

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE INFORMÁTICA  
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

LUCAS FERNANDO WEIGEL

**OpenRoutes: Plataforma Colaborativa de  
Coleta e Análise de Comportamentos de  
Deslocamento Urbano**

Monografia apresentada como requisito parcial  
para a obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia da Computação

Orientador: Prof. Dr. Claudio Fernando Resin  
Geyer

Co-orientador: Julio Cesar Santos dos Anjos

Porto Alegre  
2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitora: Prof<sup>a</sup>. Jane Fraga Tutikian

Pró-Reitor de Graduação: Vladimir Pinheiro do Nascimento

Diretora do Instituto de Informática: Prof<sup>a</sup>. Carla Maria Dal Sasso Freitas

Coordenador do Curso de Engenharia de Computação: Prof. André Inácio Reis

Bibliotecária-chefe do Instituto de Informática: Beatriz Regina Bastos Haro

*“Live as if you were to die tomorrow.  
Learn as if you were to live forever”*

— MAHATMA GANDHI

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de dedicar esse trabalho aos meus pais, que me propiciaram a oportunidade de cursar uma universidade.

Ao meu orientador e professor, Claudio Fernando Resin Geyer, e co-orientador, Julio Cesar Santos dos Anjos, agradeço pelas discussões e conselhos durante o desenvolvimento desse trabalho.

Agradeço também a todos os meus colegas de curso, pelas amizades feitas e pela parceria durante todos esses anos.

Por último, um agradecimento especial à minha namorada, que me apoiou durante todo esse tempo e auxiliou na revisão desse texto, e cujo agradecimento cometi o absurdo equívoco de não incluir na versão prévia desse trabalho.

## RESUMO

O monitoramento e otimização dos sistemas de transporte urbano é um dos pilares do conceito de Cidades Inteligentes. A mobilidade urbana de uma cidade, representada pela facilidade com que pessoas e bens se deslocam em seu meio urbano, é um dos seus principais indicadores de crescimento econômico e social. Como resultado de uma análise das ineficiências e limitações das soluções tradicionais de monitoramento urbano, a plataforma OpenRoutes é apresentada, unindo múltiplas aplicações colaborativas e de código aberto com o intuito de coletar, disponibilizar e analisar dados de deslocamento urbano em larga escala. Destacando-se por sua generalidade e baixíssimo custo de implementação, diferente das soluções tradicionais, que costumam ser isoladas, restritas e caras, a plataforma almeja ser um ponto de partida para um novo paradigma em análise de características e otimização de sistemas de transporte e deslocamento urbano no contexto de Cidades Inteligentes. Consistida inicialmente por um servidor na nuvem, responsável por receber, armazenar e disponibilizar as rotas coletadas pela plataforma, e um aplicativo Android, responsável pela coleta das mesmas, a plataforma é extensível, permitindo que novas aplicações sejam desenvolvidas e integradas, ou que aplicações terceiras participem da plataforma. O modelo de trajetórias utilizado pela plataforma é apresentado, assim como heurísticas de classificação de deslocamento e reconhecimento de comportamento utilizadas. Cuidados com a privacidade dos usuários colaboradores e consumo de recursos do aplicativo Android são abordados. São apresentados resultados e métricas em relação ao consumo de recursos, uma avaliação de usabilidade da plataforma, e uma análise em relação a aplicações do conjunto de dados coletados no contexto de solução de problemas de infraestrutura e mobilidade urbana.

**Palavras-chave:** Cidades inteligentes. mobilidade urbana. mobilidade inteligente. trajetórias. software livre.

# **OpenRoutes: an Open Collaborative Urban Mobility Data Collection and Analysis Platform**

## **ABSTRACT**

Urban transportation systems monitoring and optimization is one of the key concepts of Smart Cities. A City's urban mobility, represented by the easiness that people and goods can be transported within the urban area, is one of the main indicators of its economic and social growth. As a result of an analysis on the ineffectiveness and limitations of the traditional urban monitoring solutions, the OpenRoutes platform is presented, consisting of multiple collaborative, open-source applications aiming to collect, provide and analyze urban mobility data at a large scale. Distinguished by its generality and very low implementation costs, differently from the traditional restrict, isolated and expensive solutions, the platform aims to be a starting point to a new paradigm in transport and urban mobility analysis and optimization in the Smart City context. Initially consisted by a cloud server, responsible for receiving, storing and providing the routes dataset, and an Android application responsible for collecting such routes, the platform is fully extensible, allowing the integration of newly developed or existing applications. The trajectories model used by the platform is presented, as well as movement classification and activity recognition heuristics. Precautions regarding user privacy and the Android app resource consumption are discussed. Results and metrics are presented, discussing resource consumption, a platform usability evaluation, and an analysis on the usage of the provided dataset in the solution of urban infrastructure and urban mobility problems and challenges.

**Keywords:** smart cities, urban mobility, smart mobility, trajectories, open software.

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

API Application Program Interface

IoT Internet of Things

GPS Global Positioning System

AES Advanced Encryption Standard

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Malha viária de Porto Alegre.....	18
Figura 2.2	Cobertura das linhas de ônibus na cidade de Porto Alegre.....	20
Figura 2.3	Corredores de ônibus na cidade de Porto Alegre.....	20
Figura 2.4	Rede de transporte seletivo por lotação na cidade de Porto Alegre.....	21
Figura 2.5	Parcela da rede cicloviária proposta pelo Plano Diretor construída até 2016	22
Figura 2.6	Exemplos de (a) uma trajetória bruta, (b) um conjunto de trajetórias brutas e (c) os atributos de uma trajetória bruta.....	24
Figura 2.7	Exemplos de (1) uma trajetória bruta e (2) e (3) trajetórias enriquecidas de contexto .....	25
Figura 2.8	Diagrama arquitetural do Android.....	28
Figura 3.1	Diagrama arquitetural da plataforma OpenRoutes .....	32
Figura 3.2	Diagrama do modo de operação do aplicativo.....	35
Figura 3.3	Diagrama de módulos da aplicação Android.....	40
Figura 4.1	Visualização gráfica do nível de bateria e utilização de recursos desde a última carga completa do smartphone .....	42
Figura 4.2	Identificação com a plataforma.....	44
Figura 4.3	Conforto com a coleta de dados realizada pela plataforma .....	44
Figura 4.4	Imperceptibilidade da operação do aplicativo .....	45
Figura 4.5	Continuidade da participação na plataforma .....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Histórico de versões do Android .....	27
Tabela 3.1 Classificações do deslocamento do usuário.....	31
Tabela 4.1 Utilização de recursos do aplicativo Android durante um período de uma semana.....	42

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>1.1 Motivação</b> .....	<b>13</b>
<b>1.2 Objetivo</b> .....	<b>14</b>
<b>1.3 Estrutura do Texto</b> .....	<b>14</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E CONCEITOS</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1 Mobilidade Urbana</b> .....	<b>16</b>
2.1.1 Mobilidade Urbana em Cidades Inteligentes .....	16
2.1.2 Caso de estudo: Mobilidade Urbana em Porto Alegre .....	17
2.1.2.1 Malha Viária.....	17
2.1.2.2 Rede de Transporte Coletivo por Ônibus e Lotações.....	19
2.1.2.3 Rede Ciclovária.....	21
<b>2.2 Trajetórias</b> .....	<b>22</b>
2.2.1 Trajetórias Brutas .....	23
2.2.2 Trajetórias Enriquecidas de Contexto .....	23
2.2.3 Padrões de Comportamento em Trajetórias .....	25
<b>2.3 A plataforma Android</b> .....	<b>26</b>
2.3.1 Origem e História.....	26
2.3.2 Arquitetura da Plataforma Android .....	27
2.3.3 Componentes Básicos de uma Aplicação Android.....	28
2.3.4 Comunidade Open-Source .....	29
<b>3 MODELO E APLICAÇÃO</b> .....	<b>30</b>
<b>3.1 Modelo de Trajetória Proposto</b> .....	<b>30</b>
<b>3.2 Classificação do Deslocamento</b> .....	<b>31</b>
<b>3.3 Aplicação</b> .....	<b>31</b>
3.3.1 Servidor na Nuvem .....	32
3.3.1.1 APIs de Comunicação.....	33
3.3.1.2 Arquivo de Rota .....	33
3.3.2 Aplicativo Android .....	34
3.3.2.1 Modo de Operação.....	34
3.3.2.2 Reconhecimento de Comportamento.....	35
3.3.2.3 Localização .....	36
3.3.2.4 Privacidade.....	36
3.3.2.5 Consumo de Recursos.....	37
3.3.2.6 Consumo de Bateria.....	37
3.3.2.7 Consumo de Rede .....	38
3.3.2.8 Consumo de Processamento .....	38
3.3.2.9 Arquitetura .....	39
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>41</b>
<b>4.1 Avaliação do Consumo de Recursos</b> .....	<b>41</b>
<b>4.2 Avaliação de Usabilidade</b> .....	<b>42</b>
<b>4.3 Análise dos Dados</b> .....	<b>46</b>
4.3.1 Otimização nos Sistemas de Transporte Público .....	46
4.3.1.1 Caso de Estudo: Transporte Rodoviário Intra-Municipal Brasileiro .....	46
4.3.2 Rede Ciclovária.....	47
4.3.3 Planejamento de Ruas e Avenidas .....	48
<b>5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>49</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>50</b>
<b>APÊNDICE A — EXEMPLO DE ARQUIVO DE ROTA</b> .....	<b>54</b>

<b>APÊNDICE B — TRABALHO DE GRADUAÇÃO I .....</b>	<b>56</b>
---	-----------

## 1 INTRODUÇÃO

A área de monitoramento e otimização de sistemas de transporte urbano é um dos pilares do conceito de *Smart Cities*. Recentemente, o termo *Smart Mobility* foi cunhado para representar o conjunto de novas tecnologias, paradigmas e formas de se pensar em relação à mobilidade urbana nessas cidades (DOCHERTY; MARSDEN; ANABLE, 2018; JEEKEL, 2017; ARCE; BAUCCELLS; ALONSO, 2016). Com a constante evolução dos meios urbanos, ineficiências nos sistemas existentes estão se tornando cada vez mais aparentes, e megalópoles como São Paulo (ROLNIK; KLINTOWITZ, 2011) e São Petersburgo (TERESHKINA et al., 2019) enfrentam sérios problemas de infraestrutura de transporte urbano, prejudicando direta e indiretamente muitos de seus serviços e culminando em uma reduzida taxa de crescimento econômico (ZHAO et al., 2016).

A área de análise de dados de deslocamento urbano tem sido de grande interesse científico, social e comercial. Em (TORRES, 2009), é proposta uma ferramenta administrativa capaz de agregar conhecimento a dados geográficos, permitindo uma análise semântica detalhada dessas trajetórias, com grande potencial comercial. Já estudos como (OLIVEIRA, 2005) e (LEMOS, 2018) utilizam dados de simulações para propor soluções para o problema de congestionamento urbano. Recentemente, o aplicativo de mobilidade 99, em uma parceria com a prefeitura de Porto Alegre, disponibilizou uma ferramenta de gestão de trânsito que, com base nos dados dos percursos de motoristas da plataforma, permitirá o monitoramento e otimização em tempo real de mais de 1.300 semáforos na cidade (NEGÓCIOS, 2019).

Algumas empresas atuam no mercado como provedores de serviços de mobilidade urbana, como a Moovit (MOOVIT, 2019) e a Here (HERE, 2019). Tais empresas possuem um grande volume de dados de mobilidade urbana, porém seu uso é baseado no modelo de *Mobility as a Service*, onde tais dados são disponibilizados mediante contratos envolvendo grandes quantias monetárias, tornando seu uso restrito à empresas e organizações que tenham um elevado poder aquisitivo.

Existem plataformas que disponibilizam *datasets* de trânsito urbano abertos, porém sempre considerando algum método de transporte de forma isolada, restringindo a aplicação dos dados. Em (Open Knowledge, 2019), são disponibilizados conjuntos de dados de diversos sistemas de transporte público de várias cidades dos Estados Unidos, porém cada *dataset* possui sintaxes e formatos diferentes. A falta de um padrão definido torna complicada uma análise conjunta dos dados. Já em (NYC Taxi & Limousine Co-

mission, 2015), são disponibilizados dados de viagens de táxi na cidade de Nova York desde 2009. Esses dados, embora certamente úteis em estudos no contexto em que são aplicados, como em (POLO, 2017), são de uso difícil fora desse ambiente.

Iniciativas como a *General Transit Feed Specification* (GTFS, 2019) procuram sedimentar um padrão nos dados disponibilizados de sistemas de transporte público urbano, visando possibilitar que um sistema utilize e integre os dados de múltiplos modais de maneira simples e homogênea, permitindo um estudo desses dados em conjunto. Esse padrão é bastante utilizado atualmente, e dados nesse formato são empregados por plataformas como o *OpenTripPlanner* (OTP Project, 2009), que permite o planejamento inteligente de rotas, e o gigante *Google Maps* (Google LLC, 2005), o serviço de mapeamento mais utilizado no mundo. Essa iniciativa mostra a necessidade e benefícios de uma padronização nos dados de trânsito disponibilizados.

Ao mesmo tempo, os recentes avanços nas tecnologias de satélites, assim como a redução nos preços de dispositivos móveis como redes de sensores, aparelhos GPS e *smartphones*, têm aumentado o uso desses dispositivos significativamente. Em especial, o uso de *smartphones* vem crescendo de maneira acelerada, principalmente nos meios urbanos mais desenvolvidos (MUTCHLER; SHIM; ORMOND, 2011; DAN; XIANG; FESENMAIER, 2014). Os usuários têm passado um maior tempo ao lado de seus telefones celulares, o que faz com que os aparelhos registrem sua mobilidade cada vez mais (BOGORNY; BRAZ, 2012). Explorando esse fato, a plataforma utilizará um aplicativo Android instalado nos *smartphones* do usuários contribuintes para a coleta anônima dos dados de deslocamento, através da definição de uma estrutura para esses dados padronizada e extensível.

## 1.1 Motivação

A ideia de mapear as características de deslocamento urbano não é nova. É comum veículos de transporte público ou privado possuírem GPS e outros mecanismos que possibilitem coleta de métricas de uso, como catracas ou utilização de terminais de leitura de informações. Apesar de oferecerem dados interessantes sobre o uso do sistema, estes costumam ser fechados e utilizados isoladamente, num universo contendo unicamente o meio de deslocamento em questão. Uma empresa de ônibus, por exemplo, pode coletar as mais variadas características de uso da sua frota por seus usuários, mas seus dados contemplam apenas o período em que o usuário permaneceu utilizando seu serviço. Características do

deslocamento do usuário até a parada de ônibus, e após sua descida na parada mais próxima a seu destino, não podem ser obtidas e analisadas, embora certamente interessantes e complementares.

Além disso, a obtenção de dados dessa forma muitas vezes requer um elevado investimento monetário, muitas vezes visto como infundado pelos *stakeholders* do negócio. Uma típica solução tradicional é a instalação de dispositivos GPS nas frota de veículos utilizados pelo transporte público. Além de um elevado investimento inicial, tal solução requer constante monitoramento e manutenção por parte da empresa responsável, o que muitas vezes acaba não acontecendo, tornando o sistema obsoleto.

Por sua vez, o presente trabalho almeja propor uma solução de baixíssimo custo de implementação, com dados padronizados e que permite analisar todos os principais métodos de deslocamento urbano de forma contínua e integrada, solucionando os principais desafios enfrentados pelas soluções existentes. Por ser aberta, a plataforma permitirá que projetos futuros a estendam, servindo como um ponto de partida para uma nova maneira de obter e analisar dados de deslocamento urbano.

## **1.2 Objetivo**

A plataforma surge como um ponto de partida em busca de um novo paradigma em análise de características e otimização de sistemas de transporte e deslocamento urbano, no contexto de Cidades Inteligentes. Não existe hoje uma plataforma aberta que disponibilize dados de deslocamento urbano multimodais de forma padronizada, fazendo da OpenRoutes a primeira nesse contexto. Tais dados, uma vez enriquecidos com as características do meio urbano analisado, podem servir de embasamento para decisões em direção à solução de ineficiências nos sistemas de mobilidade urbana vigentes.

## **1.3 Estrutura do Texto**

O restante do texto está organizado conforme a seguir. O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica, com uma discussão sobre mobilidade urbana e seus desafios, o conceito de trajetórias de um objeto móvel e sua modelagem, e uma introdução ao sistema operacional Android. No capítulo 3, os modelos de trajetória e classificação do deslocamento do usuário propostos são apresentados, e a plataforma desenvolvida é dis-

cutida. No capítulo 4, os resultados são apresentados, abordando métricas de performance e usabilidade da plataforma, seguido de uma discussão sobre os dados coletados e seus usos na área de *smart mobility*. Finalmente, o capítulo 5 aborda as considerações finais e trabalhos futuros.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E CONCEITOS**

Nesse capítulo, é apresentada a fundamentação teórica em que este trabalho se baseia. São abordados os conceitos de mobilidade urbana, trajetórias de um objeto móvel e sua modelagem, e o sistema operacional Android.

