



Universidade Estadual de Feira de Santana
Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada

CitySpeed: Uma ferramenta para coleta e visualização de velocidades veiculares em cidades inteligentes

Adson Vinicius Oliveira Damasceno

Feira de Santana

2018



Universidade Estadual de Feira de Santana
Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada

Adson Vinicius Oliveira Damasceno

**CitySpeed: Uma ferramenta para coleta e visualização
de velocidades veiculares em cidades inteligentes**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Feira de Santana como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Computação Aplicada.

Orientador: Daniel Gouveia Costa

Feira de Santana

2018

Ficha Catalográfica – Biblioteca Central Julieta Carteado

Damasceno, Adson Vinicius Oliveira

D162c CitySpeed: uma ferramenta para coleta e visualização de velocidades veiculares em cidades inteligentes./ Adson Vinicius Oliveira Damasceno. – 2018.

71f.: il.

Orientador: Daniel Gouveia Costa

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana. Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada, 2018.

1.Visualização de dados. 2.Crowdsensing. 3.Cidades inteligentes. 4.Mobilidade urbana. I.Costa, Daniel Gouveia, orient. II.Universidade Estadual de Feira de Santana. III.Título.

CDU: 004: 43

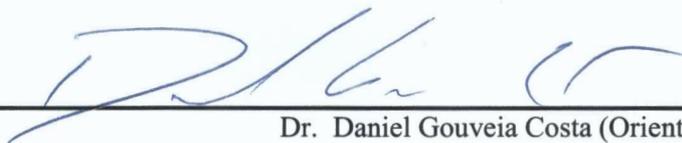
Adson Vinicius Oliveira Damasceno

CitySpeed: Uma ferramenta para coleta e visualização de velocidades veiculares em cidades inteligentes

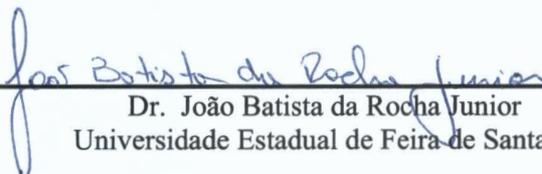
Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Feira de Santana como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Computação Aplicada.

Feira de Santana, 17 de dezembro de 2018

BANCA EXAMINADORA



Dr. Daniel Gouveia Costa (Orientador)
Universidade Estadual de Feira de Santana



Dr. João Batista da Rocha Junior
Universidade Estadual de Feira de Santana



Dr. Matheus Giovanni Pires
Universidade Estadual de Feira de Santana

Abstract

Mobile crowdsensing allows large-scale data to be collected through many devices that people use in their daily routines. The process of collecting and analyzing information about cities is important to understand problems and to find solutions that reduce complexity and costs compared to other methods, such as video monitoring services, and thus addressing the problem of mobility in urban spaces. This work proposes a public access tool to get and view vehicular speeds in Smart Cities through a mobile application that collects the average instantaneous speed through the sensors present in smartphones and sends these informations to Internet. The developed tool called CitySpeed provides data for traffic analysis that also allows to use filters to view through heatmaps, high and low vehicle speeds on a detailed level, such as road stretches over a period. The selected data can be exported to be used by systems that need data traffic speeds in a city. The results show the use and validation of the tool beyond the data's visualization from experiments realized and let it available publicly through the Internet.

Keywords: Mobile Crowdsensing, Data Visualization, Smart Cities, Urban Mobility

Resumo

O sensoriamento coletivo móvel (*Mobile Crowdsensing*) permite que dados em larga escala sejam coletados através de vários dispositivos que as pessoas usam em suas rotinas diárias nas cidades que habitam. O processo de coleta e análise de informações sobre as cidades é fundamental para entender os problemas e encontrar soluções que reduzam as complexidades e os custos em comparação a outros métodos, como os serviços de monitoramento de vídeo, e assim abordando o problema da mobilidade em espaços urbanos. Este trabalho propõe uma Ferramenta de acesso público para coleta e visualização de velocidades veiculares em Cidades Inteligentes através de uma aplicação móvel que coleta a velocidade instantânea média através dos sensores presentes em *smartphones* e envia essas informações para a Internet. A Ferramenta desenvolvida chamada CitySpeed fornece dados para análise de tráfego que também permite usar filtros para visualizar através de mapas de calor, altas e baixas velocidades veiculares em um nível detalhado, como trechos de vias em um período. Os dados selecionados podem ser exportados para serem usados por sistemas que necessitam de dados de velocidades de tráfego em uma cidade. Os resultados mostram a utilização e validação da Ferramenta além da visualização dos dados de experimentos realizados e disponibilizados publicamente através da Internet.

Palavras-chave: Visualização de Dados, Crowdsensing, Cidades Inteligentes, Mobilidade Urbana

Prefácio

Esta dissertação de mestrado foi submetida a Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS) como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Computação Aplicada.

A dissertação foi desenvolvido dentro do Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada (PGCA) tendo como orientador o Dr. Daniel Gouveia Costa.

Esta pesquisa foi financiada pela FAPESB no período de Julho/2017 a Dezembro/2017.

Agradecimentos

Não haveria a realização deste trabalho sem o apoio de diversas pessoas, que de suas maneiras, colaboraram no decorrer das etapas de criação, desenvolvimento e conclusão desse projeto.

No nível acadêmico gostaria de agradecer em geral aos professores do PGCA, ao professor Daniel por acreditar na ideia original, aos colegas do grupo LARA/UEFS, Christopher Scott (Transistorsoft), Mykhailo Stadnyk (Canvas Gauges), Dr. Richard B. Langley (University of New Brunswick), Dr. Marianne Hatzopoulou (University of Toronto), Hugo Doria (Popcode). A ajuda recebida destas pessoas foram de suma importância na tentativa de solução dos diversos problemas encontrados no durante o projeto.

No nível colaborativo, agradecer a todos que gentilmente utilizaram o aplicativo CitySpeed em seus *smartphones*, nos 11 países, em especial aos amigos da Rússia que mantiveram a utilização pós-copa do mundo, aos taxistas, motoristas autônomos, representantes, colegas do Tribunal de Contas, todos aqueles que de uma forma ou outra colaboram para realização deste trabalho.

No nível de amigos e colegas, agradecer aos meus pais, minha irmã, meus primos que me chamavam de mestres quando eu sequer tinha concluído a graduação, minha namorada (e família), aos amigos de Feira de Santana, Aracaju, Salvador, todos aqueles que estiveram sempre apoiando e que acreditaram que seria possível a realização deste trabalho.

Sem dúvida, meu muito obrigado a todos!

Sumário

Abstract	i
Resumo	ii
Prefácio	iii
Agradecimentos	iv
Sumário	vi
Lista de Tabelas	vii
Lista de Figuras	ix
Lista de Abreviações	x
1 Introdução	1
1.1 Objetivos	3
1.2 Justificativa e Relevância	4
1.3 Organização do Trabalho	4
2 Revisão Bibliográfica	5
2.1 Cidades Inteligentes	6
2.1.1 Cidadãos Inteligentes	7
2.1.2 Internet das Coisas	9
2.1.3 IoT colaborativa	11
2.2 <i>Crowdsensing</i>	12
2.2.1 Ciência cidadã e engajamento coletivo	13
2.2.2 Características do <i>Mobile Crowdsensing</i>	15
2.2.3 <i>Crowdsensing</i> em ambiente urbano	17
2.2.4 Utilização do <i>crowdsensing</i>	18
2.2.5 Obtenção de velocidades via <i>crowdsensing</i>	19
2.3 Planejamento Urbano	23
2.3.1 Mobilidade Urbana	23

2.3.2	Velocidade veicular em áreas urbanas	25
2.3.3	Problemas de tráfego em vias urbanas	26
3	A Ferramenta CitySpeed	28
3.1	Requisitos da Ferramenta	28
3.2	Arquitetura CitySpeed	29
3.3	CitySpeed_App	31
3.3.1	Projeto do módulo CitySpeed_App	32
3.3.2	Obtenção das velocidades veiculares	33
3.3.3	Implementação do aplicativo móvel	35
3.4	CitySpeed_Server	36
3.5	CitySpeed_Viewer	39
4	Resultados	43
4.1	Aplicativo móvel CitySpeed_App	44
4.2	Utilização da Ferramenta pelos usuários	45
4.3	Validação das velocidades coletadas	48
4.3.1	Utilização do OBD-II	49
4.3.2	Obtenção dos dados via OBD-II e CitySpeed_App	50
4.4	Operação do módulo CitySpeed_Viewer	56
4.5	Resultados experimentais de uso da Ferramenta	59
5	Considerações Finais	64
5.1	Contribuições	65
5.2	Pesquisas Futuras	65
	Referências Bibliográficas	66

Lista de Tabelas

2.1	Análise comparativa de aplicações baseadas em MCS.	22
4.1	Interpretação do coeficiente de correlação.	56

Lista de Figuras

2.1	Estrutura proposta para o FuturICT.	9
2.2	Funcionamento das aplicações MCS.	13
2.3	Arquitetura textitMobile Crowdsensing.	16
3.1	Esquema de operação da Arquitetura CitySpeed.	30
3.2	Sequência da comunicação entre o CitySpeed_App e o CitySpeed_Server.	32
3.3	Sequência da comunicação entre o CitySpeed_Viewer e o CitySpeed_Server.	33
3.4	Estrutura de dados JSON obtida em uma amostra.	36
3.5	Mapeamento entre Google Firebase e PostgreSQL/PostGIS.	38
3.6	Escala de cores de acordo com a velocidade máxima.	40
3.7	Diagrama de casos de uso do módulo CitySpeed_Viewer.	42
3.8	Esquema de dados JSON para exportação	42
4.1	Quantidade de dados coletados por período.	44
4.2	Aplicativo móvel (CitySpeed_App) publicado nas lojas de aplicativos.	45
4.3	CitySpeed_App em execução nos simuladores para <i>iOS</i> e <i>Android</i>	46
4.4	Quantidade de novos usuários do CitySpeed_App.	47
4.5	Total de dados coletados por cidade.	47
4.6	Distribuição espacial dos pontos de coleta.	48
4.7	Fluxo da comunicação para obter dados do veículo.	49
4.8	ELM327 instalado no veículo do experimento.	50
4.9	Velocidades coletadas pelo CitySpeed_App e através do OBD-II.	51
4.10	Relação OBD-II x RGPS (<i>iOS</i>).	52
4.11	Relação OBD-II x HAV (<i>iOS</i>).	52
4.12	Relação OBD-II x RGPS (<i>Android</i>).	53
4.13	Relação OBD-II x HAV (<i>Android</i>).	53
4.14	Diagrama de dispersão OBD-II x RGPS (<i>iOS</i>).	54
4.15	Diagrama de dispersão OBD-II x HAV (<i>iOS</i>).	54
4.16	Diagrama de dispersão OBD-II x RGPS (<i>Android</i>).	55
4.17	Diagrama de dispersão OBD-II x HAV (<i>Android</i>).	55
4.18	Tela inicial do módulo de visualização.	57
4.19	Seleção de intervalos de datas consulta.	58

4.20	Limitação de pontos de coleta em uma região (raio de 3.200 metros).	58
4.21	Exemplo de resultado gráfico de coleta durante um período.	59
4.22	Teste de coleta pelo CitySpeed_App.	60
4.23	Visualização dos dados em via da cidade de Feira de Santana.	61
4.24	Visualização dos dados na cidade de Aracaju.	61
4.25	Visualização dos dados em via da cidade de Nizhny Novgorod.	62
4.26	Visualização dos dados na cidade de São Paulo.	63
4.27	Gráfico das médias de velocidades diárias na cidade de São Paulo. . .	63

Lista de Abreviações

Abreviação	Descrição
API	<i>Application Programming Interface</i>
ECM	<i>Engine Control Module</i>
GMT	<i>Greenwich Mean Time</i>
GIS	<i>Geographic Information System</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HAV	Velocidade Instantânea Obtida Através da Equação de Haversine
HDOP	<i>Horizontal Dilution of Precision</i>
HTML	<i>Hypertext Markup Language</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
MCS	<i>Mobile Crowdsensing</i>
OBD-II	<i>On-board-Diagnostics - 2nd Generation</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
REST	<i>Representational State Transfer</i>
RGPS	Velocidade Instantânea Obtida pelo Receptor GPS
SQL	<i>Structured Query Language</i>
URL	<i>Uniform Resource Locator</i>
WGS-84	<i>World Geodetic System - 1984</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i>
Wi-MAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>

Capítulo 1

Introdução

O crescimento das cidades em todo o mundo, com diversos desafios ligados ao uso mais eficiente dos recursos e à melhoria da qualidade de vida dos seus habitantes, tem criado um ambiente propício para o desenvolvimento de soluções tecnológicas que sejam voltadas para melhoria dos serviços urbanos. De fato, o alcance que as informações atingem atualmente, através dos mais diversos dispositivos integrados à Internet, permite que as pessoas possam contribuir para a melhoria de diversos serviços, revolucionando a forma como dados são criados e processados. Nas cidades modernas, as informações associadas aos serviços, produtos e/ou comportamento podem ser compartilhadas, trazendo novas possibilidades para um processamento mais inteligente destas informações. Os desafios esperados para as cidades modernas poderão ser mais facilmente solucionados quando dados a cerca de diversos elementos nessas cidades poderem ser mais facilmente acessados [Montori et al. 2017].

A maneira como as pessoas interagem com o mundo ao seu redor está em constante mudança devido ao surgimento de aplicações impulsionadas pela computação ubíqua, onde elas desejam poder estar conectadas com qualquer outra pessoa, em qualquer momento e em qualquer lugar. Atualmente existem mais de 2 bilhões de dispositivos móveis no mundo [Reddi et al. 2018], ou seja, um numeroso e heterogêneo conjunto de dispositivos, sensores e atuadores interconectados nas mais diferentes áreas do planeta [Jara et al. 2014]. Encontrar formas de acessar esses dados é um desafio importante a ser solucionado.

A portabilidade como característica marcante da computação móvel permite que diferentes plataformas executem a mesma aplicação em diversos dispositivos e podendo prover informações em tempo-real, obtendo dados importantes de um grande número de usuários. Assim, dentre os diversos interesses que pessoas possuem na utilização de um dispositivo para coleta de dados, o sensoriamento, a partir de dispositivos móveis é parte fundamental nesse processo de contribuição, fornecendo diferentes tipos de informações. No geral, espera-se que as pessoas possam fornecer

dados através de seus dispositivos móveis, tão comuns hoje em dia, em troca de informações importantes para elas, como por exemplo, a indicação de vias congestionadas [Rutten et al. 2017].

Os dispositivos que podem coletar informações do cotidiano e do ambiente em que as pessoas se encontram, como *smartphones*, sensores veiculares, entre outros, estão convergindo para o cenário da Internet das Coisas [Ganti et al. 2011]. Utilizar informações de sensoriamento móvel e coletivo permite ter uma grande quantidade de dados durante as atividades das pessoas em suas rotinas. Nesse processo de coleta é possível obter, por exemplo, a velocidade com as quais elas se deslocam durante seus trajetos diários.

Em geral, aproveitar os recursos de sensoriamento providos por dispositivos extremamente populares é uma tarefa essencial no processo de coleta de informações em larga escala. Contudo, surge nesse contexto o desafio de que através das informações coletadas seja possível a visualização pública e objetiva dessas informações, de modo a auxiliar processos de análise de dados. Geralmente faz-se necessária uma estratégia baseada em experiências e inferência de dados que permita aos usuários obter informações relevantes e confiáveis. A visualização dos dados coletados coletivamente através de um sistema deve permitir uma melhor compreensão das informações, de uma maneira fácil e prática. A saída esperada desse sistema deve direcionar os utilizadores para algo que ele considere de seu interesse ou promova algum benefício comum [Cazella e Reategui 2006].

O acompanhamento da mobilidade usando dispositivos capazes de obter localizações geográficas em tempo real trouxe para a comunidade de engenharia de transportes uma nova perspectiva de obtenção de dados de velocidades nas vias urbanas. Esses dispositivos são habilitados para coletar dados do Sistema de Posicionamento Geográfico (GPS), incluindo a localização em coordenadas, tempo, velocidade e distância. Essas informações podem ser armazenadas em um dispositivo para análise futura em um servidor de armazenamento, podendo ser utilizado para apresentar a dinâmica veicular de centros urbanos, fluxo de tráfego e estimativas de tempo de deslocamentos [Jiménez-Meza et al. 2013].

O uso da tecnologia como suporte para um gerenciamento das cidades, visando uma maior qualidade dos espaços urbanos e oferecendo serviços públicos melhores é de interesse geral, independente do tamanho da cidade ou região. A possibilidade de obter informações relevantes, a exemplo de amostras de dados durante o deslocamento veicular por parte de condutores de veículos ou passageiros e enviá-las para a Internet é uma fonte de dados importante para controle de tráfego, estimativa de tempo em trajetos, planejamento em sinalizações, dentre outros diversos tipos de serviços. Entretanto, essas soluções são específicas, dificultando o desenvolvimento de serviços adicionais por terceiros. Dessa forma, uma Ferramenta que permita a distribuição pública dos dados de velocidades coletados nas cidades é uma contribuição impor-

tante para a área. Além da disponibilização dos dados, tais ferramentas públicas poderiam auxiliar o processo de análise e identificação clara das diferenças de velocidades em vias de uma cidade, utilizando recursos de visualização [Dameri 2012].

Neste contexto, o planejamento urbano associado à ideia de Cidades Inteligentes é uma realidade em constante evolução. Obter informações relevantes sobre as cidades e como seus elementos estão interagindo entre si é um objetivo no processo de melhoria das áreas urbanas. A coleta de dados de velocidades com as quais os veículos trafegam nas vias e sua visualização pode contribuir para a melhoria do fluxo de veículos e de mobilidade urbana, uma vez que seria possível buscar dados de velocidades em determinadas vias durante um intervalo de tempo.

Este trabalho visa permitir a coleta de informações importantes sobre as cidades, sobretudo a velocidade média de deslocamento dos veículos nas vias, através do sensoriamento móvel feito por *smartphones*, fornecendo uma ferramenta genérica e altamente configurável que permita tanto a obtenção dos dados veiculares, quanto a análise desses dados de maneira global, permitindo análises sobre velocidade em relação a todos os dados capturados de um ou mais veículos.

1.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma Ferramenta para obtenção de dados veiculares utilizando a técnica de *crowdsensing*, permitindo assim diferentes tipos de análises que podem ser posteriormente empregadas em aplicações na área de Cidades Inteligentes. Esperam-se que aplicações na área de tráfego urbano, planejamento territorial, segurança pública, ente outras, possam utilizar a Ferramenta desenvolvida como principal fonte de obtenção de dados para processamento e tomada de decisões.

Como objetivos específicos, podem-se destacar:

1. Disponibilização pública de uma aplicação gratuita sob a plataforma *mobile* para coleta de dados por *crowdsensing*, com envio de dados pela Internet;
2. Realização de coletas de dados em vias de diversas cidades coletando dados veiculares, determinando a área de coleta, periodicidade da coleta, duração de cada experimento e número de dispositivos;
3. Validação das medições realizadas a partir da coleta direta de dados provenientes da central eletrônica nos veículos;
4. Visualização das velocidades coletadas nas áreas de tráfego, utilizando mapas de calor e/ou gráficos relacionando velocidade em função do período.

1.2 Justificativa e Relevância

Com o advento das Cidades Inteligentes e com as perspectivas esperadas para essa área, percebe-se uma demanda cada vez maior por coletar informações sobre as cidades para que algum tipo de processamento inteligente seja inserido nesse cenário. De fato, entender tal realidade de modo que as informações possam ser utilizadas de forma eficiente, sobretudo na melhoria da eficiência dos serviços que as cidades oferecem, é uma meta desejável nas cidades modernas [Al-Fuqaha et al. 2015].

O monitoramento de tráfego, visando a verificação e acompanhamento das velocidades desenvolvidas pelos veículos, é uma tarefa importante no controle da velocidade em centros urbanos, mas também um trabalho complexo. Isso se deve, entre outros fatores, à presença de diversos elementos de trânsito (pedestres, veículos motorizados e veículos não-motorizados), muitas vezes em larga escala. Tal problema específico, comum nas cidades modernas, fomenta o desenvolvimento de soluções que ajudem a melhor planejar o fluxo de veículos esperados nas vias urbanas.

Na visão da computação ubíqua, há a possibilidade de que utilizadores do sistema de trânsito de uma cidade, através das técnicas de *crowdsensing*, enviem informações que podem ser úteis no monitoramento das vias urbanas, e, desta forma, pode-se realizar a obtenção e envio dessas informações com custo muito menor e permitindo atingir um número maior de vias para a realização deste monitoramento.

Embora a questão do monitoramento veicular seja importante e demande soluções, existem alguns entraves que requerem novas abordagens à esse problema, como por exemplo, manter o monitoramento de forma a obter informações relevantes sobre estradas, ruas ou avenidas é dispendioso, podendo requerer o uso de sensores, câmeras de vídeo e outros dispositivos. A crescente demanda de informatização das cidades para um planejamento urbano mais adequado à realidade permite que esta área seja explorada e que o trabalho possa ser desenvolvido.

1.3 Organização do Trabalho

Este trabalho está organizado da seguinte forma: no Capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica utilizada para embasamento teórico da Ferramenta desenvolvida. Os componentes da Ferramenta CitySpeed são detalhados no Capítulo 3, evidenciando as funcionalidades. O Capítulo 4 descreve os experimentos realizados utilizando a Ferramenta através de validações e gráficos apresentando os resultados obtidos. Por fim no Capítulo 5 são apresentadas as considerações finais e possíveis aplicações para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

O paradigma das Cidades Inteligentes propõe o aproveitamento das tecnologias de informação e comunicação para melhorar a qualidade e a eficiência dos serviços urbanos. As cidades modernas estão cada vez mais tecnológicas. A utilização de dispositivos inteligentes nos sistemas físicos das cidades tradicionais, juntamente com a emergência de sensores utilizados pelas pessoas, como *smartphones*, possibilitou a geração de grandes volumes de dados que apresentam oportunidades e desafios sem precedentes. Esses conjuntos de dados são cruciais para melhorar os processos de tomada de decisão nas cidades e para obter melhorias de qualidade e aumentar sua eficiência e produtividade [Nesmachnow et al. 2017].

As áreas urbanas do mundo estão enfrentando vários desafios por causa da tendência alarmante de populações em crescimento. Essa grande quantidade de pessoas resulta em vários tipos de problemas na gestão de resíduos, escassez de recursos, poluição do ar, preocupações com a saúde e congestionamentos de tráfego. O conceito de Cidades Inteligentes foi introduzido para mitigar questões relacionadas ao crescimento da população urbana. Uma das muitas definições de cidade inteligente é o uso de tecnologias de computação inteligente para suportar os componentes de infraestrutura crítica e serviços de uma cidade [Misbahuddin et al. 2015].

As soluções de mobilidade urbana estão atreladas ao uso do Sistema de Navegação Global por Satélite (GNSS). Um exemplo é o Sistema de Posicionamento Global (GPS) e o sistema de navegação global Europeu, Galileo. Há também a utilização de mapas do Sistema de Informações Geográficas (GIS) associados ao limite de velocidade de cada via. Embora este sistema pareça atraente; o sistema possui uma limitação significativa, que é a falta dos limites de velocidade dinâmicos porque o sistema depende dos mapas GIS estáticos que não podem ser atualizados com frequência. O estado da arte relata que os sistemas de posicionamento baseados em receptores GPS independentes são suscetíveis e, portanto, precisam ser suportados por fontes de informação adicionais para obter a precisão desejada [Al-Turjman 2017].

2.1 Cidades Inteligentes

Cada vez mais reais e populares os projetos de Cidades Inteligentes vem sendo explorados em várias partes do mundo. Aliado ao crescimento populacional e a complexidade de gestão das cidades, a propagação das ideias de tornar as cidades mais próximas da tecnologia visa o aumento da qualidade dos espaços urbanos bem como a melhoria dos serviços públicos oferecidos. A possibilidade de vincular a tecnologia, o ambiente e o bem-estar dos cidadãos é de interesse geral, independente do tipo de cidade uma vez que o conceito de cidade inteligente vem crescendo a partir de experiências empíricas [Dameri 2012].

Essa transformação e também evolução pela qual uma cidade passa ao torna-se inteligente está ligada a automatizações de funções de rotinas individuais, infraestrutura, tráfego e também a possibilidade de monitorar, compreender, analisar e planejar visando uma eficiência, equilíbrio e melhor qualidade de vida para os cidadãos que fazem parte deste espaço [Batty et al. 2012].

No processo de evolução de uma cidade inteligente é fundamental a participação das pessoas, das comunidades, pois há uma necessidade nesse modelo de cidade, entender mais a fundo os problemas, uma vez que um projeto de cidade inteligente tem um impacto relevante na qualidade de vida dos cidadãos, através da informação, educação e principalmente participação, pois é uma forma de acompanhar gerencialmente esse processo. A participação dos cidadãos é muito importante uma vez que eles tem a oportunidade de se engajarem e influenciarem positivamente na mudança de uma cidade [Chourabi et al. 2012].

