v7.n12.2026

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO FUNCIONAL DE UM PROTÓTIPO DE MONITORAMENTO DE ÔNIBUS PARA A MOBILIDADE URBANA

DEVELOPMENT AND FUNCTIONAL EVALUATION OF A BUS MONITORING PROTOTYPE FOR URBAN MOBILITY

DESARROLLO Y EVALUACIÓN FUNCIONAL DE UN PROTOTIPO DE MONITOREO DE AUTOBUSES PARA LA MOVILIDAD URBANA

João Vitor Araujo[1], André Luiz da Silva[2], Fabiana Florian[3]

https://doi.org/10.47820/recima21.v7i12.9921

PUBLICADO: 12/2026

RESUMO

Este artigo apresenta o desenvolvimento e a avaliação funcional de um protótipo de aplicativo de monitoramento de ônibus voltado à mobilidade urbana. A pesquisa, de natureza aplicada, exploratória e descritiva, combinou revisão da literatura e desenvolvimento experimental de um protótipo com React Native e Expo. O protótipo exibe a localização do usuário, a busca de linhas, as rotas, a posição dos ônibus e a estimativa de chegada, além de favoritos e histórico de viagens. A movimentação dos veículos, entretanto, é simulada (três ônibus em três linhas, com atualização a cada seis segundos), sem rastreadores em ônibus reais. A avaliação funcional, composta por dez testes executados em um *smartphone* Android, resultou em cinco testes atendidos, dois parcialmente atendidos, dois não atendidos e um não realizado. As falhas decorrem da autenticação por SMS, ainda não configurada; a medição do erro de localização e a cronometragem do tempo de resposta permanecem pendentes. Conclui-se que o protótipo demonstra parcialmente a viabilidade funcional da solução proposta, permanecendo pendentes a integração com dados operacionais reais e a validação de seu desempenho, o que impede afirmar qualquer efeito sobre o tempo de espera dos passageiros.

PALAVRAS-CHAVE: Mobilidade urbana. Transporte público. Geolocalização. Protótipo. Sistemas de informação.

ABSTRACT

This paper presents the development and functional evaluation of a mobile app prototype for bus monitoring aimed at urban mobility. The research, applied, exploratory and descriptive in nature, combined a literature review with the experimental development of a prototype using React Native and Expo. The prototype displays the user's location, line search, routes, bus positions and estimated arrival times, in addition to favorites and trip history. Vehicle movement, however, is simulated (three buses on three lines, updated every six seconds), without trackers on real buses. The functional evaluation, consisting of ten tests run on an Android smartphone, resulted in five tests met, two partially met, two not met and one not performed. The failures stem from SMS authentication, not yet configured; the measurement of location error and the timing of response times remain pending. It is concluded that the prototype partially demonstrates the functional feasibility of the proposed solution, with integration with real operational data and validation of its performance still pending, which precludes any claim about its effect on passengers' waiting time.

KEYWORDS: *Urban mobility. Public transport. Geolocation. Prototype. Information systems.*

[1] Universidade de Araraquara, graduando.
[2] Universidade de Araraquara, doutor.
[3] Universidade de Araraquara, doutora.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

RESUMEN
Este artículo presenta el desarrollo y la evaluación funcional de un prototipo de aplicación móvil de monitoreo de autobuses orientado a la movilidad urbana. La investigación, de naturaleza aplicada, exploratoria y descriptiva, combinó la revisión de la literatura con el desarrollo experimental de un prototipo con React Native y Expo. El prototipo muestra la ubicación del usuario, la búsqueda de líneas, las rutas, la posición de los autobuses y la estimación de llegada, además de favoritos e historial de viajes. Sin embargo, el movimiento de los vehículos es simulado (tres autobuses en tres líneas, con actualización cada seis segundos), sin rastreadores en autobuses reales. La evaluación funcional, compuesta por diez pruebas realizadas en un smartphone Android, dio como resultado cinco pruebas cumplidas, dos parcialmente cumplidas, dos no cumplidas y una no realizada. Las fallas se deben a la autenticación por SMS, aún no configurada; la medición del error de ubicación y el cronometraje del tiempo de respuesta siguen pendientes. Se concluye que el prototipo demuestra parcialmente la viabilidad funcional de la solución propuesta, quedando pendientes la integración con datos operativos reales y la validación de su desempeño, lo que impide afirmar cualquier efecto sobre el tiempo de espera de los pasajeros.

