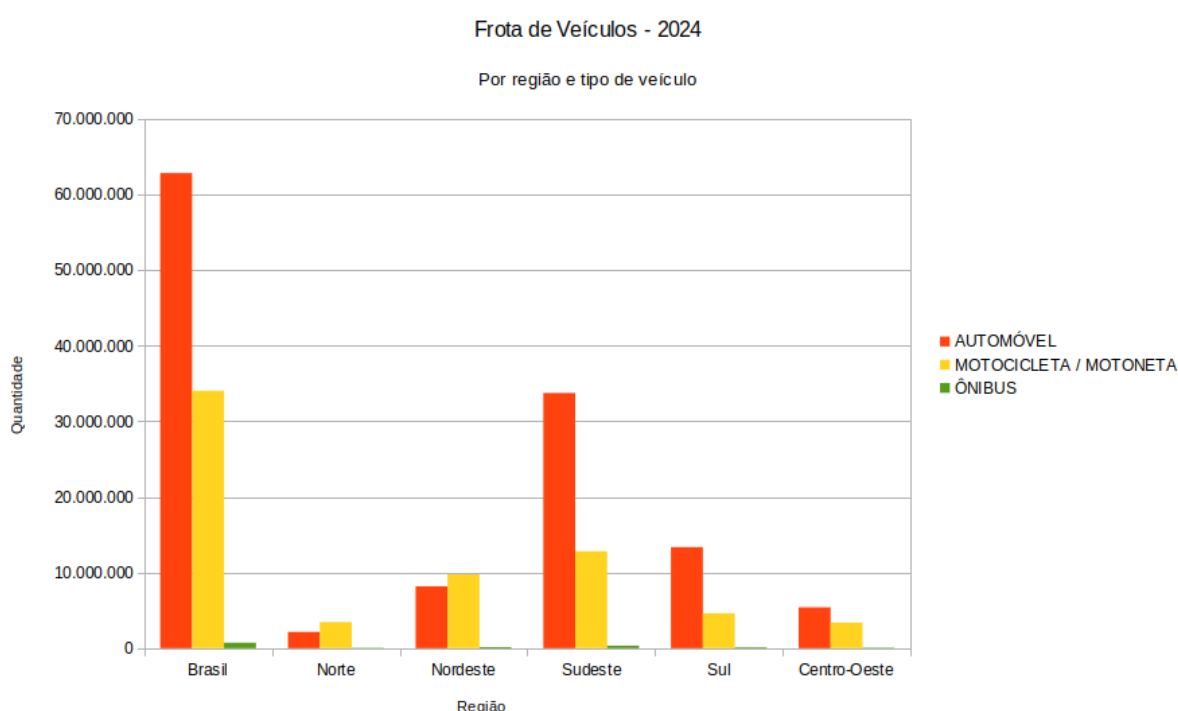


Figura 1.2: Frota de Veículos - 2024. Adaptado de [Ministério dos Transportes 2024].

Neste cenário, segundo a Senatran, 53,8% dos proprietários de motocicletas, motonetas e ciclomotores não possuem uma Carteira Nacional de Habilitação (CNH) válida [Ministério dos Transportes 2024], o que coloca direta e indiretamente uma boa parcela da população em risco de acidentes no trânsito. Um fator que evidencia a escala do problema está na taxa de internações de motociclistas que, em 2021, teve o maior aumento em uma década passando de 5,5 para 6,1 a cada 10 mil habitantes [Ministério da Saúde 2023].

Além do considerável número de acidentes, a emissão de gases poluentes é um fator de grande importância a ser considerado. Estudos do Ipea sobre diferentes tipos de transporte demonstram que a emissão de dióxido de carbono Dióxido de carbono

(CO₂) por usuário de carro é sete vezes superior à emissão por usuário de ônibus [Carvalho et al. 2023].

As políticas públicas voltadas à mobilidade urbana no Brasil ganharam força com a criação do Estatuto da Cidade, em 2001, e do Ministério das Cidades, em 2003, impulsionadas por desafios como o excesso de automóveis, altos índices de poluição, elevado número de acidentes e reclamações sobre a ineficiência do transporte público. Nesse contexto, o aprimoramento do transporte coletivo urbano torna-se essencial para a qualidade do serviço, reduzindo a dependência da população do transporte particular e gerando impactos sociais positivos, como a diminuição de acidentes, a redução da emissão de poluentes e a melhoria da qualidade de vida [Nobrega 2023].

Por definição, o transporte público coletivo é um serviço acessível a toda população para o transporte de passageiros mediante o pagamento individualizado e cujo valor e itinerário são determinados pelo poder público (Lei n. 12.587/2012, art. 4º, inciso VI) [Presidência da República 2012]. Para a oferta desse serviço, em caráter de concessão, a Lei n. 8.987/1995, em seu artigo 6º, parágrafo 1º, [Presidência da República 1995], determina critérios que assegurem elementos fundamentais para a garantia de sua qualidade, tais como regularidade, continuidade, eficiência, segurança, modicidade das tarifas e a cortesia no atendimento.

Assim como nos grandes centros urbanos, a população das cidades de pequeno e médio porte depende de um serviço de transporte coletivo urbano com qualidade. Na maioria dessas cidades, os ônibus são a única oferta disponível para esse serviço. Nesse contexto, a ausência de informações confiáveis sobre a operação das linhas pode gerar diversos impactos negativos para os usuários, como falta de previsibilidade do tempo de espera, aumento do tempo aguardando no ponto, além de atrasos no trabalho, escola e compromissos. Como consequência, muitos passageiros acabam sendo obrigados a chegar ao ponto com maior antecedência, reduzindo sua eficiência e conforto no deslocamento diário. Soma-se a isso a insegurança durante a espera, a possibilidade de lotação inesperada e a crescente desconfiança no transporte público, o que pode contribuir para a desvalorização do serviço e para o aumento da dependência de alternativas individuais de mobilidade.

A solução Vou de Busão, proposta neste trabalho, visa reduzir a dependência da população em relação à utilização de transporte particular. Por meio do uso colaborativo, essa solução proporciona maior previsibilidade no tempo de espera pelo transporte coletivo, ao permitir que o usuário visualize de forma precisa o deslocamento do ônibus em relação ao ponto de parada onde aguarda sua chegada.

Ao aumentar a previsibilidade desses deslocamentos, a solução tem potencial para contribuir de forma indireta para a diminuição do uso do transporte particular, o

que, a longo prazo, pode resultar em impactos positivos sobre indicadores urbanos, como a redução de congestionamentos, acidentes de trânsito e emissões de poluentes, além de gerar benefícios econômicos e sociais.

Os aplicativos para dispositivos móveis são importantes aliados das cidades inteligentes para uma governança colaborativa, pois a tecnologia tem o poder de transformar a relação dos cidadãos com os espaços públicos. A ampla disseminação destes dispositivos possibilitou aos desenvolvedores a criação de uma grande variedade de aplicativos [Paz 2023]. Para o cenário abordado, esses aplicativos surgem como uma oportunidade estratégica para a implementação da solução proposta, o Vou de Busão.

A solução Vou de Busão é baseada em um modelo colaborativo de coleta e disponibilização de informações em tempo real sobre o transporte coletivo urbano. Diferentemente de outras soluções, que dependem exclusivamente de dispositivos instalados nos ônibus, a solução Vou de Busão utiliza a participação voluntária dos próprios usuários como fonte de dados. Nesse modelo, os usuários do transporte coletivo compartilham, de forma controlada, a localização dos ônibus por meio de seus dispositivos móveis, permitindo que outros usuários tenham acesso a essa informação em tempo real.

Esse caráter colaborativo torna a solução Vou de Busão adequada para cidades de pequeno e médio porte, onde frequentemente não há investimentos suficientes em sistemas inteligentes para o monitoramento dos transportes coletivos em tempo real. Ao distribuir a responsabilidade pela geração dos dados entre os próprios usuários, a proposta reduz custos de implantação, amplia a escalabilidade da solução e estimula o engajamento da população. Além disso, o modelo colaborativo contribui para a democratização do acesso à informação, oferecendo previsibilidade e transparência ao serviço de transporte coletivo sem a necessidade de alterações estruturais na frota existente.

Do ponto de vista de implementação, a solução Vou de Busão distingue-se por não exigir a instalação de equipamentos dedicados nos veículos, como módulos de rastreamento ou sensores embarcados. A solução proposta baseia-se exclusivamente no uso colaborativo dos dispositivos móveis já disponíveis, o que simplifica o processo de adoção do sistema. A solução permite a existência simultânea de múltiplas fontes de dados para um mesmo veículo, uma vez que diferentes usuários embarcados no mesmo ônibus podem compartilhar sua localização durante o trajeto. Em contrapartida, o funcionamento efetivo da solução está condicionado à presença de pelo menos um dispositivo móvel ativo no interior do ônibus, seja de um passageiro ou do motorista, responsável por transmitir a posição geográfica em tempo real. Embora o funcionamento da solução esteja condicionado à presença de ao menos um dispositivo móvel

ativo no interior do veículo, tal característica é entendida como uma limitação inerente ao modelo colaborativo adotado, sendo aceitável no contexto de cidades de pequeno e médio porte, onde soluções embarcadas apresentam elevado custo de implantação.

A aplicação prática da solução Vou de Busão foi realizada nos municípios de Cataguases e Leopoldina, localizados no interior do estado de Minas Gerais. Esses testes permitiram validar o funcionamento do sistema em contextos reais.

O município de Cataguases possui uma população de 66,2 mil habitantes, dos quais 28,32% apresentam ocupação profissional, conforme dados do Censo de 2022 [Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) 2023]. No que se refere à mobilidade urbana, a frota de veículos — considerando apenas automóveis, motos e motonetas — totaliza 34,4 mil unidades [Ministério dos Transportes 2024]. Para atender à população local, o sistema de transporte coletivo conta atualmente com 28 linhas de ônibus municipais [Prefeitura Municipal de Cataguases 2024].

De forma semelhante, também de acordo com os dados do Censo de 2022 [Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) 2023], o município de Leopoldina possui uma população de 51,1 mil habitantes, sendo que 23,53% dessa população apresenta ocupação profissional. Nesse município, a frota de veículos, considerando apenas automóveis, motos e motonetas, é de 20,4 mil unidades [Ministério dos Transportes 2024]. O transporte coletivo municipal é composto atualmente por 12 linhas de ônibus destinadas ao atendimento da população [Prefeitura Municipal de Leopoldina 2024].

1.1 Objetivos

Nas Seções 1.1.1 e 1.1.2 estão descritos os objetivos gerais e específicos deste trabalho.

1.1.1 Objetivo Geral

O principal objetivo deste trabalho é propor e desenvolver uma solução tecnológica para promover a adoção do transporte público coletivo do tipo ônibus em cidades de pequeno e médio porte, proporcionando maior eficiência e confiabilidade aos usuários por meio de dispositivos já amplamente disseminados entre os usuários do transporte público.

1.1.2 Objetivos Específicos

Com vistas ao cumprimento do objetivo geral, definem-se os objetivos específicos deste trabalho:

- a) Desenvolver um aplicativo móvel que possibilite o monitoramento em tempo real dos ônibus de interesse do usuário, além de permitir a avaliação da qualidade do

serviço prestado.

- b) Criar uma Interface de programação de aplicativos (Application Programming Interface) (API) para a comunicação entre dispositivos móveis e o banco de dados não relacional, garantindo a integração segura dos dados.
- c) Desenvolver uma aplicação *web* que possibilite o cadastro e a manutenção dos dados relevantes para o funcionamento do aplicativo móvel.
- d) Analisar a utilização da solução tecnológica Vou de Busão por um grupo controlado de usuários, validando sua eficácia no monitoramento do transporte em tempo real.

1.1.3 Principais Contribuições

As principais contribuições dessa dissertação são:

- a) Desenvolver uma solução tecnológica inovadora que amplie a previsibilidade de espera pelo transporte coletivo, por meio de um aplicativo móvel colaborativo voltado ao monitoramento do transporte público do tipo ônibus.
- b) Oferecer aos usuários do transporte público uma ferramenta que permita consultar, em tempo real, a localização dos ônibus de interesse, além de acessar informações detalhadas sobre pontos de parada e itinerários das linhas disponíveis na cidade.
- c) Proporcionar aos usuários a oportunidade de avaliar a qualidade do serviço prestado e sugerir melhorias para aprimorá-lo.

1.2 Organização

O restante desta dissertação está organizado conforme segue.

- a) O Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica buscando a fundamentação teórica com dados e informações de diversas fontes que corroboram a descrição do problema citado neste trabalho. Há neste capítulo a descrição de soluções existentes no mercado que são similares à solução proposta e suas limitações que justificam o avanço neste projeto de desenvolvimento.
- b) O Capítulo 3 descreve o processo de construção da solução proposta e detalha seu funcionamento. Cada componente da solução é apresentado em detalhes, abordando tanto a interface com o usuário quanto os aspectos internos responsáveis pelo tratamento e disponibilização dos dados coletados.

- c) No Capítulo 4 são apresentados os resultados dos testes conduzidos de forma controlada nas cidades de Cataguases e Leopoldina. Esses testes foram realizados mediante a disponibilização da solução para um grupo de quatro usuários, no período de 11 de julho de 2024 a 22 de outubro de 2025.
- d) O Capítulo 5 descreve as considerações finais sobre o trabalho realizado bem como apresenta sugestões para sua continuidade.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo explora o referencial teórico e os trabalhos relacionados ao assunto desta dissertação. A Seção 2.1 apresenta uma breve descrição das principais ferramentas utilizadas, assim como a arquitetura da solução proposta.

A Seção 2.2 apresenta outras propostas de solução similares existentes no mercado e um comparativo com a solução proposta, o Vou de Busão.

2.1 Tecnologias e Ferramentas Utilizadas

Para o desenvolvimento da solução proposta, intitulada Vou de Busão, utilizaram-se tecnologias de *software* que são referência no mercado de desenvolvimento de sistemas [Stack Overflow 2024]. A elaboração de uma arquitetura de *software* Cliente-Servidor foi o primeiro passo para a escolha dessas tecnologias. A partir da escolha desta arquitetura, definiu-se quais seriam as aplicações a serem construídas tanto do lado cliente quanto do lado servidor. Do lado do cliente, foi construída uma aplicação para dispositivos móveis utilizando o React com Expo [Expo 2024] na versão 6.3.10 e uma aplicação *web* utilizando React [React 2025] na versão 18.3.1. Do lado do servidor foi construída uma API (Interface de Programação de Aplicativos) com Python na versão 3.10.12 [Python Software Foundation 2024].

Utilizou-se o banco de dados Firebase [Google Firebase 2024] na infraestrutura da Google Cloud Platform para o armazenamento dos dados provenientes dos dispositivos móveis.

A coleta e o processamento dos dados são componentes essenciais para o desenvolvimento de um sistema de monitoramento. Este trabalho emprega algumas tecnologias de *software* que são referência no mercado [Stack Overflow 2024] para a implementação das funcionalidades e o armazenamento dos dados. Tais tecnologias são apresentadas nas Seções 2.1.1 a 2.1.6.

2.1.1 Arquitetura Cliente-Servidor

A arquitetura Cliente-Servidor é um dos modelos arquiteturais de *software* mais populares em desenvolvimento de sistemas. Essa arquitetura aproveita os recursos de *hardware* tanto do cliente quanto do servidor para atender a uma solicitação e pode ser utilizada tanto em redes locais quanto na Internet. O servidor busca garantir que todas as requisições recebidas do cliente sejam processadas. Muitos aplicativos, como sistemas de *e-mail*, de impressão e caixas eletrônicos, são baseados nesse modelo [NYABUTO 2024].

Segundo Barros [Barros 2023], a arquitetura Cliente-Servidor viabiliza a comunicação remota de diversos dispositivos com servidores responsáveis pelo processamento e armazenamento de dados. Na solução Vou de Busão, a arquitetura Cliente-Servidor é implementada com o cliente instalado no dispositivo móvel do usuário embarcado (passageiro ou motorista) que faz a coleta das coordenadas de localização do ônibus e envia a um servidor central. O servidor registra em tempo real no banco de dados a localização recebida e a disponibiliza de forma controlada, permitindo que outros usuários acessem a posição atualizada do ônibus.

2.1.1.1 Arquitetura da Solução

A Figura 2.1 demonstra a arquitetura Cliente-Servidor na solução Vou de Busão. Do lado cliente, há uma aplicação para dispositivos móveis Android, a partir da qual o usuário compartilha sua localização e monitora, em tempo real, seu transporte de interesse. Há também uma aplicação *web*, destinada à manutenção dos dados coletados por esses dispositivos móveis. Do lado servidor, em uma infraestrutura em nuvem, há uma API atuando como interface de comunicação responsável por trafegar as requisições dos clientes para um banco de dados não relacional do tipo chave-valor. Para demonstrar o fluxo de utilização do Vou de Busão encontra-se, na Seção 3.1.3, o detalhamento completo.

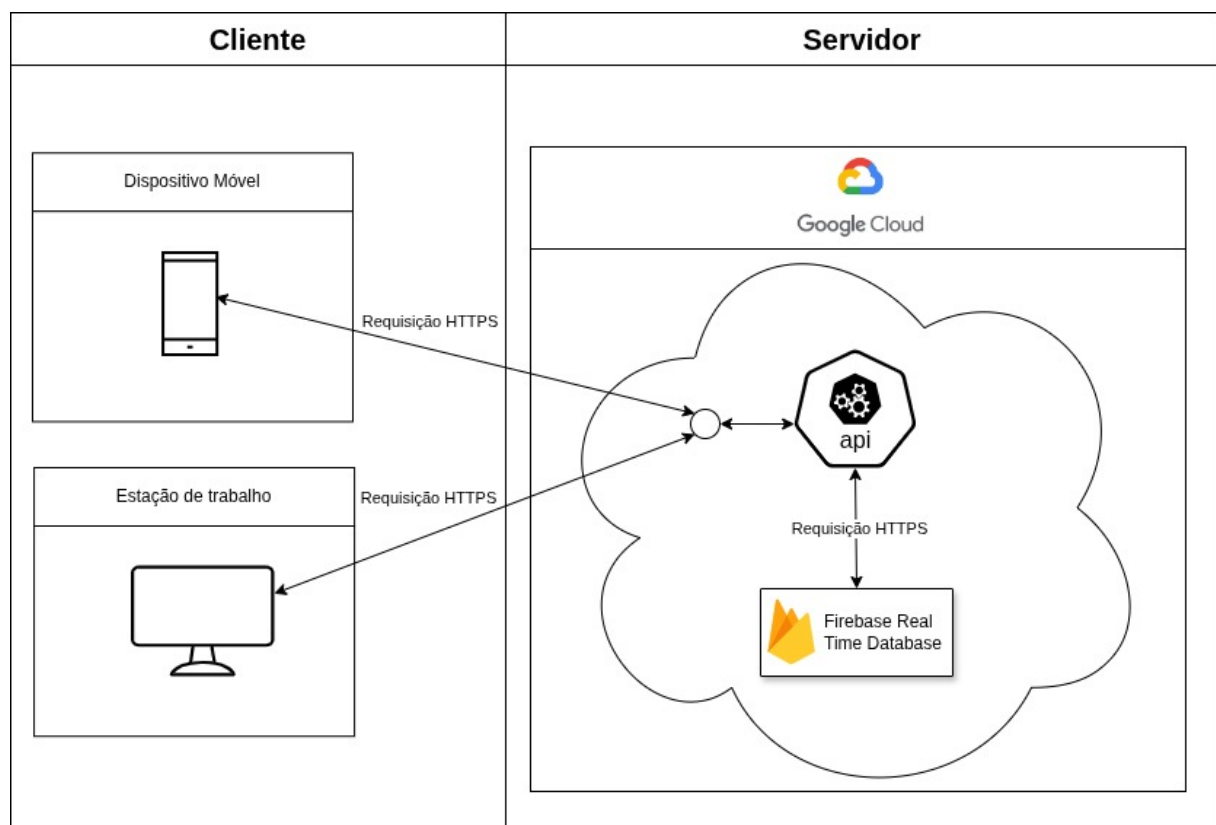


Figura 2.1: Arquitetura da solução proposta.

2.1.2 Infraestrutura em Nuvem

O uso de mapas é essencial para aplicações de monitoramento de localização em tempo real. Nesse contexto, a plataforma Google Maps [Google Maps Platform 2024] destaca-se como uma solução consolidada para a disponibilização de recursos cartográficos e de georreferenciamento, sendo amplamente adotada em aplicações móveis e *web*. Na solução Vou de Busão, essa tecnologia é integrada a uma infraestrutura de *backend* em nuvem baseada no ecossistema Google Cloud Platform (GCP) [Google Cloud 2024].

A fim de viabilizar o acesso remoto às informações do sistema, foi desenvolvida uma API centralizada responsável por receber, processar e disponibilizar os dados de localização coletados pelos dispositivos móveis. Para sua hospedagem e execução, optou-se pelo uso de serviços gerenciados do Google Cloud Platform, os quais reduzem a complexidade operacional típica de ambientes com servidores dedicados e permitem escalabilidade sob demanda.

Dessa forma, no desenvolvimento da solução Vou de Busão, a integração entre o serviço de execução de contêineres gerenciados [Google Cloud Run 2024] e o repositório de artefatos Artifact Registry [Google Artifact Registry 2024] foi fundamental para a composição de uma infraestrutura em nuvem consistente e escalável. O Artifact Registry é responsável por armazenar e versionar, de forma segura, as imagens de contêiner do *backend*, enquanto o Cloud Run executa essas imagens em um ambiente totalmente sem servidor, realizando o escalonamento automático conforme a demanda.

Essa integração nativa reduz a complexidade operacional associada à orquestração de serviços distribuídos e à implantação manual de infraestrutura, simplificando a gestão do ambiente de execução. Como resultado, torna-se possível disponibilizar uma aplicação leve, escalável e com baixo custo operacional, adequada às demandas de processamento, mapas e serviços de localização requeridos pela solução Vou de Busão.

2.1.2.1 Infraestrutura da Solução

A infraestrutura de *backend* da solução Vou de Busão foi hospedada em ambiente de nuvem utilizando os serviços da plataforma Google Cloud [Google Cloud 2024]. Nesta infraestrutura foi disponibilizada uma API por meio de um contêiner no serviço Cloud Run [Google Cloud Run 2024], que permitiu executar aplicações sem necessidade de gerenciamento direto de servidores. O contêiner foi configurado para escutar requisições na porta 5002, conforme definido no campo *container port*, e é baseado em uma imagem armazenada no serviço Artifact Registry [Google Artifact Registry 2024]. Foram alocados 128 MB de memória e 1 vCPU, recursos adequados ao perfil leve e

responsivo da aplicação. Para garantir a disponibilidade, foi configurada uma verificação de integridade (*health check*) via TCP na mesma porta, com tempo limite de resposta de 240 segundos.

Adicionalmente, definiu-se o tempo máximo de resposta da API em 300 segundos e o limite de até 30 requisições concorrentes por instância. A escalabilidade da aplicação foi controlada com o número máximo de instâncias fixado em 1, evitando custos excessivos. O modo de cobrança selecionado foi baseado em requisições, o que significa que a infraestrutura é tarifada apenas durante o processamento efetivo de chamadas HTTP, permanecendo inativa e sem custos quando não está em uso, o que representa uma economia significativa para soluções com demanda intermitente.

A aplicação se comunica com o banco de dados Firebase Realtime Database [Google Firebase 2024], uma solução em nuvem que armazena dados em estrutura hierárquica e sincroniza informações em tempo real entre os dispositivos móveis e a aplicação web. A imagem do *backend* é versionada e mantida no Artifact Registry, o que garante rastreabilidade e segurança durante o ciclo de vida do código.

Também foram utilizados recursos como o Google Maps Kit de desenvolvimento de software (Software Development Kit) (SDK) for Android [Google Maps Platform 2024], com chave de API restrita por nome de pacote e impressão digital do certificado do aplicativo (*SHA-1 fingerprint*), aumentando a segurança no acesso aos serviços de mapas. Essa infraestrutura integrada e escalável permitiu que os dados de localização dos ônibus, os cadastros de usuários e demais informações do sistema fossem acessados e atualizados de forma simultânea, confiável e em tempo real, tanto por usuários embarcados quanto por administradores da plataforma.

2.1.2.2 Estimativa de Custos Operacionais

A viabilidade da solução Vou de Busão não se restringe apenas aos aspectos técnicos, mas também à sustentabilidade econômica da infraestrutura necessária para sua operação. Para avaliar esse fator, elaborou-se uma estimativa de custos baseada em um cenário projetado, no qual se considera que dez veículos transmitam suas coordenadas geográficas a cada 5 segundos durante 17 horas por dia. Os valores apresentados possuem caráter estimativo e visam demonstrar a ordem de grandeza dos custos envolvidos, podendo variar conforme o volume real de utilização da solução e a configuração da infraestrutura.