### **2.1 Mobilidade Urbana**

A mobilidade urbana de uma cidade pode ser definida como a facilidade de deslocamento de pessoas e bens em seu meio urbano, sendo um dos principais indicadores de seu desenvolvimento econômico e social (ARCE; BAUCCELLS; ALONSO, 2016) e um dos temas mais abordados nas áreas de pesquisa de transporte e desenvolvimento urbano (AMARAL et al., 2018). Uma eficiente movimentação de pessoas e materiais dentro do aglomerado urbano está diretamente relacionada a uma elevada taxa de crescimento econômico, tornando uma eficiente infraestrutura de transporte urbano um dos pilares para um acelerado crescimento econômico e social de uma cidade (ZHAO et al., 2016).

Com a constante evolução dos meios urbanos e suas necessidades, ineficiências nos sistemas existentes cada vez mais vêm à tona, com diversas metrópoles e megalópoles ao redor do mundo enfrentando sérios problemas de mobilidade urbana, como é o caso de São Paulo (ROLNIK; KLINTOWITZ, 2011) e São Petesburgo (TERESHKINA et al., 2019). Além da redução do crescimento econômico do meio urbano em questão, os problemas de mobilidade urbana causam uma queda na qualidade de vida de seus habitantes, que passam a enfrentar diariamente dificuldades de locomoção, como congestionamentos, atrasos e lentidões nos sistemas de transporte público e privado.

#### **2.1.1 Mobilidade Urbana em Cidades Inteligentes**

Com os avanços tecnológicos recentes, é cada vez mais comum o uso de sensores e sistemas de IoT para coletar dados e utilizá-los para gerenciar recursos, ativos e sistemas de forma eficiente (ARCE; BAUCCELLS; ALONSO, 2016). Cidades Inteligentes podem ser definidas como aglomerados urbanos que fazem uso dessa rede de dispositivos para otimizar a eficiência de seus serviços e operações, integrando tecnologias da informação e comunicação (KITCHIN, 2014), e cujas políticas econômicas são governadas pela

inovação, criatividade e empreendedorismo (HOLLANDS, 2008). Estratégias de desenvolvimento em Cidades Inteligentes promovem a integração de infraestrutura, serviços e redes de sensores como respostas aos problemas recorrentes do desenvolvimento urbano, como crime, saúde, educação e mobilidade urbana (BOULTON; BRUNN; DEVRIENDT, 2011).

Recentemente, o termo *smart mobility* passou a ser utilizado para representar o conjunto de avanços tecnológicos, paradigmas e formas de se pensar em relação à mobilidade urbana em Cidades Inteligentes (DOCHERTY; MARSDEN; ANABLE, 2018; JEEKEL, 2017). Em (ARCE; BAUCCELLS; ALONSO, 2016), são citadas algumas iniciativas relacionadas a *smart mobility* no meio urbano:

- Planos de mobilidade urbana integrados, inteligentes e sustentáveis;
- Utilização de tecnologias de informação e comunicação no controle do tráfego urbano;
- Emprego de técnicas para reduzir o número de veículos no meio urbano;
- Suporte para meios alternativos de transporte.

Dessa forma, a aplicação de técnicas de *smart mobility* torna-se imprescindível para lidar com problemas de mobilidade urbana em Cidades Inteligentes, alavancando seu crescimento econômico e social.

### **2.1.2 Caso de estudo: Mobilidade Urbana em Porto Alegre**

Em 2018, a Prefeitura Municipal de Porto Alegre publicou um extenso diagnóstico abordando a mobilidade urbana na cidade de Porto Alegre, capital do Rio Grande do Sul, Brasil (PMPA, 2018). O estudo aborda, entre outros temas, as condições do espaço urbano, seus aspectos socioeconômicos, os planos e projetos existentes e relatórios sobre os principais meios de deslocamento urbano presentes no município, como os sistemas de transporte público por ônibus e lotações, a rede cicloviária e a malha viária. Abaixo, seguem alguns pontos interessantes.

#### *2.1.2.1 Malha Viária*

A Figura 2.1 apresenta a atual estrutura da malha viária da cidade, sendo constituída pelo conjunto de vias do município e representando o principal suporte físico à

mobilidade urbana da cidade. De acordo com o levantamento, atualmente diversas áreas do município possuem uma hierarquia viária não condizente com o seu uso real. Em especial, diversas vias locais apresentam um fluxo de veículos além do planejado, sem a sinalização e presença de semáforos adequados, resultando em elevadas taxas de congestionamento e acidentes.

Figura 2.1: Malha viária de Porto Alegre



Fonte: (PMPA, 2018)

Outro ponto interessante levantado pelo estudo está citado a seguir:

*Quanto ao dimensionamento das vias, Porto Alegre ainda enfrenta uma malha viária descontínua, com geometrias variadas para mesma via ou classe de via, formando gargalos em eixos viários principais de difícil resolução em função de desapropriações e características do terreno. Embora apresente um corpo técnico qualificado e uma padronização nos projetos de sinalização, as ações carecem ainda de aprimoramento das políticas de gestão de demanda. Além disso, não existe uma base de dados com informações mais completas de volumes e mapeamento de rotas de pedestres para dimensionamento confortável dos passeios.*

((PMPA, 2018), página 143)

Essa passagem deixa clara a utilidade de dados de uso no planejamento urbano da

cidade, de forma a mapear rotas, comportamentos e demanda.

### 2.1.2.2 Rede de Transporte Coletivo por Ônibus e Lotações

A Figura 2.2 mostra a capilaridade das linhas de ônibus disponíveis na cidade de Porto Alegre em 2018. Traços mais grossos indicam a sobreposição de múltiplas linhas de ônibus cobrindo o mesmo trajeto. Sobre o sistema de ônibus, o estudo diz o seguinte:

*Dentre os principais problemas encontrados no sistema de transporte público coletivo por ônibus está a sobreposição de linhas; o aumento de rodagem e do tempo de viagem em função do espalhamento urbano; a falta de priorização no sistema viário e; a falta de integração com o sistema metropolitano. Isso tem resultado em baixa atratividade, contínua redução do número de usuários e aumento das despesas. (...) Em relação à falta de priorização do transporte coletivo no espaço viário, o sistema de transporte coletivo vem sofrendo redução do desempenho operacional em função do aumento do congestionamento do sistema viário, impactando o custo operacional do sistema.*

((PMPA, 2018), página 77)

Mais uma vez, ficam claros os problemas de infraestrutura urbana na cidade, decorrentes de falta de planejamentos e políticas de mobilidade inteligente, assim como a ausência de decisões baseadas em dados de uso atualizados.

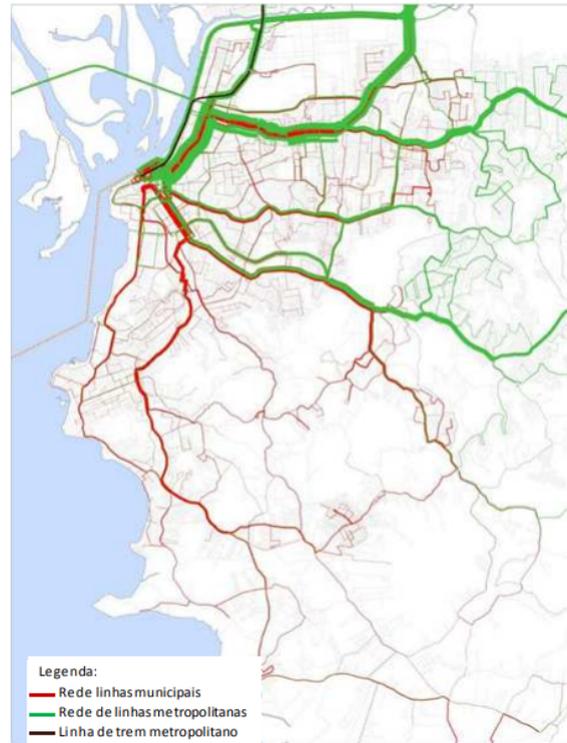
A Figura 2.3 destaca os corredores de ônibus presentes na cidade. Os corredores de ônibus são faixas exclusivas de uso restrito pelo modal, oferecendo um deslocamento mais rápido e seguro em áreas consideradas críticas e que apresentam um uso mais intenso da modalidade. Sobre os corredores de ônibus, o estudo mais uma vez indica a necessidade de políticas inteligentes para a solução de problemas de mobilidade urbana:

*Porto Alegre está desenvolvendo um estudo dos gargalos do transporte coletivo e prevê a implantação de soluções visando a minimizar esses problemas, alguns trechos concentram-se em áreas sem infraestrutura dedicada ao transporte coletivo, outras correspondem a áreas onde já existe infraestrutura, mas a condição local implica em necessidades de melhorias. (...) Em algumas vias onde foram implantadas faixas preferenciais, como Av. Cavallhada, o ganho em tempo de viagem para o transporte coletivo, no trecho, chegou a 20%, demonstrando o potencial de redução de tempo de viagem decorrente da priorização do transporte coletivo no espaço viário, com uma intervenção de menor custo.*

((PMPA, 2018), página 85)

A Figura 2.4 mostra a rede de transporte seletivo por lotação na cidade. Esse sistema é similar ao sistema de ônibus, porém caracterizado por veículos menores, mais confortáveis e um valor da passagem mais elevado. Além disso, o sistema permite que os usuários iniciem ou encerrem o deslocamento em qualquer ponto do trajeto, sem a necessidade de que estes sejam realizados apenas em paradas e estações pré-determinadas. De acordo com o estudo, o cenário desse modal é similar ao do sistema de ônibus, apresen-

Figura 2.2: Cobertura das linhas de ônibus na cidade de Porto Alegre



Fonte: (PMPA, 2018)

Figura 2.3: Corredores de ônibus na cidade de Porto Alegre



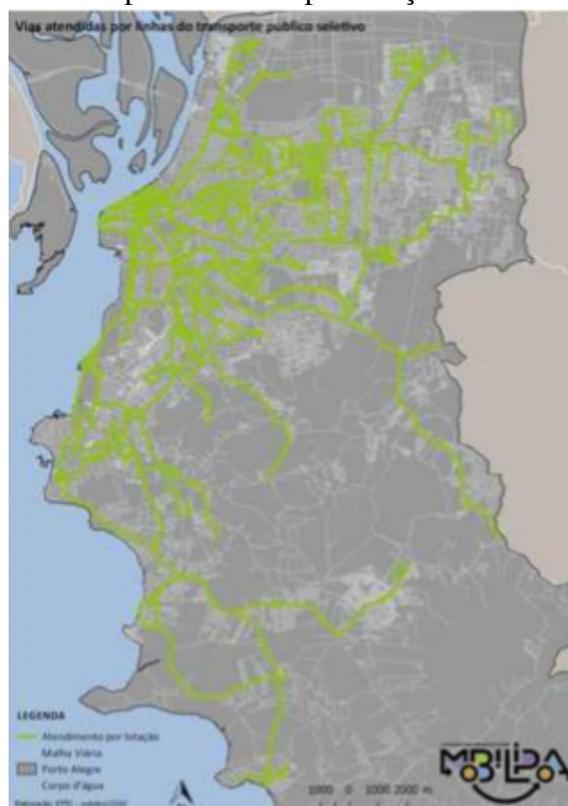
Fonte: (PMPA, 2018)

tando problemas bastante semelhantes:

*Um ponto fraco sobre a rede de Lotação é que as linhas possuem traçado predominantemente radial, em relação à malha viária do município, não existindo atendimento transversal por lotação. Os itinerários atendidos pelas lotações também são, em grande parte, cobertos pelo serviço de transporte público coletivo, não havendo capilaridade significativamente maior no sistema lotação em relação ao serviço de transporte público coletivo por ônibus, apesar de operarem com carros menores. Além destes itens, as reclamações apresentadas pelos usuários sobre o sistema lotação abrangem: ampliação das linhas de lotação para os bairros distantes do centro; cumprimento de itinerário; melhoria na limpeza de alguns veículos/linhas; padronização dos horários de saída e qualificação da informação ao usuário.*

(PMPA, 2018), página 104)

Figura 2.4: Rede de transporte seletivo por lotação na cidade de Porto Alegre



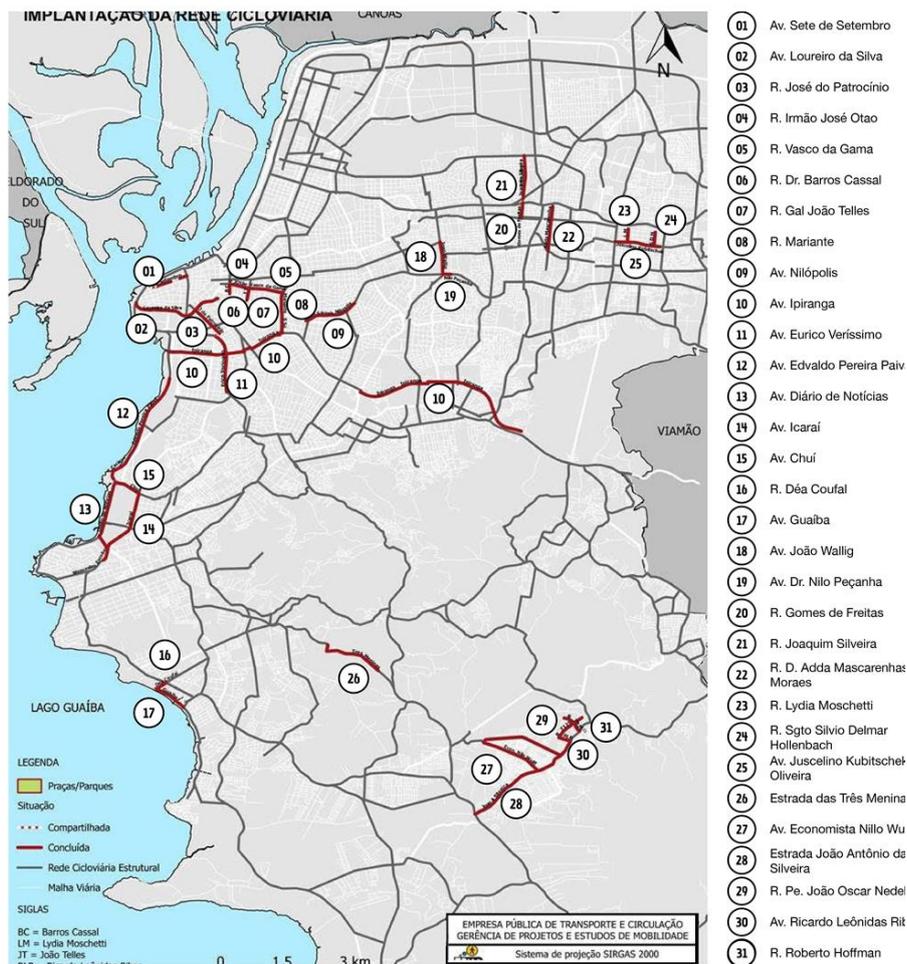
Fonte: (PMPA, 2018)

### 2.1.2.3 Rede Ciclovitária

Em 2008, a Prefeitura Municipal de Porto Alegre conduziu um extenso estudo sobre o sistema ciclovitário da cidade, cujo produto final foi um plano diretor definindo ações de planejamento e implantação de cerca de 400 quilômetros de ciclovias na cidade (PMPA, 2008). A Figura 2.5 apresenta, em preto, a rede ciclovitária proposta por esse estudo, e em vermelho os trechos construídos até 2016. Oito anos após o plano, apenas cerca de 10% da rede proposta havia saído do papel, indicando a falta de priorização

do modal na cidade apesar de uma demanda cada vez mais crescente (MELLO, 2019; OLIVEIRA, 2017).

Figura 2.5: Parcela da rede cicloviária proposta pelo Plano Diretor construída até 2016



Fonte: EPTC/Edição Marília Hildebrand/Mobilize

## 2.2 Trajetórias

Em (BOGORNY; BRAZ, 2012), uma trajetória de um objeto móvel é definida como uma sequência de valores que representam a posição do objeto a ser analisado em determinados instantes de tempo. Uma análise desse conjunto de valores permite o rastreamento do objeto, bem como a interpretação de seu deslocamento.