PALABRAS CLAVE: *Movilidad urbana. Transporte público. Geolocalización. Prototipo. Sistemas de información.*

INTRODUÇÃO

O transporte público desempenha papel fundamental na mobilidade urbana, pois garante o deslocamento diário de grande parte da população. Um dos desafios enfrentados pelos usuários, contudo, é a falta de informações precisas sobre horários e sobre a localização dos veículos, o que gera incerteza e insatisfação. Segundo Carvalho (2016), o crescimento do transporte individual motorizado vem deteriorando as condições de mobilidade da população brasileira, o que torna necessário ampliar o uso do transporte público. Nesse sentido, a Lei nº 12.587/2012 (BRASIL, 2012) assegura ao usuário o direito de ser informado sobre itinerários e horários dos serviços.

Nesse cenário, soluções tecnológicas que informem a posição dos veículos e a previsão de chegada podem apoiar os usuários e a gestão do serviço. A literatura associa o uso de informação em tempo real à redução do tempo de espera e à maior satisfação dos passageiros (BRAKEWOOD; WATKINS, 2019; WATKINS *et al.*, 2011), e a ampla disponibilidade de *smartphones* com GPS, cuja precisão costuma ser de cerca de 4,9 metros de raio em céu aberto (GPS.GOV, [s.d.]), torna viável a construção dessas soluções. A justificativa deste estudo é, assim, social, por tratar de um problema de mobilidade, e tecnológica, por documentar a arquitetura e a avaliação funcional de um protótipo de aplicativo em React Native e Expo, cujo modelo de dados em nuvem foi planejado com o Firebase e cuja simulação de veículos permite verificar a lógica do sistema antes da integração com dados operacionais reais.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Problema de pesquisa. Em que medida um protótipo de monitoramento de ônibus, baseado em geolocalização e simulação de deslocamentos, apresenta viabilidade funcional para apoiar a disponibilização de informações aos usuários do transporte público? Pressupõe-se que a combinação de geolocalização, banco de dados em nuvem e interface de aplicativo permita informar a posição e a chegada estimada dos ônibus; o efeito dessas informações sobre o tempo de espera, embora apontado pela literatura, não é objeto de verificação nesta etapa.

Objetivo geral. Desenvolver e avaliar funcionalmente um protótipo de monitoramento de ônibus, baseado em geolocalização, que permita visualizar a posição dos veículos e estimar o tempo de chegada às paradas.

Objetivos específicos. (i) desenvolver um aplicativo para consulta de linhas e visualização da posição dos veículos; (ii) implementar a geolocalização do usuário no mapa; (iii) projetar o banco de dados em nuvem e armazenar os dados de uso, como favoritos e histórico; (iv) simular a movimentação de veículos para demonstrar a rota, a posição e a estimativa de chegada; e (v) avaliar funcionalmente o protótipo por meio de testes.

O artigo está organizado em quatro partes: o referencial teórico, que trata da mobilidade urbana, da geolocalização, da proteção de dados e da previsão de chegada; a metodologia, que descreve a arquitetura, o modelo de dados, a simulação e os testes; os resultados e a discussão; e as considerações finais.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1. Mobilidade urbana e informação ao passageiro

A mobilidade urbana depende diretamente da eficiência do transporte público. Carvalho (2016) aponta que o crescimento do transporte individual motorizado vem deteriorando as condições de deslocamento no país, e a Política Nacional de Mobilidade Urbana (BRASIL, 2012) inclui, entre os direitos do usuário, o de ser informado sobre itinerários, horários e tarifas dos serviços (art. 14, inciso III).

A literatura internacional indica que a informação em tempo real traz benefícios mensuráveis. Em revisão da literatura, Brakewood e Watkins (2019) identificam, entre os principais efeitos, a redução do tempo de espera, a maior satisfação com o serviço e o aumento do uso do transporte público. Em estudo com usuários de ônibus, Watkins *et al.* (2011) observaram que quem usava informação em tempo real relatou espera média de cerca de 7,5 minutos, contra 9,9 minutos de quem consultava apenas horários tradicionais, além de não perceber a espera como mais longa do que ela realmente era. Esses resultados, porém, referem-se a sistemas que operam com dados reais de veículos e a passageiros reais, e não podem ser transferidos automaticamente a

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

um protótipo com dados simulados, como o deste estudo; eles indicam o benefício potencial que justifica o desenvolvimento, e não um resultado alcançado.

Evidência mais recente vem de Dey *et al.* (2021), que compararam 100 viagens em uma linha de ônibus de Morgantown (Estados Unidos), 50 com e 50 sem um aplicativo de informação em tempo real, e registraram espera média de 1 minuto e 43 segundos com o aplicativo, contra 4 minutos e 37 segundos sem ele, uma redução de 63%. O estudo, porém, envolveu uma única linha e uma amostra pequena, e seu resultado depende, como os anteriores, de dados reais de veículos, o que reforça que o benefício não pode ser presumido para um protótipo com posições simuladas.