Implementar uma iniciativa de cidade inteligente não é apenas buscar integrá-la a tecnologia mas fazer disso um recurso para alcançar resultados considerados desejáveis pelos cidadãos desta cidade. A melhoria contínua do espaço urbano passa pela busca de soluções para os problemas como poluição, congestionamentos de trânsito e toda a infraestrutura que é considerada essencial para o desenvolvimento local [Chourabi et al. 2012].

Um ponto importante na análise da cidade são os grandes conjuntos de dados relativos a mobilidade humana, providos principalmente pela popularização de tecnologias que permitem o uso da comunicação sem fio, como o GPS e as redes de telefonia móvel. Essas infraestruturas de rede permitem detectar e coletar dados importantes de uma localidade. Os dados de mobilidade coletados fornecem informações detalhadas que podem ajudar a entender a mobilidade e descobrir os padrões de deslocamento, por exemplo. De fato, imaginar tecnologias relacionadas com Cidades Inteligentes permite realizar um estudo em contextos urbanos específicos levando em consideração sua capacidade espacial e socioeconômica [Stéphane Roche 2012].

As tecnologias implantadas no processo de aprimoramento das cidades terão sucesso se forem baseadas na participação e integradas a maneira que as pessoas vivenciam

suas rotinas diárias. Essa participação em prol de transformar uma cidade em uma cidade inteligente passa principalmente pela coleta e envio de informações que os cidadãos realizam, de maneira direta ou indireta para que o espaço em que eles se encontram seja melhor compreendido [Stéphane Roche 2012].

Um ponto importante para que as cidades sejam caracterizadas como inteligentes é criar um ambiente com um grande número de redes de suporte a aplicações digitais. Isso inclui o desenvolvimento de uma infraestrutura de banda larga combinando redes de cabo, fibra óptica e sem fio, oferecendo alta conectividade e largura de banda para cidadãos e organizações localizadas na cidade. A melhoria do espaço físico e infraestruturas das cidades, com sistemas integrados, dispositivos inteligentes, sensores e atuadores, promove o gerenciamento de dados, alertas e processamento de informações em tempo real, além da criação de soluções que permitam a coleta e processamento de dados, a colaboração e a atualização do conhecimento coletivo [Schaffers et al. 2011].

Os últimos desenvolvimentos da computação em nuvem e a emergente Internet das Coisas (IoT) têm muito a oferecer neste quesito. Essas tecnologias podem garantir economias de escala em infraestrutura, padronização de aplicativos, reduzindo os custos de desenvolvimento na operacionalização das Cidades Inteligentes [Schaffers et al. 2011].

2.1.1 Cidadãos Inteligentes

A participação popular já é algo intrínseco na questão do planejamento, porém o advento do mundo digital transformou a maneira que a participação é implementada. A capacidade de comunicação mais dinâmica entre os cidadãos e com os grupos que são representados, proporcionou a ideia de que as Cidades Inteligentes são baseadas em projetos menores visando uma maior eficiência, uma vez que os cidadãos podem participar ativamente em suas atividades. Atualmente há diversas iniciativas nesse sentido, bem como nas formas que os cidadãos podem acessar informações sobre o que está ocorrendo em suas cidades mas também explorar as maneiras pelas quais diferentes grupos pode se envolver ativamente nos processos de planejamento, tanto remotamente como em situações presenciais, utilizando dados, modelos e cenários, suportados pelas tecnologias da informação e comunicação que existem [Batty et al. 2012].

As cidades que são inteligentes apenas em relação à sua economia não são de fato inteligentes se ignorarem as condições sociais de seus cidadãos. As iniciativas de Cidades Inteligentes devem ser sensíveis ao equilibrar a necessidade de várias comunidades. Os projetos de Cidades Inteligentes têm um impacto na qualidade de vida dos cidadãos e visam promover cidadãos mais conscientes, educados e informados. Além disso, iniciativas de Cidades Inteligentes permitem que os cidadãos participem

da gestão da cidade e se tornem usuários ativos. Se eles são atores principais, eles podem ter a oportunidade de se envolver com alguma iniciativa na medida em que possam influenciar para que determine o sucesso ou falha dela. A cidade inteligente ainda é invisível para muitos cidadãos, o que dificulta a sua participação. Todavia ela é para todos e não apenas para um grupo seleto de pessoas, sobretudo em suas atividades diárias [Joshi et al. 2016].

Enquanto as Cidades Inteligentes visam melhorar os lugares que as pessoas vivem, muitas vezes isso vem na forma de uma inovação *top-down* que não consegue atender as expectativas, ou leva os cidadãos a rejeitar as inovações propostas. Embora a inovação de cima para baixo seja importante, muitas vezes não leva em consideração as necessidades dos cidadãos e, portanto, não podem servir seus melhores interesses. Por exemplo, muitas empresas comerciais veem os cidadãos vivendo dentro das Cidades Inteligentes, mas têm poucas informações importantes sobre eles. Muitos provedores de tecnologia destacam a importância dos cidadãos para suas visões de cidade inteligente. Há uma necessidade de que os cidadãos tomem o controle de suas próprias comunidades [Gooch et al. 2015].

O aumento contínuo na população urbana coloca pressões e tensões sobre os recursos limitados de uma cidade e, portanto, a governança urbana torna-se desafiadora nas cidades e a provisão de serviços públicos necessários e uma melhor qualidade de vida não é direta [Khan e Kiani 2012]. Além disso, o desenvolvimento urbano sustentável, o crescimento econômico e a gestão de recursos requerem um melhor planejamento e tomada de decisão colaborativa em escala local [Khan e Kiani 2012].

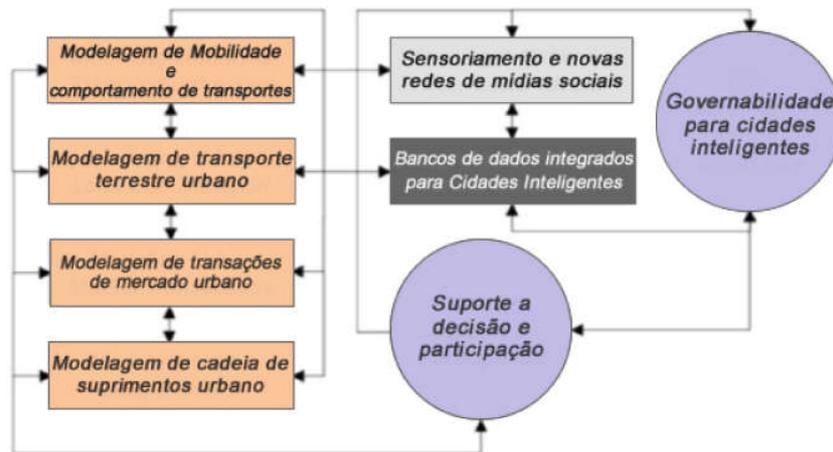
As fontes de dados relacionadas aos ambientes urbanos continuam a aumentar, desde os serviços de coleta de dados e as plataformas de detecção implantadas pelas autoridades administrativas até os dados coletados pelos cidadãos através de mecanismos de detecção participativa e oportunista. No entanto, a ausência de uma plataforma comum e padronizada para a coleta, armazenamento e utilização de tais dados para análise e divulgação restringe severamente as perspectivas de informação e serviços que podem ser desenvolvidos e com isso beneficiar as infraestruturas da cidade inteligente [Khan e Kiani 2012].

As Cidades Inteligentes são muitas vezes retratadas como uma grande coleção de dispositivos conectados através de diversas redes que fornecem dados contínuos sobre as pessoas e os objetos ao seu redor. As cidades, no entanto, só podem ser consideradas inteligentes se possuírem funções de inteligência que sejam capazes de integrar e sintetizar esses dados coletados para algum propósito, visando melhorar a qualidade de vida nas cidades nas mais diferentes formas de organização social. A cidade inteligente é a mola propulsora para novas formas de análise e planejamento de políticas na era da informação bem como na organização e planejamento das cidades [Batty et al. 2012].

A Figura 2.1 mostra a estrutura do projeto proposto por [Batty et al. 2012] deno-

minado *FuturICT* que visa fornecer funções de inteligência, focado na definição de problemas críticos emergentes de forma rápida e eficiente e que permita a participação da sociedade no futuro da tecnologia da informação e comunicação no contexto de Cidades Inteligentes.

Figura 2.1: Estrutura proposta para o FuturICT.



Fonte: Adaptado de Batty et al. (2012).

2.1.2 Internet das Coisas

A Internet das Coisas (IoT) é uma rede de coisas inteligentes capazes de interagir e cooperar entre si, humanos e o próprio ambiente através da Internet. A IoT liga o mundo real ao mundo digital e permite que as coisas ouçam, vejam, processem, tomem decisões e realizem tarefas complexas. As propriedades únicas e sem precedentes da IoT contribuem para o desenvolvimento e o crescimento de vários domínios de aplicação, por exemplo, transportes, redes inteligentes, segurança pública, agricultura, logística e saúde. Com o seu potencial para influenciar significativamente todos os aspectos do cotidiano das pessoas, espera-se que a IoT tenha um grande impacto ao automatizar processos e melhorar o controle desses processos. No entanto, a realização em larga escala da IoT não é fácil e inúmeros desafios precisam ser superados antes que este conceito seja amplamente aceito [Ramezani e Jamalipour 2017].

O crescente aumento no número de dispositivos conectados à Internet produz uma quantidade maior de informações disponíveis, provocando também o surgimento de novas formas de comunicação. As pessoas podem obter informações de diversas áreas de uma maneira automatizada e sem a necessidade de intervenção humana através de dispositivos que já estão presentes nas atividades de rotina dos cidadãos. Estes dispositivos, que têm evoluído bastante com o passar do tempo, mantêm a função de obter informação de uma maneira independente. Assim, os dispositivos

deixaram de apenas recolher dados do ambiente no qual se encontram (por intermédio de sensores) e passam a interagir com o mundo físico, para também utilizar os protocolos existentes para os serviços de troca de informação. Estes são suportados por tecnologias como, identificação por radiofrequência, *Bluetooth*, *Wi-Fi* e serviços de dados móveis, além de diversos sensores presentes nestes dispositivos [Carvalho e Bernardino 2017].

Em Atzori et al. (2010) a IoT é apresentada como um paradigma de comunicação que aponta os objetos da vida cotidiana equipados com microcontroladores, receptores de comunicação digital e protocolos adequados que os tornarão capazes de se comunicar entre si e aos usuários, tornando-se parte integrante da Internet.

Bonino et al. (2015) argumenta que as Cidades Inteligentes necessitam de ambientes com utilização de sensores, entrega e troca de informações que permitam melhor suporte nos aspectos da vida (social) das comunidades urbanas. À medida que esta visão evolui, surge uma necessidade comum de infraestruturas escaláveis, flexíveis e replicáveis. Tal necessidade atualmente, está promovendo novos esforços de projetos para fornecer desempenho, reutilização e interoperabilidade. O interesse mundial em Cidades Inteligentes é forte e crescente, promovido pela necessidade de encontrar soluções efetivas para os principais desafios previstos para o futuro, o que deverá afetar fortemente as paisagens urbanas atuais.

A arquitetura é algo fundamental das tecnologias e sem uma arquitetura definitiva, muitos conteúdos importantes não podem ser determinados. O rápido desenvolvimento da IoT em todo o mundo desencadeou uma onda de expectativas acerca do tema. Sem a aplicação de uma arquitetura definitiva, há prejuízo para o desenvolvimento da IoT, causando grandes perdas [Ning e Wang 2011].

Ao longo dos anos vários projetos relacionados à IoT especificaram suas próprias versões de arquiteturas, baseando-se nos requisitos específicos que os projetos abordam. Dependendo do escopo do projeto ou do domínio do problema a ser abordado, as arquiteturas focam em diferentes aspectos ou um subdomínio da IoT. Devido a uma grande heterogeneidade dos domínios de aplicação e, conseqüentemente, aos requisitos, as abordagens para a especificação de arquitetura diferiram entre os projetos, resultando em arquiteturas mais diferentes constituídas por uma série de componentes e protocolos. Isso resulta também em interoperabilidade limitada entre os sistemas que, combinados com a terminologia frequentemente diferente, também dificultam a discussão entre os domínios de aplicação [Krčo et al. 2014].

Montori et al. (2017) citam que muitas propostas de arquitetura IoT existem na literatura científica para apresentar uma camada para integrar redes IoT heterogêneas em um sistema global, escalável e distribuído. Um dos esforços mais notáveis é a de criar uma arquitetura única para a IoT, semelhante à Internet, apresentando um módulo preciso de três camadas, no qual as coisas são abstraídas, registradas periodicamente e virtualizadas. Montori et al. (2017) propõem uma arquitetura

que visa a integração de fontes de dados heterogêneas (diversos métodos de coleta de dados) em conjunto e disponibilizando-as para o usuário final com uma interface acessível.

2.1.3 IoT colaborativa

A ideia emergente da IoT está rapidamente encontrando seu caminho ao longo de nossa vida moderna, visando melhorar a qualidade de vida conectando muitos dispositivos, tecnologias e aplicativos inteligentes. No geral, a IoT permite a automação de tudo à nossa volta [Al-Fuqaha et al. 2015].

Al-Fuqaha et al. (2015) apresentam uma visão geral da premissa deste conceito, nas tecnologias de aplicação, protocolos e pesquisas sobre diferentes aspectos da IoT. O sensoriamento da IoT significa reunir dados de objetos relacionados dentro da rede e enviá-los de volta a servidores de armazenamento de dados. Os dados coletados são analisados para tomar ações específicas com base nos serviços necessários. Nesse sentido os sensores IoT podem ser sensores inteligentes, atuadores ou dispositivos de sensoriamento portáteis.

Montori et al. (2017) ressaltam a importância do sensoriamento coletivo no desenvolvimento de aplicações IoT, considerando o que chamam de IoT colaborativa, sendo capaz de lidar com as fontes de dados heterogêneas provenientes da plataforma IoT aberta, atrelada ao sensoriamento que é essencial aproximar a tecnologia do usuário e torná-lo acessível, independente de como os dados são obtidos ou onde são armazenados e tratados. Os usuários devem ser capazes de criar seus próprios serviços com base nas suas necessidades através da produção de dados brutos disponíveis.

Os serviços agregados e personalizados são um ponto de partida necessário para a coleta de dados de modo que os usuários finais possam obter o resultado de todo o conhecimento disponível. Além disso, para melhor fornecer uma ampla variedade de escolhas e possibilidades, os usuários podem apelar para campanhas auxiliadas por outros usuários, nas quais a coleta de dados coexiste com suas propostas [Montori et al. 2017].

As potencialidades oferecidas pela IoT possibilitam o desenvolvimento de uma grande quantidade de aplicações. São diversos domínios e ambientes nos quais novas aplicações melhoram a qualidade de vida cotidiana. A possibilidade de comunicação entre as coisas para prover informações importantes de determinada região permite que haja uma vasta área para o desenvolvimento de aplicações através da quantidade de informações disponibilizadas [Atzori et al. 2010].

Atzori et al. (2010) afirmam que as diversas aplicações da IoT podem-se distinguir entre aquelas que são diretamente aplicáveis ou mais próximas do cotidiano das pessoas e aquelas consideradas futuristas, quando as tecnologias e as sociedades

ainda não estão prontas para sua implantação. Portanto, a tecnologia existente hoje permite que diversas áreas tenham melhorias devido a aplicações da IoT, como a questão das Cidades Inteligentes, que passa a ser uma consequência dos usos destas aplicações voltadas para um planejamento adequado e visando melhorias contínua dos serviços oferecidos nos centros urbanos.

2.2 *Crowdsensing*

A ampla utilização de dispositivos móveis aliada à evolução da computação, comunicação e capacidade de sensoriamento, mostra-se como uma importante fonte de dados e representa um novo paradigma de sensoriamento móvel. A mobilidade agregada aos usuários permite que grandes áreas sejam cobertas por este tipo de sensoriamento, visando a coleta de informações do cotidiano e as interações das pessoas com o ambiente em que se encontram. Nesse contexto, do ponto de vista da infraestrutura, a computação sensorial e os recursos de comunicação já estão largamente implantados e não há uma necessidade de desenvolver um *hardware* específico para coletar e transportar informações, mas sim de saber aproveitar a quantidade de informações disponíveis providas por esses dispositivos [Campbell et al. 2008].

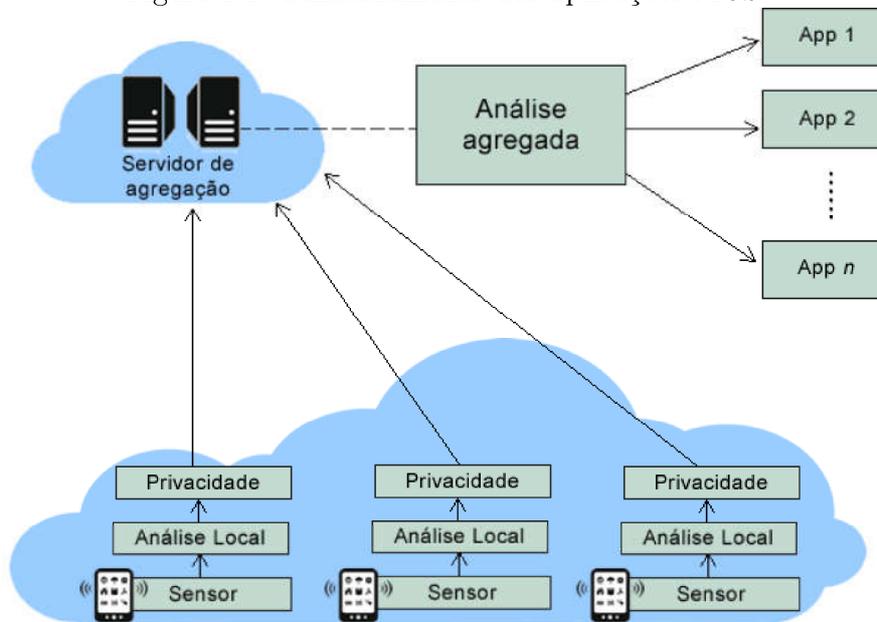
A obtenção de dados pelo sensoriamento presente nos dispositivos que as pessoas utilizam diariamente é uma técnica importante para o monitoramento do gerenciamento da infraestrutura, computação social e do ambiente em que elas se encontram. O sensoriamento que inicialmente era voltado para um único indivíduo, monitorando suas atividades por meio de aplicações passa a ter uma visão voltada para um grupo de usuários que tem dados sensoriais coletados para o compartilhamento de interesses comuns e para medir e mapear estes interesses como monitoramento de tráfego, gerenciamento da segurança pública e pesquisas colaborativas uma vez que atualmente essa coleta de informações são realizadas em tempo real [Xiao et al. 2013].

Sensores como câmera, microfone, GPS, acelerômetro, bússola-digital, luminosidade entre outros já fazem parte da maioria dos dispositivos utilizados pela maioria da população. Além disso, sistemas veiculares possuem acesso a dezenas de sensores integrados aos carros, alguns mais recentes, providos de sensores de presença e câmera que podem ter memória e armazenamento maiores e suportar processamentos mais complexos além de poder servir também de fonte de dados pelas técnicas de *crowdsensing*. Estes dados coletados pelos sensores integrados a veículos podem ser utilizados para obtenção de padrões de tráfego em determinada região utilizando a localização e a velocidade providos pelos sensores GPS acoplados aos veículos, onde os condutores podem se beneficiar de informações recebidas em tempo real [Talasila et al. 2014].

Segundo Ganti et al. (2011), para suportar de forma eficiente vários aplicativos

concorrentes, é fundamental identificar necessidades comuns visando a reutilização de dados de sensores em todos os aplicativos. Por outro lado, uma rede de sensores convencional é tipicamente voltada para um único aplicativo e a reutilização para fins muito diferentes raramente é necessária. A Figura 2.2 mostra o funcionamento típico das aplicações MCS (Sensoriamento Coletivo Móvel) proposto por Ganti et al. (2011). Os dados sensoriais são coletados em dispositivos móveis e processados por algoritmos analíticos locais para produzir dados consumíveis para as aplicações finais. Os dados podem ser modificados para preservar a privacidade e são enviados para um servidor de armazenamento e mineração.

Figura 2.2: Funcionamento das aplicações MCS.



Fonte: Adaptado de Ganti et al. (2011).

2.2.1 Ciência cidadã e engajamento coletivo

No processo de coleta de informações pelos usuários visando um benefício comum é necessário que haja um engajamento por parte dos usuários para que a fonte de informações tenha a relevância necessária para gerar algum benefício, independente de ser um envio voluntário. É importante citar que a ciência cidadã é base desse processo em que os cidadãos, agências governamentais, indústrias, grupos comunitários e instituições locais colaboram para monitorar, rastrear e responder a questões de interesse comum da comunidade através de iniciativas que usam cidadãos como coletores de dados para serem analisados [Conrad e Hilchey 2011]. Um fator importante no processo de sensoriamento em coletividade é que o usuário final deve reconhecer a importância de projeto de ciência voltada para a cidadania para que

seja bem-sucedido, já que os usuários finais das aplicações em *crowdsensing* muitas vezes têm uma percepção de baixa qualidade da informação e que os dados voluntariamente enviados geralmente não são utilizados no final do processo. No que diz respeito aos cidadãos envolvidos no projeto é importante reconhecer as possíveis relações de poder e incorporar interesses comuns para permitir um engajamento no projeto. O uso dos dados deve ser explicitamente discutido na formulação do projeto e os participantes devem concordar com o uso para criar transparência e confiança [Rutten et al. 2017].

Sensoriamento individual

Na evolução do sensoriamento provido pela diversidade e ampla utilização dos dispositivos móveis, as aplicações *crowdsensing* podem ser classificadas em duas categorias principais: sensoriamento pessoal e sensoriamento coletivo, uma vez que a diferença entre elas reside no fato de que está sendo monitorado e no objetivo do monitoramento. No primeiro caso, o foco é monitorar um indivíduo ou o contexto que ele está envolvido para que haja um benefício a ele mesmo com base no que foi emitido. Por exemplo, o reconhecimento de atividade de um indivíduo para manutenção de registros pessoais ou monitoramento de saúde. Normalmente nesses casos, a informação coletada não é compartilhada com outras pessoas [Sherchan et al. 2012].

Sensoriamento coletivo

No caso do sensoriamento coletivo, o foco é o monitoramento em larga escala que não podem ser mensurados utilizando informações de um único indivíduo. O objetivo é coletar informações de um grande grupo de pessoas para analisar e usar essas informações em benefício de um grupo. Por exemplo, sistemas de transporte inteligentes que utilizam o monitoramento do congestionamento do tráfego e o monitoramento do nível de poluição do ar exigem informações de velocidade e qualidade do ar de um grande número de envolvidos. Tais sistemas seriam capazes de fornecer informações precisas e úteis apenas quando houver uma massa relevante de pessoas fornecendo informações de seu cotidiano, que podem ser agregada para determinar, por exemplo, os níveis de congestionamento ou poluição nas cidades [Ganti et al. 2011].

Sensoriamento participativo

O sensoriamento participativo é um modelo de sensoriamento coletivo onde há a participação direta dos usuários agindo ativamente no fornecimento dos dados. A participação significa mais do que coletar dados, significa que as comunidades devem ser capazes de especificar e executar tarefas de obtenção desses dados. Com as

ferramentas corretas elas podem empregar campanhas de detecção participativa para coleta acerca de problemas de curto prazo. Os cidadãos têm conhecimento íntimo de padrões e anomalias em suas comunidades e sua participação é tanto essencial quanto valioso para pesquisas [Burke et al. 2006].

2.2.2 Características do *Mobile Crowdsensing*

De acordo com Louta et al. (2016) o *crowdsensing* móvel utiliza o poder e a experiência adquirida por meio da coletividade, explorando a inteligência humana, a computação ubíqua e o fato da mobilidade inerente. Desta forma as pessoas estão habilitadas a colaborar enviando dados obtidos ou gerados a partir de seus dispositivos móveis para um consequente monitoramento eficiente (em termos de custo e tempo), em eventos de larga escala que não podem ser facilmente medidos ou que de outra forma precisariam investimentos dispendiosos (em termos de hardware e/ou software). As aplicações *crowdsensing* móvel empregam algoritmos para analisar dados, identificar padrões espaço-temporais, gerar modelos e fazer previsões sobre ambiente observado [Louta et al. 2016].