### 2.2.1 Trajetórias Brutas

Trajetoórias podem ser geradas por qualquer objeto que carregar um dispositivo, como pedestres, veículos ou até animais. O crescente uso de dispositivos móveis nos mais diversos domínios de aplica o tem como consequência um aumento no volume de dados espaçotemporais gerados e disponibilizados. As trajetórias geradas por esses dispositivos, como por exemplo um indivíduo com seu *smartphone*, costumam ser chamadas de trajetórias brutas. Segundo (BOGORNY; BRAZ, 2012), Uma trajetória bruta   uma trajetória em sua forma mais primitiva, sendo representada por um conjunto de pontos conforme a Equa o 2.1:

$$p_t = (tid, x, y, t) \quad (2.1)$$

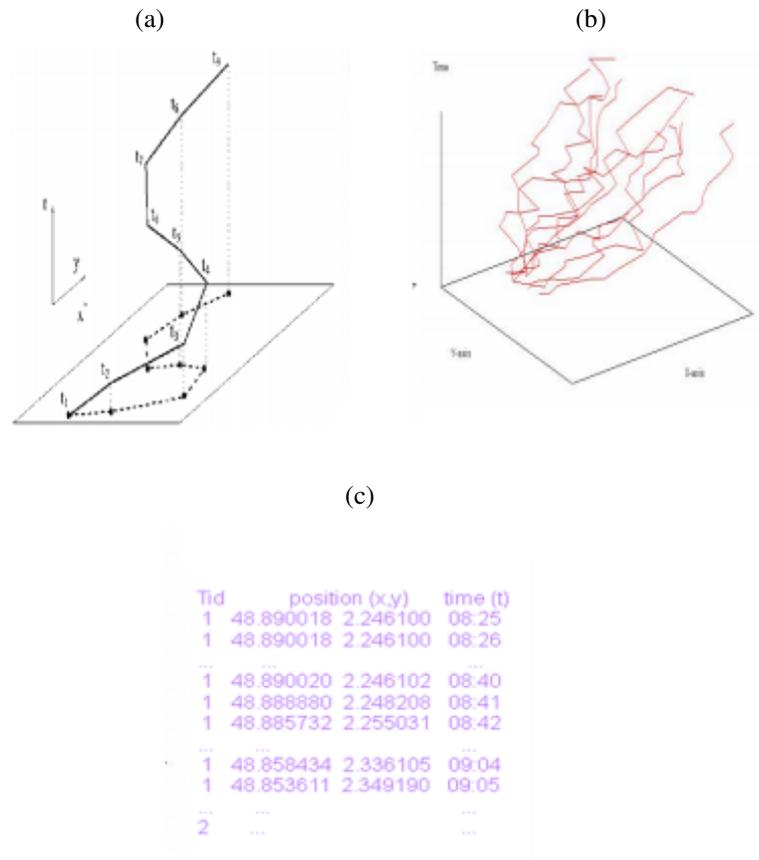
onde *tid*   o identificador único da trajetória e *x* e *y* representam as coordenadas geográficas do objeto no instante de tempo *t*. Esse tipo de trajetória não carrega nenhuma informa o adicional sobre o do objeto, como sua velocidade, acelera o ou tipo de deslocamento. A Figura 2.6 exemplifica uma trajetória bruta, um conjunto de trajetórias brutas e seus atributos.

### 2.2.2 Trajetórias Enriquecidas de Contexto

Uma trajetória pode conter propriedades próprias que descrevem o movimento do objeto de forma mais específica. De acordo com (GIANNOTTI; PEDRESCHI, 2008), essas características podem ser classificadas em características gerais e características momentâneas. Uma característica geral classifica a trajetória como um todo, como por exemplo sua dura o, velocidade média, ou forma geométrica. Por outro lado, uma característica momentânea refere-se ao estado do objeto em um determinado momento, como sua velocidade ou acelera o. Também podem existir propriedades que comparem diferentes trajetórias entre si, como por exemplo qual trajetória ocorreu primeiro, qual teve o maior deslocamento total, ou qual teve a dura o mais longa.

Trajetoórias com propriedades adicionais são chamadas de trajetórias enriquecidas de contexto. Essas propriedades permitem uma análise mais profunda e detalhada sobre os dados gerados, uma vez que representem informaçoes adicionais sobre a trajetória realizada pelo objeto. A Figura 2.7 compara uma trajetória bruta com duas trajetórias

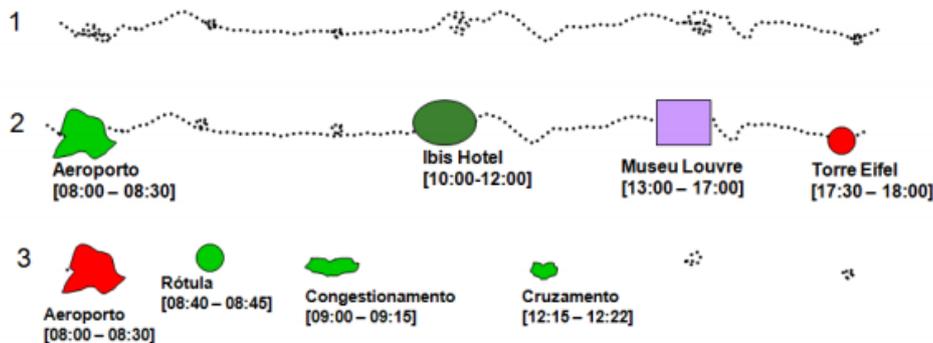
Figura 2.6: Exemplos de (a) uma trajetória bruta, (b) um conjunto de trajetórias brutas e (c) os atributos de uma trajetória bruta



Fonte: (BOGORNY; BRAZ, 2012)

enriquecidas de contexto. A trajetória 1 representa uma trajetória bruta. Na trajetória 2, é inserido nesse mesmo deslocamento o instante de tempo de cada ponto, assim como a localização geográfica de pontos de interesse na cidade. Um exemplo de aplicação interessada nessa semântica pode ser uma aplicação relacionada ao turismo, que procura entender e modelar o comportamento de turistas na cidade. Já na trajetória 3, a semântica pode estar relacionada a uma aplicação de monitoramento de trânsito, identificando lugares com maior movimento de veículos. Em comparação à trajetória bruta, que não possui nenhuma informação de contexto adicionada, essas trajetórias agregam valor às aplicações interessadas, tornando os dados obtidos mais ricos e facilitando o estabelecimento de padrões de comportamento (BOGORNY; BRAZ, 2012).

Figura 2.7: Exemplos de (1) uma trajetória bruta e (2) e (3) trajetórias enriquecidas de contexto



Fonte: (BOGORNY; BRAZ, 2012)

### 2.2.3 Padrões de Comportamento em Trajetórias

Com o rápido crescimento no volume de dados de deslocamento disponíveis nos últimos anos, a área de reconhecimento de padrões de comportamento em trajetórias tem sido de grande interesse científico (GIANNOTTI et al., 2007; YICONG; SEKI; UEHARA, 2015). Em (LAUBE; IMFELD, 2002), (LAUBE; IMFELD; WEIBEL, 2005) e (ALVARES et al., 2011), são abordados alguns tipos de comportamento característicos que podem ser extraídos através de um conjunto de trajetórias de objetos móveis. Esses padrões representam comportamentos característicos que podem ser utilizados no contexto de mobilidade urbana.

O padrão comportamental *Convergence* diz respeito a um destino comum a múltiplos deslocamentos distintos, como por exemplo diversas trajetórias tendo como destino comum um shopping localizado no centro da cidade.

O padrão comportamental *Avoidance* caracteriza o comportamento onde um objeto móvel, ou um grupo de objetos móveis, evita determinados objetos móveis ou regiões espaciais. Como exemplo, podemos ter motoristas evitando determinada região por questões de segurança, ou determinada rua ou avenida por questões de congestionamento ou problemas na pista.

O padrão comportamental *Encounter* é caracterizado por um encontro espaçotemporal momentâneo entre múltiplos objetos móveis, como por exemplo um cruzamento entre duas movimentadas ruas de um meio urbano.

O padrão comportamental *Flock* é representado por um grupo de objetos móveis que se movem na mesma direção, e cujas trajetórias estão próximas uma da outra, como por exemplo carros realizando o mesmo trajeto para algum destino específico. Quando

um dos objetos toma a posição de líder, estando à frente dos demais, o movimento passa a ser caracterizado como um *Leadership*.

## 2.3 A plataforma Android

O Android é um sistema operacional de código aberto, desenvolvido e mantido pela Google e baseado em uma versão modificada do *kernel* Linux projetado para dispositivos móveis com tela sensível ao toque (Google LLC, 2008). Revelada em 2007 e disponível no mercado desde 2008, a plataforma é hoje o mais adotado sistema operacional móvel do mundo, com 76% do *market share* global e 85% do brasileiro em setembro de 2019 (STATCOUNTER, 2019), estando disponível para *smartphones*, *tablets*, carros (com o *Android Auto*) e aparelhos de televisão e relógios de pulso inteligentes (através do *Android TV* e do *Android Wear*, respectivamente).

### 2.3.1 Origem e História

O desenvolvimento da plataforma teve início em 2003, pela Android, Inc. A mesma foi comprada pela Google em 2005, que via no projeto uma possibilidade de desenvolver um sistema operacional para dispositivos móveis mais inteligente e consciente das preferências do usuário, incorporando seus fundadores (BUSINESSWEEK, 2005).

A primeira versão comercial, nomeada Android 1.0, foi lançada em 23 de setembro de 2008. Até então, a grande maioria dos dispositivos móveis eram comercializados com sistemas operacionais próprios, como o Symbian, da Nokia, e o Blackberry OS, da RIM. No quarto trimestre de 2010, a plataforma já havia se tornado o sistema operacional móvel mais adotado do mundo (CATALYS, 2011), presente em aproximadamente um terço dos *smartphones* vendidos. Desde então, a plataforma vem recebendo versões novas constantemente, conforme mostrado pela Tabela 2.1. Vale notar que, desde a versão 1.5, as versões possuem codinomes baseados em doces e guloseimas na língua inglesa, sempre em ordem alfabética. Essa tradição, porém, foi quebrada com o lançamento da versão mais recente do sistema operacional, em setembro de 2019, que é simplesmente chamada de Android 10.

Tabela 2.1: Histórico de versões do Android

Codínome	Números de versão	Data de lançamento
Sem codinome	1.0	Setembro, 2008
Petit Four (internamente)	1.1	Fevereiro, 2009
Cupcake	1.5	Abril, 2009
Donut	1.6	Setembro, 2009
Eclair	2.0 - 2.1	Setembro, 2008
Froyo	2.2 – 2.2.3	Maior, 2010
Gingerbread	2.3 – 2.3.7	Dezembro, 2010
Honeycomb	3.0 – 3.2.6	Fevereiro, 2011
Ice Cream Sandwich	4.0 – 4.0.4	Outubro, 2011
Jelly Bean	4.1 – 4.3.1	Julho, 2012
Kitkat	4.4 - 4.4.4	Outubro, 2013
Lollipop	5.0 – 5.1.1	Novembro, 2014
Marshmallow	6.0 – 6.0.1	Outubro, 2015
Nougat	7.0 – 7.1.2	Agosto, 2016
Oreo	8.0 – 8.1	Agosto, 2017
Pie	9.0	Agosto, 2018
Android 10	10	Setembro, 2019

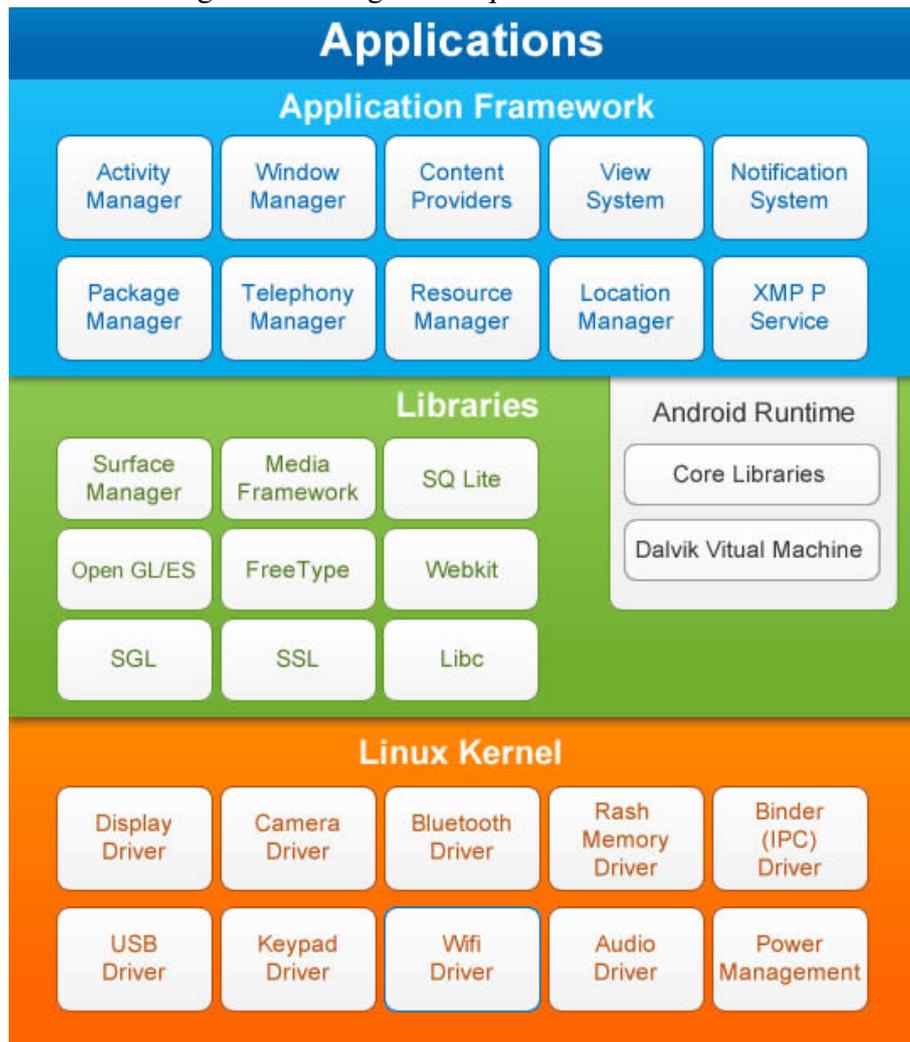
### 2.3.2 Arquitetura da Plataforma Android

A Figura 2.8 representa um diagrama arquitetural do Android. Na camada mais baixa, fica uma variante do *kernel* Linux com algumas modificações, como uma árvore de dispositivos, diferentes tratamentos de memória - uma vez que dispositivos móveis tendem a ter uma quantidade de memória disponível reduzida - e a introdução de *wakelocks*, um sistema de otimização de consumo de bateria que permite que o dispositivo alterne entre diferentes níveis de processamento e consumo de recursos.

Acima da camada do *kernel* ficam os *middlewares*, bibliotecas e APIs escritas em C e C++. Em especial, há o *Android Runtime (ART)*, introduzido no Android 5.0. Esse ambiente *runtime* foi criado especialmente para a plataforma e contém funcionalidades como compilação *Ahead of Time* e otimizações no gerenciamento de memória.

Logo acima existe um *framework* de aplicação responsável por disponibilizar todas as funcionalidades da plataforma através de APIs em Java. Essas APIs constituem os blocos básicos utilizados pelos aplicativos desenvolvidos para a plataforma, que representam a camada mais superior.

Figura 2.8: Diagrama arquitetural do Android



Fonte: developer.com

### 2.3.3 Componentes Básicos de uma Aplicação Android

A plataforma Android apresenta alguns componentes básicos sobre os quais as aplicações desenvolvidas para a plataforma são construídas (Google LLC, 2019a). São eles:

- **Activities:** representam pontos de entrada para a interação com o usuário. De forma resumida, uma *activity* representa uma tela da aplicação com a qual o usuário interage.
- **Serviços:** são componentes executados em segundo plano para realizar operações de execução longa ou constante. Serviços são desprovidos de uma interface gráfica para o usuário, e podem ser executados mesmo quando o usuário não está interagindo com a aplicação, como por exemplo um serviço responsável por reproduzir

uma faixa musical em segundo plano.

- **Broadcast Receivers:** são componentes responsáveis por entregar variados eventos ao aplicativo fora do fluxo do usuário. Um aplicativo pode estar interessado, por exemplo, em receber eventos indicando que a bateria está baixa, que o usuário capturou uma imagem com a câmera, ou que o dispositivo foi reiniciado. Aplicativos interessados se inscrevem, por meio de *broadcast receivers*, para receberem esses tipos de eventos, que são entregues mesmo se o aplicativo não estiver em execução.
- **Content Providers:** são responsáveis por gerenciar um conjunto compartilhado de dados do aplicativo. Por meio destes, outros aplicativos podem consultar ou até modificar esses dados. Um exemplo são os contatos do usuário, que podem ser acessados por aplicativos interessados através de um *content provider* disponibilizado pelo próprio sistema operacional. Assim, qualquer aplicação com as permissões necessárias pode facilmente acessar esses dados.

Juntos, esses componentes são responsáveis por permitir uma interação entre as aplicações e o sistema operacional, que podem utilizá-los para disponibilizarem sua funcionalidade necessária. Destes, o único componente que deve estar presente em toda aplicação é uma *activity* que é disparada quando o usuário inicia o aplicativo através do clique no ícone da aplicação disponível na tela inicial do sistema operacional.

### 2.3.4 Comunidade Open-Source

O código-fonte do sistema operacional é disponibilizado através de uma licença *open-source*, como parte do Android Open Source Project (Google LLC, 2019b). A natureza aberta da plataforma encorajou o surgimento de uma grande comunidade de desenvolvedores e entusiastas a utilizar o código aberto como uma fundamentação para projetos totalmente dirigidos pela comunidade, como modificações no sistema operacional e atualizações para dispositivos que não possuem mais suporte oficial. Existem inúmeras imagens modificadas do sistema operacional disponíveis de forma totalmente gratuita, como o LineageOS (The LineageOS Project, 2016) e o Resurrection Remix OS (Resurrection Remix, 2012). Também não é incomum que as próprias fabricantes comercializem seus *smartphones* com versões próprias, como o OxygenOS, desenvolvido pela OnePlus (OnePlus, 2013), e a MIUI, da Xiaomi (Xiaomi, 2010).

### 3 MODELO E APLICAÇÃO

Nesse capítulo, são apresentados os modelos de trajetória e classificação de deslocamento propostos. Em seguida, os componentes que compõem a plataforma são descritos, e sua implementação é detalhada.