1.2. Sistemas de informação, geolocalização e proteção de dados

Segundo Laudon e Laudon (2014), os sistemas de informação transformam dados em informações úteis, auxiliando a tomada de decisões e a melhoria de processos. No monitoramento de ônibus, a geolocalização por GPS é a fonte desses dados, e sua qualidade é limitada: segundo o GPS.GOV ([s.d.]), *smartphones* costumam apresentar precisão de cerca de 4,9 metros de raio em céu aberto, valor que piora perto de edifícios, pontes e árvores, que bloqueiam ou refletem o sinal dos satélites. Em áreas urbanas densas, esse erro pode afetar o posicionamento de veículos e usuários em relação às paradas.

A localização e o telefone de uma pessoa são dados pessoais quando permitem identificá-la. A Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (BRASIL, 2018) define dado pessoal como a informação relacionada a pessoa natural identificada ou identificável (art. 5º, inciso I) e exige que o tratamento tenha propósitos legítimos, específicos e informados ao titular (art. 6º, inciso I) e se limite ao mínimo necessário para esses propósitos (art. 6º, inciso III). Esses princípios orientam as decisões de projeto sobre quais dados o sistema coleta e armazena.

1.3. Arquitetura de rastreamento, interoperabilidade e previsão de chegada

Sistemas de rastreamento de ônibus costumam combinar um dispositivo de localização no veículo, que envia coordenadas a um servidor, um banco de dados que as armazena e uma aplicação que as apresenta ao usuário. No campo dos dados de transporte, o GTFS Realtime é uma especificação de *feed* que permite às agências informar, em tempo real, atrasos e posições dos veículos a desenvolvedores de aplicativos, definindo três tipos de dados: posições de veículos, atualizações de viagem e alertas de serviço (GOOGLE, [s.d.]c). Adotar um padrão aberto como esse tende a facilitar a integração futura de um sistema com os dados de operadores de transporte.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Quanto à previsão de chegada, a revisão de Reich *et al.* (2019) sobre métodos de estimativa de tempo de chegada de ônibus, baseados em dados de localização automática de veículos, conclui que os estudos relatam a acurácia de modos inconsistentes, o que impede comparações objetivas, e que muitos omitem um algoritmo de referência, razão pela qual os autores defendem padrões comuns, como bases de dados e algoritmos de referência. Para o presente estudo, isso implica que uma validação futura da estimativa de chegada deve adotar uma métrica explícita e uma comparação com uma linha de base, o que não é possível enquanto as posições forem simuladas.

Entre os trabalhos recentes, Li, Wolf e Wang (2024) propõem o ArrivalNet, modelo de previsão de chegada de ônibus e bondes treinado com cerca de 125 dias de dados operacionais de Dresden (aproximadamente 4,97 milhões de sequências), que considera padrões periódicos dos atrasos e variáveis como dias úteis, horários de pico e semáforos, e que apresentou erro menor do que modelos de comparação como ARIMA, LSTM, *Transformer* e TCN. Por se tratar de uma publicação em pré-impressão, seus resultados devem ser lidos com cautela, mas o trabalho ilustra o que a previsão de chegada exige além do protótipo aqui descrito: grande volume de dados históricos reais e modelos que incorporem o comportamento do trânsito. Por isso, a estimativa de chegada do protótipo, derivada de posições simuladas, deve ser entendida como demonstração da exibição, e não como método de previsão. A coleção de posições por linha do protótipo (Quadro 1) aproxima-se, conceitualmente, do tipo de dado de posição de veículos do GTFS Realtime, o que sugere um caminho de adaptação futura, ainda não testado.

2. METODOLOGIA

2.1. Classificação da pesquisa

A pesquisa é aplicada, pois busca produzir uma solução tecnológica para um problema prático, e tem caráter exploratório e descritivo. Seus procedimentos são a revisão bibliográfica narrativa, que reuniu artigos científicos, legislação e documentação técnica sobre mobilidade urbana, informação em tempo real ao passageiro e geolocalização, e o desenvolvimento experimental de um protótipo, seguido de avaliação funcional. O protótipo foi desenvolvido de forma incremental, em ciclos de implementação e verificação. Não há delimitação de um caso concreto de operação de transporte público, de modo que o estudo não se enquadra como estudo de caso.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

2.2. Arquitetura e tecnologias

O protótipo foi desenvolvido como aplicativo móvel com React Native, que estende a biblioteca React (REACT, [s.d.]) para dispositivos móveis, e com o Expo, que permite executá-lo em Android, iOS e no navegador. O Node.js (OPENJS FOUNDATION, [s.d.]) é utilizado apenas como ambiente de execução e de desenvolvimento; não há servidor *back-end* próprio, pois a movimentação dos ônibus é simulada no próprio aplicativo. O mapa e a localização do usuário são exibidos por meio do Google Maps Platform (GOOGLE, [s.d.]b). Para a autenticação e o armazenamento de dados, planejou-se o uso da plataforma Firebase (GOOGLE, [s.d.]a), cuja integração ao protótipo ainda não foi confirmada. A arquitetura prevista para o rastreamento real é a de um dispositivo em cada ônibus enviando coordenadas a um banco de dados em nuvem, do qual o aplicativo as lê e atualiza o mapa; no protótipo, esse envio é substituído por uma simulação.