Custos de Processamento da API (Cloud Run) A API da solução foi hospedada no serviço Google Cloud Run [Google Cloud Run 2024], configurado com 1 vCPU e 128 MB de memória. Considerando o funcionamento dos ônibus no intervalo entre 05h e

22h, totalizando 17 horas de operação diária, e a frequência de envio das coordenadas a cada 5 segundos, obtém-se:

$$17 h \times 3600 \frac{s}{h} = 61.200 s/dia$$

$$\frac{61.200 s}{5 s/requisição} = 12.240 \text{ requisições/dia/ônibus}$$

$$12.240 \text{ requisições/dia} \times 30 \text{ dias} = 367.200 \text{ requisições/mês/ônibus}$$

$$367.200 \text{ requisições/mês/ônibus} \times 10 \text{ ônibus} = 3.672.000 \text{ requisições/mês}$$

Em termos práticos, isso significa que cada veículo transmite sua posição milhares de vezes ao longo de um único dia. Ao projetar esse comportamento para um mês completo de operação, chega-se a centenas de milhares de envios por veículo. Ou seja, em um cenário com dez ônibus ativos nessas condições, o sistema pode receber aproximadamente 3,7 milhões de requisições mensais apenas relacionadas ao envio das coordenadas de localização.

Ressalta-se que, na prática, é improvável que todos os veículos permaneçam com compartilhamento contínuo de coordenadas durante todo o período considerado, uma vez que o funcionamento da solução depende da presença de ao menos um dispositivo móvel ativo no interior do ônibus. Assim, intervalos sem usuários colaboradores são esperados ao longo do dia. Ainda assim, optou-se por adotar esse cenário como referência para a estimativa, por representar uma condição conservadora de uso, permitindo avaliar um limite superior de geração de requisições e, consequentemente, uma projeção de custos mais robusta.

A API realiza operações consideradas computacionalmente leves, como validação de autenticação, recepção de coordenadas e escrita no banco de dados. Como não foram realizadas medições empíricas do tempo de processamento por requisição, adotou-se, exclusivamente para fins de modelagem teórica de custos, um valor hipotético de dezenas de milissegundos por requisição, com o objetivo de estimar a ordem de grandeza do consumo de recursos computacionais. Para viabilizar os cálculos, esse valor foi representado por 0,05 segundos (equivalente a 50 milissegundos) de tempo de CPU por requisição. Assim, o consumo mensal estimado de processamento é dado por:

$$3.672.000 \times 0,05 \text{ s} = 183.600 \text{ vCPU-seconds/mês}$$

Esse resultado representa o tempo total de processamento hipotético consumido pelo conjunto de requisições ao longo de um mês, sendo utilizado apenas como parâmetro de referência para a estimativa de custos.

Esse valor permanece praticamente dentro da cota gratuita mensal do Cloud Run, resultando em custo residual inferior a poucos dólares por mês para o processamento da API. A cobrança por número de requisições também tende a permanecer baixa, uma vez que parte significativa do volume encontra-se coberta pela franquia gratuita do serviço [Google Cloud 2025].

Custos de Armazenamento de Contêiner (Artifact Registry) A imagem da aplicação é armazenada no Google Artifact Registry [Google Artifact Registry 2024]. Como o tamanho das imagens de contêiner de aplicações desse porte tende a ser relativamente reduzido, o custo mensal de armazenamento no repositório permanece baixo, sendo pouco representativo quando comparado aos demais componentes da infraestrutura.

Custos de Dados em Tempo Real (Firebase Realtime Database) A distribuição das coordenadas para os usuários ocorre por meio do Firebase Realtime Database [Google Firebase 2024]. Diferentemente do Cloud Run, cujo custo depende principalmente de processamento, o Firebase é sensível ao volume de dados transferidos aos clientes conectados.

Cada atualização de posição enviada pelo usuário colaborador embarcado no ônibus contém um conjunto reduzido de informações, como identificação do veículo, latitude, longitude e data e hora de envio. Para estimar o volume de dados trafegado, adotou-se um valor hipotético compatível com registros de localização em formato Notação de Objetos JavaScript (JavaScript Object Notation) (JSON), com o objetivo de representar a ordem de grandeza do tráfego gerado por essas atualizações.

Considerando que cada veículo envia 12 atualizações de posição por minuto, um passageiro com o mapa aberto durante uma hora recebe:

$$12 \text{ atualizações/minuto} \times 60 \text{ minutos} = 720 \text{ atualizações/hora}$$

Com base nesse valor de referência, obtém-se:

$$720 \text{ atualizações} \times 300 \text{ bytes} \approx 216.000 \text{ bytes} \approx 0,206 \text{ MB/hora}$$

Em termos práticos, isso significa que um único usuário observando o mapa por uma hora recebe algumas centenas de mensagens de atualização, totalizando apenas uma fração de megabyte de dados. Ao considerar múltiplos usuários conectados simultaneamente, esse volume cresce proporcionalmente, o que permite estimar o tráfego mensal de dados transferidos pelo banco em tempo real.

Mesmo em cenários com dezenas de usuários simultâneos, o volume mensal de dados trafegados tende a permanecer dentro da cota gratuita de saída de dados do Firebase. Custos adicionais passam a ocorrer apenas quando há centenas de usuários conectados por longos períodos, situação em que o consumo cresce de forma linear com o número de observadores [Google Firebase 2025].

Google Maps SDK A visualização cartográfica é realizada pelo Google Maps SDK [Google Maps Platform 2024]. No contexto da solução proposta, o serviço de mapas é utilizado principalmente para a renderização do mapa base e a exibição de marcadores e trajetos previamente definidos. As rotas exibidas no aplicativo correspondem a trajetos já cadastrados e armazenados no sistema, sendo apenas desenhadas sobre o mapa, sem a necessidade de chamadas dinâmicas a serviços externos de cálculo de rotas. Dessa forma, não há uso intensivo de APIs adicionais, como serviços de direções ou lugares, o que contribui para manter o custo associado aos serviços de mapas reduzido no cenário considerado.

Análise Consolidada A análise demonstra que o principal fator de custo da API está relacionado à quantidade de veículos transmitindo dados, enquanto o número de passageiros impacta principalmente o volume de sincronizações em tempo real no Firebase. No cenário experimental com 10 veículos, o custo total mensal da infraestrutura permaneceu inferior a poucos dólares, evidenciando que a arquitetura baseada em serviços *serverless* e banco de dados em tempo real apresenta alta eficiência econômica, sendo viável para municípios de pequeno e médio porte.

2.1.3 Desenvolvimento do *Backend*

A API implementada no *backend* da solução Vou de Busão organiza-se em recursos que representam diferentes rotas e utilizam os verbos HTTP. Toda requisição enviada para o servidor como uma mensagem HTTP deve, obrigatoriamente, incluir um dos métodos HTTP também chamados de verbos: GET, POST, PUT / PATCH e DELETE. Esses métodos indicam ao servidor o tipo de operação que deve ser realizada. Quando um servidor responde a uma solicitação de um cliente, ele inclui na mensagem de resposta um código de três dígitos. Esse código informa ao cliente o resultado da tentativa do servidor de interpretar e atender ao pedido. Por exemplo, um código 200 indica que a solicitação foi bem-sucedida, enquanto um 404 significa que o recurso

solicitado não foi encontrado [Gonçalves 2022].

Para garantir a segurança das rotas críticas a solução Vou de Busão utiliza no *backend* a autenticação JWT (*JSON Web Token*). Esses *tokens* contêm as credenciais do usuário e possuem um tempo de expiração controlado de 24 horas, eliminando a necessidade de sessões no servidor e minimizando o tráfego extra para validação. Isso permite que qualquer instância do serviço valide o *token* localmente, sem depender de um repositório central de sessão [JWT.IO 2025].

A API da solução Vou de Busão é desenvolvida na linguagem Python. Essa linguagem foi escolhida para o desenvolvimento da API devido à sua simplicidade e flexibilidade. Por ser uma linguagem interpretada, não exige compilação, o que facilita a escrita e a execução do código. Além disso, *frameworks* como Flask tornam o desenvolvimento ágil, permitindo criar APIs funcionais com poucos arquivos e comandos básicos de instalação [Miranda, Borges e Florian 2024].

Para garantir uma documentação técnica evolutiva e *onboarding* ágil de novos desenvolvedores, o projeto integra o Swagger, que gera automaticamente páginas interativas, onde é possível testar as requisições e visualizar as respostas de sucesso ou erro [Swagger 2025].

2.1.4 Desenvolvimento do *Frontend*

O avanço tecnológico e a ampla adoção de soluções digitais mudaram significativamente a maneira como os usuários se relacionam com produtos e serviços. Com isso, conceitos como usabilidade, experiência do usuário e interface do usuário passaram a ser determinantes para o êxito de plataformas digitais [Camargo e Farina 2024].

Inserida nesse cenário, a solução Vou de Busão é desenvolvida com a proposta de oferecer uma interface com organização visual intuitiva, além de ser funcional e acessível para dispositivos móveis. Para isso, optou-se pela adoção do React Native [React Native 2025] em conjunto com o Expo [Expo 2024], para o desenvolvimento baseado na linguagem JavaScript [JavaScript 2025]. O React Native é um *framework* de código aberto que viabiliza o desenvolvimento de aplicativos para Android e iOS por meio do uso de JavaScript e da biblioteca React. A escolha do React Native para o desenvolvimento do aplicativo móvel está relacionada à sua compatibilidade com bibliotecas amplamente utilizadas no ecossistema JavaScript e também a possibilidade de suportar múltiplas plataformas a partir de uma única base de código [Naveen 2024].

O uso do Expo [Expo 2024] contribuiu para a abstração de configurações nativas e para o acesso simplificado a funcionalidades essenciais do dispositivo, como serviços de localização e leitura do código QR, requisitos fundamentais para a implementação do aplicativo móvel Vou de Busão. Além disso, sua adoção favoreceu a agilidade no

processo de desenvolvimento ao reduzir a necessidade de configurações manuais do ambiente e de implementação direta de código nativo. O Expo consiste em um conjunto de ferramentas e serviços construídos sobre o React Native, cuja finalidade é oferecer um ambiente de desenvolvimento previamente configurado, responsável por gerenciar etapas técnicas do ciclo de desenvolvimento, como compilação, empacotamento e acesso a APIs nativas, permitindo maior foco na implementação da lógica da aplicação em JavaScript [Sarwar 2025].

Além da aplicação para dispositivos móveis, desenvolveu-se uma aplicação *web* utilizando o *framework* React para facilitar o cadastro e a manutenção dos dados da solução Vou de Busão. Essa interface *web* permite que administradores gerenciem informações essenciais para o funcionamento da solução como usuários, itinerários, rotas e paradas.

2.1.5 Armazenamento dos Dados

Firebase é uma plataforma desenvolvida pela Google que unifica serviços como autenticação, bancos de dados *NoSQL* (Realtime Database e Cloud Firestore), armazenamento de arquivos, funções sem servidor e mensageria, proporcionando um ecossistema completo para o desenvolvimento de aplicações [Google Firebase 2024]. Esse serviço dispensa a necessidade de servidores próprios, pois os SDKs (Kit de Desenvolvimento de *Software*) para dispositivos móveis e aplicações *web* se conectam diretamente ao *backend*, viabilizando uma lógica totalmente sem servidor [Firebase Realtime Database 2024].

Na solução Vou de Busão, o Firebase Realtime Database atua como canal de sincronização da posição do ônibus em tempo real. Cada registro (latitude, longitude, horário) é automaticamente propagado para todos os dispositivos conectados, garantindo uma atualização contínua. Essa escolha atende à necessidade de baixa latência em sistemas de monitoramento e simplifica a implementação, pois os SDKs disponibilizados pelo serviço se comunicam diretamente com o *backend*. O Firebase Realtime Database sincroniza os dados em tempo real utilizando modelo JSON (*JavaScript Object Notation*), sendo ideal para aplicações que demandam atualizações constantes [Bernardino e Barros 2025].

2.1.6 Monitoramento

Para o monitoramento remoto de veículos do tipo ônibus, há trabalhos que propõem a utilização de sensores do Sistema de Posicionamento Global (Global Positioning System) (GPS) e módulos de microcontroladores para a coleta dos dados tal como o microcontrolador P87C591. Este controlador foi utilizado no projeto (Sistema integrado de informações de ônibus urbanos (City Bus Integrated Information

System) (CBIIICS) - City-Bus Information Integrated Control System) não somente para o compartilhamento de dados em tempo real, como também para observar o modo de condução do motorista [Santos 2022].

Outra proposta de monitoramento remoto [Mundada et al. 2023] propõe a utilização de microcontrolador Arduino Duemilanove com módulos GPS EM-406A e GSM/GPRS. Este conjunto de *hardwares* compõe um módulo denominado GPS Device Bus a ser instalado em todos os ônibus para proporcionar o rastreamento.

Propostas de solução que dependem da instalação de microcontroladores e sensores de GPS nos ônibus, além de aumentar a complexidade e o custo da solução, também estão sujeitas a falhas na coleta dos dados como o ocorrido nos ônibus da concessionária Next Mobilidade, que opera no ABC Paulista [Transporte 2021].

De forma inovadora, a solução Vou de Busão elimina a necessidade de instalação de qualquer *hardware* nos ônibus. Isso é possível porque o próprio usuário do transporte, por meio de seu dispositivo móvel, é capaz de compartilhar a localização do veículo em tempo real. Esse modelo colaborativo permite inclusive a existência de múltiplas fontes de dados para um mesmo ônibus, uma vez que diferentes usuários embarcados podem compartilhar simultaneamente suas posições, aumentando a robustez do monitoramento. Para garantir que haja uma posição inicial do ônibus antes do embarque do primeiro passageiro, o motorista também pode utilizar seu dispositivo móvel para iniciar o compartilhamento da localização, assegurando o funcionamento contínuo da solução desde o início da operação. Apesar de o funcionamento da solução estar condicionado à presença de ao menos um dispositivo móvel ativo no interior do veículo, tal característica pode ser considerada aceitável no contexto de cidades de pequeno e médio porte, especialmente quando comparado ao alto custo de soluções embarcadas.

2.2 Estado da Arte

A popularização da Internet tornou viável o crescimento do volume de dados compartilhados, possibilitando que seus usuários participem da criação deste conteúdo. Muitas pessoas passaram a ter acesso a informações em tempo real a partir de seus dispositivos móveis devido às tecnologias de sensores, câmeras digitais, sistemas de georreferenciamento e inteligência artificial. Tais tecnologias contribuem para a divulgação do conceito de cidades inteligentes quando aplicadas de forma integrada para resolver problemas do cenário urbano [Andrade e Galvão 2016].

Outro conceito importante a se destacar é o de Mobilidade como serviço (Mobility as a Service) (MaaS) que se trata da combinação de diferentes meios de mobilidade urbana integrados por meio de uma única plataforma digital centrada no usuário. Assim,

este usuário poderá ter suas necessidades individuais de deslocamento atendidas com eficiência e flexibilidade [Fernandes 2021]. O desenvolvimento de plataformas digitais centradas no usuário, com uso das tecnologias aplicadas à mobilidade urbana, tornou-se um segmento de negócio. Neste segmento, algumas empresas, como a Moovit [Moovit 2024] e a CittaMobi [Cittamobi 2024], já se consolidaram como referência quando o assunto é o monitoramento de transporte coletivo.

Através do aplicativo para dispositivos móveis, a Moovit oferece soluções para facilitar o deslocamento em capitais e grandes centros urbanos com foco no transporte público. Disponível em mais de 100 países e 3.400 cidades em todo o mundo, seu aplicativo oferece informações em tempo real sobre ônibus, trens, metrô, etc. Porém, as coordenadas disponibilizadas pela Moovit são fornecidas pelos próprios veículos [Moovit 2024], diferentemente da proposta Vou de Busão de coleta de coordenadas de forma colaborativa. Em uma pesquisa realizada em 2023, houve a manifestação de algumas queixas por parte dos usuários do aplicativo Moovit no Brasil. Excesso de publicidade comprometendo a experiência do usuário, instabilidade dos horários disponibilizados gerando perda de confiabilidade no aplicativo, indisponibilidade de algumas linhas em regiões periféricas da cidade e interface pouco intuitiva levando o usuário a ficar perdido no acompanhamento de seu trajeto são algumas dessas queixas [Carvalho et al. 2023].

Para evitar os erros mencionados nesta pesquisa, a solução Vou de Busão proposta neste projeto apresenta as seguintes características:

- a) no que se refere a possíveis estratégias de monetização, a solução Vou de Busão admite, como perspectiva futura, a eventual realização de parcerias com gestores do transporte coletivo e outras partes interessadas que demonstrem interesse em análises dos dados coletados pela solução. Ressalta-se que tais iniciativas configuram-se apenas como hipóteses de exploração futura da solução, não estando previstas implementações comerciais ou mecanismos de compartilhamento de dados na versão apresentada neste trabalho.
- b) a localização do ônibus em tempo real é disponibilizada para o usuário a fim de garantir-lhe previsibilidade na espera pelo transporte.
- c) todo ônibus está automaticamente disponível para o monitoramento desde que haja ao menos um dispositivo móvel embarcado compartilhando sua localização, podendo ser inclusive o do próprio motorista.
- d) a interface do aplicativo para dispositivos móveis foi desenvolvida sem a exibição de publicidades para garantir a melhor experiência de navegação para o usuário.

O CittaMobi é outro aplicativo para dispositivos móveis disponível há 10 anos no mercado [Cittamobi 2024]. Popularmente utilizado em grandes centros urbanos no país, permite aos seus usuários consultar informações sobre o transporte público em tempo real. Além disso, também é possível aos seus usuários consultar o nível de ocupação do transporte e, em caso de emergência durante a viagem, utilizar um botão de pânico para notificar as autoridades. Conforme divulgado no site oficial do aplicativo CittaMobi, ele é ofertado para 330 cidades em 19 estados do Brasil, atendendo em torno de 25 milhões de usuários por meio do monitoramento de mais de 70 mil ônibus. O problema é que a disponibilidade deste aplicativo é voltada somente para os grandes centros urbanos. Os itinerários, horários e localização dos transportes em tempo real somente são disponibilizados para a população de grandes cidades.

A solução Vou de Busão proposta busca ser uma alternativa para levar às cidades de pequeno e médio porte um serviço cuja oferta, em grande parte, ainda se concentra nos grandes centros urbanos. Nesse contexto, para situar as soluções atualmente disponíveis no mercado e fundamentar a comparação apresentada na Tabela 2.1, apresenta-se a seguir uma breve caracterização das aplicações analisadas, com base nas informações disponibilizadas em suas respectivas fontes oficiais:

- a) **Cadê Meu Ônibus:** aplicativo voltado ao acompanhamento de veículos do transporte coletivo em determinadas capitais, com foco na exibição da posição dos ônibus em tempo real [Cadê Meu Ônibus 2024].
- b) **BusFinder:** aplicativo destinado ao monitoramento de linhas de ônibus urbanos, oferecendo visualização de rotas e horários conforme dados divulgados na loja de aplicativos [BusFinder 2024].
- c) **Urbes:** aplicativo vinculado ao sistema de transporte público de Sorocaba, disponibilizando informações sobre linhas e itinerários [Urbes 2024].
- d) **Rio de Janeiro Metro Bus BRT V:** aplicativo associado ao sistema BRT do Rio de Janeiro, com funcionalidades de consulta de horários e acompanhamento de veículos [Rio de Janeiro Metro Bus BRT V 2024].
- e) **Floripa no Ponto 2.0:** aplicativo regional para consulta de informações do transporte coletivo em Florianópolis [Floripa no Ponto 2.0 2024].
- f) **TRI:** aplicativo relacionado ao sistema de bilhetagem e transporte da cidade de Porto Alegre, com foco em informações operacionais [TRI 2024].
- g) **ÓtimoAPP+:** aplicativo associado ao sistema de transporte coletivo da região metropolitana de Belo Horizonte [ÓtimoAPP+ 2024].

- h) **Mobe:** aplicativo regional voltado ao transporte coletivo nas cidades de João Pessoa e Campina Grande, oferecendo recursos de acompanhamento de linhas de ônibus [mobe 2024].
- i) **HBus Recife:** aplicativo voltado ao sistema de ônibus da cidade do Recife, com funcionalidades de consulta de informações de transporte [HBus Recife 2024].

Uma comparação entre as principais propostas existentes no mercado pode ser visualizada na Tabela 2.1. Nessa comparação, é possível notar que, apesar de a maioria dos aplicativos oferecer monitoramento do transporte em tempo real, a disponibilidade regional concentra-se principalmente nas capitais. Não estão incluídas nessa cobertura as cidades de pequeno e médio porte, que constituem o principal público-alvo da solução Vou de Busão. Além disso, a proposta apresentada distingue-se por não impor restrições geográficas à sua aplicação, podendo ser adotada em qualquer localidade sem a necessidade de requisitos específicos ou adaptações nos veículos.

Nome do Aplicativo	Disponibilidade Regional	Exibição das Rotas	Horários dos Ônibus	Uso colaborativo	Monitoramento do Transporte em Tempo Real	Fonte
Moovit	Nacional (principais capitais)	Sim	Sim	Não	Sim	[Moovit 2024]
CittaMobi	São Paulo, Salvador, Recife, entre outras	Não	Sim	Não	Sim	[Cittamobi 2024]
Cadê Meu Ônibus	Manaus, São Paulo	Não	Não	Não	Sim	[Cadê Meu Ônibus 2024]
BusFinder	São Paulo (capital)	Sim	Sim	Não	Sim	[BusFinder 2024]
Urbes	Sorocaba	Sim	Sim	Não	Não	[Urbes 2024]
Rio de Janeiro Metro Bus BRT V	Rio de Janeiro	Não	Sim	Não	Sim	[Rio de Janeiro Metro Bus BRT V 2024]
Floripa no Ponto 2.0	Florianópolis	Não	Sim	Não	Sim	[Floripa no Ponto 2.0 2024]
TRI	Porto Alegre	Não	Não	Não	Não	[TRI 2024]
ÓtimoAPP+	Belo Horizonte	Não	Não	Não	Não	[ÓtimoAPP+ 2024]
Mobe	João Pessoa e Campina Grande	Sim	Não	Não	Sim	[mobe 2024]
HBus Recife	Recife	Sim	Sim	Não	Não	[HBus Recife 2024]
Vou de Busão	Cataguases, Leopoldina e demais cidades do interior	Sim	Não	Sim	Sim	

Tabela 2.1: Comparativo com os principais aplicativos de transporte coletivo no Brasil.

3 SOLUÇÃO PROPOSTA

O Vou de Busão foi desenvolvido com base no conceito de Produto Mínimo Viável (Minimum Viable Product) (MVP), apresentado por Eric Ries em sua obra *The Lean Startup* [Ries 2011]. Segundo o autor, a abordagem consiste na construção incremental de um produto, partindo de versões minimamente funcionais que são testadas e aprimoradas com base no aprendizado obtido em cada ciclo. A cada iteração, denominada pelo autor como ciclo Construir–Medir–Aprender, novos conhecimentos orientam melhorias, possibilitando a evolução contínua do produto com o menor esforço e recursos necessários. Nesse contexto, a metodologia adotada para o desenvolvimento desta solução caracterizou-se como iterativa e incremental, com validações realizadas em campo ao longo das diferentes etapas do projeto.

Na etapa de concepção do MVP, desenvolveu-se o aplicativo Vou de Busão, direcionado a dispositivos móveis com sistema operacional Android. O objetivo principal desta etapa foi disponibilizar a visualização do ônibus de interesse do usuário no mapa. Para isso, foram implementadas as funcionalidades essenciais do sistema, incluindo cadastro de usuários, autenticação via *login*, pesquisa por itinerários e visualização de mapas (vide seção 3.1.5).

Na segunda etapa de desenvolvimento, o aplicativo passou por aprimoramentos voltados ao monitoramento em tempo real do transporte coletivo. Foram implementadas funcionalidades que permitem aos usuários compartilhar sua localização geográfica enquanto o aplicativo está em primeiro plano, viabilizando o acompanhamento dinâmico do posicionamento dos ônibus. Esse modelo colaborativo possibilita a atualização contínua das informações de deslocamento, contribuindo para que os demais usuários visualizem com maior precisão o trajeto percorrido e a localização atual do veículo ao longo do itinerário (vide seção 3.1.5).

Na terceira etapa de desenvolvimento, o aplicativo foi novamente aprimorado com a implementação de funcionalidades adicionais, como a pesquisa de satisfação opcional e o compartilhamento da localização em segundo plano. Esses recursos visam melhorar a experiência do usuário e ampliar a cobertura de monitoramento em tempo real, mesmo quando o aplicativo não está em primeiro plano (vide seção 3.1.5).

Durante as três primeiras etapas do desenvolvimento, as funcionalidades do aplicativo móvel foram implementadas e testadas com o uso de dados simulados, permitindo validar a interface, os fluxos de navegação e a lógica de funcionamento do sistema sem a dependência de uma infraestrutura de servidor definitiva. Essa estratégia possibilitou reduzir a complexidade inicial do projeto e concentrar esforços

na experiência do usuário e na validação conceitual da solução.

Na quarta etapa, identificou-se a necessidade de criar uma aplicação de servidor *backend* capaz de processar e armazenar os dados compartilhados pelos dispositivos móveis. Para atender a esse requisito, desenvolveu-se uma API (Interface de Programação de Aplicações) (vide seção 3.1.7) que atua como interface de comunicação entre o aplicativo móvel e o banco de dados Firebase [Google Firebase 2024], garantindo a persistência das informações trafegadas (vide seção 2.1).

