

MOBILIDADE EQUITATIVA: OTIMIZAÇÃO EM TEMPO REAL DE ROTAS DE ÔNIBUS PARA COMUNIDADES RURAIS COM INTEGRAÇÃO AO GOOGLE MAPS

EQUITABLE MOBILITY: REAL-TIME OPTIMIZATION OF BUS ROUTES FOR RURAL COMMUNITIES VIA GOOGLE MAPS INTEGRATION

Jaime Elias Vieira¹
João Vitor Ventura²
Julia Larissa Carvalho³
Luciano Figueiredo Coelho⁴
Thiago Alexandre Matte⁵
Vlademir Jean Machado⁶

RESUMO: Esse artigo buscou investigar as possibilidades para otimizar a mobilidade em comunidades rurais, através da análise do sistema, requisitos e elaboração de diagramas de uso e atividades fornecendo uma proposta viável para a integração em tempo real de rotas de ônibus com o Google Maps, com o intuito de reduzir disparidades de acesso e promover uma distribuição mais equitativa dos serviços de transporte público. Utilizou-se Santa Amaro da Imperatriz como estudo de caso para analisar a implementação das rotas de ônibus, mapeando requisitos e diagramando o sistema com base nas informações do Google Maps e explicando conceitos como GTFS, GPRS e GSM. Os resultados foram satisfatórios, permitindo que empresas implementem gratuitamente suas rotas no Google Maps e promova as condições mais equitativas para os usuários do transporte público da região.

2581

Palavras-chave: Mobilidade rural. Integração de rotas. Google Maps.

ABSTRACT: This article investigates possibilities to enhance mobility in rural communities by analyzing systems, requirements, and developing usage and activity diagrams, providing a feasible proposal for real-time integration of bus routes with Google Maps. Santa Amaro da Imperatriz was used as a case study to analyze bus route implementation, mapping requirements, and diagramming the system based on Google Maps information, explaining concepts such as GTFS, GPRS, and GSM. The results were satisfactory, enabling companies to implement their routes freely on Google Maps and promote more equitable conditions for public transportation users in the region.

Keywords: Rural mobility. Route integration. Google Maps.

¹Mestrando em Educação Profissional e Tecnológica Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC.

²Graduando em Análise e Desenvolvimento de Sistemas Faculdade Senac Palhoça.

³Graduanda em Análise e Desenvolvimento de Sistemas Faculdade Senac Palhoça.

⁴Mestre em Informática em Saúde Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

⁵Graduando em Análise e Desenvolvimento de Sistemas Faculdade Senac Palhoça.

⁶Mestrando em Informática em Saúde Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

INTRODUÇÃO

Na perspectiva dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), destaca-se a importância do décimo objetivo, que busca a redução das desigualdades (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2023) incluindo aquelas relacionadas ao transporte público. A equidade no acesso aos serviços de transporte público é essencial para promover a inclusão social e o desenvolvimento sustentável das comunidades. A redução das disparidades de acesso requer políticas e estratégias específicas que busquem distribuir de forma mais equitativa os recursos e serviços disponíveis, considerando as necessidades particulares de cada localidade (ARAÚJO, 2022).

A mobilidade em comunidades rurais é marcada por características singulares em comparação com áreas urbanas, sendo influenciada por fatores demográficos, econômicos e geográficos específicos. Nessas regiões, a oferta de transporte público frequentemente enfrenta desafios relacionados à distância entre localidades, à baixa densidade populacional e às limitações de infraestrutura viária (QUEIRÓS, 2008). Na mesorregião da Grande Florianópolis, essa disparidade no transporte público entre áreas urbanas e rurais é evidente, refletindo-se no tamanho da frota, no intervalo entre os ônibus, na quantidade de rotas e na falta de informações sobre a localização e horários dos ônibus.

2582

Neste cenário, percebe-se que as frotas de ônibus dos três maiores municípios desta mesorregião (Florianópolis, São José e Palhoça) estão registradas no software de localização Google Maps, enquanto municípios com população menor não têm suas frotas de ônibus incluídas nesta plataforma. Um exemplo dessa exclusão é o município de Santo Amaro da Imperatriz, que possui uma população estimada de 23.907 habitantes segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2022), e embora compartilhe a mesma principal empresa de aviação dos maiores municípios, não possui essa funcionalidade disponível no Google Maps.

O objetivo geral desta pesquisa é investigar as possibilidades para otimizar a mobilidade em comunidades rurais, através da análise do sistema, requisitos e elaboração de diagramas de uso e atividades fornecendo uma proposta viável para a integração em tempo real de rotas de ônibus com o Google Maps, com o intuito de reduzir disparidades de acesso e promover uma distribuição mais equitativa dos serviços de transporte público.

Para tal se pretende explicar o funcionamento dos documentos da Especificação Geral de Feed de Trânsito (GTFS) para interação entre os rastreadores e os servidores do *Google Maps* e analisar os manuais e protocolos do *Google Transit*, a fim de listar os atores, casos de uso,

interações e fluxo de atividade do sistema de rastreamento, mediante pesquisa acadêmica da engenharia de requisitos e análise orientada a objetos.

Espera-se que com este trabalho, órgãos e pessoas competentes de quaisquer municípios ou empresas que se interessem pelo assunto possam realizar a integração das informações de seus ônibus e rotas para que os usuários dessas frotas, mesmo que no meio rural, possam usufruir das informações disponíveis com fácil acesso no *app Google Maps*, reduzindo imprevistos, facilitando a mobilidade e consequentemente, reduzindo a desigualdade destes moradores com os de regiões mais populosas que utilizam frotas com rotas já previamente disponibilizadas no software.