2.3. Modelo de dados planejado

O modelo de dados foi planejado para um banco de dados em nuvem, com cinco coleções, conforme o Quadro 1. As regras de segurança planejadas definem que o usuário lê e grava apenas os próprios dados, que o histórico não pode ser alterado nem excluído após a criação, que as linhas e as posições dos ônibus podem ser lidas por qualquer usuário autenticado e gravadas somente por contas administrativas, e que o campo que indica a verificação do telefone permanece falso enquanto a verificação por SMS não estiver configurada. O modelo não prevê o armazenamento da localização do usuário, usada apenas para exibir sua posição no mapa. A integração dessas coleções ao protótipo e a validação das regras de segurança ainda não foram confirmadas; por isso, não se afirma que estejam operacionais.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Quadro 1. Coleções do modelo de dados planejado e regras de acesso previstas

Coleção	Conteúdo	Regra de acesso prevista
usuarios/{uid}	uid, nome, e-mail, telefone informado, telefone verificado e data de atualização	Leitura e gravação pelo próprio usuário; exclusão negada
usuarios/{uid}/favoritos/{routeId}	Identificador da linha e data de inclusão	Leitura, gravação e exclusão pelo próprio usuário
usuarios/{uid}/historico/{historyId}	Identificador e nome da linha e data da consulta	Leitura e criação pelo próprio usuário; alteração e exclusão negadas
linhas/{routeId}	Linhas cadastradas, indexadas pelo identificador da linha	Leitura por usuário autenticado; gravação por administrador
posicoesOnibus/{routeId}	Posições simuladas dos ônibus, indexadas pelo identificador da linha	Leitura por usuário autenticado; gravação por administrador

Fonte: Elaborado pelos autores (2026), a partir das regras de segurança planejadas.

2.4. Simulação da movimentação dos veículos

Como o protótipo não dispõe de rastreadores em ônibus reais, a posição dos veículos é simulada no próprio aplicativo. A simulação utiliza três ônibus em três linhas; a rota de cada linha é um trajeto em linha reta, com cada ônibus partindo de um ponto específico do mapa, e as coordenadas são atualizadas a cada seis segundos. A estimativa de chegada é calculada a partir da distância restante entre o ônibus e o destino, considerando velocidade média fixa de 20 km/h; ela não considera o traçado real das vias, as condições de trânsito nem as paradas, e a simulação usa tempos definidos no projeto, que podem diferir da estimativa exibida. Trata-se, portanto, de uma demonstração do comportamento esperado do sistema, e não de dados operacionais.

2.5. Ambiente experimental e procedimentos de teste

Os testes foram executados pelos próprios desenvolvedores em um *smartphone* Samsung Galaxy A36 com Android 17, usando o navegador Google Chrome, com conexão *Wi-Fi*, em ambiente interno e em ambiente de céu aberto. Foi aplicado um roteiro com dez testes (T1 a T10), cada um com resultado esperado definido, abrangendo autenticação (T1 e T2), mapa e localização (T3 e T4), busca de linhas (T5), favoritos (T6), histórico de viagens (T7), tempo de resposta (T8), posição dos ônibus no mapa (T9) e estimativa de chegada (T10), estes dois últimos com dados simulados. Os testes T9 e T10 foram acrescentados ao roteiro após a primeira rodada, com os testes T1 a T8. Os critérios de classificação foram: atendido, quando o resultado

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

observado coincide com o esperado; parcialmente atendido, quando coincide em parte; não atendido, quando difere do esperado; e não realizado, quando o teste não pôde ser executado ou medido. Os testes T4 e T8 previam medições quantitativas, respectivamente, do erro da localização exibida em relação a um ponto de referência, comparado ao valor de cerca de 4,9 metros do GPS.GOV ([s.d.]), e do tempo de resposta do mapa e do código SMS, em segundos. Os dados são analisados de forma descritiva.