Na quinta etapa, desenvolveu-se uma aplicação *web* destinada à manutenção dos dados persistidos no banco de dados. Essa interface administrativa viabiliza a gestão centralizada das informações, permitindo ações como cadastro, edição, exclusão e auditoria dos registros coletados durante o uso da solução (vide seção 3.1.6).

Este capítulo descreve de forma detalhada o funcionamento desta solução após suas etapas iniciais e implementação dos incrementos do MVP.

3.1 Funcionamento da Solução Proposta

A solução proposta é composta por duas partes integradas: aplicativos móvel e *web* no *frontend* e uma API no *backend*. Ambas operam de forma complementar para possibilitar o monitoramento em tempo real do transporte coletivo, além da coleta e armazenamento dos dados.

3.1.1 Privacidade, aspectos éticos e conformidade legal

Considerando que a solução proposta Vou de Busão envolve o compartilhamento de dados de localização geográfica, faz-se necessária a discussão dos aspectos relacionados à privacidade, à ética e à conformidade legal, associados ao seu uso. Embora o Vou de Busão adote um modelo de compartilhamento controlado, no qual o envio das informações ocorre de forma voluntária e consciente por parte do usuário, é importante destacar que o tratamento desses dados representa um risco potencial caso não sejam observados princípios adequados de proteção e uso responsável da informação.

No contexto da solução Vou de Busão, os dados compartilhados correspondem à identificação e localização do dispositivo móvel embarcado no ônibus, e não à identificação direta do usuário enquanto indivíduo, sendo a estrutura de armazenamento desses dados detalhada na seção 3.1.2. Dessa forma, a solução foi concebida para operar de maneira colaborativa e anonimizada, limitando-se à coleta do modelo e marca do dispositivo, bem como das coordenadas geográficas indispensáveis para o acompanhamento do deslocamento do ônibus, sem associá-las a informações pessoais sensíveis ou excessivas além do estritamente necessário ao funcionamento da solução.

Além disso, a participação do usuário no compartilhamento da localização é opcional e baseada em consentimento explícito, podendo ser iniciada e interrompida a qualquer momento. Esse caráter voluntário constitui um elemento central da solução, alinhando-se a princípios éticos fundamentais relacionados à autonomia do usuário e à transparência no uso dos dados coletados.

Como forma de operacionalizar esse consentimento explícito na prática, o aplicativo móvel da solução Vou de Busão inclui uma tela específica de aceite de privacidade, apresentada ao usuário antes do início da utilização plena da solução, conforme ilustrado na Figura 3.4. Nessa interface, são descritas, em linguagem acessível, as categorias de dados que podem ser utilizadas pelo sistema. O prosseguimento no uso do aplicativo somente é permitido após a manifestação ativa de concordância por parte do usuário, caracterizando um mecanismo de consentimento informado e reforçando o compromisso da solução com princípios de transparência e controle do usuário sobre seus próprios dados.

Ainda que esta dissertação não tenha como foco uma análise jurídica aprofundada, reconhece-se a importância de que futuras evoluções desta solução mantenham as diretrizes estabelecidas pela Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) [Brasil 2018], especialmente no que se refere ao consentimento informado, à minimização dos dados coletados, à finalidade do uso das informações e à prevenção de usos indevidos ou de rastreamento não autorizado. Ressalta-se que a concepção atual da solução já incorpora esses princípios por meio do consentimento explícito, da coleta restrita ao necessário e do caráter voluntário do compartilhamento da localização.

A inclusão dessa discussão reforça a necessidade de que soluções tecnológicas voltadas à mobilidade urbana sejam desenvolvidas não apenas sob a ótica funcional e tecnológica, mas também à luz de princípios éticos e de privacidade.

3.1.2 Banco de Dados Realtime com Firebase

A solução Vou de Busão utiliza o Firebase Realtime Database para persistência de dados. Trata-se de um banco de dados não relacional do tipo *NoSQL*, com estrutura hierárquica baseada em chave-valor, que permite a sincronização em tempo real entre os clientes e o servidor, além de fornecer integração facilitada com aplicações móveis Android.

Esse modelo de banco de dados foi escolhido por sua simplicidade, baixo custo inicial (plano gratuito Spark), escalabilidade automática e capacidade de atender múltiplos dispositivos simultaneamente sem necessidade de configuração complexa de servidores ou infraestrutura dedicada.

O plano gratuito Spark do Firebase inclui cotas específicas para o Realtime

Database que atendem às necessidades de prototipagem e aplicações de pequeno porte sem custos financeiros, como até 100 conexões simultâneas de clientes, até 1 GB de dados armazenados e até 10 GB de dados baixados por mês, conforme as limitações definidas na página de preços da plataforma. Essas cotas permitem que o desenvolvimento e os testes iniciais do sistema ocorram sem a necessidade de um plano pago, desde que o uso de armazenamento, tráfego e conexões permaneça dentro dos limites estabelecidos pelo plano gratuito [Google Firebase 2025].

A estrutura de dados no Firebase foi organizada em nós principais, cada um representando um aspecto funcional da solução. Os dados são estruturados de forma hierárquica, permitindo acessos rápidos e segmentados. A seguir, são descritas as principais chaves utilizadas no banco:

- a) **CidadeBairros**: Contém o cadastro das cidades e seus respectivos bairros atendidos pela solução. Cada entrada possui o nome da cidade e uma lista ordenada de bairros. Essa estrutura é utilizada para filtrar e localizar os itinerários disponíveis, com base na seleção feita pelo usuário na interface do aplicativo.
- b) **Itinerario**: Agrupa as informações relacionadas às linhas de ônibus cadastradas, incluindo nome da linha, empresa responsável, cidade atendida, bairros percorridos e os respectivos pontos de parada. Esses dados são utilizados tanto para exibir a lista de rotas disponíveis quanto para renderizar visualmente os trajetos no mapa.
- c) **LoginDispositivo**: Armazena dados de rastreamento dos acessos realizados por dispositivos móveis. Cada registro contém informações como *e-mail* do usuário, versão do aplicativo, fabricante, modelo do aparelho, sistema operacional e data/hora do *login*. Esses dados auxiliam na auditoria e análise de uso da aplicação.
- d) **Pesquisas**: Responsável por armazenar os resultados das pesquisas de satisfação realizadas pelos usuários ao final do compartilhamento da localização. Cada resposta inclui dados como cidade, empresa, linha, *e-mail* do usuário, nota de avaliação e sugestão textual opcional.
- e) **Posicao**: Um dos nós mais dinâmicos do banco, utilizado para armazenar em tempo real a posição geográfica compartilhada pelos usuários embarcados. Os dados são organizados por data, cidade, empresa e linha, e cada ponto inclui latitude, longitude e data/hora. Essa estrutura viabiliza a renderização dos trajetos e o acompanhamento do deslocamento dos ônibus no mapa.
- f) **TempoTela**: Nó destinado ao registro de eventos de navegação dos usuários relacionados exclusivamente às telas de visualização da localização do ônibus e

de compartilhamento da posição. Cada entrada armazena informações como o *e-mail* do usuário, nome da tela acessada, tipo de ação realizada, por exemplo, *Enter* (entrada) ou *Exit* (saída), e a data/hora do evento. O tempo de permanência nessas duas telas específicas é utilizado para o cálculo de um saldo entre o período em que o usuário contribui com dados de localização e o período em que consome informações do sistema. Caso esse saldo seja positivo, o usuário permanece habilitado a visualizar a localização do ônibus de interesse. Essa lógica reforça o caráter colaborativo da solução, incentivando a participação ativa dos usuários e promovendo um equilíbrio entre o consumo e a geração de dados.

- g) **Usuarios:** Contém o cadastro dos usuários da solução, com campos como nome completo, *e-mail*, senha, data de criação do cadastro e o papel de acesso (administrador ou usuário comum). Essa estrutura permite o controle de permissões no aplicativo *web*.

A Figura 3.1 apresenta um recorte da estrutura de dados implementada no Firebase Realtime Database. Observa-se a organização hierárquica dos nós e o nó *Posicao*, responsável pelo armazenamento em tempo real das coordenadas geográficas compartilhadas pelos usuários colaboradores.

Ressalta-se que a solução não utiliza número de telefone e não realiza rastreamento individualizado contínuo do deslocamento do usuário. O *e-mail* é utilizado apenas para autenticação e auditoria do sistema, não sendo empregado para fins de monitoramento individualizado de deslocamentos. As informações armazenadas para o funcionamento da solução restringem-se aos dados de localização geográfica, bem como à identificação técnica do dispositivo móvel, como modelo e fabricante, empregadas exclusivamente para viabilizar o acompanhamento do deslocamento dos veículos e a análise operacional do uso da aplicação. Essa abordagem busca coletar apenas os elementos estritamente necessários ao propósito funcional da solução.

Tal estratégia reduz o risco de identificação direta de indivíduos e contribui para a conformidade com princípios de proteção de dados previstos na LGPD, como finalidade, necessidade e adequação [Brasil 2018].



Figura 3.1: Estrutura de dados implementada.

A escolha por utilizar o Firebase foi fundamental para reduzir a complexidade no gerenciamento do *backend*, já que o sistema não exige um servidor intermediário para persistência. Toda a comunicação entre o aplicativo móvel, o aplicativo *web* e a base de dados é mediada por uma API que centraliza e valida as requisições, garantindo

segurança e integridade das informações conforme descrito na Seção 3.1.7.

3.1.3 Jornada do Usuário

Conforme ilustrado na Figura 3.2, a jornada do usuário no aplicativo Vou de Busão inicia-se com a autenticação na plataforma, por meio da tela de *login*. Após a validação das credenciais, o sistema apresenta uma tela de aceite de uso de dados, na qual são descritas as informações que poderão ser utilizadas pela solução. Essa etapa garante que o usuário manifeste seu consentimento de forma explícita antes da utilização plena das funcionalidades do aplicativo.

Concluído o registro do consentimento, o usuário é direcionado para a tela de escolha de opção, na qual deve selecionar uma das modalidades de uso disponíveis: escolher o seu destino e acompanhar a localização do ônibus em tempo real, atuando como passageiro observador; ou, caso já esteja embarcado no veículo, realizar a leitura do código QR disponível no interior do ônibus para compartilhar sua posição com outros usuários, assumindo o papel de passageiro colaborador no funcionamento da solução.

Ao optar por acompanhar a localização de um ônibus, o usuário é direcionado à tela de pesquisa de itinerário, onde deverá informar a cidade e o bairro de destino. Com base nessas informações, a aplicação consulta a base de dados e apresenta as linhas disponíveis que atendem ao trajeto selecionado. Ao escolher uma linha e um ponto de desembarque, é exibido um mapa com a rota, os pontos de parada, o ponto de desembarque e a localização atual do ônibus, permitindo o acompanhamento em tempo real.

Por outro lado, se o usuário desejar compartilhar a posição do transporte no qual está embarcado, deverá escanear o código QR disponível no interior do veículo. A leitura do código permite identificar corretamente a linha e a empresa do transporte, habilitando o compartilhamento da posição atual do veículo com outros usuários.

Durante o compartilhamento, o usuário tem acesso a funcionalidades adicionais como o compartilhamento da posição em segundo plano. Essa funcionalidade, cujo desafio de implementação é discutido na Seção 3.1.8.1, permite que o usuário utilize outros aplicativos durante o trajeto sem interromper o envio das informações de localização. Além disso, é possível responder a uma pesquisa de avaliação do serviço com nota de 0 a 10 e sugestão textual opcional, baseada na metodologia Índice de Promotores Líquidos (Net Promoter Score) (NPS) [NASCIMENTO, Silva e Cardoso 2020].

A jornada do usuário é concluída ao encerrar o compartilhamento da posição, seja de forma manual, automática após trinta minutos ou ao alcançar o destino final previamente informado conforme ilustrado na Figura 3.6.

A solução atual emprega alguns mecanismos de garantia da qualidade dos

dados por meio da adoção de critérios como a leitura de código QR para a identificação do ônibus, a validação do deslocamento do ônibus pela comparação da distância entre cada coordenada enviada e as coordenadas previamente cadastradas para a rota, a exigência de uma velocidade mínima para o envio das coordenadas e o suporte ao envio simultâneo das coordenadas por múltiplos dispositivos embarcados no mesmo ônibus. Embora a versão atual do sistema não implemente técnicas avançadas de fusão e validação de dados, esses mecanismos configuram medidas iniciais que contribuem para a mitigação de dados inconsistentes ou indevidos.

A Seção 3.1.5 apresenta o detalhamento das interfaces correspondentes a cada etapa destacada na jornada do usuário.

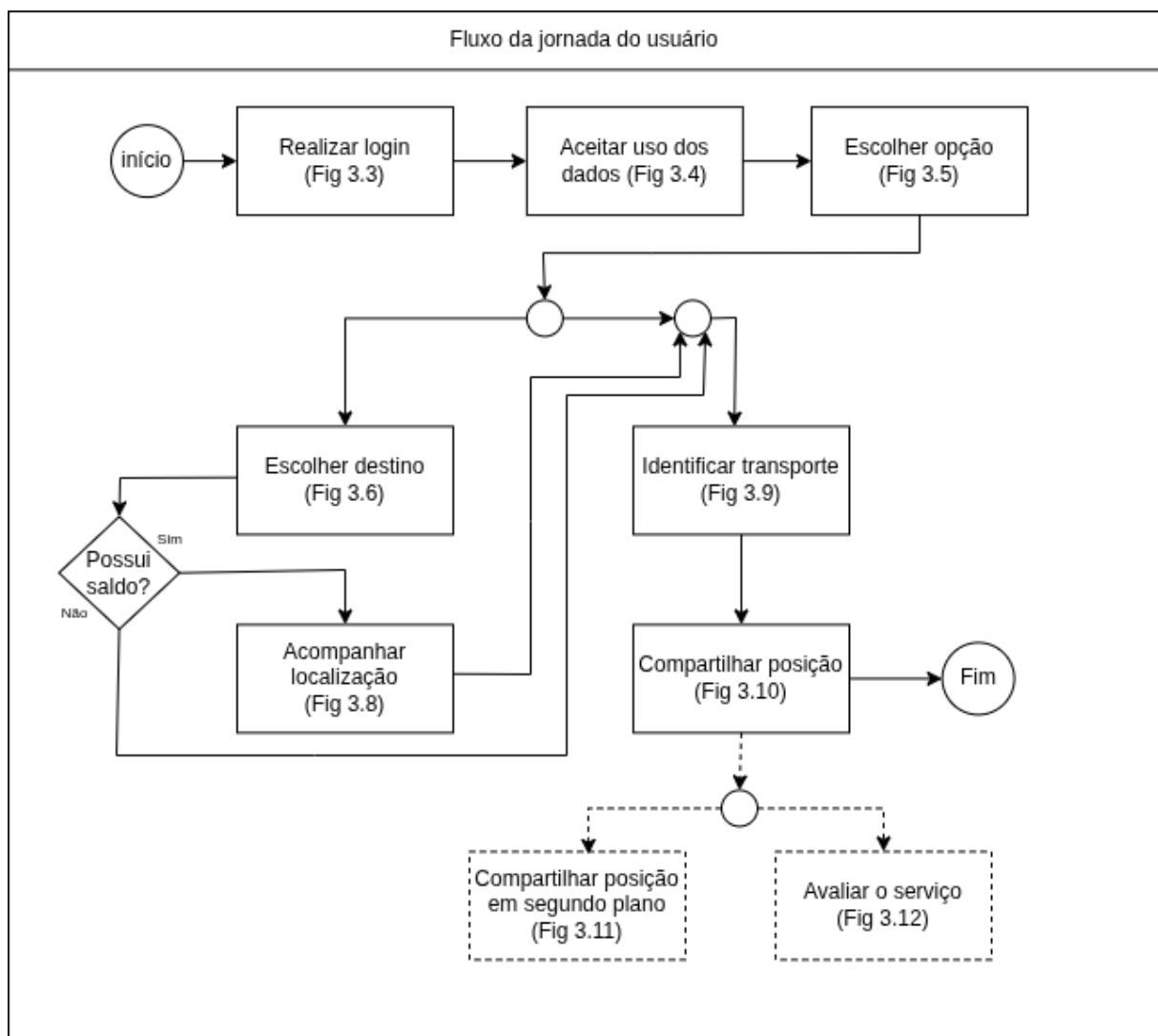


Figura 3.2: Jornada do usuário.

3.1.4 Cálculo da Distância entre Pontos no Mapa

Durante o desenvolvimento da solução Vou de Busão, identificou-se a necessidade de calcular a distância em linha reta, em metros, entre duas coordenadas geográficas. Esse cálculo é essencial para verificar se o trajeto do ônibus está de acordo com sua rota, identificar os pontos de parada próximos e confirmar a chegada ao destino final de desembarque conforme ilustrado na Figura 3.8.

Além disso, o cálculo da distância entre as coordenadas geográficas desempenha um papel fundamental na garantia da integridade das informações compartilhadas pelo aplicativo. Ao verificar continuamente a proximidade entre a posição compartilhada e a rota previamente definida do ônibus, a solução assegura que as coordenadas transmitidas estejam efetivamente relacionadas ao trajeto percorrido pelo ônibus. Esse mecanismo contribui para evitar que coordenadas incorretas ou inconsistentes sejam processadas pelo sistema, reforçando a confiabilidade dos dados e a precisão das informações disponibilizadas aos usuários finais.

Para realizar esse cálculo da distância, utilizou-se a fórmula de Haversine [Basyir et al. 2018] que deriva da Lei Esférica dos Cossenos e é utilizada para resolver problemas geoespaciais que precisam considerar a curvatura da Terra no cálculo da distância entre dois pontos geográficos [Santos 2023]. A Equação 3.1 representa a fórmula de Haversine:

$$d = 2 \cdot R \cdot \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\Delta lat}{2} \right) + \cos(lat_1) \cdot \cos(lat_2) \cdot \sin^2 \left(\frac{\Delta lon}{2} \right)} \right), \quad (3.1)$$

onde: d representa a distância entre os pontos geográficos; R corresponde ao raio médio da Terra (aproximadamente 6371 km); lat_1 e lat_2 representam as latitudes dos pontos 1 e 2 em radianos; lon_1 e lon_2 representam as longitudes dos pontos 1 e 2 em radianos; $\Delta lat = lat_2 - lat_1$ e $\Delta lon = lon_2 - lon_1$.

3.1.5 Aplicativo Móvel

Ao executar o aplicativo em seu dispositivo móvel, o usuário é direcionado para a tela de *login*, conforme ilustrado na Figura 3.3. Nesta tela deve-se digitar o *e-mail* e senha previamente cadastrados para ter acesso às funcionalidades do aplicativo.

Após preencher os dados de *login* e tocar no botão iniciar, o sistema verifica a existência do usuário na base de dados e valida a senha informada. Caso tenha esquecido sua senha, é possível recuperá-la através do botão 'Esqueci minha senha' informando o *e-mail* cadastrado. Se for um novo usuário, deve-se realizar o cadastro na solução através da tela de cadastro preenchendo o nome completo, *e-mail* em formato

válido e uma senha de no mínimo seis caracteres. Ao tocar no botão cadastrar, o usuário é direcionado para a tela de *login*.

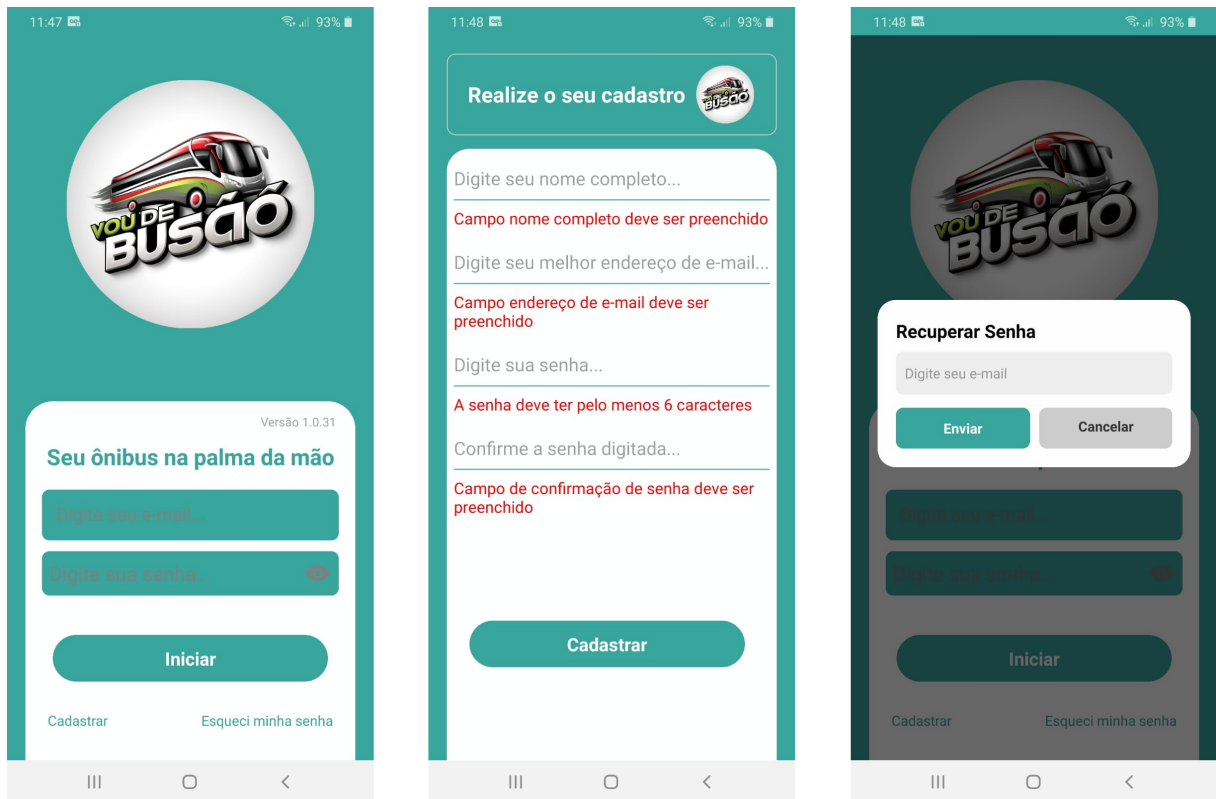


Figura 3.3: Telas de login, cadastro e recuperação de senha.

Após a autenticação bem-sucedida, caso seja o primeiro acesso do usuário ou ainda não tenha sido registrado seu consentimento prévio, o aplicativo apresenta uma tela específica de aceite de privacidade de dados (Figura 3.4). Nessa tela são descritas, em linguagem acessível, as informações que podem ser utilizadas pela solução como dados de localização e características básicas do dispositivo. O prosseguimento no uso pleno do aplicativo somente é permitido após a manifestação ativa de concordância por parte do usuário, caracterizando um mecanismo de consentimento informado e reforçando o compromisso da solução com princípios de transparência, autonomia do usuário e conformidade com diretrizes de proteção de dados.

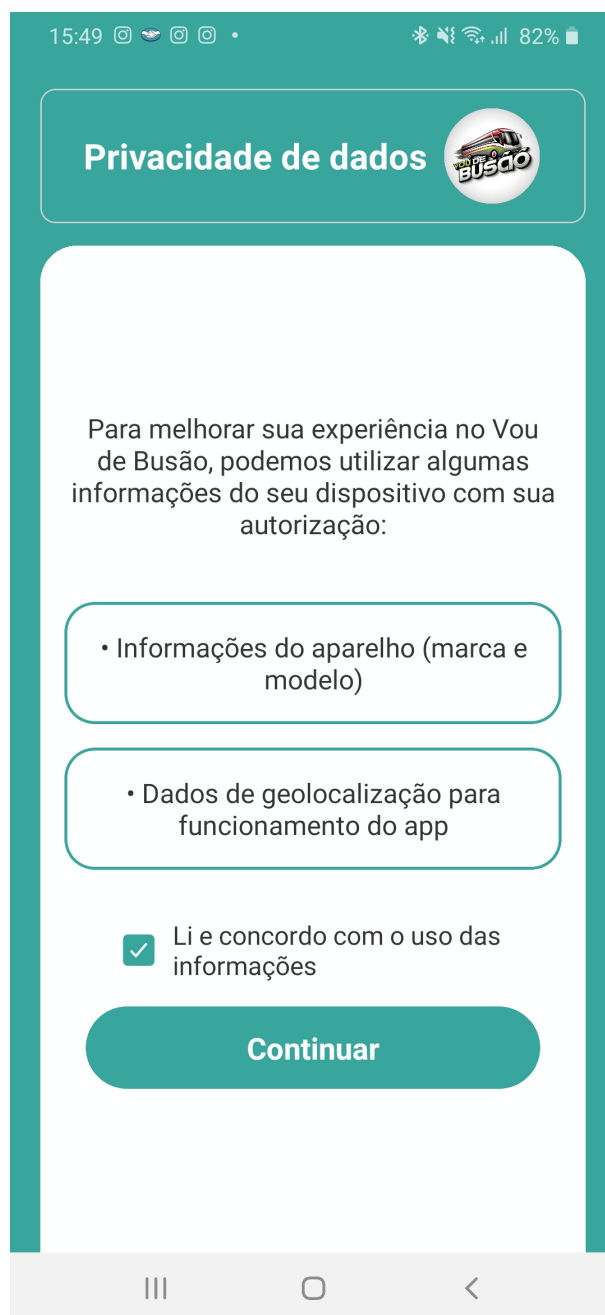


Figura 3.4: Tela para consentimento do uso dos dados.