REFERENCIAL TEÓRICO

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) foram estabelecidos pela ONU como um conjunto de 17 práticas destinadas a erradicar a pobreza, proteger o meio ambiente e promover a paz e a prosperidade global até 2030. Entre esses objetivos, destaca-se o décimo, que visa reduzir as desigualdades em todas as suas formas, incluindo aquelas relacionadas ao acesso ao transporte público (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2023). A inclusão, neste caso, é entendida como a integração absoluta de pessoas com necessidades singulares na sociedade, o qual também pode ser contextualizada na busca por equidade e justiça social para melhores condições no uso do transporte coletivo (RIBEIRO, 2023).

2583

Neste caso, o transporte coletivo é um sistema fundamental para o deslocamento eficiente de passageiros em grupos, promovendo acessibilidade, economia e sustentabilidade quando comparado ao transporte individual (BERTUCCI, 2011).

A rastreabilidade é um elemento importante transporte público, permitindo o acompanhamento e investigação de pistas e sinais relacionados à localização de veículos. Essa funcionalidade garante a segurança dos passageiros e dos próprios veículos, além de fornecer informações em tempo real aos usuários. Para isso, são empregadas diversas tecnologias, como o Sistema de Posicionamento Global (GPS), que utiliza satélites para monitorar a localização dos ônibus, independentemente da infraestrutura de rede local, oferecendo uma solução confiável e precisa. Além disso, o Sistema Global para Comunicações Móveis (GSM) permite a identificação única de cada usuário por meio de chips SIM e números IMEI, facilitando o rastreamento e a comunicação. Por fim, o Serviço Geral de Pacote por Rádio (GPRS), que faz a transferência eficiente de dados por pacotes via IP, sendo útil para o rastreamento de ônibus,

devido à sua capacidade de transmissão de dados de baixa frequência (MONICO, 2000; GADDO, 2008; PIROTTI; ZUCCOLOTTO, 2008).

Essas tecnologias combinadas fornecem uma infraestrutura sólida para o monitoramento e controle eficaz do transporte público, contribuindo para a segurança e eficiência do sistema como um todo

De acordo com o Google (2023), a ferramenta de transporte público do Google Maps, conhecida como Google Transit, facilita o planejamento de viagens ao exibir pontos de ônibus, rotas e horários. As empresas de transporte podem participar cadastrando suas informações no formato GTFS, que inclui arquivos estáticos (GTFS Estático) e em tempo real (GTFS *realtime*), sendo o primeiro obrigatório para o segundo ser adicionado.

A finalidade do GTFS estático é definir um formato para mapear horários dos ônibus e informações geográficas relacionadas (GOOGLE, 2023). Dentre estas informações geográficas, podemos citar paradas e rotas, além de ter a opção de adicionar preços das tarifas. Já o GTFS *realtime* é um complemento do GTFS estático e, portanto, é opcional caso a empresa de ônibus queira participar do Google Transit. Sua finalidade é disponibilizar informações que sofram alterações rápidas, como localização em tempo real dos ônibus, avisos importantes ou alterações de rotas, ao contrário do GTFS estático, que trabalha com informações que sofrem poucas alterações (GOOGLE, 2023).

2584

A descrição geral do sistema, também conhecida como visão geral ou resumo do sistema, é uma apresentação concisa e abrangente das principais características, funcionalidades e objetivos de um sistema. É o ponto de partida para entender sua natureza e utilidade. Por outro lado, a arquitetura de software se refere à estrutura essencial de um sistema de software, englobando seus elementos constituintes, suas interações, princípios de projeto e orientações que direcionam sua estruturação e desenvolvimento. Ela proporciona uma compreensão do funcionamento do sistema, incluindo considerações sobre desempenho, confiabilidade, facilidade de transferência para diferentes ambientes, capacidade de expansão conforme necessário e capacidade de interagir com outros sistemas de forma eficiente (FERREIRA; GIRARDI, 2002).

Os requisitos são importantes na elaboração de documentos de requisitos, delineando as funcionalidades essenciais do software, suas limitações e interações com o banco de dados. Divididos em requisitos funcionais, que descrevem as ações específicas do sistema, e requisitos não funcionais, que definem atributos de qualidade como desempenho e segurança, ambos são

obtidos por meio de interações com stakeholders. Seguindo abordagens sugeridas por autores como Sommerville (2011) e Pressman (2015), essa divisão permite uma compreensão abrangente das capacidades esperadas e das restrições do sistema.

Os diagramas de software servem para representar visualmente as estruturas e processos de um sistema, comunicando de forma clara e concisa sua arquitetura e interações entre os componentes. Os diagramas de caso de uso ilustram as interações entre atores e sistemas, descrevendo ações e relações entre os casos de uso, utilizando elementos como atores, sistema e casos de uso, e relacionamentos como inclusão e extensão. Por outro lado, os diagramas de atividade descrevem o fluxo de um sistema e as operações realizadas, permitindo visualizar etapas do processo e decisões tomadas, utilizando elementos como círculos, balões de ação, bifurcações e uniões. Essas representações, fundamentadas na abordagem de Booch, Rumbaugh e Jacobson (2012), são utilizadas para compreender a estrutura e o funcionamento dos sistemas de software.

MÉTODOS

A metodologia adotada neste estudo de caso é de natureza aplicada, porque tem como objetivo fornecer soluções práticas para resolver o problema identificado na realidade de forma rápida e eficaz (Barros e Lehfeld, 2000). Classifica-se como exploratória porque tende a aprofundar a compreensão do fenômeno em estudo (GIL, 2002) e sua abordagem é qualitativa, pois interpreta e analisa os fenômenos, atribuindo-os ao porquê das coisas (MINAYO, 2001).

