



Universidade Estadual de Feira de Santana
Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

Monitoramento e Avaliação de Condições Adversas em Ciclovias Através de Multi-sensoriamento por Bicicletas e Processamento de Dados Urbanos

Franklin Lázaro Santos de Oliveira

Feira de Santana

2021



Universidade Estadual de Feira de Santana
Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

Franklin Lázaro Santos de Oliveira

**Monitoramento e Avaliação de Condições Adversas em
Ciclovias Através de Multi-sensoriamento por Bicicletas
e Processamento de Dados Urbanos**

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

Orientador: Prof. Dr. Daniel Gouveia Costa

Coorientador: Prof. Dr. Anfranserai Morais Dias

Feira de Santana

2021

Ficha catalográfica - Biblioteca Central Julieta Carteado - UEFS

Oliveira, Franklin Lázaro Santos de
O47m Monitoramento e avaliação de condições adversas em ciclovias através
de multi-sensoriamento por bicicletas e processamento de dados urbanos
/ Franklin Lázaro Santos de Oliveira. - 2021.
117f. : il.

Orientador: Daniel Gouveia Costa
Coorientador: Anfranserai Morais Dias

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Feira de Santana.
Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, 2021.

1. Ciclismo inteligente. 2. Saúde do ciclista. 3. Cidades inteligentes.
4. Internet das coisas. 5. Monitoramento ambiental. 6. Redes de sensores.
I. Costa, Daniel Gouveia, orient. II. Dias, Anfranserai Morais, coorient. III.
Universidade Estadual de Feira de Santana. IV. Título.

CDU: 004:796.093.2

Franklin Lázaro Santos de Oliveira

**Monitoramento e Avaliação de Condições Adversas em Ciclovias
Através de Multi-sensoriamento por Bicicletas e Processamento de
Dados Urbanos**

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

Feira de Santana, 30 de setembro de 2021

BANCA EXAMINADORA



Daniel Gouveia Costa (Orientador(a))
Universidade Estadual de Feira de Santana



Angelo Amâncio Duarte
Universidade Estadual de Feira de Santana



Ivanovitch Medeiros Dantas da Silva
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Abstract

Investments in mobility and sustainable transport are a trend in large cities, mainly due to the fact that traditional vehicles are expensive, inefficient in transporting people, and large polluters. At the same time, people have become more likely to seek for cleaner and healthier options for medium and short distance travel, which has also boosted the adoption of bicycles in urban areas. Faced with these changes in the behavior of the population, government agencies have been paying attention to issues of basic infrastructure, such as the construction of bike paths and the reorganization of the road network, in order to allow cyclists to travel safely. However, in order to assess the quality of cycle paths that is perceived by cyclists, a comprehensive mechanism must be implemented that incorporates different factors that can negatively impact the safety and health of cyclists, such as air pollution, risk of accidents, noise pollution, excessive sun exposure, low humidity, among others. In this context, this work proposes a new solution for monitoring, evaluation and visualization of the quality of cycle paths in order to inform cyclists about the conditions of the paths and guide governments to improve and implement new cycle paths, employing for that embedded sensing technologies, distributed data processing functions, fuzzy-based quality assessment, and a specialized networking architecture. This comprehensive multi-level solution is carefully specified and simulated on real scenarios, providing promising results that can better support the adoption of sustainable cycling in modern cities.

Keywords: Smart cycling, Cyclists' health, Smart cities, Internet of Things, Environmental monitoring, Sensor networks.

Resumo

Investimentos em mobilidade e transporte sustentável são uma tendência nas grandes cidades, sobretudo devido ao fato dos veículos tradicionais serem caros, ineficientes no transporte de pessoas e grandes poluidores. Em paralelo, as pessoas têm se tornado mais propensas a buscar por opções mais limpas e saudáveis para viagens de média e curta distância, o que também tem impulsionado a utilização de bicicletas em áreas urbanas. Diante dessa mudança de comportamento da população, órgãos governamentais têm se atentado às questões de infraestrutura básica, como construção de ciclovias e reorganização da malha viária, a fim de permitir que os ciclistas possam se deslocar com segurança. No entanto, para avaliar a qualidade das ciclovias que é percebida pelos ciclistas, deve-se empregar algum mecanismo abrangente que incorpore diferentes fatores que podem impactar negativamente a segurança e a saúde dos ciclistas, tais como poluição do ar, risco de acidentes, poluição sonora, exposição solar excessiva, baixa umidade, entre outros. Nesse contexto, este trabalho propõe uma nova solução para monitoramento, avaliação e visualização da qualidade das ciclovias, a fim de informar os ciclistas sobre as condições das mesmas e orientar governos na melhoria da qualidade das ciclovias percebida pelos ciclistas. Para isso, é especificada neste trabalho a utilização de tecnologias de sensoriamento embarcado em bicicletas, processamento distribuído dos dados coletados, lógica *Fuzzy* para avaliação de qualidade de ciclovias, e uma arquitetura de rede especializada. Esta solução abrangente de vários níveis é cuidadosamente especificada e simulada em cenários reais, fornecendo resultados promissores que podem apoiar melhor a adoção do ciclismo sustentável e inteligente nas cidades modernas.

Palavras-chave: Ciclismo inteligente, Saúde dos ciclistas, Cidades inteligentes, Internet das coisas, Monitoramento ambiental, Redes de sensores.

Prefácio

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

A dissertação foi desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação (PGCC), tendo como orientador o Prof. Dr. **Daniel Gouveia Costa**. O Prof. Dr. **Anfraserai Morais Dias** foi coorientador(a) deste trabalho.

Esta pesquisa foi financiada pela FAPESB.

Agradecimentos

Parafraseando uma música dos Racionais MC's, que em alguns dos seus simbólicos versos diz: "...é necessário sempre acreditar que o sonho é possível, que o céu é o limite e você, truta, é imbatível. Que o tempo ruim vai passar, é só uma fase. Que o sofrimento alimenta mais a sua coragem. Que a sua família precisa de você. Lado a lado se ganhar e pra te apoiar se perder...", trago um pouco da minha história, que graças a alguns fatores, pude escrever de acordo com o que sempre sonhei.

O maior e mais poderoso fator que contribuiu para que eu escrevesse essa história se resume ao fato de eu ter a melhor, mais incentivadora, batalhadora, cuidadosa, carinhosa e guerreira mãe do mundo. Sempre me incentivando e apoiando na busca de ser a pessoa que eu sou hoje, mentalmente, afetivamente e academicamente falando. À ela, eu agradeço absolutamente tudo e mais um pouco... infelizmente, Nega Sandra, mulher preta, guerreira, com infância difícil e que precisou abrir mão do sonho de seguir seus estudos em um curso de Ensino Superior para me criar e alimentar os meus sonhos, não pôde ver o seu filho se tornar o Engenheiro de Computação que ela tanto se orgulhava em dizer ser, mesmo sem um diploma ainda.

Mas felizmente, ela pôde ver seu filho, um menino preto, "das quebradas" e de colégio público, entrar em uma Universidade pública em um país que ainda buscava por uma certa justiça socioeconômica e que ainda lutava pela redução do imenso abismo social e racial ainda existente e muito forte na nossa sociedade. Graças à todo esforço feito por ela e às políticas de cotas instauradas pelo governo do nosso amado Presidente Lula, pude mudar o rumo da minha história. Entrei na Universidade, realizei um intercâmbio acadêmico e tive a oportunidade de estagiar fora do país em um momento que nem em meu pior pesadelo poderia imaginar que aconteceria tão cedo.

Infelizmente, todo plano minuciosamente traçado foi interrompido com a ida precoce da minha mãe, e naquele momento, tudo que antes fazia sentido, passou a não fazer mais. Nesta situação, eu pensava apenas em voltar para casa e tentar ser ao menos 10% do que ela era para a minha irmãzinha Bia. Assumi o papel da principal figura afetiva dela, buscando ser o mais presente possível e buscando também apoiá-la, assim como a nossa mãe fazia. E nessa volta inesperada para casa, pude entender que uma criança de até então 10 anos passaria a ser um dos meus principais pontos de apoio e de motivação, então agradeço muito a ela por ser essa menina tão carinhosa e amorosa que me faz pensar em buscar novos planos e traçar novos sonhos.

Felizmente, em uma fase difícil como essa, tive a sorte de conhecer a mulher, que de forma gentil, alegre e amorosa passou a ser o meu outro ponto de apoio. Em tempos de incerteza, medo do futuro e poucas opções, ela me fez enxergar que tudo que eu precisava para seguir em frente estava bem a frente do meu nariz. Então, agradeço à Paula, a minha pretinha, por ser a melhor companheira que eu poderia ter e por trazer novos e excelentes sentimentos à minha vida, coisa que com certeza continuará fazendo por toda a nossa vida.

Nessa “nova vida” e “nova visão do mundo”, pude perceber que inconscientemente eu tinha o total apreço pelo meio acadêmico e de pesquisa. E graças ao meu orientador, Daniel, pude ingressar nesse meio através da aceitação de uma proposta feita, anteriormente, de participar do PGCC-UEFS e pesquisar com ele em uma área do conhecimento que tanto me agrada. Agradeço a ele por ser esse orientador e amigo tão “resenheiro”, empolgado e “desembolado”, fato que tornou a passagem pelo programa de mestrado muito mais leve e produtiva.

Agradeço também aos nossos colaboradores de pesquisa, Luciana e Ivanovitch, aos meus amigos e familiares, que me apoiaram secundariamente ao longo desses dias, e finalizo agradecendo a mim por não perder nem uma gota de sangue nos olhos e por continuar sonhando e correndo atrás dos meus sonhos, uma vez que fui privilegiado em poder segui-los, diferente de muitos dos meus. Parafraseando mais uma música dos Racionais MC's, afirmo que: "...eu sou irmão dos meus truta de batalha. Eu era a carne, agora sou a própria navalha. Tim-tim, um brinde pra mim. Sou exemplo de vitórias, trajetos e glórias”.

Aê Nega Sandra, teu Engenheiro segue na luta e agora é Mestre. TUDO pela senhora!

Dedico este trabalho à minha mãe, Alexsandra Santos de Oliveira, por ter sido tudo pra mim.

Sumário

Abstract	i
Resumo	ii
Prefácio	iii
Agradecimentos	iv
Sumário	ix
Lista de Publicações	x
Lista de Tabelas	xi
Lista de Figuras	xiii
Lista de Abreviações	xiv
Lista de Símbolos	xv
1 Introdução	1
1.1 Objetivos	4
1.1.1 Objetivo geral	4
1.1.2 Objetivos específicos	4
1.2 Relevância	5
1.3 Contribuições	6
1.4 Organização do Trabalho	6
2 Fundamentação Teórica	7
2.1 Mobilidade e Planejamento Urbano	8
2.1.1 Urbanização e sustentabilidade	8
2.1.2 Intermodalidade e sistemas de transporte integrado	9
2.1.3 Desafios recorrentes na prática do ciclismo urbano	9
2.2 Métricas de Qualidade	10
2.3 Lógica Fuzzy	11

2.3.1	Variáveis linguísticas	11
2.3.2	Funções de pertinência	12
2.3.3	Regras da lógica <i>Fuzzy</i>	12
2.4	Internet das Coisas	13
2.4.1	Definição	13
2.4.2	Contexto histórico	14
2.4.3	Arquiteturas	16
2.4.4	Experiências práticas na área	17
2.5	Desenvolvendo Aplicações de Monitoramento	19
2.5.1	Plataformas de <i>hardware open-source</i>	19
2.5.2	Raspberry Pi	20
2.5.3	Trabalhos em IoT desenvolvidos com Raspberry Pi	22
2.6	Cidades Inteligentes	23
3	Solução Proposta	28
3.1	Arquitetura do Modelo Proposto: iBikeSafe	29
3.2	Sub-Sistema Auxiliar de Cadastro de Ciclovias	31
3.2.1	Modelo matemático de uma ciclovia	32
3.2.2	Sub-sistema de cadastro de ciclovias: BikePathGen	32
3.3	Camada de Monitoramento de Condições Adversas	34
3.3.1	Fundamentos do sub-sistema de sensoriamento de ciclovias: BikeSensor	34
3.3.2	Estrutura lógica do BikeSensor	34
3.3.3	<i>Mobile Monitoring Station</i> : Arquitetura de <i>hardware</i>	35
3.3.4	<i>Mobile Monitoring Station</i> : Configuração dinâmica de <i>hardware</i>	37
3.3.5	<i>Mobile Monitoring Station</i> : Estados lógicos	38
3.3.6	<i>Mobile Monitoring Station</i> : Sensoriamento	39
3.3.7	<i>Mobile Monitoring Station</i> : Armazenamento de dados	40
3.3.8	<i>Mobile Monitoring Station</i> : Funcionamento do <i>firmware</i>	41
3.3.9	<i>Data Central Unit</i>	43
3.3.10	<i>BikeSensor Client</i>	43
3.3.11	Sub-sistema de coleta de dados estatísticos: BikeData	43
3.4	Camada de Avaliação de Ciclovias por Lógica <i>Fuzzy</i>	44
3.4.1	Variáveis de qualidade	46
3.4.2	Processamento das variáveis	46
3.4.3	Processamento dos grupos de variáveis	48
3.4.4	Classificação com lógica <i>Fuzzy</i>	50
3.4.5	Sub-sistema de avaliação de ciclovias: BikeWay	53
3.5	Camada de Visualização de Ciclovias Avaliadas	58
3.5.1	Sub-sistema de geração de mapas e visualização: CyclingView	58
3.5.2	Gerador de mapas	59
3.5.3	Aplicação de visualização	61
4	Resultados	63

4.1	Resultados de Monitoramento <i>Indoor</i>	65
4.1.1	Aplicação do MSensorMob na MMS	65
4.1.2	MMS v1: Montagem na <i>protoboard</i>	68
4.1.3	MMS v2: Acoplamento do HAT com sensores integrados . . .	70
4.1.4	MMS v3: Projeto e modelagem do dispositivo final	71
4.2	Resultados de Avaliação através de Simulação	73
4.2.1	Estratégia de simulação	74
4.2.2	Resultados de aplicação da métrica BikeWay	75
4.3	Implantação Simulada do BrazilCycling: um Estudo de Caso	77
4.3.1	Definição da sub-região para avaliação de ciclovias	78
4.3.2	Aspectos socioeconômicos da sub-região definida	80
4.3.3	Ciclovias da sub-região definida e suas condições adversas . . .	81
4.3.4	Avaliação e visualização das ciclovias da sub-região definida .	85
5	Considerações Finais	88
	Referências	90

Lista de Publicações

1. Oliveira, F., Costa, D. G., Dias, A. (2020, September). A Multi-tier Sensors-based Environmental Monitoring Approach to Assess the Quality of Bike Paths in Urban Areas. In 2020 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2) (pp. 1-4). IEEE.
2. Oliveira, F., Costa, D. G., Duran-Faundez, C., Dias, A. (2020). BikeWay: A Multi-Sensory Fuzzy-Based Quality Metric for Bike Paths and Tracks in Urban Areas. *IEEE Access*, 8, 227313-227326.
3. Oliveira, F., Nery, D., Costa, D. G., Silva, I., Lima, L. (2021). A Survey of Technologies and Recent Developments for Sustainable Smart Cycling. *Sustainability*, 13(6), 3422.
4. Oliveira, F., Costa, D. G., Silva, I., Andrade, P., Dias, A. (2021, June). MSensorMob: A Multi-Sensors Hardware Framework to Support the Development of Adaptable Monitoring Units in Mobile Applications. In 2021 IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 IoT (MetroInd4. 0IoT) (pp. 648-653). IEEE.
5. Oliveira, F., Costa, D. G., Lima, L., Silva, I. (2021). iBikeSafe: A Multi-Parameter System for Monitoring, Evaluation and Visualization of Cycling Paths in Smart Cities Targeted at Cycling Adverse Conditions. *Smart Cities*, 4(3), 1058-1086.
6. Oliveira, F. and Costa, D. G. (2021). Toward Sustainable Cycling: Modelling and Visualization Issues of Cycle Paths for IoT-based Sensing. *IEEE GLOBECOM: Workshop on Sustainable Environmental Sensing Systems (SESSy)*.
7. Oliveira, F., Costa, D. G., Silva, I. (2021). On the Development of Flexible Mobile Multi-sensor Units Based on Open-source Hardware Platforms and a Reference Framework. *HardwareX Journal*.

Lista de Tabelas

2.1	Panorama geral das três gerações da IoT.	14
2.2	Trabalhos voltados a IoT nos últimos 5 anos.	18
2.3	Especificações de alguns modelos de Raspberry Pi.	21
2.4	Trabalhos voltados a IoT utilizando Raspberry Pi.	22
2.5	Trabalhos voltados ao monitoramento ambiental em Cidades Inteligentes.	26
3.1	Variáveis de qualidade consideradas na métrica proposta.	46
3.2	Relação dos valores normalizados com os valores reais das variáveis.	47
3.3	Parâmetros gaussianos para cada variável de qualidade.	48
3.4	Relação entre as entradas e a saída da métrica BikeWay.	51
3.5	Mapeamento do valor do BikeWay para uma cor de referência.	52
4.1	Dados de entrada e saída da simulação para Julho de 2020.	75
4.2	Características das ciclovias do campus central da UFRN.	82
4.3	Condições adversas entre Janeiro e Dezembro de 2020 na cidade de Natal-RN. Condições adversas: $\mathbf{M}_{1.1}$ - poluição do ar em $\mu g/m^3$, $\mathbf{M}_{1.2}$ - poluição sonora em dB, $\mathbf{M}_{1.3}$ - índice de radiação ultravioleta, $\mathbf{M}_{1.4}$ - sensação térmica em $^{\circ}C$, $\mathbf{M}_{1.5}$ - luminosidade em lux, $\mathbf{M}_{2.1}$ - número de acidentes e $\mathbf{M}_{2.2}$ - número de ocorrências de violência urbana.	84
4.4	Qualidade BikeWay das ciclovias do campus central da UFRN.	85

Lista de Figuras

1.1	Fatores aos quais os ciclistas podem ser expostos no contexto urbano.	3
2.1	Variável linguística que classifica o sabor de uma comida através da sua nota.	11
2.2	Modelo da Arquitetura de Três Camadas.	16
2.3	Alguns modelos populares da plataforma Raspberry Pi.	22
3.1	Integração dos sub-sistemas BikeSensor, BikeData e BikePathGen ao sub-sistema BikeWay a fim de qualificar as ciclovias e gerar os mapas para visualização dos dados através do sub-sistema CyclingView.	29
3.2	Diagrama geral do iBikeSafe, focando na interação entre os “atores” e as camadas do modelo.	31
3.3	Modelo matemático da ciclovias no contexto da abordagem iBikeSafe.	32
3.4	Diagrama geral do BikePathGen apresentando o processo de cadastro e armazenamento dos dados das ciclovias.	33
3.5	Abordagem proposta para o sub-sistema de monitoramento de variáveis ambientais, o BikeSensor.	35
3.6	Arquitetura de <i>hardware</i> genérica para monitoramento móvel, aplicada na MMS.	36
3.7	Estados lógicos da MMS.	39
3.8	Diagrama geral do sub-sistema BikeData.	44
3.9	Normalização das variáveis de qualidade baseada na distribuição gaussiana, com exceção da variável M2.3.	49
3.10	Definição dos grupos <i>Fuzzy</i> .	50
3.11	Mapeamento de cores indicando a qualidade das ciclovias através do BikeWay.	52
3.12	Diagrama de integração do sub-sistema BikeWay com os outros sub-sistemas do modelo iBikeSafe.	53
3.13	Etapas do processamento dos dados dos sub-sistemas de aquisição de dados no Processador do BikeWay.	54
3.14	Ilustração da matemática que verifica se uma amostra de monitoramento pertence ao trecho de uma ciclovias.	55
3.15	Fluxo de dados que ilustra o funcionamento do processador BikeWay.	57