Após o registro do consentimento de privacidade, o usuário é direcionado para uma tela na qual poderá optar por escolher um destino ou compartilhar sua localização (Figura 3.5). A existência dessa tela na jornada do usuário é fundamental para explicitar os dois modos principais de interação previstos pela solução: o modo de consulta e o modo de colaboração.

No modo de consulta, o usuário atua como passageiro observador, utilizando o aplicativo para pesquisar seu itinerário e acompanhar o deslocamento do veículo até o ponto de embarque desejado, sem necessariamente contribuir com dados de

localização. Já como passageiro colaborador, o usuário passa a desempenhar um papel ativo no funcionamento do sistema, realizando a leitura do código QR do veículo e compartilhando temporariamente sua localização, de modo a alimentar o sistema com dados que permitem o acompanhamento coletivo do transporte em tempo real.

A tela de escolha de opção funciona, portanto, como um ponto de decisão que organiza o fluxo de uso do aplicativo e torna explícita a distinção entre consumir informações e colaborar com a geração dos dados que sustentam a solução. Essa separação contribui para a clareza da experiência do usuário, evita ações involuntárias, como iniciar o compartilhamento de localização sem intenção, e reforça o caráter colaborativo e voluntário do modelo proposto pela solução Vou de Busão.

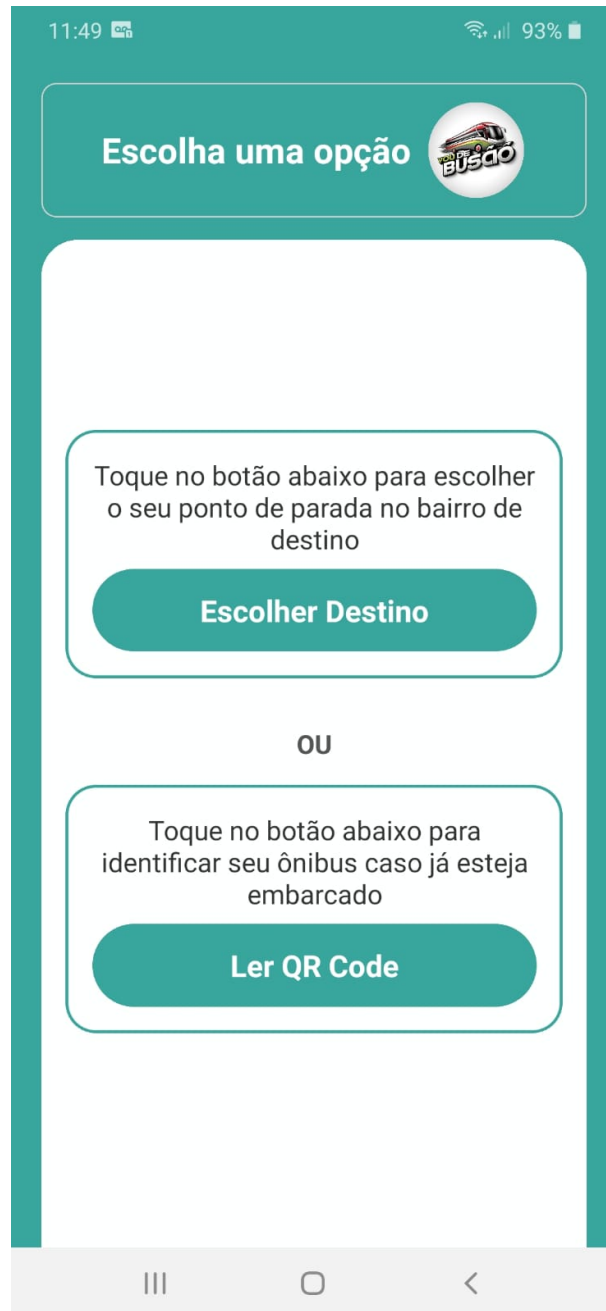


Figura 3.5: Tela para escolha da opção.

Ao optar por escolher seu destino, o usuário é direcionado para a tela de pesquisa do itinerário, conforme ilustrado na Figura 3.6, na qual realiza a definição do destino desejado. Nessa etapa, o usuário deve selecionar inicialmente a cidade de destino e, em seguida, o bairro correspondente. Essas informações são utilizadas pelo sistema para filtrar e apresentar apenas as linhas de transporte coletivo que atendem à região selecionada, garantindo que a busca esteja contextualizada com a localização de interesse.

Após a definição da cidade e do bairro, o aplicativo exibe dinamicamente a

relação de linhas disponíveis associadas ao destino informado. Essa listagem é obtida a partir dos dados previamente cadastrados na base da solução, considerando a vinculação entre linhas, bairros e cidades. Ao selecionar o nome da linha de sua preferência, o sistema passa a apresentar ao usuário todos os pontos de parada vinculados ao trajeto dessa linha, distribuídos ao longo da rota percorrida pelo ônibus, possibilitando um planejamento mais preciso do local de desembarque.

Ao escolher o ponto de desembarque desejado, o aplicativo inicia uma sequência de verificações automáticas antes de disponibilizar o mapa de acompanhamento em tempo real. A primeira dessas verificações consiste na consulta à base de dados para identificar a existência de saldo positivo do tempo de tela associado ao usuário. Esse saldo está relacionado ao histórico de colaboração do usuário com o sistema, por meio do compartilhamento prévio de sua própria localização, e constitui um dos mecanismos de funcionamento do modelo colaborativo adotado pela solução.

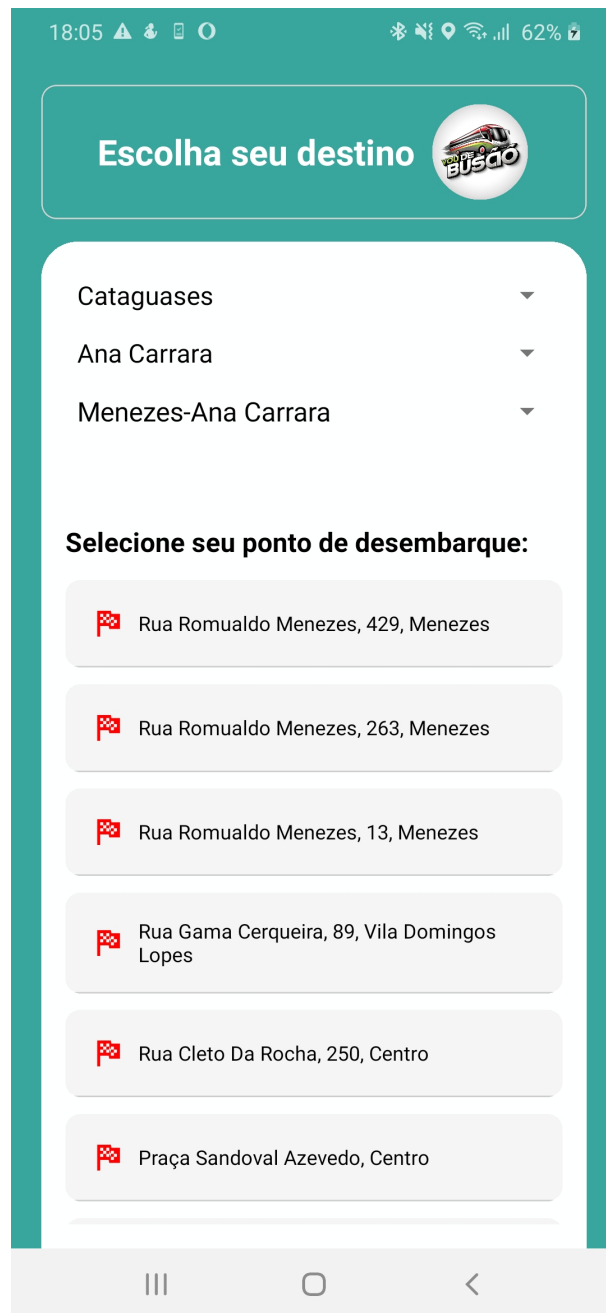


Figura 3.6: Aplicativo Móvel - Tela de pesquisa do itinerário.

O saldo do tempo de tela é um mecanismo de controle de uso incorporado ao aplicativo. Esse mecanismo está associado ao modelo colaborativo adotado pela solução, no qual os próprios usuários contribuem com o compartilhamento de sua localização enquanto estão no interior do transporte coletivo.

Este saldo é calculado considerando a diferença entre o tempo total que o usuário já contribuiu compartilhando sua localização e o tempo já utilizado para visualizar o mapa de acompanhamento em tempo real. Assim, o acesso ao mapa de acompanhamento em tempo real da localização do ônibus está condicionado à existência de saldo

positivo de tempo de tela.

Caso o usuário possua saldo de tempo disponível, o mapa é liberado normalmente para acompanhamento em tempo real. Por outro lado, quando não há saldo suficiente, o aplicativo exibe uma mensagem informando a necessidade de colaboração prévia, oferecendo ao usuário a opção de iniciar o compartilhamento de sua localização por meio da leitura do código QR de identificação do ônibus. Esse mecanismo incentiva a participação ativa dos usuários e contribui para a sustentabilidade do sistema, reduzindo acessos passivos e promovendo a retroalimentação contínua de dados de localização.

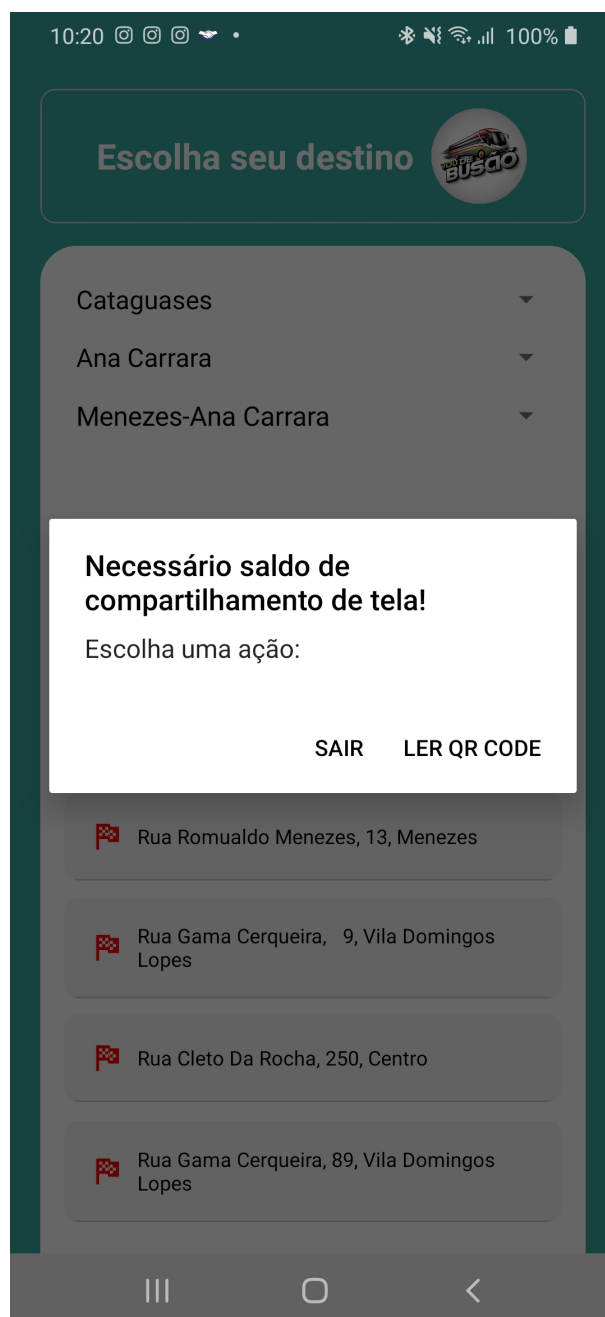


Figura 3.7: Aplicativo Móvel - Tela de pesquisa do itinerário com alerta sobre o tempo de tela.

Após a verificação do saldo do tempo de tela, o aplicativo consulta a base de dados a fim de identificar a existência de registros recentes de posição geográfica do ônibus, considerando um intervalo máximo de dez minutos. Havendo posição geográfica válida associada ao itinerário selecionado, o sistema realiza a preparação do mapa e o disponibiliza ao usuário para o acompanhamento, em tempo real, do deslocamento do ônibus. Caso não haja uma posição geográfica válida para o ônibus nos últimos dez minutos, o aplicativo exibe uma mensagem informativa para o usuário

e realiza nova tentativa de localização de forma automática a cada dez segundos.

Conforme ilustrado na Figura 3.8, na tela de acompanhamento da localização do ônibus é exibido um mapa contendo a posição do usuário, os pontos de parada, o ponto de desembarque escolhido e a localização do ônibus em tempo real que é atualizada automaticamente. Com isso, o usuário pode acompanhar em tempo real o deslocamento do seu ônibus de interesse em direção à sua posição atual, além de visualizar a velocidade e a distância da rota.

Para a utilização da funcionalidade de mapa na tela de acompanhamento da localização do aplicativo Vou de Busão é necessário conceder permissão para que o aplicativo acesse a localização do dispositivo.

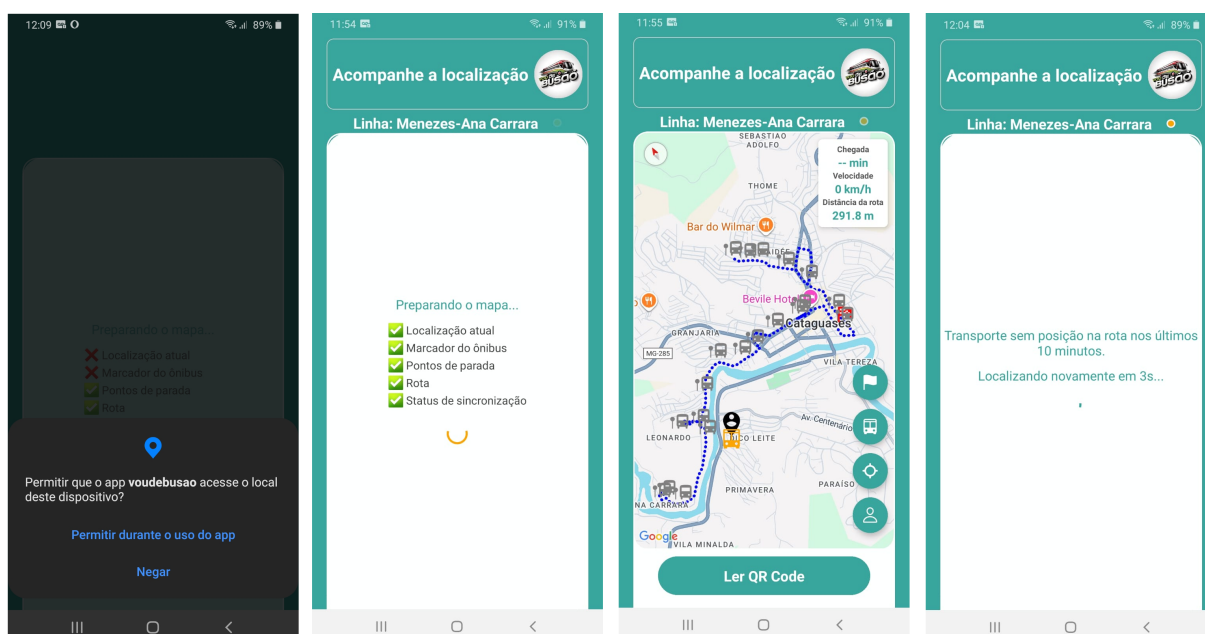


Figura 3.8: Aplicativo Móvel - Tela de acompanhamento da localização do transporte.

Após o ônibus de interesse do usuário alcançar sua posição atual e o embarque ser realizado, o usuário pode compartilhar a localização do ônibus diretamente pelo aplicativo. Para isso, basta tocar no botão *Ler QR Code* (código QR) conforme ilustrado na Figura 3.9.

Para a utilização da funcionalidade de leitura de código QR no aplicativo Vou de Busão é necessário conceder permissão para que o aplicativo tire fotos e grave vídeos.

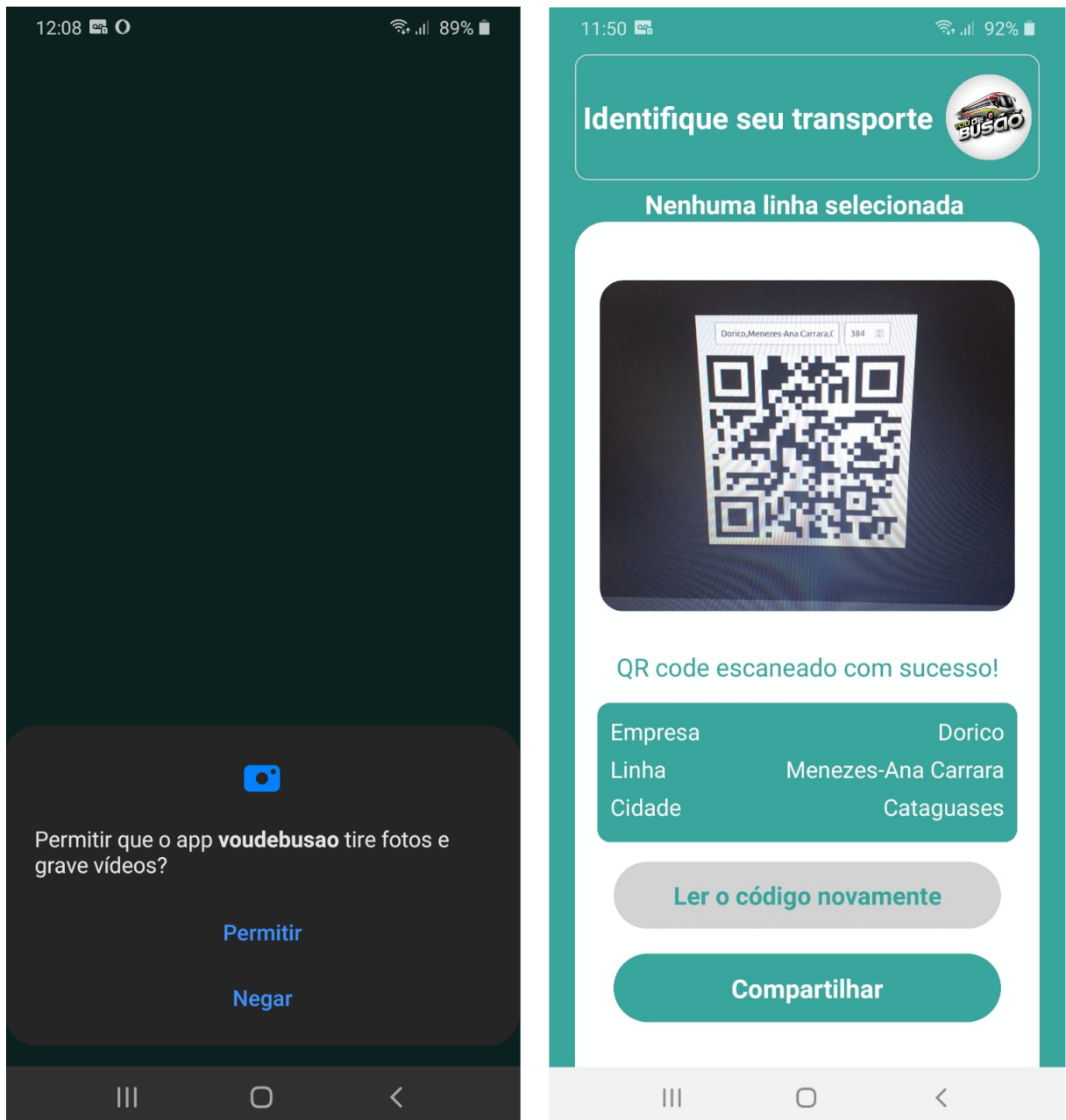


Figura 3.9: Aplicativo Móvel - Tela leitura do código QR.

Na tela de leitura do código QR, o usuário deve apontar a câmera de seu dispositivo para o código disponível no interior do transporte em que está embarcado. Ao reconhecer o código QR, o aplicativo exibirá o nome da empresa, a linha e a cidade correspondentes. Após confirmar a leitura, basta tocar no botão compartilhar para ser direcionado à tela de compartilhamento da localização, que reflete a posição atual do transporte.

Embora a leitura do código QR seja uma estratégia simples e eficaz para identificação do transporte no momento do embarque, esse mecanismo apresenta uma limitação de segurança: o código pode ser facilmente copiado e reproduzido fora do con-

texto do ônibus. Nesse cenário, um agente mal-intencionado poderia simular o trajeto do ônibus utilizando outro veículo, enviando coordenadas falsas ao sistema e comprometendo a confiabilidade dos dados disponibilizados aos usuários. Como perspectiva de melhoria, recomenda-se a inclusão de uma camada adicional de autenticação, como chaves temporárias (*tokens*) com validade limitada, ou ainda a vinculação do código QR a um dispositivo embarcado autorizado, como o aparelho do motorista, de modo a fortalecer a integridade das informações compartilhadas e reduzir a possibilidade de adulteração do monitoramento.

Para a utilização da funcionalidade de mapa da tela de compartilhamento da localização no aplicativo Vou de Busão, é necessário conceder permissão para que o aplicativo acesse a localização do dispositivo continuamente. A partir do consentimento dessa permissão, cada coordenada compartilhada é validada com o objetivo de garantir a integridade das informações de localização, conforme discutido na seção 3.1.4, assegurando que os dados processados pela aplicação estejam coerentes com a rota efetivamente percorrida pelo ônibus.

Além do critério de distância em relação à rota, o processo de validação considera que o veículo deve apresentar velocidade maior ou igual a 10 km/h para que as coordenadas geográficas sejam transmitidas ao sistema. Essa velocidade parametrizável foi definida com o objetivo de reduzir o envio de dados quando o veículo está parado por períodos prolongados, como em pontos de parada para embarque e desembarque, evitando registros redundantes e diminuindo o consumo de bateria e de dados móveis do dispositivo.

Entretanto, reconhece-se que essa estratégia pode limitar o envio de dados em situações de tráfego congestionado, nas quais o ônibus se encontra em deslocamento efetivo, porém a velocidades inferiores ao limiar estabelecido. Como sugestão de aprimoramento futuro, pode-se adotar um mecanismo complementar baseado nos sensores inerciais do dispositivo, como o acelerômetro, a fim de detectar padrões de vibração e movimento característicos de um veículo em circulação, mesmo em baixas velocidades. Essa abordagem permitiria distinguir cenários de imobilidade real daqueles em que o veículo está inserido em fluxo lento, mantendo a qualidade das informações de rastreamento sem aumentar significativamente o volume de dados transmitidos.

Na tela de compartilhamento da localização, conforme ilustrado na Figura 3.10, o usuário visualiza a posição do seu dispositivo no mapa em tempo real, além de visualizar a velocidade e a distância da rota. Há também ícones que permitem ao usuário centralizar manualmente o mapa na sua localização ou fazer o mapa acompanhar sua localização de forma automática.

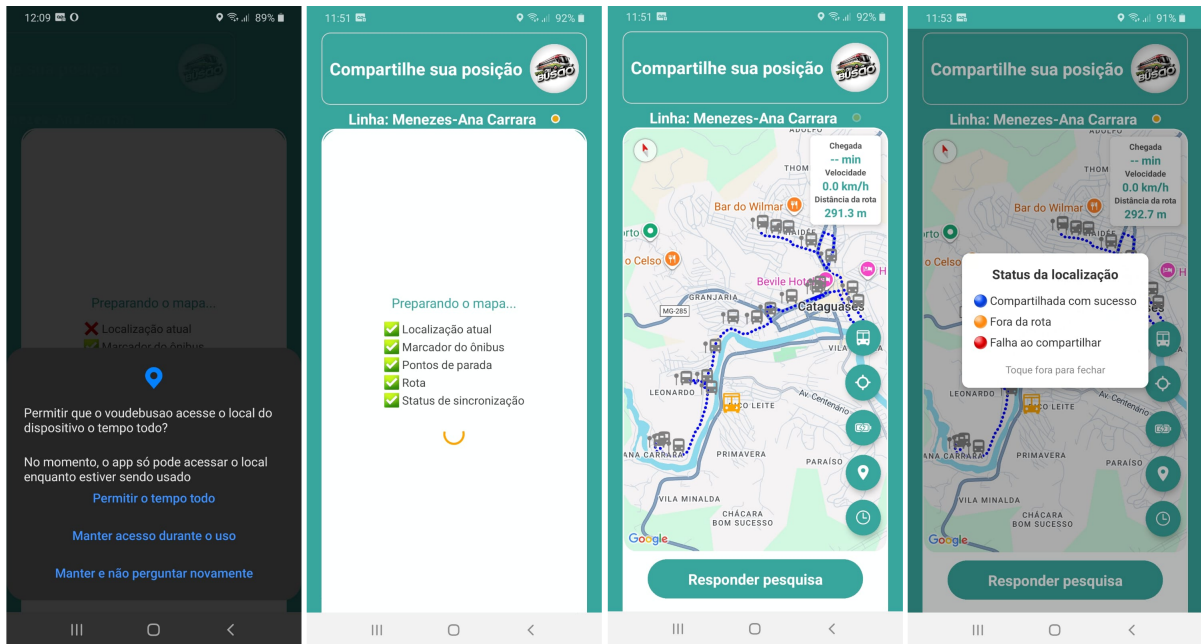


Figura 3.10: Aplicativo Móvel - Tela de compartilhamento da posição atual.