Inicialmente, será realizada uma revisão bibliográfica para embasar teoricamente o estudo, abordando conceitos relevantes relacionados à mobilidade em comunidades rurais, tecnologias de geolocalização e integração de sistemas de transporte público. Paralelamente, será analisado o sistema do software Google Maps, com foco na sua capacidade de integração com rotas de ônibus. Serão identificados e gerados os requisitos funcionais e não funcionais necessários para viabilizar essa integração. Após essa etapa, será elaborado um diagrama de funcionamento que representará o fluxo de informações e processos envolvidos na integração das rotas de ônibus com o Google Maps. Além disso, serão desenvolvidos casos de uso para descrever as interações entre os diferentes atores envolvidos no sistema.

Essas análises e desenvolvimentos serão fundamentais para a proposta de integração das rotas de ônibus com o Google Maps, visando otimizar a mobilidade em comunidades rurais e reduzir as disparidades de acesso aos serviços de transporte público.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados os resultados e as discussões desta pesquisa, para tal inicia-se com uma breve abordagem da sua arquitetura de software Google Transit e Google Maps, para posteriormente apresentar os requisitos e os diagramas relacionados.

ARQUITETURA DO SOFTWARE

O formato de troca de dados do GTFS *realtime* é baseado em *Protocol Buffers* que são utilizados de em forma de uma serialização de dados estruturados, sendo uma estrutura veloz e simples de ser utilizada. Também a estrutura desses dados deve ser definida em um arquivo chamado de “*gtfs-realtime.proto*” onde neste arquivo é criado o código-fonte para leitura e gravação dos dados estruturados. Várias linguagens podem ser utilizadas, como Java, C++ ou Python. Enquanto o GTFS Estático não está diretamente vinculado a linguagens de programação, sua utilização requer apenas que o arquivo esteja formatado conforme a documentação e que o arquivo esteja em formato de arquivo de texto (*.txt*).

Já o software Google Maps no *backend*, são utilizadas linguagens como Java, Python e Go, enquanto no *frontend*, emprega JavaScript, HTML5 e CSS. Além disso, as APIs do Google Maps são acessíveis a desenvolvedores, permitindo integrações em diversas linguagens, como Java, Python e JavaScript, ampliando sua aplicabilidade e flexibilidade.

2586

ANÁLISE DE REQUISITOS

Este tópico tem como finalidade mostrar os requisitos funcionais, não-funcionais e regras de negócios do sistema de rastreamento.

REQUISITOS FUNCIONAIS PARA O GTFS ESTÁTICO

O GTFS Estático (General Transit Feed Specification) é um padrão utilizado para representar os dados de transporte público de forma estruturada, permitindo que informações sobre rotas, paradas, horários, tarifas e outras informações estáticas sejam facilmente compartilhadas entre diferentes sistemas e aplicações. Este padrão foi originalmente desenvolvido pelo Google em parceria com a Portland TriMet, e é amplamente usado para alimentar informações em sistemas de mapas e planejadores de viagem ao redor do mundo.

O GTFS Estático é geralmente disponibilizado em um conjunto de arquivos CSV (valores separados por vírgulas) compactados num arquivo ZIP. Cada arquivo dentro do ZIP

representa um tipo específico de dado, como horários de viagens, informações das rotas, ou detalhes das paradas. Esses arquivos são interrelacionados, e o conjunto completo proporciona uma visão abrangente do serviço de transporte.

O Quadro 1 mostra uma lista de requisitos funcionais relacionados ao GTFS Estático, a descrição e prioridade deles e suas respectivas regras de negócios. Os requisitos funcionais de um sistema são fundamentais porque definem claramente as funções específicas que o software deve realizar, orientando o desenvolvimento e garantindo que o produto final atenda às expectativas e necessidades dos usuários.

Quadro 1 – Lista de requisitos funcionais relacionados ao GTFS Estático

Requisito	Descrição	Prioridade	Regra de Negócio
RF01: É necessário um documento de GTFS Estático.	GTFS Estático é o documento básico que uma empresa deve produzir para participar da parceria com o Google Transit.	Essencial	Todos os arquivos criados são em formato .txt mas confeccionados no padrão .csv (<i>comma-separated values</i>), tendo a primeira linha de cabeçalho, separando cada campo com vírgulas, as linhas seguintes correspondem a objetos específicos para cada uma, alguns campos não são obrigatórios, mas os principais serão citados nos requisitos correspondentes a cada arquivo.
RF02: É necessário conter o arquivo <i>agency.txt</i> .	O arquivo <i>agency.txt</i> deve conter as informações da empresa de ônibus 38.	Importante	O arquivo <i>agency.txt</i> deve conter o campo <i>agency_name</i> , contendo o nome da empresa de transporte, o <i>agency_url</i> , contendo o endereço web da empresa, o <i>agency_timezone</i> , mostrando o fuso horário em que a empresa atua de acordo com o padrão presente em https://www.iana.org/time-zones , campos como o <i>agency_phone</i> , e <i>agency_email</i> , que exibem o telefone e e-mail da empresa são interessantes de estarem presentes, embora não sejam essenciais.
RF03: É necessário conter o arquivo <i>stops.txt</i> .	O arquivo <i>stops.txt</i> deve conter informações sobre as paradas de ônibus.	Essencial	Cada parada de ônibus deve conter um elemento <i>stop_id</i> único usado para identificá-la, bem como <i>stop_lat</i> e <i>stop_lon</i> , marcando sua latitude e longitude. O elemento <i>stop_name</i> é opcional, mas serve para exibir diferentes nomes para cada parada no <i>app</i> , facilitando a compreensão e orientação dos usuários.
RF04: É necessário conter o arquivo <i>routes.txt</i> .	O arquivo <i>routes.txt</i> contém informações básicas sobre as rotas de ônibus, as informações geográficas virão depois.	Essencial	São necessários os campos <i>route_id</i> , valor único para aquela rota, um dos campos <i>route_sort_name</i> e <i>route_long_name</i> deve estar presente, sendo o primeiro um nome abreviado de cada rota (como uma sigla ou número) e o segundo sendo o nome completo, ambos devem ser feitos de forma que os usuários os entendam, mas também pode-se fazer os dois em conjunto. O campo <i>route_type</i> é essencial, nele deve-se usar uma numeração de 0 a 12 para representar o tipo de transporte coletivo, no caso deste trabalho, o número seria 3, para ônibus.