3.16	Fluxo de dados que ilustra o funcionamento do classificador <i>Fuzzy</i> BikeWay.	58
3.17	Etapas do processamento dos dados do sub-sistema BikeWay para geração de mapas no sub-sistema de visualização CyclingView.	59
3.18	Representação gráfica das ciclovias de acordo com a direção, tipo e qualidade BikeWay.	60
3.19	Fluxo de dados que ilustra o funcionamento do Gerador de Mapas CyclingView.	60
3.20	Diagrama que representa a interação entre o usuário e o CyclingView.	61
3.21	Interface da página web do CyclingView.	61
4.1	Funcionamento geral da implementação do modelo iBikeSafe, denominada BrazilCycling.	64
4.2	Componentes utilizados para a implementação da MMS do BikeSensor baseado na arquitetura de <i>hardware</i> proposta pelo MSensorMob.	65
4.3	Presença do arquivo de monitoramento (<i>18-11-2020.csv</i>) no DCU como resultado do funcionamento da MMS.	68
4.4	Montagem da primeira versão da MMS no Fritzing.	69
4.5	Montagem da primeira versão da MMS na <i>protoboard</i>	69
4.6	<i>Layout</i> do HAT criado para interfacear o Raspberry Pi Zero na segunda versão da MMS.	70
4.7	Montagem da segunda versão da MMS utilizando o HAT projetado.	71
4.8	Modelo 3D da parte externa da versão final da MMS.	72
4.9	Simulação de acoplamento da versão final da MMS em uma bicicleta.	73
4.10	Mapeamento das cidades presentes no experimento.	74
4.11	Conjunto de cidades com os cinco níveis do BikeWay (gráfico de pertinência da lógica <i>Fuzzy</i>).	76
4.12	Conjunto de cidades com os cinco níveis de BikeWay (cor aplicada na ciclovia).	77
4.13	Campus central da UFRN (área cinza) e suas ciclovias (linhas vermelhas).	79
4.14	Características socioeconômicas e acesso a oportunidades usando bicicletas: (a) População total (b) Renda familiar per capita (c) Oportunidades acessíveis em 15 minutos de bicicleta - emprego (d) Oportunidades acessíveis em 15 minutos de bicicleta - escolas públicas . Em azul, os limites do campus central da UFRN.	80
4.15	Ciclovias no campus central da UFRN, que foram modeladas matematicamente de acordo com a implementação do BikePathGen.	82
4.16	Amostras de monitoramento simuladas em cada trecho das ciclovias do campus central da UFRN.	83
4.17	Mapas de cada fase definida para 2020 com as ciclovias cadastradas e suas respectivas qualidades. (a) Fase pré-pandêmica (b) Fase de restrições severas (c) Fase de relaxamento das restrições.	86

Lista de Abreviações

Abreviação	Descrição
ARM	<i>Advanced Risc Machine</i>
BW	<i>BikeWay</i>
BSC	<i>BikeSensor Client</i>
DCU	<i>Data Central Unit</i>
DIY	<i>Do It Yourself</i>
GPIO	<i>General-Purpose Input/Output</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
I2C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
PCI	Placa de Circuito Impresso
M2M	<i>Machine-to-Machine</i>
MMS	<i>Mobile Monitoring Station</i>
OMS	Organização Mundial da Saúde
QV	Variável de Qualidade
RFID	<i>Radio-Frequency Identification</i>
RPI	Raspberry Pi
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SIoT	<i>Social Internet of Things</i>
SO	Sistema Operacional
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
SUS	Sistema Único de Saúde
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
UPL	Unidade de Processamento Local
WPS	<i>Wi-Fi Protected Setup</i>
WSN	<i>Wireless Sensor Network</i>
WWW	<i>World Wide Web</i>

Lista de Símbolos

Símbolo	Descrição
BD_{dv}	Valor diário lidos de uma variável do BikeData
BS_{dm}	Média diária dos valores lidos de uma variável do BikeSensor
BS_{fs}	Frequência de amostras do BikeSensor
BS_{ms}	Número máximo de amostras coletadas pelo BikeSensor
BW_{env}	Entrada dos dados de monitoramento ambiental na métrica BikeWay
BW_{inf}	Entrada dos dados estatísticos de infraestrutura na métrica BikeWay
BW_{sts}	Frequência de qualificação das ciclovias através da BikeWay
D_v	Valor bruto de uma variável da BikeWay
M_{glevel}	Nível de qualidade um grupo p
c	Ciclovias
wg_p	Peso da variável p no grupo g

Capítulo 1

Introdução

O fim do século XIX foi marcado pelo início da Segunda Revolução Industrial, um período importante de desenvolvimento que trouxe inúmeras inovações. Entre as inovações com grande impacto para a vida moderna, o automóvel composto por um motor de combustão foi criado em 1886 pelo inventor alemão Karl Benz. Esta invenção é utilizada como o principal meio de transporte desde então, com o seu paradigma de combustão estando ainda presente nos automóveis atuais como carros, motocicletas, caminhões e ônibus (Parissien, 2014).

No entanto, devido a proliferação de grandes centros urbanos, com alta concentração populacional, o número de automóveis particulares circulando nestas cidades também cresceu de forma muito expressiva, criando cenários de vias congestionadas devido ao alto fluxo de carros e motos e, eventualmente, se tornando um grande problema de mobilidade urbana (Zhang and Mi, 2018). Além disso, a alta concentração de automóveis nos centros urbanos apresenta um risco inerente ao ambiente e à saúde das pessoas, uma vez que os motores de combustão são responsáveis por emitir gases poluentes, como o dióxido de carbono (CO_2) e o monóxido de carbono (CO). Assim, buscando minimizar esses problemas, há uma tendência de utilização cada vez maior de meios de transportes alternativos e sustentáveis, como o transporte público e as bicicletas (Trubia et al., 2020) e (Zhang and Mi, 2018).

Levando-se em consideração tais problemas de mobilidade urbana ineficiente e altos níveis de poluição, grandes cidades ao redor do mundo estão investindo em alternativas de transporte. Neste cenário, é possível observar que tanto a poluição do ar quanto a poluição sonora proveniente do trânsito com alto fluxo de automóveis se tornou um problema presente na pauta dos governos, que estão focados em criar iniciativas para promover a utilização da bicicleta como um meio de transporte comum (Pucher et al., 2010), (Fraser and Lock, 2011) e (Poiani and Stead, 2015). Paralelamente, uma “epidemia” de obesidade vem fomentando a adoção de hábitos de vida mais saudáveis, o que reforça as iniciativas para adoção de bicicletas como meio de transporte (Wright and Harwood, 2012).

No entanto, apesar da grande promoção do ciclismo como uma prática comum objetivando tornar as cidades mais sustentáveis e saudáveis, podemos notar o fato de que, em sua grande maioria, os centros urbanos não são apropriados em termos de saúde e segurança dos ciclistas. De fato, ciclistas estão expostos diariamente à vários poluentes emitidos pelo alto fluxo de automóveis no trânsito, aos altos índices de ruídos gerados nesse ambiente e até mesmo ao calor excessivo, tornando-os mais suscetíveis a desenvolver alguns problemas de saúde, como doenças cardiorrespiratórias e estresse excessivo (Zhang et al., 2017).

Além das questões relacionadas à poluição do ambiente, outros fatores trazem riscos aos ciclistas, como a infraestrutura e a segurança dos centros urbanos. Observando a infraestrutura das grandes cidades, pode-se perceber que muitas delas não possuem uma adequada cobertura de ciclovias e ciclofaixas, forçando a prática do ciclismo urbano nas mesmas vias onde transitam os carros e as motocicletas. Desta forma, os ciclistas estão muito mais suscetíveis a se envolverem em acidentes de trânsito, fato que pode ser bastante minimizado com a construção de ciclovias apropriadas (Brasileiro and Comar, 2015).

Por fim, é importante deixar em evidência que o problema relacionado à segurança das cidades também impacta a vida dos ciclistas. Lugares com altos índices de assaltos e violência também são lugares que podem ser evitados quando se existe um meio de informar aos ciclistas que determinadas áreas são inapropriadas e/ou perigosas para a prática do ciclismo. A Figura 1.1 apresenta algumas das situações em que estes habitantes podem estar inseridos.

Para que essas situações de perigo possam ser informadas aos ciclistas e a população em geral, é necessária a existência de uma forma de mensurar a qualidade das ciclovias presentes nos centros urbanos. Com isso, através do desenvolvimento de uma métrica apropriada, se torna possível indicar quais trechos das cidades podem trazer risco à saúde e segurança dos ciclistas.

Assim, este trabalho consiste na proposição do iBikeSafe, uma solução para monitoramento, avaliação e visualização de ciclovias, utilizando para tanto uma métrica de qualidade intitulada de BikeWay (BW). Esta métrica é baseada no processamento de dois grupos de informações relacionadas às características das ciclovias que afetam a saúde/segurança dos ciclistas. O primeiro grupo, *BW-Environment*, consiste em dados ambientais (temperatura, poluição, etc) que afetam o ambiente em que o ciclista está inserido e que, portanto, podem ser mensurados através da utilização de sensores acoplados às bicicletas ou por estações fixas de monitoramento.

Por outro lado, o segundo grupo, *BW-Infrastructure*, corresponde aos dados estatísticos referentes às condições estruturais e sociais da ciclovia e do lugar onde a mesma está inserida (trecho isolado, violência, etc), sendo obtidos através de bases de dados complementares. Esses grupos de dados são a base do sistema proposto, com relação direta com os serviços propostos de monitoramento, avaliação e visualização da qualidade das ciclovias.



Figura 1.1: Fatores aos quais os ciclistas podem ser expostos no contexto urbano.

Atualmente, para realizar a aquisição de dados ambientais que impactam na qualidade de vida dos ciclistas e da população no geral, vem se tornando cada vez mais comum a utilização do paradigma de Internet das Coisas (do inglês, *Internet of Things* - IoT). Isso se tornou possível devido ao fato dos inúmeros avanços em diversas áreas (eletrônica, computação, aquisição de dados, comunicação, etc.) que vêm permitindo a criação de um cenário favorável ao surgimento da IoT, trazendo muitos impactos positivos na vida moderna.

No geral, o paradigma da IoT pretende mudar profundamente nossas vidas, permitindo a criação de sistemas onipresentes, distribuídos e reativos que podem alterar a maneira como interagimos com o mundo (Peixoto and Costa, 2017). Nesse cenário favorável a novas ideias, as Cidades Inteligentes (*Smart Cities*) surgem como uma aplicação muito importante da IoT, trazendo desafios complexos em diferentes aspectos relacionados à estrutura das cidades e ao comportamento de seus habitantes, e abrindo muitas oportunidades comerciais, industriais, educacionais e culturais (Costa and Duran-Faundez, 2018). É neste cenário que está inserida a solução iBikeSafe proposta.

Nesse intuito, o presente trabalho propõe a utilização do conceito de Internet das

Coisas, aplicada à Cidades Inteligentes, para realizar a coleta dos dados que compõem informações do grupo *BW-Environment* através da utilização da abordagem de sensoriamento móvel e persistência de dados, nomeada de BikeSensor (Oliveira et al., 2020). E, além do uso da IoT, esse estudo define os sub-sistemas responsáveis pelo cadastro das ciclovias e pela coleta de dados estatísticos na Internet que compõem o grupo *BW-Infrastructure*, obtendo assim todas as informações necessárias para o sub-sistema que implementa a métrica de avaliação, e que também é responsável por fornecer os dados para o sub-sistema de visualização de ciclovias

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O principal objetivo desta pesquisa é propor uma solução capaz de servir como meio de transparência sobre a qualidade das ciclovias nos grandes centros urbanos em relação aos impactos que estas podem trazer à saúde e segurança dos ciclistas. Para tanto, foi desenvolvido um sistema de monitoramento, avaliação e visualização de ciclovias em cidades, denominado iBikeSafe.

1.1.2 Objetivos específicos

- Definir a estrutura lógica e operacional da proposta, que é composta por múltiplos sub-sistemas interligados;
- Projetar o BikePathGen, sub-sistema de cadastro de ciclovias (*BW-CyclePaths*) a serem consideradas no iBikeSafe;
- Projetar o BikeSensor, sub-sistema de monitoramento de condições ambientais das ciclovias (*BW-Environment*) utilizadas no iBikeSafe;
- Projetar o BikeData, sub-sistema de aquisição de dados estatísticos das cidades (*BW-Infrastructure*) que podem impactar na segurança das ciclovias cadastradas no iBikeSafe;
- Criar a métrica BikeWay, bem como o sub-sistema BikeWay, responsável por coletar dados de sensoriamento e dados estatísticos relacionados às ciclovias cadastradas a fim de avaliá-las no contexto do iBikeSafe;
- Projetar um sensor geo-referenciado e com diversas unidades de monitoramento de variáveis ambientais, utilizando uma plataforma de hardware aberta, altamente configurável, de baixo custo e com baixo consumo de energia, para ser acoplado à bicicletas de ciclistas voluntários futuramente. Essa unidade de sensoriamento fornece dados para o sub-sistema BikeWay;
- Criar um sub-sistema para a visualização dos dados de avaliação de ciclovias no contexto do iBikeSafe;

- Validar a solução proposta em uma cidade real, apresentando resultados iniciais para o iBikeSafe através de um estudo de caso.

1.2 Relevância

Com o aumento da população urbana e o aumento do tráfego diário, o desenvolvimento de sistemas de transporte urbano mais sustentáveis tem sido crucial em muitas cidades do mundo (Pucher et al., 2011) e (Tight et al., 2011). O transporte público e o ciclismo são cada vez mais promovidos para mitigar problemas relacionados ao trânsito, como engarrafamentos, poluição, infraestrutura viária cara, acidentes e congestionamentos. Em comparação aos carros particulares, a bicicleta é considerada um meio de transporte silencioso, rápido, saudável, livre de emissões de gases e com economia de espaço.

A utilização de bicicletas como meio de transporte, como atividade de lazer e/ou ferramenta para realização de atividades físicas vem sendo cada vez mais estimulada nas grandes cidades, que vêm empregando ações como a construção de ciclovias, a demarcação de ciclofaixas, o aluguel de bicicletas públicas e a realização de campanhas de estímulo ao uso de bicicletas. Essa tendência que se manifestou inicialmente em alguns países desenvolvidos vem ganhando bastante força, com ações mais concretas e tomando forma em países em desenvolvimento.

No Brasil, circulam cerca de 50 milhões de bicicletas contra 41 milhões de carros (Federal, 2018). Mesmo diante dessa diferença expressiva, não há boa cobertura de ciclovias ou ciclofaixas nas cidades brasileiras. Obrigados a pedalar junto aos automóveis, sem medidas de segurança, os ciclistas estão submetidos ao perigo de trafegar em vias nas quais se pratica, legal ou ilegalmente, a alta velocidade, e ao desrespeito latente (muitas vezes explícito) dos condutores de carros, motos, caminhões e ônibus (Federal, 2018).

No início de Setembro de 2018, foi sancionado o Programa Bicicleta Brasil, que entre outras ações prevê um fundo para construção de ciclovias nas cidades. Contudo, apesar das ações que estão sendo feitas, esse cenário nos leva a uma importante reflexão que guia esta dissertação às seguintes questões de pesquisa:

1. Os ciclistas estão sujeitos às condições de poluição, barulho excessivo e temperaturas adversas quando estão atualmente transitando pelas cidades?
2. As ciclovias construídas nas cidades são de qualidade e consideradas seguras para a prática do ciclismo?

Diante desses fatos, é entendido que é de grande importância desenvolver uma solução responsável pela aquisição de diversos tipos de dados relacionados às ciclovias, e que efetue a qualificação das mesmas através da obtenção e processamento desses dados, utilizando para tanto uma métrica especializada. Desta forma, a concepção do sistema proposto é um passo importante no que diz respeito ao planejamento

de construção/reformas de ciclovias, uma vez que esses dados servem para guiar o poder público para agir em prol de melhorias voltadas à uma mobilidade urbana mais eficiente e limpa.

1.3 Contribuições

As principais contribuições deste trabalho são:

- Proposta de uma solução completa para monitoramento direto e indireto de ciclovias através de sensores acoplados à bicicletas e processamento de bases de dados públicas, permitindo assim a avaliação e visualização da qualidade de ciclovias através de uma página web acessível por meio de um navegador;
- Proposta de uma métrica especializada para mensurar o impacto das condições adversas em ciclovias e ciclofaixas sobre a saúde e segurança dos ciclistas. Isso permite que a população de ciclistas possa ficar ciente da situação de segurança dos lugares, permitindo também um melhor planejamento na criação e manutenção de ciclovias;
- Projeto de um sistema de *hardware* e *software* para monitoramento genérico, que apesar de ser aplicado para o sensoriamento de variáveis que impactam na qualidade de vida dos ciclistas, pode ter a sua abordagem utilizada para outros fins.

1.4 Organização do Trabalho

No Capítulo 2, apresentamos a literatura dos temas que foram importantes para a construção do conhecimento utilizado neste trabalho, bem como alguns trabalhos relacionados que se enquadram nos respectivos temas. O Capítulo 3 descreve a solução proposta abordando todas as camadas do iBikeSafe, bem como os seus sub-sistemas.

No Capítulo 4, são discutidos os resultados alcançados com a pesquisa, além de um estudo de caso desenvolvido para ilustrar a aplicação do iBikeSafe em um panorama real. E, por fim, no Capítulo 5 é apresentada uma breve discussão sobre as considerações do que foi estudado e desenvolvido ao longo da pesquisa, bem como o que é previsto para os passos futuros da pesquisa.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

A Primeira Revolução Industrial (1760 - 1840) foi marcada pelo desenvolvimento das ferrovias e da criação dos motores a vapor, que compunham as grandes locomotivas criadas nessa época para realizar o transporte de pessoas e produtos ao longo das ferrovias. Anos depois, entre o final do século XIX e início do século XX, aconteceu a Segunda Revolução Industrial, que foi fortemente baseada no conceito de linha de montagem e na utilização da eletricidade, permitindo a criação e aperfeiçoamento de diversas tecnologias das quais conhecemos hoje (Schwab, 2017).

Muitas dessas tecnologias propostas ao longo desse período foram desenvolvidas em prol de permitir meios mais fáceis de locomoção para as pessoas e para os produtos produzidos pelas grandes cidades em construção. É nesse momento que surge o conceito de automóvel moderno, desenvolvido pelo inventor alemão Karl Benz no ano de 1886, composto por um motor de combustão e que caracteriza os meios de transporte mais comuns da atualidade (carros, motos, ônibus, etc) (Parissien, 2014).

Nesse período, em paralelo às Revoluções Industriais, iniciaram-se diversos processos de modernização e adaptação dos grandes centros urbanos às novas demandas de produção e mobilidade, que juntamente com as transformações das relações de trabalho resultaram em diversas etapas de migração do campo para as cidades. Ao longo de dois séculos, a humanidade viu rapidamente uma mudança drástica no seu estilo de vida (Zhang and Mi, 2018).

O aumento na densidade demográfica das cidades, junto à inovação tecnológica de mobilidade urbana, fez com que as pessoas passassem a adquirir seu automóvel moderno a fim de se locomover com facilidade, aumentando exponencialmente o número de automóveis particulares circulando nestas cidades desde então (Zhang and Mi, 2018).

Com o aumento do número de automóveis particulares circulando nas cidades, alguns problemas surgiram. Dentre eles, problemas relacionados a atrasos e poluição devido a altos níveis de congestionamento se tornaram uma marca do século XX e

XXI. De fato, desde o final do século XIX até os dias atuais, diversos problemas relacionados à mobilidade nas cidades têm surgido, com múltiplos impactos econômicos e ambientais. Nesse contexto, a fim de minimizar esses problemas, é de suma importância a avaliação de outros meios de mobilidade urbana (bicicletas, transporte público, etc.) e a realização de um planejamento urbano eficiente e responsável (Trubia et al., 2020).

Este capítulo aborda diversas questões de planejamento urbano e de uso de tecnologia para enfrentamento dos problemas decorrentes da mobilidade ineficiente nas cidades, focando sobretudo no uso das bicicletas como alternativa de transporte nos centros urbanos.