Se houver restrições ao compartilhamento da localização por causa das otimizações do dispositivo para baixo consumo de bateria, há também o ícone para acesso a essa configuração a fim de que possa ser ajustada para o correto funcionamento do aplicativo.

No caso do usuário optar por deixar a aplicação sendo executada em segundo plano, há um ícone que permite a ativação do compartilhamento da sua localização em segundo plano, cujo desafio de implementação é discutido na Seção 3.1.8.1. Essa funcionalidade pode ser ativada através de uma caixa de diálogo conforme mostrado na Figura 3.11.



Figura 3.11: Compartilhar localização em segundo plano

Ao ser ativada, a localização do usuário passa a ser compartilhada mesmo quando o aplicativo Vou de Busão estiver em segundo plano, permitindo que o usuário utilize outros aplicativos em seu dispositivo sem interromper o envio da localização. O compartilhamento é automaticamente encerrado após trinta minutos ou quando o dispositivo do usuário estiver a uma distância igual ou menor que cinquenta metros do seu destino final.

Conforme discutido na Seção 3.1.8.1, versões mais antigas do sistema Android ofereciam suporte adequado ao compartilhamento de localização em segundo plano.

Entretanto, à medida que o sistema operacional evoluiu, foram incorporadas novas políticas e mecanismos de segurança, os quais passaram a impor restrições mais rigorosas, dificultando o funcionamento desse tipo de compartilhamento em dispositivos com versões mais recentes do Android.

Com o aumento das restrições de segurança no sistema operacional Android, nem todos os dispositivos oferecem suporte ao compartilhamento de localização em segundo plano. Além das implicações para a privacidade e segurança dos usuários, esse tipo de rastreamento consome mais bateria e pode facilitar o monitoramento por agentes maliciosos. Para reduzir esses riscos, o Android passou a limitar essa funcionalidade apenas a aplicativos em primeiro plano, exigindo maior transparência. As restrições foram intensificadas ao longo das versões, reforçando a proteção do usuário [Bahar 2025].

Durante o tempo em que o usuário estiver compartilhando sua posição dentro do transporte, pode responder a uma pesquisa de recomendação do serviço (Figura 3.12). Para responder esta pesquisa, basta informar qual a probabilidade de recomendar o serviço com valores de 0 (zero) a 10 (dez) e descrever alguma sugestão de melhoria caso julgue necessário. Esta pesquisa é baseada na metodologia *NPS - Net Promoter Score* utilizada como ferramenta para medir a lealdade dos clientes baseando-se em uma pergunta avaliativa sobre a probabilidade de recomendar um determinado serviço a outra pessoa. Sua simplicidade, alta taxa de resposta e facilidade na análise dos resultados fazem com que o método seja amplamente utilizado pelas organizações [NASCIMENTO, Silva e Cardoso 2020].



Figura 3.12: Aplicativo Móvel - Pesquisa de recomendação do serviço.

3.1.6 Aplicativo Web

O aplicativo *web* da solução Vou de Busão permite que novos usuários se registrem e acessem a plataforma por meio de autenticação própria. No entanto, todo usuário recém-cadastrado é associado inicialmente ao perfil de usuário comum, sem permissões administrativas. Dessa forma, o acesso aos recursos de manutenção do sistema é restrito a usuários previamente autorizados, sendo necessário que um administrador atribua o privilégio de *admin* a um usuário comum quando apropriado.

O controle de acesso às funcionalidades da plataforma *web* é realizado por

meio de papéis (*roles*) associados a cada usuário. A aplicação distingue dois perfis de usuários: administrador (*admin*) e usuário comum (*user*). Usuários com perfil administrador possuem permissão para acessar e gerenciar os recursos administrativos da solução, como o cadastro de linhas, pontos de parada, horários e demais configurações operacionais. Por outro lado, usuários comuns possuem acesso limitado às funcionalidades básicas da plataforma, como o acompanhamento do ônibus em tempo real, sem privilégios de alteração ou de manutenção. Essa separação contribui para a segurança e integridade dos dados, reduzindo o risco de modificações indevidas por usuários não autorizados.

Para viabilizar o controle inicial de acesso ao ambiente administrativo, a plataforma foi configurada com a existência de um usuário administrador raiz (*root*) cadastrado previamente no sistema. Esse usuário inicial habilita o primeiro acesso às funcionalidades de manutenção e permite que a gestão de permissões seja iniciada de forma controlada. Seu cadastro foi realizado durante a etapa de implantação da solução, de forma manual, por meio do registro direto de suas credenciais no banco de dados, sob responsabilidade do desenvolvedor/administrador do projeto. A partir desse ponto, a criação e o gerenciamento dos demais usuários passam a ser executados exclusivamente por administradores autenticados na interface *web* do sistema, mantendo o controle de permissões de forma centralizada e segura.

Ao acessar a página inicial da aplicação, o usuário é direcionado para a tela de *login*, conforme ilustrado na Figura 3.13. Nessa tela, o usuário deve informar seu *e-mail* e senha previamente cadastrados. Abaixo do botão 'Entrar', encontram-se duas opções adicionais: 'Criar uma conta', para novos usuários, e 'Esqueci minha senha', para recuperação de acesso.

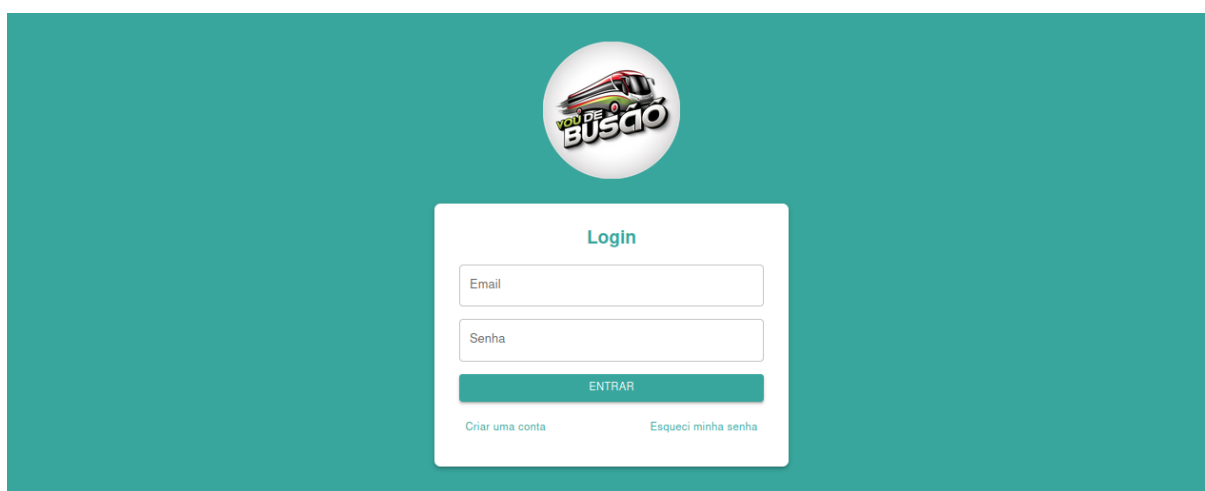


Figura 3.13: Aplicativo Web - Tela de login.

Caso o usuário ainda não possua uma conta, ao clicar na opção 'Criar uma

conta', será direcionado para a tela de cadastro, ilustrada na Figura 3.14. Nessa etapa, deve-se preencher os campos obrigatórios: nome completo, *e-mail* válido e senha com no mínimo seis caracteres. Após preencher as informações e clicar em 'Registrar', a conta é criada e o sistema redireciona o usuário para a tela de *login*.

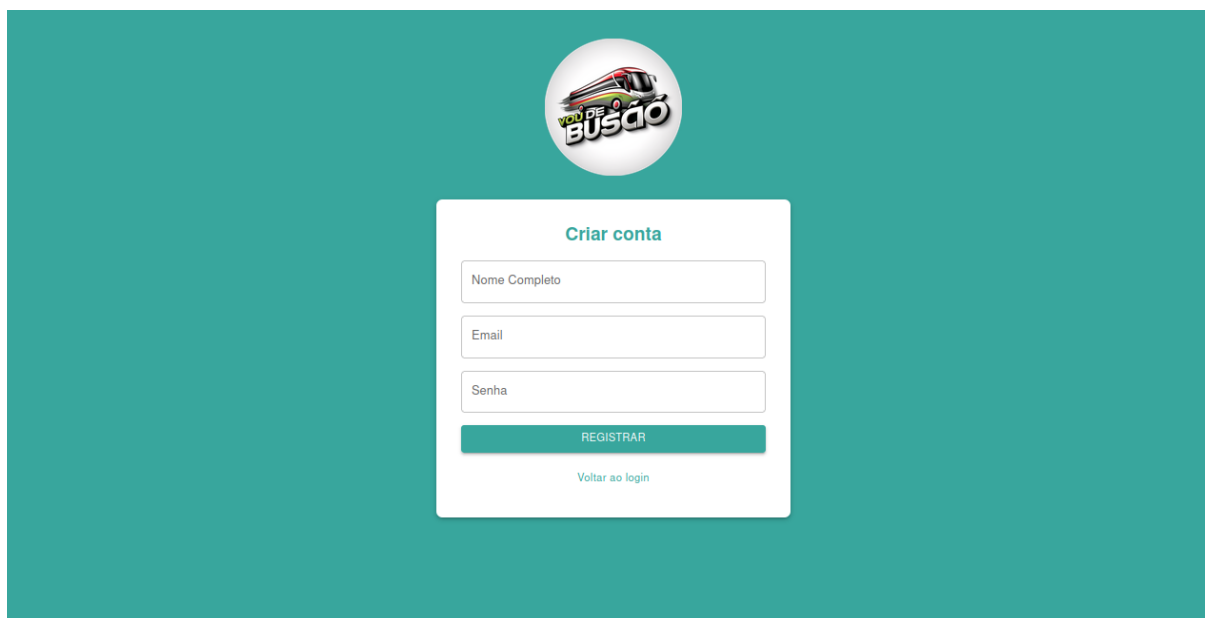
A imagem mostra a interface de criação de conta de um aplicativo web. No topo, há um logotipo circular com um ônibus e o texto "VOU DE BUSÃO". Abaixo, um formulário branco com o título "Criar conta" em verde. O formulário contém três campos de entrada: "Nome Completo", "Email" e "Senha". Abaixo dos campos, há um botão verde com o texto "REGISTRAR" em branco. Na base do formulário, há um link azul "Voltar ao login".

Figura 3.14: Aplicativo Web - Tela de criação de conta.

Caso o usuário esqueça sua senha, é possível realizar a recuperação de acesso clicando na opção 'Esqueci minha senha', disponível na tela de *login*. O sistema então exibe a interface representada na Figura 3.15, onde o usuário deve informar o *e-mail* cadastrado para receber a senha.

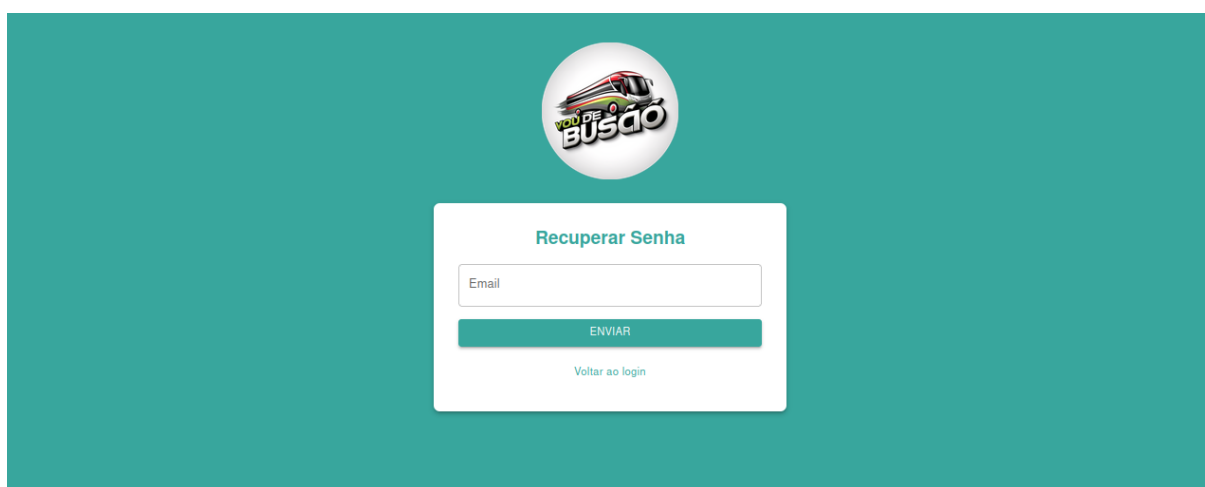
A imagem mostra a interface de recuperação de senha de um aplicativo web. No topo, há um logotipo circular com um ônibus e o texto "VOU DE BUSÃO". Abaixo, um formulário branco com o título "Recuperar Senha" em verde. O formulário contém um único campo de entrada: "Email". Abaixo do campo, há um botão verde com o texto "ENVIAR" em branco. Na base do formulário, há um link azul "Voltar ao login".

Figura 3.15: Aplicativo Web - Tela de recuperação de senha.

Após realizar o *login*, o usuário com permissão de administrador é direcionado

para a interface principal do aplicativo *web* onde é possível utilizar o menu lateral para navegar entre as diferentes funcionalidades administrativas da solução Vou de Busão.

O menu da aplicação é composto pelas opções: Buscar Ônibus, Posições, Itinerários, Cidades e Bairros, Usuários, Pesquisas, Coordenadas e Rotas, e Mapa Interativo.

Se o perfil do usuário logado for de usuário comum, ele não terá acesso ao menu lateral e ficará restrito à funcionalidade de busca do ônibus para o acompanhamento do seu ônibus de interesse em tempo real.

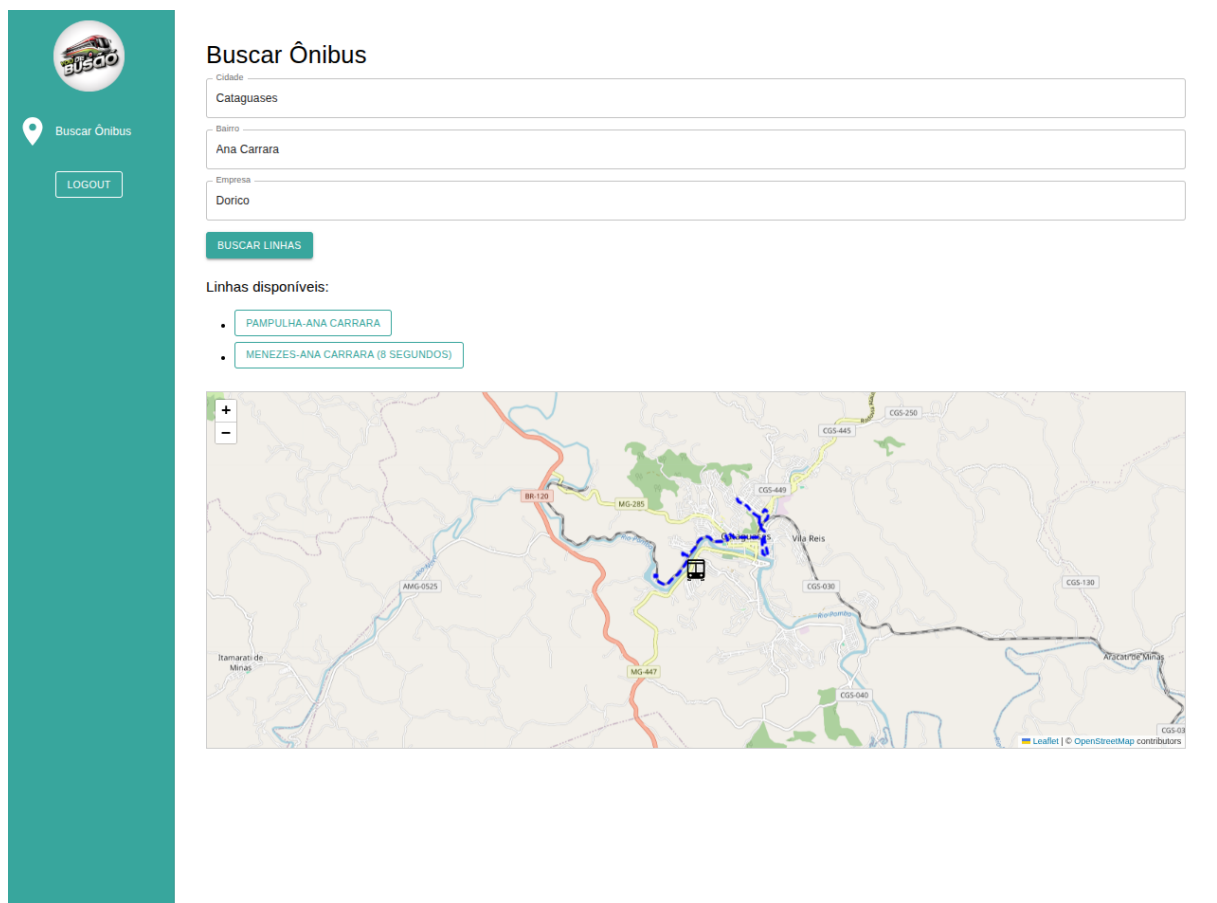


Figura 3.16: Aplicativo *Web* - Tela do usuário comum logado.

Na tela de buscar ônibus (Figura 3.17), o usuário pode filtrar as linhas por cidade, bairro e empresa. Ao selecionar uma linha disponível, é exibido um mapa com a rota e a posição do ônibus, atualizada em tempo real.



- Buscar Ônibus
- Posições
- Itinerários
- Cidades e Bairros
- Usuários
- Pesquisas
- Coordenadas e Rotas
- Mapa Interativo

LOGOUT

Buscar Ônibus

• BUSCAR LINHAS

Linhas disponíveis:

- CATAGUASES-CEFET (6 SEGUNDOS)

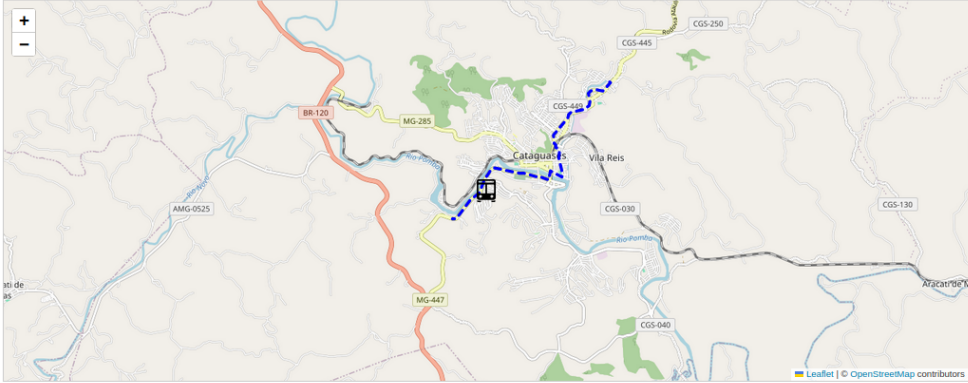


Figura 3.17: Aplicativo Web - Tela de busca por ônibus com visualização de rota e posição em tempo real.

A tela de posições (Figura 3.18) exibe as localizações dos ônibus registradas nos últimos minutos, com possibilidade de exclusão em massa ou visualização do trajeto realizado.



- Buscar Ônibus
- Posições
- Itinerários
- Cidades e Bairros
- Usuários
- Pesquisas
- Coordenadas e Rotas
- Mapa Interativo
- LOGOUT

Posições

Cidade
Cataguases

Empresa
Viacao CEFET

Linha
Cataguases-CEFET

☐	Data e Hora	Empresa	Linha	Cidade	Latitude	Longitude	Ações
☐	02/09/2025 18:39:57	Viacao CEFET	Cataguases-CEFET	Cataguases	-21.3949742	-42.7077888	
☐	02/09/2025 18:40:00	Viacao CEFET	Cataguases-CEFET	Cataguases	-21.3951018	-42.7077061	
☐	02/09/2025 18:40:04	Viacao CEFET	Cataguases-CEFET	Cataguases	-21.3949669	-42.7076837	
☐	02/09/2025 18:40:07	Viacao CEFET	Cataguases-CEFET	Cataguases	-21.3949246	-42.7077013	
☐	02/09/2025 18:40:11	Viacao CEFET	Cataguases-CEFET	Cataguases	-21.3949281	-42.7076532	
☐	02/09/2025 18:40:11	Viacao CEFET	Cataguases-CEFET	Cataguases	-21.3949281	-42.7076532	
☐	02/09/2025 18:40:18	Viacao CEFET	Cataguases-CEFET	Cataguases	-21.3950146	-42.7077058	
☐	02/09/2025 18:40:21	Viacao CEFET	Cataguases-CEFET	Cataguases	-21.3950053	-42.7077093	
☐	02/09/2025 18:40:24	Viacao CEFET	Cataguases-CEFET	Cataguases	-21.395021	-42.7076869	
☐	02/09/2025 18:40:37	Viacao CEFET	Cataguases-CEFET	Cataguases	-21.3949813	-42.7076985	
☐	02/09/2025 18:40:40	Viacao CEFET	Cataguases-CEFET	Cataguases	-21.3949362	-42.7077323	
☐	02/09/2025 18:40:43	Viacao CEFET	Cataguases-CEFET	Cataguases	-21.3948406	-42.7077523	
☐	02/09/2025 18:40:46	Viacao CEFET	Cataguases-CEFET	Cataguases	-21.3947631	-42.7077466	
☐	02/09/2025 18:40:49	Viacao CEFET	Cataguases-CEFET	Cataguases	-21.3947505	-42.7077372	
☐	02/09/2025 18:40:52	Viacao CEFET	Cataguases-CEFET	Cataguases	-21.3947807	-42.7077298	

Figura 3.18: Aplicativo Web - Tela de gerenciamento de posições dos ônibus.

Ao selecionar um conjunto de registros e clicar em 'Ver trajeto', o sistema apresenta uma janela modal com o trajeto do ônibus correspondente (Figura 3.19), utilizando o mesmo recurso de mapas integrado à solução.

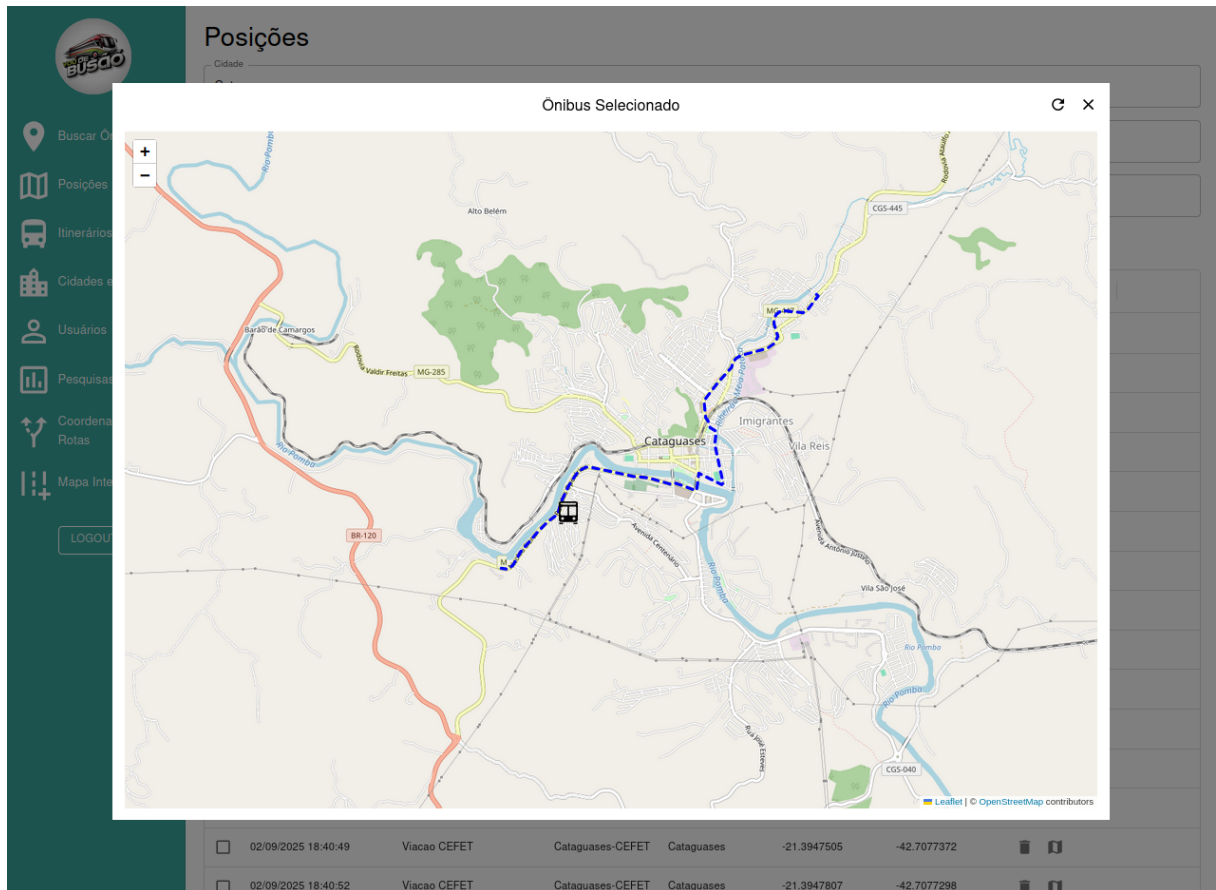


Figura 3.19: Aplicativo Web - Visualização do trajeto do ônibus selecionado.