RF05: necessário conter arquivo <i>trips.txt</i> .	É o	O arquivo <i>trips.txt</i> é uma espécie de complemento do <i>routes.txt</i> , contendo informações detalhadas sobre cada viagem realizada em cada rota separadamente, ainda que também não tenha informações geográficas inerentes a ele.	Essencial	O arquivo deve conter o campo <i>trip_id</i> , criando um valor único para cada rota, um <i>route_id</i> , que é o mesmo do requisito anterior, servindo para vincular a viagem à rota específica dela, um <i>shape_id</i> , id do arquivo <i>shapes.txt</i> que será abordado no próximo requisito (este sim teria valores geográficos sobre as rotas, viagens etc.). O campo <i>service_id</i> deve estar presente, pois serve para conectar com os arquivos <i>calendar.txt</i> e <i>calendar_dates.txt</i> . Também é interessante acrescentar os campos <i>trip_headsign</i> e <i>direction_id</i> , com o primeiro sendo uma espécie de identificação da rota por nome e o segundo uma numeração para dizer se a viagem é de ida ou de volta, juntos é possível criar duas viagens diferentes representando ida e volta, de forma a deixar mais entendível para o usuário, embora ambos sejam opcionais para o funcionamento do arquivo.
RF06: necessário conter arquivo <i>shapes.txt</i> .	É o	O arquivo <i>shapes.txt</i> contém as informações geográficas de cada rota individualmente. Rotas de ida e volta são tratadas separadamente	Essencial	Primeiramente, o arquivo deve conter o campo <i>shape_id</i> , único para cada formato de rota, o <i>shape_pt_lat</i> e <i>shape_pt_lon</i> , que representam a latitude e longitude de cada vértice do polígono que forma o desenho da rota, bem como o <i>shape_pt_sequence</i> , que enumera a sequência para conectar os vértices, os números devem ser crescentes, mas não necessariamente consecutivos. Vale lembrar que esse arquivo é dito como opcional, mas melhora muito a visualização do usuário ao mostrar o desenho da rota no mapa.
RF07: necessário conter arquivo <i>stop_times.txt</i>	É o	Este arquivo trata sobre as informações de horários em que cada parada é visitada.	Essencial	É necessário vincular em cada linha um <i>trip_id</i> e um <i>stop_id</i> , relacionados com os arquivos <i>trip.txt</i> e <i>stop.txt</i> respectivamente. <i>Stop_sequence</i> define a ordem de visita de cada parada na viagem; <i>arrival_time</i> e <i>departure_time</i> definem a hora de chegada do ônibus na parada e a hora de saída da parada; também é interessante acrescentar o campo <i>shape_dist_traveled</i> , que serve como medidor de distância real entre as paradas, deve conter necessariamente as mesmas unidades usadas no arquivo <i>shapes.txt</i> .
RF08: necessário conter arquivo <i>calendar.txt</i> .	É o	Este arquivo contém informações sobre datas e dias da semana de operação.	Essencial	O arquivo deve conter os valores <i>service_id</i> (que torna cada conjunto de dias de operação únicos), um campo para cada dia da semana, como <i>monday</i> , <i>tuesday</i> , etc. Sendo que estes devem ser preenchidos com o caso o serviço não opera no dia, e 1 caso opere, também é obrigatório conter um valor de data de início e fim desse serviço com os campos <i>start_date</i> e <i>end_date</i> , vale lembrar que cada serviço corresponde a um tipo de operação semanal diferente, ou seja, não é necessário criar uma linha para cada rota, mas sim, criar uma para rotas que operam apenas de segunda a sexta e vincular todas as rotas que operam nesse intervalo.
RF09: necessário conter arquivo <i>calendar_dates.txt</i>	É o	O arquivo contém as exceções de cada serviço mostrado no <i>calendar.txt</i> .	Essencial	Esse arquivo é opcional, mas se mostra essencial neste trabalho pelo fato de a empresa em questão operar em feriados com os horários de domingo. O primeiro valor do arquivo é o <i>service_id</i> que será adicionado ou removida do campo <i>date</i> , que mostra a data em questão da exceção e por último o <i>exception_type</i> , que contém o valor 1 para caso o <i>service_id</i> esteja sendo removida daquela data e 2 para caso esteja sendo adicionado. No caso do trabalho em questão, em feriados deve-se criar uma linha

			removendo o <i>service_id</i> normal do dia e adicionando o <i>service_id</i> de domingo.
RF10: É necessário conter o arquivo <i>frequencies.txt</i> .	É Serve como complemento ao <i>stop_times.txt</i> e ao <i>trips.txt</i> , criando padrões de repetição entre diversas viagens.	Importante	Deve conter um <i>trip_id</i> igual ao do arquivo <i>trips.txt</i> , um campo <i>start_time</i> e um <i>end_time</i> representando respectivamente horário de início e horário final da viagem, sendo este último um horário que define a alteração para o próximo intervalo. <i>Headway_secs</i> é o campo que demarca o tempo em segundos entre duas partidas do mesmo local.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Em resumo o quadro 1 apresenta que o requisito RF01 estabelece a necessidade de criar o documento GTFS Estático, que é essencial para a parceria com o Google Transit. Ele destaca que os arquivos devem estar no formato .txt, mas confeccionados no padrão .csv, com a primeira linha como cabeçalho separando cada campo com vírgulas. Os requisitos RF02 a RF10 detalham os diferentes arquivos que compõem o GTFS Estático, como *agency.txt*, *stops.txt*, *routes.txt*, *trips.txt*, *shapes.txt*, *stop_times.txt*, *calendar.txt*, *calendar_dates.txt* e *frequencies.txt*. Cada requisito descreve o conteúdo necessário em cada arquivo, sua importância e os campos obrigatórios.