2.1 Mobilidade e Planejamento Urbano

O constante crescimento da população presente nos centros urbanos tem trazido alguns desafios na adaptação do desenvolvimento urbano e na necessidade de implantação de um sistema de mobilidade urbana que possua mecanismos para proteger o meio ambiente e que garanta a inclusão social. No entanto, o número excessivo de transportes individuais presentes nas grandes cidades acaba afetando negativamente a mobilidade urbana, a população e o meio ambiente (Costa et al., 2017; Trubia et al., 2020).

Uma forma de minimizar esses problemas recorrentes devido ao alto número de carros e motocicletas circulando nas grandes cidades é através da utilização do transporte público (ônibus, metrô, etc.). Mas, para isso, é necessário que os órgãos governamentais invistam neste setor, transformando este tipo de transporte em uma opção de qualidade, viável e inclusiva (Trubia et al., 2020).

A outra forma de se locomover dentro das cidades visando reduzir o problema da mobilidade urbana é através da utilização de meios de transportes sustentáveis (bicicleta, patinete, etc). Esta forma de se locomover nos centros urbanos está se tornando cada vez mais comum, principalmente pelo fato de ser barata, ágil e saudável. No entanto, é necessária a implantação de vias especializadas e demarcadas para permitir que as pessoas possam viajar em segurança (Brasileiro and Comar, 2015).

2.1.1 Urbanização e sustentabilidade

Nos dias atuais, a urbanização tem um papel fundamental em pressionar as cidades para que promovam e apoiem serviços relacionados a um modo de vida mais sustentável, prezando-se pela qualidade de vida com o uso de menos recursos, fabricação de menos resíduos, emissão de menos gases poluentes e mais eficiência energética. Estas cidades podem ser classificadas de várias maneiras, dentre elas, podemos citar as Cidades Inteligentes, Cidades Felizes, Cidades Resilientes e Cidades de Baixo Carbono (Mugion et al., 2018).

Desta forma, podemos destacar as cidades como uma nova esfera de poder para o desenvolvimento, sendo fonte da criação de valores a partir das perspectivas econômicas, ambientais, sociais e éticas. Estes valores são essenciais na busca por uma ação transformacional, indo contra a direção de ações que geram pequenos progressos incrementais na formação de negócios sustentáveis e de urbanização (Mugion et al., 2018).

2.1.2 Intermodalidade e sistemas de transporte integrado

O conceito de transporte integrado é responsável por combinar diversas formas de mobilidade disponíveis que permitem as pessoas planejarem como se deslocar nas cidades utilizando um serviço porta-a-porta em prol de uma mobilidade “perfeita” (Nosal and Solecka, 2014). Esta abordagem está diretamente relacionada à mudança do transporte individual motorizado para o transporte público e/ou transporte individual não motorizado, e deve começar no nível operacional a partir da inclusão da integração funcional e modal, a fim de desenvolver uma compreensão de um sistema de transporte integrado. Assim, é fornecida uma perspectiva que mostra a eficiência desse tipo de sistema, aumentando a atratividade do transporte público e reduzindo o fluxo de veículos motorizados nas vias (Mugion et al., 2018) e (Nosal and Solecka, 2014).

Um sistema de transporte integrado eficiente deve estar relacionado à três características: 1) intermodalidade, possibilitando que as pessoas peguem dois ou mais tipos diferentes de transporte, 2) interoperabilidade, que diz respeito aos aspectos técnicos e operacionais do sistema, e 3) interconectividade, que diz respeito ao modo que o sistema fornece o sistema porta-a-porta prometido. Estes três aspectos são responsáveis por otimizar a integração dos modos de transportes, presentes no sistema de transporte integrado, a fim de oferecer um serviço contínuo (Nosal and Solecka, 2014).

2.1.3 Desafios recorrentes na prática do ciclismo urbano

Atualmente, o uso da bicicleta para fins de transporte nos grandes centros urbanos é muito comum. Contudo, o fato dos veículos motorizados ainda serem a principal forma de locomoção nas cidades acaba criando um cenário propício à ocorrência de acidentes de trânsito envolvendo ciclistas (Brasileiro and Comar, 2015).

Pedestres e ciclistas compõem o grupo mais frágil no trânsito dos grandes centros urbanos. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), totalizam cerca de 26% das mortes por acidentes de trânsito no mundo devido à carência de vias de qualidade para a locomoção dessas pessoas nos centros urbanos, forçando-os a dividir espaço com os veículos motorizados (Organization et al., 2018).

No Brasil, o grupo formado por ciclistas e pedestres é estimado em 25,8% da população com idade superior a 15 anos, e segundo dados do Sistema Único de Saúde (SUS), esse grupo é responsável por 23,7% das internações por traumas de acidentes

de trânsito no país (DATASUS, 2020). Então, para entender as principais causas desses acidentes, foi realizado um estudo no país e chegou-se a conclusão que a ausência de vias adequadas para pedestres e ciclistas é o fator mais impactante nessa estatística (Brasileiro and Comar, 2015).

Pensando em minimizar este problema, o primeiro passo a ser realizado consiste na implementação de ciclovias que percorram boa parte das cidades, garantindo que os ciclistas não precisem se deslocar em meio aos carros e motos. Porém, como podemos saber onde implantar as ciclovias e avaliá-las? Uma forma de realizar essa tarefa é através do desenvolvimento de uma Métrica de Qualidade para Ciclovias.

2.2 Métricas de Qualidade

Aplicadas a diversos contextos, as métricas de qualidade têm como principal função ajudar na visualização e concepção de informações. Em geral, correspondem a um termo genérico capaz de quantificar a qualidade visual de determinada informação e, portanto, a eficácia e o interesse da sua visualização (Behrisch et al., 2018).

Atualmente, a aplicação desse caráter informativo das métricas de qualidade pode ser encontrado em várias situações, tornado-as de grande importância para muitas áreas do conhecimento, como descrito em Behrisch et al. (2018).

O’Briain et al. (2018) apresenta um estudo baseado na avaliação de um conjunto de métricas para avaliar o estado ecológico dos rios através da vegetação. A métrica abordada é a *River Vegetation Quality Metric* (RVQM), que aplica uma abordagem eco-hidromórfica para avaliar a integridade da vegetação focada em rios de planície. Esta foi usada em relação às variáveis físicas de 27 rios localizados na Irlanda e a partir deste estudo foi possível concluir que a interação entre os descritores hidromorfológicos e a vegetação do rio deve ter um grande peso na atribuição do estado ecológico aos rios de várzea.

Bafandeh Mayvan et al. (2020) propõe um processo de várias etapas usando métricas de qualidade de *software* para obtenção de conjunto de *software* candidatos a *bad smells* a fim de especificá-los. Para atingir o objetivo desejado, os autores realizaram uma revisão sistemática da literatura sobre a especificação de *bad smells* e coletaram o conjunto das métricas mais comuns usadas no campo, juntamente com as métricas introduzidas em estudos de alta qualidade, com base em fatores de qualidade.

Kaczynski et al. (2016) propõe uma métrica denominada ParkIndex que permite avaliar o potencial de uso dos parques em determinados locais. Para isso, foi realizada uma pesquisa de campo através da aplicação de *surveys* a fim de saber se alguns parques da cidade de Kansas eram usados regularmente. Então, a partir desses dados foi feito um mapeamento utilizando as ferramentas ArcGIS 9.3 e *Community Park Audit Tool*, sendo assim possível fazer uma análise a partir de um conjunto de variáveis determinadas pelos autores e definir o nível ParkIndex de utilização do parque em questão.

Diante do caráter abrangente de aplicações das métricas de qualidade, este trabalho propõe o BikeWay, uma métrica de qualidade baseada em Lógica *Fuzzy* aplicada. Essa métrica foi criada para qualificar as ciclovias através de dados de sensoriamento do ambiente onde as mesmas estão inseridas e dos dados estatísticos das regiões consideradas.

2.3 Lógica Fuzzy

Baseada na Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*, a lógica *Fuzzy* traz uma abordagem diferente da lógica Booleana e trata de valores que variam entre 0 e 1, ao invés de “verdadeiro” ou “falso” (Dernoncourt, 2013). Este aspecto da lógica *Fuzzy* permite que a mesma seja capaz de obter informações, descritas em linguagem natural, e transformá-las em um dado numérico, facilitando a manipulação (Novák et al., 2012).

Em Kamgueu et al. (2015) foi desenvolvido um trabalho onde os autores discutem a combinação de várias métricas de roteamento com lógica *Fuzzy* aplicada para o projeto de função objetiva RPL (*Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks*), padrão de roteamento utilizado em aplicações de IoT. Outra aplicação da lógica *Fuzzy* está presente em Garg et al. (2013), onde os autores realizaram uma pesquisa para apresentar uma estrutura para classificação de métricas de engenharia de *software* com base na elicitação da opinião de especialistas e metodologia de matriz *Fuzzy*.

As próximas subseções apresentam em mais detalhes alguns aspectos cruciais da lógica *Fuzzy*.

2.3.1 Variáveis linguísticas

Criadas para fornecer uma forma de aproximação de fenômenos mal definidos ou complexos, as variáveis linguísticas possuem valores que podem ser definidos a partir de termos próprios, como: “ruim”, “razoável” e “bom” (Dernoncourt, 2013). A Figura 2.1 apresenta um exemplo com três variáveis linguísticas que classifica, em três níveis, a qualidade da comida servida em um restaurante através da sua nota de 0 a 10.

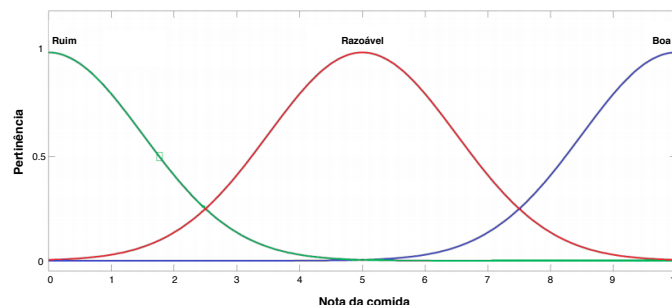


Figura 2.1: Variável linguística que classifica o sabor de uma comida através da sua nota.

2.3.2 Funções de pertinência

Como mostrado na Figura 2.1, existe uma relação entre a nota da comida e uma determinada pertinência que vai de 0 a 1. Esta relação é possível de ser realizada devido às funções de pertinência, que são responsáveis por processar esses dois dados em prol de definir os valores da variável linguística (Novák et al., 2012).

Neste exemplo, é possível visualizar através da Figura 2.1, as relações entre a pertinência, funções de pertinência e nota da comida:

- **Ruim:** pertinência igual a 1 para os casos onde a nota da comida se aproxima de 0;
- **Razoável:** pertinência igual a 1 para os casos onde a nota da comida se aproxima de 5;
- **Boa:** pertinência igual a 1 para os casos onde a nota da comida se aproxima de 10.

2.3.3 Regras da lógica *Fuzzy*

Sabendo que a lógica *Fuzzy* é aplicada em diversas áreas do conhecimento da atualidade e que na grande maioria das aplicações esta realiza o processamento de diversos tipos de dados em conjunto para chegar a uma resposta, é necessário o entendimento do funcionamento da mesma (Dernoncourt, 2013).

Utilizando o exemplo dado anteriormente, podemos inserir um contexto maior onde a combinação da nota da comida e de uma nova variável, que informa uma nota de 0 a 10 para o atendimento, permite definir uma variável de saída referente à qualidade do restaurante em questão.

Para isso, é definido que essa nova variável de entrada e a variável de saída possuam também um conjunto de variáveis linguísticas, neste caso, escolhido o mesmo que a qualidade da comida: “ruim”, “razoável” e “bom”. A partir dessa informação, é possível criar as seguintes regras:

1. SE comida é ruim OU atendimento é ruim ENTÃO serviço é ruim;
2. SE comida é razoável E atendimento é razoável ENTÃO serviço é razoável;
3. SE comida é boa E atendimento é bom ENTÃO serviço é bom.

Assim, pode-se observar que um fator chave na definição de regras da lógica *Fuzzy* são os operadores booleanos E, OU e NÃO. Por fim, vale salientar que estas regras permitem processar as variáveis linguísticas para diversos fins. No contexto deste trabalho, a utilização desses conceitos da lógica *Fuzzy* estão presentes na definição da métrica de qualidade proposta para avaliar as ciclovias nas cidades.

2.4 Internet das Coisas

A Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) consiste em um paradigma de automação e troca de informações criado para objetos comuns (eletrodomésticos, veículos, etc.), ambientes e pessoas interagirem de forma integrada e automática (Zanella et al., 2014; Atzori et al., 2010). Essa ideia “futurística”, que até então era vista apenas na ficção, se deve ao avanço tecnológico em diversas áreas do conhecimento, como eletrônica, programação, redes de computadores, inteligência artificial, visão computacional, etc. O cenário criado possui uma vasta aplicação que vai do uso pessoal, como o conceito de casa inteligente, até os casos de situações críticas, como o domínio de assistência médica (Atzori et al., 2010).

2.4.1 Definição

Ao longo da história, o termo “Internet das Coisas” é citado de diversas formas e este fato acaba gerando uma confusão no entendimento real deste paradigma. O principal fator desse mal-entendido, na maioria das vezes, está relacionado ao aspecto interdisciplinar inerente da IoT, uma vez que existe uma certa sobreposição entre a Internet das Coisas e outras áreas de pesquisa, como objetos inteligentes, sistemas embarcados e ambientes inteligentes, por exemplo.

Devido a esta falta de clareza, proveniente da facilidade característica da IoT em se confundir com outras áreas de pesquisa, é importante utilizar uma abordagem baseada no detalhamento dos aspectos deste paradigma ao invés de propor mais uma definição, dentre as inúmeras existentes. Para isso, é interessante observar essa estrutura diante de três perspectivas diferentes: tecnológica, serviços e utilização.

A primeira perspectiva foca no aspecto tecnológico da IoT. Este paradigma surgiu com a ideia de incorporar diversas tecnologias a fim de realizar tarefas comuns de forma automatizada e utilizando suas próprias peculiaridades (Atzori et al., 2010). Assim, no geral, este conceito busca a mudança profunda em nossas vidas através da capacidade de criação de sistemas onipresentes, distribuídos e reativos que podem alterar a maneira como interagimos com o mundo. Através desse paradigma, se torna possível criar um cenário favorável para diversas aplicações como: *Smart Cities*, *Smart Homes*, *Smart Health*, etc (Peixoto and Costa, 2017).

Olhando na perspectiva de serviços, pode-se dizer que a integração dessas diversas tecnologias, como foi citado, está focada na transmissão de informações provenientes de uma determinada fonte. Esta fonte é um aspecto extremamente importante na ideia da IoT e, em suma, é composta por pessoas (fornecendo os dados através de seus dispositivos: computador, *smartphone* e outros dispositivos similares) e objetos reais e virtualizados inseridos no ambiente que fornece os serviços aos usuários (Zanella et al., 2014).

É importante salientar que é esperado que essas informações geradas através da IoT se tornem uma espécie de base informativa comum, para que diferentes aplicativos

possam compartilhar, sem restrição e em escala global, potencializando a ideia de transformar a Internet das Coisas em um modelo de “Internet do Futuro” (Atzori et al., 2017).

Por fim, é necessário apresentar o ponto de vista relacionado à utilização da Internet das Coisas, e diante dessa perspectiva tem-se a IoT como uma nova maneira para realizar a abordagem de questões com notável impacto social, sendo assim relevante para “tarefas” sociais básicas, como: educação, gerenciamento de energia, saúde e bem-estar, dentre outras questões. Contudo, o grande diferencial desse paradigma é que o envolvimento neste processo não está limitado apenas aos seres humanos como atores, focando, então, na interação entre pessoas e objetos como pares (Atzori et al., 2017).

2.4.2 Contexto histórico

Ao longo dos últimos anos, pode-se dizer que a Internet das Coisas passou por três gerações dotadas de diferentes tecnologias e objetivos. A Tabela 2.1 apresenta um breve panorama a respeito destas gerações, e os parágrafos a seguir são responsáveis por detalhar as mesmas.

Tabela 2.1: Panorama geral das três gerações da IoT.

Primeira Geração	
Objetos marcados	Responsáveis por identificar objetos a fim de recuperar as informações relacionadas à eles (Cho et al., 2007)
<i>Machine-to-Machine</i> (M2M)	Define uma arquitetura de comunicação entre máquinas (Jara et al., 2014)
Integração entre RFID e WSN	Combina os dados provenientes das <i>tags</i> RFID com os dados gerados pelos sensores conectados na <i>Wireless Sensor Network</i> (Welbourne et al., 2009)
Segunda Geração	
<i>Internetworking</i>	Permite que dispositivos usem o protocolo TCP/IP a fim de acessar a Internet (Guinard et al., 2010)
<i>Web of Things</i>	Torna possível a comunicação desses dispositivos na web (Castellani et al., 2012)
Serviços de Redes Sociais	Permitem o compartilhamento de dados gerados pelos objetos inteligentes entre pessoas, através das redes sociais (Zelenkauskaitė et al., 2012)
<i>Social Internet of Things</i> (SIoT)	Torna os objetos capazes de se comunicarem com outros objetos, criar grupos e realizar ações colaborativas (Nitti et al., 2013)
Semântica	Descreve os recursos dos objetos para promover a interoperabilidade do sistema (De et al., 2014)
Continua na próxima página	

Tabela 2.1 – Continuação da página anterior.

Terceira Geração	
Internet do Futuro	Cria a rede centrada em informações no mundo da IoT, que como a web, possui comunicações orientadas à conteúdo, invés de <i>hosts</i> (Song et al., 2013)
Nuvem	Permite que os objetos realizem armazenamento, comunicações e processamentos na nuvem (Karnouskos, 2013)
Integração avançada entre RFID e IoT	Facilita a integração entre RFID's nas aplicações de IoT (Turcu and Turcu, 2012)

Para desenvolver a Internet das Coisas como conhecemos hoje, tem-se como ponto de partida o desenvolvimento da tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID). Esta recebeu grande ênfase devido ao seu potencial para realizar a marcação de objetos, dando-lhes uma identidade, de forma econômica. Porém, enquanto o desenvolvimento de IoT baseada em RFID estava iniciando, já existiam algumas soluções de sensoriamento remoto baseadas em Redes de Sensores Sem Fio (RSSF), telemetria e tecnologias de Controle Supervisório e Aquisição de Dados (SCADA), permitindo a inserção destas ferramentas em um estado de importância para a Internet das Coisas, como o RFID (Atzori et al., 2017).

Através da utilização destas tecnologias, surgiu a Primeira Geração da Internet das Coisas, definida pelo conceito de Objetos Marcados, e que perdurou até a mudança do paradigma de colocar *tags* nos objetos, através da redução contínua do interesse em soluções deste tipo. Enquanto isso, crescia o interesse em tornar os objetos de IoT conectáveis à Internet, e assim foi iniciada a Segunda Geração da Internet das Coisas, denominada *Web of Things* (Zanella et al., 2014).

A difusão desta geração foi possível principalmente pela utilização do protocolo IP, que já conectava um grande número de dispositivos de comunicação e que para ser implementado nos dispositivos de IoT, foi necessário realizar uma adaptação das suas funcionalidades básicas e a incorporação de um padrão de redes de curto alcance, *Personal Area Network* (PAN) (Atzori et al., 2017). Outro fator importante no desenvolvimento da *Web of Things* foi a ideia de executar um aplicativo em um navegador web, fazendo com que a IoT entrasse nessa geração até a chegada da computação em nuvem e o início da terceira e última geração (Zanella et al., 2014).

A Internet das Coisas seguiu o rumo da evolução da Internet no que diz respeito à criação de serviços e permissão de acesso de qualquer lugar, e esta evolução foi possível de ser realizada através do surgimento da computação em nuvem. Além disso, esse período também é marcado pela nova geração de objetos que avançam em direção a novos paradigmas disruptivos para as redes sociais das coisas (Atzori et al., 2017). Estes aspectos causam um salto geracional que permite o avanço da

IoT para a chamada “Internet do Futuro”, que fará a exploração das tecnologias de computação em nuvem e será centrada em pessoas, conteúdo e serviços (Zanella et al., 2014).