2.6. Tratamento de dados e aspectos éticos

Na versão planejada, o sistema trataria nome, e-mail e telefone informado do usuário, além dos favoritos e do histórico de linhas consultadas, dados que podem identificar uma pessoa e, portanto, são dados pessoais nos termos da Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (BRASIL, 2018). Nos testes, foram usados apenas dados dos próprios desenvolvedores, sem participantes externos. O modelo de dados planejado restringe o acesso de cada usuário aos próprios dados, mas essa regra ainda não foi validada. Uma versão do sistema aberta ao público exigirá informar a finalidade do tratamento, limitar a coleta ao necessário e obter o consentimento do titular (BRASIL, 2018, arts. 6º e 7º). A futura avaliação com usuários reais dependerá de análise quanto à necessidade de apreciação por comitê de ética em pesquisa, conforme as normas aplicáveis.

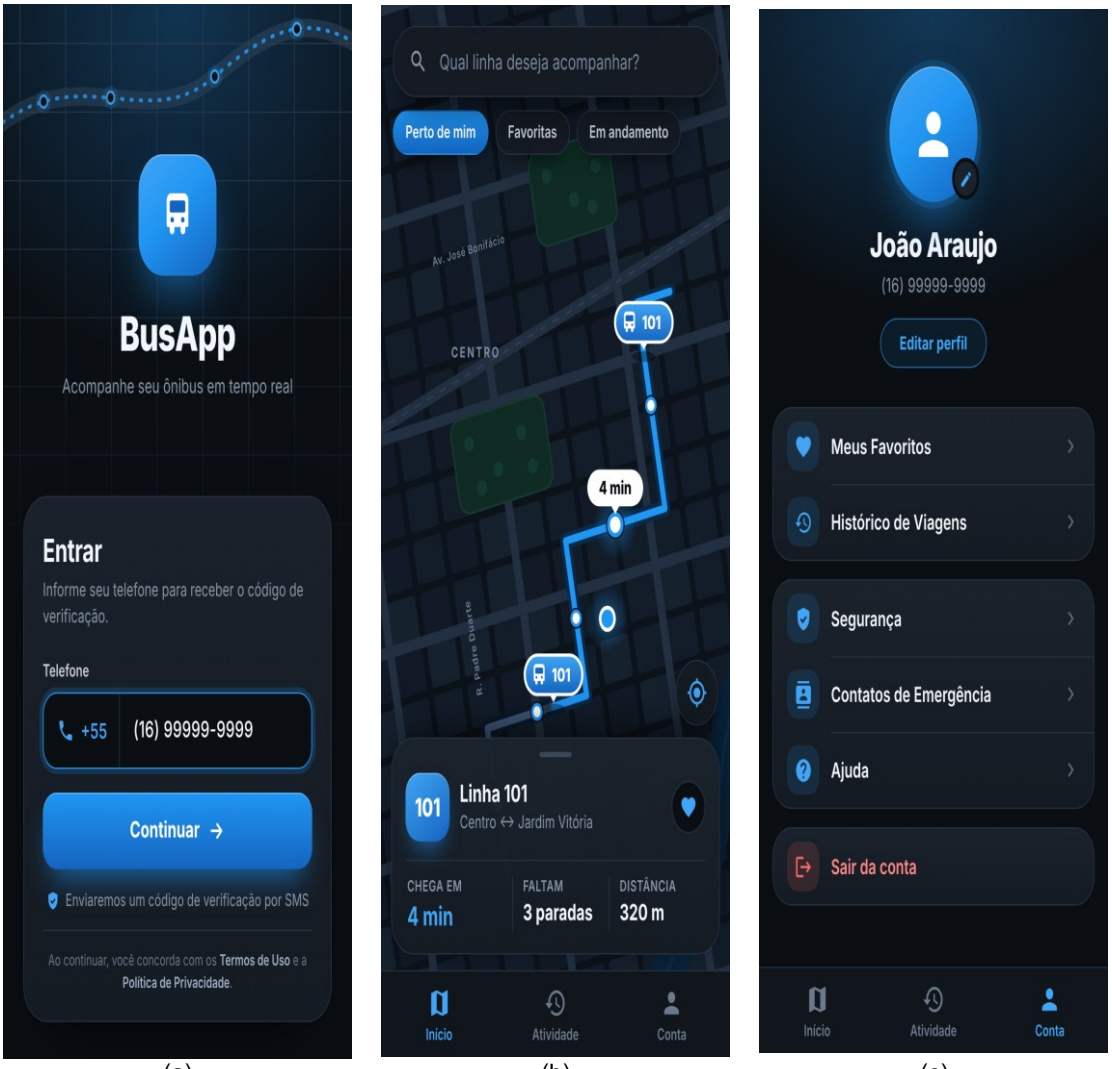
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Protótipo desenvolvido