Esses requisitos são importantes para garantir que o documento GTFS Estático contenha todas as informações necessárias para que os dados de transporte público sejam corretamente interpretados e exibidos pelos aplicativos e plataformas de navegação, como o Google Maps.

REQUISITOS FUNCIONAIS PARA O GTFS REALTIME

O GTFS Realtime é uma extensão que proporciona informações em tempo real sobre o transporte público. Enquanto o GTFS Estático foca em dados que não mudam frequentemente, como horários e rotas programados, o GTFS Realtime é usado para transmitir informações que podem mudar rapidamente, como atrasos, cancelamentos, alterações de rotas e a posição atual dos veículos.

Essas informações em tempo real permitem que os passageiros tomem decisões informadas sobre suas viagens, melhorando a experiência de usar o transporte público. Além disso, facilitam a gestão das operações de transporte, permitindo que as agências reajam rapidamente a imprevistos ou mudanças nas condições de operação.

O Quadro 2 exibe uma lista com os requisitos funcionais relacionados ao GTFS Realtime e seu funcionamento com o servidor.

Quadro 2 – Lista de requisitos funcionais relacionados ao GTFS *realtime*

Requisito	Descrição	Prioridade	Regra de Negócio
RF11: Criar o documento GTFS <i>Realtime</i> .	O Documento GTFS <i>Realtime</i> conta com as informações da companhia de ônibus que se alteram com maior frequência (localização em tempo real dos ônibus, alertas gerais e avisos de alteração de rota), utilizando as informações fixas do GTFS estático e servindo de apoio para ele. Neste trabalho abordaremos apenas a localização em tempo real, porém, caso as três entidades fossem abordadas, é recomendado que cada uma esteja em um GTFS <i>Realtime</i> diferentes.	Essencial	O GTFS <i>Realtime</i> deve conter um <i>feedMessage</i> , unidade de dados que é enviada em um período do tempo definido com as atualizações necessárias. O arquivo deve conter também um <i>feedHeader</i> , elemento que contém informações relevantes para o funcionamento do documento, como a versão do GTFS, id do <i>feed</i> e o <i>timestamp</i> . A incrementabilidade (<i>incrementality</i>) deve ser do tipo FullData Set, que envia todos os dados do GTFS <i>Realtime</i> em cada <i>feedMessage</i> ; o tipo <i>Differential Updates</i> , que envia apenas os dados que sofrem atualizações constantes ainda não está sendo empregado.
RF12: O GTFS <i>Realtime</i> deve conter a entidade <i>Vehicle Position</i> .	A entidade <i>Vehicle Position</i> corresponde às informações sobre a posição em tempo real do veículo.	Essencial	A entidade deve conter o elemento <i>TripDescriptor</i> , que contém informações como o <i>trip_id</i> , <i>start_date</i> e <i>start_time</i> , além do elemento <i>ScheduleRelationship</i> , que define se a viagem faz parte do cronograma previsto no GTFS estático, caso seja, deve-se escrever 'SCHEDULED'. Também é necessário conter o <i>Vehicle Descriptor</i> , que contém o id único do veículo, o <i>label</i> , que seria uma identificação de cada veículo para o usuário e o <i>license_plate</i> , contendo a placa do veículo. Por último e não menos importante, a entidade deve conter o elemento <i>Position</i> , com os campos latitude e longitude seguindo o padrão do sistema de coordenadas WGS84.
RF13: Após requisição do usuário mostrar as devidas informações	Requisição do usuário ao Google Maps para ter acesso às rotas, horários e localização em tempo real do ônibus.	Essencial	O Google Maps deverá disponibilizar a partir da solicitação de algum usuário para quaisquer localizações da Grande Florianópolis: Opção de escolher o transporte público específico da respectiva empresa. Acesso às rotas e horários do transporte público. Exibição da localização atual do ônibus, caso essa informação seja fornecida.
RF14: O servidor deve enviar os dados para o <i>feedMessage</i> do GTFS <i>Realtime</i> .	O servidor dos <i>hardwares</i> de rastreamento recebe os dados de geolocalização dos automóveis e deve enviá-los para o <i>feedMessage</i> , unidade de dados do GTFS Dinâmico que é enviada periodicamente para o servidor do Google Maps.	Essencial	Os dados de geolocalização que o servidor recebeu relacionados aos <i>hardwares</i> de localização devem ser transcritos no GTFS <i>Realtime</i> de forma automática para que o <i>feedMessage</i> seja enviado aos servidores do Google Maps.