Na tela de itinerários (Figura 3.20), é possível definir os bairros atendidos pela linha, os pontos de parada e a rota completa, associando-a à cidade, empresa e nome da linha correspondente.



- Buscar Ônibus
- Posições
- Itinerários
- Cidades e Bairros
- Usuários
- Pesquisas
- Coordenadas e Rotas
- Mapa Interativo

Itinerários

Cidade
Cataguases

Bairro
Pampulha

Q BUSCAR

Cidade
Cataguases

Empresa
Viacao CEFET

Linha
Cataguases-CEFET

Bairros (separados por vírgula)
Pampulha, Vila Domingos Lopes, Centro, Vila Tereza

Paradas (separadas por vírgula e sub-paradas por hífen)
Av. Sizenando Dutra de Siqueira, 183 - Pampulha;-21.372146;-42.67993|R. Ten. Luis Ribeiro, 143 - Vila Domingos Lopes;-21.3821553;-42.6918708|R. Raimundo de Paula Batista, 34 - Centro;-21.3887104;-42.69095

Rota (lat-lon separados por vírgula, pares por hífen)
-21.372062;-42.679853|-21.372198;-42.679682|-21.372492;-42.679966|-21.372655;-42.680124|-21.372937;-42.680352|-21.373131;-42.680482|-21.373590;-42.680792|-21.373655;-42.680844|-21.373713;-42.68092

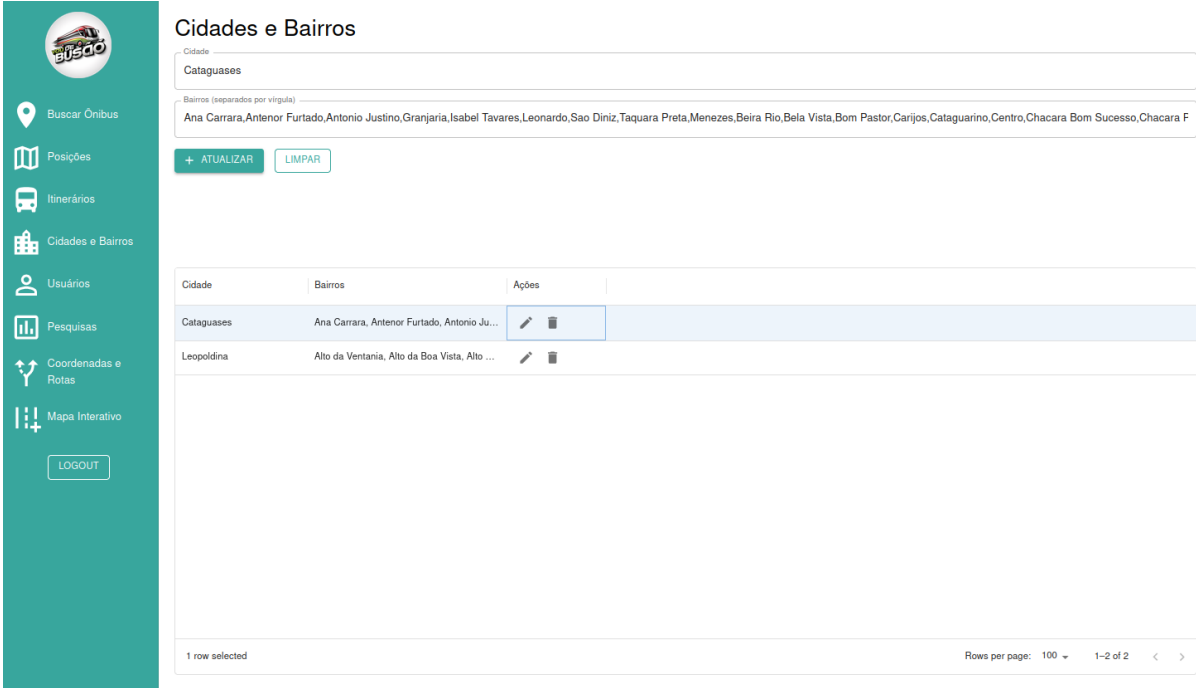
ATUALIZAR LIMPAR

☐	Empresa	Linha	Cidade	Bairros	Paradas	Rota	Ações
☐	Viacao CEFET	Cataguases-CEFET	Cataguases	Pampulha, Vila Domingos Lopes, Centro, ...	Av. Sizenando Dutra de Siqueira, 183 - P...	-21.372062;-42.679853, -21.372198;-42...	 

Rows per page: 100 1-1 of 1

Figura 3.20: Aplicativo *Web* - Tela de gerenciamento de itinerários.

A funcionalidade de gerenciamento de cidades e bairros (Figura 3.21) permite que o usuário com permissão administrativa cadastre e edite os bairros correspondentes a cada cidade. Os dados são apresentados em tabela, com opções de atualização e exclusão.



Cidades e Bairros

Cidade
Cataguases

Bairros (separados por vírgula)
Ana Carrara,Antenor Furtado,Antonio Justino,Granjaria,Isabel Tavares,Leonardo,Sao Diniz,Taquara Preta,Menezes,Beira Rio,Bela Vista,Bom Pastor,Carijos,Cataguarino,Centro,Chacara Bom Sucesso,Chacara F

+ ATUALIZAR LIMPAR

Cidade	Bairros	Ações
Cataguases	Ana Carrara, Antenor Furtado, Antonio Ju...	 
Leopoldina	Alto da Ventania, Alto da Boa Vista, Alto ...	 

1 row selected Rows per page: 100 1-2 of 2 < >

Figura 3.21: Aplicativo *Web* - Tela de gerenciamento de cidades e bairros.

Na tela de usuários (Figura 3.22), é possível cadastrar, editar ou excluir contas do sistema. Neste módulo, o administrador também define o papel do usuário, podendo ser administrador ou usuário comum, de acordo com o nível de acesso desejado. Apenas usuários com papel de administrador têm acesso às funcionalidades completas do aplicativo *web*.

Usuários

Email
it.francisoneto@gmail.com

BUSCAR

Nome Completo
Frank Dias

Email
it.francisoneto@gmail.com

Senha

Role
admin

ATUALIZAR LIMPAR

☐	Nome Completo	Email	Senha	Role	Data e Hora de Criação	Ações
☐	Frank Dias	it.francisoneto@gmail.com	123456	admin	13/05/2024 20:07:43	

Rows per page: 100 1-1 of 1

Figura 3.22: Aplicativo Web - Tela de gerenciamento de usuários.

As respostas da pesquisa de satisfação coletadas pelo aplicativo móvel são consolidadas na funcionalidade de pesquisas (Figura 3.23). A tela permite a filtragem dos dados por cidade, possibilitando a análise segmentada conforme a localidade de operação.

Na porção superior da tela são exibidos dois gráficos complementares que apresentam a média das avaliações por empresa em escala de 0 a 10, permitindo comparar de forma objetiva a percepção de qualidade entre os fornecedores do serviço de transporte.

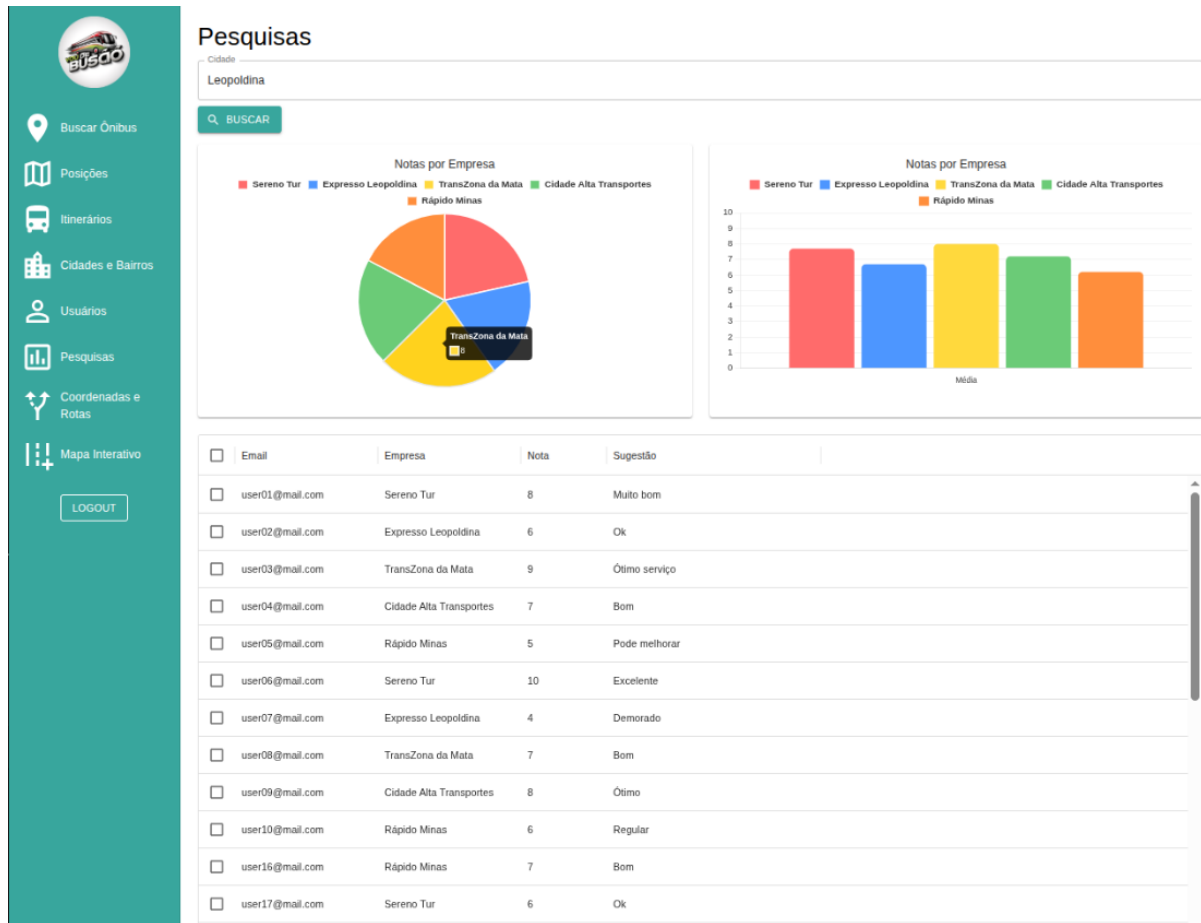


Figura 3.23: Aplicativo Web - Tela de gerenciamento das respostas de pesquisa.

A tela de coordenadas e rotas (Figura 3.24) permite gerar automaticamente os pares de latitude e longitude de uma linha de transporte a partir dos pontos de parada cadastrados. O sistema utiliza essas informações para construir a rota geográfica que será exibida no aplicativo móvel.



- Buscar Ônibus
- Posições
- Itinerários
- Cidades e Bairros
- Usuários
- Pesquisas
- Coordenadas e Rotas
- Mapa Interativo

LOGOUT

Coordenadas e Rotas

Pontos de parada (um por linha)

Av. Sizenando Dutra de Siqueira, 183 - Pampulha
R. Ten. Luís Ribeiro, 143 - Vila Domingos Lopes
R. Raimundo de Paula Batista, 34 - Centro
R. Francisco Rossi, 100-128 - Centro
R. Cel. Antônio Augusto Souza Filho, 350-626 - Vila Tereza
Av. Nicolau Sievi, 1625-1511 - Vila Minalta

API Key Google

Cidade: Estado: País:

BUSCAR COORDENADAS E GERAR ROTA

Coordenadas obtidas

Av. Sizenando Dutra de Siqueira, 183 - Pampulha; 21.372146;-42.67993|R. Ten. Luís Ribeiro, 143 - Vila Domingos Lopes; 21.382155;-42.6918708|R. Raimundo de Paula Batista, 34 - Centro; 21.3887104;-42.6909573|R. Francisco Rossi, 100-128 - Centro; 21.3903649;-42.690787|R. Cel. Antônio Augusto Souza Filho, 350-626 - Vila Tereza; 21.3926795;-42.6934941|Av. Nicolau Sievi, 1625-1511 - Vila Minalta; 42.715439

Rota gerada

-21.372062;-42.679853;-21.372196;-42.679682;-21.372492;-42.679966;-21.372655;-42.680124;-21.372937;-42.680352;-21.373131;-42.680482;-21.373590;-42.680792;-21.373655;-42.680844;-21.373713;-42.680921;-21.373867;-42.681176
1;-21.373950;-42.681335;-21.373966;-42.681706;-21.373943;-42.682089;-21.373781;-42.682706;-21.373696;-42.683140;-21.373696;-42.683300;-21.373696;-42.683469;-21.373747;-42.683741;-21.373814;-42.683953;-21.373924;-42.68415
1;-21.373946;-42.684197;-21.374092;-42.684357;-21.374245;-42.684476;-21.374418;-42.684569;-21.374620;-42.684637;-21.374816;-42.684672;-21.374990;-42.684674;-21.375135;-42.684642;-21.375279;-42.684599;-21.375757;-42.6843
74;-21.376129;-42.684272;-21.376408;-42.684241;-21.376556;-42.684262;-21.376648;-42.684294;-21.376796;-42.684459;-21.377130;-42.684571;-21.377165;-42.684604;-21.377315;-42.684744;-21.377446;-42.684905;-21.377569;-42.685
114;-21.377692;-42.685366;-21.377758;-42.685541;-21.377814;-42.685743;-21.377838;-42.685828;-21.378360;-42.687978;-21.378414;-42.688189;-21.378436;-42.688287;-21.378445;-42.688326;-21.378470;-42.688445;-21.378497;-42.68
8524;-21.378519;-42.688580;-21.378583;-42.688686;-21.378617;-42.688721;-21.378647;-42.688753;-21.378704;-42.688836;-21.378791;-42.688951;-21.378901;-42.689044;-21.379011;-42.689133;-21.379167;-42.689225;-21.379336;-42.6
89301;-21.379480;-42.689350;-21.379662;-42.689398;-21.380294;-42.689990;-21.380421;-42.690111;-21.380739;-42.690409;-21.380978;-42.690606;-21.381056;-42.690678;-21.381145;-42.690768;-21.381339;-42.690949;-21.381520;-42.6
691129;-21.381702;-42.691277;-21.381780;-42.691354;-21.381915;-42.691486;-21.382098;-42.691665;-21.382225;-42.691779;-21.382308;-42.691852;-21.382435;-42.691955;-21.382482;-42.692001;-21.382570;-42.692074;-21.383066;-42.6
692437;-21.383261;-42.692539;-21.383306;-42.692549;-21.383357;-42.692547;-21.384313;-42.692468;-21.384659;-42.692426;-21.384799;-42.692391;-21.384943;-42.692362;-21.385026;-42.692358;-21.385077;-42.692363;-21.385126;-4
2.692466;-21.385195;-42.692160;-21.385249;-42.692125;-21.385297;-42.692109;-21.385388;-42.692092;-21.385762;-42.691983;-21.385884;-42.691908;-21.385998;-42.691820;-21.386060;-42.691752;-21.386349;-42.691288;-21.386458;-
42.691172;-21.386544;-42.691150;-21.386745;-42.691116;-21.387666;-42.691292;-21.387761;-42.691298;-21.387871;-42.691289;-21.387980;-42.691274;-21.388040;-42.691261;-21.388504;-42.691157;-21.388738;-42.691105;-21.388981;-
42.691051;-21.389436;-42.690950;-21.389790;-42.690875;-21.390361;-42.690761;-21.390413;-42.690751;-21.391377;-42.690547;-21.391529;-42.690506;-21.391854;-42.690417;-21.391951;-42.690491;-21.392016;-42.690556;-21.391446
-42.691751;-21.391251;-42.692180;-21.390787;-42.693158;-21.391123;-42.693176;-21.391348;-42.693200;-21.391580;-42.693227;-21.392488;-42.693367;-21.392557;-42.693391;-21.392626;-42.693422;-21.392682;-42.693458;-21.39267
1;-42.693491;-21.392578;-42.693766;-21.391871;-42.695820;-21.391864;-42.695858;-21.391867;-42.695868;-21.391900;-42.695958;-21.391975;-42.696076;-21.391986;-42.696109;-21.391989;-42.696149;-21.391961;-42.696313;-21.3918
44;-42.696701;-21.391810;-42.696959;-21.391322;-42.698907;-21.391259;-42.699269;-21.391204;-42.699689;-21.391177;-42.699886;-21.391148;-42.700192;-21.391127;-42.700558;-21.391105;-42.700798;-21.391074;-42.701024;-21.390
745;-42.704399;-21.390268;-42.705164;-21.390205;-42.705408;-21.390181;-42.705629;-21.390179;-42.705908;-21.390231;-42.706107;-21.390321;-42.706313;-21.390487;-42.706553;-21.390697;-42.706780;-21.390869;-42.706950;-21.39
1077;-42.707124;-21.391340;-42.707309;-21.392127;-42.707804;-21.392679;-42.708111;-21.392819;-42.708193;-21.393479;-42.708516;-21.393806;-42.708659;-21.393925;-42.708702;-21.394096;-42.708747;-21.394345;-42.708802;-21.3
94532;-42.708852;-21.394713;-42.708920;-21.394899;-42.709010;-21.395142;-42.709131;-21.395214;-42.709256;-21.395341;-42.709397;-21.395612;-42.709717;-21.395657;-42.709764;-21.395970;-42.710221;-21.396320;-42.710680;-21.
396530;-42.711006;-21.397013;-42.711365;-21.398180;-42.711424;-21.399118;-42.713263;-21.399263;-42.713378;-21.399437;-42.713516;-21.399614;-42.713633;-21.399726;-42.713707;-21.400378;-42.714097;-21.400505;-42.714202;-21.
400596;-42.714297;-21.400648;-42.714360;-21.400721;-42.714454;-21.400775;-42.714561;-21.400831;-42.714697;-21.400868;-42.714851;-21.400881;-42.714984;-21.400873;-42.715148;-21.400843;-42.715291;-21.400817;-42.715431

Log de Erros

Figura 3.24: Aplicativo Web - Tela de definição de coordenadas e geração de rota.

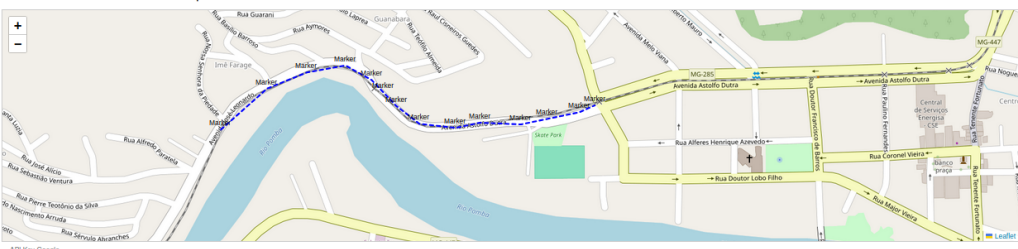
Por fim, o sistema também disponibiliza um mapa interativo (Figura 3.25) onde é possível selecionar visualmente pontos e coordenadas no mapa, facilitando o ajuste preciso das rotas diretamente com apoio da interface gráfica.



- Buscar Ônibus
- Posições
- Itinerários
- Cidades e Bairros
- Usuários
- Pesquisas
- Coordenadas e Rotas
- Mapa Interativo

LOGOUT

Selecionar Coordenadas no Mapa



API Key Google

Cidade: Estado: País:

CENTRALIZAR **LIMPAR TUDO**

Coordenadas obtidas

-21.388729;-42.707242;-21.388020;-42.706383;-21.387740;-42.705643;-21.387620;-42.704924;-21.387870;-42.704441;-21.388060;-42.704216;-21.388320;-42.703980;-21.388629;-42.703551;-21.388699;-42.702875;-21.388609;-42.702424
-21.388639;-42.701663;-21.388539;-42.701169;-21.388430;-42.700579;-21.388310;-42.700289

Figura 3.25: Aplicativo Web - Mapa interativo para seleção de coordenadas.

3.1.7 API para Integração e Gerenciamento de Dados

A solução Vou de Busão disponibiliza uma API que permite a integração com serviços externos e o fornecimento de informações em tempo real sobre o transporte coletivo monitorado. Essa API foi desenvolvida com o objetivo de fornecer funcionalidades seguras e bem estruturadas, incluindo autenticação de usuários, registro de posições dos ônibus, administração dos itinerários, controle de usuários e análise do uso do sistema.

A Figura 3.26 apresenta a interface de documentação da API que fornece uma visualização interativa dos serviços disponíveis, seus parâmetros e respostas esperadas.

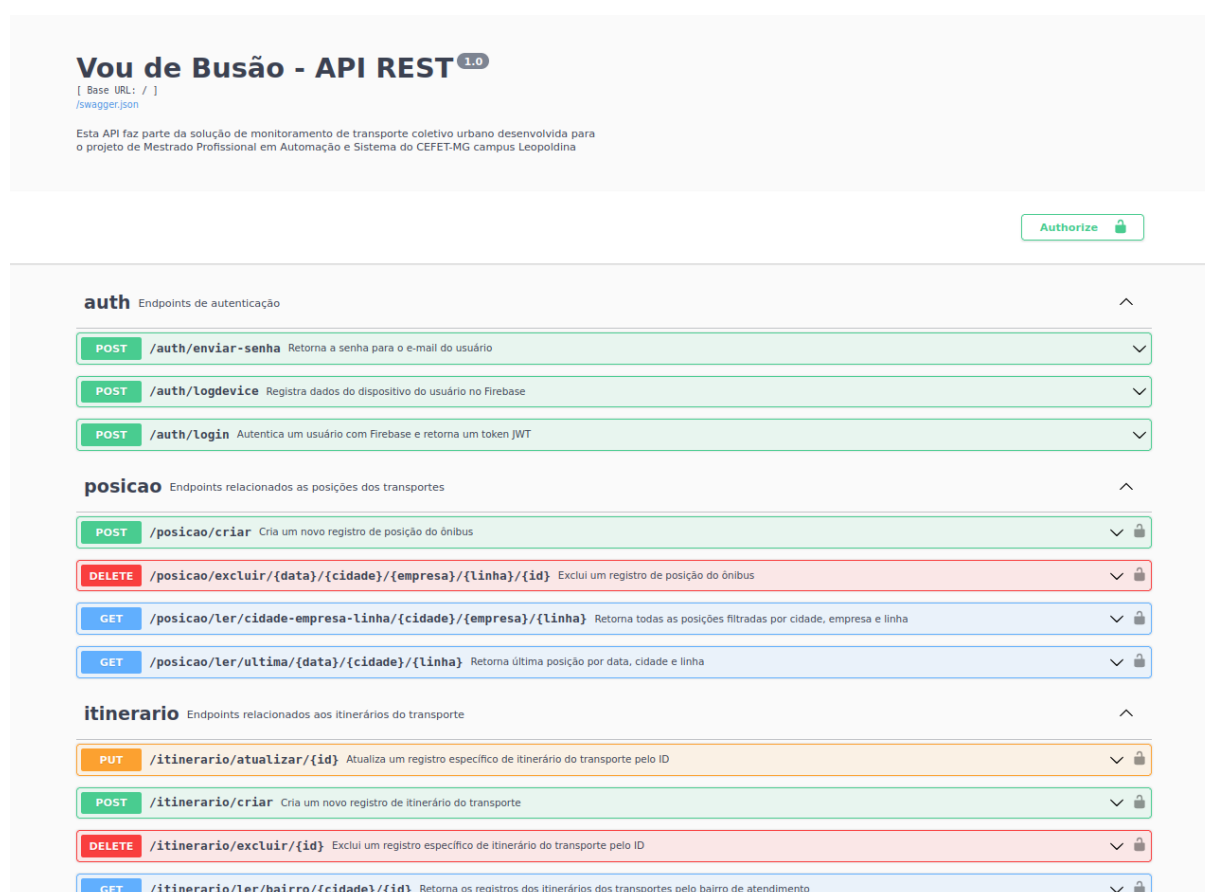


Figura 3.26: Interface de documentação da API do sistema Vou de Busão.