Porém, apesar desse desenvolvimento baseado em gerações, vale salientar que a Internet das Coisas, na sua versão atual, é o resultado dos pontos positivos inerentes de cada geração (Zanella et al., 2014). De fato, no desenvolvimento do sistema proposto neste trabalho, técnicas e paradigmas de diferentes gerações do desenvolvimento IoT são utilizadas, visando, além da obtenção dos melhores resultados, a implantação de tecnologias que permitam o bom funcionamento do serviço proposto, enquanto se busca a redução do custo da solução.

2.4.3 Arquiteturas

Diante do caráter vasto e abrangente da Internet das Coisas, se torna impossível definir uma única arquitetura para defini-la. O funcionamento deste paradigma deve contar com uma arquitetura que possibilite a utilização da variedade de tecnologias de sensores, redes, comunicações, computação, entre outras (Gigli and Koo, 2011). Para suprir esses requisitos, criou-se uma arquitetura que pode ser considerada como a mais utilizada no mundo da IoT: a Arquitetura de Três Camadas (Sethi and Sarangi, 2017).

Criada nos estágios iniciais das pesquisas na área da Internet das Coisas, a Arquitetura de Três camadas possui um modelo que funciona com base nas camadas de Percepção, Rede e Aplicação, como mostra a Figura 2.2 (Mashal et al., 2015; Said and Masud, 2013; Wu et al., 2010).

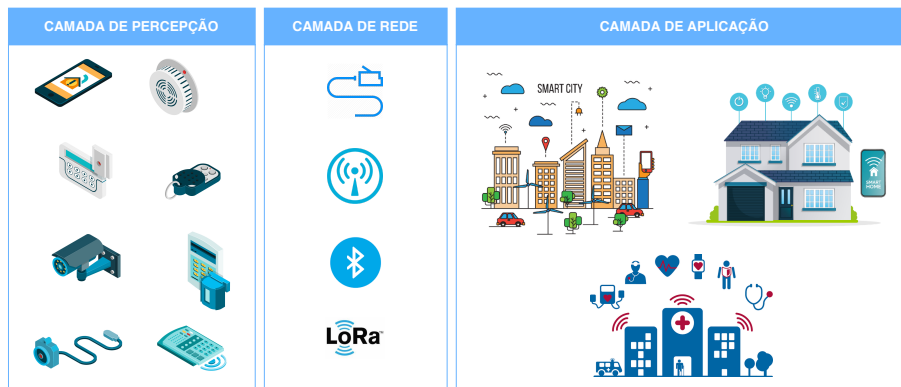


Figura 2.2: Modelo da Arquitetura de Três Camadas.

A Camada de Percepção consiste na parte física da arquitetura, possuindo sensores para a detecção e coleta de informações sobre o meio onde está inserido, sendo assim capaz de identificar alguns parâmetros físicos e/ou objetos inteligentes no ambiente (Sethi and Sarangi, 2017).

Para que estas informações possam ser transportadas entre os objetos e para servidores a fim de chegar até o usuário, existe a Camada de Rede, que também pode ser

utilizada para processar dados dos sensores (Sethi and Sarangi, 2017). Uma vez que estes dados são adquiridos e transportados, existe a necessidade de fornecê-los para o usuário. Para isso existe a Camada de Aplicação, que define várias aplicações nas quais a Internet das Coisas pode ser implantada, como: casas inteligentes, cidades inteligentes e saúde inteligente (Sethi and Sarangi, 2017).

De maneira geral, a Arquitetura de Três Camadas é bastante utilizada em soluções IoT. Contudo, vale salientar que existem outras arquiteturas que também são bastante utilizadas, como as Arquiteturas baseadas em Nuvem e Névoa e a Social IoT (Sethi and Sarangi, 2017).

As Arquiteturas baseadas em Nuvem e Névoa trazem a ideia de descentralização do processamento de dados proveniente de outras arquiteturas, como a de Três Camadas (Gubbi et al., 2013). Essa descentralização é possível pelo fato da computação em nuvem fornecer grande flexibilidade e escalabilidade, oferecendo serviços como infraestrutura, plataforma, *software* e armazenamento para que os desenvolvedores possam fornecer suas ferramentas através da nuvem (Sethi and Sarangi, 2017).

Portanto, a computação em nuvem possui algumas limitações no que diz respeito à aproximação dos seus recursos e serviços aos objetos inteligentes da IoT. Então, para suprir essas limitações, nessas arquiteturas são aplicadas o conceito de computação em névoa, que permite que a “borda” (sensores e os *gateways* da rede) faça parte do processamento e da análise de dados (Bonomi et al., 2014, 2012; Stojmenovic and Wen, 2014).

Por fim, tem-se a Social IoT, que é uma arquitetura que considera as relações sociais entre os objetos da mesma maneira que os humanos formam suas relações sociais (Atzori et al., 2011). Esta é baseada em três características:

1. A SIoT permite a navegação entre os dispositivos. Isso se deve ao fato da facilidade de descobrir novos dispositivos e serviços utilizando uma rede social de dispositivos IoT (Atzori et al., 2011);
2. Existe uma necessidade de confiabilidade (força do relacionamento) entre os dispositivos (semelhantes aos amigos no Facebook) (Atzori et al., 2011);
3. Podemos usar modelos semelhantes ao estudo de redes sociais humanas para estudar também as redes sociais de dispositivos IoT (Atzori et al., 2011).

Há, portanto, diversas soluções para a criação de sistemas IoT. Contudo, no contexto do estudo presente neste trabalho, para projetar o sub-sistema de aquisição de dados ambientais do modelo iBikeSafe (BikeSensor), foi utilizada a Arquitetura de Três Camadas como referência.

2.4.4 Experiências práticas na área

Para apresentar o panorama atual de desenvolvimento da área de IoT, foram pesquisados e discutidos alguns trabalhos práticos abordando aplicações promissoras,

com resultados consistentes. A Tabela 2.2 sumariza alguns trabalhos desenvolvidos no período de 2016 a 2020.

Título	Descrição
<i>A Distributed Multi-Tier Emergency Alerting System Exploiting Sensors-Based Event Detection to Support Smart City Applications</i> (Costa et al., 2020)	Propõe um sistema modularizado para gerar continuamente alarmes de emergência (EAs) responsivamente.
<i>CitySpeed: A Crowdsensing-Based Integrated Platform for General-Purpose Monitoring of Vehicular Speeds in Smart Cities</i> (Costa et al., 2019)	Descreve o desenvolvimento de uma nova plataforma para monitorar a velocidade dos veículos por meio do <i>crowdsensing</i> baseado em <i>smartphone</i> , fornecendo dados que podem dar melhor suporte ao planejamento e gerenciamento de tráfego em áreas urbanas.
<i>Internet of Things Mobile–Air Pollution Monitoring System (IoT-Mobair)</i> (Dhingra et al., 2019)	Descreve a implementação de um aplicativo IoT de detecção de poluição do ar.
<i>A Crowdsensing Platform for Monitoring of Vehicular Emissions: A Smart City Perspective</i> (Silva et al., 2019)	Propõe uma plataforma capaz de processar dados obtidos de veículos e estimar a quantidade de dióxido de carbono gerado durante a reação de combustão no motor do veículo.
<i>Wireless visual sensor networks for smart city applications: A relevance-based approach for multiple sinks mobility</i> (Peixoto and Costa, 2017)	Propõe um método de posicionamento de vários dissipadores para cenários de cidades inteligentes, onde as restrições de movimentação se aplicam e cada câmera pode ter um nível de relevância diferente para a rede como um todo.
<i>Integrated Pollution Monitoring System for Smart City</i> (Siregar et al., 2016)	Usa <i>Waspote Sensor Cities Board</i> para coletar dados relacionados às condições ambientais, especialmente o nível de poluição em áreas urbanas próximas à população humana.

Tabela 2.2: Trabalhos voltados a IoT nos últimos 5 anos.

Como pode ser visto na Tabela 2.2, todas as aplicações são voltadas para o monitoramento de alguma variável do ambiente, podendo destacar alguns pontos positivos (sistemas embarcados de multi sensoriamento, plataformas que funcionam de forma independente e dispositivos desenvolvidos em plataformas de *hardware open-source*), negativos (sistemas que necessitam de conexão com Internet para funcionar corretamente e aplicações que precisam estar conectadas com *smartphone*) e em comum com parte da pesquisa apresentada neste trabalho (multi sensoriamento e utilização de sistema embarcado autosuficiente). No contexto geral, é sabido que a grande mai-

oria das aplicações de IoT possui parte do seu foco voltado para o monitoramento de alguma grandeza, tornando esse tipo de aplicação muito importante e comum para essa área do conhecimento.

2.5 Desenvolvendo Aplicações de Monitoramento

O ato de monitorar consiste na verificação constante de algo a ponto de identificar padrões ou situações, e/ou apenas analisar o que está sendo observado. Desta forma, nos dias atuais existem inúmeras formas de monitoramento das mais variadas coisas, desde as pequenas coisas (ex: objetos) até coisas muito maiores (ex: planetas) (Shanmugapriya et al., 2019).

Para o monitoramento de espaços ou coisas de grande porte, podemos citar a área denominada Sensoriamento Remoto. Esta consiste na ciência que permite agrupar informações sobre objetos ou área do mundo real à distância, possuindo aplicações responsáveis por monitorar recursos da Terra usando tecnologias espaciais através da utilização do espectro eletromagnético a fim de avaliar as características do planeta Terra (Shanmugapriya et al., 2019).

Enquanto esta propõe o monitoramento como foi citado, uma abordagem de área menor pode ser implementada através da utilização da Internet das Coisas. Nesse caso, utilizam-se plataformas de *hardware* diferentes das tecnologias espaciais, como satélites, reduzindo-se assim os custos ao mesmo tempo que aumenta-se a escalabilidade das soluções propostas.

2.5.1 Plataformas de *hardware open-source*

Diante da evolução da eletrônica embarcada ao longo dos anos, foi possível o desenvolvimento de algumas plataformas de *hardware* utilizadas para propósitos específicos. Algumas delas são bem conhecidas devido às suas inúmeras aplicações em diversas áreas do conhecimento, além da sua vasta exploração nas aplicações DIY (*Do It Yourself* - Faça Você Mesmo) encontradas na Internet e em outras fontes. Dentre elas, podemos citar: Raspberry Pi (RPI), Arduino, ESP e BeagleBoard. A popularização destas plataformas de *hardware* está ligada à algumas características intrínsecas desse tipo de sistema, sendo elas (Costa and Duran-Faundez, 2018):

- **Baixo custo:** tornando-as acessíveis ao público interessado;
- **Poder computacional:** podendo executar tarefas relativamente complexas como computação visual;
- **Interfaces de entrada e saída:** possuindo além de pinos de entrada e saída de uso geral (GPIO), interfaces para câmera, microfone e dispositivos USB;
- **Baixo consumo de energia:** permitindo o desenvolvimento de aplicações com autonomia de execução “razoável”;

- **Tamanho reduzido:** tornando os dispositivos fáceis de portar/integrar ao ambiente;
- **Robustez:** fazendo com que essas plataformas possam operar por um longo período sem que hajam falhas;
- **Comunicação:** permitindo conexão por *Bluetooth*, Wi-Fi, *Ethernet*, 4G/5G e LoRa, por exemplo;
- **Armazenamento:** inerente da plataforma ou possível através de cartões de memória.

Devido à essas características citadas e à essência distribuída da Internet das Coisas, essas plataformas são visualizadas como ideais para o desenvolvimento de sistemas nessa área do conhecimento. Isso se deve ao fato da grande maioria das aplicações IoT dependerem de uma unidade de monitoramento/atuação capaz de coletar dados dos sensores, processá-los, transportá-los através da rede, e até realizar a atuação de algum dispositivo que altere determinado fator no ambiente. Neste caso, uma plataforma de *hardware* embarcado inserida em um sistema de IoT é considerada uma unidade de processamento local (UPL).

Inserida no contexto da Arquitetura de Três Camadas, é possível afirmar que, em um exemplo prático, a camada de percepção pode ser composta por um sensor de luminosidade, acrescido da UPL (responsável por fazer a aquisição dos dados do sensor), a camada de rede sendo composta por uma placa de rede Wi-Fi, e a camada de aplicação implementando o conceito de casa inteligente (Sethi and Sarangi, 2017).

Para que os dados possam ser coletados e transportados, é necessário que haja um *firmware* sendo executado nesta plataforma de *hardware*, que em sua grande maioria, está inserido no mundo *open-source* (Costa and Duran-Faundez, 2018).

Uma das plataformas mais utilizadas, que obedecem as características mencionadas nessa subseção, é o Raspberry Pi. Esta placa consiste em um mini computador capaz de rodar um Sistema Operacional (SO) e possui diversas interfaces de entrada e saída (pinos digitais, UART, I2C, SPI, etc.) (Costa and Duran-Faundez, 2018). A próxima subseção é dedicada à apresentação dessa plataforma de *hardware open-source*

2.5.2 Raspberry Pi

Bastante utilizado para várias aplicações em diversas áreas, o Raspberry Pi já é um dos computadores mais vendidos de todos os tempos (Wallace and Richardson, 2016). Este se trata de um mini computador de propósito geral com diferentes características e que são de grande utilidade para aplicações de monitoramento baseadas em IoT, como a proposta neste trabalho. As principais características deste mini computador são (Costa, 2018; Patchava et al., 2015):

- Processadores baseados em ARM (*Advanced RISC Machine*);

- Slot de cartão de memória: necessário para a instalação do sistema operacional;
- Saída HDMI: que permite a projeção dos recursos visuais do SO instalado no RPI;
- Saída de áudio;
- Portas USB;
- Entrada *Ethernet* (alguns modelos);
- Wi-Fi (alguns modelos);
- Pinos de entrada e saída de propósito geral (GPIO): que permite o acesso à diversos tipos de dispositivos.

Tais recursos permitem que o Raspberry Pi possua as características citadas na subseção anterior, que são ideais para o desenvolvimento de aplicações no contexto da Internet das Coisas (Costa and Duran-Faundez, 2018). No entanto, fazendo uma análise das versões do RPI de uma forma mais detalhada, podemos identificar algumas diferenças de *hardware*, como apresentado na Tabela 2.3.

	4 B	3 A+	3 B+	Zero W	A+
Lançamento	06/2019	11/2018	03/2018	02/2017	11/2014
Processador	Cortex-A72	Cortex-A53	Cortex-A53	ARM1176JZF	ARM1176JZF
Clock	1.5 GHz	1.4 GHz	1.4 GHz	1 GHz	700 MHz
RAM	1, 2 e 4 GB	512 MB	1 GB	512 MB	256 MB
USB	4x USB	1x USB	4x USB	1x micro	1x USB
Ethernet	Gigabit	x	Gigabit	x	x
Wi-Fi	Sim	Sim	Sim	Sim	x
Bluetooth	Sim	Sim	Sim	Sim	x

Tabela 2.3: Especificações de alguns modelos de Raspberry Pi.

A partir da análise das especificações apresentadas na Tabela 2.3, é possível definir a utilidade dos modelos de RPI para determinadas aplicações de IoT. A priori, é visível que o modelo A+, por não ter *Ethernet*, Wi-Fi ou *Bluetooth*, torna-se complicado de utilizar em aplicações que necessitem de comunicação através de rede. Pode-se concluir, também, que os modelos 4B, 3A+ e 3B+ são mais apropriados para a realização de tarefas que possam exigir maior poder de processamento, como aplicações de visão computacional.

Por fim, vale salientar que a escolha do modelo do RPI para compor um sistema de IoT depende muito de uma análise das necessidades desse sistema em conjunto com as especificações da placa (processamento, memória, rede, dimensões, eficiência energética, etc.). Só assim é possível escolher o *hardware* ideal para a aplicação em questão.

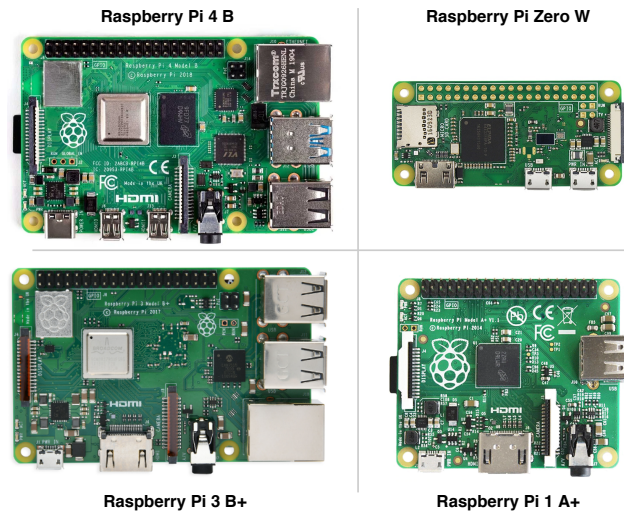


Figura 2.3: Alguns modelos populares da plataforma Raspberry Pi.

2.5.3 Trabalhos em IoT desenvolvidos com Raspberry Pi

A Tabela 2.4 apresenta alguns dos trabalhos que foram utilizados como referência e que endossaram a escolha do Raspberry Pi.

Tabela 2.4: Trabalhos voltados a IoT utilizando Raspberry Pi.

Título	Descrição
<i>Healthcare based on IoT using Raspberry Pi</i> (Gupta et al., 2015)	Desenvolveu um sistema projetado para monitorar continuamente o eletrocardiograma (ECG) e outros sinais vitais.
<i>Air quality monitoring system based on IoT using Raspberry Pi</i> (Kumar and Jasuja, 2017)	Apresenta um sistema de monitoramento da qualidade do ar, em tempo real, que inclui vários parâmetros: PM 2,5, monóxido de carbono, dióxido de carbono, temperatura, umidade e pressão do ar.
<i>Industrial Automation using IoT with Raspberry Pi</i> (Merchant and Ahire, 2017)	Este projeto envolve o <i>design</i> detalhado e a construção de um sistema de automação industrial usando placa Raspberry Pi e conexão de Internet.

Continua na próxima página

Tabela 2.4 – Continuação da página anterior.

Título	Descrição
<i>An IoT based patient monitoring system using raspberry Pi</i> (Kumar and Rajasekaran, 2016)	Discute sobre o monitoramento da temperatura corporal do paciente, taxa de respiração, batimento cardíaco e movimento do corpo.
<i>A Smart Home Automation technique with Raspberry Pi using IoT</i> (Patchava et al., 2015)	Apresenta um sistema proposto para automação residencial com Raspberry Pi usando IoT através da integração de câmeras e sensores de movimento em uma aplicação web.
<i>The real time monitoring of water quality in IoT environment</i> (Vijayakumar et al., 2015)	Apresenta um projeto e desenvolvimento de um sistema de baixo custo para monitoramento em tempo real da qualidade da água.
<i>IoT based Smart Agriculture</i> (Gondchawar and Kawitkar, 2016)	Visa tornar a agricultura inteligente usando as tecnologias de automação e IoT. Os recursos de destaque deste trabalho incluem um robô com controle remoto baseado em GPS para executar tarefas.

2.6 Cidades Inteligentes

De uma forma geral, o conceito de Cidades Inteligentes nasce no momento em que é aplicado o paradigma da Internet das Coisas a um contexto urbano. Isso se deve ao interesse de muitos governos em adotarem soluções tecnológicas para auxiliar na gestão das cidades, tendo como objetivo final a melhora da utilização dos recursos públicos a fim de aumentar a qualidade dos serviços oferecidos aos cidadãos (Schaffers et al., 2011).

Para atingir este objetivo, é necessário a implantação de uma infraestrutura de comunicação que forneça acesso unificado, simples e econômico à uma infinidade de serviços públicos. Com isso, é possível desencadear cooperação e aumentar a transparência dos dados disponíveis, potencialmente melhorando a qualidade de vida das pessoas (Cuff et al., 2008).