RF15: O GTFS <i>Realtime</i> deve enviar o <i>feedMessage</i> para o servidor do Google Maps.	O <i>feedMessage</i> é a unidade de dados do GTFS <i>Realtime</i> .	Essencial	Após receber os dados de geolocalização dos <i>hardwares</i> instalados nos veículos, o GTFS <i>Realtime</i> deve gerar automaticamente um <i>feedMessage</i> e enviar para o servidor do Google Maps num intervalo curto e bem definido.
---	---	-----------	---

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Em síntese, o Quadro 2 apresenta uma lista de requisitos funcionais relacionados ao GTFS *Realtime*, que é o documento responsável por fornecer informações dinâmicas e em tempo real sobre os serviços de transporte público, como a localização dos ônibus e alertas de alteração de rota.

O requisito RF11 estabelece a necessidade de criar o documento GTFS *Realtime*, que é essencial para fornecer informações em tempo real sobre a localização dos ônibus. Ele destaca que o GTFS *Realtime* deve conter um *feedMessage* com um *feedHeader*, que contém informações relevantes para o funcionamento do documento, como a versão do GTFS e o *timestamp*. Já os requisitos RF12 a RF15 detalham as diferentes entidades e funcionalidades que compõem o GTFS *Realtime*. O RF12 descreve a necessidade de incluir a entidade *Vehicle Position*, que contém informações sobre a posição em tempo real do veículo, enquanto o RF13 estabelece a necessidade de mostrar as informações solicitadas pelo usuário, como rotas, horários e localização em tempo real do ônibus, no Google Maps. Os requisitos RF14 e RF15 descrevem a necessidade de o servidor enviar os dados para o *feedMessage* do GTFS *Realtime* e enviar o *feedMessage* para o servidor do Google Maps, respectivamente. Esses requisitos destacam a importância de garantir que as informações de localização dos ônibus sejam transmitidas de forma automática e periódica para os servidores do *Google Maps*.

2591

Esses requisitos são importantes para garantir que o GTFS *Realtime* forneça informações precisas e atualizadas sobre a localização dos ônibus em tempo real, permitindo que os usuários acompanhem os serviços de transporte público de forma eficiente e conveniente.

REQUISITOS NÃO-FUNCIONAIS

Abaixo constam a lista dos requisitos não funcionais do sistema no quadro 3, estes requisitos visam determinar as qualidades do sistema, como desempenho, segurança, usabilidade e escalabilidade, influenciando diretamente a eficiência, a experiência do usuário e a adequação do sistema ao ambiente de operação.

Quadro 3 – Lista de requisitos não funcionais (continua)

Requisito	Descrição	Prioridade	Regra de Negócio
RNF01: Tempo de resposta.	Cada consulta ou interação com o portal deverá ter um tempo de resposta de, em média, dez segundos.	Desejável	
RNF02: sistema de ajuda ao usuário.	Em qualquer área do portal deverá ser possível acesso ao módulo de ajuda.	Desejável	
RNF03: O sistema de rastreamento deverá ter um <i>delay</i> máximo.	Funcionamento do sistema de rastreamento.	Essencial	O sistema de rastreamento não deve exceder um tempo máximo de 30 segundos para atualizar a localização do ônibus em tempo real. Essa restrição tem como objetivo aumentar a efetividade do sistema de rastreamento, fornecendo informações atualizadas aos usuários. A única exceção será em locais onde há pouco ou nenhum sinal provido por torres de radiofrequência.
RNF04: Para o funcionamento do rastreador deve haver o cumprimento das especificações emitidas pelo fabricante.	Para que o dispositivo de rastreamento funcione adequadamente, é necessário atender a certas especificações.	Importante	O dispositivo para seu pleno funcionamento deve ter uma frequência mínima para que seja efetivo seu uso. Só irá funcionar caso haja alguma frequência de torre compatível com GSM/GRPS.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Em suma, o Quadro 3 apresenta uma lista de requisitos não funcionais relacionados ao sistema proposto. Esses requisitos descrevem características do sistema que não estão diretamente relacionadas às suas funcionalidades, mas são igualmente importantes para garantir o seu bom desempenho, usabilidade e confiabilidade.

O requisito RNF01 estabelece a necessidade de o sistema ter um tempo de resposta médio de até dez segundos para qualquer consulta ou interação com o portal. Embora seja desejável, isso contribui para uma experiência do usuário mais ágil e satisfatória. O requisito RNF02 destaca a importância de haver um sistema de ajuda ao usuário acessível em qualquer área do portal. Isso contribui para facilitar a navegação dos usuários e proporcionar suporte sempre que necessário, o que é considerado desejável para melhorar a usabilidade do sistema. O requisito RNF03 estabelece um requisito essencial para o sistema de rastreamento, especificando que ele não deve exceder um tempo máximo de 30 segundos para atualizar a localização do ônibus em

tempo real. Isso garante que as informações fornecidas aos usuários sejam atualizadas e confiáveis, contribuindo para a efetividade do sistema de rastreamento. Por fim, o requisito RNFO4 destaca a importância de o dispositivo de rastreamento atender às especificações emitidas pelo fabricante para funcionar adequadamente. Isso inclui o cumprimento de certas frequências mínimas para garantir a eficácia do dispositivo, como as frequências de torres compatíveis com GSM/GRPS.

Esses requisitos não funcionais são importantes para garantir que o sistema proposto seja eficiente, confiável e fácil de usar, atendendo às expectativas dos usuários e contribuindo para uma experiência positiva no uso do transporte público.