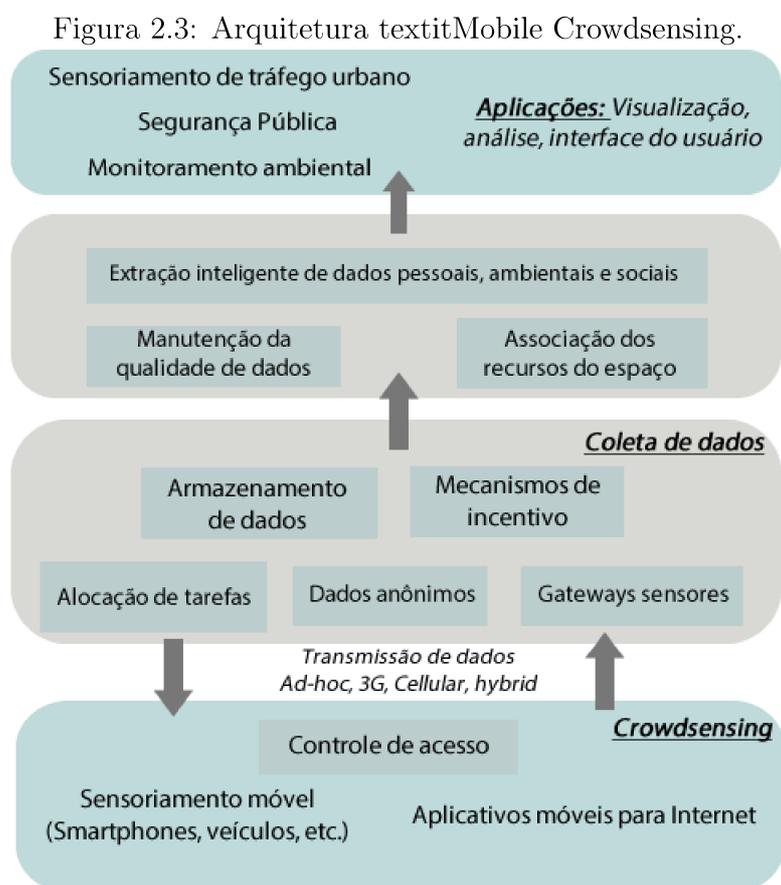
O MCS apresenta características distintas, assim como os usuários que estão envolvidos no processo de coleta, processamento, análise e compartilhamento de dados. No que diz respeito à coleta de dados há a participação implícita e explícita dos usuários com sensoriamento que podem ou não exigir que estes atuem ativamente para executar uma tarefa específica [Louta et al. 2016]. Em relação à transmissão de dados, pode-se adotar um comportamento de *carry-forward*, transmitindo informações para outros dispositivos ou através da transmissão baseada em infra-estrutura, utilizando um sistema de comunicação existentes como redes celulares, WLAN ou WiMAX, de maneira centralizada ou distribuída. Os dados são coletados através de dispositivos móveis do mundo físico ou até mesmo virtual sendo que muitas vezes funcionam de maneira complementar entre si. Além disso, o envolvimento e participação humana na coleta, processamento e compartilhamento de dados trás consigo a uma combinação de inteligência humana e de máquina [Louta et al. 2016].

Arquitetura *Mobile Crowdsensing*

Atualmente as aplicações *crowdsensing* móvel baseiam-se em diferentes hipóteses e práticas, adotando consequentemente variadas arquiteturas e modelos de sistema com o intuito de fornecer soluções para diferentes problemas. Louta et al. (2016) citam uma arquitetura coerente e unificada, incluindo todos os elementos-chave relacionados aos processos de *crowdsensing* e levando em consideração suas interdependências para permitir o avanço sem impedimento deste tipo de sensoriamento. Há uma variedade de trabalhos de pesquisa relacionados para definir uma arquitetura

que abordam sistematicamente os desafios de forma genérica, concreta, confiável e robusta para permitir que os sistemas de sensoriamento móvel alcance seus objetivos [Louta et al. 2016].

A Figura 2.3 apresenta uma arquitetura proposta por Guo et al. (2015) de uma maneira mais genérica ilustrando os principais blocos de uma arquitetura MCS, partindo da camada de obtenção de dados pelo sensoriamento até as aplicações e serviços. O fato das aplicações terem em sua essência a ideia de serem abertas para o envio público de dados faz com que esta arquitetura leve em consideração potenciais erros e imprecisões dos dados obtidos já que os dados podem ser produzidos de maneira intencional e/ou não intencional [Louta et al. 2016].



Fonte: Adaptado de [Guo et al. 2015].

Aplicações *crowdsensing* móveis

De acordo com Noureen e Asif (2017), o sensoriamento móvel focado na coleta de dados por meio da coletividade tem diversos domínios de aplicações e diferentes desafios técnico-sociais que podem ser divididos em categorias de infraestrutura,

monitoramento em rede social e monitoramento do ambiente. Os autores listam os tipos de monitoramento de acordo com o domínio em que está inserido, são elas:

- a) Monitoramento ambiental: visando a preservação da natureza, efeitos da poluição do ar, nível da água, poluição sonora e observação da vida selvagem.
- b) Transporte e planejamento de tráfego: visto como um problema de nível global, este tipo de monitoramento está associado ao congestionamento de tráfego, transporte público, planejamento de itinerários, condições das estradas e comportamento dos motoristas.
- c) Monitoramento de rede social: o sensoriamento social é utilizado para obter e compartilhar informações sociais entre amigos, grupos e comunidades que podem obter esses dados de maneira implícita ou explícita, a depender do foco principal do *website* a ser monitorado.
- d) Assistência médica: monitoramento voltado para saúde pessoal e pública através da coleta de informações relacionadas à saúde, modo de vida e atividades físicas.
- e) Segurança pública: visa detectar ou proteger os cidadãos de determinada área contra possíveis eventos, como crimes e desastres, que seriam perigosos para a segurança das pessoas. Neste monitoramento é possível coletar dados das pessoas e das autoridades governamentais para prover informações relevantes quanto a ações de seguranças devidas.

Assim, o *crowdsensing* móvel possui várias perspectivas sendo considerado um paradigma que torna cidadãos comuns partes essenciais no processo de contribuição dos dados gerados por seus dispositivos que, ao adquirirem um conhecimento local na escala urbana, podem prover através da fusão máquina-inteligência humana, melhorar ou estimular o crescimento de uma variedade de áreas de aplicação desde sensoriamento [Guo et al. 2015].

2.2.3 *Crowdsensing* em ambiente urbano

Atividades baseadas em colaboração coletiva podem permitir que usuários cooperem na solução de problemas que afetam determinadas áreas no ambiente urbano. Atrelado às redes sociais, a busca por soluções dos problemas urbanos podem facilmente chamar a atenção da administração local para que os responsáveis por determinada região possam tomar medidas corretivas e preventivas, uma vez que quanto mais cedo a informação sobre um problema chegar aos responsáveis, há uma probabilidade da gravidade da situação ser menor, havendo uma redução dos gastos e gerando por consequência um impacto econômico positivo. Nesse sentido as aplicações colaborativas são consideradas uma ferramenta poderosa nas mãos de cidadãos que visam a solução de problemas detectados em sua comunidade [Lendàk 2016].

À medida que a população mundial se torna cada vez mais urbana as cidades em todo o mundo precisam aproveitar as tecnologias de informação e comunicação para melhorar suas funções, aumentar a eficiência, melhorar a competitividade e economia, além de proporcionar um melhor ambiente aos seus cidadãos para evoluir no conceito de cidade inteligente. A mobilidade inteligente é uma das principais características de uma cidade inteligente e também um dos maiores desafios que essas cidades enfrentam [Batty et al. 2012].

O paradigma de *crowdsensing* permite métodos, técnicas e sistemas voltados para a mobilidade dos cidadãos no meio em que vivem. A aplicação de técnicas de análise, inteligência e mineração de dados no sensoriamento móvel fornece informações úteis sobre a mobilidade dos cidadãos e suporta um melhor envolvimento dos cidadãos no monitoramento de espaços urbanos. As estatísticas e análises de uso de dispositivos móveis podem apresentar informações valiosas aos serviços de planejamento urbano para melhor se adaptarem aos hábitos e mobilidade dos usuários. A análise e a extração de dados de mobilidade obtidos através do sensoriamento móvel fornecem informações sobre características importantes da mobilidade urbana, comportamento das pessoas que se deslocam dentro de uma cidade e possíveis previsões de mobilidade futura [Stojanovic e Stojanovic 2016].

2.2.4 Utilização do *crowdsensing*

Stojanovic e Stojanovic (2016) faz referência ao paradigma do sensoriamento móvel no apoio a mobilidade eficiente, segura em ambientes urbanos. É apresentado um *framework* para demonstrar a viabilidade de uma plataforma comum de obtenção de dados através do sensoriamento coletivo aplicado a vários domínios da mobilidade urbana.

Pan et al. (2013) abordam a questão de detectar e descrever as anomalias de tráfego usando o *crowdsensing* com duas formas de obtenção de dados: mobilidade humana e mídia social. As anomalias são detectadas por meio da mineração de dados em mídias sociais que as pessoas descreveram quando a anomalia aconteceu. O sistema para detectar tais anomalias de tráfego pode beneficiar tanto os condutores como as autoridades de transporte, por exemplo, notificando os condutores que se aproximam de uma anomalia e sugerindo rotas alternativas, bem como apoiando o diagnóstico e a dispersão de engarrafamentos.

Em Montanaro et al. (2017) é apresentada uma plataforma *crowdsensing* que oferece um conjunto de serviços aos cidadãos, explorando uma rede de bicicletas como sondas da Internet das Coisas. Com base em uma pesquisa realizada para identificar os serviços mais interessantes, a plataforma desenvolvida oferece: geolocalização remota em tempo real para os usuários, serviços relacionados à segurança, informações sobre rotas percorridas e monitoramento da poluição do ar.

Gao et al. (2014) propõem um sistema de reconstrução de planta baixa de uma construção através de dados obtidos via *crowdsensing*. No sistema são extraídas informações de posicionamento, tamanho e orientação de objetos de referência individuais a partir de imagens capturadas pelos usuários. Também é obtida a relação espacial entre objetos de referência adjacentes a partir de dados de sensores e, em seguida, calcula as coordenadas e orientações desses objetos.

Peng et al. (2018) propõem um sistema de atualização automática de imagens de lojas para mapas digitais fazendo uso das visualizações no nível de rua e obtendo dados via *crowdsensing*. Para realizar este sistema, são capturadas as posições em nível de rua onde os nomes das lojas são reconhecidos através da detecção do logotipo ou textos.

2.2.5 Obtenção de velocidades via *crowdsensing*

A próxima geração de dados voltados para o fluxo de tráfego está associada ao uso de informações coletadas em tempo real dos dispositivos GPS, que podem ser dispositivos GPS dedicados ou um GPS incorporado em *smartphones* e similares. Esses dispositivos podem ajudar a superar as desvantagens de depender de fontes de informação dispendiosas ou inacessíveis, a exemplo de dados de sensores físicos ou de câmeras de monitoramento de vídeo colocadas sobre as vias. Os dados dos GPS recolhidos em tempo real, bem como os dados históricos, podem ser analisados e processados para ser utilizados num sistema de controle de tráfego e, uma vez que esta informação está disponível ela pode ser enviada de volta para um dispositivo móvel ou para um sistema de monitoramento [Jiménez-Meza et al. 2013].

Os dados coletados através do sensoriamento de um grande número de usuários de dispositivos móveis ou até mesmo objetos em movimento são caracterizados por terem um grande volume de dados, velocidade e variedade e podem ser observados na área de *Big Data* [Cardone et al. 2013]. Os servidores de aplicação são executados em *clusters* ou nuvem que suportam o sensoriamento móvel no processo de coleta, processamento, análise e mineração em grandes conjuntos de dados, podendo ser de fontes estruturadas e não-estruturadas. Esta informação colaborativa dada por diversos usuários fornece detecção de padrões e trajetórias de mobilidade, atividades coletivas e comportamentos bem como situações complexas, a exemplo de pontos de interesse, congestionamentos de tráfego, ou rotas para evacuação rápida em uma situação de emergência [Cardone et al. 2013].

As velocidades podem ser calculadas a partir de localizações consecutivas obtidas pelos receptores GPS incorporados em telefones celulares. Os dados dos telefones celulares devem ser cuidadosamente filtrados porque os dispositivos podem ser interrompidos dentro dos prédios, parados ou movendo-se lentamente nas calçadas em vez de considerar apenas as pessoas dentro dos veículos. Além disso, dentro de um

transporte coletivo, pode-se considerar um conjunto de dispositivos pertencente a um único veículo que deveria se mover mais devagar e parar com mais frequência [Barbosa et al. 2013].

Os *chipsets* dos GPS integrados aos *smartphones* podem obter as coordenadas de um ponto geográfico utilizando os satélites de posicionamento global. De acordo com Barbosa et al. (2013), os dados de entrada gerados pelos dispositivos GPS para determinado ponto P são representados pela tupla:

$$P = \langle i, p, t, v, s \rangle$$

Onde:

1. i é a referência do usuário (anônima);
2. p é a geometria do ponto, no sistema WGS-84 geodésico coordenadas;
3. t é a informação de data e hora, com fuso horário, quando o ponto foi rastreado;
4. v é o valor da velocidade instantânea;
5. s indica o status de rastreamento durante um deslocamento: 0 para ponto inicial, 2 para ponto final e 1 para o caso em que nenhum dado é gravado quando o dispositivo não está em movimento.

Segundo Omatu et al. (2013), a equação de Haversine é uma equação importante na navegação, pois permite calcular a distância entre dois pontos geográficos no globo terrestre quando conhecidas suas longitudes e latitudes. Esta fórmula foi utilizada para calcular a distância entre dois pontos geográficos coletados pelo sistema, sendo especificadas as longitudes e latitudes destes. A Equação 2.1 apresenta o cálculo da distância em metros entre duas coordenadas geográficas $(\theta_1, \theta_2); (\lambda_1, \lambda_2)$, sendo r o raio da Terra em metros.

$$d = 2r \arcsin \sqrt{\sin^2 \left(\frac{\theta_2 - \theta_1}{2} \right) + \cos(\theta_1) \cos(\theta_2) \sin^2 \left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \quad (2.1)$$

As velocidades obtidas por meio apenas das diferenças de latitude e longitude são calculadas diferentemente das velocidades obtidas diretamente dos sensores GPS, uma vez que outros métodos de estimativa de velocidade são utilizados, como efeito *Doppler* em relação aos satélites e/ou o método *Time-differenced carrier phase*, que permitem uma maior precisão no cálculo da velocidade instantânea [Freda et al. 2015].

A obtenção da velocidade dos dispositivos também pode ocorrer através da propriedade *speed* disponibilizada pelos receptores GPS. Os dados do GPS para veículos em movimento contêm informações de data e hora, HDOP (Diluição Horizontal de

Precisão), latitude, longitude e velocidade medida do GPS [Chowdhury et al. 2014]. O receptor de GPS dentro de um *smartphone* faz as medições que são enviadas para dois módulos diferentes: *Velocidade e HDOP* e *Localização e Velocidade*. Para um GPS comum, a média de precisão é de 10 metros. Além disso a velocidade do GPS é filtrada internamente no receptor [Chowdhury et al. 2014].

Além da coleta dos dados de velocidades via dispositivos móveis, é possível obter informações diretamente dos veículos enquanto trafegam nas vias de uma cidade. Os dados dos veículos são obtidos também através do sistema OBD (Sistema de Diagnósticos) por intermédio de dispositivos que realizam leituras destas informações. Através destes dispositivos é possível obter diversas informações dos veículos, a exemplo da velocidade instantânea, uma vez que estes se comunicam diretamente com a ECM (Unidade de Controle do Motor) [Oliveira et al. 2017].

Recentemente, muitos trabalhos na literatura têm explorado o OBD (no caso o padrão mais recente, OBD-II) para extrair dados sobre os veículos, gerando informação útil em Cidades Inteligentes [Oliveira et al. 2017]. Existem 5 protocolos diferentes padronizados para a interface OBD-II e geralmente um veículo implementa pelo menos um deles. Esses protocolos são: CAN (ISO 15765), PWM (SAE J1850), VPW (SAE J1850), ISO 9141-2 e KWP2000 (ISO 14230). Entre esses protocolos, o CAN (Controller Area Network) é o mais comumente utilizado [Oliveira et al. 2017].

Barbosa et al. (2013) propõem uma metodologia para enriquecer uma base de dados de uma malha rodoviária com estatísticas sobre as velocidades reais, com base em uma análise das trajetórias em relação a veículos que circulam por uma cidade. As estatísticas calculadas consistem na velocidade média, no desvio padrão e no tamanho da amostra utilizado nos cálculos atribuídos a cada via urbana e vinculados a intervalos de tempo predefinidos. Os valores obtidos da velocidade média são úteis para estimar o tempo de viagem de um veículo ao longo de rotas escolhidas para avaliar a fluidez de tráfego. As variações dos valores de velocidade ao longo do tempo também são consideradas na metodologia aplicada. O método utilizado pelos autores baseia-se nas seguintes etapas:

- a) correspondência das posições obtidas pelo GPS e as vias mapeadas;
- b) análise estatística dos dados providos pelo GPS;
- c) através da velocidade média dos trechos, cria-se uma variação temporal com base nos dias da semana buscando encontrar alguma anomalia no tráfego.

Devido às imprecisões no posicionamento do GPS e nos pontos fora da via, há uma limitação quanto a análise dos pontos rastreados nas vias onde a largura estimada deve ser compatível com a largura real da respectiva via.

A abordagem apresentada por Barbosa et al. (2013) assume que um veículo em movimento genérico é monitorado usando um dispositivo GPS. O veículo deixa uma

localização chamada origem onde o deslocamento inicia e move-se através de um conjunto de vias em direção a outro local chamado destino, onde o deslocamento tem seu final. O caminho da origem para o destino é definido através de um plano. As vias no caminho são representadas por linhas e o plano deve considerar que cada estrada consecutiva está conectada. O plano pode escolher a rota cujo comprimento total é mínimo ou considerar a rota com tempo de viagem mínimo, com base na velocidade média que os veículos podem alcançar em cada rota.

A Tabela 2.1 contém uma visão comparativa das soluções baseadas em *crowdsensing* que são disponíveis, numa análise dos aspectos-chave comuns entre eles:

- a) impacto social: medida em relação ao número de sensores e o nível de contribuição para uma melhoria da vida diária dos usuários;
- b) impacto econômico: impacto que a solução deve causar na economia com base em seus principais objetivos;
- c) arquitetura: número total dos seguintes componentes e o nível de integração entre os sensores;
- d) sensoriamento: número de sensores utilizados e o nível de sofisticação deles;
- e) motivação: o mecanismo de motivação e engajamento do uso pelos usuários da solução;
- f) privacidade: a quantidade de informações pessoais exibidas para outros usuários.

Tabela 2.1: Análise comparativa de aplicações baseadas em MCS.

Solução	Impacto social	Impacto econômico	Arquitetura	Sensoriamento	Motivação	Privacidade
Smart Citizen	Médio	Baixo	Médio	Médio	Baixo	Médio
FixMyStreet	Médio	Médio	Baixo	Baixo	Baixo	Alto
Ushahidi	Médio	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Alto
Waze - Anagog	Médio	Alto	Médio	Alto	Alto	Médio
Patients LikeMe	Médio	Médio	Baixo	Baixo	Médio	Baixo
Sports Traker	Médio	Baixo	Baixo	Alto	Baixo	Alto
Foursquare	Médio	Médio	Médio	Baixo	Alto	Baixo

Fonte: Adaptado de[Lendàk 2016]

2.3 Planejamento Urbano

Albrechts (2004) cita que o planejamento de espaços é visto como uma integração qualitativa dos aspectos de localização, impacto, dimensão e harmonização da área, que se faz necessário na presença de habitações, indústrias, praças, meios de transporte, educação, natureza, agricultura, cultura e etc. Um plano de utilização do espaço tem como proposta essencial a maneira que este espaço deve ser utilizado, com políticas que permitam a expansão e reestruturação preparando-se para o futuro.

Nesta abordagem, é importante ter um planejamento espacial flexível buscando uma coerência, de maneira conveniente e compacta. Além disso, há uma exigência de responsabilidade dentro de um prazo e estrutura orçamentária e a consciência por parte daqueles que detêm o poder. É preciso que haja a capacidade de planejamento estratégico adaptada para que as partes interessadas se envolvam mais ativamente no processo de planejamento com base em uma definição conjunta das ações e do compartilhamento de interesses, objetivos e conhecimentos [Albrechts 2004].

As áreas urbanas são lugares dinâmicos e complexos. Na utilização do espaço ele pode mudar radicalmente em resposta a forças econômicas, tecnológicas e demográficas. É vital que qualquer sistema de planejamento urbano atualizado permita e incentive a integração, não apenas setores de determinada organização pública mas deve estar envolvida em todos os níveis, juntamente com outros setores, a exemplo de comunidades e bairros, sociedade civil e economia [Commission 2015].

A integração é importante para uma tomada de decisão eficiente, participativa e uma distribuição mais equitativa de recursos que muitas vezes podem ser vistos como falta de planejamento. É recomendada a criação de um sistema de melhorias e que permita haver resiliência urbana global proporcionando confiabilidade suficiente para assegurar o investimento adequado e necessário em áreas urbanas [Commission 2015].

De acordo com Liu e Tang (2012) o planejamento urbano tradicional que é geralmente empregado, determina os padrões de desenvolvimento urbano e estabelece os requisitos gerais para a construção de uma cidade, bem como a configuração da infraestrutura urbana. O planejamento do sistema de transportes é o um dos itens especiais do planejamento do projeto de infraestrutura de uma cidade e dessa forma o processo de desenvolvimento de sistemas de transporte está intimamente ligado com as ideias de planejamento urbano.

2.3.1 Mobilidade Urbana

Dentro da área de planejamento urbano em uma cidade a questão da mobilidade é tratada como de suma importância já que hoje se configura como um dos grandes

problemas dos centros urbanos. Há uma alta demanda de mobilidade no processo de desenvolvimento das cidades decorrentes do aumento populacional necessitando de novos modelos para manter este desenvolvimento e levando-se em consideração os impactos econômicos, sociais e ambientais [Camagni et al. 2002].

A possibilidade de aliar a tecnologia para resolver problemas de mobilidade é uma realidade, já que os meios de transporte podem detectar e reportar eventos de tráfego e suas condições, bem como identificar pontos de congestionamento e de baixa velocidade recomendando alternativas de fluxo [Stojanovic e Stojanovic 2016]. Decorrente de um ineficiente planejamento urbano, a falta de mobilidade requer medidas que visam amenizar o congestionamento de tráfego e outros problemas de bloqueio, uma vez que em certos casos a solução não está apenas focada na construção de novas vias, mas também promover alguma inovação, com novas ideias e métodos para que departamentos funcionais do governo possam atuar de maneira mais eficiente [Liu e Tang 2012].

A rede de transportes urbanos é considerada complexa, assim como as operações de tráfego envolvidas. Os problemas de trânsito são também complexos e o gerenciamento do tráfego urbano geralmente consiste em várias estratégias de gestão w uma combinação de medidas para qualquer construção ou implementação desse gerenciamento. Intervenções como alterar cruzamentos, definir vias exclusivas para transporte público ou o alargamento de uma via pode resultar de 80% a 90% do fluxo de tráfego em uma via principal [Liu e Tang 2012].

Portanto, o gerenciamento de tráfego é um projeto sistemático e que deve usar métodos científicos para solucioná-lo uma vez que o método empírico comumente utilizado não resolve os problemas por completo. Segundo Liu e Tang (2012), os objetivos de uma rede de transporte rodoviário é tomar todas as medidas técnicas para equilibrar o fluxo de tráfego em toda a rede, buscando a distribuição de tráfego de forma equilibrada e melhorar a eficiência do transporte de modo que a rede de transporte maximize sua eficácia sobre o ambiente da rede de transportes urbanos.

A redução da mobilidade urbana é mais visível para os utilizadores de transportes públicos. Isto ocorre em grande parte porque as rotas de trânsito que são utilizadas, geralmente, seguem as vias do maior fluxo, que por consequência são as mais comuns de haver congestionamentos. Além disso, as redes de trânsito geralmente são predominantemente radiais, não permitindo assim a evasão dos congestionamento que ocorrem principalmente nas grandes cidades. Há portanto, a necessidade de uma ênfase política na expansão do sistema rodoviário visando melhorias no trânsito, pois a má gestão muitas vezes acaba por aumentar os problemas [Gakenheimer 1999].

Kraay e Dijkstra (1989) mencionam que as vias residenciais não devem apenas garantir que os trajetos possam ser cumpridos. Elas também têm outras funções, criando oportunidades de contato social, oferecendo facilidades de estacionamento e recreação, porém recebem pouca atenção nesse sentido. Provocar alterações nessas

vias muitas vezes requer medidas que influenciam diretamente no comportamento do trânsito e aumentem a segurança. Uma abordagem orientada para a segurança do tráfego tem mais chances de ter sucesso do que tomar medidas incidentais.

Os problemas decorrentes da expansão urbana também passa pela questão da segurança daqueles que compõe o sistema como a parte mais vulnerável, que são os pedestres. Em áreas de grande circulação é evidente a preocupação com este grupo, pois a segurança deve ser um dos principais fatores considerados quando o limite de velocidade está sendo selecionado para um determinado trecho de rodovia [Kraay e Dijkstra 1989].

2.3.2 Velocidade veicular em áreas urbanas

Os limites de velocidade do tráfego rodoviário são determinados para estarem associados, por exemplo, às mudanças nos tempos de viagem, custos operacionais do veículo, acidentes, ruídos e emissões de poluentes [Nitzsche e Tscharaktschiew 2013]. Em Nitzsche e Tscharaktschiew (2013) são analisados os impactos das políticas de limite de velocidade, isto é, restringindo a velocidade máxima permitida do tráfego rodoviário em espaços urbanos. Além dos efeitos relacionados ao transporte é importante atentar para os efeitos, pois, podem influenciar significativamente o desempenho geral das políticas de limite de velocidade, como o caso de definir uma velocidade baixa pode reduzir o número de acidentes, todavia pode aumentar os efeitos das emissões de gases poluentes através dos veículos.