#### 3.1 Modelo de Trajetória Proposto

A definição de um padrão para a representação das mais variadas trajetórias de deslocamento no meio urbano é importante para permitir um fácil estudo dos dados gerados por múltiplos dispositivos (BOGORNY; BRAZ, 2012). Dessa forma, dados gerados por fontes distintas podem ser analisados em conjunto, permitindo um entendimento mais completo dos comportamentos de deslocamento no meio urbano. É importante também que o modelo proposto seja simples, de modo a permitir que dispositivos menos sofisticados e com um menor número de sensores sejam capazes de estar em conformidade com o mesmo.

Além dos atributos presentes em uma trajetória bruta, torna-se interessante a presença de um atributo que identifique o tipo de deslocamento sendo realizado, como a utilização de um veículo automotivo, bicicleta, ou um deslocamento a pé. Com isso em mente, a definição do modelo de trajetória proposto pela plataforma se dá conforme a Equação 3.1:

$$p_t = (tid, x, y, t, cls) \quad (3.1)$$

onde:

- **p** representa um ponto da trajetória;
- **tid** representa o identificador único da trajetória;
- **x** representa a latitude do objeto móvel nesse ponto, em graus decimais com quatro casas de precisão;
- **y** representa a longitude do objeto móvel nesse ponto, em graus decimais com quatro casas de precisão;
- **t** representa o instante de tempo nesse ponto, no formato *Unix Time*;
- **cls** representa a classificação do tipo de deslocamento do objeto móvel nesse ponto,

de acordo com as classificações discutidas na seção 3.2.

Nota-se que essa equação representa uma trajetória bruta enriquecida de uma informação de contexto referente ao tipo de deslocamento realizado pelo objeto. Essa definição vai de acordo com os interesses citados anteriormente: se aproxima de uma trajetória bruta, permitindo que os mais variados dispositivos obtenham dados em conformidade, e também inclui informação de contexto referente ao tipo de deslocamento realizado, enriquecendo os dados obtidos.

### 3.2 Classificação do Deslocamento

Conforme exposto na Equação 3.1, cada ponto do modelo de trajetória proposto contém um atributo responsável por indicar o tipo de deslocamento realizado nesse instante. Dessa forma, uma mesma trajetória pode contemplar múltiplas formas de deslocamento, permitindo uma rica análise contextual da mesma.

Os tipos de deslocamento inicialmente propostos estão indicados na Tabela 3.1. Essas classificações iniciais contemplam os principais métodos de deslocamento, de forma genérica. Vale notar, porém, que novas classificações podem ser introduzidas com o amadurecimento da plataforma, por meio de novos identificadores.

Tabela 3.1: Classificações do deslocamento do usuário

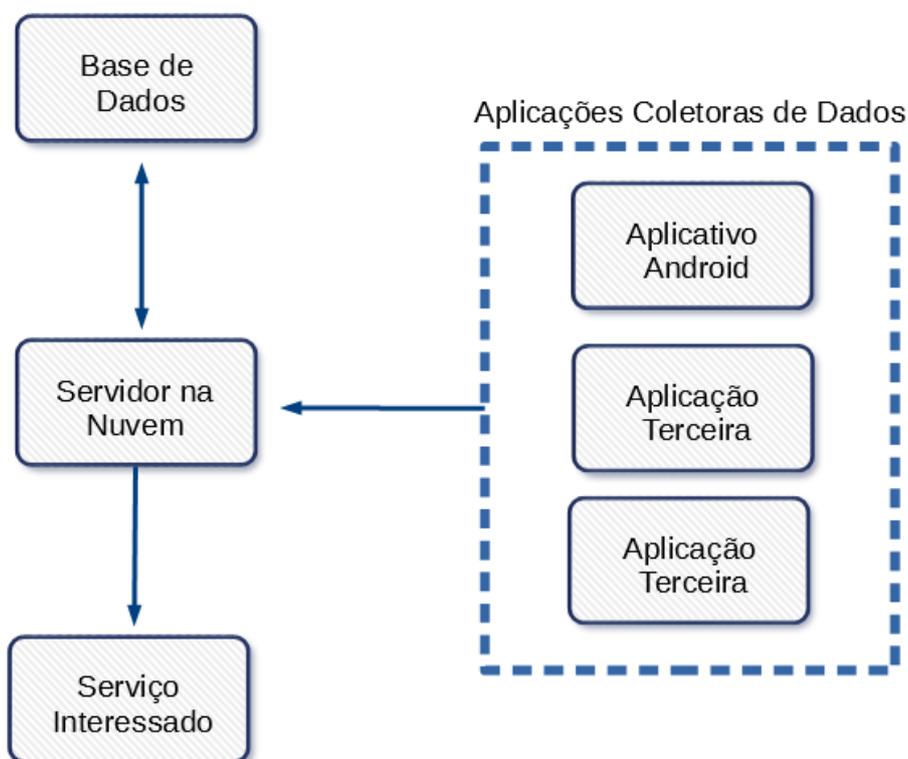
<b>Id</b>	<b>Classificação</b>	<b>Descrição</b>
01	still	O usuário não está em movimento
02	on_foot	O usuário está se deslocando a pé
03	on_bicycle	O usuário está se de uma bicicleta
04	in_vehicle	O usuário está se deslocando por meio de um veículo

### 3.3 Aplicação

O sistema desenvolvido é composto por duas aplicações: um servidor na nuvem, responsável por receber, armazenar e disponibilizar os dados de deslocamento, e um aplicativo na plataforma Android, responsável por coletar esses dados, de modo que usuários interessados possam facilmente contribuir para a plataforma, além de servir como base para aplicações e iniciativas futuras que desejarem fazer parte da plataforma. O código-fonte de ambas aplicações, assim como o download do aplicativo Android, estão disponíveis em <<https://www.github.com/lfweigel/openroutes>>.

A arquitetura do sistema está representada na Figura 3.1. O servidor na nuvem disponibiliza APIs públicas que podem ser utilizadas por aplicações que desejarem participar da plataforma. Dessa forma, qualquer aplicação terceira pode participar da plataforma enviando dados coletados, contanto que estes estejam em conformidade com o padrão definido. Um exemplo de aplicação participante é o aplicativo Android proposto por este trabalho. O servidor também disponibilizará, de forma totalmente aberta, o conjunto de dados coletados para qualquer aplicação que desejar obtê-los.

Figura 3.1: Diagrama arquitetural da plataforma OpenRoutes



Fonte: O Autor

### 3.3.1 Servidor na Nuvem

O servidor na nuvem foi implementado utilizando as tecnologias Node.js (NODE.JS, 2019) e Express (EXPRESS, 2019). O Node.js é um *framework* de eventos assíncrono na linguagem *JavaScript* projetado para o desenvolvimento de aplicações de rede escaláveis. O Express é um pacote para o Node.js responsável por abstrair grande parte da lógica de roteamento de um servidor, reduzindo a complexidade de implementação do mesmo.

O servidor é responsável por disponibilizar APIs públicas utilizadas por aplicações que desejam coletar e disponibilizar esses dados na plataforma. A principal funcionalidade

dade do servidor é receber as rotas coletadas, garantir que eles estão em conformidade com o padrão proposto, e armazená-las na base de dados da plataforma. O servidor também é responsável por disponibilizar todo o *dataset* para qualquer serviço que esteja interessado. Isso é realizado mantendo uma versão constantemente atualizada do *dataset* disponível para *download* na página do projeto.

Para armazenar o *dataset* da plataforma, é utilizado o *Amazon Simple Storage Service*, popularmente conhecido como Amazon S3, um serviço de armazenamento de dados na nuvem escalável, performático e de alta disponibilidade (AMAZON, 2019).

### 3.3.1.1 APIs de Comunicação

O servidor na nuvem oferecê APIs totalmente abertas, de forma a permitir que novas aplicações enviem dados à plataforma.

Abaixo, são listadas as chamadas existentes:

- **{server\_url}/setup**: função a ser chamada pelas aplicações coletoras de dados uma única vez, durante sua primeira inicialização. Essa função retorna o identificador a ser utilizado pelo dispositivo na plataforma, assim como sua chave AES, utilizada para criptografar as rotas enviadas ao servidor.
- **{server\_url}/upload**: função a ser chamada para realizar o envio de um conjunto de rotas ao servidor. As rotas devem ser previamente criptografadas, utilizando a chave AES obtida pela aplicação em sua inicialização. O formato das rotas a serem enviadas é discutido na seção 3.3.1.2.

### 3.3.1.2 Arquivo de Rota

Uma rota na plataforma é consistida por um arquivo textual contendo um conjunto de pontos no formato discutido na seção 3.1. Um arquivo de rota a ser enviado para a plataforma deve ser nomeado no formato  $\{device\_id\}_{route\_id}_{timestamp}$ , onde *device\_id* é o identificador único do dispositivo, *route\_id* é o identificador da rota e *timestamp* representa o tempo de início da rota, no formato *Unix Time*. O identificador da rota, para um determinado *device\_id*, deve ser um inteiro iniciando com o valor 1 e incrementado a cada rota gerada. Dessa forma, cada rota na plataforma é unicamente identificada, e consultas temporais ou referentes à rotas de um mesmo usuário podem ser facilmente realizadas.

Cada linha do arquivo de rota representa um ponto da trajetória, de acordo com

o formato abordado na seção 3.1. Assim, um arquivo de rota terá um número de linhas igual ao número de pontos distintos que constituem a trajetória. O apêndice A contém um exemplo de arquivo de rota.

### 3.3.2 Aplicativo Android

Considerando os fatores apontados na seção 2.3, a plataforma Android surge como uma opção natural para o desenvolvimento de uma aplicação que possa servir de referência para a coleta de dados de deslocamento em conformidade com o padrão apresentado. Os principais motivos são descritos a seguir:

- **Generalidade:** por rodar em um *smartphone*, a aplicação pode englobar uma variada gama de métodos diferentes de deslocamento, permitindo assim que ricos dados de deslocamento sejam coletados. A metodologia para o reconhecimento do tipo de deslocamento pelo aplicativo é abordada na seção 3.3.2.2.
- **Baixo custo de implementação:** a aplicação não requer a implementação de nenhum hardware adicional, contando apenas com os sensores já disponíveis no *smartphone*.
- **Presença no mercado:** o Android está presente em 76% dos *smartphones* no mercado, número muito maior do que qualquer outro sistema operacional móvel.

#### 3.3.2.1 Modo de Operação

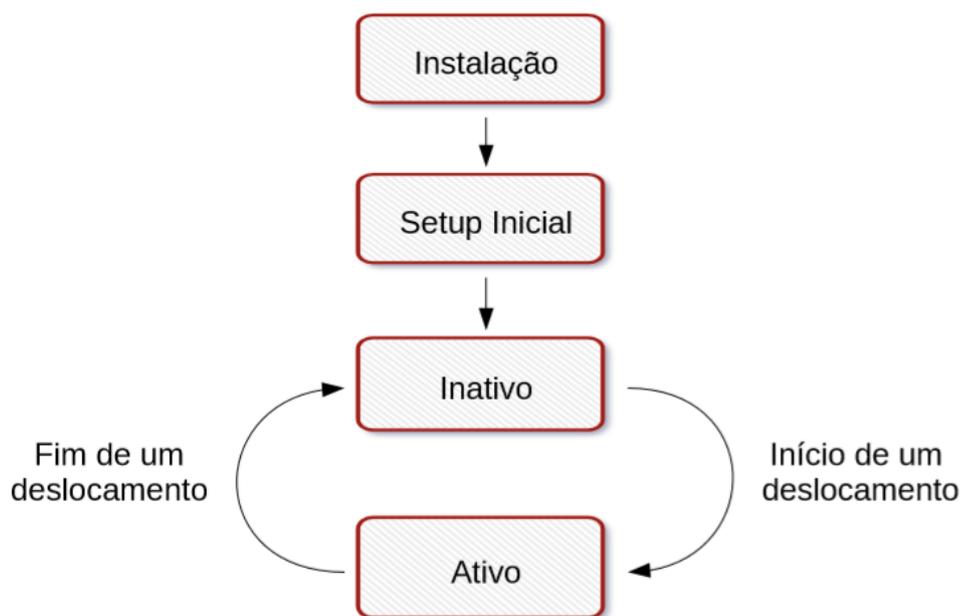
O aplicativo é responsável por realizar um monitoramento constante nos sensores do *smartphone*, a fim de detectar comportamentos que indiquem que o usuário está realizando algum tipo de deslocamento relevante. Por deslocamento relevante, entende-se qualquer tipo de deslocamento entre dois ou mais pontos distintos no meio urbano, como uma ida ao trabalho de carro ou ônibus, um passeio de bicicleta, ou uma caminhada até o supermercado mais próximo. Deslocamentos dentro de um mesmo espaço físico, como um shopping ou uma residência, não devem ser considerados, pois não constituem uma rota no meio urbano. Assim sendo, heurísticas a fim de detectar esses diferentes comportamentos precisam ser empregadas.

A Figura 3.2 resume o modo de operação do aplicativo instalado nos *smartphones* dos usuários. No momento de sua instalação, o aplicativo obtém do servidor o identificador único responsável por identificar o dispositivo na plataforma. Então, o aplicativo

inicia um monitoramento das atividades do usuário em segundo plano, alternando entre dois modos de operação distintos, conforme descrito abaixo:

- **Inativo.** Representa o intervalo de tempo em que o usuário não está realizando um deslocamento relevante. Nesse modo, o aplicativo não está de fato em execução, mas sim aguardando uma sinalização dos mecanismos de reconhecimento de comportamento indicando que o usuário iniciou um deslocamento, para então transitar para o estado ativo. Esse processo é abordado em detalhes na seção 3.3.2.2.
- **Ativo.** Representa o intervalo de tempo em que o usuário está realizando um deslocamento relevante. Nesse estado, o aplicativo está em execução e monitora as características do deslocamento. Ao detectar o final deste, o aplicativo finaliza a coleta da rota e transita novamente para o estado inativo, encerrando sua execução.

Figura 3.2: Diagrama do modo de operação do aplicativo



Fonte: O Autor

### 3.3.2.2 Reconhecimento de Comportamento

Para o correto funcionamento do aplicativo, é necessário que heurísticas estejam presentes para monitorar e classificar o tipo de deslocamento atual do usuário. Para esse propósito, é utilizada a *Activity Recognition API* da Google (Google LLC, a). Essa tecnologia utiliza dados lidos por múltiplos sensores do *smartphone*, como o acelerômetro e o giroscópio, assim como dados de aprendizado de máquina, para classificar o comporta-

mento atual do usuário de forma energeticamente eficiente e confiável, englobando todos os tipos de deslocamento definidos pela plataforma (conforme discutido na seção 3.2 e descrito na Tabela 3.1).

Através dessa API, uma aplicação pode sinalizar que deseja receber eventos de transição entre diferentes tipos de deslocamento mesmo sem estar em execução, através do uso de *broadcast receivers*, um conceito abordado na seção 2.3.3. Assim, a aplicação não precisa estar em execução enquanto aguarda o início de um deslocamento por parte do usuário, consideravelmente reduzindo o consumo de recursos nesse estado. Ao determinar o início de um deslocamento, através de parâmetros passados pela aplicação, a API sinaliza o fato ao aplicativo, que inicia sua execução e passa a monitorar ativamente o deslocamento atual do usuário. Ao detectar o fim do deslocamento, a aplicação pode novamente interromper sua execução. As heurísticas de detecção de início e fim de um deslocamento são brevemente discutidas abaixo.

O início de um deslocamento relevante é indicado por uma transição do estado de inércia para algum outro estado, seguido de um deslocamento espacial maior do que um *threshold* mínimo e durante um intervalo de tempo também maior que um *threshold* mínimo.

O fim de um deslocamento relevante é indicado por uma transição de um estado diferente do estado de inércia, para o estado de inércia, não seguido por uma transição de volta para algum outro estado durante uma janela de tempo pré-determinada.

### 3.3.2.3 Localização

Para obter a localização em tempo real do dispositivo, é utilizada a *Fused Location Provider API* da Google (Google LLC, b). Essa API combina diferentes sinais, como GPS e Wi-Fi, para obter informações de localização rápidas, precisas e com baixo consumo de bateria. Além disso, a API é bastante customizável, permitindo parâmetros indicando a precisão, deslocamento mínimo entre dois pontos e latência máxima desejados.

### 3.3.2.4 Privacidade

A localização atual do usuário é um dos seus dados pessoais disponíveis em seu *smartphone* mais sensíveis. No Android, para que um aplicativo tenha acesso à localização do dispositivo, este deve obtê-lo por meio do sistema de permissões da plataforma, que exige um aceite explícito por parte do usuário através de um aviso mostrado na tela

(Google LLC, 2019c). Essa permissão também pode ser revogada a qualquer momento, fazendo com que o aplicativo perca acesso à funcionalidade até que o usuário conceda novamente a permissão.

Como o aplicativo realiza a coleta da localização do usuário, assim como uma modelagem de suas rotas ao longo do tempo, é imprescindível que estratégias a fim de proteger a privacidade dos usuários contribuintes sejam empregadas. As principais estratégias nesse âmbito são destacadas a seguir:

- **Anonimidade.** Os dados coletados e enviados ao servidor na nuvem são completamente anônimos. Um usuário na plataforma é identificado exclusivamente por um identificador único, determinado no momento da instalação. Tal identificador serve para identificar múltiplas trajetórias realizadas por um mesmo usuário, a fim de modelar comportamentos. Não é possível identificar um usuário através de seu identificador na plataforma, e, se desejado, esse identificador pode ser redefinido a qualquer momento, através de uma opção dentro do aplicativo, ou da reinstalação do mesmo.
- **Criptografia.** Os arquivos de rota enviados pelo aplicativo ao servidor contam com criptografia ponta a ponta. A cifra utilizada é a AES com chave de 256 *bits*, sendo esta recebida pelo aplicativo no momento da primeira inicialização, juntamente com o identificador único. O apêndice A contém um exemplo de rota criptografada.