Para garantir segurança no acesso aos dados, a API exige autenticação com credenciais válidas. O processo de *login* utiliza o padrão JWT (*JSON Web Token*), um mecanismo que gera um *token* de acesso com validade limitada. Esse *token* deve ser enviado nas requisições para permitir que apenas usuários autorizados realizem operações como leitura, inserção, atualização ou exclusão de dados.

De forma resumida, o comportamento da API pode ser compreendido pelas seguintes etapas:

- a) **Autenticação e segurança:** O usuário informa seu *e-mail* e senha por meio da funcionalidade de *login*. Se os dados estiverem corretos, o sistema retorna um *token* de acesso temporário. Esse *token* deve ser enviado junto com as próximas requisições para garantir que o usuário está autenticado.
- b) **Gerenciamento das posições dos ônibus:** A cada intervalo de tempo, os dispositivos móveis nos veículos enviam suas coordenadas geográficas (latitude e longitude), juntamente com informações como horário, velocidade e linha. Esses dados são armazenados de forma hierárquica no banco de dados em nuvem (Firebase), organizados por data, cidade, empresa e linha.
- c) **Administração dos itinerários:** Os administradores responsáveis pelo sistema podem cadastrar e editar os trajetos dos ônibus, definindo bairros atendidos, pontos de parada e sequência da rota. Esses dados são utilizados tanto para o planejamento quanto para a visualização no aplicativo do usuário.
- d) **Controle de usuários e permissões:** A API também permite o gerenciamento de usuários do sistema registrando seus dados e permissões de acesso. Cada ação na API é protegida por regras que impedem o uso indevido por usuários não autorizados.
- e) **Funcionalidades complementares:** A API oferece ainda recursos para envio de senha por *e-mail* e coleta de pesquisas sobre a avaliação do serviço.

Todas as funcionalidades são encapsuladas em grupos chamados de *namespaces*, como *auth* (autenticação), posição (localização dos ônibus), itinerário (trajetos), usuários, cidadesbairros, entre outros. Essa divisão facilita a manutenção do sistema e a organização da documentação técnica.

3.1.8 Problemas encontrados

Um dos principais problemas enfrentados consistiu em eliminar o ruído de coordenadas, ou seja, garantir que apenas as coordenadas geográficas relevantes fossem consideradas para o acompanhamento da posição do ônibus em tempo real. Para garantir esse comportamento, implementou-se a renderização da rota diretamente no mapa e o cálculo automático da distância entre cada coordenada capturada e o trajeto definido, conforme discutido na Seção 3.1.4. Dessa forma, apenas os pontos localizados até uma distância pré-estabelecida são considerados válidos para o monitoramento. Além disso, instituiu-se um filtro baseado na velocidade mínima do veículo,

estabelecendo que apenas coordenadas obtidas com velocidade igual ou superior a 10 km/h são enviadas, assegurando que o sistema reflita efetivamente a movimentação do ônibus e não situações de ociosidade. Embora esses parâmetros tenham sido definidos inicialmente no contexto dos testes, eles configuram mecanismos de segurança e validação dos dados de localização, contribuindo para a integridade da rota monitorada e para a confiabilidade das informações apresentadas ao usuário.

Outro aspecto observado foi a ocorrência de mensagens de travamento do aplicativo (ANR - *Application Not Responding*) durante a utilização do aplicativo, especialmente em telas que apresentavam mapas e animações em tempo real. A fim de mitigar esse problema, realizaram-se ajustes na renderização gráfica e no tratamento das animações dos marcadores, garantindo maior fluidez na atualização visual da posição do ônibus e reduzindo falhas de desempenho que poderiam comprometer a experiência do usuário. Cabe destacar que os ajustes realizados para mitigar a ocorrência de mensagens de travamento do aplicativo (ANR) não se limitaram a soluções pontuais para o contexto dos testes. As otimizações aplicadas à renderização gráfica e ao gerenciamento das animações em tempo real mostraram-se fundamentais para a estabilidade geral da aplicação, sendo incorporadas de forma definitiva ao projeto como melhorias estruturais. Essas modificações contribuíram não apenas para a redução de falhas de desempenho, mas também para o aprimoramento da responsividade e da experiência do usuário durante o monitoramento do transporte em tempo real.

Por fim, identificou-se que alguns modelos de dispositivos apresentaram problemas relacionados ao gerenciamento das permissões de uso da localização em segundo plano, conforme discutido na Seção 3.1.8.1.

3.1.8.1 Desafios no uso de localização em segundo plano no Android

Durante a primeira fase de testes, um dos obstáculos técnicos mais relevantes foi manter o compartilhamento dos dados de localização quando o aplicativo estava rodando em segundo plano (*background*). Esse problema não é exclusivo deste trabalho e reflete restrições impostas pelas versões mais recentes do sistema Android e políticas de privacidade cada vez mais rigorosas do Google.

Nas versões a partir do Android 8.0 (API *level* 26), o sistema passou a impor limites à frequência com que um aplicativo em segundo plano pode obter atualizações de localização, justamente para preservar a bateria do dispositivo. Mesmo que o aplicativo solicite atualizações frequentes, o sistema pode entregar apenas algumas poucas vezes por hora [Google Developers 2024]. Isso implica que, em cenários de monitoramento contínuo, como o acompanhamento de um ônibus em movimento, nem sempre é possível garantir uma granularidade elevada de dados quando o aplicativo não está em primeiro plano. Além disso, a partir do Android 10 (API *level* 29) foi

introduzida a permissão específica *ACCESS_BACKGROUND_LOCATION*, que precisa ser declarada no manifesto do aplicativo caso este deseje acessar a localização em segundo plano [Google Developers 2024]. Contudo, possuir essa permissão declarada não garante automaticamente o uso efetivo, pois o usuário pode negar explicitamente o acesso, e a Google Play Store exige que o uso seja justificado como parte essencial da funcionalidade do aplicativo [Google Play Console Help 2024].

Para publicação, o Google requer que os desenvolvedores preencham o formulário *Permissions Declaration Form*, incluindo justificativas e até vídeos demonstrativos da necessidade de uso da localização em segundo plano [Google Play Console Help 2024]. Além disso, é exigida uma divulgação clara ao usuário (*prominent disclosure*), informando de forma transparente quando e por que a localização será coletada mesmo sem o aplicativo aberto [Radar 2023].

Com a evolução para Android 11 e 12, as restrições se intensificaram e o sistema passou a exigir que o usuário conceda manualmente a permissão o tempo todo (*Allow all the time*), muitas vezes ajustada diretamente nas configurações do dispositivo. Em paralelo, serviços em primeiro plano (*foreground services*) só podem acessar a localização caso essa permissão tenha sido previamente concedida [Google Developers 2024].

Durante os testes realizados na solução Vou de Busão, observou-se que nos dispositivos com versões do Android mais recentes o envio da localização foi interrompido quando o aplicativo foi colocado em execução em segundo plano, inviabilizando o monitoramento do ônibus até que o aplicativo fosse colocado novamente em primeiro plano. Para mitigar esse efeito, algumas estratégias foram empregadas:

- a) Uso do aplicativo em primeiro plano para garantir o envio da localização do ônibus.
- b) Solicitação explícita da permissão ao acessar as telas de mapa.
- c) Ativação do envio das coordenadas em segundo plano a partir da ação voluntária do usuário.
- d) Inclusão de botões de redirecionamento às configurações do sistema para ajustes de permissões de localização e consumo de bateria.
- e) Redução da frequência de envio das coordenadas interrompendo o compartilhamento quando o veículo se encontra em baixa velocidade.

Em síntese, as restrições impostas pelo sistema Android e pelas políticas de privacidade do Google ao uso da localização em segundo plano representaram um desafio técnico relevante durante os testes do aplicativo Vou de Busão, ao mesmo

tempo em que contribuíram para o amadurecimento da solução proposta. Ainda que tais limitações tenham exigido que, em dispositivos com versões mais recentes do sistema Android, o compartilhamento da localização ocorresse com o aplicativo em primeiro plano e a tela ativa, o monitoramento contínuo em tempo real manteve-se plenamente funcional. Esse cenário evidenciou a importância da adoção de estratégias alternativas e bem definidas, como o uso controlado do aplicativo em primeiro plano e a participação ativa do usuário na concessão de permissões, reforçando a viabilidade da solução e sua adaptação às políticas de segurança do sistema Android.

4 APLICAÇÕES E RESULTADOS

Os resultados apresentados neste capítulo foram obtidos a partir de testes realizados de forma controlada. Nesses testes, a solução foi disponibilizada por um período determinado para uma amostra de quatro usuários, com o objetivo de avaliar sua usabilidade, verificar o funcionamento adequado do sistema e analisar a viabilidade tecnológica da solução proposta em um cenário real de uso. Ressalta-se que tais testes não tiveram como finalidade a realização de análises estatísticas, mas sim a validação funcional e tecnológica do sistema, bem como a observação do impacto prático de sua utilização.

4.1 Definição do Ambiente de Teste

A solução proposta neste trabalho para o monitoramento dos ônibus foi testada nos municípios de Cataguases e Leopoldina, localizados na Zona da Mata mineira. Ambos os municípios foram escolhidos por apresentarem características típicas de cidades de pequeno e médio porte com dependência significativa do transporte coletivo urbano, além de viabilizarem a realização dos testes em campo.

Para a execução dos testes, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- a) Notebook Acer Aspire 5 com processador Intel Core i7, 20GB de RAM, SSD de 1TB e sistema operacional Linux Mint 21.3.
- b) Smartphone Samsung Galaxy J7 Prime com Android 8 e Wi-Fi.
- c) Smartphone Samsung Galaxy M30 com Android 10 e conexão móvel 4G.
- d) Smartphone Motorola Edge 60 com Android 15 e conexão móvel 4G.
- e) Tablet Samsung Galaxy S9 FE2 com Android 14.
- f) Smartphone Xiaomi modelo 21091116AI com sistema operacional Android 11.
- g) Smartphone Xiaomi modelo M2101K7BL com sistema operacional Android 11.

Durante os testes, o sistema foi utilizado em campo, com deslocamentos por algumas rotas cadastradas na base de dados, utilizando geolocalização ativa e permissão de compartilhamento. As rotas foram definidas previamente na plataforma *web* com base no mapeamento manual de alguns pontos de parada nas cidades envolvidas.

Foram simulados dois perfis de usuário:

- a) **Passageiro observador:** utiliza o aplicativo para pesquisar o itinerário e acompanhar o deslocamento do veículo até o seu ponto de embarque.
- b) **Passageiro colaborador:** realiza a leitura do código QR de identificação do veículo, ativa o compartilhamento da localização e acompanha o deslocamento do ônibus até o seu ponto de desembarque.

4.2 Resultados obtidos

Os testes realizados concentraram-se na avaliação das funcionalidades da aplicação, no aprimoramento da experiência do usuário e na validação de recursos complementares desenvolvidos ao longo do projeto. Essa etapa contou com a participação dos professores orientadores, em ambiente controlado, permitindo a identificação de limitações técnicas, ajustes de desempenho e refinamentos necessários. Destaca-se que esses testes não tiveram por objetivo a condução de análises estatísticas, concentrando-se na validação funcional e tecnológica do sistema, bem como na observação de seus efeitos práticos em contexto real de uso.

Os testes ocorreram entre 11 de julho de 2024, data em que a versão inicial do aplicativo móvel foi disponibilizada, e 22 de outubro de 2025, quando foram concluídos os últimos ajustes funcionais da versão final do aplicativo. Durante esse período, o sistema foi avaliado pelos professores orientadores do projeto em diferentes condições de uso, contemplando distintos horários do dia (manhã, tarde e noite), situações climáticas variadas e cenários de tráfego urbano com intensidades distintas. Essa diversidade de contextos permitiu uma análise abrangente da aplicação, aproximando os testes de condições reais de operação.

Estes são os resultados das implementações realizadas para solucionar os problemas relatados na Seção 3.1.8:

- a) **Ruído de coordenadas:** o problema foi resolvido de forma satisfatória por meio da renderização da rota no mapa e do cálculo da distância entre as coordenadas capturadas e o trajeto definido. Assim, apenas coordenadas localizadas até um limite de distância pré-estabelecido são consideradas válidas. Adicionalmente, implementou-se um critério de validação baseado na velocidade mínima do ônibus, garantindo que as coordenadas sejam enviadas somente com velocidade igual ou superior a 10 km/h, aumentando a integridade e confiabilidade do monitoramento.
- b) **Ocorrência de travamentos (ANR):** o problema foi resolvido de forma satisfatória após otimizações na renderização do mapa e no gerenciamento das animações dos marcadores, reduzindo o custo computacional associado às atualizações em

tempo real. Essas melhorias tornaram a aplicação mais responsiva e estável durante o acompanhamento do deslocamento do ônibus.

- c) **Falha no rastreamento contínuo em segundo plano:** o problema foi resolvido parcialmente, uma vez que o compartilhamento da localização em segundo plano funcionou adequadamente em dispositivos como o Samsung Galaxy J7 Prime (Android 8) e o Samsung Galaxy M30 (Android 10), desde que as permissões e otimizações de bateria estivessem corretamente configuradas. Entretanto, em outros modelos, como o Motorola Edge 60 (Android 15) e dispositivos Xiaomi (Android 11), observou-se interrupção do envio das coordenadas quando o aplicativo entrava em segundo plano, mesmo com as permissões configuradas. Assim, conclui-se que o rastreamento em primeiro plano apresentou funcionamento adequado em todos os dispositivos testados, enquanto a limitação em segundo plano esteve associada a restrições específicas do sistema operacional Android e a políticas de gerenciamento de energia implementadas por determinados fabricantes.

Cabe ressaltar que, considerando o cenário em que o usuário mantém o aplicativo em primeiro plano, em todos os experimentos da versão atual do sistema proposto, este comportamento mostrou-se consistente e confiável na entrega da informação sobre os veículos monitorados. Todas as etapas, desde a autenticação, passando pelo compartilhamento da rota e o monitoramento do veículo, funcionaram conforme o esperado nos cenários avaliados. Durante os experimentos, foram registrados no sistema Vou de Busão um total de 8 itinerários de ônibus com suas respectivas rotas, 75 pontos de parada e 23 mil coordenadas de posição coletadas entre 11 de julho de 2024 e 22 de outubro de 2025.

4.3 Conclusões sobre os Experimentos

A dependência excessiva do modo colaborativo, em que o funcionamento depende de ao menos um usuário compartilhar a rota, já trazia desafios conhecidos desde o início da proposta. Muitas são as soluções que enfrentam esse desafio, especialmente no que se refere a soluções voltadas à mobilidade urbana. Essa dissertação previa inclusive o desenvolvimento de estratégias de vendas, especialmente em parceria com os comércios próximos aos pontos de ônibus. No entanto, os desafios apresentados na Seção 3.1.8.1, que dizem respeito ao compartilhamento em segundo plano, aumentaram ainda mais a complexidade da colaboração do usuário, uma vez que obriga que o mesmo mantenha, por todo o trajeto, a aplicação em primeiro plano.

Essa dependência gerou a possibilidade de lacunas temporais de dados (ônibus “invisíveis” quando ninguém compartilha), baixa confiabilidade em horários de menor

demanda e risco de descontinuidade caso o engajamento dos usuários não seja suficiente.

Diante das conclusões expostas, foram definidas outras possíveis utilizações para o sistema proposto, com possibilidade de uso imediato em alguns cenários, enquanto em outros há necessidade de pequenas adaptações.

4.4 Outras Aplicações do Sistema em Cenários de Mobilidade Urbana

Embora o sistema proposto tenha sido concebido e avaliado no contexto de monitoramento colaborativo do transporte coletivo urbano, a arquitetura desenvolvida, bem como as funcionalidades implementadas, permitem sua aplicação em diversos outros cenários de mobilidade urbana, mesmo quando desconsiderado o caráter colaborativo da solução.

Essa possibilidade decorre do fato de que a solução já contempla um conjunto de recursos técnicos adaptáveis a diferentes aplicações, tais como o compartilhamento da localização, o rastreamento por GPS em tempo real, a verificação de permanência na rota, o cadastro de itinerários, rotas e pontos por meio de interface *Web*, o armazenamento e consulta de histórico de dados, além da visualização espacial das informações em mapa. Dessa forma, o sistema apresenta potencial de reutilização como base tecnológica para outras iniciativas no contexto da mobilidade urbana.

As Seções 4.4.1 à 4.4.8 apresentam aplicações alternativas, fundamentadas nas capacidades técnicas já existentes no sistema, acompanhadas das respectivas justificativas quanto à sua viabilidade e relevância.

4.4.1 Acompanhamento do Transporte Escolar

Uma aplicação viável consiste no monitoramento de veículos destinados ao transporte escolar, tanto em redes públicas quanto em serviços terceirizados. Nesse cenário, o sistema permite acompanhar a posição dos veículos e registrar históricos de deslocamento.

A justificativa para essa aplicação reside na necessidade de maior segurança, previsibilidade e transparência na prestação do serviço, beneficiando gestores públicos, instituições de ensino e responsáveis legais pelos estudantes. A adoção do sistema pode reduzir tempos de espera e fornecer subsídios para a fiscalização contratual do serviço.

4.4.2 Fiscalização e Auditoria de Serviços de Transporte Concedidos

O sistema também pode ser utilizado como ferramenta de fiscalização e auditoria de contratos de concessão de transporte público. O registro histórico de trajetos,

aliado à visualização geoespacial e ao cálculo de distâncias percorridas, possibilita a comparação entre rotas planejadas e rotas efetivamente executadas.

Essa aplicação é justificada pela crescente demanda por mecanismos objetivos de controle e transparência na gestão pública, permitindo verificar o cumprimento de itinerários, a regularidade das viagens e a quilometragem contratada, servindo como apoio a processos administrativos e de tomada de decisão.

4.4.3 Apoio ao Planejamento da Mobilidade Urbana

Além do uso operacional, o sistema pode atuar como uma plataforma de apoio ao planejamento da mobilidade urbana, funcionando como fonte de dados empíricos sobre o deslocamento dos veículos ao longo do tempo.

A justificativa para essa aplicação está na capacidade do sistema de armazenar dados históricos de localização e trajetos, que podem ser analisados para identificar gargalos viários, padrões de atraso e oportunidades de reconfiguração de linhas e horários. Dessa forma, o sistema pode subsidiar políticas públicas e intervenções baseadas em evidências.

Outras possibilidades incluem o uso de sensores já existentes em *smartphones*, como o acelerômetro, que pode auxiliar no monitoramento das condições do calçamento, e o barômetro, que, combinado a informações de temperatura e umidade, possibilita a geração de dados semelhantes aos de uma miniestação meteorológica embarcada em cada veículo.

4.4.4 Monitoramento de Serviços Urbanos Móveis

As funcionalidades do sistema permitem sua adaptação para o monitoramento de serviços urbanos móveis, tais como coleta de resíduos sólidos, limpeza urbana, manutenção de iluminação pública e equipes de fiscalização.

Essa aplicação é justificada pela similaridade operacional entre esses serviços e o transporte coletivo, uma vez que envolvem veículos em deslocamento contínuo, rotas predefinidas e necessidade de controle da execução. O sistema pode contribuir para maior eficiência operacional, transparência e redução de custos.

4.4.5 Gestão de Frotas de Veículos Oficiais

O sistema pode ser aplicado na gestão de frotas de veículos oficiais utilizados por secretarias municipais, como saúde, obras e defesa civil. As funcionalidades de monitoramento em tempo real, histórico de deslocamentos e visualização em mapa permanecem plenamente aplicáveis.

A justificativa para essa aplicação está na necessidade de controle do uso

dos veículos públicos, otimização de rotas e geração de relatórios de deslocamento, contribuindo para maior eficiência administrativa.

4.4.6 Suporte a Serviços de Emergência e Resposta Rápida

Em contextos de emergência, como atendimento médico, defesa civil ou segurança pública, o sistema pode ser utilizado para monitorar viaturas e ambulâncias, permitindo a visualização simultânea da posição dos veículos e o cálculo de rotas e distâncias.

Essa aplicação justifica-se pela importância da redução do tempo de resposta em situações críticas, bem como pela necessidade de coordenação eficiente dos recursos disponíveis, especialmente em municípios com infraestrutura limitada.

4.4.7 Base Tecnológica para Plataformas de Mobilidade como Serviço

O sistema desenvolvido pode ainda servir como base tecnológica para a implementação de plataformas de Mobilidade como Serviço (MaaS - Mobility as a Service), integrando diferentes modais de transporte em uma única infraestrutura digital.

A justificativa para essa aplicação reside na arquitetura cliente-servidor, na existência de uma API e na capacidade de visualização geoespacial, que facilitam a integração com outros sistemas, como bicicletas compartilhadas, transporte sob demanda e estacionamentos públicos.

4.4.8 Ambiente Experimental para Pesquisa em Mobilidade Urbana

Por fim, o sistema pode ser utilizado como ambiente experimental para pesquisas acadêmicas em mobilidade urbana, permitindo a coleta de dados reais e o teste de algoritmos de roteamento, previsão de tempo de viagem e análise de tráfego.

Essa aplicação é justificada pela flexibilidade do sistema, pelo baixo custo de adaptação e pela possibilidade de utilização em estudos controlados, contribuindo para o avanço científico na área de mobilidade inteligente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação apresentou a proposta e o desenvolvimento dos elementos de *software* necessários para compor uma solução colaborativa para o monitoramento do transporte coletivo urbano por meio de ônibus, denominada Vou de Busão. Foi desenvolvida uma solução integrada, contemplando uma interface *Web* para administração e configuração do sistema, uma API responsável pela comunicação e persistência das informações e um aplicativo móvel voltado à interação direta com os usuários.

A proposta da solução abrange toda a jornada do usuário do transporte coletivo, iniciando-se com a pesquisa pelo itinerário desejado, passando pelo acompanhamento em tempo real do deslocamento do veículo, até o momento do embarque, com a possibilidade de colaboração ativa por meio do compartilhamento da localização. Esse modelo colaborativo mostrou-se adequado ao contexto de cidades de pequeno e médio porte, nas quais a ausência de infraestrutura instalada nos veículos limita a adoção de soluções tradicionais de monitoramento.

Os testes realizados em ambiente controlado permitiram avaliar aspectos fundamentais da solução, como usabilidade, desempenho, confiabilidade da captura de dados de geolocalização e integração entre os diferentes componentes do sistema. A diversidade de dispositivos utilizados e os diferentes cenários de uso possibilitaram identificar limitações técnicas, especialmente relacionadas às restrições impostas pelo sistema operacional Android ao uso da localização em segundo plano, além de desafios de desempenho associados à renderização de mapas e animações em tempo real. Os ajustes implementados a partir desses testes contribuíram significativamente para o amadurecimento da aplicação, resultando em maior estabilidade, melhor experiência do usuário e maior aderência às políticas de privacidade e uso de recursos computacionais dos dispositivos móveis. Embora os testes em campo com uma base ampliada de usuários não tenham sido realizados no escopo deste trabalho, seja pela dificuldade burocrática para parcerias com órgãos públicos ou pela falta de interesse de determinados usuários em colaborar, os resultados obtidos indicam que a solução apresenta viabilidade técnica e potencial de aplicação prática em contextos reais.

Dessa forma, conclui-se que o projeto atingiu seus objetivos principais, entregando uma solução funcional, escalável e alinhada às necessidades do público-alvo, ao mesmo tempo em que estabelece uma base sólida para futuras evoluções e aprofundamentos. Os principais benefícios e limitações da solução são sintetizados nas Seções 5.1 e 5.2.

5.1 Benefícios da Solução

A solução Vou de Busão apresenta benefícios relevantes ao contexto de cidades de pequeno e médio porte, nas quais o transporte coletivo frequentemente carece de ferramentas digitais de acompanhamento. Entre os principais benefícios observados, destacam-se:

- a) **Previsibilidade ao passageiro:** a disponibilização da localização do ônibus em tempo real aumenta a previsibilidade do deslocamento, permitindo ao usuário planejar melhor o momento de se dirigir ao seu ponto de embarque.
- b) **Baixo custo de adoção:** por não exigir *hardware* embarcado, a solução reduz custos de instalação e manutenção, uma vez que o monitoramento pode ocorrer somente com o uso de dispositivos móveis.
- c) **Monitoramento colaborativo:** o rastreamento do veículo pode ser realizado de forma colaborativa, desde que ao menos um dispositivo esteja ativo no ônibus compartilhando a localização para alimentar o sistema.
- d) **Boa experiência de uso:** a aplicação foi concebida com foco em simplicidade e usabilidade, sendo disponibilizada sem anúncios, o que contribui para uma experiência mais clara e objetiva ao usuário.