Restringir os limites de velocidade em uma região, concentrando-se na ideia de uma zona com velocidade reduzida é considerada uma política de regulação de velocidade importante e com maior probabilidade de aumentar o bem-estar social [Nitzsche e Tscharaktschiew 2013]. O crescente aumento do número de veículos nas cidades, associado a relação de velocidade e segurança promoveram vários estudos nessa área. As vias urbanas de baixa velocidade são projetadas para fornecer acesso e mobilidade, pois permitem veículos motorizados, veículos não-motorizados e pedestres. Em vias urbanas é desejada uma velocidade reduzida para proporcionar um ambiente mais seguro. As velocidades nessas vias geralmente excedem as velocidades recomendadas para estas áreas [Wang et al. 2006].

As velocidades excessivas podem causar problemas de segurança potenciais uma vez que a velocidade está diretamente relacionada à probabilidade e severidade dos acidentes, principalmente relacionados aos pedestres. Uma questão importante em torno dos efeitos da redução dos limites de velocidade do tráfego rodoviário nas áreas urbanas diz respeito aos impactos na mobilidade e no meio ambiente. Além disso, os condutores de automóveis superestimam os benefícios do tempo devido ao excesso de velocidade à custa de maiores riscos de acidentes [Wang et al. 2006].

O controle de velocidade foi identificado como uma das ferramentas mais importantes utilizadas para reduzir os acidentes relacionados com a velocidade. Este controle, no entanto, foi reconhecido como um problema complexo e controverso, devido ao fato de que os critérios para estabelecer limites de velocidade não têm o mesmo grau de aceitação pelos elementos de trânsito do que as outras ferramentas de controle, como zonas de bloqueio ou semáforos, por exemplo [Garber et al. 1988].

O impacto que o tráfego de veículos motorizados traz ao meio urbano e a qualidade de vida do indivíduo moderno é algo notável nas cidades. A velocidade que um veículo permite atingir oferece ao condutor a oportunidade de experimentar sentimentos de grandeza e fantasia de onipotência [Marín e Queiroz 2000]. Os veículos tornaram-se algo inseparável do indivíduo e presente no cotidiano das comunidades, isso reflete na importância de entender os impactos causado pela utilização destes veículos. É fundamental nesse sentido a incorporação de sistemas de coleta de informação para o monitoramento rotineiro dos acidentes, a identificação de fatores de risco, a elaboração e implementação de medidas preventivas e a avaliação da efetividade destas medidas [Marín e Queiroz 2000].

No Brasil existem estudos relacionados ao controle de velocidade, com causas e efeitos do aumento e redução de velocidade veicular nas vias urbanas [Thielen et al. 2008]. A interação entre a norma da velocidade e o comportamento de excesso de velocidade, mostra o trânsito como um sistema composto por via, veículo e o homem, enfatizando a necessidade do controle de velocidade, uma vez que diferentes velocidades provocam riscos de potenciais diferentes, ou seja, controlar a velocidade significa controlar os riscos envolvidos. O controle é realizado por departamentos de trânsito através de fiscalizações que definem os parâmetros legais e regulado pela legislação que organiza a convivência e segurança dos integrantes do trânsito [Thielen et al. 2008].

2.3.3 Problemas de tráfego em vias urbanas

Com o crescimento natural das cidades e o aumento da população, tratar os problemas de trânsito torna-se de vital importância. Além dos acidentes, novos problemas de tráfego ocorrem frequentemente, por exemplo, os congestionamentos nas vias, a redução de velocidade dos veículos, os atrasos no trânsito, a poluição grave do tráfego e etc. Há em geral uma falta de planejamento nas estruturas viárias urbanas acerca da mobilidade, que é gerada a partir de problemas e que provocam o surgimento de outros [Zhang 2006].

O fato de haver uma grande concentração de veículos em áreas urbanas, provocou uma preocupação revelada em forma de estudos na área de velocidade veicular devido aos riscos e acidentes que ocorrem no trânsito das cidades, na relação entre velocidade e acidentes [Garber et al. 1988]. As altas velocidades podem aumentar

as chances de exposição a situações perigosas no trânsito e a rapidez com a qual estas altas velocidades são alcançadas podem reduzir a habilidade dos condutores de reagir apropriadamente levando a mais acidentes. Uma velocidade segura deve ser aquela em que a probabilidade de ocorrer um acidente seja reduzida sendo considerado um problema de engenharia de tráfego [Garber et al. 1988].

Marín e Queiroz (2000), ao realizarem um estudo sobre acidentes de trânsito em escalas nacionais e internacionais, perceberam que há uma necessidade de implantar políticas públicas para redução de acidentes, que vão do comportamento dos condutores de veículos até fatores ambientais que são fatores que interferem na segurança dos elementos de trânsito. Há um considerável aumento da mortalidade devido a acidentes nas vias urbanas e os autores sugerem a promoção de mudanças comportamentais, mudança na legislação de trânsito e a utilização da tecnologia associada à engenharia como estratégias de aumento da segurança nos trajetos realizados pelos condutores de veículos.

Capítulo 3

A Ferramenta CitySpeed

O crescimento populacional acelerado no último século, que culminou com a mudança do perfil das pessoas para um modo de vida urbano, tem trazido inúmeros desafios. Gerenciamento de crises, mobilidade urbana, monitoramento de poluição, eficiência energética, processamento de resíduos e segurança pública são alguns dos problemas que têm direcionado muitos dos esforços dos gestores e, nesse cenário, a utilização de novas tecnologias pode trazer diversos benefícios para a solução dos desafios das cidades modernas. Nessa nova fronteira, soluções para enfrentar um ou mais desses problemas são bem vindas.

A Ferramenta desenvolvida, CitySpeed, pretende ser um importante recurso para diversas aplicações na área de Cidades Inteligentes, uma vez que dados valiosos a cerca de parte do comportamento das cidades podem ser obtidos com essa Ferramenta. Como o deslocamento de carros nas vias é um importante componente do modo de vida urbano, compreender como esse deslocamento ocorre é de grande importância, uma vez que pode não apenas indicar caminhos para o desenvolvimento das cidades, mas também permite identificar variações de velocidades em determinada região em algum momento específico.

As próximas seções descrevem a forma como a Ferramenta CitySpeed foi desenvolvida e quais são os serviços que estão disponíveis para seus usuários.

3.1 Requisitos da Ferramenta

O objetivo central da Ferramenta desenvolvida é obter dados do deslocamento de veículos em qualquer cidade, através de técnicas de *crowdsensing*, sendo, portanto, uma solução que depende da contribuição de usuários para fornecer os dados desejados através dos seus *smartphones*. Dessa forma, apesar de depender que o celular de motoristas e/ou passageiros nos veículos estejam habilitados para fornecer os dados

desejados, a solução como um todo se mantém de baixo custo, uma vez que não necessita da aquisição de dispositivos adicionais, como leitores do barramento OBD-II dos veículos [Sim e Sitohang 2014]. O desenvolvimento de uma solução escalável, de baixo custo e customizável é o objetivo principal deste trabalho.

No geral, os requisitos que guiaram o desenvolvimento da Ferramenta CitySpeed são apresentados a seguir:

1. Dados da velocidade de veículos nas cidades são obtidos através do *smartphone* de voluntários, garantindo que a solução seja escalável e de baixo custo;
2. Como usuários voluntários contribuem para a obtenção dos dados, a Ferramenta deve ser simples de usar, gratuita e a mais ubíqua possível;
3. A fim de não comprometer os mecanismos de acesso à rede dos *smartphones* dos usuários participantes, a transmissão dos dados obtidos deve ocorrer apenas quando esses dispositivos estiverem com acesso à Internet, de acordo com a configuração do usuário (dados são armazenados localmente se o dispositivo estiver *offline*);
4. Os dados obtidos devem ser facilmente disponibilizados para serem usados por qualquer sistema, empregando para tanto formatos padronizados para exportação dos dados;
5. Além da exportação dos dados, os usuários deverão ter acesso a uma página *Web* para acesso fácil e intuitivo aos dados capturados, considerando a definição de regiões e intervalos de tempo.

Todos esse requisitos foram previamente levantados, servindo de base para o desenvolvimento da Ferramenta. De fato, os serviços pretendidos são uma contribuição muito importante para a área, trazendo resultados que facilitam a análise de fluxo dos veículos nas cidades.

3.2 Arquitetura CitySpeed

A partir dos requisitos levantados, a Ferramenta CitySpeed foi estruturada em três elementos fundamentais, como descrito a seguir:

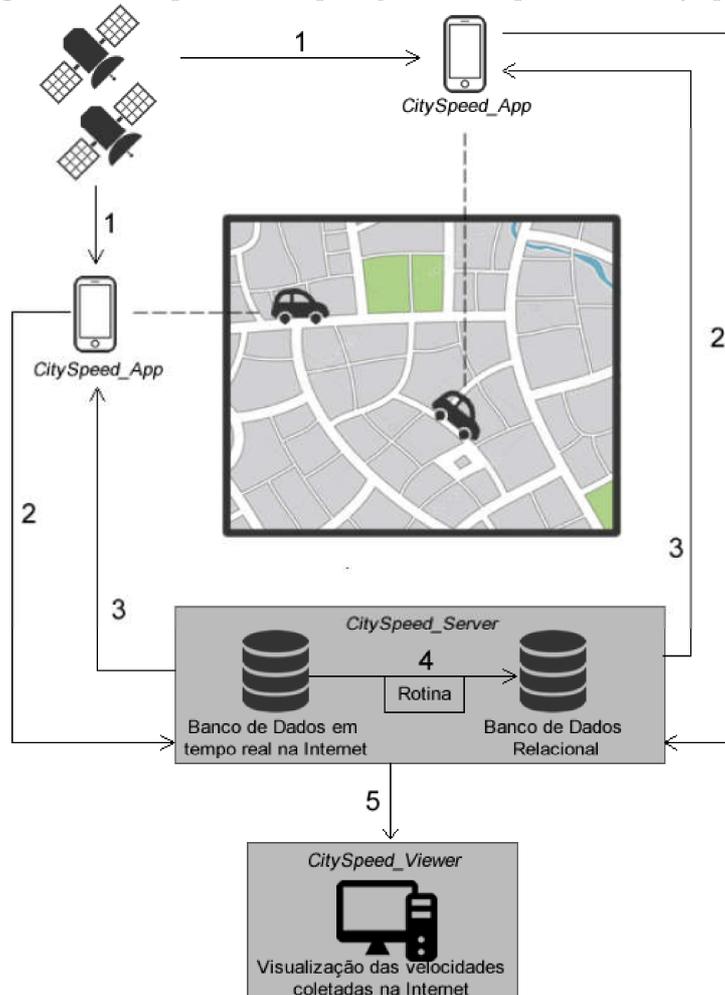
1. **CitySpeed_App**: Esse é o módulo que irá ser executado nos *smartphones* dos usuários e que irá capturar os dados das velocidades, transmitindo-os para processamento posterior;
2. **CitySpeed_Server**: Todos os dados de deslocamento dos veículos são armazenados nesse módulo;

3. **CitySpeed_Viewer**: Os dados capturados poderão ser visualizados e exportados a partir desse módulo, que será implementado na forma de páginas *Web*.

A arquitetura da Ferramenta CitySpeed foi definida seguindo o modelo cliente-servidor, tanto no desenvolvimento do aplicativo CitySpeed_App quanto no desenvolvimento do módulo de visualização, CitySpeed_Viewer. Nestes dois módulos, os clientes sempre enviam solicitações enquanto o servidor apenas responde às solicitações [Sulyman 2014], estando o CitySpeed_Server no meio desse processo. Na coleta de dados pelo aplicativo os dados são enviados anonimamente, isto é, não há a identificação do usuário, apenas a identificação da relação dispositivo-aplicação que ocorre obrigatoriamente nas instalações dos aplicativos, além disso nenhum tipo de controle de acesso é necessário.

A Figura 3.1 apresenta o funcionamento global da Ferramenta, evidenciando o papel dos três módulos desenvolvidos e uma sequência típica de interação entre eles.

Figura 3.1: Esquema de operação da Arquitetura CitySpeed.



Na Figura 3.1, as setas indicam o sentido da transmissão das informações, em todas as etapas esperadas e os números indicam uma sequência temporal típica de comunicação da solução proposta, conforme a descrição abaixo:

1. Captura de informações dos satélites GPS pelo dispositivo móvel;
2. Envio dos dados de velocidade e geoposicionamento pelo CitySpeed_App;
3. Confirmação de recebimento de dados pelo CitySpeed_Server;
4. Rotina de processamento para migração entre os bancos de dados.
5. Visualização das velocidades coletadas pelo CitySpeed_Viewer.

Os fluxos de comunicação entre os três módulos desenvolvidos foram modelados através de diagramas de sequência, deixando as transições na arquitetura ainda mais claras. A Figura 3.2 apresenta o fluxo de comunicação entre o aplicativo móvel, CitySpeed_App, e o servidor, CitySpeed_Server. Os dados sobre as localizações são obtidos quando detectados pelo sensor GPS do dispositivo de maneira automática. Buscou-se desta forma desenvolver um aplicativo que tenha o processo de uso do sensor GPS com reduzido custo de energia e que permitisse o uso em segundo plano para os usuários, visando não impactar nas demais funcionalidades dos dispositivos utilizados.

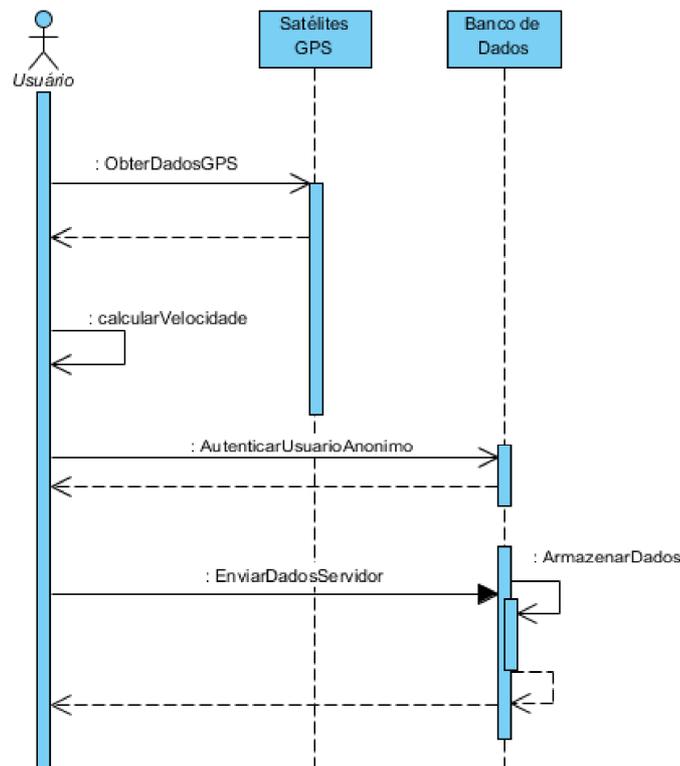
O padrão de operação da geolocalização, ao ser executada em segundo plano nos sistemas operacionais dos dispositivos, é de rastrear a localização de um dispositivo da maneira mais eficiente em termos de consumo de energia. Por esse motivo, a detecção de movimento é fundamental para esse padrão. Somente quando o dispositivo for detectado em deslocamento, utilizando sensores nativos que identificam a mudança de estado estacionário para em movimento, o aplicativo irá iniciar os serviços de localização e, desta forma, quando o dispositivo ainda está parado, as coordenadas de um ponto geográfico durante o período de repouso não são coletadas. Cada nova localização é armazenada no banco de dados interno do aplicativo juntamente com informações adicionais disponíveis pelo sistema operacional dos *smartphones*.

A comunicação entre o CitySpeed_Viewer e o CitySpeed_Server é apresentada na Figura 3.3.

3.3 CitySpeed_App

O módulo CitySpeed_App irá ser executado nos *smartphones* dos usuários voluntários do projeto, permitindo a obtenção dos dados desejados. Para tanto, esse módulo foi desenvolvido seguindo diversos princípios, como apresentado nas próximas subseções.

Figura 3.2: Sequência da comunicação entre o CitySpeed_App e o CitySpeed_Server.



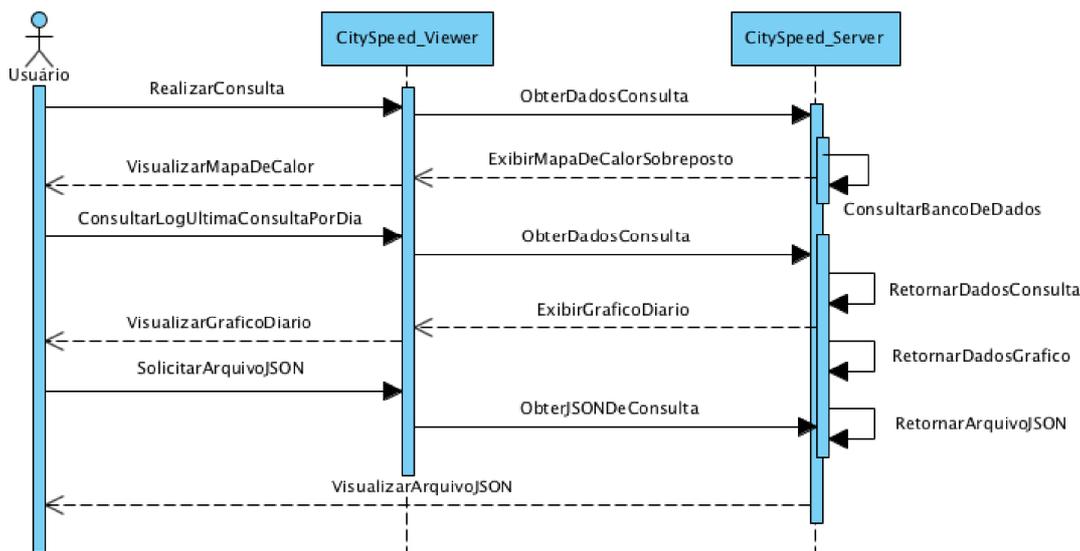
3.3.1 Projeto do módulo CitySpeed_App

A implementação do CitySpeed_App seguiu os requisitos necessários para que a coleta de velocidade ocorresse de maneira eficiente em relação ao dispositivo no qual está sendo executado. A necessidade de coletar as informações, e armazenar para envio posterior ao banco de dados (CitySpeed_Server), permite uma abrangência maior, uma vez que pode não haver conectividade disponível durante determinado trajeto. Outra funcionalidade importante, que é da coleta em segundo plano de execuções do sistema operacional, foi implementada buscando não interferir nas outras funcionalidades do dispositivo.

A interface de utilização do aplicativo foi projetada para ser a mais simples possível, bastando o usuário ativar o botão de monitoramento para que seja iniciada a coleta das velocidades instantâneas. Por ser uma aplicação híbrida, o processo ocorre de maneira idêntica independente do sistema operacional utilizado. Com a permissão de uso da localização através do receptor GPS presente no dispositivo, o aplicativo coleta e envia os dados para à Internet quando há conexão disponível, ainda que em segundo plano de execução.

Como há uma grande variedade de dispositivos disponíveis no mercado, com diferen-

Figura 3.3: Sequência da comunicação entre o CitySpeed_Viewer e o CitySpeed_Server.



tes configurações de processamento, armazenamento e memória de acesso aleatório (RAM), buscou-se uma interface simples que apresenta visualmente a coleta instantânea e automática de dados através do componente de velocímetro.

No geral, esse módulo foi desenvolvido para realizar o envio das localizações obtidas quando o sistema operacional do dispositivo detecta o evento de mudança de localização, de maneira automatizada para o servidor de banco de dados na Internet. Para este trabalho as informações de data e hora da coleta dos dados, coordenadas de latitude e longitude e velocidade instantânea obtidas pelo sistema operacional do dispositivo são enviadas ao módulo servidor, CitySpeed_Server. Cada sistema operacional utiliza seu mecanismo de cálculo aproximado da velocidade média instantânea, levando em consideração também outros sensores dos dispositivos. Neste trabalho a estrutura dados formada pelas informações de localização, velocidade e momento obtidos pelo aplicativo é denominada Ponto de coleta.

3.3.2 Obtenção das velocidades veiculares

Com o crescimento das cidades e o aumento do número de veículos nas vias urbanas, fornecer mecanismos que permitam mensurar a velocidade de deslocamento nas vias pode trazer diversos benefícios ao planejamento das cidades modernas. Em geral, a utilização de sensores físicos, monitoramento por vídeo e outros dispositivos eletrônicos pode ser inviável para algumas cidades devido aos altos custos de infraestrutura

envolvidos. Neste trabalho, é proposta uma Ferramenta para coletar as velocidades nas vias utilizando sensoriamento móvel para fornecer dados valiosos para análises do fluxo de veículos nas cidades, através de técnicas de *crowdsensing*.

O elemento central deste trabalho é a velocidade média que veículos estão se deslocando nas vias (ruas e avenidas) das cidades. Para tanto, foi desenvolvida uma Ferramenta para:

- a) Obter a velocidade dos veículos de forma distribuída, através de uma solução aberta e barata;
- b) Disponibilizar de forma estruturada a informação das velocidades de todos os veículos monitorados, associando informações espaciais e temporais;
- c) Disponibilizar mecanismos de visualização e análise dos dados de velocidade.

Para tanto, diferentes técnicas foram utilizadas para o desenvolvimento da Ferramenta pretendida, fazendo uso de recursos já existentes para fins de implementação.

O módulo CitySpeed_App é baseado nos receptores GPS dos dispositivos móveis (*smartphones*). De fato, estes receptores monitoram continuamente 24 satélites¹ obtendo dados de pelo menos quatro satélites de praticamente qualquer ponto do planeta e aplicam métodos para decidir a posição precisa dos dispositivos [Kaplan e Hegarty 2005]. Assim, com base em coordenadas geográficas providas pelos dispositivos e através do desenvolvimento de um módulo especializado, esses dados são enviados para a Internet (utilizando alguma conexão, quando disponível). Com o engajamento dos usuários do aplicativo, para que se tenha informações suficientes e relevantes sobre as velocidades nas vias, é possível então a obtenção dos dados desejados.

Durante o processo de coleta podem ocorrer inconsistências na obtenção das velocidades, uma vez que os dispositivos podem apresentar alguma falha e acarretar na ausência de dados sobre a velocidade instantânea. Para reduzir essa possibilidade, a velocidade calculada através da distância obtida pela equação de Haversine em intervalos de tempo foi utilizada como informação suporte e adicionada aos registros de cada ponto de coleta no banco de dados PostgreSQL.

Com base nas coordenadas obtidas anteriores ao ponto de coleta atual, é calculada a distância entre elas e o intervalo de tempo em que as coletas ocorreram, e assim, para cada registro de uma identificação dispositivo-aplicativo no banco de dados PostgreSQL é calculada a velocidade média do deslocamento entre as coordenadas obtidas no momento e a imediatamente anterior. Esse cálculo é realizado apenas onde a diferença de tempo entre as coletas for inferior ao limite de 4.350 milissegundos que corresponde ao tempo médio de obtenção de dados geográficos pelo receptor GPS durante os testes realizados.

¹Disponível em <https://www.gps.gov/systems/gps/space/>

3.3.3 Implementação do aplicativo móvel

Como mencionado anteriormente, o módulo CitySpeed_App é baseado no conceito de *crowdsensing*. Para tanto, foi utilizado o *framework* Apache Cordova² para aplicações *Web* por permitir o desenvolvimento de maneira ágil de aplicações híbridas nas diferentes plataformas móveis, onde cada sistema operacional possui seus métodos de interação da aplicação com os recursos dos dispositivos. Nesta abordagem, ao desenvolver um aplicativo, há uma grande abstração da maneira como são acessados os recursos dos dispositivos, pois permite-se que haja interação entre código *JavaScript* executado pela aplicação *Web* renderizada por um navegador de Internet e o código nativo do sistema operacional, ocorrendo por meio da utilização de *plugins* (módulos de extensão). Além de permitir um desenvolvimento e manutenção da aplicação *Web* de maneira mais rápida, utilizar o *framework* Apache Cordova no desenvolvimento possibilita um alcance maior do uso do aplicativo pois, desta forma, os sistemas operacionais na plataforma móvel mais utilizados pelos usuários de *smartphones* podem executar a aplicação e, conseqüentemente, mais dados são coletados pelo *crowdsensing* participativo.

No desenvolvimento do módulo CitySpeed_App foi também utilizado o *framework* Ionic³ para a camada de apresentação da solução, com os componentes de interação visando uma melhor experiência do usuário. O Ionic é um *framework* de código aberto construído sobre a plataforma de aplicações *Web* baseado no *framework* Angular, utilizando a linguagem *TypeScript*, integrando a interface em HTML 5 [Maler et al. 2004]. Para obter simplicidade no processo de coleta, a tela principal do aplicativo apresenta um velocímetro baseado no *plugin* Canvas Gauges [Stadnyk 2017] para acompanhamento e verificação da velocidade instantânea coletada que assemelha-se aos velocímetros analógicos presentes na maioria dos veículos.