#### 3.3.2.5 *Consumo de Recursos*

Uma importante questão a ser analisada é o consumo de recursos por parte do aplicativo. É imprescindível que sua operação não seja prejudicial ao uso diário do *smartphone*, caso contrário os usuários tenderão a deixar de contribuir com a plataforma. Serão abordados o consumo de bateria, o consumo de rede, e o consumo de poder computacional por parte do aplicativo.

#### 3.3.2.6 *Consumo de Bateria*

A bateria é possivelmente o recurso mais sensível consumido pela aplicação. De modo a otimizar e reduzir esse consumo, diversas técnicas são empregadas. Durante o monitoramento ativo, que representa o período em que a aplicação considera que o usuário está realizando um deslocamento, o aplicativo consome bateria por estar ativamente monitorando a localização e dados dos sensores para o reconhecimento de comporta-

mento. As otimizações presentes nas APIs utilizadas, assim como uma configuração visando otimizar o consumo das mesmas, contribuem para tornar esse consumo o menor possível. Em especial, a aplicação requisita dados de localização e sensores em *batches*. Dessa forma, apesar dos dados serem obtidos de forma constante, eles são passados para a aplicação de forma conjunta apenas a cada intervalo de poucos minutos, permitindo que o *smartphone* permaneça em um estado inativo e de consumo reduzido por uma parcela muito maior do tempo.

Durante o estado inativo, conforme abordado na seção 3.3.2.1, o aplicativo não está em execução, resultando em um consumo de bateria quase nulo. Nesse caso, o único consumo é ocasionado pelo monitoramento da API de reconhecimento de atividade, que aguarda o início de um comportamento que represente um início de deslocamento, de forma a informar o aplicativo. As otimizações presentes na API, como o compartilhamento dos dados por todos os aplicativos que os requisitam, contribuem para que esse consumo seja o menor possível.

#### 3.3.2.7 Consumo de Rede

O aplicativo não faz uso de dados de rede para a coleta dos deslocamentos, funcionando perfeitamente em situações onde nenhuma rede Wi-Fi ou móvel esteja disponível. Todo o consumo de rede realizado pelo aplicativo se dá no momento do *upload* das rotas ao servidor na nuvem. De modo a otimizar esse consumo, o aplicativo mantém os dados coletados localmente, realizando o *upload* em *batches* periodicamente. Esse processo pode acontecer diariamente ou até semanalmente, variando conforme o volume de dados coletados, e só é realizado na presença de uma rede Wi-Fi não metrificada, evitando assim qualquer custo causado pelo consumo de rede ao usuário.

#### 3.3.2.8 Consumo de Processamento

Nenhum pós-processamento nos dados coletados é realizado localmente. Durante o estado ativo, o envio dos dados por parte das APIs de localização e reconhecimento de comportamento à aplicação em *batches*, conforme abordado na seção 3.3.2.6, contribui para que o processador permaneça inativo na maior parte do tempo. Ao final do deslocamento, um arquivo referente à rota é computado e salvo em disco. Durante o estado inativo, nenhum processamento é realizado.

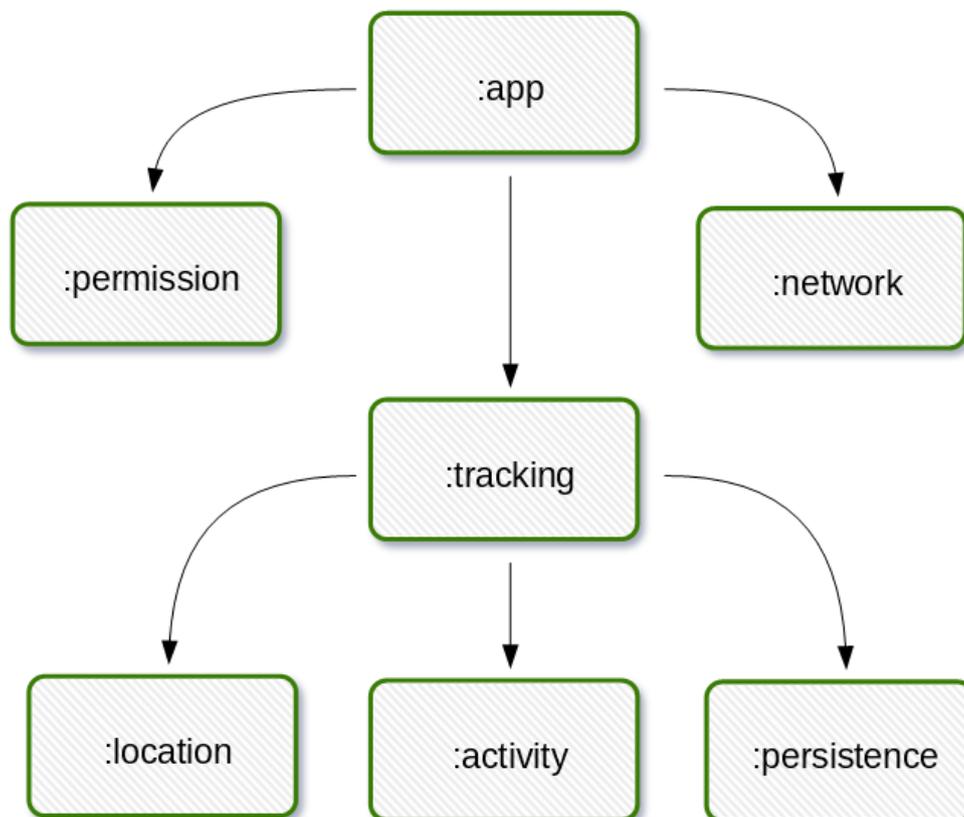
### 3.3.2.9 Arquitetura

O aplicativo foi desenvolvido de forma modular, a fim de separar as funcionalidades em módulos independentes e isolados. Assim, cada parte da aplicação contém apenas o conhecimento necessário para executar uma funcionalidade específica, e de suas dependências diretas. A Figura 3.3 representa um diagrama dos módulos da aplicação e suas dependências, indicadas pelas setas unidirecionais, onde o módulo indicado pela origem da seta depende do módulo para onde a mesma aponta. Abaixo, seguem descrições breves de cada módulo, suas funcionalidades e responsabilidades, servindo também como um resumo rápido das funcionalidades da aplicação:

- **:app**. Representa o módulo base da aplicação. Nele, estão contidas as funcionalidades de mais alto nível, como a interface com o usuário, estando nesse módulo a *activity* que representa o ponto de entrada do aplicativo. Esse módulo depende de três outros módulos: *:permission*, para solicitar ao usuário as permissões necessárias; *:tracking*, para obter o conjunto de rotas coletadas; e *:network*, de forma a enviar essas rotas ao servidor na nuvem.
- **:permission**. Responsável por lidar diretamente com o sistema de permissões da plataforma Android, abstraindo esse contato direto com a plataforma dos demais módulos. Módulos que desejarem consultar ou solicitar uma permissão o fazem chamando uma função presente nesse módulo, que por sua vez abstrai toda a complexidade da interação com o sistema de permissões da plataforma. Por atuar simplesmente como uma interface, esse módulo não possui dependências.
- **:network**. Representa a camada de rede da aplicação, sendo responsável por toda a comunicação com o servidor, abstraindo-a do restante da aplicação. Dessa forma, o restante da aplicação lida com a comunicação com o servidor como uma simples interface em kotlin, mantendo todos os nuances da comunicação HTTPS com o servidor contidos apenas nesse módulo. Esse módulo não possui dependências.
- **:tracking**. Contém toda a lógica de monitoramento do deslocamento do usuário. Nesse módulo estão contidas todas as heurísticas de detecção de início e fim de rota, bem como a lógica responsável por montar os arquivos de rota. Durante o estado ativo, o monitoramento é realizado em segundo plano por meio de um *service* contido nesse módulo. Esse módulo possui três dependências: o módulo *:location*, responsável por fornecer as informações de geoposicionamento; o módulo *:activity*, responsável por fornecer as informações de reconhecimento de comportamento; e o

- módulo `:persistence`, de forma a persistir as rotas localmente até o envio ao servidor.
- **`:location`**. Abstração sobre a *Google Fused Location Provider API* discutida na seção 3.3.2.3. Demais módulos que desejarem receber informações sobre a localização do dispositivo o fazem através de funções presentes nesse módulo. Dessa forma, não precisando depender diretamente dessa API externa. Por atuar simplesmente como uma interface, esse módulo não possui dependências.
  - **`:activity`**. Abstração sobre a *Google Activity Recognition API* discutida na seção 3.3.2.2. Módulos que desejarem obter informações de reconhecimento de comportamento o fazem através de funções presentes nesse módulo. Dessa forma, tais módulos não precisam depender diretamente dessa API externa. Por atuar simplesmente como uma interface, esse módulo não possui dependências.
  - **`:persistence`**. Responsável pela comunicação com os mecanismos de persistência da plataforma Android, abstraindo-os do restante da aplicação. Por atuar simplesmente como uma interface, esse módulo não possui dependências.

Figura 3.3: Diagrama de módulos da aplicação Android



Fonte: O Autor

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo, são discutidos resultados em relação ao consumo de recursos do aplicativo Android, uma avaliação de usabilidade realizada pelos usuários *beta* da plataforma, e possíveis utilizações do *dataset* no contexto de mobilidade urbana.

### 4.1 Avaliação do Consumo de Recursos

A seção 3.3.2.5 abordou o consumo de recursos por parte do aplicativo, com ênfase no consumo de bateria, rede e processamento. Foi discutida a preocupação com o tema, e as técnicas aplicadas para reduzir ao máximo o consumo destes recursos por parte do aplicativo durante sua operação.

Essa seção apresenta os dados de consumo por parte do aplicativo através da utilização da ferramenta *Battery Historian* (GOOGLE, 2017). Essa ferramenta permite a visualização detalhada de dados sobre o consumo de recursos em um *smartphone* Android através da análise de *logs* do sistema. A Figura 4.1 apresenta um exemplo desse tipo de visualização. O traçado em preto representa o nível de bateria do dispositivo durante o período, que é compreendido entre a última carga total do dispositivo e o instante atual, enquanto que cada linha representa a utilização de determinado recurso, como GPS, rede e processamento.

Além de uma visualização geral, a ferramenta permite também analisar o consumo isolado de uma aplicação em específico. A Tabela 4.1 mostra o consumo dos recursos discutidos causados pelo aplicativo durante um período de uma semana. Esses valores foram obtidos através de um agregado de resumos da ferramenta, visto que estes são limitados temporalmente pela última carga completa do dispositivo. Abaixo, o consumo de cada recurso é discutido e avaliado.

Durante esse intervalo de tempo, o aplicativo foi responsável por requisitar 838 valores de localização, espaçados durante um período total de 3 horas e 12 minutos, resultando em uma média de uma leitura a cada 13 segundos de monitoramento. Esse espaçamento temporal entre múltiplos valores de geolocalização é um bom compromisso entre a precisão dos dados gerados e o consumo de bateria resultante.

Foram utilizados 731KB de rede, ocasionados pelo *upload* das rotas ao servidor. Esse consumo, realizado em redes Wi-Fi não metrificadas, é pequeno frente às capacidades de transferência de rede disponíveis atualmente.

Durante sua execução, o aplicativo utilizou o processador do dispositivo por 8 minutos e 17 segundos. Esse intervalo representa uma parcela de 4% do tempo total de monitoramento, indicando que as políticas de redução do consumo de processamento foram eficazes no objetivo de manter o processador ocioso durante a maior parcela de tempo possível.

Finalmente, o uso da bateria estimado pela ferramenta foi de 3.1% de uma carga total da bateria do dispositivo, que possui capacidade nominal de 3.000mAh. Considerando-se que nesse período a utilização total foi de aproximadamente 4 cargas completas da bateria, o aplicativo foi responsável por aproximadamente 0.77% do consumo total. Esse valor pode ser considerado baixo e imperceptível para o usuário final.

Figura 4.1: Visualização gráfica do nível de bateria e utilização de recursos desde a última carga completa do smartphone

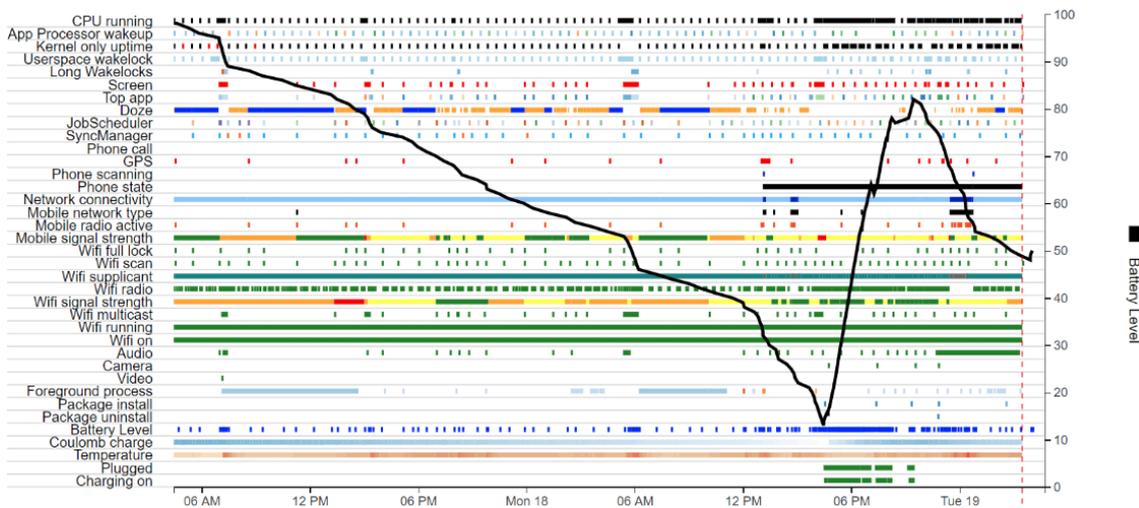


Tabela 4.1: Utilização de recursos do aplicativo Android durante um período de uma semana

Recurso	Utilização
GPS	838 <i>fixes</i> , durante um período de 3h 12min
Rede	741KB
Processador	8min 17s
Bateria	3,1% de uma carga completa de 3.000mAh

## 4.2 Avaliação de Usabilidade

Para avaliar métricas de usabilidade, conforto e satisfação, foi conduzida uma pesquisa com um grupo de 16 usuários participantes do período de testes *beta* da plataforma.

Esse grupo é composto por pessoas de 18 a 28 anos, sendo 12 homens e 4 mulheres, onde todos estão cursando ou cursaram uma universidade, residem na cidade de Porto Alegre, e pelo menos um usuário utiliza cada tipo de deslocamento classificado de acordo com a Tabela 3.1 como seu principal método de transporte. O período de testes ocorreu no mês de novembro de 2019, onde os usuários utilizaram o aplicativo Android instalado em seus *smartphones*. Apesar de em estágios iniciais, todas as principais funcionalidades da plataforma estavam implementadas.

A Figura 4.2 mostra o nível de identificação com o propósito da plataforma por parte desse grupo de usuários. 81% dos usuários disseram se identificar com a plataforma, reconhecendo sua aplicação na solução de problemas de mobilidade e infraestrutura de transporte urbano.

A Figura 4.3 demonstra o nível de conforto por parte dos usuários em relação à coleta e envio de dados de suas trajetórias. Enquanto metade dos usuários se disseram confortáveis, 19% demonstram algum tipo de receio em relação à coleta e posterior distribuição de seus dados abertamente. Nesse ponto, fica evidente a importância de mecanismos que protejam a privacidade dos usuários contribuintes, conforme discutido na seção 3.3.2.4.

A Figura 4.4 mede o nível de imperceptibilidade da operação e consumo de recursos por parte do aplicativo. Nenhum usuário relatou ter percebido a presença do aplicativo durante sua execução, demonstrando que o mesmo opera de forma transparente ao usuário, não atrapalhando seu uso normal do *smartphone*.

Por último, a Figura 4.5 indica a parcela desse grupo de usuários que acreditam continuar contribuindo com a plataforma após seu lançamento. 63% disseram que continuarão contribuindo, enquanto que 25% demonstraram indecisão e os 13% restantes informaram que não seguirão participando da plataforma. Com base nesses resultados, é possível perceber que uma parcela dos usuários não identifica razões claras para continuar contribuindo com a plataforma. Alguns motivos podem ser o desconforto com a coleta e disponibilização de seus dados, fraca identificação com o propósito da plataforma, ou falta de incentivo para sua contribuição.