Uma vez que esses objetivos são alcançados, pode surgir uma série de benefícios

no gerenciamento e otimização dos serviços públicos tradicionais como iluminação, transporte e estacionamento, manutenção de áreas públicas, vigilância, monitoramento de condições climáticas, coleta de lixo, preservação do patrimônio cultural e salubridade de hospitais. Além disso, a aplicação do conceito de Cidades Inteligentes à uma área urbana permite a disponibilidade de diferentes tipos de dados que podem ser utilizados para diversas funções, como descrito a seguir (Cuff et al., 2008):

- Aumentar a transparência e promover ações do governo local em relação aos cidadãos;
- Aumentar a conscientização das pessoas sobre o status de seus serviços;
- Estimular a participação ativa dos cidadãos na gestão da administração pública;
- Estimular a criação de novos serviços a partir dos dados disponibilizados por soluções baseadas na Internet das Coisas.

Tendo em vista os objetivos citados nos parágrafos anteriores, é possível visualizar as vantagens oferecidas através da aplicação da Internet das Coisas às áreas urbanas. Nesse sentido, serão apresentados alguns exemplos de serviços onde este paradigma pode ser aplicado a fim de criar uma cidade inteligente (Cuff et al., 2008), facilitando a percepção sobre sua utilização prática.

Quando se fala sobre Cidades Inteligentes, a imaginação tende a fluir e uma variedade de aplicações podem ser imaginadas. No geral, pode-se dizer que o foco da aplicação do paradigma de Internet das Coisas no contexto urbano é aumentar a qualidade e aprimorar os serviços fornecidos aos cidadãos (Dohler et al., 2011), sendo esse o objetivo encontrado em trabalhos relacionados.

Um serviço comum presente nas cidades inteligentes está relacionado ao monitoramento da “saúde” estrutural dos edifícios de uma cidade. Para que seja feita uma manutenção adequada de edifícios históricos, é preciso realizar um monitoramento contínuo das condições reais dos mesmos e a identificação das áreas mais sujeitas ao impacto de agentes externos (Lynch and Loh, 2006). Assim, a aplicação da IoT neste tipo de serviço está ligada ao fornecimento de um banco de dados com as medições de integridade estrutural do edifício, adquiridos por sensores específicos localizados no edifício a fim de monitorar variáveis como: estresse do edifício, agentes atmosféricos impactantes no mesmo e condições ambientais que influenciam na estrutura da construção (Lynch and Loh, 2006).

Através da construção de bancos de dados desse tipo, torna-se possível reduzir a necessidade de testes estruturais periódicos por mão de obra humana, permitindo-se ações de restauração e manutenção direcionadas e proativas, além de torná-las mais baratas. Esses dados podem ser disponibilizados à população a fim de conscientizá-la sobre os cuidados que devem ser tomados para preservar o patrimônio histórico da cidade (Zanella et al., 2014).

Outro serviço frequentemente fornecido é o gerenciamento inteligente de resíduos. Essa necessidade deve-se ao fato desse ser um serviço custoso, ao passo que existe um problema latente de armazenamento de lixo em aterros sanitários nas grandes cidades. Nesse contexto, soluções para esse problema através da utilização de IoT têm sido desenvolvidas, potencialmente trazendo vantagens econômicas e ecológicas (Nuortio et al., 2006). Como exemplo, um tipo de serviço pode ser implementado através do uso de contêineres inteligentes, com a função de detectar o nível de carga e permitir a otimização da rota dos caminhões de coleta. Com isso, pode-se reduzir o custo da coleta e gerar melhora na qualidade da reciclagem (Nuortio et al., 2006). A realização desse gerenciamento inteligente de resíduos é possível através da conexão dos contêineres a um centro de controle, onde um sistema realiza a otimização através do processamento dos dados e resposta com o gerenciamento ideal da frota de caminhões coletores (Zanella et al., 2014).

Outro ponto tão importante quanto à coleta de lixo em uma cidade é a qualidade do ar. A Internet das Coisas pode fornecer meios de monitoramento da qualidade do ar em áreas de uma cidade, incorporando então mais um serviço popular relacionado à Cidades Inteligentes (Al-Ali et al., 2010). A aplicação desse serviço é possível através da implantação de sensores de qualidade de ar e poluição ao longo da cidade. Nesse caso, é importante o fornecimento de recursos de comunicação para permitir o compartilhamento dos dados com aplicativos a fim de informar aos cidadãos os pontos da cidade onde o ar está nas melhores condições (Zanella et al., 2014).

Além do monitoramento do ar, existe uma grande preocupação com o monitoramento de ruído, que pode ser visto como uma forma de poluição, da mesma forma que o óxido de carbono (CO) é para o ar. Desta forma, pode-se aplicar um sistema IoT capaz de medir a intensidade do ruído em determinados locais da cidade (Maisonneuve et al., 2009). Essa medição também pode ser utilizada para reforçar a segurança pública, através de algoritmos de detecção de sons que podem reconhecer, por exemplo, o ruído de vidros quebrados ou brigas, podendo melhorar a tranquilidade das noites e a confiança dos proprietários de casas e estabelecimentos públicos (Zanella et al., 2014).

Ainda descrevendo serviços comuns esperados para as Cidades Inteligentes, o monitoramento do consumo de energia tem tido lugar de destaque. Em geral, esse serviço está relacionado ao detalhamento do consumo de energia e a visualização, por conta das autoridades e dos cidadãos, a fim de permitir a identificação das principais fontes de consumo, potencialmente permitindo otimizações do seu comportamento (Zanella et al., 2014). Uma das formas de melhorar o consumo de energia de uma cidade é através da implementação de um serviço de iluminação inteligente, que pode otimizar a luminosidade das luzes públicas de acordo com o horário, a presença de pessoas e as condições climáticas (Zanella et al., 2014). Portanto, esta não é a única forma de otimização do consumo de energia, sendo possível também a aplicação da IoT para o monitoramento de consumo de energia e salubridade em edifícios públicos através de sensores e atuadores para controlar temperatura, umidade e iluminação. Com isso, pode-se aumentar o conforto das pessoas que estão nesses ambientes e reduzir

os custos de serviços de iluminação e controle de temperatura (Kastner et al., 2005).

Essa pequena discussão sobre os serviços comuns nas Cidades Inteligentes é útil para apresentar diversos exemplos de como a aplicação correta de tecnologia pode trazer benefícios para os cidadãos. De fato, os serviços públicos que podem ser melhorados com a aplicação da Internet das Coisas não estão limitados apenas aos citados, havendo uma vasta área de exploração (Zanella et al., 2014). A Tabela 2.5 apresenta alguns trabalhos na literatura com contribuições interessantes nessa área.

Tabela 2.5: Trabalhos voltados ao monitoramento ambiental em Cidades Inteligentes.

Título	Descrição
<i>Analyzing air pollution on the urban environment</i> (Baralis et al., 2016)	Realizaram uma análise da poluição do ar através da coleta da concentração de alguns poluentes, condições climáticas e dados de tráfego de veículos automotores. Para isso, foram implementadas estações de monitoramento fixas ao longo da cidade de Milão para realizar a coleta de dados, e além disso, um site foi desenvolvido para a visualização desses dados.
<i>A bicycle-borne sensor network for monitoring urban air quality</i> (Xiang et al., 2016)	Desenvolveram uma solução onde sensores foram acoplados à bicicletas alugáveis a fim de coletar dados relacionados à concentração de poluentes no ar ao longo do trajeto realizado pelas mesmas. Neste trabalho, os dados eram armazenados de forma local e no momento em que a bicicleta era devolvida, os mesmos eram enviados para um servidor central.
<i>Towards Crowd-Sourced Air Quality and Physical Activity Monitoring by a Low-Cost Mobile Platform</i> (Yang et al., 2016)	Fizeram um estudo baseado na medição do impacto da qualidade do ar na saúde de um conjunto de pessoas ao praticar atividade física. Para isso, foram implementadas uma unidade móvel de baixo custo para medir a qualidade do ar e uma plataforma vestível para analisar a intensidade da atividade física dos participantes.
<i>Environmental Monitoring for Smart Cities</i> (Bacco et al., 2017)	Desenvolveram uma rede de sensores fixos e móveis para medir e comparar dados relacionados à poluição e condições microclimáticas adquiridos de forma estacionária e móvel.

Continua na próxima página.

Tabela 2.5 – Continuação da página anterior.

Título	Descrição
<i>A low-cost sensing system for cooperative air quality monitoring in urban areas</i> (Brienza et al., 2015)	Propuseram o desenvolvimento de um módulo móvel de baixo custo para o monitoramento da qualidade do ar. O foco deste trabalho está na mobilidade dos sensores que permite a leitura dos índices de O ₃ , NO ₂ e CO em qualquer lugar da cidade. A transferência desses dados é realizada através da comunicação sem fio com o servidor central, que permite o acesso dos mesmos através de uma interface web e de um aplicativo.
<i>CitiSense: Improving Geospatial Environmental Assessment of Air Quality Using a Wireless Personal Exposure Monitoring System</i> (Nikzad et al., 2012)	Avaliam um sistema colaborativo de detecção de poluição do ar através da utilização de sensores vestíveis que enviam as suas leituras para o celular do usuário a fim de mostrar esses dados para o mesmo, além de salvá-los para enviar à um servidor central.

No contexto de monitoramento das condições adversas ambientais que incidem nas ciclovias, a IoT é utilizada neste trabalho, mais uma vez, para trazer benefícios diretos as cidades modernas, com foco especial na saúde e segurança ciclistas.

Capítulo 3

Solução Proposta

Esta dissertação descreve, em detalhes, o desenvolvimento de um novo modelo de *hardware* e *software* para monitoramento, avaliação e visualização de ciclovias em cidades, denominado iBikeSafe (Oliveira et al., 2021). Este modelo associa três grupos de dados relacionados às ciclovias e ao ambiente onde as mesmas estão inseridas, realizando diversos processamentos que visam, em última instância, aprimorar o nível de percepção que os ciclistas têm sobre as ciclovias utilizadas.

As ciclovias em uma cidade são modeladas e avaliadas em relação a sua qualidade e posteriormente exibidas para os ciclistas de acordo com critérios de busca. Nesse contexto, três grandes grupos de dados são definidos: *BW-CyclePaths*, *BW-Environment* e *BW-Infrastructure*.

O primeiro grupo de dados, *BW-CyclePaths*, consiste na representação computacional de um modelo matemático para as ciclovias e está relacionado a um sistema auxiliar capaz de cadastrar as ciclovias presentes nas cidades através da marcação de pontos em um página web. Este sub-sistema auxiliar, referenciado como BikePath-Gen, é previsto para ser desenvolvido em trabalhos futuros e para esta dissertação os seus dados foram simulados.

Para a avaliação das ciclovias, os dois grupos de dados *BW-Environment* e *BW-Infrastructure* são considerados. Na métrica proposta, níveis diferentes de qualidade foram criados, que são agrupados na etapa de avaliação do iBikeSafe, definida como BikeWay. Mais especificamente, o grupo de dados *BW-Environment* está relacionado aos dados ambientais que afetam os ciclistas (independente da natureza da ciclovias em questão) e podem ser coletados através de um sub-sistema de monitoramento. Tal sub-sistema também foi desenvolvido no escopo deste trabalho, utilizando o paradigma de IoT para Cidades Inteligentes como base, sendo referenciado como BikeSensor (Oliveira et al., 2020). Já o terceiro grupo considerado, o *BW-Infrastructure*, é caracterizado por dados que afetam os ciclistas de acordo com a infraestrutura da ciclovias utilizadas. Esses dados, que também podem ser obtidos através de um sub-sistema, foram simulados ao longo deste trabalho. Espera-se

o desenvolvimento e uso de tal sistema auxiliar, referenciado como BikeData, em trabalhos futuros.

Uma vez que os grupos de dados foram corretamente definidos e implementados, tornou-se possível combiná-los a fim de alimentar o sub-sistema que implementa a métrica BikeWay. Esta métrica proposta fornece uma indicação de qualidade unificada empregando lógica *Fuzzy*, posteriormente encaminhando os resultados para o CyclingView, sub-sistema responsável por gerar os mapas e disponibilizar uma forma de visualizar os mesmos através de uma página web. Dessa forma, adquire-se um mecanismo unificado e sequencial para monitoramento, avaliação e visualização da qualidade percebida de ciclovias em qualquer cidade do mundo.

A Figura 3.1 apresenta um diagrama que permite o entendimento geral da abordagem iBikeSafe, mostrando a interação entre o sub-sistema de aplicação da métrica BikeWay e os sub-sistemas BikePathGen, BikeSensor, BikeData e CyclingView.

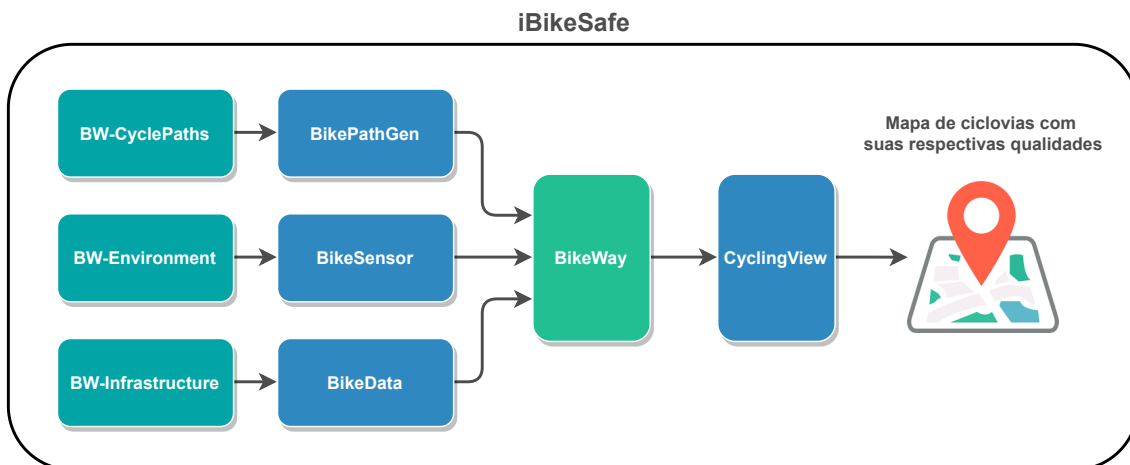


Figura 3.1: Integração dos sub-sistemas BikeSensor, BikeData e BikePathGen ao sub-sistema BikeWay a fim de qualificar as ciclovias e gerar os mapas para visualização dos dados através do sub-sistema CyclingView.

O objetivo deste Capítulo é, então, descrever o modelo proposto iBikeSafe, bem como o projeto e implementação de todos os sub-sistemas que compõem as suas etapas.

3.1 Arquitetura do Modelo Proposto: iBikeSafe

O modelo proposto, denominado iBikeSafe, incorpora diversos sub-sistemas que são organizados em camadas, permitindo a execução de funções de monitoramento, avaliação e visualização de ciclovias. Todos esses sub-sistemas possuem diferentes formas de aquisição e processamento de dados, como descritos nas próximas subseções. No geral, três camadas são definidas, como apresentado a seguir:

- **Camada de monitoramento:** é responsável por capturar os dados relacionados às condições adversas das ciclovias, bem como das cidades onde as mesmas estão inseridas. Composta pelos sub-sistemas BikeSensor e BikeData, esta camada realiza o sensoriamento das variáveis ambientais que podem impactar na saúde e bem estar do ciclista, assim como realiza a coleta das estatísticas da cidade que podem colocar em risco a vida dos ciclistas;
- **Camada de avaliação:** responsável por avaliar as ciclovias monitoradas em cinco níveis diferentes através da aplicação do sub-sistema BikeWay, que implementa uma métrica de qualidade de ciclovias com lógica *Fuzzy* aplicada;
- **Camada de visualização:** tem como função a geração dos mapas de visualização de ciclovias avaliadas, bem como a disponibilização destes mapas em uma página web. É composta pelo sub-sistema CyclingView.

Além das camadas definidas, um sub-sistema auxiliar é considerado no contexto do iBikeSafe. Esse sub-sistema auxiliar é responsável pelo cadastro de ciclovias por pessoas especializadas, mas poderia ser executado de qualquer outra forma, por exemplo importando dados de outro sistema. De fato, para o cadastro das ciclovias utilizadas pelo iBikeSafe, espera-se como principais fornecedores de dados as prefeituras das cidades. Desta forma, as pessoas que cuidam da mobilidade urbana nas cidades podem, a partir da utilização do sub-sistema de cadastro (chamado de BikePathGen), registrar as ciclovias de determinada cidade.

A Figura 3.2 apresenta o diagrama geral da arquitetura lógica proposta para a solução iBikeSafe.

Uma vez que as ciclovias são cadastradas, é possível monitorar as mesmas em relação às condições adversas que impactam a vida dos ciclistas. Estas condições são divididas em dois grupos diferentes, são eles: dados estatísticos, compostos pelo grupo de informações referenciado como *BW-Infrastructure* e que são adquiridos pelo sub-sistema BikeData através da coleta de dados na Internet; e dados sensorados, composto pelo grupo de informações referenciado como *BW-Environment* e que são adquiridos pelo sub-sistema BikeSensor através da implantação de unidades de sensoriamento móvel nas bicicletas (Figura 3.2).

Com as ciclovias cadastradas no iBikeSafe e a disponibilização dos dados relacionados às condições adversas das ciclovias através da camada de monitoramento, o modelo proposto é capaz de avaliar estas ciclovias com a utilização do sub-sistema BikeWay. Este sub-sistema, presente na camada de avaliação, permite agrupar os dados da camada de monitoramento e do sub-sistema auxiliar de cadastro para a avaliação de ciclovias através da aplicação da métrica BikeWay, que utiliza lógica *Fuzzy* para qualificar as mesmas em cinco níveis: *very bad*, *bad*, *moderate*, *good* e *very good*.

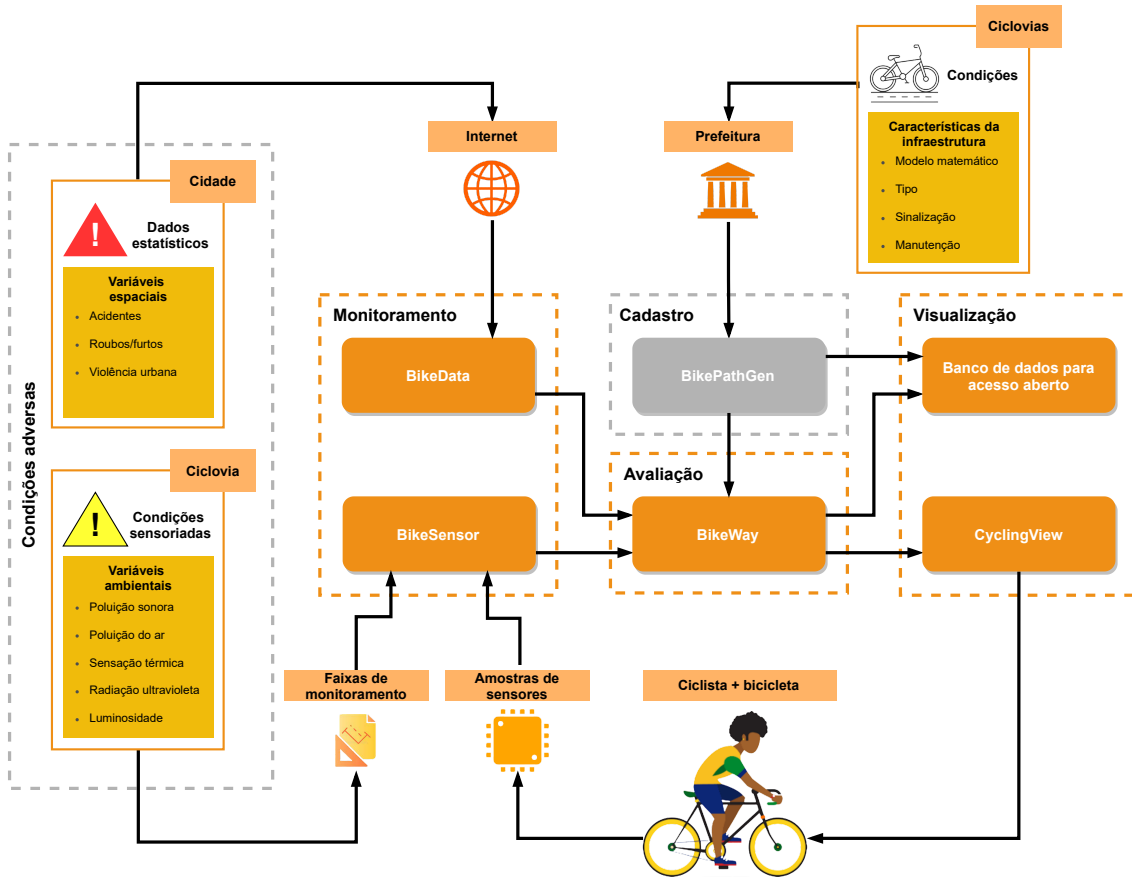


Figura 3.2: Diagrama geral do iBikeSafe, focando na interação entre os “atores” e as camadas do modelo.