O processo de coleta e envio de dados foi desenvolvido com o auxílio do *plugin* *Transistoroft Cordova Background Geolocation* [Scott 2018], que permite a captura das coordenadas geográficas em segundo plano de operações do sistema operacional, visando uma melhor experiência dos usuários. A cada nova localização encontrada dentro de um intervalo de tempo definido pelo sistema operacional, o *plugin* armazena as informações na estrutura configurada no banco de dados interno do aplicativo e realiza o envio dos dados de maneira assíncrona e em lotes quando houver conexão à Internet. Este processo é vital pois caso haja perda de conexão, as velocidades coletadas não são perdidas, garantindo assim o funcionamento esperado.

Em resumo, ao obter as coordenadas geográficas na frequência definida pelo aplicativo móvel, os dados de latitude, longitude, velocidade, data e horário da coleta são armazenados no banco de dados relacional SQLite⁴ do aplicativo. Esse processo é

²Disponível em <https://cordova.apache.org>

³Disponível em <https://ionicframework.com>

⁴Disponível em <https://www.sqlite.org>

necessário para permitir que os dados possam ser enviados para o CitySpeed_Server quando houver conexão com a Internet de modo assíncrono. A cada nova localização encontrada, um registro é inserido no banco de dados local para ser processado posteriormente.

Para permitir um acesso flexível aos dados, o formato JSON foi adotado para transmissão de informações. A Figura 3.4 exhibe o esquema em formato JSON de dados de um ponto de coleta com as variáveis utilizadas e seus tipos de dados associados. A informação do momento da coleta é indicada pelo atributo *timestamp*, as informações obtidas pelo receptor GPS é indicada pelo atributo *coords*, que contém dados de latitude, longitude e velocidade instantânea indicados pelos atributos *latitude*, *longitude* e *speed* respectivamente. Este formato de dados é amplamente utilizado graças à sua flexibilidade e simplicidade em grande quantidade de dados [Baazizi et al. 2017].

Figura 3.4: Estrutura de dados JSON obtida em uma amostra.

```
{
  "timestamp": <DateTime>,
  "coords": {
    "latitude": <Float>,
    "longitude": <Float>,
    "speed": <Float>
  }
}
```

3.4 CitySpeed_Server

Portanto, o módulo CitySpeed_Server foi implementado através de duas bases de dados: uma construída com o Google Firebase, para interação com o CitySpeed_App, e uma construída com o PostgreSQL/PostGIS, para interação com o CitySpeed_Viewer.

O módulo CitySpeed_Server foi desenvolvido utilizando o banco de dados em tempo real Google Firebase⁵. Cada transação realizada com sucesso pelo o banco de dados é confirmada para o aplicativo pelo recebimento da resposta da requisição HTTP [Fielding e Reschke 2014] ao servidor. Após isso, a localização armazenada no banco de dados do aplicativo CitySpeed_App é removida visando não ocupar espaço de armazenamento no dispositivo do usuário.

⁵Disponível em <https://firebase.google.com>

Na etapa da coleta de dados através da aplicação móvel *CitySpeed_App*, que está disponibilizada publicamente, vários dispositivos podem coletar as informações simultaneamente e enviar os dados para o *CitySpeed_Server*. Devido à possibilidade dos dados serem enviados em um momento diferente da sua coleta, o recebimento pelo servidor de banco de dados é assíncrono. Isso garante flexibilidade e robustez à solução como um todo.

O envio dos dados para o *CitySpeed_Server* é realizado através do acesso a um serviço *Web* via API REST [Fielding 2000] disponibilizada pelo banco de dados Google Firebase. Desta forma, os dados coletados pelo aplicativo *CitySpeed_App* podem ser enviados pelo mecanismo de comunicação HTTP implementado. O serviço de autenticação do banco de dados é iniciado pelo aplicativo que obtém uma chave anônima na sua inicialização ou quando há uma falha, que pode ocorrer pela expiração da validade da chave (requisito do banco de dados utilizado) ou por falha na comunicação com o serviço de autenticação do banco de dados Google Firebase.

A requisição HTTP retorna o código 200 para notificar que foi recebida com sucesso pelo servidor e o objeto JSON (formato escolhido) estruturado com os dados da requisição foi persistido no banco de dados. Os dados de uma localização são armazenados tendo como identificador-chave o código da relação dispositivo-aplicação, *Device ID*, associado ao conjunto das informações de coordenadas geográficas, velocidade, identificação registro (gerado automaticamente pelo banco de dados), data e hora, conforme o esquema da Figura 3.4.

No processo de envio de informações pelo *CitySpeed_App* para o banco de dados Google Firebase, cada novo registro é adicionado à estrutura que tem como identificador o *Device ID*, obtido pela aplicação móvel no momento da coleta e enviado para a Internet pela URL do serviço *Web* do banco de dados. Assim, todos registros pertencentes ao mesmo *Device ID* são organizados hierarquicamente como filhos do mesmo nó e assim a inserção é realizada diretamente na chave correspondente.

O processo de recuperação dos dados em tempo real é feito periodicamente, a cada 10 minutos, através de uma rotina programada no *shell* do sistema operacional onde está sendo executado o módulo *CitySpeed_Server*, que realiza um mapeamento automático dos dados de cada registro da estrutura chave-valor gerado pelo banco de dados Google Firebase, para o modelo de dados utilizado no banco de dados de processamento de objetos GIS. A Figura 3.5 apresenta um exemplo de mapeamento dos dados da estrutura chave-valor, onde as coordenadas de latitude e longitude são convertidas para o tipo *geometry* que representa objetos espaciais bidimensionais, no caso um ponto (x,y) num plano, indicado pelo atributo *location*; o registro de data e hora, tendo o fuso horário ajustado para o horário oficial do Brasil (GMT-3) indicado pelo atributo *timestamp* e a velocidade convertida para quilômetros por hora indicado pelo atributo *device_speed*.

Além destes dados, a identificação do registro único na tabela do banco de dados

relacional PostgreSQL é realizada através do atributo *id*. A identificação da chave do registro no banco de dados Google Firebase é armazenada para fins de controle da rotina de mapeamento, indicado pelo atributo *id_firebase* e por fim o atributo *device_id* que armazena a identificação do relacionamento aplicação-dispositivo que é gerado quando o aplicativo é instalado no dispositivo móvel.

Figura 3.5: Mapeamento entre Google Firebase e PostgreSQL/PostGIS.

Firestore	PostgreSQL + PostGIS																					
<pre> -L50Byt9PVs9ug7RJatG latitude: -10.946856 longitude: -37.207315 speed: 28.93 timestamp: "2018-02-15T11:17:42" </pre>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Coluna</th> <th>Valor</th> <th>Tipo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>id</td> <td>35233</td> <td>integer</td> </tr> <tr> <td>id_firebase</td> <td>-L50Byt9PVs9ug7RJatG</td> <td>text</td> </tr> <tr> <td>device_id</td> <td>5b7b2be3c3dd4ece</td> <td>text</td> </tr> <tr> <td>location</td> <td>0101000020E610000039FFC066CA E425C043B92352899A42C0</td> <td>geometry(Geometry,4326)</td> </tr> <tr> <td>device_speed</td> <td>104.15</td> <td>numeric(5,2)</td> </tr> <tr> <td>timestamp</td> <td>2018-02-15 08:17:42</td> <td>timestamp without time zone</td> </tr> </tbody> </table>	Coluna	Valor	Tipo	id	35233	integer	id_firebase	-L50Byt9PVs9ug7RJatG	text	device_id	5b7b2be3c3dd4ece	text	location	0101000020E610000039FFC066CA E425C043B92352899A42C0	geometry(Geometry,4326)	device_speed	104.15	numeric(5,2)	timestamp	2018-02-15 08:17:42	timestamp without time zone
Coluna	Valor	Tipo																				
id	35233	integer																				
id_firebase	-L50Byt9PVs9ug7RJatG	text																				
device_id	5b7b2be3c3dd4ece	text																				
location	0101000020E610000039FFC066CA E425C043B92352899A42C0	geometry(Geometry,4326)																				
device_speed	104.15	numeric(5,2)																				
timestamp	2018-02-15 08:17:42	timestamp without time zone																				

O banco de dados em tempo real Google Firebase possui o recurso de disponibilidade elevada e de flexibilidade para o modo de persistência. Todavia por se tratar de um banco de dados não-relacional NoSQL [Pokorny 2011], tem em contrapartida limitações de consultas que são disponibilizadas pela sua API pública. Devido a essa limitação, faz-se necessária a utilização de outro banco de dados, de modo auxiliar, que possibilite o armazenamento e consultas geográficas visando otimização do processo de análise. O banco de dados relacional PostgreSQL⁶ é utilizado neste módulo, com a extensão PostGIS⁷, que permite o uso de objetos GIS (Sistemas de Informação Geográfica), funções específicas, como a de busca por pontos geográficos em função de uma distância de um outro ponto e a obtenção da distância entre dois pontos geográficos. Os dados armazenados no banco de dados Google Firebase são migrados para o PostgreSQL/PostGIS através da execução de uma rotina.

Portanto, os dados coletados pelo aplicativo móvel, CitySpeed_App, instalados nos *smartphones* dos usuários que transitam pelas vias de uma cidade são enviados para a Internet e armazenados em um servidor de banco de dados, CitySpeed_Server, para que cada ponto geográfico onde a velocidade foi obtida possa ser mapeado num modelo de dados espaciais com os recursos que otimizam consultas a serem realizadas pelo módulo de visualização CitySpeed_Viewer.

⁶Disponível em <https://www.postgresql.org>

⁷Disponível em <https://postgis.net>

3.5 CitySpeed_Viewer

O módulo CitySpeed_Viewer permite ao utilizador obter, através da aplicação de filtros ou restrições, as velocidades obtidas em determinada via. Com base no intervalo de classificação de cores para os pontos geográficos em um mapa, é possível identificar e quantificar as variações das velocidades, que são apresentadas utilizando mapas de calor ponderado por meio da interpolação de cores ou através de gráficos por período. Inicia-se a faixa relacionada ao intervalo de cores a partir do verde, indicando 100% da velocidade máxima (ou 0% da velocidade mínima) até a cor vermelha indicando 0% da velocidade máxima, (ou 100% da velocidade mínima). As velocidades máximas e mínimas utilizadas como referências são calculadas através da média das velocidades obtidas no conjunto pontos de coleta de uma consulta por região ou período.

A Equação 3.1 apresenta o intervalo usado para classificar (I_c) as velocidades obtidas em cada ponto geográfico de uma via em relação à velocidade máxima (V_{\max}) e a velocidade mínima (V_{\min}) de uma consulta de pontos.

$$I_c = [V_{\min}, V_{\max}] \quad (3.1)$$

A obtenção da média das velocidades instantâneas (V_m) coletadas em n pontos p (sendo p uma amostra coletada), com velocidades (V_t), utilizada para a visualização gráfica de velocidades por período é realizada através na Equação 3.2:

$$V_m = \sum_{i=1}^n \frac{V_t(p_i)}{n} \quad (3.2)$$

A Figura 3.6 mostra as variações de cores de 0% a 100% da velocidade de um ponto em relação à velocidade máxima de um intervalo (obtido numa consulta). Cada linha de cor apresenta o intervalo mínimo incluído e máximo não-incluído (exceto para o valor de 100% que é incluído). Desta forma, cada valor obtido nos intervalos de 10% possui uma cor correspondente. A equação 3.3 quantifica a ponderação W para a velocidade obtida na posição i em relação à velocidade mínima e máxima.

$$W = \frac{V_i - V_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}} \quad (3.3)$$

Em outras palavras, a ponderação W é utilizada para definir a porcentagem relativa de V_i no intervalo que vai de V_{\min} a V_{\max} , e, conseqüentemente obter a cor que o ponto geográfico P_i assumirá no mapa. Por exemplo se $W = 0.23$, o ponto geográfico assume no mapa a cor correspondente ao limite de superior a 20% e inferior a 30%. Desta forma é possível classificar, através desta escala, o conjunto de pontos de

coleta exibidos no mapa de calor obtidos de uma consulta. Nessa escala, quanto mais próxima da velocidade máxima de um intervalo for a velocidade coletada num ponto, mais próxima da cor verde este ponto será apresentado no mapa. Da mesma maneira quanto mais distante for a velocidade de um ponto da velocidade máxima, mais próximo do vermelho este será representado no mapa de calor.

Figura 3.6: Escala de cores de acordo com a velocidade máxima.



Para visualização dos resultados foram desenvolvidas páginas *Web*, onde os dados coletados pelos usuários são apresentados seguindo a metodologia deste trabalho. No módulo desenvolvido são realizadas consultas com base nas condições estabelecidas através das seguintes variáveis:

1. Intervalos de datas: definição dos intervalos de tempo para análise, composto por dia, mês, ano, hora e minuto;
2. Raio de alcance: seleção da área a ser analisada, consideração apenas os pontos que distam no máximo o raio definido (em metros) em relação a um ponto selecionado;
3. Endereços: seleção de pontos de coleta localizados em um país, estado, cidade e via.

Para a aplicação do filtro de delimitação da região determinada pelo raio de uma circunferência formada a partir da localização indicada, é utilizada a função *ST_DWithin*⁸ presente na extensão PostGIS do banco de dados PostgreSQL, que retorna todos os pontos de coleta se a distância de um ponto a outro (em metros) é menor ou igual ao valor informado como parâmetro na consulta.

⁸Disponível em https://postgis.net/docs/ST_DWithin.html

O processo de obtenção dos endereços aproximados de cada ponto onde a velocidade instantânea foi coletada é realizado através do serviço de geocodificação reversa do Google Maps API⁹, que disponibiliza um serviço de conversão de coordenadas geográficas em endereços. Esta Ferramenta tem por objetivo encontrar a localização endereçável mais próxima dentro de uma determinada tolerância, para retornar os endereços por país, estado, cidade e via. A visualização das velocidades veiculares em uma via é obtida através da aplicação dos filtros de consulta dos pontos de coleta através de um componente de datas e permite a criação de um mapa de calor com a variação das velocidades do período selecionado.

Os mapas de calor fornecem uma visualização na distribuição de dados sobre uma imagem observada durante um experimento. Tradicionalmente, os mapas de calor apresentam a imagem de fundo com sobreposição de cores semitransparentes [Špakov e Miniotas 2007]. A maioria dessas visualizações usa a cor vermelha para destacar as áreas mais intensamente observadas, e azul ou preto para colorir as partes menos observadas da imagem. As cores em um mapa de calor mudam gradualmente, e a imagem gerada se assemelha a uma imagem topográfica de colinas e vales [Špakov e Miniotas 2007].

O mapa de calor gerado no módulo CitySpeed_Viewer é obtido através da ferramenta Google Maps API. A camada do mapa de calor é uma visualização que apresenta a intensidade dos dados obtidos no intervalo de dados em pontos geográficos. Ao utilizar uma camada de mapa de calor, uma sobreposição colorida é exibida no mapa geográfico. No caso desta Ferramenta, as áreas de maior intensidade são coloridas em vermelho e as de menor intensidade em verde, significando que quanto mais próxima for a velocidade em um ponto geográfico P em relação à velocidade máxima de todo o conjunto de pontos de coleta obtido na consulta, este ponto P terá a cor verde apresentada no mapa (menos intensidade). Do mesmo modo quanto mais próxima for a velocidade de um ponto P da velocidade mínima do conjunto de pontos do qual faz parte, este ponto terá a cor vermelha apresentada no mapa (mais intensidade).

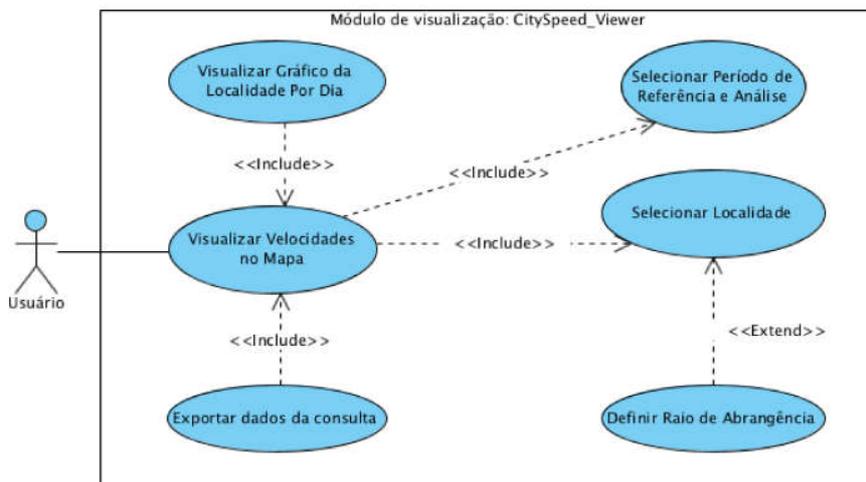
Além disso, buscando facilitar e ampliar o processo de visualização, as médias das velocidades instantâneas são calculadas por dia do período selecionado no momento da consulta e disponibilizada graficamente para que se possa identificar, por exemplo, os dias que as velocidades sofreram maiores variações. Essas informações podem ser obtidas logo após o processo de geração do mapa de calor de dados de uma consulta.

A Figura 3.7 apresenta o diagrama de casos de uso do usuário no módulo CitySpeed_Viewer exibindo as possíveis ações que podem ser executadas a fim de obter a visualização das velocidades no mapa geográfico ou para a exportação das velocidades médias diárias apresentadas numa consulta.

A Ferramenta CitySpeed permite também obter através de gráficos, os resultados de uma consulta de velocidades. Essa funcionalidade é importante para visualizar

⁹Disponível em <https://developers.google.com/maps/documentation/javascript>

Figura 3.7: Diagrama de casos de uso do módulo CitySpeed_Viewer.



as variações das velocidades por período. O agrupamento de dados por período é feito pela média das velocidades instantâneas de cada dia do intervalo da consulta. Há ainda a possibilidade de exportação dos dados dos gráficos em formato JSON visando a integração da Ferramenta com outros sistemas que possam, por exemplo, utilizar dessas informações para realizar análise de fluxo de veículos em uma cidade. A Figura 3.8 apresenta o esquema de dados para exportação por período, com as informações de data, velocidade média diária e a quantidade de pontos de coleta, indicados pelos atributos *date*, *value* e *points* respectivamente. A visualização dos dados graficamente e exportação em formato JSON foram desenvolvidos através do *plugin* AmCharts¹⁰, configurado para utilização neste módulo.

Figura 3.8: Esquema de dados JSON para exportação

```

[
  {
    "date": <DateTime>,
    "value": <Float>,
    "points": <Integer>
  }...
]
    
```

Em resumo, no módulo CitySpeed_Viewer os usuários podem obter dados de velocidades coletados através do módulo CitySpeed_App nas vias de uma cidade em qualquer período, aplicando filtros e gerando mapas de calor ou gráficos de acordo com a velocidade de um ponto que ocorreu a coleta.

¹⁰Disponível em <https://www.amcharts.com>

Capítulo 4

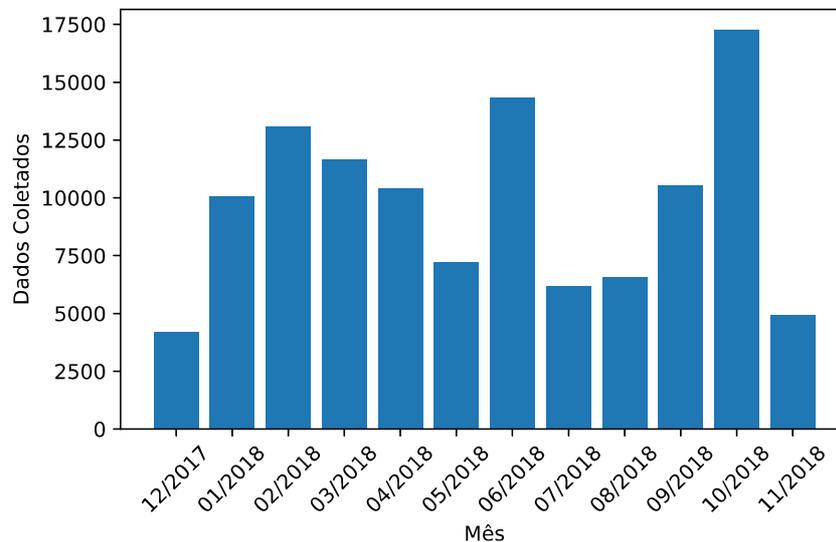
Resultados

Os resultados obtidos no desenvolvimento da Ferramenta CitySpeed estão relacionados à implementação e operação dos módulos (CitySpeed_App, CitySpeed_Server e CitySpeed_Viewer), metodologia de obtenção das velocidades instantâneas, validação das velocidades coletadas pelo aplicativo móvel e os experimentos realizados, detalhando os parâmetros de cada experimento e apresentando as visualizações dos dados coletados. O objetivo é validar a Ferramenta desenvolvida, de maneira mais compreensiva possível, visando embasar sua utilização como uma solução prática efetiva.

Durante o desenvolvimento do projeto, foram coletados dados de velocidades em diferentes pontos geográficos, desde as versões de testes do aplicativo móvel quando este foi disponibilizado apenas para usuários específicos (voluntários). Isso ocorreu para obter dados quando o aplicativo ainda não suportava diferentes modelos de dispositivos. O período total de coleta teve duração de 12 meses. Foram coletados mais de 170.000 dados de velocidades a partir de 221 instalações do aplicativo móvel publicado. Os dados de posicionamento foram obtidos em 465 vias de 166 cidades do mundo.

A Figura 4.1 apresenta a quantidade de dados distribuídos no decorrer dos 12 meses de coleta de velocidades nas vias. Esses dados foram utilizados como base para a validação pretendida. De fato, a escolha das vias consideradas para a realização da coleta de velocidades não levou em conta quaisquer critérios específicos de decisão, sendo tal escolha livremente determinada pela localização dos usuários voluntários da Ferramenta.

Figura 4.1: Quantidade de dados coletados por período.



4.1 Aplicativo móvel CitySpeed_App

A implementação do aplicativo seguiu os requisitos necessários para que a coleta de velocidades ocorresse de maneira eficiente em relação ao dispositivo no qual está sendo executado. Assim, a validação esteve centrada na verificação dessas características.

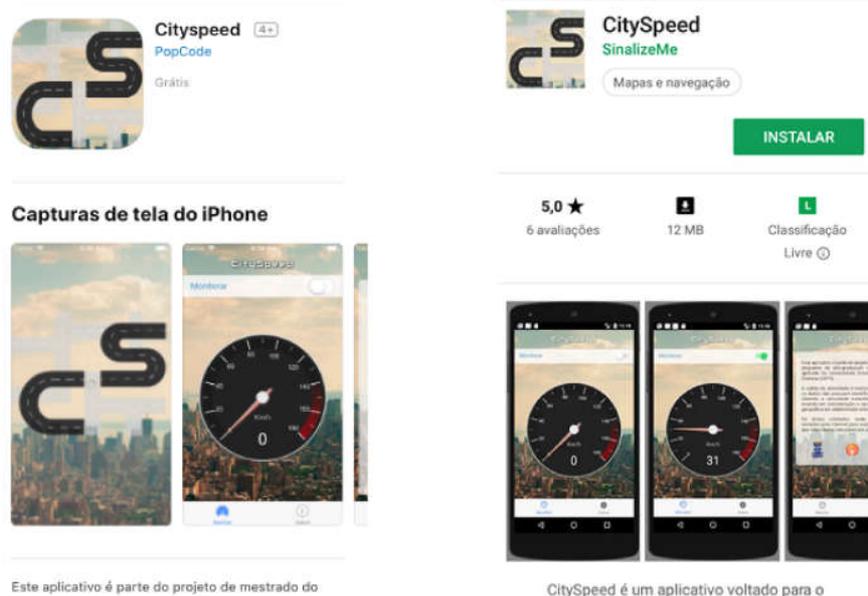
Inicialmente, a necessidade de coletar informações e armazená-las para envio posterior ao banco de dados na Internet permitiu uma abrangência maior de vias, uma vez que pode não haver conectividade disponível durante determinado trajeto. Outra funcionalidade importante, que é da coleta em segundo plano de execuções do sistema operacional, foi implementada buscando não interferir nas outras funcionalidades do dispositivo. Esses objetivos iniciais foram satisfatoriamente atendidos.

A fim de disponibilizar uma versão completa e funcional para a Ferramenta CitySpeed, o módulo CitySpeed_App foi desenvolvido para sistemas operacionais *Android* (disponível na Play Store¹ desde 22/02/2018) e *iOS* (disponível na Apple Store² desde 09/06/2018). O aplicativo foi desenvolvido para ser utilizado de maneira gratuita pelos usuários, disponível durante o período de coleta das regiões, obtendo dados de fluxo de veículos em vias urbanas de várias cidades do mundo. A Figura 4.2 apresenta os aplicativos para sistemas *iOS* (direita) e *Android* (esquerda) publicados nas lojas de aplicativos.

¹<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.cityspeed.app>

²<https://itunes.apple.com/br/app/cityspeed/id1378966756>

Figura 4.2: Aplicativo móvel (CitySpeed_App) publicado nas lojas de aplicativos.



Na Figura 4.3 são apresentadas as telas do aplicativo desenvolvido, sendo executados em simuladores de dispositivos móveis nos sistemas operacionais *iOS*³ (esquerda) e *Android* (direita)⁴, apresentado a interface gráfica principal do CitySpeed_App.