Figura 4.2: Identificação com a plataforma

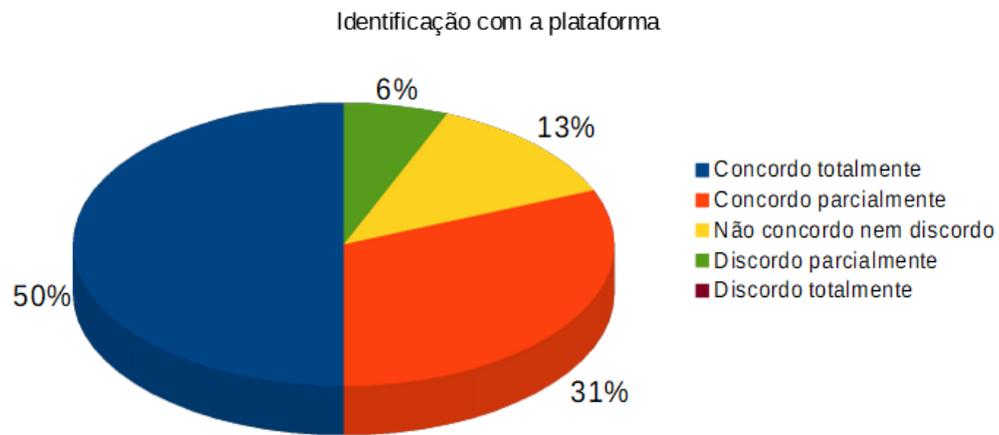


Figura 4.3: Conforto com a coleta de dados realizada pela plataforma

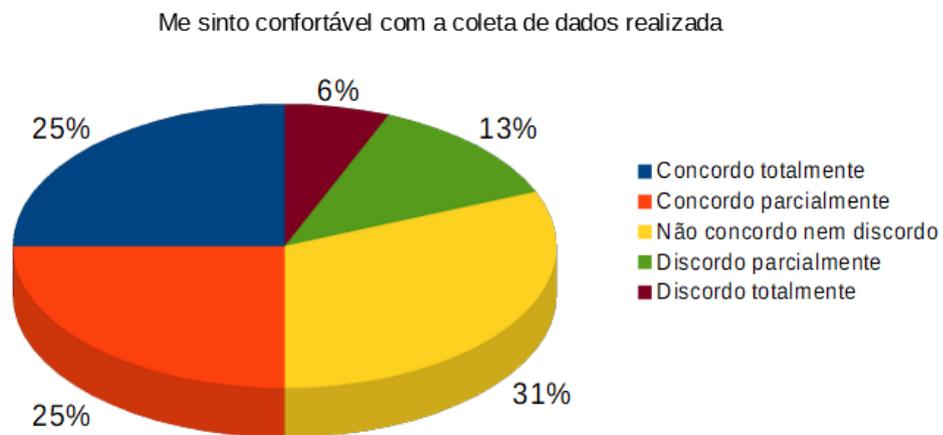
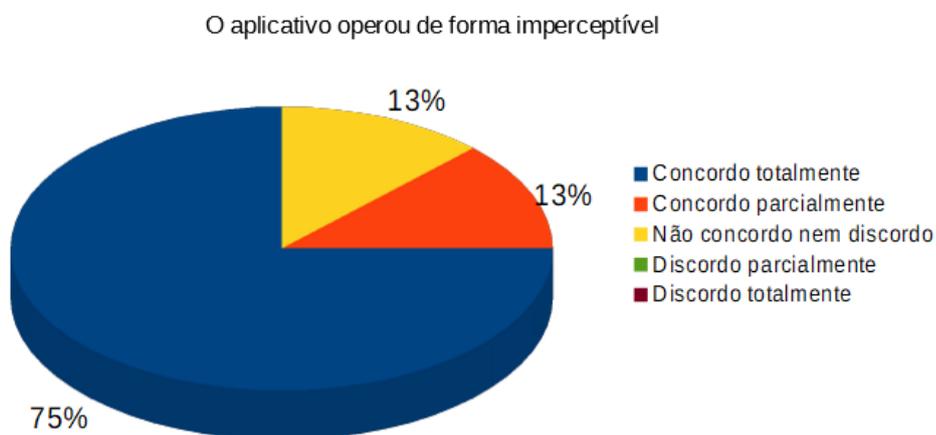
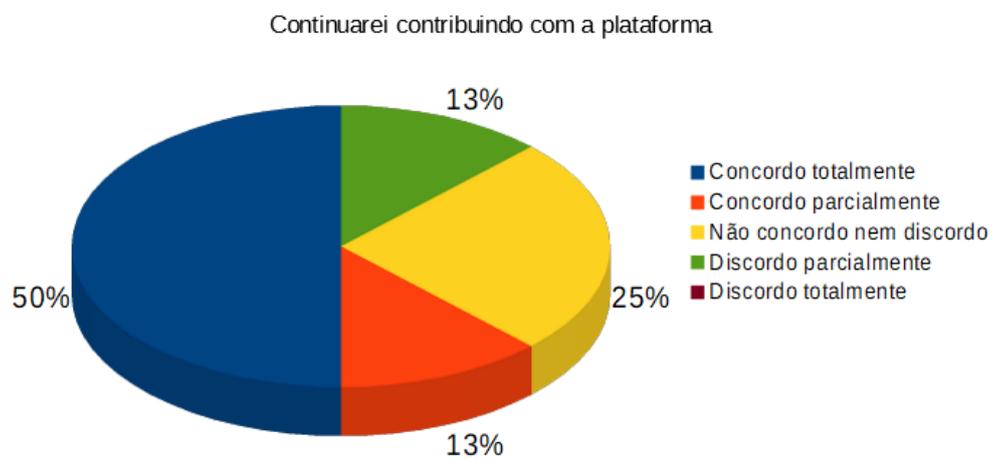


Figura 4.4: Imperceptibilidade da operação do aplicativo



Fonte: O Autor

Figura 4.5: Continuidade da participação na plataforma



Fonte: O Autor

### 4.3 Análise dos Dados

O *dataset* contendo todas as rotas coletadas pela plataforma é aberto e pode ser obtido na página do projeto, disponível em <<https://www.github.com/lfweigel/openroutes>>. O *dataset* é constituído por um conjunto de arquivos textuais, cada um representando uma rota contribuída com a plataforma.

Conforme discutido na seção 3.1, apesar de englobar múltiplos métodos de deslocamento, o *dataset* possui um padrão de dados constante, permitindo uma análise conjunta desses dados simplificada e eficiente. Assim, uma aplicação interessada pode facilmente obter, consultar e analisar dados dos mais diversos tipos de deslocamento da forma que mais lhe for interessante. Abaixo, são discutidas algumas das possíveis utilizações desses dados no âmbito de *smart mobility*, mas vale ressaltar que os usos não são restritos apenas a esses casos.

#### 4.3.1 Otimização nos Sistemas de Transporte Público

O sistema de transporte público é um dos pilares do funcionamento de uma cidade, provendo mobilidade às massas e contribuindo para mitigar tráfego e poluição, tornando-se assim, um sistema crítico no conceito de cidades inteligentes. Conforme abordado na seção 2.1, os desafios de mobilidade urbana atuais são alguns dos mais graves problemas enfrentados por diversas cidades ao redor do mundo.

Uma vez inserido o conhecimento das características do transporte público no ambiente sendo analisado, como modais, rotas e estações, os dados disponibilizados pela plataforma tornam-se uma ferramenta de grande utilidade nos esforços de otimização destes. Características sobre os comportamentos antes, durante e após a utilização do transporte público podem ser analisadas, modelando comportamentos e extraindo padrões de uso dos sistemas vigentes. Com base nesses comportamentos e padrões de uso, modificações e melhorias podem ser propostas, como a alteração de frotas, rotas e estações.

##### 4.3.1.1 Caso de Estudo: Transporte Rodoviário Intra-Municipal Brasileiro

Como um exemplo, pode-se citar o sistema de transporte rodoviário intra-municipal no Brasil. De acordo com um estudo levantado pela Confederação Nacional da Indústria em 2015 (CNI, 2015), 24% dos brasileiros utilizam o ônibus como principal método de

deslocamento para suas atividades rotineiras, tornando este o principal meio de deslocamento urbano do país. Em especial, esse número sobe para 35% em cidades brasileiras com mais de cem mil habitantes, reforçando a presença dessa modalidade de transporte público nos meios urbanos mais desenvolvidos. Ainda de acordo com o mesmo estudo, apenas 26% dos usuários avaliaram o serviço como bom ou ótimo, 32% avaliaram o serviço como regular, e 36% como ruim ou péssimo. Ao serem questionados sobre o principal problema do serviço, essa última parcela citou como os principais motivos da avaliação negativa a capilaridade e frequência (26% das respostas) e as lentidões e atrasos (24%).

Esses principais pontos citados pelos entrevistados como os maiores problema do serviço poderiam ser identificados, analisados e até solucionados com a utilização dos dados disponíveis pela plataforma:

- **Capilaridade e frequência.** Rotas de deslocamento bastante utilizadas porém não cobertas por linhas existentes poderiam ser identificadas, de forma a analisar a implementação de novas linhas ou a alteração das rotas de linhas já existentes, de forma a aumentar a área de cobertura do sistema. O problema de frequência poderia ser solucionado verificando-se o tempo médio que os usuários aguardam a chegada do veículo desejado em cada estação, de forma a propor alterações no número de veículos disponíveis e horários de partida de cada linha.
- **Lentidões e atrasos.** Dados como a velocidade em cada trecho do percurso podem ser analisados, identificando os principais pontos de lentidão durante o trajeto, de forma a propor otimizações no percurso realizado.

#### 4.3.2 Rede Cicloviária

Em (FLORINDO et al., 2018), é realizado um estudo na cidade de São Paulo que mostra que pessoas que residem a até 500 metros de uma ciclovia possuem uma probabilidade 154% maior de utilizar a bicicleta como seu principal método de transporte. Em (TUCKER; MANAUGH, 2018) e (FREITAS; MACIEL, 2017), são abordados os benefícios que a utilização desse meio de transporte trazem para as cidades, como melhorias na saúde e redução nos níveis de poluição e tráfego urbano.

Os dados provenientes da plataforma OpenRoutes podem ser utilizados no planejamento do sistema cicloviário das cidades, uma vez que contém informação sobre os

deslocamentos realizados com a utilização de bicicletas, bicicletas elétricas e similares. Com base nesses dados, é possível analisar a utilização das ciclovias e ciclofaixas existentes, assim como propor a implementação de novas ciclovias ou ciclofaixas ao longo de trajetos costumeiramente realizados de bicicleta e que ainda não possuem essa estrutura. Esse processo resultaria em melhoras não só para os ciclistas mas também para o trânsito de maneira geral, uma vez que, com a presença de ciclovias e ciclofaixas, veículos motorizados e bicicletas não precisam mais disputar o mesmo espaço, melhorando o fluxo do trânsito e trazendo mais segurança.

### **4.3.3 Planejamento de Ruas e Avenidas**

Os dados da plataforma também podem ser utilizados no planejamento de ruas e avenidas, através do estabelecimento de padrões de uso nestas. Através da extração de padrões comportamentais, é possível analisar a preferência dos motoristas por certas rotas. Um padrão *Convergence* pode indicar um destino de grande fluxo, cuja facilidade de acesso pela malha viária deve ser considerada crítica. Já um *Avoidance* pode indicar problemas como falta de segurança ou manutenção de alguma rua. Com base nesse tipo de análise, pode-se propor a implementação de soluções como vias de mão única (onde o tráfego é permitido apenas em um único sentido), a introdução de semáforos em cruzamentos problemáticos e até a priorização de reformas. Também é possível analisar a fluidez do deslocamento, de forma a identificar congestionamentos e possíveis alternativas, como por exemplo a introdução de novos semáforos em cruzamentos críticos (identificados por *Encounters*) ou alteração de funcionamento dos já existentes.

## 5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho propôs-se a identificar as ineficácias nos sistemas de coleta de dados de deslocamento urbano empregados atualmente. Através da análise dos problemas e desafios de mobilidade urbana nos grandes centros urbanos do mundo, abordando como caso de estudo a cidade de Porto Alegre, o trabalho posiciona-se como um ponto de partida para um novo paradigma em análise de características e otimização de sistemas de transporte e deslocamento urbano.

Através da implementação de uma plataforma de coleta de dados de mobilidade urbana colaborativa e de código aberto, o trabalho fornece a estrutura necessária para que outras aplicações que desejarem contribuir com a plataforma o façam. Através do desenvolvimento de uma aplicação para coleta dessas dados na plataforma Android, a plataforma introduz uma metodologia inovadora, genérica e de baixíssimo custo de implementação.

Com a disponibilização do aglomerado de dados gerados pela solução proposta em domínio público, o trabalho insere-se como a primeira solução a disponibilizar dados multimodais de mobilidade urbana de forma padronizada e totalmente aberta. Possíveis utilizações desses dados no conceito de mobilidade urbana, Cidades Inteligentes e mobilidade inteligente são discutidos.

Como limitações atuais da plataforma, pode-se citar a necessidade de um *smartphone* Android a ausência de incentivos além da identificação com o propósito da plataforma para a colaboração de usuários interessados. Nesse quesito, parcerias com prefeituras ou outros órgãos governamentais, por exemplo, seriam interessantes para o alavancamento da taxa de uso e conseqüente volume de dados gerado.

Como trabalhos futuros, podem ser desenvolvidas novas aplicações de coleta de dados e integrá-las à plataforma, de forma a aumentar ainda mais o volume de dados disponíveis, e também ferramentas de visualização desses dados.

## REFERÊNCIAS

ALVARES, L. et al. An algorithm to identify avoidance behavior in moving object trajectories. **J. Braz. Comp. Soc.**, v. 17, p. 193–203, 10 2011.

AMARAL, R. et al. Urban mobility and city logistics – trends and case study. **PROMET - TrafficTransportation**, v. 30, p. 613–622, 11 2018.

AMAZON. **Amazon S3 - Simple Storage Service**. 2019. <<https://aws.amazon.com/s3/>>. Acessado em 10/2019.

ARCE, R.; BAUCCELLS, N.; ALONSO, C. M. Smart mobility in smart cities. In: . [S.l.: s.n.], 2016.

BOGORNY, V.; BRAZ, F. J. **Introdução a Trajetórias de Objetos Móveis: conceitos, armazenamento e análise de dados**. [S.l.]: Editora Univille, 2012.

BOULTON, A.; BRUNN, S.; DEVRIENDT, L. Cyberinfrastructures and 'smart' world cities: Physical, human and soft infrastructures. **International Handbook of Globalization and World Cities**, p. 198–205, 01 2011.

BUSINESSWEEK. **Google Buys Android for Its Mobile Arsenal**. 2005. <[https://web.archive.org/web/20110205190729/http://www.businessweek.com/technology/content/aug2005/tc20050817\\_0949\\_tc024.htm](https://web.archive.org/web/20110205190729/http://www.businessweek.com/technology/content/aug2005/tc20050817_0949_tc024.htm)>. Acessado em 10/2019.

CATALYS. **Google's Android becomes the world's leading smart phoneplatform**. 2011. <<https://www.canalys.com/newsroom/google%E2%80%99s-android-becomes-world%E2%80%99s-leading-smart-phone-platform>>. Acessado em 10/2019.

CNI. **Retratos da Sociedade Brasileira 27 - Mobilidade Urbana**. 2015. <<http://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/rsb-27-mobilidade-urbana/>>. Acessado em 10/2019.

DAN, W.; XIANG, Z.; FESENMAIER, D. Smartphone use in everyday life and travel. **Journal of Travel Research**, 01 2014.

DOCHERTY, I.; MARSDEN, G.; ANABLE, J. The governance of smart mobility. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 115, p. 114 – 125, 2018. ISSN 0965-8564. Smart urban mobility. Available from Internet: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096585641731090X>>.

EXPRESS. **Express - Node.js web application framework**. 2019. <<https://expressjs.com/>>. Acessado em 10/2019.

FLORINDO, A. et al. Cycling for transportation in sao paulo city: Associations with bike paths, train and subway stations. 03 2018.

FREITAS, A. L. P.; MACIEL, A. B. L. Cycling in a brazilian city. **Procedia Engineering**, v. 198, p. 411 – 418, 2017. ISSN 1877-7058. Urban Transitions Conference, Shanghai, September 2016. Available from Internet: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817329429>>.

- GIANNOTTI, F. et al. Trajectory pattern mining. In: . [S.l.: s.n.], 2007. p. 330–339.
- GIANNOTTI, F.; PEDRESCHI, D. **Mobility, Data Mining and Privacy**. [S.l.]: Editora Springer, 2008.
- GOOGLE. **Battery Historian**. 2017. <<https://github.com/google/battery-historian>>. Acessado em 10/2019.
- Google LLC. **Activity Recognition API**. <<https://developers.google.com/location-context/activity-recognition/>>. Acessado em 10/2019.
- Google LLC. **Fused Location Provider API**. <<https://developers.google.com/location-context/fused-location-provider/>>. Acessado em 10/2019.
- Google LLC. **Google Maps**. 2005. <<https://www.google.com/maps>>. Acessado em 10/2019.
- Google LLC. **Android | The platform publishing what's possible**. 2008. <<https://www.android.com/>>. Acessado em 10/2019.
- Google LLC. **Android Application Fundamentals**. 2019. <<https://developer.android.com/guide/components/fundamentals>>. Acessado em 10/2019.
- Google LLC. **Android Open Source Project**. 2019. <<https://source.android.com/>>. Acessado em 10/2019.
- Google LLC. **Permissions Overview**. 2019. <<https://developer.android.com/guide/topics/permissions/overview>>. Acessado em 10/2019.
- GTFS. **The General Transit Feed Specification**. 2019. <<https://gtfs.org/>>. Acessado em 10/2019.
- HERE. **Here Urban Mobility Index**. 2019. <<https://urbanmobilityindex.here.com/>>. Acessado em 11/2019.
- HOLLANDS, R. G. Will the real smart city please stand up? **City**, Routledge, v. 12, n. 3, p. 303–320, 2008. Available from Internet: <<https://doi.org/10.1080/13604810802479126>>.
- JEEKEL, H. Social sustainability and smart mobility : Exploring the relationship. **Transportation Research Procedia**, v. 25, p. 4296 – 4310, 2017. ISSN 2352-1465. World Conference on Transport Research - WCTR 2016 Shanghai. 10-15 July 2016. Available from Internet: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146517305616>>.
- KITCHIN, R. The real-time city? big data and smart urbanism. **GeoJournal**, Springer Verlag, v. 79, p. 1–14, 2014.
- LAUBE, P.; IMFELD, S. Analyzing relative motion within groups of trackable moving point objects. In: **GIScience**. [S.l.: s.n.], 2002.
- LAUBE, P.; IMFELD, S.; WEIBEL, R. Discovering relative motion patterns in groups of moving point objects. **International Journal of Geographical Information Science**, Taylor Francis, v. 19, n. 6, p. 639–668, 2005. Available from Internet: <<https://doi.org/10.1080/13658810500105572>>.