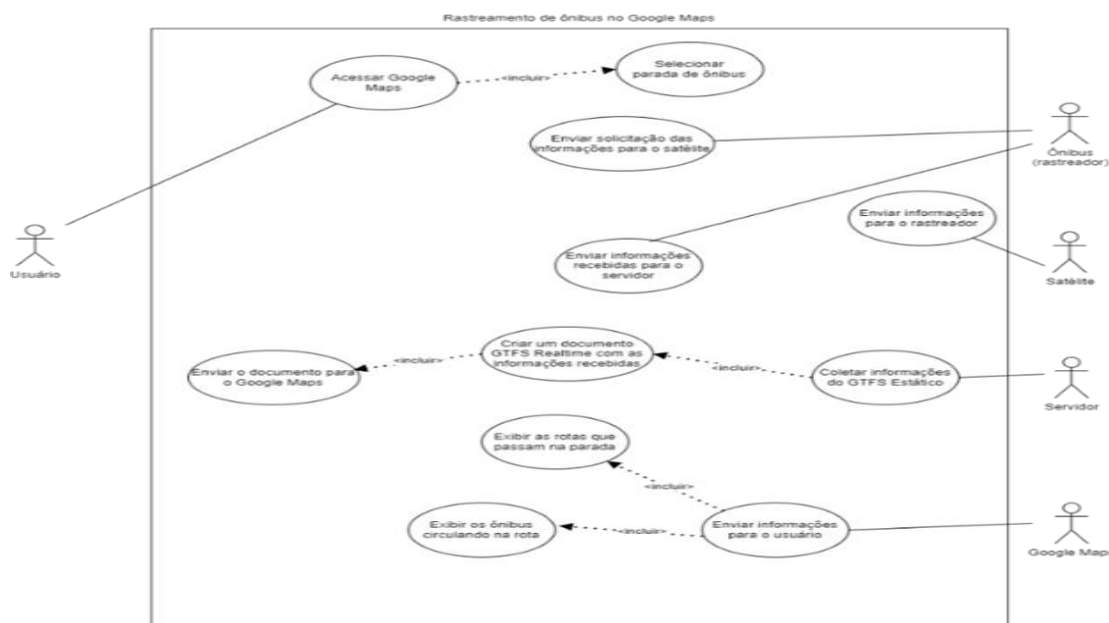
DIAGRAMAS

A seção a seguir engloba os diagramas de caso de uso e de atividade produzidos durante a análise do sistema.

DIAGRAMA DE CASOS DE USO

Os atores e casos de uso do sistema estão descritos na Figura 1 através de um diagrama de caso de uso. Este diagrama é importante porque ilustra as interações entre os usuários (atores) e os sistemas, ajudando a esclarecer os requisitos funcionais e a garantir que todos os cenários de uso estejam cobertos e entendidos. 2593

Figura 1 – Diagrama de caso de uso do sistema de rastreamento



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

O diagrama apresentado na figura 1 representa um sistema de rastreamento de ônibus integrado ao Google Maps, delineando como as interações entre os usuários, o sistema de ônibus (rastreador), satélite, servidor e o próprio Google Maps acontecem para fornecer informações de trânsito em tempo real.

Ao analisar o diagrama podemos perceber que o usuário acessa o Google Maps e seleciona uma parada de ônibus específica, disparando um pedido de informação que é enviado ao satélite. O ônibus, equipado com um rastreador, envia continuamente informações para o satélite, que por sua vez, as encaminha para um servidor. Este servidor tem a função dupla de coletar informações estáticas do GTFS e de criar um documento GTFS *Realtime* com as informações recebidas do ônibus. Essas informações são então enviadas ao Google Maps.

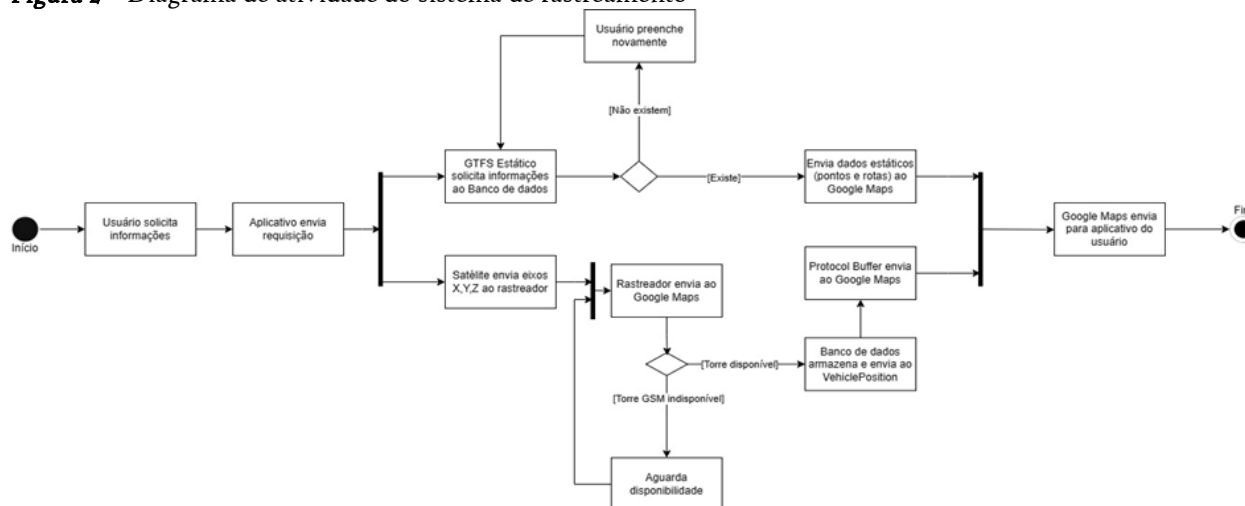
No Google Maps, são exibidas as rotas que passam pela parada selecionada pelo usuário e, em uma ação conjunta, também são mostrados os ônibus que estão atualmente circulando na rota, possibilitando assim o rastreamento em tempo real dos ônibus. Além disso, um documento é gerado para ser utilizado pelo Google Maps, o qual deve conter informações mais detalhadas sobre os tempos de chegada previstos e a posição atual dos ônibus.