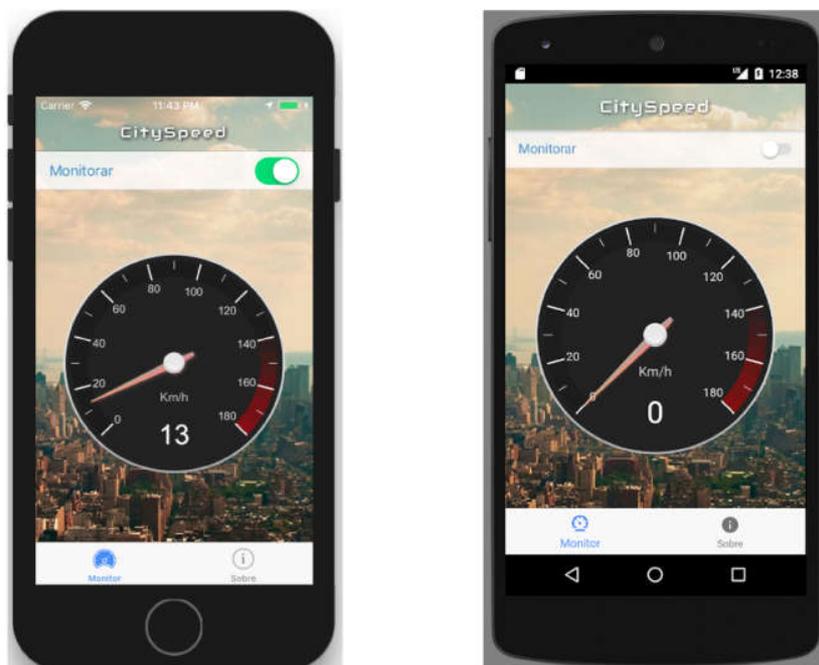
4.2 Utilização da Ferramenta pelos usuários

A possibilidade da identificação de problemas através da análise futura visando a solução ou amenização de problemas como o fluxo de veículos pelas vias de uma cidade é um fator importante para que os usuários sintam-se engajados no uso da aplicação, pois neste processo as vias por onde eles trafegam rotineiramente serão monitoradas para identificar as variações de velocidades veiculares na região. Adicionalmente, considerando o uso prático da Ferramenta após a conclusão deste projeto, espera-se que outros projetos na área de Cidades Inteligentes utilizem a Ferramenta desenvolvida como recurso para obtenção de dados de velocidade, auxiliando em diversos trabalhos. Esse, de fato, é considerado o principal fator de engajamento futuro da Ferramenta.

A partir da divulgação pública da aplicação móvel, juntamente com a informação da possibilidade de participação de cada usuário como elemento-chave na busca pelo melhor entendimento do fluxo de veículos nas vias urbanas, o sistema tende a obter cada vez mais dados para serem utilizados nas análises de velocidades de cada região.

³Disponível em <https://developer.apple.com>

⁴Disponível em <https://www.android.com>

Figura 4.3: CitySpeed_App em execução nos simuladores para *iOS* e *Android*.

A Figura 4.4 apresenta a quantidade de novos usuários do aplicativo durante o período compreendido entre Dezembro/2017 a Novembro/2018.

Por questões de limitações de infraestrutura durante os testes da Ferramenta CitySpeed, foi priorizada a quantidade de pontos de coleta, que consiste na informação de localização geográfica, velocidade instantânea, data e hora enviada para Internet por um dispositivo executando o CitySpeed_App. Desta forma, um usuário da aplicação pode coletar por si só dados para os testes realizados desde que tenha uma quantidade e periodicidade de coleta relevantes.

A Figura 4.5 apresenta o resultado da coleta de dados por cidades que possuem mais registros armazenados. São apresentadas as quantidades de pontos das cidades brasileiras Aracaju (Sergipe), Bagé (Rio Grande do Sul), Brasília (Distrito Federal), Camaçari (Bahia), Estância (Sergipe), Feira de Santana (Bahia), Foz do Iguaçu (Paraná), Salvador (Bahia) e São Paulo (São Paulo). Ainda são apresentados dados das cidades de Bekasi e Kota Bandung (Indonésia) e Nizhniy Novgorod (Rússia). Todos os pontos coletados nessas cidades são oriundos de usuários que foram contactados através de listas públicas de email e por redes sociais do autor do projeto.

A Figura 4.6 apresenta a distribuição espacial dos pontos de coleta durante a fase de experimentação.

Figura 4.4: Quantidade de novos usuários do CitySpeed_App.

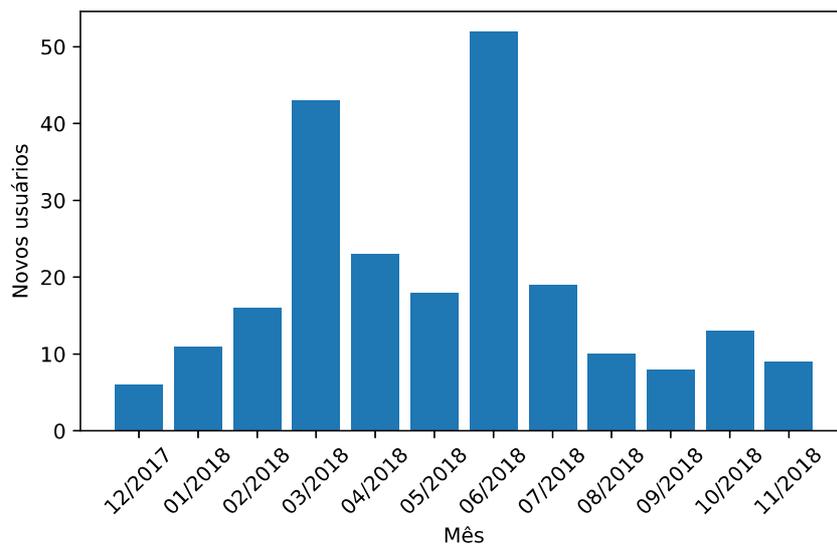


Figura 4.5: Total de dados coletados por cidade.

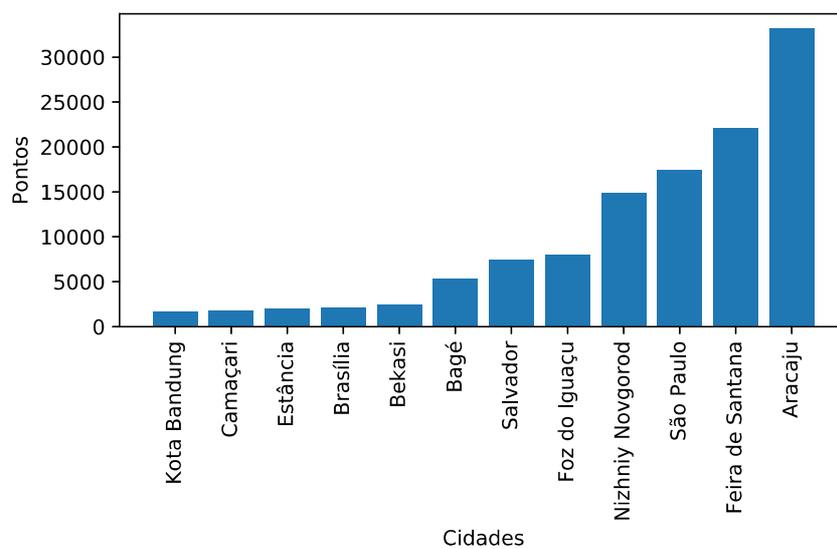


Figura 4.6: Distribuição espacial dos pontos de coleta.



Fonte: Adaptado de <https://maps.google.com>

4.3 Validação das velocidades coletadas

O processo de obtenção das velocidades por meio do aplicativo ocorre através da comunicação unidirecional do dispositivo com o Sistema Global de Navegação (GNSS) ao redor do globo terrestre. Segundo [Kaplan e Hegarty 2005] um receptor GPS converte a diferença de tempo entre a transmissão do sinal do satélite e a recepção do sinal para o receptor em uma distância conhecida como uma pseudo-faixa, que pode ser usada para calcular a posição do usuário com base em um processo de multi-laterização, uma técnica baseada na medição da diferença de distância de duas estações em locais conhecidos por sinais de transmissão em tempos conhecidos.

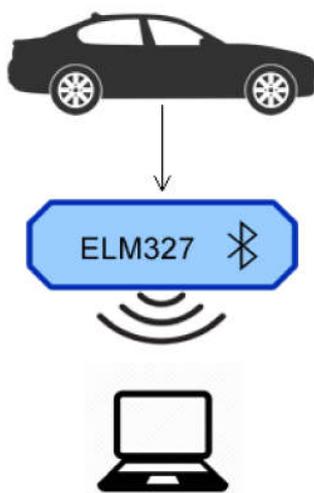
O módulo CitySpeed_App obtém a velocidade instantânea através da API de serviços providos pelo sistema operacional do dispositivo. As medições de GPS baseadas nos *smartphones* possuem uma precisão muito menor em comparação com os receptores de nível profissional. Por outro lado, a profunda penetração dos *smartphones* no mercado consumidor oferece oportunidade para personalizar novas soluções [Chowdhury et al. 2014].

4.3.1 Utilização do OBD-II

Uma pergunta importante durante a validação do projeto é se a velocidade obtida pelo GPS é confiável para embasar a operação da Ferramenta. Para sanar essa dúvida, experimentos específicos foram realizados, visando comparar a velocidade calculada pelo GPS (através de dois algoritmos diferentes) com a velocidade obtida diretamente da central eletrônica veicular.

Para obter as velocidades de referência para validação foi utilizado o micro-controlador ELM327⁵ para comunicação via OBD-II com a central eletrônica dos veículos, sendo necessária a utilização de um software para realizar as leituras das instruções obtidas pelo ELM327 para serem interpretadas corretamente. A Figura 4.7 apresenta o esquema típico da comunicação citada para coleta da velocidade de um veículo em movimento.

Figura 4.7: Fluxo da comunicação para obter dados do veículo.



Foi utilizado o software ScanMaster-ELM⁶ para leitura dos dados obtidos pelo ELM327 instalado no veículo, conectando o adaptador à interface de comunicação OBD-II. A comunicação entre o micro-controlador e o software é realizada através da rede Bluetooth. Este software foi instalado num computador com sistema operacional Windows 8. Como a rede Bluetooth requer uma distância máxima de 10 a 15 metros é necessária a presença do computador durante a obtenção dos dados. A Figura 4.8 mostra o dispositivo conectado ao veículo durante a validação (apenas um veículo foi utilizado nessa fase).

⁵Disponível em <https://www.elmelectronics.com/products/ics/obd/>

⁶Disponível em <https://www.wgsoft.de/en/>

Figura 4.8: ELM327 instalado no veículo do experimento.



4.3.2 Obtenção dos dados via OBD-II e CitySpeed_App

Para realizar a validação dos dados, o relógio do computador que recebeu as informações pelo OBD-II foi sincronizado com o relógio do dispositivo móvel onde o CitySpeed_App foi instalado. Isso foi necessário uma vez que os dados de velocidade instantânea coletadas em ambos dispositivos são relacionadas com o momento da captura.

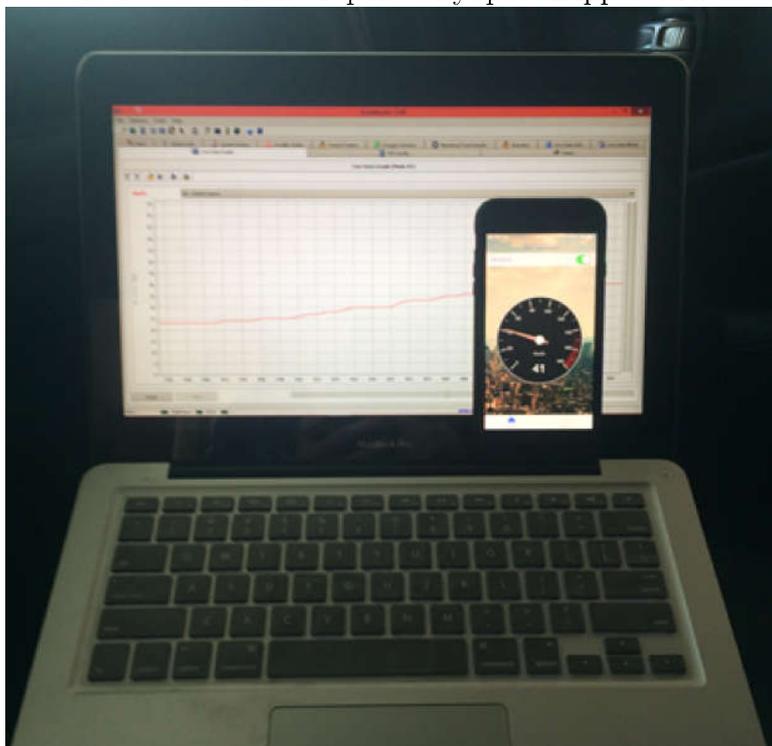
O dispositivo OBD-II foi instalado no veículo Fiat Toro Diesel 2.0 2017/2018 com as características originais do fabricante e pneus calibrados de acordo com o manual do veículo⁷. O veículo utilizado para obtenção das velocidades foi homologado pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) de acordo com a Resolução 242/2000⁸ a respeito das informações disponibilizadas pela central eletrônica do veículo. As velocidades coletadas de cada dispositivo foram armazenadas e exportadas para comparação posterior. O tempo de atualização das localizações do GPS foi configurado para o valor de 3000 milissegundos, o mesmo período configurado para leitura do OBD-II. Desta forma, foi possível obter as velocidades desenvolvidas pelo veículo utilizando OBD-II e comparar tanto com as velocidades obtidas pelo receptor GPS e quanto a velocidade calculada através do tempo gasto ao percorrer a distância obtida pela diferença geográfica entre dois pontos pela equação de Haversine.

A Figura 4.9 exibe a coleta dos dados do veículo através do OBD-II em movimento, ao mesmo tempo que é realizada a coleta dos dados de velocidade através do aplicativo CitySpeed_App.

⁷Disponível em <https://www.fiat.com.br/content/dam/fiat-brasil/manuais-carros/toro/2017/60355955-Toro-BR.pdf>

⁸Disponível em <http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/15-2000/129-resolucao-242>

Figura 4.9: Velocidades coletadas pelo CitySpeed_App e através do OBD-II.

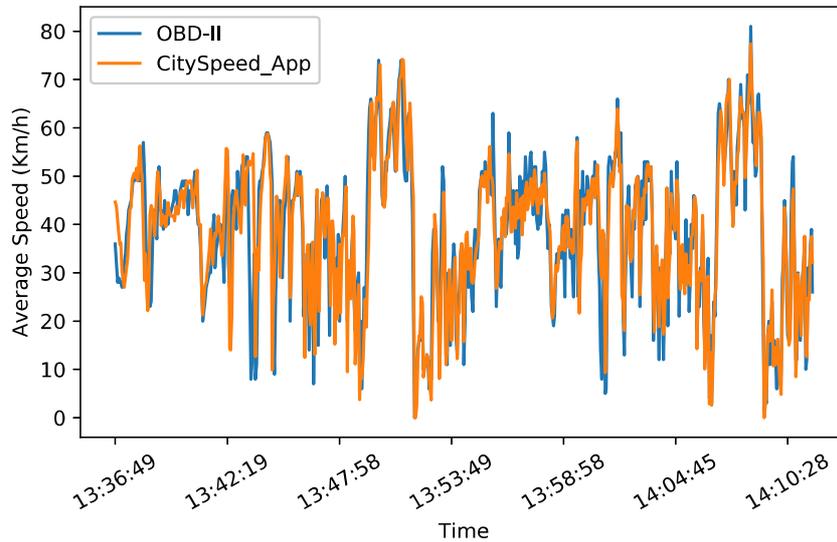
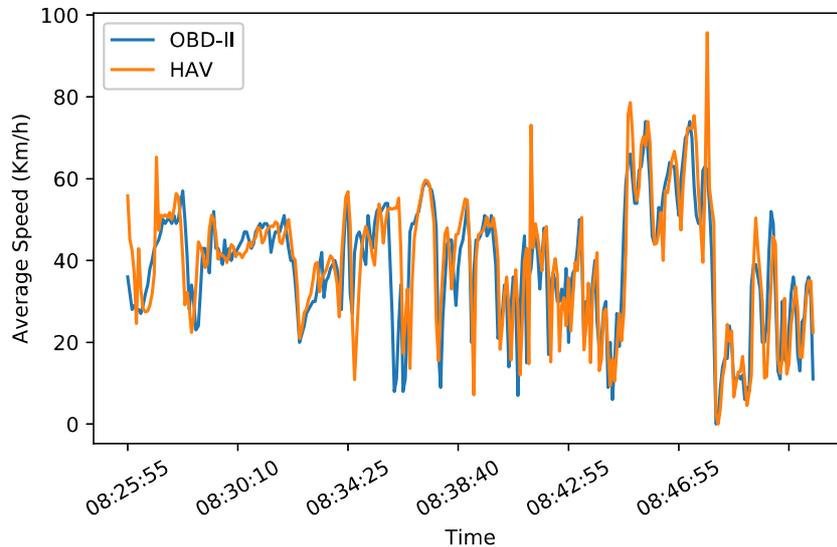


Os experimentos realizados para validação das velocidades pelo aplicativo CitySpeed_App ocorreram na cidade de Feira de Santana, Bahia, no dia 23 de setembro de 2018, e na cidade de Aracaju, Sergipe, no dia 04 de outubro de 2018. Em Feira de Santana foram obtidos 623 dados de velocidades durante aproximadamente 32 minutos, percorrendo continuamente 35km em vias da cidade. Em Aracaju foram coletados 506 dados de velocidades durante aproximadamente 25 minutos, percorrendo continuamente 18km nas vias da cidade. Nos experimentos buscou-se trafegar por áreas com alto e baixo fluxo de veículos com variações de velocidade de 0km/h até o limite de 80km/h, que é a velocidade máxima em vias urbanas segundo o artigo 61 do Código Brasileiro de Trânsito⁹.

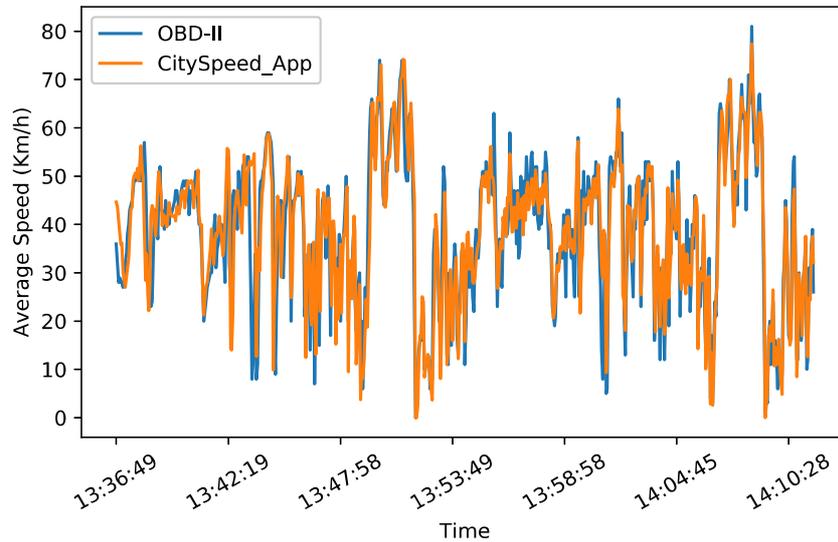
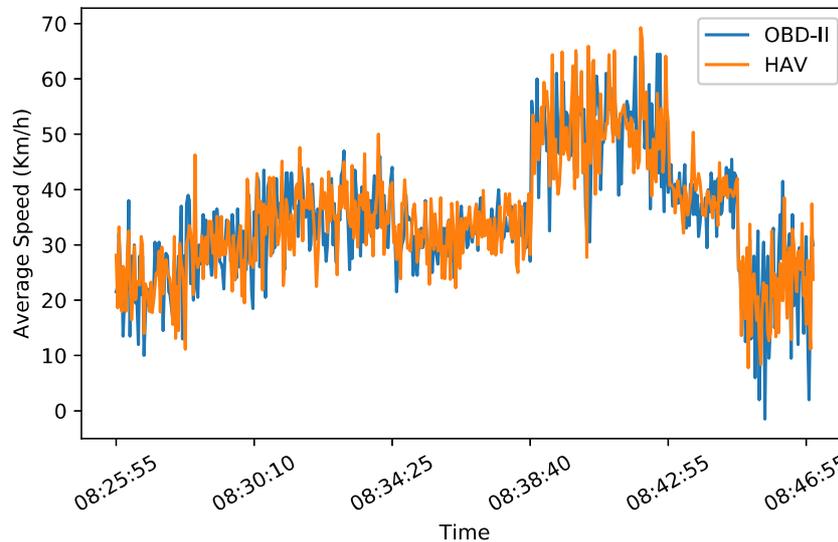
Os resultados obtidos no experimento em dispositivos com sistema operacional *iOS* são apresentados na Figura 4.10 e na Figura 4.11. Para o sistema operacional *Android* são apresentados os resultados na Figura 4.12 e na Figura 4.13. Em cada caso foram comparadas as velocidades obtidas pelo OBD-II com a velocidade obtida através do Receptor GPS (RGPS) e com a velocidade obtida pela distância via equação de Haversine em intervalos de tempo (HAV).

Os diagramas de dispersão são utilizados para verificar se existe relação entre duas variáveis. Isto não prova que uma variável afeta a outra, mas determina se existe

⁹Disponível em <http://www.ctbdigital.com.br/artigo/art61>

Figura 4.10: Relação OBD-II x RGPS (*iOS*).Figura 4.11: Relação OBD-II x HAV (*iOS*).

relação e qual a intensidade da relação entre elas [Friendly e Denis 2005]. As Figuras 4.14 e 4.15 apresentam os diagramas de dispersão entre as amostras coletadas pelo OBD-II comparadas com as amostras do RGPS e HAV respectivamente, obtidas através do sistema operacional *iOS*. O mesmo tipo de diagrama é apresentado nas Figuras 4.16 e 4.17 para o conjunto de dados das amostras do RGPS e HAV respectivamente, obtidas através do sistema operacional *Android*.

Figura 4.12: Relação OBD-II x RGPS (*Android*).Figura 4.13: Relação OBD-II x HAV (*Android*).

Para determinar a correlação entre os valores das amostras de velocidades coletadas, foi calculado o coeficiente de dispersão entre elas. O coeficiente de correlação de Pearson é também conhecido como o coeficiente de correlação da amostra, sendo comumente usado para medir relações lineares e gerais entre duas variáveis, obtido pela divisão da covariância de duas variáveis pelo produto dos seus desvios padrão [Zou et al. 2003]. A Equação 4.1 define o coeficiente de Pearson (r) entre n valores de duas amostras x e y onde \bar{x} e \bar{y} representam as médias dessas amostras.

Figura 4.14: Diagrama de dispersão OBD-II x RGPS (*iOS*).

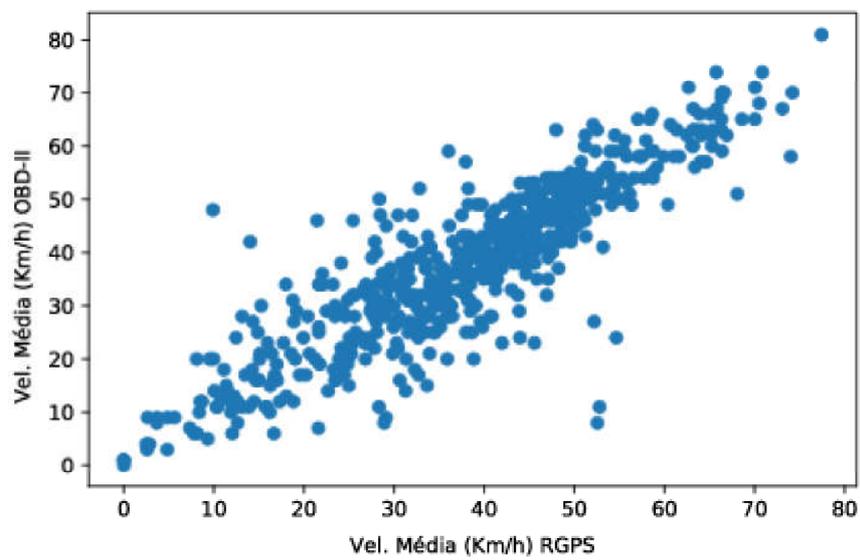


Figura 4.15: Diagrama de dispersão OBD-II x HAV (*iOS*).