LEMOS, L. L. **Co-aprendizado entre motoristas e controladores semafóricos em simulação microscópica de trânsito**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018.

MELLO, R. L. de. Os ciclistas e as políticas cicloviárias em porto alegre. **ENANPUR**, 2019.

MOOVIT. **Moovit's Mobility as a Service (MaaS) Platform**. 2019. <<https://company.moovit.com/maas-solutions/>>. Acessado em 11/2019.

MUTCHLER, L.; SHIM, J.; ORMOND, D. Exploratory study on users' behavior: Smartphone usage. **17th Americas Conference on Information Systems 2011, AMCIS 2011**, v. 5, 01 2011.

NEGÓCIOS, E. **Porto Alegre passa a usar dados da 99 para ajustar os sinais de trânsito em tempo real**. 2019.

NODE.JS. **Node.js**. 2019. <<https://nodejs.org/>>. Acessado em 10/2019.

NYC Taxi & Limousine Comission. **TLC Trip Record Data**. 2015.

OLIVEIRA, D. D. **Um Estudo de coordenação dinâmica de agentes aplicado ao gerenciamento de tráfego veicular urbano**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

OLIVEIRA, D. S. P. de. **“Mais amor, menos motor”**: análise sobre a atuação da rede cicloativista na construção da agenda da política de mobilidade urbana de porto alegre. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2017.

OnePlus. **OnePlus OxygenOS**. 2013. <<https://www.oneplus.com/oxygenos>>. Acessado em 10/2019.

Open Knowledge. **US City Open Data Census**. 2019. <<http://us-city.census.okfn.org/dataset/transit>>. Acessado em 10/2019.

OTP Project. **Open Trip Planner**. 2009. <<https://www.opentripplanner.org/>>. Acessado em 10/2019.

PMPA. **Plano Diretor Cicloviário de Porto Alegre: Relatório Final**. 2008. <[http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/eptc/usu\\_doc/pdci\\_relatorio\\_final.pdf](http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/eptc/usu_doc/pdci_relatorio_final.pdf)>. Acessado em 10/2019.

PMPA. **Diagnóstico da Mobilidade no Município de Porto Alegre e Sua Interface Metropolitana**. 2018. <[https://alfa.portoalegre.rs.gov.br/sites/default/files/usu\\_doc/projetos/smim/Plano%20de%20Mobilidade%20Urbana/Relatorio\\_PMU\\_Diagnostico\\_da\\_Mobilidade\\_0.pdf](https://alfa.portoalegre.rs.gov.br/sites/default/files/usu_doc/projetos/smim/Plano%20de%20Mobilidade%20Urbana/Relatorio_PMU_Diagnostico_da_Mobilidade_0.pdf)>. Acessado em 10/2019.

POLO, L. F. **Aplicação Big Data para predição de tempo de viagens de táxi**. Monografia (Graduação) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2017.

Ressurrection Remix. **Ressurrection Remix OS**. 2012. <<https://lineageos.org/>>. Acessado em 10/2019.

ROLNIK, R.; KLINTOWITZ, D. (I)Mobilidade na cidade de São Paulo. **Estudos Avançados**, scielo, v. 25, p. 89 – 108, 04 2011. ISSN 0103-4014. Available from Internet: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142011000100007&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142011000100007&nrm=iso)>.

STATCOUNTER. **Mobile Operating System Market Share Worldwide**. 2019. <<https://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/worldwide>>. Acessado em 10/2019.

TERESHKINA, T. et al. Transport system of megalopolis and its influence on the urban environment (the example of st. petersburg). **E3S Web of Conferences**, v. 97, p. 01026, 01 2019.

The LineageOS Project. **LineageOS Android Distribution**. 2016. <<https://lineageos.org/>>. Acessado em 10/2019.

TORRES, G. M. **Análise comportamental de objetos móveis baseada em dados de trajetórias**. Monografia (Graduação) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

TUCKER, B.; MANAUGH, K. Bicycle equity in brazil: Access to safe cycling routes across neighborhoods in rio de janeiro and curitiba. **International Journal of Sustainable Transportation**, Taylor Francis, v. 12, n. 1, p. 29–38, 2018.

Xiaomi. **MIUI**. 2010. <<http://en.miui.com/>>. Acessado em 10/2019.

YICONG, W.; SEKI, K.; UEHARA, K. Detection of trajectory patterns and visualization of spatio-temporal information based on data stream approaches. **Communications in Computer and Information Science**, v. 482, p. 204–214, 01 2015.

ZHAO, X. et al. Unlocking the power of urban transport systems for better growth and a better climate. **The New Climate Economy**, 01 2016.

## APÊNDICE A — EXEMPLO DE ARQUIVO DE ROTA

Abaixo, segue um trecho de um arquivo referente a uma rota na plataforma. O título do arquivo, 15738591\_32\_1557944052.txt, indica que essa rota pertence ao usuário 15738591, sendo seu identificador 32, e tendo início no instante de tempo 1557944052. Por brevidade, alguns pontos da rota estão omitidos.

```
15738591_32_1557944052.txt
-----
32 1557944052 -30.0389 -51.2094 02
32 1557944064 -30.0727 -51.2095 02
32 1557944482 -30.0361 -51.2101 02
32 1557944489 -30.0360 -51.2101 02
32 1557944497 -30.0362 -51.2101 01
32 1557944517 -30.0361 -51.2102 01
32 1557944532 -30.0362 -51.2101 01
32 1557944551 -31.0362 -51.2102 01
32 1557944572 -31.0361 -51.2103 01
32 1557944910 -30.0362 -51.2101 01
32 1557944929 -30.0370 -51.2084 04
32 1557944932 -30.0378 -51.2042 04
32 1557944944 -30.0431 -51.2040 04
32 1557946564 -30.0664 -51.1200 04
32 1557946572 -30.0676 -51.1198 02
32 1557946592 -30.0682 -51.1201 02
32 1557946621 -30.0688 -51.1206 02
32 1557946631 -30.0691 -51.1208 02
32 1557946642 -30.0693 -51.1210 02
32 1557946659 -30.0695 -51.1209 02
32 1557946671 -30.0697 -51.1211 02
```

A rota encriptada encontra-se abaixo. A cifra utilizada foi a AES com chave de 256 bits. A chave utilizada foi 832C4A024576FE10989DB927805173E7DA88B4420C068F5E.

```
j+5PJtLxCmUafBwjQJndtZOz4mNjmCFFP9cu/cfU9eGt embj6Rwx2HdLGzxh
AcaQqNoqpIV4wvCxrZ85W/S+MwYbVqSpXykbOoTHseTwP8h+cGcM2IdwP2zh
```

9pFYax5EbYsBRqdr/w7yazgy8UM+0iaJI sSRyvCj3TtJwmpmTajfJDNOiZDn  
afCXCLe65msDmtcZTUA0zaHz359U38VLh92GAGu4lerFKgUG1UBknJVw8uSN  
YsF5KTWJU5yDkhNwleW2RYWKXVczgzqIglvb8zmtpbTrkUKjvSu56B6GXT0l  
KF3zJKk1rnNlsF4AoYdynnUMxQT4uLevNBcJXGCBLQ3AE3jeouzoV8I0Wqid  
7ACB6y2bHS7vCmJu8BbVBMbZkRxoZ2ua1B7ghP9vrHKtvFKt0lwCE9Rj1Jil  
/wGau+BNc2fm6tM/yWKJpg4crQVACxkEknzIMO4ePaqNWcuN1Om6DvGSBxzP  
ZdZs83Tu6E5MSo+RGX064gM1P6QN9gRKFyx7TdSTDpG63q8QeidPAQPdl97B  
weTyGx0M4ScITwU8hcIf3thg2bidI4i/3hcnWbAjcUODR6wBUcpikYkWoDfs  
NCFiJWNcQwh7XjhdfM12vUEOHGk5CsEALKV5Rtz0yr6AjYH1lCCCTQh1siCC  
M+zd+94nLpkOXmPvPxRyNVDAtoJTaCUZ8YcLshVURBSr1+8bAbi5r4Q99x5w  
0qSNp8nd2egkFtIF20GdUF/LB3o1EZKFhUAQsI/xUiqrhguevkURVfvkGAR6  
/LPd1DnqOSnEdq4p6VgIGLE6FCDp3g+/Oyx9A5JJdYP0Bw4Vo9fULf2j0JsE  
14wHO/LARvuD8Tb64UQxob2p7GHLKx8uAM5617+oiAJe5weFluRYtGBogjAc  
wmhaaE4hWWZxy3WgC825R7PdJSg2pAV6F7g8rfW03G+Le+BEMHPwbNCZL21U  
zdxpIL9v2eEu+5UvH6194ON/oZ3fNoyNOgau4XWgIOsA/fWpRZzcomW5fqVC  
brPl

**APÊNDICE B — TRABALHO DE GRADUAÇÃO I**

# OpenRoutes: Plataforma Colaborativa de Coleta e Análise de Comportamentos de Deslocamento Urbano

Lucas Fernando Weigel<sup>1</sup>, Claudio Fernando Resin Geyer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Informática – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)  
Caixa Postal 15.064 – 91.501-970 – Porto Alegre – RS – Brasil

{lfweigel, geyer}@inf.ufrgs.br

**Abstract.** *The OpenRoutes platform is presented, consisting of multiple collaborative, open-source applications aiming to collect, store and analyze urban mobility data at a large scale. Distinguished by its generality and very low implementation costs, differently from the traditional restrict, isolated and expensive solutions, the platform aims to be a starting point to a new paradigm in transport and urban mobility analysis and optimization in the Smart City context.*

**Resumo.** *A plataforma OpenRoutes é apresentada, unindo múltiplas aplicações colaborativas e de código aberto com o intuito de coletar, armazenar e analisar dados de deslocamento urbano em larga escala. Destacando-se por sua generalidade e baixíssimo custo de implementação, diferente das soluções tradicionais, que costumam ser isoladas, restritas e caras, a plataforma almeja ser um ponto de partida para um novo paradigma em análise de características e otimização de sistemas de transporte e deslocamento urbano no contexto de Cidades Inteligentes.*

## 1. Introdução

A área de monitoramento e otimização de sistemas de transporte urbano é um dos pilares do conceito de *Smart Cities*. Recentemente, o termo *Smart Mobility* foi cunhado para representar o conjunto de novas tecnologias, paradigmas e formas de se pensar em relação à mobilidade urbana nessas cidades [Docherty et al. 2018, Jeekel 2017, Arce et al. 2016]. Com a constante evolução dos meios urbanos, ineficiências nos sistemas existentes estão se tornando cada vez mais aparentes, e megalópoles como São Paulo [Rolnik and Klintowitz 2011] e São Petersburgo [Tereshkina et al. 2019] enfrentam sérios e desafiadores problemas de infraestrutura de transporte urbano.

Ao mesmo tempo, os recentes avanços nas tecnologias de satélites, assim como a redução nos preços de dispositivos móveis como redes de sensores, aparelhos GPS (do inglês *Global Position System*, ou Sistema de Posicionamento Global) e smartphones têm aumentado o uso desses dispositivos significativamente. Em especial, o uso de smartphones vem crescendo de maneira acelerada, principalmente nos meios urbanos mais desenvolvidos. Cada vez mais, os usuários passam a maior parte do dia ao lado de seu telefone celular, fazendo com que também cada vez mais tais aparelhos registrem a mobilidade dos usuários que os carregam. Essa interessante característica de uso é a base da plataforma OpenRoutes.

## 1.1. Motivação

A ideia de mapear as características de deslocamento urbano não é nova. Não é incomum os veículos de transporte público ou privado possuírem GPS e outros mecanismos que possibilitem coleta de métricas de uso, como catracas ou utilização de terminais de leitura de informações. Apesar de oferecerem dados interessantes sobre o uso do sistema, estes costumam ser fechados e utilizados isoladamente, num universo contendo unicamente o meio de deslocamento em questão. Uma empresa de ônibus, por exemplo, pode coletar as mais variadas características de uso da sua frota por seus usuários, mas seus dados contemplam apenas o período em que o usuário permaneceu utilizando seu serviço. Características do deslocamento do usuário até a parada de ônibus, e após sua descida na parada mais próxima a seu destino, não podem ser obtidas e analisadas, embora certamente interessantes e complementares.

Além disso, a obtenção de dados dessa forma muitas vezes requer um elevado investimento monetário, muitas vezes visto como infundado pelos *stakeholders* do negócio. Uma típica solução tradicional é a instalação de dispositivos GPS nas frota de veículos utilizados pelo transporte público. Além de um elevado investimento inicial, tal solução requer constante monitoramento e manutenção por parte da empresa responsável, o que muitas vezes acaba não acontecendo, tornando o sistema obsoleto.

Por sua vez, a plataforma OpenRoutes traz uma solução de baixíssimo custo de implementação e que permite analisar todos os principais métodos de deslocamento urbano de forma contínua e integrada, solucionando os dois principais desafios enfrentados pelas soluções existentes. Por ser aberta, a plataforma permitirá que projetos futuros a estendam, servindo como um ponto de partida para uma nova maneira de obter e analisar dados de deslocamento urbano.

## 1.2. Objetivos

A plataforma surge como um ponto de partida em busca de um novo paradigma em análise de características e otimização de sistemas de transporte e deslocamento urbano, no contexto de Cidades Inteligentes. Não existe hoje uma plataforma aberta que disponibilize dados agregados de todas os principais meios de deslocamento no meio urbano, fazendo da OpenRoutes a primeira nesse contexto. Tais dados, uma vez enriquecidos com as características do meio urbano analisado, como posições de ciclovias e rotas de transporte público, podem servir de embasamento para decisões em direção à solução de ineficiências nos sistemas de transporte público vigentes, como otimizações nas rotas de transporte público, instalação de ciclovias e otimização de semáforos e sentidos de ruas e avenidas.

O restante do texto está organizado da seguinte forma: na seção 2, é citado o contexto em que o trabalho está inserido, bem como trabalhos e estudos correlatos. Na seção 3, é abordada a metodologia utilizada pela plataforma na coleta, disponibilização e análise dos dados. Na seção 4, o andamento do projeto até o presente momento é discutido. Finalmente, na seção 5, é proposto um cronograma para a realização do TG2.

## 2. Background e Trabalhos Correlatos

Na seção 1, foram citados estudos que destacam os graves problemas de infraestrutura de transporte urbano que megalópoles como São Paulo e São Petersburgo sofrem. Com

o acelerado crescimento populacional dos maiores centros urbanos do mundo, a infraestrutura de transporte deficiente de muitas dessas cidades se torna cada vez mais evidente, prejudicando direta e indiretamente muitos de seus serviços e culminando em uma reduzida taxa de crescimento econômico.

Iniciativas como a *Especificação Geral de Feed de Trânsito* [GTFS] procuram sedimentar um padrão nos dados disponibilizados de sistemas de transporte público urbano, a fim de permitir que um sistema utilize e integre os dados de múltiplos modais de maneira simples e homogênea, permitindo um estudo desses dados em conjunto. Esse padrão é bastante utilizado hoje, e dados nesse formato são utilizados por plataformas como o *OpenTripPlanner* [OTP Project], que permite o planejamento inteligente de rotas, e o gigante *Google Maps* [Google LLC c], o serviço de mapeamento mais utilizado no mundo. Essa iniciativa mostra a necessidade e benefícios de uma padronização nos dados de trânsito disponibilizados.

Existem plataformas que disponibilizam datasets de trânsito urbano, porém sempre considerando algum método de transporte de forma isolada, restringindo a aplicação dos dados. Em [Open Knowledge], são disponibilizados conjuntos de dados de diversos sistemas de transporte público em várias cidades dos Estados Unidos, porém cada dataset possui sintaxes e formatos diferentes. A falta de um padrão definido torna muito complicada uma análise conjunta dos dados. Já em [NYC Taxi & Limousine Commission], são disponibilizados dados de viagens de táxi na cidade de Nova York desde 2009. Tais dados, embora certamente úteis em estudos no contexto em que são aplicados, como em [Polo 2017], não possuem um uso simples e claro fora desse ambiente.