O protótipo oferece autenticação por telefone, mapa com a localização do usuário, busca de linhas, exibição da rota, posição dos ônibus e estimativa de chegada, além de favoritos e histórico de viagens. A Figura 1 reúne representações ilustrativas das telas de autenticação, principal e de conta. Elas foram elaboradas em React como proposta de interface para orientar a evolução do protótipo e não são capturas de tela do protótipo testado; os valores exibidos, como o telefone e o tempo de "4 min", são fictícios. Na tela de autenticação (a), a entrada do telefone está implementada, mas o envio e a verificação do código por SMS não estão configurados. Na tela principal (b), estão implementados o mapa, a busca de linhas, a rota, a posição dos ônibus e a estimativa de chegada, estes últimos com movimentação simulada. Na tela de conta (c), os favoritos e o histórico de viagens estão implementados, e os demais itens do menu compõem a proposta de interface.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Figura 1. Representações ilustrativas das telas do sistema: (a) autenticação, (b) principal e (c) conta



(a) (b) (c)

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

3.2. Resultados da avaliação funcional

O Quadro 2 apresenta os testes, o resultado esperado e o resultado obtido em cada um. Dos dez testes, cinco foram atendidos (T3, T6, T7, T9 e T10), dois foram parcialmente atendidos (T5 e T8), dois não foram atendidos (T1 e T2) e um não foi realizado (T4).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Quadro 2. Resultados da avaliação funcional do protótipo

Teste	Resultado esperado	Resultado obtido
T1 – Autenticação com telefone válido	Código SMS recebido e acesso liberado ao informar o código correto	Não atendido: o envio de SMS não está configurado; o acesso é liberado com qualquer número de telefone, sem verificação.
T2 – Autenticação com código incorreto	Acesso negado, com mensagem de erro	Não atendido: não há validação de código, portanto o acesso não é negado.
T3 – Exibição do mapa e da localização do usuário	Mapa carregado, com o marcador na posição do usuário	Atendido: o mapa carregou e o marcador foi exibido na posição estimada pelo dispositivo, sem validação quantitativa da precisão.
T4 – Erro da localização exibida	Erro próximo de 4,9 m de raio em céu aberto (GPS.GOV, [s.d.])	Não realizado: o erro da localização não foi medido nesta rodada de testes.
T5 – Busca de linhas	Linha existente é encontrada; linha inexistente retorna mensagem adequada	Parcialmente atendido: a linha cadastrada foi encontrada; a mensagem para linha inexistente não foi verificada.
T6 – Favoritos	Linha favoritada permanece salva após fechar e reabrir o aplicativo	Atendido: o favorito funcionou conforme o esperado.
T7 – Histórico de viagens	Viagem registrada aparece na lista do histórico	Atendido: a viagem registrada apareceu no histórico.
T8 – Tempo de resposta	Tempo médio de resposta do mapa e do código SMS registrado em segundos	Parcialmente atendido: o mapa recarrega rapidamente, por observação, sem cronometragem; o SMS não está configurado, e o tempo do código não pôde ser medido.
T9 – Posição dos ônibus no mapa (dados simulados)	Posição simulada dos ônibus exibida no mapa	Atendido: a posição simulada dos ônibus foi exibida no mapa.
T10 – Estimativa de chegada nas paradas (dados simulados)	Estimativa de chegada exibida a partir da posição simulada	Atendido: a estimativa de chegada simulada foi exibida.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Os resultados confirmam o funcionamento do mapa com a localização do usuário, dos favoritos e do histórico de viagens, além da exibição da posição dos ônibus e da estimativa de chegada com dados simulados; os testes T9 e T10 verificaram a exibição, e não a exatidão em condições reais. Em T3, o marcador foi exibido na posição estimada pelo dispositivo, mas sem medição do erro, de modo que a precisão não foi validada. Os testes T1 e T2 mostraram que a autenticação por telefone está implementada apenas na interface, o que impediu a medição do tempo do SMS em T8. Nesse mesmo teste, o mapa recarregou rapidamente, mas apenas por

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

observação, sem cronometragem. O erro médio da localização (T4) e o tempo medido de carregamento do mapa não foram registrados.

3.3. Situação das funcionalidades

O Quadro 3 classifica cada funcionalidade segundo a implementação e a validação. Das nove funcionalidades, seis estão implementadas e validadas total ou parcialmente por testes formais, duas delas com dados simulados; duas estão implementadas sem teste formal (rotas e atualização automática das coordenadas, esta com dados simulados); e uma, a autenticação, está parcialmente implementada. Embora oito das nove funcionalidades existam no protótipo, a validação formal abrange seis, e nas funções simuladas ela verifica a exibição, e não o desempenho em condições reais; por isso, essa proporção não deve ser interpretada como maturidade do sistema.