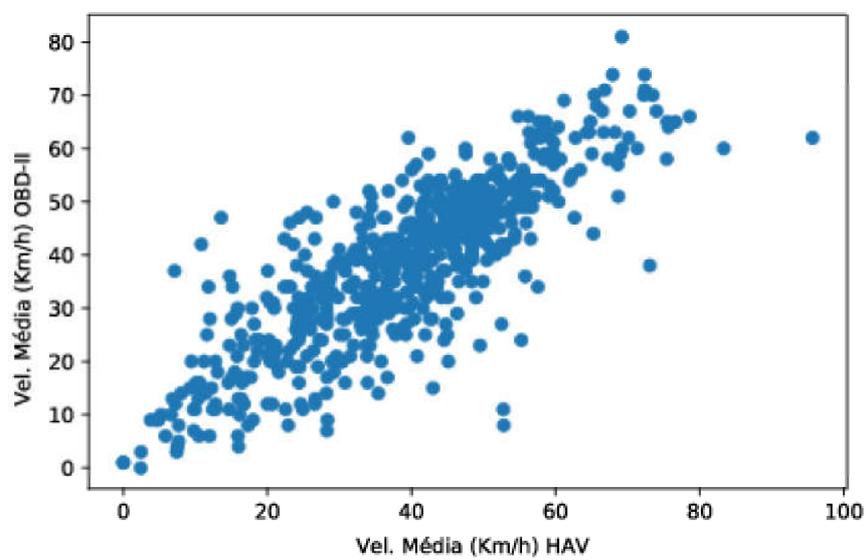


Figura 4.16: Diagrama de dispersão OBD-II x RGPS (*Android*).

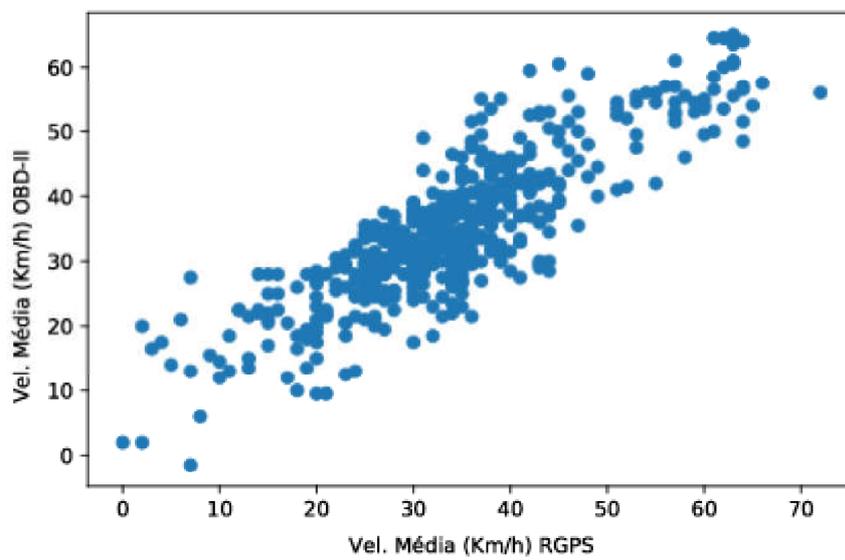
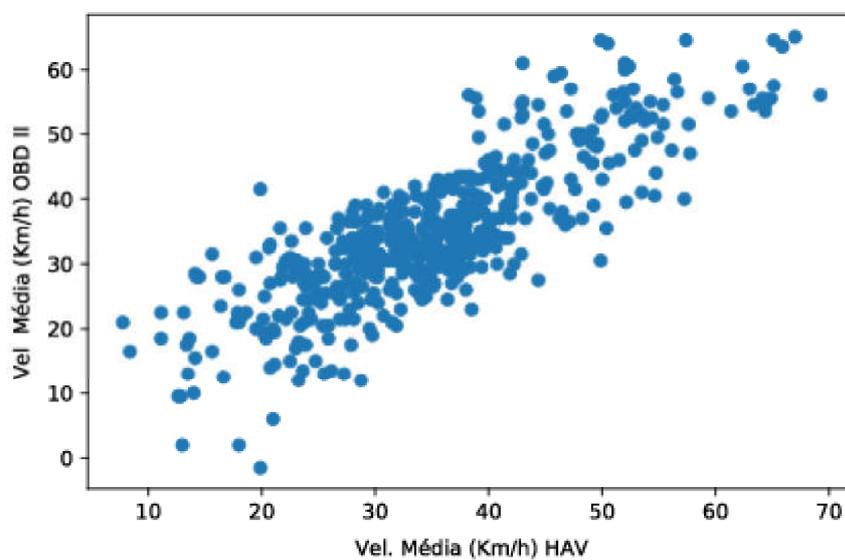


Figura 4.17: Diagrama de dispersão OBD-II x HAV (*Android*).



$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4.1)$$

A Tabela 4.1 mostra a interpretação do coeficiente e a força de correlação entre as duas amostras. No experimento realizado, a correlação entre os valores das amostras obtidas pelo receptor GPS (RGPS) no sistema operacional *iOS* com o OBD-II foi de 0,879562 e do OBD-II com o deslocamento geográfico (HAV) foi de 0,801862. Para as amostras obtidas pelo receptor GPS (RGPS) no sistema operacional *Android* com o OBD-II a correlação foi de 0,851335 e do OBD-II com o deslocamento geográfico (HAV) foi de 0,821977. Estes valores determinam uma forte correlação entre as amostras para fins de validação das velocidades coletadas pelo aplicativo desenvolvido.

Tabela 4.1: Interpretação do coeficiente de correlação.

Valor do coeficiente de correlação	Força da Correlação
±1.0	Perfeita
±0.8	Forte
±0.5	Moderada
±0.2	Fraca
0.0	Nula

Fonte: Adaptado de [Zou et al. 2003]

Assim, após a realização desses experimentos, verificou-se que é possível utilizar o método de cálculo de velocidade baseado no GPS (RGPS) e pelo deslocamento geográfico em intervalos de tempo (HAV), sendo o primeiro, o principal modelo adotado para o módulo *CitySpeed_App*. Embora outras métricas de velocidade não tenham sido consideradas, acreditamos que a solução adotada é adequada para a maioria das aplicações em Cidades Inteligentes baseadas em velocidade veiculares.

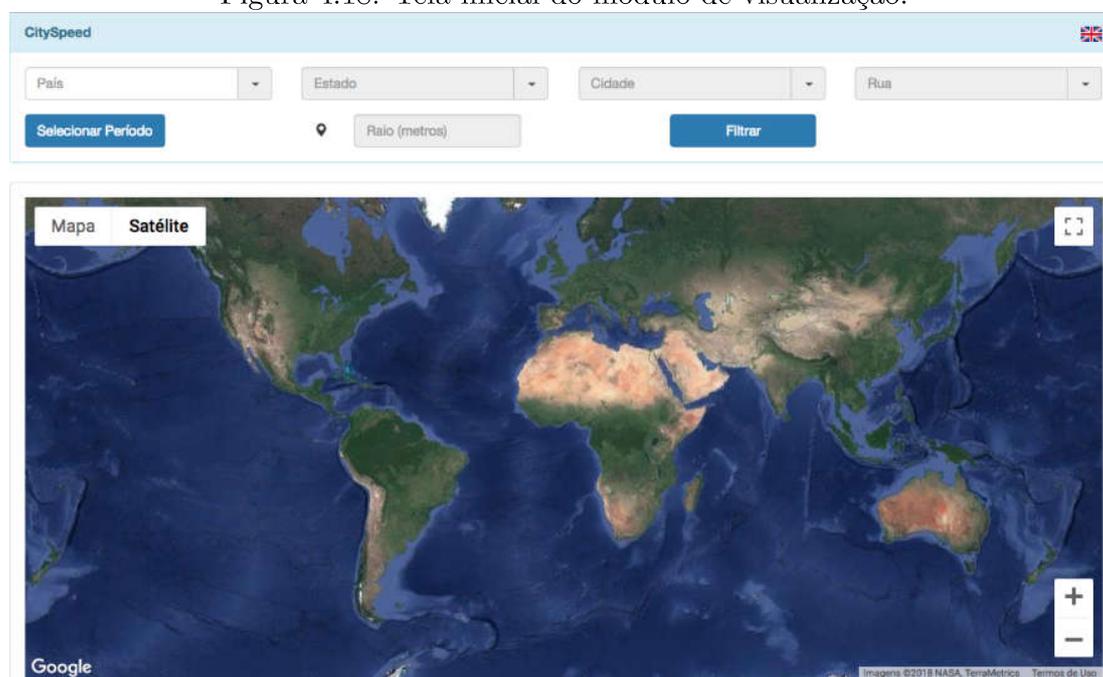
4.4 Operação do módulo *CitySpeed_Viewer*

Após a validação dos algoritmos da Ferramenta, pôde-se verificar a interação da solução com o usuário e com os recursos disponíveis.

Considerando o uso do módulo *CitySpeed_Viewer*, O módulo de visualização foi desenvolvido para permitir a geração de mapas de calor de acordo com as diferenças de velocidades obtidas nos pontos de coleta (em relação à velocidade máxima e mínima em uma restrição de consulta aplicada para determinada área e/ou período). Para isto, foi necessária a criação de uma interface que permitisse a aplicação de restrições, que quando combinadas, possibilitassem a limitação de uma consulta. A

Figura 4.18 apresenta os elementos necessários para a realização da consulta, com os campos de seleção de país, estado, cidade e rua. As opções apresentadas levam em consideração as informações já cadastradas para que o nível máximo de detalhamento de uma via, no caso o nível de endereço “rua”, seja utilizado e retornando apenas os dados coletados para esta região. A página principal do CitySpeed_Viewer pode ser acessada no endereço eletrônico: <http://cityspeed.adsonvinicius.com.br>, com a possibilidade de alteração do idioma do conteúdo para a língua inglesa.

Figura 4.18: Tela inicial do módulo de visualização.



Foi inserido também o componente de “calendário”, para que através da seleção de dias seja definido o intervalo de consulta, conforme apresentado na Figura 4.19. Essa opção pode ser utilizada para restrições de dias e horários em uma consulta. O componente permite a seleção de um ou mais dias como intervalos de consulta, maximizando assim a quantidade de pontos de coleta nos resultados.

Na tela exibida no módulo há também a restrição de “raio de alcance”, que pode ser aplicado para delimitar a partir de um ponto selecionado no mapa quais localizações devem ser consideradas; nesta funcionalidade, a informação é passada em metros e uma área circular vermelha é apresentada em escala real, com raio idêntico ao parâmetro de consulta informado. A Figura 4.20 apresenta um exemplo de aplicação da restrição de raio para a cidade de Feira de Santana, Bahia, para que sejam consideradas apenas dois trechos das vias que distam, no máximo, o raio informado.

Ao realizar uma consulta com base nas restrições informadas pelo usuário, um mapa

Figura 4.19: Seleção de intervalos de datas consulta.

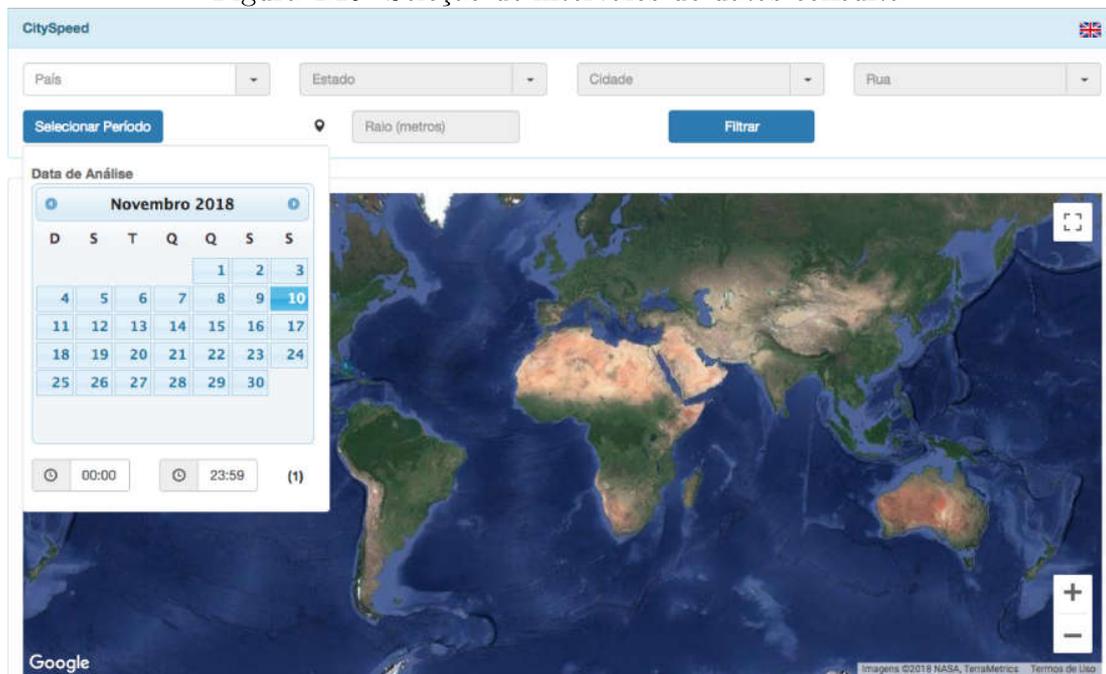
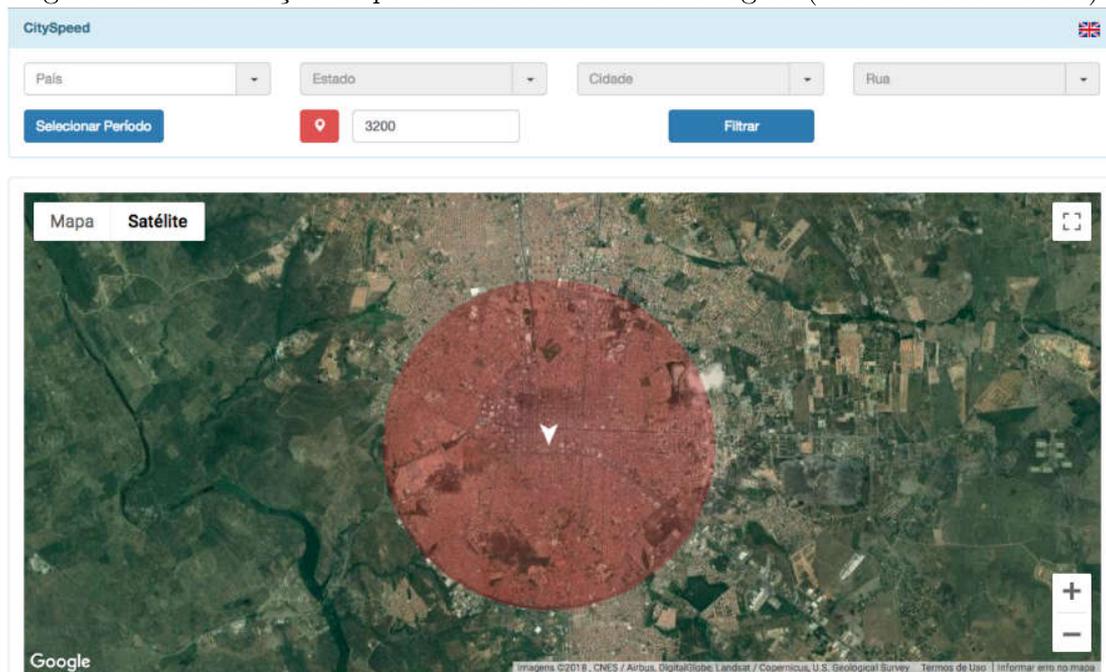
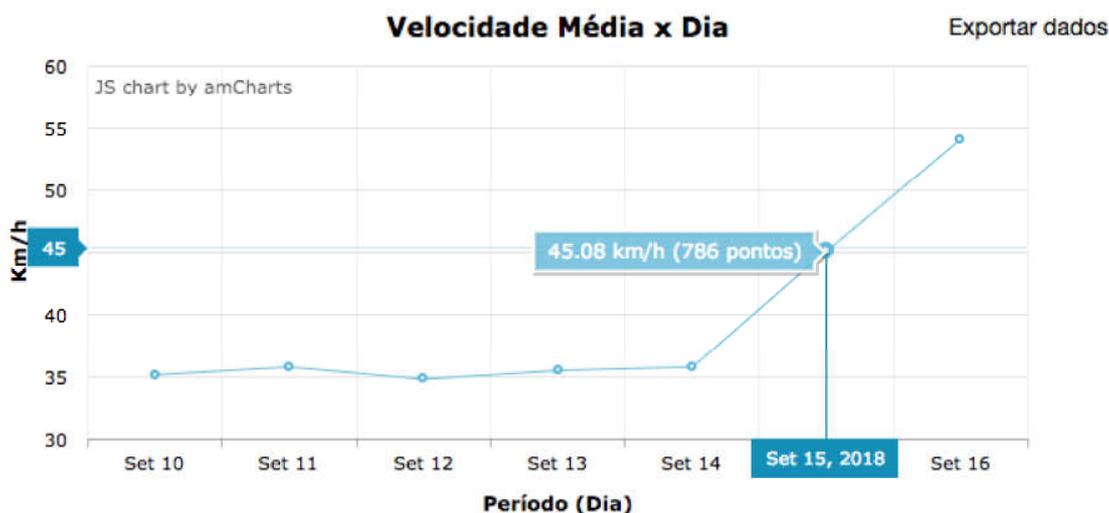


Figura 4.20: Limitação de pontos de coleta em uma região (raio de 3.200 metros).



de calor é apresentado na tela principal do módulo CitySpeed_Viewer, que leva em consideração o intervalo selecionado para obtenção dos dados. Além disso, é possível visualizar informações de velocidades média diárias desse intervalo. A Figura 4.21 apresenta, como exemplo, o resultado de coleta de velocidades veiculares durante o período compreendido entre os dias 10 e 16 de setembro de 2018, no trecho compreendido da Avenida Getúlio Vargas, na cidade de Feira de Santana, Bahia. Através do gráfico é possível inferir, por exemplo, o aumento da velocidade média diária quando a coleta ocorreu durante o final de semana, que é quando o fluxo de veículos normalmente é menor. Para cada ponto de inflexão do gráfico há um destaque para a velocidade média do período e a informação a respeito da quantidade de pontos de coleta naquele dia.

Figura 4.21: Exemplo de resultado gráfico de coleta durante um período.



As informações exibidas no gráfico podem ser exportadas em formato padronizado JSON para que possam ser utilizadas por algum sistema externo de análise de dados de velocidades urbana, por exemplo, facilitando assim a comunicação entre eles. A obtenção do arquivo JSON é possibilitada através do *link* "Exportar Dados".

4.5 Resultados experimentais de uso da Ferramenta

São apresentados nesta seção alguns dos experimentos realizados utilizando a Ferramenta CitySpeed para coleta de velocidades, juntamente com a visualização do conjunto dos pontos de coleta nas cidades onde foram realizados os testes. São detalhados em cada experimento a localização, quantidade de pontos de coleta, periodicidade e número de dispositivos. Ao completar as etapas de cada módulo da

Ferramenta, desde a coleta de dados a partir de fontes validadas até a sua visualização, é possível realizar a interpretação da consulta no mapa de calor e/ou gráficos sobre o fluxo de veículos em uma ou mais vias de uma cidade.

Na Figura 4.22 é apresentado um exemplo de dois *smartphones*, um com o sistema operacional *Android* (esquerda) e outro com o sistema *iOS* (direita), executando a mesma aplicação do módulo *CitySpeed_App* desenvolvida, durante um teste de coleta de dados numa via.

Figura 4.22: Teste de coleta pelo *CitySpeed_App*.



No conjunto total de experimentos realizados, apenas são apresentados os dados das cidades que obtiveram as maiores quantidades de dados coletados durante o período de 12 meses. São exibidos os mapas de calor e gráficos das variações de velocidades em vias das cidades de Aracaju, Feira de Santana, Nizhniy Novgorod e São Paulo.

Para a avaliação da Ferramenta *CitySpeed* na cidade de Feira de Santana foi utilizado o recurso de restrição por vias presente no módulo *CitySpeed_Viewer* para determinar o segmento da Avenida Getúlio Vargas (importante via da cidade), no período da manhã (de 07:00 às 10:00) e considerando o intervalo entre os dias 10 e 14 de setembro de 2018. Foram coletados dados por 34 dispositivos, resultando no total de 5.911 pontos de coleta. A Figura 4.23 apresenta o mapa de calor gerado a partir da consulta realizada para estas restrições.

No próximo experimento, apresentamos os dados coletados para a cidade de Aracaju, porém não considerando apenas uma determinada via, mas sim toda os dados coletados na cidade. O mapa de calor da Figura 4.24 apresenta as regiões da cidade onde há as variações em relação à media de velocidades de todas localidades onde houve coleta de dados. No período de 12 meses foram obtidos dados em 62 dispositivos no total de 30.639 pontos de coleta na cidade.

Figura 4.23: Visualização dos dados em via da cidade de Feira de Santana.

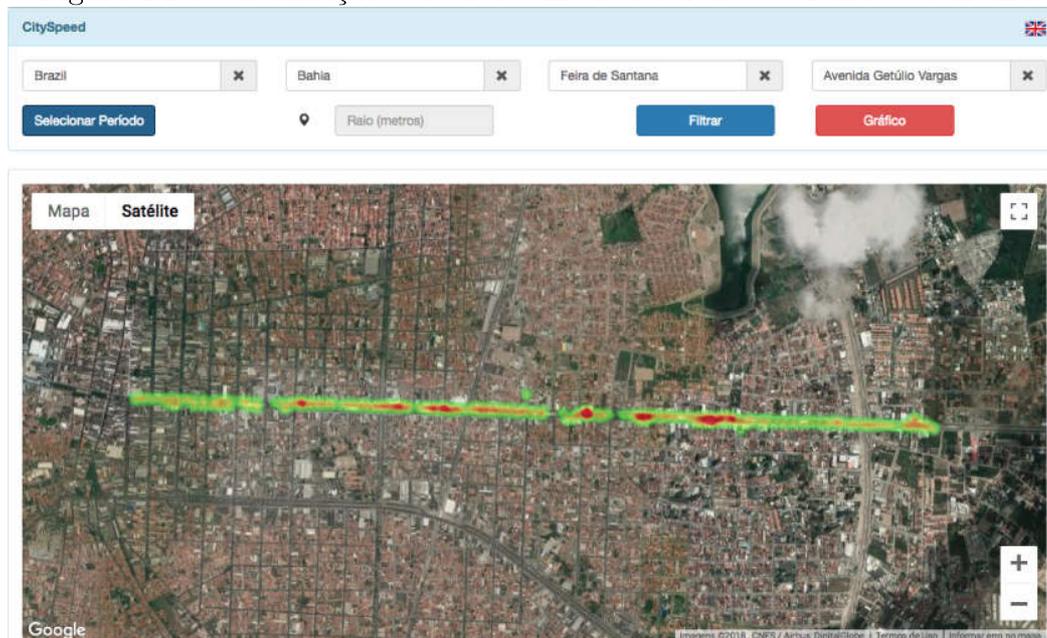
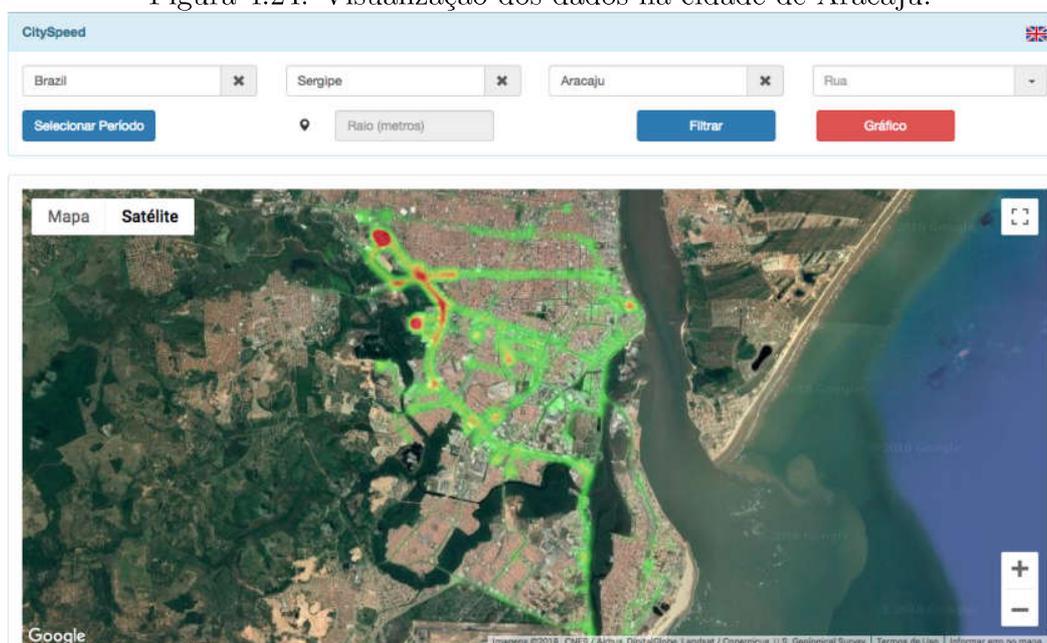


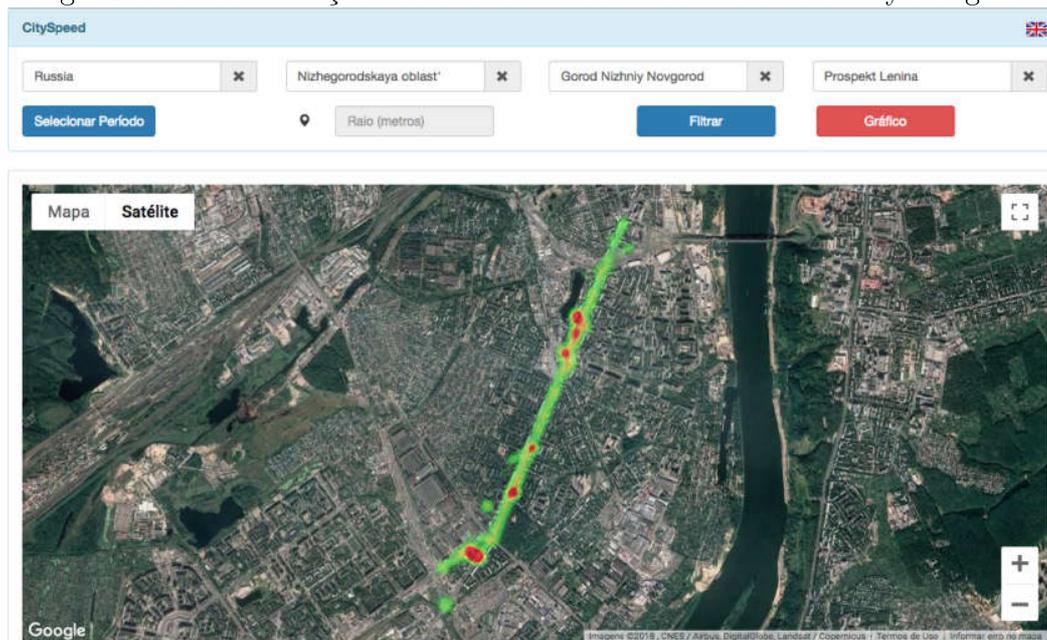
Figura 4.24: Visualização dos dados na cidade de Aracaju.