DIAGRAMA DE ATIVIDADE

2594

O fluxo de atividade do sistema está descrito na figura 2 através de um diagrama de atividade que é importante para fornecer uma representação visual do fluxo de trabalho ou do processo de negócios, destacando como as várias atividades se interligam e o caminho que os dados percorrem dentro de um sistema.

Figura 2 – Diagrama de atividade do sistema de rastreamento



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

O diagrama apresentado na Figura 2 descreve o processo de rastreamento de ônibus, iniciando quando um usuário solicita informações através de um aplicativo. O sistema, em seguida, envia uma requisição, que aciona uma série de ações baseadas na disponibilidade e existência de dados. Se as informações estáticas do GTFS não existirem no banco de dados, o usuário é solicitado a preencher um novo requerimento. Caso contrário, esses dados são enviados ao Google Maps.

Ao mesmo tempo, o satélite envia dados de localização ao rastreador, que por sua vez os envia ao Google Maps. Se a torre GSM estiver disponível, o banco de dados armazena e envia informações ao *VehiclePosition*. Se não estiver disponível, o sistema aguarda até que a torre esteja acessível.

Um *Protocol Buffer*, que é um sistema de serialização de dados, também envia informações ao Google Maps. Por fim, o Google Maps envia as informações de volta ao aplicativo do usuário, encerrando o fluxo de atividades.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo investigou estratégias para melhorar a mobilidade em comunidades rurais, 2595
focalizando na integração eficaz de rotas de ônibus em tempo real com o Google Maps. Utilizando Santa Amaro da Imperatriz como um estudo de caso, foram examinados os sistemas, requisitos e elaborados diagramas de uso e atividades para fornecer uma proposta viável.

A arquitetura de software do Google Transit e Google Maps foi importante para compreender a implementação das rotas de ônibus. Por meio da análise do sistema, requisitos e elaboração de diagramas de uso e atividades, identificamos os fundamentos necessários para uma integração bem-sucedida. A análise dos requisitos funcionais destacou a importância do GTFS Estático e *Realtime*, enquanto os requisitos não funcionais ressaltaram a necessidade de eficiência e confiabilidade do sistema. Esses requisitos forneceram as bases necessárias para o desenvolvimento e funcionamento adequado do sistema de transporte.

A análise desses requisitos resultou em uma integração eficaz das rotas de ônibus com o Google Maps, promovendo uma distribuição mais equitativa dos serviços de transporte público. Os diagramas de caso de uso e atividade forneceram uma visualização clara do funcionamento do sistema, facilitando sua compreensão e implementação.

Assim, conclui-se que os resultados desta pesquisa demonstram que a integração em tempo real de rotas de ônibus com o Google Maps pode contribuir com a mobilidade em comunidades rurais, reduzindo disparidades de acesso e promovendo condições mais equitativas para os usuários do transporte público.

Para trabalhos futuros, é possível realizar uma parceria com quaisquer empresas interessadas para que estas possam implementar os hardwares de localização, bem como dos GTFS estático e *realtime*.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, LRM.. Análise da equidade do transporte público pela relação da oferta e demanda. PE. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022; 78 p.

BARROS, AJS.. e LEHFELD, NAS. Fundamentos de Metodologia: Um Guia para a Iniciação Científica. 2 Ed. São Paulo: Makron Books, 2000

BERTUCCI, JO.. Os benefícios do transporte público. Boletim regional, urbano e ambiental. IPEA, 2011. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5652/1/BRU_n5_beneficios.pdf Acesso em:

mar de 2024.

2596

BOOCH, G.; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. UML: guia do usuário. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

GADDO, A.. Avaliação de transferência de informações de rastreamento veicular sobre redes GPRS. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008; 105 p.

GIL, AC.. Como elaborar projetos de pesquisa. 4 ed. São Paulo: Atlas: 2002. 176 p.

GOOGLE. Noções básicas do Google Transit: primeiros passos com o google transit. 2023. Disponível em: <https://support.google.com/transitpartners/answer/1111481?hl=pt>. Acesso em: 15 mar. 2024.

FERREIRA, SLC.; GIRARDI, R.. Arquiteturas de Software baseadas em Agentes: do Nível Global ao Detalhado. Revista Eletrônica de Iniciação Científica da SBC, 2002. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Rosario-Girardi/publication/228589375_Arquiteturas_de_Software_baseadas_em_Agentes_do_Nivel_Global_ao_Detalhado/links/544145efocf2a76a3cc7d5d9/Arquiteturas-de-Software-baseadas-em-Agentes-do-Nivel-Global-ao-Detalhado.pdf. Acesso em: 04 abr. 2024

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Santo Amaro da Imperatriz: panorama. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/santo-amaro-da-imperatriz/panorama>. Acesso em: 27 mar. 2024.

MINAYO, MCS. (Org.). Pesquisa social: teoria, método e criatividade. Petrópolis: Vozes, 2001.

MONICO, JFG.. Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicação. São Paulo: Unesp, 2000.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. 2023. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 26 mar. 2024.

PIROTTI, RP.; ZUCCOLOTTO, M. Transmissão de dados através de telefonia celular: arquitetura das redes gsm e gprs. Revista Liberato, 2009; 12: 81-89.

PRESSMAN, RS.; MAXIM, BR.. Engenharia de Software: uma abordagem profissional. 8. ed. Nova York: McGraw-Hill Global Education, 2015.

QUEIRÓS, JMLLF.. Transportes Públicos em Áreas Rurais: O caso de estudo do Concelho de Vila Verde. Porto. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2028; 152 p.

SOMMERVILLE, I.. Engenharia de Software. 9. ed. Boston, Ma: Pearson Education, 2011.