Quadro 3. Situação das funcionalidades do protótipo

Funcionalidade	Situação	Evidência
Autenticação por telefone com código por SMS	Parcialmente implementada (interface)	T1 e T2 não atendidos
Mapa com a localização do usuário	Implementada e validada	T3 atendido, sem medição do erro
Busca de linhas	Implementada e parcialmente validada	T5 parcialmente atendido
Favoritos	Implementada e validada	T6 atendido
Histórico de viagens	Implementada e validada	T7 atendido
Exibição das rotas das linhas	Implementada, sem validação	Sem teste formal
Posição dos ônibus no mapa	Implementada com simulação e validada funcionalmente	T9 atendido (dados simulados)
Atualização automática das coordenadas	Implementada com simulação (6 s), sem validação	Sem teste formal
Estimativa de chegada nas paradas	Implementada com simulação e validada funcionalmente	T10 atendido (dados simulados)

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

3.4. Discussão

A falha da autenticação tem duas implicações. A primeira é funcional: sem a verificação do código, o sistema não confirma a identidade de quem acessa, e os favoritos e o histórico ficam associados a uma identidade não verificada. A segunda diz respeito à proteção de dados: sem a verificação, o telefone não pode ser tratado, nesta etapa, como dado confirmado do titular, requisito para uma versão aberta ao público (BRASIL, 2018).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

A simulação, por sua vez, permitiu verificar, nos testes T9 e T10, a exibição da posição dos ônibus e da estimativa de chegada, mas não demonstra a capacidade de rastreamento operacional. Como as posições seguem trajetos retilíneos, são atualizadas a cada seis segundos e a estimativa usa velocidade fixa de 20 km/h, por regras definidas pelos desenvolvedores, não há como avaliar a exatidão da estimativa de chegada diante de variações reais de trânsito, paradas e desvios. Soma-se a isso a ausência de medições de desempenho: sem o erro de localização e os tempos de resposta, não há avaliação objetiva da qualidade do sistema, e a comparação com o valor de referência de 4,9 metros do GPS.GOV ([s.d.]) permanece pendente.

Os benefícios descritos na literatura, como a redução da espera percebida e real (WATKINS *et al.*, 2011; BRAKEWOOD; WATKINS, 2019; DEY *et al.*, 2021), não podem ser atribuídos ao protótipo, pois ele não foi avaliado com usuários nem com dados reais. Além disso, conforme Reich *et al.* (2019), a comparabilidade entre estudos de previsão de chegada exige métricas e algoritmos de referência, de modo que a futura validação da estimativa deve defini-los desde o início. O Quadro 4 relaciona cada objetivo específico às evidências obtidas, ao grau de atendimento e às limitações.

Quadro 4. Objetivos específicos, evidências e limitações

Objetivo específico	**Evidência obtida**	**Grau de atendimento**	**Limitação**
(i) Aplicativo para consulta de linhas e posição dos veículos	Protótipo funcional; T5	Parcial	Busca validada só para linha existente; posição simulada
(ii) Geolocalização do usuário no mapa	T3 atendido	Atendido, sem validação quantitativa	Erro de localização não medido (T4)
(iii) Banco de dados em nuvem e armazenamento de dados de uso	Modelo planejado (Quadro 1); T6 e T7 atendidos	Parcial	Integração do banco em nuvem e regras de segurança não confirmadas nem validadas
(iv) Simulação de veículos com rota, posição e estimativa	Implementada; T9 e T10 atendidos	Atendido com dados simulados	Exatidão da estimativa não avaliada; rota e atualização sem teste formal
(v) Avaliação funcional por testes	Dez testes (Quadro 2)	Parcial	Um teste não realizado, dois parcialmente atendidos e dois não atendidos; um único dispositivo; testes feitos pelos desenvolvedores

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Entre as demais limitações, os testes foram realizados pelos desenvolvedores, em um único dispositivo, e não avaliam a usabilidade nem a percepção dos passageiros. Como trabalhos futuros, propõem-se: (i) configurar o envio de SMS e a verificação do código, repetindo os testes T1, T2 e T8; (ii) integrar o banco de dados em nuvem planejado e validar suas regras de segurança; (iii) medir o erro da localização (T4) e o tempo de carregamento do mapa; (iv) substituir a simulação por dados reais, com veículos equipados com rastreadores enviando coordenadas a um banco de dados; (v) validar a posição e a estimativa de chegada com viagens reais, adotando métrica e linha de base explícitas, e testar formalmente as rotas e a atualização automática das coordenadas; (vi) avaliar a adoção do GTFS Realtime (GOOGLE, [s.d.]c) para interoperabilidade com operadores; e (vii) realizar avaliação com usuários, comparando o tempo de espera com e sem o sistema, após análise da necessidade de apreciação ética.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo desenvolveu e avaliou funcionalmente um protótipo de aplicativo de monitoramento de ônibus. A contribuição tecnológica consiste na arquitetura do aplicativo com React Native e Expo, no modelo de dados planejado para o Firebase, com regras de acesso por usuário, e na simulação que reproduz o comportamento esperado de rota, posição e estimativa de chegada. A contribuição científica consiste na avaliação funcional transparente, que registra o que foi atendido e o que não foi, e na identificação das limitações do protótipo.