Por fim, na Figura 3.2 é possível visualizar que os dados provenientes da camada de avaliação são utilizados na camada de visualização, que através do sub-sistema CyclingView, permite a geração de mapas com as ciclovias plotadas e a disponibilização destes mapas por uma aplicação web. Além disso, nesta camada é previsto um banco de dados aberto que permite o acesso às informações provenientes do BikePathGen e BikeWay.

A partir da estrutura lógica proposta para o iBikeSafe, as seções a seguir tratam das especificidades do projeto e implementação deste modelo, bem como os seus sub-sistemas.

3.2 Sub-Sistema Auxiliar de Cadastro de Ciclovias

Esta seção apresenta a definição de um modelo matemático criado para representar as ciclovias inseridas em uma cidade, bem como o seu cadastro e representação computacional.

3.2.1 Modelo matemático de uma ciclovia

Uma ciclovia c é representada por um grafo não direcionado composto por um conjunto de arestas s_i . Estas arestas são responsáveis por conectar um ponto p_i a um ponto $p_{(i+1)}$, com $0 \leq i < (P - 1)$, para P vértices no grafo e $P \geq 2$. No contexto do iBikeSafe, qualquer aresta s_i é tratada como um único elemento e, portanto, a métrica de avaliação calculada é válida para cada uma delas como um elemento único. Na prática, as ciclovias consideradas podem ser processadas em um arquivo de entrada indicando as coordenadas GPS dos pontos que compõem cada caminho, pertencendo ao grupo de dados nomeado *BW-CyclePaths* e fornecidos pelo sub-sistema BikePathGen. A Figura 3.3 ilustra o modelo proposto para as ciclovias.

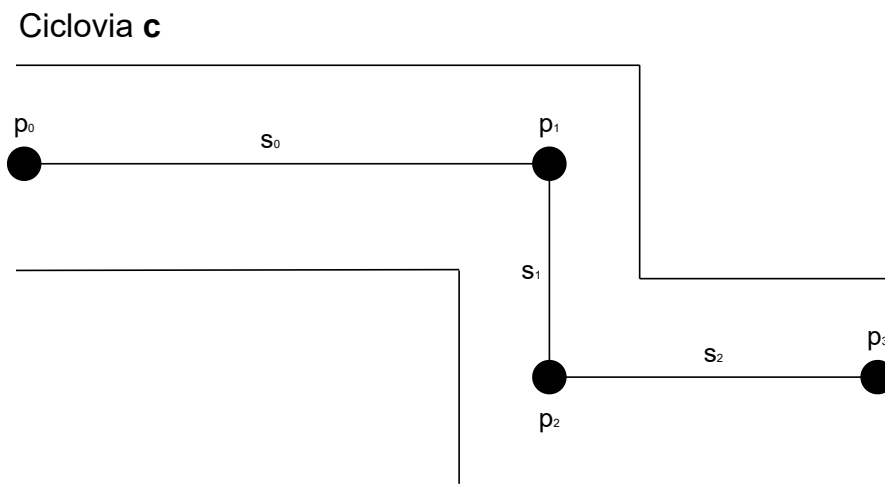


Figura 3.3: Modelo matemático da ciclovia no contexto da abordagem iBikeSafe

3.2.2 Sub-sistema de cadastro de ciclovias: BikePathGen

O objetivo deste sub-sistema é permitir que as ciclovias sejam cadastradas, seguindo o modelo matemático ilustrado na Figura 3.3, através da marcação dos seus pontos em um mapa disponibilizado por uma aplicação web. Esse registro é previsto para ser realizado por qualquer pessoa responsável pela mobilidade ciclística em uma cidade, como por exemplo, funcionários públicos em um departamento de gerenciamento de tráfego.

Uma vez que uma ciclovia é cadastrada no BikePathGen, este sub-sistema deve definir um ID para ela, no contexto da cidade em que está inserida (Ex: *Feira_de_Santana-BR-C1*), a fim de exportar as informações *BW-CyclePaths* desta cidade para o banco de dados em um arquivo *json* (Ex: *Feira_de_Santana-BR.json*). Assim que as ciclovias são registradas, o banco de dados (que estará presente na nuvem) fica responsável por agrupar todos os arquivos relacionados às cidades com ciclovias cadastradas a fim de permitir o acesso destes dados pelas aplicações clientes,

como a de avaliação de ciclovias. A Figura 3.4 apresenta uma ideia de implementação do BikePathGen de acordo com o processo que foi descrito.



Figura 3.4: Diagrama geral do BikePathGen apresentando o processo de cadastro e armazenamento dos dados das ciclovias.

Além das informações relacionadas ao modelo matemático das ciclovias, o BikePathGen deve capturar também informações gerais sobre a cidade e a ciclovias, como: peso de cada variável relacionada às condições adversas na avaliação da ciclovias para aquela cidade, data de construção, manutenção e inspeção da ciclovias, nome da pessoa ou órgão que construiu a mesma e algumas características estruturais de cada trecho s_i , como: tipo (0: isolada, 0.5: compartilhada ou 1: nenhuma), direção (0: $p_i \rightarrow p_{(i+1)}$, 1: $p_i \leftarrow p_{(i+1)}$ ou 2: $p_i \leftrightarrow p_{(i+1)}$) e nível de sinalização (0: nenhum, 1: pouco, 2: adequado). Uma vez que as ciclovias podem ser cadastradas através do BikePathGen, e exportadas seguindo o formato apresentado na Listagem 3.1, se torna possível combinar os dados do modelo destas ciclovias com os grupos de dados gerados pela camada de monitoramento, são eles: *BW-Environment* e *BW-Infrastructure*.

Listing 3.1: Exemplo de arquivo de ciclovias em uma cidade.

```

{
  "statisticDataWeights": [0.3, 0.3, 0.3],
  "monitoringDataWeights": [0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2],
  "paths": [
    {
      "ID": "Feira_de_Santana-BR-C1",
      "constructionDate": "01/02/2021",
      "maintenanceDate": "01/03/2021",
      "inspectionDate": "01/03/2021",
      "creator": "gov",
      "stretches": [
        {
          "ID": "Feira_de_Santana-BR-C1-S1",
          "P0": [-12.259720085744956, -38.96384053644054],
          "P1": [-12.259990743034352, -38.95488161248777],
          "type": 1,
          "direction": 0,
          "signage": 1
        }
      ],
    }
  ],
}
  
```

```
    "ID": "Feira_de_Santana-BR-C1-S2",
    "P0": [-12.259990743034352, -38.95488161248777],
    "P1": [-12.260127725044317, -38.95346259700217],
    "type": 1,
    "direction": 0,
    "signage": 1
  }
]
}
```

3.3 Camada de Monitoramento de Condições Adversas

Criada para gerar os dados relacionados aos grupos *BW-Environment* e *BW-Infrastructure*, a camada de monitoramento do iBikeSafe prevê a implementação de dois sub-sistemas para realizar a coleta desses dados, são eles: BikeSensor e BikeData.

3.3.1 Fundamentos do sub-sistema de sensoriamento de ciclovias: BikeSensor

Responsável por sensorear as ciclovias, a fim de coletar os dados de variáveis ambientais, os benefícios do sub-sistema BikeSensor são suportados por suas particularidades de *design* conceitual, implementação e implantação. Estes benefícios são oriundos das seguintes características:

- Baixo custo;
- Colaboratividade;
- Fácil utilização;
- Funcionamento *offline*;
- Fácil reprodução;
- Flexibilidade de monitoramento.

As características apresentadas nortearam o projeto e desenvolvimento desse sub-sistema proposto, oferecendo suporte para sua exploração prática em cidades reais e também contribuindo para novas pesquisas nesta área.

3.3.2 Estrutura lógica do BikeSensor

Para fornecer todos os serviços esperados, o BikeSensor foi projetado para processar os dados de forma modularizada, suportando as funções definidas. Com isso, os processos de sensoriamento ambiental, armazenamento e posterior análise de dados

são inerentemente distribuídos, exigindo a definição de elementos específicos para a execução das tarefas. Para tanto, foram propostas três unidades lógicas distintas, definidas a seguir:

- **Mobile Monitoring Station (MMS)**: é a unidade básica de monitoramento do BikeSensor. Empregando uma série de sensores de baixo custo para monitoramento ambiental, a MMS consiste em um pequeno dispositivo baseado em sensores operados por bateria, e é dedicado ao monitoramento constante das variáveis definidas, que são armazenadas internamente para transmissão posterior, através da Internet;
- **Data Central Unit (DCU)**: todos os dados coletados pelas MMS são eventualmente transmitidos ao DCU, que consiste em um serviço de armazenamento baseado em nuvem, permitindo fácil acesso aos dados;
- **BikeSensor Client (BSC)**: os dados detectados por todas as MMSs ativas e posteriormente transmitidos para o DCU podem ser utilizados pelos clientes do sub-sistema BikeSensor. A aplicação de avaliação de ciclovias seria uma implementação de tal unidade lógica, porém outras implementações são factíveis.

A Figura 3.5 apresenta o esquema geral do BikeSensor e a interação entre as unidades lógicas.

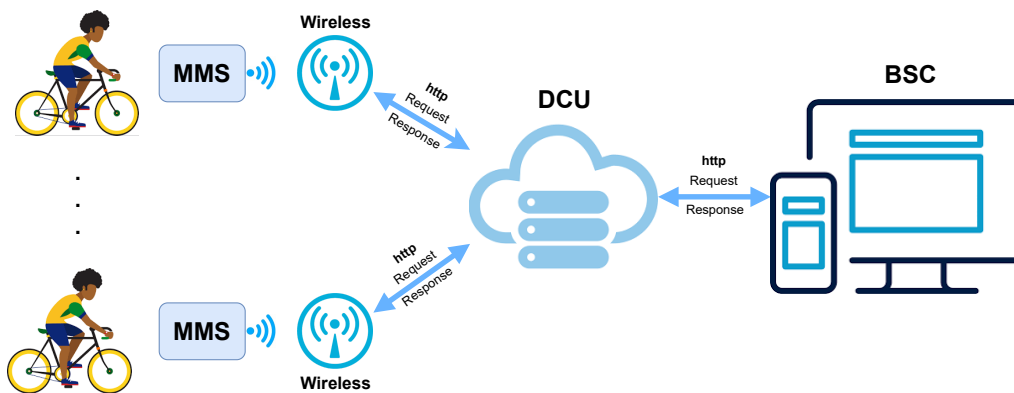


Figura 3.5: Abordagem proposta para o sub-sistema de monitoramento de variáveis ambientais, o BikeSensor.

Essas três unidades lógicas têm requisitos específicos e podem ser implementadas de maneiras diferentes. No entanto, definimos uma implementação padrão neste trabalho no que diz respeito à comunicação entre elas e a construção dos seus componentes.

3.3.3 Mobile Monitoring Station: Arquitetura de hardware

Sabendo que a unidade de sensoriamento móvel proposta neste trabalho deve ser capaz de mudar os seus sensores com facilidade, e respectivamente as variáveis am-

bientais percebidas por ela, foi desenvolvida uma arquitetura de *hardware*, que junto a um *firmware* específico, permite que este objetivo seja alcançado de forma satisfatória. Ambos os componentes fazem parte de um *framework* nomeado MSensorMob (Oliveira et al., 2021).

Esta arquitetura de *hardware* foi desenvolvida objetivando implementar a camada de percepção e parte da camada de rede da arquitetura de três camadas da IoT, assumindo uma aplicação de propósito geral para monitoramento móvel baseada em IoT. Além disso, a arquitetura conta com o uso de tecnologias de *hardware open-source* e sensores de baixo custo, o que permite que as MMSs possuam algumas características como: auto-suficiência energética e operacional, facilidade de uso, baixo consumo de energia e adaptabilidade. A Figura 3.6 apresenta a arquitetura proposta.

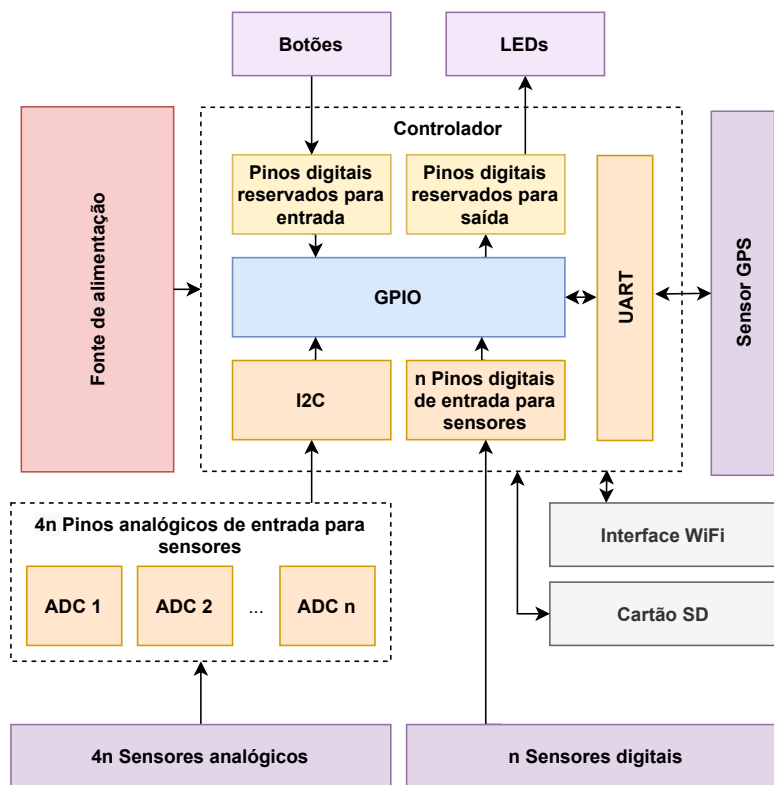


Figura 3.6: Arquitetura de *hardware* genérica para monitoramento móvel, aplicada na MMS.

Na arquitetura apresentada na Figura 3.6, é possível observar que a unidade de monitoramento móvel proposta é composta por um controlador, interface Wi-Fi, cartão SD, fonte de alimentação portátil (bateria LiPo, *power bank*, etc.), sensores e componentes da interface homem-máquina (botões e LEDs). Essa configuração permite que a unidade dispense a necessidade de se conectar a qualquer outro dispositivo para funcionar, como *smartphones*, proporcionando também autossuficiência energética. Além da autonomia garantida pelas características acima mencionadas,

outro fator torna-se muito importante para a implementação de uma unidade de monitoramento móvel que possa abranger uma pluralidade de aplicações e usuários finais, a sua facilidade de uso.

Para facilitar a utilização do módulo de monitoramento proposto, sua arquitetura possui botões que permitem a fácil interação entre usuário e dispositivo. Além disso, a presença de LEDs informa o funcionamento do módulo e o status da conexão com a rede, mostrando como está operando. A Figura 3.6 apresenta esses componentes, que são conectados diretamente ao controlador por meio do GPIO (*General-Purpose Input/Output*), termo considerado para interfaces padrão de entrada/saída para plataformas de *hardware open-source*, como o Raspberry Pi, que é a plataforma utilizada neste trabalho para o desenvolvimento da MMS.

Outro componente fundamental para esta arquitetura de *hardware* é o módulo GPS, uma vez que para muitas aplicações de monitoramento móvel, a coordenada da amostra coletada deve ser conhecida. Nesta arquitetura, são considerados os módulos que podem ser conectados ao controlador através da UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*).

Por fim, os últimos componentes restantes na arquitetura da Figura 3.6 são os principais responsáveis pela percepção do ambiente, como proposto na camada mais baixa da arquitetura de três camadas da IoT. Ligados à unidade móvel de monitoramento, os sensores são componentes responsáveis por captar dados relacionados a diversas variáveis ambientais (temperatura, umidade, pressão, etc.), traduzindo-os em informações em nível de máquina, no formato analógico ou digital.

Uma vez que esta arquitetura é preparada para adotar variadas combinações de sensores digitais e analógicos para monitoramento móvel, o *firmware* proposto no MSensorMob, além de executar os estados lógicos da unidade de monitoramento, deve realizar uma configuração do *hardware* identificando quais componentes estão presentes no dispositivo.

3.3.4 *Mobile Monitoring Station: Configuração dinâmica de hardware*

Devido à imensa variedade de sensores, é possível criar unidades móveis de monitoramento com diferentes finalidades, combinando esses sensores com base na arquitetura de *hardware* proposta neste trabalho. Porém, para se adaptar à leitura de dados de diferentes sensores, é necessário que os demais componentes do MSensorMob sejam configuráveis. Então, a segunda parte fundamental do MSensorMob consiste em um *software* que é o componente responsável por acessar os recursos da unidade de monitoramento móvel, denominado *firmware*.

Antes de executar as funções principais da unidade de monitoramento, o *firmware* projetado é capaz de configurar o *hardware* nos níveis lógico e físico. A configuração no nível lógico consiste na definição do identificador (ID) do dispositivo e na frequência com que ele captura as informações provenientes dos sensores.

Já relacionado à configuração física, o *firmware* define a quantidade de conversores analógico-digital (ADC) que serão utilizados na unidade de monitoramento móvel, bem como quais sensores serão utilizados e a quais canais do ADC serão conectados. Ao contrário dos sensores analógicos, os sensores com saídas digitais são conectados diretamente à GPIO do controlador inserido no dispositivo, para que o *firmware* possa detectá-los e configurar a unidade móvel de monitoramento corretamente. O tipo e o pino desses sensores também estão disponíveis no arquivo de configuração presente no cartão SD, conforme exemplificado na Listagem 3.2.

Listing 3.2: Exemplo de arquivo de configuração do *hardware*.

```
[GENERAL INFO]
#Monitoring unit ID
ID=MMS001

#Monitoring sample rate in seconds
SAMPLE_RATE=5

[INTERFACES]
#Number of ADCs on unit
N_ADS1115=1

[DIGITAL SENSORS]
#Temperature/humidity sensor pin
DHT_PIN=4

[ANALOG SENSORS]
#Luminosity sensor channel on ADC
LDR_REF=ADC0-CH0

#UV radiation sensor channel on ADC
UVM30A_REF=ADC0-CH1
```

Uma vez que a unidade de monitoramento móvel está totalmente configurada, o *firmware* gravado no controlador faz com que ela funcione com base nos estados lógicos apresentados a seguir.

3.3.5 *Mobile Monitoring Station: Estados lógicos*

A proposta do trabalho é que cada bicicleta que é implantada no sub-sistema proposto terá uma MMS anexada a ela e, portanto, pode ser considerada como o elemento central do BikeSensor. Desta forma, para realizar as funções esperadas de forma adequada, a MMS foi projetada conforme descrito a seguir.

Para permitir que a MMS monitore o ambiente e realize o *upload* dos dados no DCU, foram criados quatro estados lógicos para esta unidade: *SETUP*, *IDLE*, *MONITORING* e *UPLOADING*. A Figura 3.7 apresenta a interação entre esses estados lógicos.