5.2 Limitações da Solução

Apesar dos benefícios apresentados, a solução possui limitações inerentes à proposta colaborativa e a restrições técnicas relacionadas ao funcionamento do sistema operacional nos dispositivos móveis. As principais limitações identificadas são:

- a) **Dependência de colaboração:** o monitoramento em tempo real depende da colaboração ativa de usuários, sendo necessário que ao menos um dispositivo esteja presente no ônibus compartilhando sua localização.
- b) **Possibilidade de lacunas de rastreamento:** podem ocorrer períodos sem atualização do posicionamento do veículo em situações nas quais não há compartilhamento ativo, quando há ausência de colaboradores ou quando ocorrem falhas temporárias na transmissão de dados.
- c) **Restrição em alguns aparelhos:** em determinados modelos de dispositivos, o compartilhamento de localização pode ser interrompido quando o aplicativo opera em segundo plano, exigindo, em alguns casos, que o aplicativo permaneça em primeiro plano e/ou com a tela ativa para garantir continuidade no rastreamento.

5.3 Sugestões de Continuidade

A partir dos resultados obtidos durante os testes da solução Vou de Busão, são propostas as seguintes sugestões de continuidade e aprimoramento:

- a) Identificar e cadastrar, por meio da interface *Web*, as coordenadas geográficas dos pontos de parada ao longo do itinerário de cada linha. A partir desses pontos previamente cadastrados, são geradas as rotas correspondentes, também configuradas via interface *Web*, que representam o trajeto percorrido pelo transporte coletivo. Essa abordagem possibilita a exibição tanto dos pontos de parada quanto das rotas no mapa do aplicativo móvel durante o acompanhamento do deslocamento, oferecendo maior previsibilidade ao usuário quanto aos locais de embarque e desembarque e ao percurso realizado pelo transporte.
- b) Implementar uma interface para o cadastro e a exibição de horários estimados ou tabelados dos ônibus associados a cada linha, como uma funcionalidade acessória à solução proposta. Na prática, o foco principal do sistema está no fornecimento da localização do ônibus em tempo real, e não se baseia exclusivamente em horários pré-definidos. Dessa forma, a disponibilização de horários tem caráter complementar, atuando apenas como um recurso adicional para ampliar a previsibilidade de chegada do veículo em cenários específicos.
- c) Implementar, na tela de compartilhamento de posição do aplicativo móvel, um botão de pânico que possibilite ao usuário acionar rapidamente um contato de emergência. Essa funcionalidade configura-se como um recurso adicional de segurança, especialmente relevante nos cenários em que o envio da localização ocorre com o aplicativo em primeiro plano (*foreground*), situação na qual é necessário manter a tela do dispositivo ligada para garantir a continuidade da transmissão das coordenadas. Nesses contextos, o botão de pânico agrega valor ao oferecer um mecanismo imediato de comunicação em situações de risco ou necessidade.
- d) Implementar, no aplicativo móvel, a estimativa do tempo de chegada do transporte ao ponto de embarque selecionado pelo usuário, fornecendo uma informação dinâmica e atualizada sobre o tempo restante até a chegada do ônibus, com base nos dados de localização em tempo real.
- e) Aprimorar o mecanismo de identificação do transporte coletivo associado ao compartilhamento da localização, de modo a mitigar possíveis usos indevidos decorrentes da simples reprodução do código QR. Embora a solução atual empregue critérios como velocidade mínima e validação do deslocamento sobre a rota previamente cadastrada, tais medidas não impedem completamente que

um agente mal intencionado simule o trajeto do ônibus utilizando outro veículo. Como evolução futura, propõe-se a adoção de mecanismos adicionais de autenticação do transporte, como o uso de chaves temporárias, *tokens* dinâmicos ou a vinculação do próprio código QR ao dispositivo embarcado do motorista. Essas estratégias visam aumentar a confiabilidade dos dados coletados e reduzir a possibilidade de envio de informações falsas ao sistema.

- f) Evoluir o mecanismo de saldo do tempo de tela para incorporar estratégias de incentivo e experimentação da solução. Como proposta futura, o sistema pode integrar parcerias com o comércio local, permitindo que usuários que contribuam com o compartilhamento de sua localização recebam benefícios, como descontos ou vantagens em estabelecimentos conveniados. Dessa forma, o tempo de colaboração deixa de representar apenas acesso ao mapa e passa a compor um ecossistema de incentivos, estimulando a participação ativa e fortalecendo o vínculo entre a solução e a economia local. Adicionalmente, propõe-se o desenvolvimento, na interface *Web*, de uma funcionalidade que permita o cadastro de um saldo inicial do tempo de tela para determinados usuários ou grupos. Essa abordagem possibilita a oferta de períodos de experimentação controlada da solução Vou de Busão, facilitando a adoção inicial do sistema em novas localidades e contextos de implantação.
- g) Realizar novos testes em campo com uma base ampliada de usuários e veículos, permitindo avaliar o comportamento da solução em cenários de uso contínuo com maior volume de dados.
- h) Aprimorar a interface *Web* à medida que a base de dados se torne mais robusta, incorporando gráficos e relatórios para visualização histórica dos trajetos, métricas de confiabilidade do compartilhamento colaborativo e filtros avançados para análise das linhas, horários e grau de satisfação dos usuários.
- i) Tomar as medidas necessárias para a publicação dos aplicativos móvel e *web*, bem como para o registro do *software*, levando em conta os aspectos legais e de propriedade intelectual, incluindo o empacotamento e o *deploy* também para dispositivos iOS.
- j) Aplicar o sistema proposto em outros cenários, como os descritos na Seção 4.4 para fins de validação.

5.4 Perspectivas Futuras

Além das evoluções funcionais descritas na Seção 5.3, a solução Vou de Busão também apresenta potencial sob a ótica de sustentabilidade e viabilidade econômica.

Nesse sentido, uma perspectiva futura relevante consiste na estruturação de um plano de negócios baseado no principal ativo gerado pela aplicação: os dados de mobilidade do transporte coletivo urbano.

Ao longo do uso do sistema, são registrados dados históricos e em tempo real relacionados ao deslocamento dos ônibus, rotas percorridas, horários de maior demanda e padrões de operação. Esse conjunto de informações, quando tratado de forma adequada, consolida-se como uma base com valor estratégico para diferentes atores envolvidos na mobilidade urbana. Dessa forma, uma etapa futura consiste em definir uma estratégia de monetização que permita manter a evolução contínua do serviço, preservando o caráter social da solução e ampliando seu alcance.

Uma alternativa é manter uma versão gratuita voltada ao usuário colaborador, assegurando acesso às funcionalidades principais de acompanhamento do ônibus e incentivando o engajamento necessário para alimentar a plataforma. Paralelamente, pode-se disponibilizar uma versão premium direcionada a *stakeholders*, oferecendo recursos avançados e acesso ampliado aos dados coletados, como relatórios operacionais, métricas de desempenho e exportação de informações consolidadas.

Adicionalmente, a solução apresenta potencial para monetização por meio de ações de promoção do comércio local situado nas proximidades dos pontos de parada. Considerando que o aplicativo concentra usuários em momentos recorrentes de espera e deslocamento, podem ser incorporados mecanismos de divulgação de estabelecimentos próximos, como mercados, farmácias, padarias e serviços em geral. Essa abordagem pode ser implementada de forma contextual, associando anúncios ou recomendações aos pontos cadastrados e ao itinerário selecionado, permitindo que comerciantes locais financiem a plataforma por meio de campanhas de visibilidade georreferenciada. Além de contribuir para a sustentabilidade financeira do sistema, essa estratégia amplia o benefício social da solução ao incentivar a economia local e aproximar usuários de serviços disponíveis em seu entorno.

Outra possibilidade de evolução do modelo de negócio está associada ao mecanismo do tempo de tela, que pode ser ampliado para além de uma função de controle de uso e passar a integrar a estratégia de geração de valor da plataforma. Como perspectiva futura, o saldo de tempo acumulado pelo usuário em decorrência do compartilhamento de sua localização pode ser vinculado a programas de incentivo em parceria com o comércio local. Nesse cenário, a contribuição do usuário com dados de mobilidade pode resultar em benefícios tangíveis, como descontos, vantagens ou recompensas em estabelecimentos conveniados, configurando um ciclo de valor no qual dados colaborativos se convertem em benefícios econômicos diretos para o próprio usuário.

Essa abordagem reforça o engajamento dos participantes e amplia o atrativo da solução, ao mesmo tempo em que cria oportunidades de receita por meio de parcerias comerciais. O sistema passa, assim, a atuar como um intermediador entre usuários colaboradores e o comércio local, viabilizando modelos de patrocínio, campanhas promocionais georreferenciadas e ações de fidelização baseadas em mobilidade urbana.

Adicionalmente, no contexto de implantação da solução em novas localidades, pode-se incorporar ao aplicativo *Web* administrativo uma funcionalidade de concessão de saldo inicial do tempo de tela. Essa medida viabiliza períodos de experimentação controlada, permitindo que novos usuários tenham acesso temporário às funcionalidades de acompanhamento em tempo real, mesmo antes de contribuírem com dados. Tal estratégia favorece a adoção inicial da plataforma, reduz barreiras de entrada e potencializa a formação da base colaborativa necessária para a consolidação do modelo.

Nesse modelo, destacam-se como potenciais *stakeholders*: prefeituras, que podem utilizar os dados para aumentar a transparência na gestão pública do transporte e embasar políticas de melhoria contínua do serviço; empresas de transporte, que podem se beneficiar do monitoramento operacional e da avaliação de desempenho da frota, com apoio à tomada de decisão em manutenção, planejamento de horários e otimização de rotas; comerciantes e estabelecimentos locais, que podem utilizar a plataforma como meio de divulgação georreferenciada e promoção de serviços nas proximidades dos pontos de parada; e universidades e pesquisadores, para os quais o acesso a dados reais representa oportunidade de análise, estudos acadêmicos e desenvolvimento de soluções de apoio ao planejamento urbano.

Portanto, uma continuidade natural da solução envolve não apenas o avanço técnico do sistema, mas também a sua consolidação como plataforma de dados de mobilidade urbana, capaz de atender simultaneamente ao usuário final e a instituições interessadas em informação confiável e mensurável sobre o transporte coletivo.

REFERÊNCIAS

- [Andrade e Galvão 2016]ANDRADE, J. N.; GALVÃO, D. C. *O conceito de smart cities aliado à mobilidade urbana*. 2016. Acesso em: 20 nov. 2024. Disponível em: <<https://revistas.esuda.edu.br/index.php/humanae/article/view/478>>.
- [Bahar 2025]BAHAR. *Background Location Limits Over Different Android Versions*. 2025. Acesso em: 10 jun. 2025. Disponível em: <<https://medium.com/>>
- [Barros 2023]BARROS, P. H. N. *Arquitetura de microsserviços para o sistema de controle em clínicas de reabilitação: uma abordagem modular e escalável*. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Universidade Estadual Paulista, 2023.
- [Basyir et al. 2018]BASYIR, M. et al. Determination of nearest emergency service office using haversine formula based on android platform. *EMITTER International Journal of Engineering Technology*, v. 5, n. 2, p. 270–278, Jan. 2018. Acesso em: 08 nov. 2024. Disponível em: <<https://emitter.pens.ac.id/index.php/emitter/article/view/220>>.
- [Bernardino e Barros 2025]BERNARDINO, S.; BARROS, L. de Jesus Rodrigues de. Firebase e uso nas aplicações android e ios. *Revista Interface Tecnológica*, v. 21, n. 1, p. 279–287, jan. 2025. Acesso em: 11 dez. 2024. Disponível em: <<https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/1978>>.
- [Brasil 2018]Brasil. *Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018 (Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais – LGPD)*. 2018. Acesso em: 28 dez. 2025. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/L13709.htm>.
- [BusFinder 2024]BusFinder. *BusFinder* - Google Play. 2024. Acesso em: 08 nov. 2024. Disponível em: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.marcobiscaro.busfinder.activities>>.
- [Cadê Meu Ônibus 2024]Cadê Meu Ônibus. *Cadê Meu Ônibus* - Google Play. 2024. Acesso em: 08 nov. 2024. Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/details?id=solucoes.zeno.sinetramhl=pt_BR&pli=1>.
- [Camargo e Farina 2024]CAMARGO, J. H. A.; FARINA, R. M. A importância da usabilidade, ux e ui design em sistemas e suas implicações. *RevistaFT*, v. 29, n. 141, 2024.
- [Carvalho et al. 2023]CARVALHO, B. G. S. et al. Pesquisa de experiência do usuário: Desafios encontrados pelos usuários brasileiros no aplicativo moovit. *Código31*, v. 1, n. 2, p. 42–45, 2023.

- [Carvalho et al. 2023]CARVALHO, C. H. R. d. et al. *Mobilidade urbana no Brasil: principais estudos produzidos pelo IPEA nos últimos quinze anos*. 2023. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA).
- [Cittamobi 2024]Cittamobi. *Cittamobi - Google Play*. 2024. Acesso em: 08 nov. 2024. Disponível em: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=br.com.cittabus>>.
- [Cittamobi 2024]Cittamobi. *Plataforma Cittamobi*. 2024. Acesso em: 06 nov. 2024. Disponível em: <<https://www.cittamobi.com.br/>>.
- [DRAGICEVIC e JANSEN 2012]DRAGICEVIC, P.; JANSEN, Y. *List of Physical Visualizations*. 2012. Disponível em: <https://dataphys.org/list/congestion-visualization/>. Acesso em: 11 dez. 2024. Disponível em: <<https://dataphys.org/list/congestion-visualization/>>.
- [Expo 2024]Expo. *Expo*. 2024. Acesso em: 11 dez. 2024. Disponível em: <<https://expo.dev/>>.
- [Fernandes 2021]FERNANDES, F. M. *Corporate Mobility as a Service: uma perspectiva de Modelos de Negócio e Service Design*. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Faculdade de Economia da Universidade do Porto, 2021.
- [Firebase Realtime Database 2024]Firebase Realtime Database. *Firebase Realtime Database Documentation*. 2024. Acesso em: 11 dez. 2024. Disponível em: <<https://firebase.google.com/products/realtime-database>>.
- [Floripa no Ponto 2.0 2024]Floripa no Ponto 2.0. *Floripa no Ponto 2.0 - Google Play*. 2024. Acesso em: 08 nov. 2024. Disponível em: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=br.mobilibus.floripanoponto>>.
- [Gonçalves 2022]GONÇALVES, A. d. S. *Concepção e desenvolvimento de uma API REST com incorporação de mecanismos de segurança aplicacional*. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Universidade do Minho, 2022.
- [Google Artifact Registry 2024]Google Artifact Registry. *Google Artifact Registry*. 2024. Acesso em: 09 dez. 2024. Disponível em: <<https://cloud.google.com/artifact-registry/docs/overview>>.
- [Google Cloud 2024]Google Cloud. *Google Cloud*. 2024. Acesso em: 11 dez. 2024. Disponível em: <<https://cloud.google.com/>>.
- [Google Cloud 2025]Google Cloud. *Free Google Cloud features and trial offer*. 2025. Acesso em: 27 dez. 2025. Disponível em: <<https://docs.cloud.google.com/free/docs/free-cloud-featurescloud-run>>.

- [Google Cloud Run 2024]Google Cloud Run. *Google Cloud Run*. 2024. Acesso em: 09 dez. 2024. Disponível em: <<https://cloud.google.com/run?hl=pt-br>>.
- [Google Developers 2024]Google Developers. *Background Location Limits*. 2024. Acesso em: 18 nov. 2024. Disponível em: <<https://developer.android.com/about/versions/oreo/background-location-limits>>.
- [Google Developers 2024]Google Developers. *Background Location Usage - Google Maps SDK*. 2024. Acesso em: 02 dez. 2024. Disponível em: <<https://developers.google.com/maps/documentation/navigation/android-sdk/background-location-usage>>.
- [Google Developers 2024]Google Developers. *Request background location*. 2024. Acesso em: 19 nov. 2024. Disponível em: <<https://developer.android.com/develop/sensors-and-location/location/background>>.
- [Google Firebase 2024]Google Firebase. *Google Firebase*. 2024. Acesso em: 11 dez. 2024. Disponível em: <<https://firebase.google.com/>>.
- [Google Firebase 2025]Google Firebase. *Firebase Pricing*. 2025. Acesso em: 27 dez. 2025. Disponível em: <<https://firebase.google.com/pricing?hl=pt-br>>.
- [Google Maps Platform 2024]Google Maps Platform. *Google Maps Platform Documentation*. 2024. Acesso em: 09 dez. 2024. Disponível em: <<https://mapsplatform.google.com/resources/blog/build-more-for-free-and-access-more-discounts-online-with-google-maps-platform-updates/>>.
- [Google Play Console Help 2024]Google Play Console Help. *Google Play Policy for Background Location*. 2024. Acesso em: 21 nov. 2024. Disponível em: <<https://support.google.com/googleplay/android-developer/answer/9799150>>.
- [Google Play Console Help 2024]Google Play Console Help. *Permissions Declaration Form*. 2024. Acesso em: 22 nov. 2024. Disponível em: <<https://support.google.com/googleplay/android-developer/answer/9214102>>.
- [HBus Recife 2024]HBus Recife. *HBus Recife - Google Play*. 2024. Acesso em: 08 nov. 2024. Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.jsm.recife.transporte.publicohl=pt_BR>.
- [Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) 2023]Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Panorama do município de Cataguases-MG*. 2023. Acesso em: 21 out. 2024. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/cataguases/panorama>>.

- [Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) 2023] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Panorama do município de Leopoldina-MG*. 2023. Acesso em: 21 out. 2024. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/leopoldina/panorama>>.
- [JavaScript 2025] JavaScript. *JavaScript*. 2025. Acesso em: 10 mai. 2025. Disponível em: <<https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Web/JavaScript>>.
- [JWT.IO 2025] JWT.IO. *Introduction to JSON Web Tokens*. 2025. Acesso em: 10 mai. 2025. Disponível em: <<https://jwt.io/introduction>>.
- [Ministério da Saúde 2023] Ministério da Saúde. *Taxa de internação entre motociclistas tem maior alta em 10 anos*. 2023. Acesso em: 16 out. 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/noticias/2023/maio/taxa-de-internacao-entre-motociclistas-tem-maior-alta-em-10-anos>>.
- [Ministério dos Transportes 2024] Ministério dos Transportes. *Frota de Veículos - 2024*. 2024. Acesso em: 18 out. 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2024>>.
- [Ministério dos Transportes 2024] Ministério dos Transportes. *Levantamento da Senatran aponta que maioria de proprietários de moto não possuem habilitação para conduzir o veículo*. 2024. Acesso em: 16 out. 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/noticias/2024/09/levantamento-da-senatran-aponta-que-maioria-de-proprietarios-de-motos-nao-possuem-habilitacao-para-conduzir-o-veiculo>>.
- [Miranda, Borges e Florian 2024] MIRANDA, F. A. d.; BORGES, J. H. G.; FLORIAN, F. Análise de integração de apis rest em diferentes linguagens de programação. *RevistaFT*, v. 29, n. 141, 2024.
- [mobe 2024] mobe. *mobe - Google Play*. 2024. Acesso em: 08 nov. 2024. Disponível em: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=br.com.mobinlife.mobehl=pt>>.
- [Moovit 2024] Moovit. *Moovit - Google Play*. 2024. Acesso em: 08 nov. 2024. Disponível em: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.tranzmate>>.
- [Moovit 2024] Moovit. *Moovit - Mibileye*. 2024. Acesso em: 06 nov. 2024. Disponível em: <<https://moovit.com/pt/>>.
- [Moovit 2024] Moovit. *Saiba exatamente onde seu ônibus está: veja a Localização em Tempo Real no mapa!* 2024. Acesso em: 06 nov. 2024. Disponível em: <<https://support.moovitapp.com/hc/pt-br/articles/12708869559826-Saiba-exatamente-onde-seu->

- [Mundada et al. 2023]MUNDADA, K. et al. Smart bus real-time tracking system using gsm and gps module. In: TUBA, M.; AKASHE, S.; JOSHI, A. (Ed.). *ICT Infrastructure and Computing*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2023. p. 509–518. ISBN 978-981-99-4932-8.
- [NASCIMENTO, Silva e Cardoso 2020]NASCIMENTO, L.; SILVA, C.; CARDOSO, A. *Net Promoter Score: Uma abordagem crítica*. 2020.
- [Naveen 2024]NAVEEN, C. R. A comparative analysis of native vs react native mobile app development. *International Journal of Computer Trends and Technology*, v. 72, n. 9, 2024.
- [Nobrega 2023]NOBREGA, R. *Análise dos fatores de influência na escolha do modo de transporte por gênero*. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Universidade de Brasília, Brasília, 2023.
- [NYABUTO 2024]NYABUTO, G. Client-server architecture, a review. *International Journal of Advanced Science and Computer Applications*, v. 3, n. 2, 2024.
- [Paz 2023]PAZ, J. O. Engajamento popular mediado pelo uso de aplicativos no processo de governança no estado de pernambuco. *Revista Semiárido De Visu*, v. 11, n. 1, p. 163–179, mar. 2023. Acesso em: 11 dez. 2024. Disponível em: <<https://semiaridodevisu.ifsertao-pe.edu.br/index.php/rsdv/article/view/391>>.
- [Prefeitura Municipal de Cataguases 2024]Prefeitura Municipal de Cataguases. *Horários de ônibus*. 2024. Acesso em: 21 out. 2024. Disponível em: <<https://cataguases.mg.gov.br/horarios-de-onibus/>>.
- [Prefeitura Municipal de Leopoldina 2024]Prefeitura Municipal de Leopoldina. *Tarifa Zero: Linhas e Horários*. 2024. Acesso em: 21 out. 2024. Disponível em: <<https://www.leopoldina.mg.gov.br/detalhe-da-materia/info/tarifa-zero-linhas-e-horarios-atualizada/314>>.
- [Presidência da República 1995]Presidência da República. *Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995*. 1995. Acesso em: 18 out. 2024. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8987cons.htm>.
- [Presidência da República 2012]Presidência da República. *Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012*. 2012. Acesso em: 18 out. 2024. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm>.
- [Python Software Foundation 2024]Python Software Foundation. *Python*. 2024. Acesso em: 11 dez. 2024. Disponível em: <<https://www.python.org/>>.

- [Radar 2023]RADAR. *Guide to Play Store Background Location Approval*. 2023. Acesso em: 12 mai. 2025. Disponível em: <<https://radar.com/blog/guide-to-play-store-background-location-approval>>.
- [React 2025]React. *React Framework*. 2025. Acesso em: 10 mai. 2025. Disponível em: <<https://react.dev/>>.
- [React Native 2025]React Native. *React Native*. 2025. Acesso em: 10 mai. 2025. Disponível em: <<https://reactnative.dev/docs/environment-setup>>.
- [Ries 2011]RIES, E. *The Lean Startup*. 1. ed. [S.l.]: Crown Business, 2011. 320 p. ISBN 978-0-307-88791-7.
- [Rio de Janeiro Metro Bus BRT V 2024]Rio de Janeiro Metro Bus BRT V. *Rio de Janeiro Metro Bus BRT V - Google Play*. 2024. Acesso em: 08 nov. 2024. Disponível em: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.blogspot.shantiom2108ykk.riodejaneirometrobusbrtvlt&hl=pt>>.
- [Santos 2022]SANTOS, A. A. d. *Desenvolvimento de Infraestrutura IoT para Monitoramento em tempo real de Ônibus Elétrico a Bateria: Aplicação no Laboratório Vivo de Mobilidade da UNICAMP*. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Universidade Estadual de Campinas, 2022.
- [Santos 2023]SANTOS, T. P. *Representação, visualização e análise de grandes volumes de dados urbanos espaço-temporais de segurança pública*. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Universidade Federal de Alagoas, 2023.
- [Sarwar 2025]SARWAR, F. *How to build React Native apps with Expo — A Developer's Tale*. 2025. Acesso em: 10 mai. 2025. Disponível em: <<https://medium.com/>>
- [Stack Overflow 2024]Stack Overflow. *Stack Overflow Developer Survey 2024*. 2024. Acesso em: 05 dez. 2024. Disponível em: <<https://survey.stackoverflow.co/2024/technology>>.
- [Swagger 2025]Swagger. *Swagger*. 2025. Acesso em: 10 mai. 2025. Disponível em: <<https://swagger.io/>>.
- [Transporte 2021]TRANSPORTE, D. do. *Instabilidade em sinal de GPS em ônibus da Next Mobilidade prejudica consulta de linhas em aplicativo*. 2021. Acesso em: 05 fev. 2025. Disponível em: <<https://diariodotransporte.com.br/2021/11/04/instabilidade-em-sinal-de-gps-em-onibus-da-next-mobilidade-prejudica-consulta-de-linhas-em-aplicativo/>>.
- [TRI 2024]TRI. *TRI - Google Play*. 2024. Acesso em: 08 nov. 2024. Disponível em: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=br.net.tripoa.triapp>>.

[Urbes 2024]Urbes. *Urbes* - *Google Play*. 2024. Acesso em: 08 nov. 2024. Disponível em: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=br.com.f3.urbes.activities>>.

[ÓtimoAPP+ 2024]ÓtimoAPP+. *ÓtimoAPP+* - *Google Play*. 2024. Acesso em: 08 nov. 2024. Disponível em: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=br.com.otimoonline.app>>.