Conclui-se que o protótipo demonstra parcialmente a viabilidade funcional da solução proposta: mapa, favoritos, histórico e a exibição simulada da posição dos ônibus e da estimativa de chegada funcionaram nos testes, mas a autenticação por SMS não está operante, as medições de desempenho não foram realizadas e a posição dos ônibus é simulada. Por isso, o estudo não permite afirmar melhoria da mobilidade urbana nem redução do tempo de espera. Os resultados podem fundamentar pesquisas posteriores na integração com dados reais de veículos, na validação da estimativa de chegada com métricas comparáveis e na avaliação com usuários.

REFERÊNCIAS

BRAKEWOOD, C.; WATKINS, K. A literature review of the passenger benefits of real-time transit information. *Transport Reviews*, v. 39, n. 3, p. 327–356, 2019. DOI: 10.1080/01441647.2018.1472147.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

BRASIL. Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana [...]. Brasília, DF: Presidência da República, 2012. Disponível em: https://legis.senado.leg.br/norma/589510/publicacao/15760656. Acesso em: 4 nov. 2026.

BRASIL. Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Brasília, DF: Presidência da República, 2018. Disponível em: https://legis.senado.leg.br/norma/27457334/publicacao/27457731. Acesso em: 13 nov. 2026.

CARVALHO, C. H. R. de. *Desafios da mobilidade urbana no Brasil*. [S. l.]: Ipea, 2016. (Texto para Discussão, n. 2198). Disponível em: http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_2198.pdf. Acesso em: 4 nov. 2026.

DEY, K.; ASHRAF, M. T.; CARROLA, A.; SHI, X. *Analysis of trips made with a multimodal real-time transit information application indicates an average reduction in transit stop wait time of 63 percent*. [S. l.]: Center for Advanced Multimodal Mobility Solutions and Education (CAMMSE), 2021. Disponível em: https://www.itskrs.its.dot.gov/2022-b01646. Acesso em: 13 nov. 2026.

GOOGLE. *Firebase documentation*. [S. l.], [s.d.]a. Disponível em: https://firebase.google.com/docs. Acesso em: 4 nov. 2026.

GOOGLE. *Google Maps Platform documentation*. [S. l.], [s.d.]b. Disponível em: https://developers.google.com/maps/documentation. Acesso em: 4 nov. 2026.

GOOGLE. *GTFS Realtime overview*. [S. l.], [s.d.]c. Disponível em: https://developers.google.com/transit/gtfs-realtime. Acesso em: 4 nov. 2026.

GPS.GOV. *GPS accuracy*. [S. l.], [s.d.]. Disponível em: https://www.gps.gov/systems/gps/performance/accuracy/. Acesso em: 4 nov. 2026.

LAUDON, K. C.; LAUDON, J. P. *Sistemas de informação gerenciais*. 11. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2014.

LI, Z.; WOLF, P.; WANG, M. ArrivalNet: predicting city-wide bus/tram arrival time with two-dimensional temporal variation modeling. *arXiv*, 2024. arXiv:2410.14742. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2410.14742. Acesso em: 13 nov. 2026.

OPENJS FOUNDATION. *Node.js*. [S. l.], [s.d.]. Disponível em: https://nodejs.org. Acesso em: 4 nov. 2026.

REACT. *React*. [S. l.], [s.d.]. Disponível em: https://react.dev. Acesso em: 4 nov. 2026.

REICH, T.; BUDKA, M.; ROBBINS, D.; HULBERT, D. Survey of ETA prediction methods in public transport networks. *arXiv*, 2019. arXiv:1904.05037. Disponível em: https://arxiv.org/abs/1904.05037. Acesso em: 13 nov. 2026.

WATKINS, K. E.; FERRIS, B.; BORNING, A.; RUTHERFORD, G. S.; LAYTON, D. Where is my bus? Impact of mobile real-time information on the perceived and actual wait time of transit riders. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 45, n. 8, p. 839–848, 2011.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.