O experimento na cidade de Nizhny Novgorod (Rússia) foi realizado utilizando o recurso de restrição por vias e de limitação por raio de abrangência para obter os pontos de coleta de um trecho da Avenida Prospekt Lenina. O período de consulta ocorreu de 01/05/2018 a 31/08/2018. Para este período foram coletados dados em

32 dispositivos no total de 2.469 pontos de coleta. A Figura 4.25 apresenta o mapa de calor para velocidades gerado a partir da consulta dos dados.

Figura 4.25: Visualização dos dados em via da cidade de Nizhniy Novgorod.



O último experimento apresenta a coleta de dados de velocidades para avaliação da Ferramenta nas vias próximas ao centro da cidade de São Paulo, que ocorreu no período de 22/03/2018 a 30/07/2018. O mapa de calor da Figura 4.26 mostra as variações de velocidade em relação à média de velocidades de toda a região. Foram coletados dados em 23 dispositivos no total de 11.245 pontos de coleta obtidos pela consulta. A Figura 4.27 apresenta o gráfico dos dias onde houve coleta de dados em relação à velocidade média diária dos pontos de coleta da consulta no experimento.

De fato, os dados apresentados são importantes indicativos da versatilidade da Ferramenta para obtenção e visualização de dados veiculares em vias urbanas, o que pode beneficiar sobremaneira aplicações na área de Cidades Inteligentes e Planejamento Urbano. Embora muitos outros dados pudessem ser apresentados nesta seção, o objetivo foi apresentar exemplos práticos sobre o uso da Ferramenta, deixando análises de dados para trabalhos futuros. No geral, esperam-se que pesquisadores e engenheiros obtenham uma poderosa Ferramenta nesse quesito, acelerando o desenvolvimento de soluções que podem trazer significativos benefícios para a vida das pessoas.

Figura 4.26: Visualização dos dados na cidade de São Paulo.

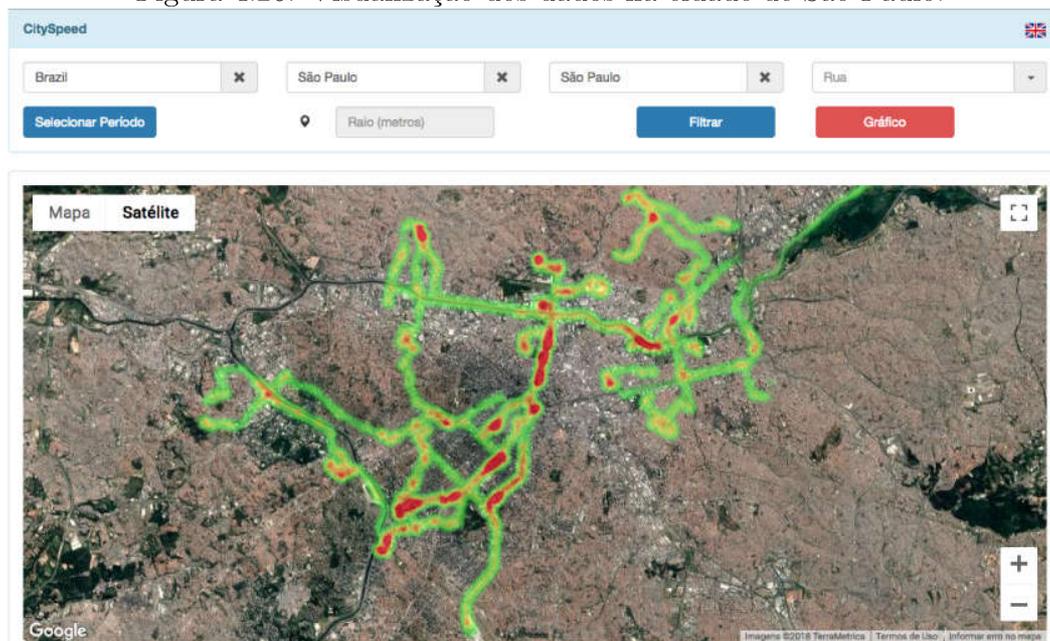
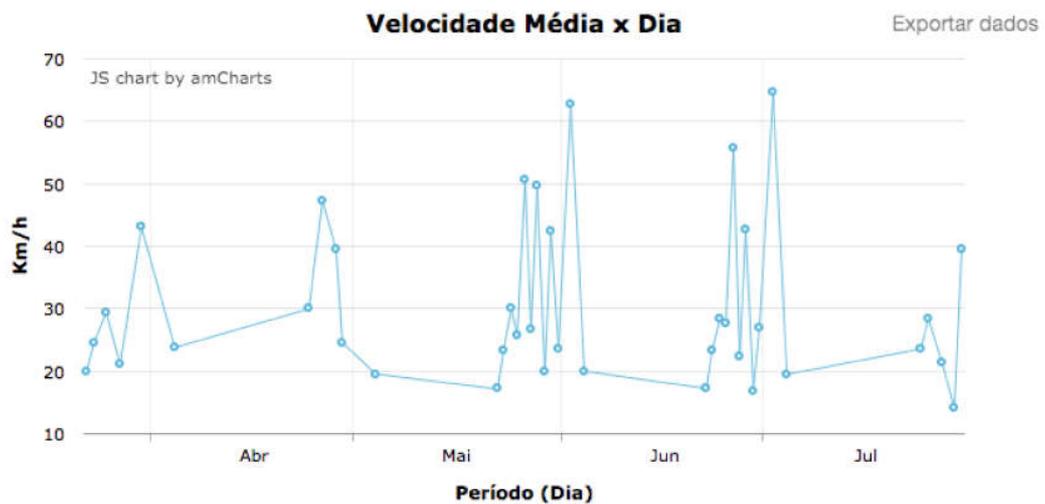


Figura 4.27: Gráfico das médias de velocidades diárias na cidade de São Paulo.



Capítulo 5

Considerações Finais

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de uma Ferramenta para coletar e visualizar dados sobre velocidades veiculares, fazendo uso de diversas tecnologias para, potencialmente, melhorar a infraestrutura e os serviços nas cidades. De fato, a massiva utilização de *smartphones* possibilita a obtenção de dados providos por sensores nestes dispositivos, entre eles a geolocalização através dos satélites GPS ao redor do planeta. O *crowdsensing* participativo permite então que as pessoas possam colaborar para a solução de um problema comum a outros indivíduos, como a mobilidade urbana.

O processo de coleta através da aplicação móvel desenvolvida foi validada em comparação com as velocidades obtidas diretamente de um veículo através do barramento de comunicação OBD-II. Os diagramas de dispersão das amostras coletadas durante o experimento, além do cálculo do coeficiente de correlação de Pearson entre elas, apresentaram uma forte correlação entre as variáveis das amostras de velocidades médias instantâneas coletadas, reforçando a ideia de que o cálculo de velocidades veiculares pelo GPS é viável e de baixo custo.

Por fim, os pontos de coleta, que correspondem à estrutura de dados de uma informação de velocidade em determinado ponto geográfico, foram utilizados para representação em mapas de calor, que tem em sua escala de cores as variações de velocidade em um ponto de acordo com as velocidades máximas e mínima de um conjunto de pontos que ele pertence. O mapa de calor sobreposto a um mapa geográfico aponta as áreas onde houve redução ou aumento de velocidades em relação a uma velocidade média numa consulta de pontos. Esse recurso é, portanto, valioso para muitas aplicações, tendo sido desenvolvido de forma satisfatória neste trabalho.

5.1 Contribuições

A crescente demanda por informatização das cidades para um planejamento urbano mais adequado à realidade fomenta uma maior exploração de tecnologias para beneficiar essa área. A obtenção de dados sobre as cidades para serem analisados e estudados é cada vez mais inerente ao processo de desenvolvimento e controle urbano. Assim, uma fonte de informações sobre a velocidade com a qual os veículos trafegam nas vias em determinada região pode ser utilizada para entender, por exemplo, se há a necessidade de um melhor planejamento de tráfego nessa região.

Além disso, obter estas informações de uma maneira menos dispendiosa para a cidade permite, por exemplo, que ela concentre os recursos financeiros já na solução de algum problema que seja detectado através da utilização da Ferramenta proposta, por meio da visualização de áreas onde as velocidades desenvolvidas pelos veículos possam requerer alguma atenção especial.

O desenvolvimento de uma Ferramenta de acesso público permite que os mais diversos setores públicos ou privados possam estimular pessoas a utilizarem a Ferramenta para obter dados sobre velocidades em vias de uma cidade. O histórico de velocidades é importante pois é uma fonte de informações de tráfego para efeito de comparações e análises.

5.2 Pesquisas Futuras

A existência de uma Ferramenta para coleta e visualização de dados de velocidade de maneira pública permite que outros trabalhos possam ser desenvolvidos baseando-se nos dados obtidos através de *crowdsensing*. Porém, a própria Ferramenta desenvolvida pode evoluir para oferecer serviços adicionais.

São listadas a seguir algumas das pesquisas futuras que podem ser realizadas como extensão deste Trabalho. Entre as extensões que podem ser realizadas, podem-se destacar:

1. Análise do impacto da ocorrência de um evento em vias urbanas;
2. Análise da modernização de cidades em função da velocidade veicular nas vias urbanas;
3. Sistema de recomendação de vias alternativas em função do fluxo de veículos;
4. Planejamento de espaços urbanos em função da velocidade veicular em vias públicas;
5. Melhoria do sistema de armazenamento dos dados visando mais rapidez no processamento das consultas.

Referências Bibliográficas

- [Al-Fuqaha et al. 2015] Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., e Ayyash, M. (2015). Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 17(4):2347–2376.
- [Al-Turjman 2017] Al-Turjman, F. (2017). Vehicular speed learning in the future smart-cities’ paradigm. In *2017 IEEE 42nd Conference on Local Computer Networks Workshops (LCN Workshops)*, pp. 61–65.
- [Albrechts 2004] Albrechts, L. (2004). Strategic (spatial) planning reexamined. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 31(5):743–758.
- [Atzori et al. 2010] Atzori, L., Iera, A., e Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Comput. Netw.*, 54(15):2787–2805.
- [Baazizi et al. 2017] Baazizi, M. A., Ben Lahmar, H., Colazzo, D., Ghelli, G., e Sartiani, C. (2017). Schema inference for massive json datasets. In *Conference on Extending Database Technology (EDBT)*, pp. 222–233.
- [Barbosa et al. 2013] Barbosa, I., Casanova, M. A., Renso, C., e de José Antônio Fernandes Macêdo (2013). Average speed estimation for road networks based on gps raw trajectories. In *ICEIS Conference*.
- [Batty et al. 2012] Batty, M., Axhausen, K. W., Giannotti, F., Pozdnoukhov, A., Bazzani, A., Wachowicz, M., Ouzounis, G., e Portugali, Y. (2012). Smart cities of the future. *The European Physical Journal Special Topics*, 214(1):481–518.
- [Burke et al. 2006] Burke, J., Estrin, D., Hansen, M., Parker, A., Ramanathan, N., Reddy, S., e Srivastava, M. B. (2006). Participatory sensing. In *In: Workshop on World-Sensor-Web (WSW’06): Mobile Device Centric Sensor Networks and Applications*, pp. 117–134.
- [Camagni et al. 2002] Camagni, R., Gibelli, M. C., e Rigamonti, P. (2002). Urban mobility and urban form: the social and environmental costs of different patterns of urban expansion. *Ecological Economics*, 40(2):199 – 216.

- [Campbell et al. 2008] Campbell, A. T., Eisenman, S. B., Lane, N. D., Miluzzo, E., Peterson, R. A., Lu, H., Zheng, X., Musolesi, M., Fodor, K., e Ahn, G. S. (2008). The rise of people-centric sensing. *IEEE Internet Computing*, 12(4):12–21.
- [Cardone et al. 2013] Cardone, G., Foschini, L., Bellavista, P., Corradi, A., Borcea, C., Talasila, M., e Curtmola, R. (2013). Fostering participation in smart cities: a geo-social crowdsensing platform. *IEEE Communications Magazine*, 51(6):112–119.
- [Carvalho e Bernardino 2017] Carvalho, G. e Bernardino, J. (2017). The internet of things and big data: Future trends. In *2017 12th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, pp. 1–4.
- [Cazella e Reategui 2006] Cazella, S. C. e Reategui, E. B. (2006). Sistemas de recomendação. *XXV Congresso da Sociedade Brasileira da Computação*, pp. 306–348. São Leopoldo.
- [Chourabi et al. 2012] Chourabi, H., Nam, T., Walker, S., Gil-Garcia, J. R., Mellouli, S., Nahon, K., Pardo, T. A., e Scholl, H. J. (2012). Understanding smart cities: An integrative framework. In *Proceedings of the 2012 45th Hawaii International Conference on System Sciences*, pp. 2289–2297, Washington, DC, USA.
- [Chowdhury et al. 2014] Chowdhury, A., Chakravarty, T., e Balamuralidhar, P. (2014). Estimating true speed of moving vehicle using smartphone-based gps measurement. In *2014 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, pp. 3348–3353.
- [Commission 2015] Commission, T. N. Z. P. (2015). Better urban planning. *Disponível em <http://www.productivity.govt.nz>*.
- [Conrad e Hilchey 2011] Conrad, C. C. e Hilchey, K. G. (2011). A review of citizen science and community-based environmental monitoring: issues and opportunities. *Environmental Monitoring and Assessment*, 176(1):273–291.
- [Dameri 2012] Dameri, R. (2012). Searching for smart city definition: a comprehensive proposal. *International Journal of Computers & Technology*, 11(5):2544–2551.
- [Fielding e Reschke 2014] Fielding, R. e Reschke, J. (2014). Hypertext transfer protocol: Message syntax and routing.
- [Fielding 2000] Fielding, R. T. (2000). *Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures*. PhD thesis. AAI9980887.
- [Freda et al. 2015] Freda, P., Angrisano, A., Gaglione, S., e Troisi, S. (2015). Time-differenced carrier phases technique for precise guss velocity estimation. *GPS Solutions*, 19(2):335–341.

- [Friendly e Denis 2005] Friendly, M. e Denis, D. (2005). The early origins and development of the scatterplot. *Journal of the History of the Behavioral Sciences*, 41(2):103–130.
- [Gakenheimer 1999] Gakenheimer, R. (1999). Urban mobility in the developing world. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 33(7):671 – 689.
- [Ganti et al. 2011] Ganti, R. K., Ye, F., e Lei, H. (2011). Mobile crowdsensing: current state and future challenges. *IEEE Communications Magazine*, 49(11):32–39.
- [Garber et al. 1988] Garber, N. J., Gadirau, R., e AAA Foundation for Traffic Safety, Washington, D. (1988). *Speed Variance and Its Influence on Accidents*. Distributed by ERIC Clearinghouse [Washington, D.C.].
- [Gooch et al. 2015] Gooch, D., Wolff, A., Kortuem, G., e Brown, R. (2015). Reimagining the role of citizens in smart city projects. In *Adjunct Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers*, pp. 1587–1594, New York, NY, USA. ACM.
- [Guo et al. 2015] Guo, B., Wang, Z., Yu, Z., Wang, Y., Yen, N. Y., Huang, R., e Zhou, X. (2015). Mobile crowd sensing and computing: The review of an emerging human-powered sensing paradigm. *ACM Comput. Surv.*, 48(1):7:1–7:31.
- [Jara et al. 2014] Jara, A. J., Lopez, P., Fernandez, D., Castillo, J. F., Zamora, M. A., e Skarmeta, A. F. (2014). Mobile digcovery: discovering and interacting with the world through the internet of things. *Personal and Ubiquitous Computing*, 18(2):323–338.
- [Jiménez-Meza et al. 2013] Jiménez-Meza, A., Arámburo-Lizárraga, J., e de la Fuente, E. (2013). Framework for estimating travel time, distance, speed, and street segment level of service (los), based on gps data. *Procedia Technology*, 7:61 – 70.
- [Joshi et al. 2016] Joshi, S., Saxena, S., Godbole, T., e Shreya (2016). Developing smart cities: An integrated framework. *Procedia Computer Science*, 93:902 – 909.
- [Kaplan e Hegarty 2005] Kaplan, E. e Hegarty, C. (2005). *Understanding GPS: Principles and Applications*. Artech House.
- [Khan e Kiani 2012] Khan, Z. e Kiani, S. L. (2012). A cloud-based architecture for citizen services in smart cities. In *Proceedings of the 2012 IEEE/ACM Fifth Int. Conference on Utility and Cloud Computing, UCC '12*, pp. 315–320, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- [Kraay e Dijkstra 1989] Kraay, J. e Dijkstra, A. (1989). Safety aspects of urban infrastructure. *International Conference on Traffic and Environmental Management in Cities*, Leidschendam: Institute for Road Safety Research.

- [Krčo et al. 2014] Krčo, S., Pokrić, B., e Carrez, F. (2014). Designing iot architecture(s): A european perspective. In *2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, pp. 79–84.
- [Lendàk 2016] Lendàk, I. (2016). Mobile crowd-sensing in the smart city. *Capineri, C et al. 2016. European Handbook of Crowdsourced Geographic Information*, pp. 353–369.
- [Liu e Tang 2012] Liu, J. P. e Tang, Z. X. (2012). Urban traffic management and urban planning. In *Sustainable Environment and Transportation*, volume 178 of *Applied Mechanics and Materials*, pp. 1820–1823. Trans Tech Publications.
- [Louta et al. 2016] Louta, M., Mpanti, K., Karetzos, G., e Lagkas, T. (2016). Mobile crowd sensing architectural frameworks: A comprehensive survey. In *2016 7th International Conference on Information, Intelligence, Systems Applications (IISA)*, pp. 1–7.
- [Maler et al. 2004] Maler, E., Paoli, J., Sperberg-McQueen, C. M., Yergeau, F., e Bray, T. (2004). Extensible markup language (XML) 1.0 (third edition). first edition of a recommendation, W3C. <http://www.w3.org/TR/2004/REC-xml-20040204>.
- [Marín e Queiroz 2000] Marín, L. e Queiroz, M. S. (2000). A atualidade dos acidentes de trânsito na era da velocidade: uma visão geral. *Cadernos de Saúde Pública*, 16:7 – 21.
- [Misbahuddin et al. 2015] Misbahuddin, S., Zubairi, J. A., Saggaf, A., Basuni, J., A-Wadany, S., e Al-Sofi, A. (2015). Iot based dynamic road traffic management for smart cities. In *2015 12th International Conference on High-capacity Optical Networks and Enabling/Emerging Technologies (HONET)*, pp. 1–5.
- [Montori et al. 2017] Montori, F., Bedogni, L., e Bononi, L. (2017). A collaborative internet of things architecture for smart cities and environmental monitoring. *IEEE Internet of Things Journal*, PP(99):1–1.
- [Nesmachnow et al. 2017] Nesmachnow, S., Baña, S., e Massobrio, R. (2017). A distributed platform for big data analysis in smart cities: combining intelligent transportation systems and socioeconomic data for montevideo, uruguay. *EAI Endorsed Transactions on Smart Cities*, 2:153478.
- [Ning e Wang 2011] Ning, H. e Wang, Z. (2011). Future internet of things architecture: Like mankind neural system or social organization framework? *IEEE Communications Letters*, 15(4):461–463.
- [Nitzsche e Tscharktschiew 2013] Nitzsche, E. e Tscharktschiew, S. (2013). Efficiency of speed limits in cities: A spatial computable general equilibrium assessment. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 56(C):23–48.

- [Oliveira et al. 2017] Oliveira, J., Lemos, J., Vieira, E., Silva, I., Abrantes, J., Barros, D., e Costa, G. D. (2017). Co2catcher: A platform for monitoring of vehicular pollution in smart cities. In *2017 IEEE First Summer School on Smart Cities (S3C)*, pp. 37–42.
- [Pokorny 2011] Pokorny, J. (2011). Nosql databases: A step to database scalability in web environment. In *Proceedings of the 13th International Conference on Information Integration and Web-based Applications and Services, iiWAS '11*, pp. 278–283, New York, NY, USA. ACM.
- [Ramezani e Jamalipour 2017] Ramezani, P. e Jamalipour, A. (2017). Toward the evolution of wireless powered communication networks for the future internet of things. *IEEE Network*, PP(99):12–19.
- [Reddi et al. 2018] Reddi, V. J., Yoon, H., e Knies, A. (2018). Two billion devices and counting. *IEEE Micro*, 38(1):6–21.
- [Rutten et al. 2017] Rutten, M., Minkman, E., e van der Sanden, M. (2017). How to get and keep citizens involved in mobile crowd sensing for water management? a review of key success factors and motivational aspects. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*.
- [Schaffers et al. 2011] Schaffers, H., Komninos, N., Pallot, M., Trousse, B., Nilsson, M., e Oliveira, A. (2011). *Smart Cities and the Future Internet: Towards Cooperation Frameworks for Open Innovation*, pp. 431–446. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- [Scott 2018] Scott, C. (2018). Background geolocation: The philosophy of operation. <https://github.com/transistorsoft/cordova-background-geolocation-lt>.
- [Sherchan et al. 2012] Sherchan, W., Jayaraman, P. P., Krishnaswamy, S., Zaslavsky, A., Loke, S., e Sinha, A. (2012). Using on-the-move mining for mobile crowdsensing. In *2012 IEEE 13th International Conference on Mobile Data Management*, pp. 115–124.
- [Sim e Sitohang 2014] Sim, A. X. A. e Sitohang, B. (2014). Obd-ii standard car engine diagnostic software development. In *2014 International Conference on Data and Software Engineering (ICODSE)*, pp. 1–5.
- [Stadnyk 2017] Stadnyk, M. (2017). Canvas gauges user guide. <https://github.com/Mikhus/canvas-gauges>.
- [Stojanovic e Stojanovic 2016] Stojanovic, D. P. B. e Stojanovic, N. (2016). Mobile crowd sensing for smart urban mobility. *Capineri, C et al. 2016. European Handbook of Crowdsourced Geographic Information*, pp. 371–382.
- [Stéphane Roche 2012] Stéphane Roche, Nashid Nabian, K. K. C. R. (2012). Are ‘smart cities’ smart enough? *Global geospatial conference*, pp. 215–235.

- [Sulyman 2014] Sulyman, S. (2014). Client-server model. 16:57–71.
- [Talasila et al. 2014] Talasila, M., Curtmola, R., e Borcea, C. (2014). Mobile crowd sensing. In *Chapter in the Handbook of Sensor Networking: Advanced Technologies and Applications*. CRC Press.
- [Thielen et al. 2008] Thielen, I. P., Hartmann, R. C., e Soares, D. P. (2008). Percepção de risco e excesso de velocidade. *Cadernos de Saúde Pública*, 24:131 – 139.
- [Wang et al. 2006] Wang, J., Dixon, K., Li, H., e Hunter, M. (2006). Operating-speed model for low-speed urban tangent streets based on in-vehicle global positioning system data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1961:24–33.
- [Xiao et al. 2013] Xiao, Y., Simoens, P., Pillai, P., Ha, K., e Satyanarayanan, M. (2013). Lowering the barriers to large-scale mobile crowdsensing. In *Proceedings of the 14th Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, HotMobile '13*, pp. 9:1–9:6, New York, NY, USA. ACM.
- [Zhang 2006] Zhang, Dahai; Jin, W. W. D.-Y. (2006). Analysis on the traffic problems and research on the traffic strategy in group urban development. In *25th Annual Southern African Transport Conference*.
- [Zou et al. 2003] Zou, K. H., Tuncali, K., e Silverman, S. G. (2003). Correlation and simple linear regression. *Radiology*, 227(3):617–628.
- [Špakov e Miniotas 2007] Špakov, O. e Miniotas, D. (2007). Visualization of eye gaze data using heat maps. *Elektronika Ir Elektrotechnika Medicine Technology*, (2).