Considerando uma cidade que implantará M bicicletas seguindo o sub-sistema BikeSensor, cada bicicleta terá uma única MMS. Então, qualquer MMS m , para

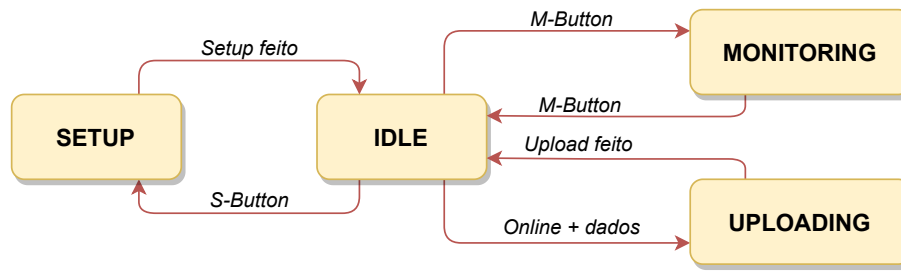


Figura 3.7: Estados lógicos da MMS.

$0 < m \leq M$, estará no estado *IDLE* quando for ligada e não estiver executando alguma operação dos outros estados. A partir do estado *IDLE*, a MMS muda para o estado *SETUP* quando o botão *S-Button* é pressionado e retorna ao estado anterior após finalizar a execução de *SETUP*. Também a partir do estado *IDLE*, a MMS pode transitar para o estado *MONITORING* quando o botão *M-Button* é pressionado, retornando ao estado anterior quando este botão é acionado novamente.

Partindo do estado *IDLE*, a MMS muda automaticamente para o estado *UPLOADING* se duas condições forem atingidas: a) a MMS está conectada a uma rede Wi-Fi e b) há novos dados monitorados a serem transmitidos desde o último *upload*. Se ambas as condições forem atendidas, a MMS muda automaticamente para o estado *UPLOADING*, transmitindo os dados para o DCU, e retorna ao estado *IDLE*.

Seguindo a condição a) citada no parágrafo anterior, é evidente que necessita-se de uma forma de comunicação com a rede. Embora outras tecnologias sem fio possam ser empregadas, foi definida a rede Wi-Fi (IEEE 802.11 e variações) como a tecnologia sem fio padrão para a MMS, devido à sua taxa de transferência alcançável, eficiência energética e baixo custo. Então, quando se está no estado *SETUP*, a MMS pode configurar a rede Wi-Fi que será utilizada, eventualmente fornecendo credenciais de segurança para autenticação. Mais uma vez, deve-se notar que a MMS opera de forma *offline*, utilizando uma rede sem fio apenas para descarregar dados de amostras de sensoriamento previamente armazenadas.

Como uma forma viável e prática de realizar esse procedimento de pré-configuração, o WPS (*Wi-Fi Protected Setup*) é adotado como mecanismo de configuração padrão, tornando mais fácil para qualquer ciclista configurar a MMS para uma nova rede Wi-Fi. Para isso, o *S-Button* deve ser pressionado e o botão WPS localizado no ponto de acesso Wi-Fi deve ser pressionado também. Esse procedimento geral garante um bom nível de flexibilidade e segurança, facilitando a utilização prática desse sub-sistema.

3.3.6 Mobile Monitoring Station: Sensoriamento

De forma simplificada, a MMS é uma unidade de monitoramento portátil que possui um conjunto de sensores acoplados para coletar dados do ambiente. Os sensores

acoplados à MMS são responsáveis por monitorar o ambiente através da coleta de amostras de monitoramento de acordo com suas características físicas. Desta forma, cada sensor $u_{(i,m)}$ na MMS m , para $0 < i \leq I_{(m)}$, $m > 0$ e $I_{(m)}$ como o número de sensores acoplados nessa MMS, recuperará um valor numérico para cada variável considerada. Para isso, é definida uma frequência de monitoramento $fs_{(m)}$ para cada MMS m , indicando que todos os sensores implantados naquela MMS irão detectar o ambiente a cada $fs_{(m)}$ segundos, simultaneamente. Assim, as MMSs podem ter configurações diferentes em termos de número de sensores implantados e de frequências de monitoramento, embora seja natural esperar que todas as MMSs, em um mesmo contexto urbano, sejam configuradas de forma homogênea.

A cada $fs_{(m)}$ segundos, todas os sensores realizam a detecção do ambiente e os dados recuperados são armazenados localmente de forma estruturada. Para isso, foi definido o conceito de *amostra*, $s_{m,t,g,V}$, que está associado a uma MMS m , um *timestamp* t , uma coordenada GPS g (latitude; longitude) e um conjunto V contendo dados de medição. Este conjunto $V = \{(i_1, v_1), (i_2, v_2), \dots, (I_{(m)}, v_I)\}$ é composto por $I_{(m)}$ pares (i, v) , com v como qualquer valor numérico dentro do intervalo de detecção de $u_{(i,m)}$.

Portanto, como cada MMS pode ter sensores diferentes, o valor de i deve estar associado a um tipo de dado específico (temperatura, pressão, umidade, luminosidade, ruído) e essa associação deve ser válida para todas as MMSs, por exemplo: $i = 1$ para temperatura, $i = 2$ para umidade e $i = 3$ para luminosidade. No entanto, uma vez que um único sensor físico pode recuperar dados de mais de um tipo, como os sensores de temperatura e umidade, o sistema deve tratá-los como duas unidades separadas, por exemplo, associando $u_{(1,m)}$ e $u_{(2,m)}$ ao mesmo sensor.

3.3.7 *Mobile Monitoring Station: Armazenamento de dados*

Para fins de persistência de dados, as amostras coletadas pelas MMSs são armazenadas em um arquivo *csv*, que é nomeado com a data do monitoramento realizado para fins de busca e armazenamento. A escolha deste formato de arquivo deve-se ao fato de permitir o armazenamento de uma grande quantidade de dados em arquivos muito pequenos e pela sua facilidade de manipulação para análises e estatísticas. Desta forma, os arquivos são armazenados localmente e posteriormente transmitidos ao DCU quando a MMS estiver no estado *UPLOADING*.

O uso de arquivos *csv* permite a adoção de bancos de dados em nuvem, como o Firebase Moroney (2017). Nessas bases de dados, os arquivos são versionados e armazenados para cada MMS correspondente, suportando o *upload* fácil e contínuo de novas amostras de monitoramento, mesmo capturadas no mesmo dia. Para isso, o DCU tem a capacidade de organizar os arquivos através de uma pasta para cada MMS, no formato “MMS $m/$ ”.

Um exemplo de arquivo *csv* obtido de uma MMS é apresentado na Listagem 3.3. Nesse arquivo, denominado *dd-mm-aaaa.csv*, as amostras são criadas a cada minuto

($fs_{(m)} = 60s$) e os dados de três sensores configurados anteriormente são mostrados (i é igual a 1, 3 e 6).

Uma vez que cada MMS pode implementar sensores diferentes, e é razoável pensar que tal configuração pode até mesmo mudar com novas versões da MMS para as mesmas bicicletas, o arquivo *csv* indica os tipos de sensores que estão sendo considerados nas *amostras*. Isso é implementado na primeira linha de cada arquivo *csv*, com o ID i dos sensores separados por um espaço em branco. A ordem desses *IDs* determina os valores das medidas, e assim temos: $v_1 = 29,8$, $v_2 = 73$, $v_3 = 100$ na Listagem 3.3.

Listing 3.3: Exemplo de arquivo de monitoramento.

```

1 3 6
16:39:00 -12.282060 12.060282 29.8 73 100
16:40:00 -12.282061 12.060282 29.8 73 100
16:41:00 -12.282062 12.060282 29.8 73 100

```

De acordo com o que foi projetado, a indicação na primeira linha do arquivo *csv* deve existir considerando uma configuração fixa dos sensores, que determina o id i do sensor para cada tipo de sensor físico. Desta forma, tal associação é um detalhe de implementação que depende de como o sistema será desenvolvido, mas garante um nível razoável de flexibilidade para o sub-sistema BikeSensor.

3.3.8 Mobile Monitoring Station: Funcionamento do *firmware*

Uma vez que a arquitetura de *hardware* utilizada para o projeto da MMS foi definida, bem como o esquema de configuração dinâmica deste *hardware* e os estados lógicos de funcionamento da mesma, é importante descrever o funcionamento do *firmware* desta unidade, que utiliza o *framework* MSensorMob. Então, para uma representação em alto nível, foi desenvolvido o pseudocódigo proposto no Algoritmo 3.1.

Algorithm 3.1 Algoritmo proposto que descreve a operação do *firmware* projetado.

```

1:  $id \leftarrow none$ 
2:  $fs \leftarrow 0$ 
3:  $sensors \leftarrow \emptyset$ 
4:  $currentState \leftarrow IDLE$ 

5:  $data \leftarrow readConfigFile(path)$ 
6:  $id \leftarrow setID(data)$ 
7:  $fs \leftarrow setSampleFreq(data)$ 
8:  $ConfigADCs(data)$ 
9:  $sensors \leftarrow sensors + setAnalogSensors(data)$ 
10:  $sensors \leftarrow sensors + setDigitalSensors(data)$ 
11:  $sensors \leftarrow sensors + configGPS()$ 

```

```
1: while true do
2:   mButton ← readButtonState(mbPin)
12:   sButton ← readButtonState(sbPin)
13:   dataAvailable ← checkDataToUpload()
14:   connected ← checkInternetConnection()

15:   controlConnectedLED(connected)
16:   controlStateLED(currentState)

17:   if currentState = IDLE then
18:     if timeoutReached() = true then
19:       break
20:     end if
21:     if (connected & dataAvailable) = true then
22:       currentState ← UPLOADING
23:     else if sButton = true then
24:       currentState ← SETUP
25:     else if mButton = true then
26:       currentState ← MONITORING
27:     end if

28:   else if currentState = MONITORING then
29:     if readTimeReached(fs) = true then
30:       sample ← readSensors(sensors)
31:       sample ← sample + getCurrentTime()
32:       filename ← getCurrentDate() + “.csv”
33:       storeSample(sample, filename)
34:     end if
35:     if mButton = true then
36:       currentState ← IDLE
37:     end if

38:   else if currentState = SETUP then
39:     connectToWiFi()
40:     currentState ← IDLE

41:   else if currentState = UPLOADING then
42:     uploadFilesToCloud()
43:     currentState ← IDLE
44:   end if
45:   sleep(duty_cycle_timer)
46:
47:   shutdown()
```

3.3.9 *Data Central Unit*

Sabendo que o DCU é responsável pelo armazenamento central do sub-sistema proposto e receber as *amostras* da MMS, esta unidade lógica do BikeSensor também é implantada para fornecer dados para qualquer aplicação solicitante, como o sub-sistema de avaliação de ciclovias do iBikeSafe.

O esquemático do BikeSensor, representado na Figura 3.5, descreve a comunicação abstrata entre os módulos: a MMS se comunica com o DCU, enquanto o DCU se comunica com o BSC, sem interação direta entre as MMS e BSC. Essas comunicações são definidas de acordo com algumas regras e protocolos.

As tarefas de monitoramento realizadas pela MMS consistem basicamente na coleta de dados dos sensores e no armazenamento local das amostras. No entanto, o armazenamento dessas amostras de dados ocorre localmente (em um cartão SD) até o momento em que a MMS se conecta à rede Wi-Fi e faz o *upload* das amostras (arquivos *csv*) para o DCU. Uma vez que o DCU possui os dados coletados das várias MMSs, a terceira unidade lógica (BSC) pode acessar essas informações para processamento e visualização.

3.3.10 *BikeSensor Client*

Os dados de monitoramento capturados pelas MMSs acopladas às bicicletas se tornam disponíveis para qualquer aplicativo solicitante. Estes dados, formatados pelo DCU, podem ser acessados por qualquer tipo de aplicativo, que pode processá-los para diferentes funções. Portanto, qualquer *BikeSensor Client* (BSC) pode ser criado desde que os procedimentos básicos de comunicação sejam seguidos. Neste trabalho, o BSC apresentado consiste no sub-sistema BikeWay, uma vez que o mesmo captura as informações provenientes desse sub-sistema de monitoramento a fim de combiná-las com as informações de outro sub-sistema (BikeData) para definir a qualidade das ciclovias na camada de avaliação do iBikeSafe.

3.3.11 Sub-sistema de coleta de dados estatísticos: BikeData

Complementando o BikeSensor na camada de monitoramento, o objetivo do BikeData é buscar dados que categorizam as variáveis definidas para o grupo *BW-Infrastructure*, demonstrados na Figura 3.1. Para essa busca, é planejado o desenvolvimento de um *Web Crawler*, que será responsável por capturar as informações estatísticas através de notícias e outras bases de dados na Internet (polícia rodoviária federal, secretaria municipal, governos, ONGs, etc) a fim de chegar à um valor próximo do real para os dados estatísticos (acidentes e violência) da cidade onde a ciclovia está inserida.

Uma vez que esses dados são capturados e processados, o BikeData é responsável por exportar um arquivo *csv* no formato "*mm-aaaa.csv*" que contém as informações

estatísticas das cidades para um determinado mês, como apresentado na Listagem 3.4.

Listing 3.4: Exemplo de arquivo de dados estatísticos.

```

1 2
Feira_de_Santana-BR      2  5
Salvador-BR              3  6
Belo_Horizonte-BR       5  5

```

Como mostra a Listagem 3.4, a primeira linha do arquivo com os dados estatísticos da cidade informa o código da variável do grupo *BW-Infrastructure*, enquanto as linhas seguintes contém o ID da cidade e os seus respectivos dados. Este arquivo é enviado para um banco de dados, que se torna o meio de aquisição dessas informações por aplicações cliente, como o sub-sistema BikeWay. O diagrama presente na Figura 3.8 apresenta todas as partes envolvidas no funcionamento do BikeData.

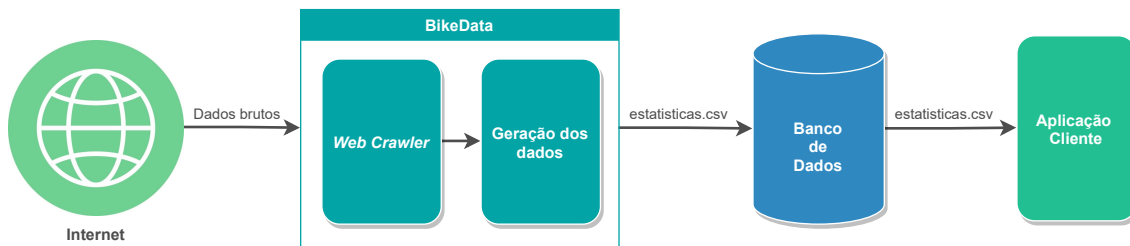


Figura 3.8: Diagrama geral do sub-sistema BikeData.

3.4 Camada de Avaliação de Ciclovias por Lógica Fuzzy

Com todos os grupos de dados bem definidos (*BW-CyclePaths*, *BW-Environment* e *BW-Infrastructure*) e com seus respectivos sub-sistemas projetados (BikePathGen, BikeSensor e BikeData), a camada de monitoramento se torna capaz de gerar estas informações a fim de serem repassadas, em conjunto aos dados do cadastro de ciclovias, para a camada de avaliação do iBikeSafe.

Proposta para processar as informações provenientes dos sub-sistemas mencionados, a camada de avaliação possui uma métrica de qualificação de ciclovias, previamente cadastradas, através do processamento dos dados relacionados às condições adversas adquiridos pela camada de monitoramento do modelo iBikeSafe. Esta métrica, conhecida como BikeWay, tem como unidade básica a Variável de Qualidade (QV), que é utilizada para definir o tipo de dado básico utilizado na métrica BikeWay. Nesta versão, a métrica proposta conta com um total de oito variáveis de qualidade que compõem os dois grupos de dados anteriormente citados: *BW-Environment* e *BW-Infrastructure*.

Além disso, para esta métrica foi definida a ideia de Significância Temporal. Esse conceito está relacionado à ideia de que o cálculo da métrica BikeWay combinará variáveis de qualidade que terão significância temporal diferentes, em tempo real ou de acordo com a percepção estatística. Seja qual for o caso, um escopo de tempo único é definido para a BikeWay, que requer o processamento de algumas variáveis de qualidade de acordo com seus valores médios. Embora a significância do tempo da métrica possa ser ajustada pelos usuários, o procedimento padrão é calcular a métrica para cada mês, considerando os resultados médios durante aquele período.

Sabendo que os dados provenientes do BikeSensor possuem uma frequência configurável de leitura por segundo BS_{fs} e que o número máximo de amostras coletadas BS_{ms} em um dia d é igual a 86400, foi desenvolvida a Equação 3.1 que define a quantidade de amostras coletadas em um determinado dia, $BS_{ds}(d)$. Esta informação é utilizada para calcular a média BS_{dm} do valor v de determinada variável ambiental i no dia d através da Equação 3.2. Por fim, este valor médio é aplicado na Equação 3.3 a fim de calcular o valor de entrada da métrica BikeWay BW_{env} para uma variável de monitoramento ambiental i a partir do escopo de tempo único BW_{sts} definido pela métrica.

$$BS_{ds}(d) = BS_{ms}/BS_{fs} \quad (3.1)$$

$$BS_{dm}(i, d) = \left(\sum_{n=1}^{BS_{ds}(d)} v(i) \right) / BS_{ds}(d) \quad (3.2)$$

$$BW_{env}(i) = \sum_{d=1}^{BW_{sts}} BS_{dm}(i, d) \quad (3.3)$$

Enquanto os dados do BikeSensor são gerados na escala dos segundos, as informações provenientes do BikeData não precisam de uma taxa de atualização tão pequena, devido à sua menor variação temporal em relação ao outro grupo. Com isso, foi definido o valor único BD_{dv} para a variável estatística i em um dia d , que aplicado à Equação 3.4 permite calcular o valor de entrada da métrica BikeWay BW_{inf} a partir do escopo de tempo único BW_{sts} definido pela métrica.

$$BW_{inf}(i) = \sum_{d=1}^{BW_{sts}} BD_{dv}(i, d) \quad (3.4)$$

A partir das equações apresentadas torna-se possível entender o conceito de Significância Temporal aplicado na métrica BikeWay, onde os dados referentes ao BikeSensor e ao BikeData são lidos em escalas de tempo diferentes mas através do escopo de tempo único definido para a métrica é possível combinar estes dois grupos de dados.

3.4.1 Variáveis de qualidade

A métrica proposta processa variáveis de qualidade que são organizadas em dois conjuntos distintos: *BW-Environment* e *BW-Infrastructure*. Embora possam existir diferentes variáveis pertencentes a esses grupos, para a versão inicial do métrica BikeWay foram definidas oito variáveis diferentes, como apresentado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Variáveis de qualidade consideradas na métrica proposta.

<i>BW-Environment</i> (M1)	
Variável	Descrição
1. Poluição do ar	Concentração de PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
2. Poluição sonora	Intensidade sonora (dB)
3. Radiação ultravioleta	Nível de UV
4. Índice de calor	Sensação térmica baseada em temperatura/umidade ($^{\circ}\text{C}$)
5. Luminosidade	Intensidade da luz (lux)
1. Dados de acidentes	Número de acidentes por mês
2. Dados de segurança	Números de violência urbana por mês
3. Situação da ciclovias	Informa se existe uma ciclovias e se ela é compartilhada com a via ou isolada

3.4.2 Processamento das variáveis

Com as variáveis de qualidade definidas, o passo seguinte consistiu na especificação da faixa de valores a ser considerada em cada uma delas, bem como o seu impacto no resultado final da métrica BikeWay. Então, para colocar todos os dados que compõem a métrica na mesma faixa de valores, as variáveis são consideradas seguindo um processo de normalização, convertendo o valor (D_v) em um número dentro de uma escala de 0,0 (melhor) a 1,0 (pior), para a variável v . Assim, todas as variáveis, que antes possuíam valores em intervalos diferentes, passam a ter intervalos entre 0,0 e 1,0, com diferentes comportamentos.