A área de análise de dados de deslocamento urbano tem sido de grande interesse científico, social e comercial. Em [Torres 2009], é proposta uma ferramenta administrativa capaz de agregar conhecimento a dados geográficos, permitindo uma análise semântica detalhada dessas trajetórias, com grande potencial comercial. Já estudos como [Oliveira 2005] e [Lemos 2018] utilizam dados de simulações para propor soluções para o problema de congestionamento urbano, demonstrando o interesse científico e social desse tipo de análise.

### 3. Metodologia

O sistema será composto por duas principais aplicações: o aplicativo Android, instalado nos smartphones dos usuários e responsável por coletar as trajetórias, e o servidor na nuvem, responsável por recebê-las, armazená-las e disponibilizá-las.

#### 3.1. Trajetória

Uma trajetória pode ser definida por uma sequência de valores que representam a posição do objeto a ser analisado em determinados instantes de tempo [Bogorny and Braz 2012]. Os dados gerados por smartphones são dados espaçotemporais, muitas vezes chamados de *trajetórias brutas*, representados pela equação 1:

$$p_t = (tid, x, y, t) \quad (1)$$

onde  $p$  representa o ponto referente ao instante  $t$ ,  $tid$  é o identificador da trajetória e  $x$  e  $y$  representam as coordenadas geográficas do objeto nesse instante de tempo.

Uma trajetória pode conter propriedades próprias que descrevem o movimento do objeto de forma mais específica. De acordo com [Giannotti and Pedreschi 2008], tais propriedades podem ser divididas em características gerais e características momentâneas. Uma característica geral classifica a trajetória como um todo, como por exemplo sua duração, velocidade média, ou forma geométrica. Por outro lado, uma característica momentânea refere-se ao estado do objeto em um determinado momento, como sua velocidade ou aceleração.

Tendo esses conceitos em mente, é possível definir a trajetória utilizada pela plataforma OpenRoutes, que se dá conforme a equação 2:

$$p_t = (tid, x, y, t, cls) \quad (2)$$

onde  $p$  representa o ponto referente ao instante  $t$ ,  $tid$  é o identificador único da trajetória,  $x$  e  $y$  representam as coordenadas geográficas do usuário nesse instante de tempo e  $cls$  representa a classificação do tipo de deslocamento nesse instante. A explicação desse último conceito, bem como seus possíveis valores, são abordados na seção 3.2.1.

## 3.2. Aplicativo Android

As trajetórias serão coletadas por um aplicativo Android nativo instalado nos smartphones dos usuários da plataforma. O aplicativo usará tecnologias de detecção de comportamento e localização já consolidadas, e se preocupará com a privacidade e anonimidade dos usuários, assim como o consumo de bateria do dispositivo.

### 3.2.1. Reconhecimento de Comportamento

Para classificar o tipo de deslocamento atual do usuário, é utilizada a *Activity Recognition API* da Google [Google LLC a]. Essa consolidada tecnologia utiliza valores lidos por múltiplos sensores do smartphone, como o acelerômetro e o giroscópio, assim como dados de aprendizado de máquina para classificar o comportamento atual do usuário. As classificações utilizadas, bem como suas breves descrições, aparecem na tabela 1.

**Tabela 1. Classificações do deslocamento do usuário**

Classificação	Descrição
still	O usuário não está em movimento
on_foot	O usuário está se deslocando a pé
on_bicycle	O usuário está se deslocando com o uso de uma bicicleta ou similar
in_vehicle	O usuário está se deslocando por meio de um veículo

Dessa forma, é possível determinar, em tempo real e com alto grau de confiança, a qual dos principais meios de deslocamento cotidiano, como caminhadas, pedaladas e uso de veículos de transporte público e particular o deslocamento atual do usuário mais se assemelha. Porém, é importante notar que não é possível determinar, por exemplo, qual o tipo de veículo que o usuário está utilizando caso essa seja a classificação obtida. Possíveis heurísticas para lidar com essa questão são discutidas na seção 3.3.3.

### 3.2.2. Localização

Para obter a localização em tempo real do dispositivo, será utilizada a *Fused Location Provider API* da Google [Google LLC b]. Essa API inteligentemente combina diferentes sinais para obter informações de localização rápidas, precisas e com baixo consumo de bateria.

### 3.2.3. Privacidade

A localização atual do usuário, assim como suas trajetórias no dia a dia, são certamente alguns dos seus dados pessoais mais sensíveis. Levando isso em conta, o aplicativo possuirá alguns mecanismos a fim de proteger os dados coletados do usuário:

- **Anonimidade.** Os dados coletados e enviados ao servidor serão completamente anônimos. Um usuário na plataforma será identificado unicamente por um identificador único, determinado no momento da instalação. Tal identificador servirá para identificar múltiplas trajetórias realizadas por um mesmo usuário, a fim de modelar comportamentos. Não é possível identificar um usuário através de seu identificador na plataforma, e, se desejado, esse valor pode ser resetado a qualquer momento pelo usuário, através de uma opção dentro do aplicativo, ou da reinstalação do mesmo. Além disso, o aplicativo não terá permissões dentro da plataforma Android para coletar os dados sem o consentimento do usuário, podendo esse revogar tais permissões a qualquer momento.
- **Criptografia.** Os dados enviados pelo aplicativo ao servidor serão criptografados, impossibilitando que tais dados sejam interceptados e determinados por algum dispositivo na rede.

### 3.2.4. Consumo de Bateria

Outra questão importante, devido à característica de operação do aplicativo, é o consumo de bateria causado pela recepção e coleta dos dados em tempo real. Nesse contexto, é importante determinar os dois possíveis modos de operação do aplicativo, e analisar o consumo em cada um deles:

- **Ativo.** Representa o estado em que o aplicativo determinou que o usuário está realizando um deslocamento. Nesse estado, o aplicativo coleta em tempo real os dados sobre o deslocamento do usuário. As otimizações existentes nos sistemas de localização e reconhecimento de atividades utilizados, como o compartilhamento dessas informações entre todos os aplicativos instalados no dispositivo, assim como o baixo custo computacional das tarefas realizadas pelo aplicativo, fazem com que o consumo de bateria seja baixo.
- **Inativo.** Representa o estado em que o aplicativo determinou que o usuário não está realizando um deslocamento. Nesse modo, o aplicativo entra em um estado de hibernação, apenas esperando que o usuário inicie o seu próximo deslocamento para transitar para o estado ativo. Esse monitoramento é realizado de forma pouco agressiva, fazendo com que pequenos deslocamentos e movimentos

não sejam identificados como o início de um percurso, e tendo um consumo de bateria mínimo.

### 3.3. Backend

O backend consistirá em um servidor localizado na nuvem responsável por receber, armazenar e disponibilizar os dados coletados pela plataforma. Serão desenvolvidas APIs para a comunicação com os smartphones Android responsáveis por coletar os dados, assim como um repositório onde o conjunto agregado dos dados será disponibilizado de forma aberta.

#### 3.3.1. APIs de comunicação

O servidor possuirá uma API que será utilizada pelos aplicativos para realizar o upload de um agregado de trajetórias. O envio de trajetórias em *bulks* é interessante a fim de eliminar a necessidade de uma conexão disponível constante, assim como reduzir o consumo de bateria e dados de rede. Outra funcionalidade disponível pela API será a obtenção de um identificador único para o telefone. Esse serviço será utilizado pelos smartphones no momento da instalação ou quando o usuário desejar resetar o seu identificador.

#### 3.3.2. Disponibilização dos dados

Os dados serão disponibilizados, de forma totalmente aberta e gratuita, em uma página web a ser definida, que também disponibilizará o download do aplicativo. De forma similar, os códigos fonte da aplicação Android e do servidor na nuvem também serão disponibilizados em um repositório de acesso livre.

#### 3.3.3. Análise dos dados

Uma vez em posse dos dados, é possível analisá-los em algum contexto de interesse. Alguns exemplos de uso são citados abaixo:

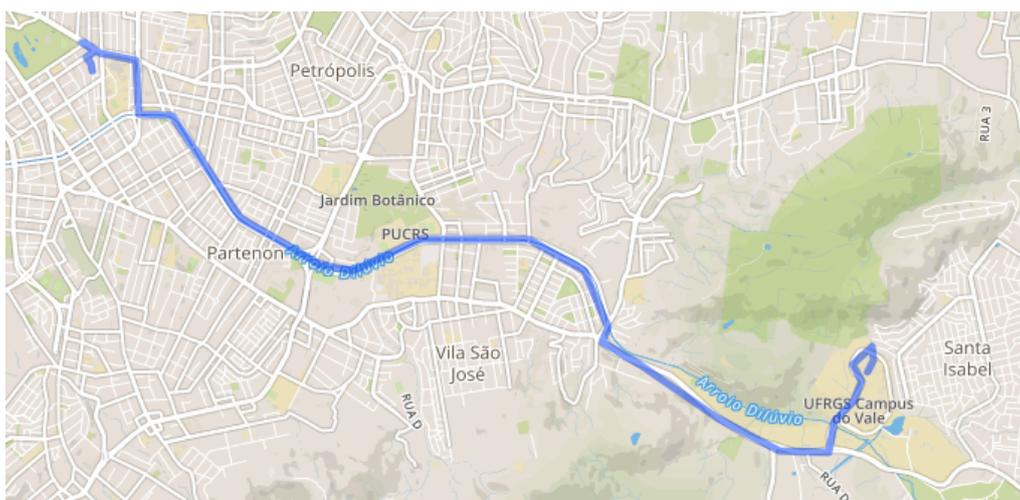
- **Otimização de rotas de transporte público.** Inserindo-se o conhecimento das rotas de transporte público no ambiente sendo analisado, é possível verificar o comportamento dos usuários da plataforma em relação aos mesmos. Dados como o tempo médio de deslocamento até a estação, a distância média percorrida com o serviço e o tempo médio de deslocamento após seu uso podem ser utilizados para otimizar os sistemas de transporte público, propondo novas estações, alterações em rotas existentes, introdução de novas rotas ou até exclusão de rotas pouco utilizadas.
- **Implementação de ciclovias.** É possível utilizar os dados para verificar como o sistema de ciclovias existente é utilizado, a fim de otimizá-lo. Também é possível verificar rotas onde esse meio de transporte é bastante utilizado porém ainda não existe uma infraestrutura disponível.
- **Otimização de semáforos.** Mapeando-se os semáforos existentes no meio urbano a ser analisado, é possível determinar características interessantes sobre sua

atuação, como o tempo médio aguardado por veículos e pedestres. É possível também verificar situações de congestionamento onde não existem semáforos, e estudar sua introdução nessas regiões.

#### 4. Andamento

Durante o TG1, foram realizadas algumas tarefas tendo em visto uma avaliação preliminar da plataforma, principalmente no sentido de validar a metodologia e tecnologias utilizadas na obtenção das rotas. Para esse fim, foi elaborado um protótipo do aplicativo Android com o intuito de validar as tecnologias utilizadas para a coleta das rotas. Essa versão inicial do aplicativo é capaz de coletar os dados e disponibilizá-los localmente no próprio dispositivo. Foram, então, coletados alguns percursos para uma análise inicial da performance e confiabilidade dos dados coletados. A tabela 2 apresenta parte dos dados coletados de um percurso realizado da Rua Jacinto Gomes até o Instituto de Informática, no Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em Porto Alegre, e a figura 1 representa essa rota visualmente na plataforma MapBox.

Analisando os valores da tabela, é possível perceber algumas características interessantes do percurso a fim de determinar seu contexto. É possível perceber que o intervalo inicial do deslocamento foi realizado a pé, com o usuário se deslocando até um ponto e permanecendo nele por aproximadamente 7 minutos, até entrar em um veículo. Analisando as coordenadas da região onde o usuário permaneceu parado, pode-se determinar que esse ponto representa uma parada no corredor de ônibus da Avenida Osvaldo Aranha, indicando que muito provavelmente o usuário estava esperando um ônibus. O usuário então permanece no veículo até o Campus do Vale, percurso característico da linha D43, e caminha mais uma curta distância até seu destino final. A inserção desse tipo de contexto (como localização de paradas de ônibus e linhas conhecidas) na análise dos dados da rota permite mapear e determinar deslocamentos característicos da região urbana sendo estudada.



**Figura 1.** Representação visual, na plataforma MapBox, do percurso da Rua Jacinto Gomes até o Instituto de Informática da UFRGS, em Porto Alegre. O deslocamento inclui uma caminhada até o ponto de ônibus, na Av. Osvaldo Aranha, uma viagem de ônibus utilizando a linha D43, e uma caminhada da parada de ônibus do Instituto de Informática até as salas de aula do mesmo.

**Tabela 2. Parte do output do aplicativo referente à rota da figura 1. Os trechos da rota que não contém transições de classificação estão omitidos para brevidade.**

x	y	t	cls
-30.03890193176651	-51.20942010862933	1557944052	on_foot
-30.07273272490482	-51.20951422049978	1557944064	on_foot
...	...	...	...
...	...	...	...
-30.03617271088045	-51.21016402702605	1557944482	on_foot
-30.03620754108432	-51.21014927487647	1557944497	still
-30.03615645678114	-51.21020426016128	1557944517	still
-30.03621682913662	-51.21018682580268	1557944532	still
...	...	...	...
...	...	...	...
-30.03621682913662	-51.21018682580268	1557944910	still
-30.03707736679478	-51.20842108606564	1557944929	in_vehicle
-30.03782968960619	-51.20429536393249	1557944932	in_vehicle
-30.04319500168048	-51.20403752180732	1557944944	in_vehicle
...	...	...	...
...	...	...	...
-30.06641611957249	-51.12009991314448	1557946564	in_vehicle
-30.06769883576576	-51.11989615851524	1557946572	on_foot
-30.06828243838005	-51.12018562910356	1557946592	on_foot
-30.06889433740872	-51.12062394618988	1557946621	on_foot

## 5. Cronograma

**Tabela 3. Cronograma de atividades do TG2**

	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Modelagem da implementação	x					
Implementação do aplicativo Android	x	x				
Implementação do backend		x	x			
Coleta e análise de dados				x	x	
Elaboração da monografia		x	x	x	x	
Apresentação						x

O cronograma de atividades previstas para a realização do TG2 é mostrado na tabela 3. Inicialmente, a **modelagem da implementação** será elaborada, onde a arquitetura geral da plataforma será estudada, analisada e definida. Então, o **aplicativo Android** será desenvolvido, levando em conta todas as questões de performance, privacidade e consumo destacadas. Com o aplicativo finalizado, a **implementação do backend** será realizada, e será feita a integração entre os dois softwares. Em seguida, **dados de uso serão obtidos e analisados**, por simulação ou um período de testes em menor escala. Em paralelo com o desenvolvimento, a **monografia** será elaborada gradualmente durante o semestre, e a **apresentação** se dará na data definida pela universidade. Ao final do TG2, a plataforma estará online, com uma página na web explicando o projeto e disponibilizando o download do aplicativo, assim como o conjunto de dados coletados até o momento. Também será

disponibilizado um repositório aberto contendo os códigos fonte do aplicativo Android e do servidor na nuvem.

## Referências

- Arce, R., Baucells, N., and Moreno Alonso, C. (2016). Smart mobility in smart cities.
- Bogorny, V. and Braz, F. J. (2012). *Introdução a Trajetórias de Objetos Móveis: conceitos, armazenamento e análise de dados*. Editora Univille.
- Docherty, I., Marsden, G., and Anable, J. (2018). The governance of smart mobility. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 115:114 – 125. Smart urban mobility.
- Giannotti, F. and Pedreschi, D. (2008). *Mobility, Data Mining and Privacy*. Editora Springer.
- Google LLC. Activity Recognition API. <https://developers.google.com/location-context/activity-recognition/>. Acessado em 06/2019.
- Google LLC. Fused Location Provider API. <https://developers.google.com/location-context/fused-location-provider/>. Acessado em 06/2019.
- Google LLC. Google Maps. <https://www.google.com/maps>. Acessado em 06/2019.
- GTFS. The General Transit Feed Specification. <https://gtfs.org/>. Acessado em 06/2019.
- Jeekel, H. (2017). Social sustainability and smart mobility : Exploring the relationship. *Transportation Research Procedia*, 25:4296 – 4310. World Conference on Transport Research - WCTR 2016 Shanghai. 10-15 July 2016.
- Lemos, L. L. (2018). Co-aprendizado entre motoristas e controladores semafóricos em simulação microscópica de trânsito. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- NYC Taxi & Limousine Commission. TLC Trip Record Data. <https://www1.nyc.gov/site/tlc/about/tlc-trip-record-data.page>. Acessado em 06/2019.
- Oliveira, D. D. (2005). Um estudo de coordenação dinâmica de agentes aplicado ao gerenciamento de tráfego veicular urbano. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Open Knowledge. US City Open Data Census. <http://us-city.census.okfn.org/dataset/transit>. Acessado em 06/2019.
- OTP Project. Open Trip Planner. <https://www.opentripplanner.org/>. Acessado em 06/2019.
- Polo, L. F. (2017). Aplicação big data para predição de tempo de viagens de táxi. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Rolnik, R. and Klintowitz, D. (2011). (I)Mobilidade na cidade de São Paulo. *Estudos Avançados*, 25:89 – 108.

- Tereshkina, T., Verstina, N., Treyman, M., and Tereshkin, A. (2019). Transport system of megalopolis and its influence on the urban environment (the example of st. petersburg). *E3S Web of Conferences*, 97:01026.
- Torres, G. M. (2009). Análise comportamental de objetos móveis baseada em dados de trajetórias. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.