Esta igualdade no intervalo de valores de cada variável que compõem a métrica não define que todas as variáveis terão o mesmo impacto no que diz respeito ao processamento da qualidade das ciclovias. Desta forma, o impacto de cada variável de qualidade é configurável de acordo com o desejo de quem possa vir a implementar a métrica abordada nesse trabalho a fim de classificar as ciclovias de uma cidade de acordo com a realidade da mesma.

Tomando como exemplo algumas cidades brasileiras, é sabido que os maiores problemas das ciclovias são relacionados à questões de infraestrutura, ocasionando no alto

índice de acidentes envolvendo ciclistas, como apresentado em Brasileiro and Comar (2015). Neste caso, é mais interessante que a variável M2.1 tenha um impacto maior na métrica devido ao risco iminente e constante à vida dos ciclistas nesta realidade.

De fato, embora as variáveis possam assumir virtualmente qualquer valor, elas podem ter quase a mesma significância fora de um intervalo numérico definido. Por exemplo, dois níveis diferentes de temperatura muito alta de 45° e 50° terão quase o mesmo impacto no ciclista, sendo ambos muito severos para os mesmos. Portanto, a definição de uma faixa numérica para cada variável facilita a adoção da métrica em aplicações práticas, com foco em valores mais comuns nas cidades. Fazendo isso, qualquer valor abaixo do limite inferior da faixa será mapeado para 0,0, enquanto o valor de 1,0 será definido para variáveis acima do limite superior.

A Tabela 3.2 apresenta o intervalo de valores definido para cada variável considerando os limites desse intervalo de acordo com definições empíricas em trabalhos anteriores e também seguindo recomendações da OMS. Para a variável M2.3, além dos valores definidos na Tabela 3.2, estabelecemos um valor de 0,5 para uma ciclovia que é compartilhada com uma estrada (para veículos) tradicional.

Tabela 3.2: Relação dos valores normalizados com os valores reais das variáveis.

Variável	Min = 0,0	Max = 1,0
M1.1 Poluição do ar (Organization et al., 2016)	$v \leq 0\mu g/m^3$	$v \geq 70\mu g/m^3$
M1.2 Poluição sonora (Organization et al., 2011)	$v \leq 0dB$	$v \geq 65dB$
M1.3 Radiação ultravioleta (Organization et al., 2002)	$v \leq 0$	$v \geq 11$
M1.4 Índice de calor (Oceanic and , NOAA)	$v = 10^\circ$	$v \leq -10^\circ ; v \geq 52^\circ$
M1.5 Luminosidade (Joseph et al., 2016)	$v \leq 0lux$	$v \geq 32000lux$
M2.1 Dados de acidentes (Sousa et al., 2016)	$v \leq 0$	$v \geq 20$
M2.2 Dados de segurança (Golub et al., 2016)	$v \leq 0$	$v \geq 8$
M2.3 Situação da ciclovia (CyclOSM, 2020)	“Isolada”	“Nenhuma”

Os valores dentro dos intervalos definidos têm impacto no resultado final da métrica apenas se os valores reais das variáveis serem corretamente traduzidos para os valores normalizados. Desta forma, não existe uma maneira uniforme de modelar o impacto das variáveis climáticas na saúde das pessoas.

No entanto, a distribuição gaussiana tem sido comumente usada para modelar tal impacto, mesmo que haja alguma falta de precisão (Tebaldi and Sansó, 2009; Zhou

et al., 2012). Para a métrica BikeWay, a aplicação da distribuição gaussiana na normalização das variáveis de qualidade proporciona uma perspectiva consistente das mesmas, com baixo custo computacional.

Portanto, a equação gaussiana geral foi definida para modelar as variáveis, diferenciando entre elas apenas os parâmetros de configuração (Tabela 3.3). A equação (3.5) calcula um valor entre 0,0 a 1,0 para cada variável.

$$f(x, \sigma, \mu) = e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2} \quad (3.5)$$

Na equação gaussiana, x representa o valor da variável dentro do intervalo definido na Tabela 3.2, enquanto os valores de σ e μ variam de acordo com a variável considerada. Os parâmetros σ e μ escolhidos são apresentados na Tabela 3.3, de acordo com definições em trabalhos anteriores da literatura Organization et al. (2016, 2002, 2011); Oceanic and (NOAA); Joseph et al. (2016).

Tabela 3.3: Parâmetros gaussianos para cada variável de qualidade.

Variável	σ	μ
M1.1 Poluição do ar	40	70
M1.2 Poluição sonora	6	65
M1.3 Radiação ultravioleta	4	11
M1.4 Índice de calor		
-10 to 10 °C	7	-10
10 to 52 °C	12	52
M1.5 Luminosidade	15000	32000
M2.1 Dados de acidentes	6	20
M2.2 Dados de segurança	3	8

Seguindo essas definições, todas as variáveis são processadas para representar um intervalo semelhante, o que indica a melhor condição quando seu valor está próximo a 0,0 (e a pior para 1,0). O resultado do processo de normalização completo para cada função Gaussiana é ilustrado na Figura 3.9.

3.4.3 Processamento dos grupos de variáveis

Após normalizar todas as variáveis de ambos os grupos, o passo seguinte da métrica é calcular um valor médio para eles, resultando também em valores dentro do intervalo de 0,0 a 1,0. Para isso, é calculada a média ponderada das variáveis para cada grupo, indicando então o seu nível final. Este valor médio é calculado de acordo com as Equações 3.6 e 3.7.

$$M1_{level} = \sum_{i=1}^5 M1.i(w1_i) \quad (3.6)$$

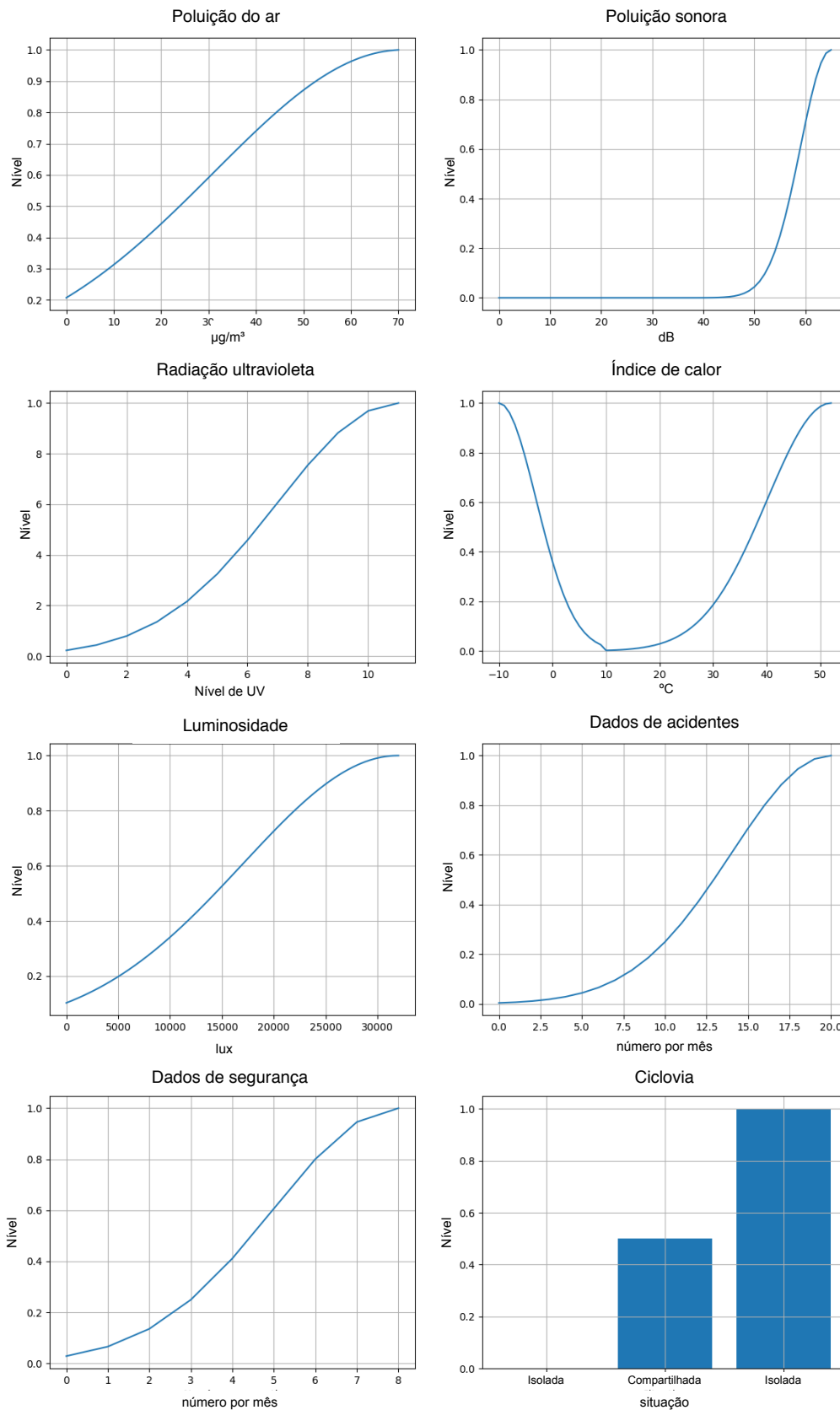


Figura 3.9: Normalização das variáveis de qualidade baseada na distribuição gaussiana, com exceção da variável M2.3.

$$M2_{level} = \sum_{i=1}^3 M2.i(w2_i) \quad (3.7)$$

Para as equações 3.6 e 3.7, wg_p representa o peso da variável p no grupo g , que por padrão tem o mesmo valor para todas as variáveis no mesmo grupo. Seja qual for o caso, é necessário que $w1_1 + w1_2 + w1_3 + w1_4 + w1_5 = 1,0$ e $w2_1 + w2_2 + w2_3 = 1,0$. Portanto, após a aplicação dos coeficientes de peso, os valores finais de $M1_{level}$ e $M2_{level}$ ficarão ambos dentro do intervalo 0,0 e 1,0.

Uma vez calculados os níveis dos grupos, aplica-se a lógica *Fuzzy* para atingir o nível final do BikeWay, indicando a qualidade da ciclovias através da associação dos diferentes grupos possíveis.

3.4.4 Classificação com lógica *Fuzzy*

O uso da lógica *Fuzzy* para realizar o processamento final da métrica proposta permitiu a criação de um conjunto de regras de decisão capaz de computar os antecedentes $M1_{level}$ e $M2_{level}$. Para isso, seus valores numéricos foram mapeados para um dos cinco grupos *Fuzzy*, permitindo uma combinação direta. Como a métrica BikeWay combina diferentes variáveis, um valor numérico final não poderia indicar a qualidade das ciclovias de forma intuitiva e de fácil interpretação. Desta forma, o uso de grupos *Fuzzy* dá uma boa percepção da qualidade geral, com fácil visualização da métrica pelos ciclistas. Inicialmente, um conjunto *Fuzzy* de cinco valores foi definido, variando do pior caso (*Very Bad*) ao melhor caso (*Very Good*), conforme expresso na Figura 3.10.

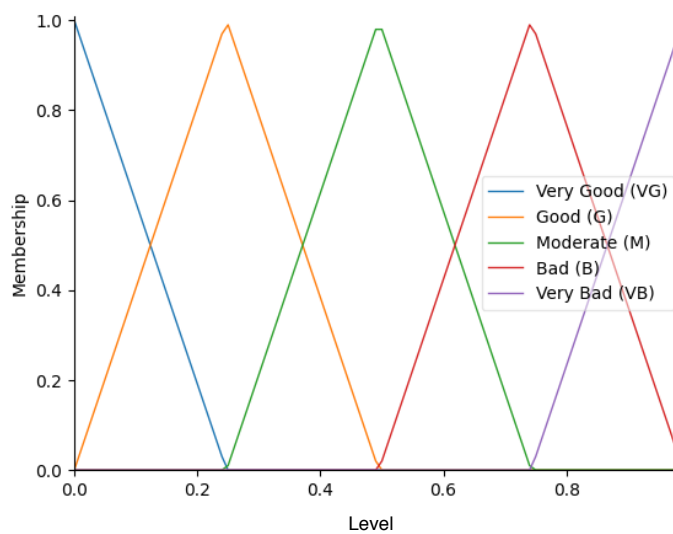


Figura 3.10: Definição dos grupos *Fuzzy*.

Seguindo a definição desses conjuntos de lógica *Fuzzy*, foi definida de forma empírica, a Tabela 3.4 com o intuito de relacionar os valores dos antecedentes (entrada) ao resultado ideal armazenado no consequente (saída), resultando em um conjunto com a lógica final do BikeWay.

Tabela 3.4: Relação entre as entradas e a saída da métrica BikeWay.

M1 level (M1)	M2 level (M2)	BikeWay (BW)
Very Bad (VB)	Very Bad (VB)	Very Bad (VB)
Very Bad (VB)	Bad (B)	Very Bad (VB)
Very Bad (VB)	Moderate (M)	Very Bad (VB)
Very Bad (VB)	Good (G)	Very Bad (VB)
Very Bad (VB)	Very Good (VG)	Very Bad (VB)
Bad (B)	Very Bad (VB)	Very Bad (VB)
Bad (B)	Bad (B)	Bad (B)
Bad (B)	Moderate (M)	Bad (B)
Bad (B)	Good (G)	Moderate (M)
Bad (B)	Very Good (VG)	Moderate (M)
Moderate (M)	Very Bad (VB)	Very Bad (VB)
Moderate (M)	Bad (B)	Bad (B)
Moderate (M)	Moderate (M)	Moderate (M)
Moderate (M)	Good (G)	Good (G)
Moderate (M)	Very Good (VG)	Good (G)
Good (G)	Very Bad (VB)	Very Bad (VB)
Good (G)	Bad (B)	Moderate (M)
Good (G)	Moderate (M)	Good (G)
Good (G)	Good (G)	Good (G)
Good (G)	Very Good (VG)	Very Good (VG)
Very Good (VG)	Very Bad (VB)	Very Bad (VB)
Very Good (VG)	Bad (B)	Moderate (M)
Very Good (VG)	Moderate (M)	Good (G)
Very Good (VG)	Good (G)	Very Good (VG)
Very Good (VG)	Very Good (VG)	Very Good (VG)

Desta tabela, foram extraídas as equações que definem as cinco regras de decisão da lógica *Fuzzy* implementada, definidas em detalhes a seguir:

1. $BW[VB] = M1[VB] \text{ or } M2[VB];$
2. $BW[B] = (M1[B] \text{ and } M2[B \text{ or } M]) \text{ or } (M1[M] \text{ and } M2[B]);$
3. $BW[M] = (M1[B] \text{ and } (M2[G \text{ or } VG])) \text{ or } (M1[M] \text{ and } M2[M]) \text{ or } (M1[G \text{ or } VG] \text{ and } M2[B]);$
4. $BW[G] = (M1[M] \text{ and } M2[G \text{ or } VG]) \text{ or } (M1[G] \text{ and } M2[M \text{ or } G]) \text{ or } (M1[VG] \text{ and } M2[M]);$

$$5. BW[VG] = M1[G \text{ or } VG] \text{ and } M2[G \text{ or } VG].$$

O resultado final desse processo é a métrica BikeWay (BW), que caracteriza a qualidade de uma ciclovia. Desta forma, o valor do BikeWay pode ser mostrado de diferentes maneiras, mas acreditamos que uma maneira fácil para isso é empregando cores para melhor visualização e compreensão. A Tabela 3.5 apresenta um mapeamento útil entre o BikeWay calculado e uma determinada cor.

Tabela 3.5: Mapeamento do valor do BikeWay para uma cor de referência.

BikeWay (BW)	Cor	
Very Bad (VB)	Vermelho	
Bad (B)	Laranja	
Moderate (M)	Amarelo	
Good (G)	Verde	
Very Good (VG)	Azul	

Após calcular a métrica BikeWay, espera-se que os usuários consigam ver facilmente seu valor (por exemplo, através do padrão de cores) por meio de sinais tradicionais como placas de trânsito (Figura 3.11) ou até mesmo em aplicativos computacionais.

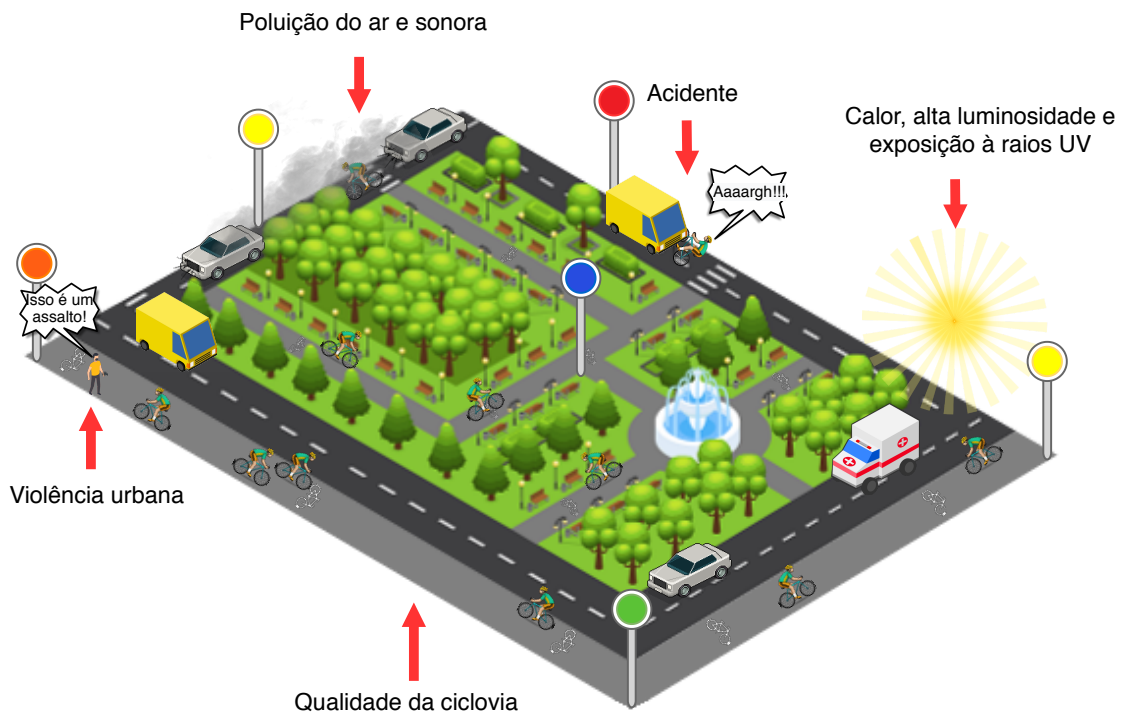


Figura 3.11: Mapeamento de cores indicando a qualidade das ciclovias através do BikeWay.

3.4.5 Sub-sistema de avaliação de ciclovias: BikeWay

Conhecendo os fundamentos da métrica Bikeway e dos sub-sistemas propostos neste trabalho para fornecer dados à mesma, torna-se possível apresentar o panorama geral em que se encontram todas esses componentes criados a fim de qualificar as ciclovias de acordo com as variáveis de monitoramento ambiental e de infraestrutura.

Na Figura 3.12, é possível identificar os sub-sistemas BikePathGen, BikeSensor e BikeData fornecendo os dados para os seus respectivos bancos de dados através das suas aplicações de coleta de informações. A partir do acesso à essas bases de dados, o sub-sistema que implementa a métrica BikeWay é capaz de reter essas informações a fim de realizar duas operações: processamento dos dados, identificando à quais trechos s_i das ciclovias c pertencem as amostras de monitoramento e os dados estatísticos, e qualificação das ciclovias, utilizando de todos os artifícios propostos na métrica para definir uma qualidade para cada trecho de cada ciclovias cadastrada.

Desta forma, o objetivo desta subseção é explicar como são realizadas as duas operações do sub-sistema BikeWay, que após processar os dados e classificar as ciclovias, envia as informações para o sub-sistema CyclingView gerar os mapas e disponibilizá-los através de uma aplicação web de visualização.

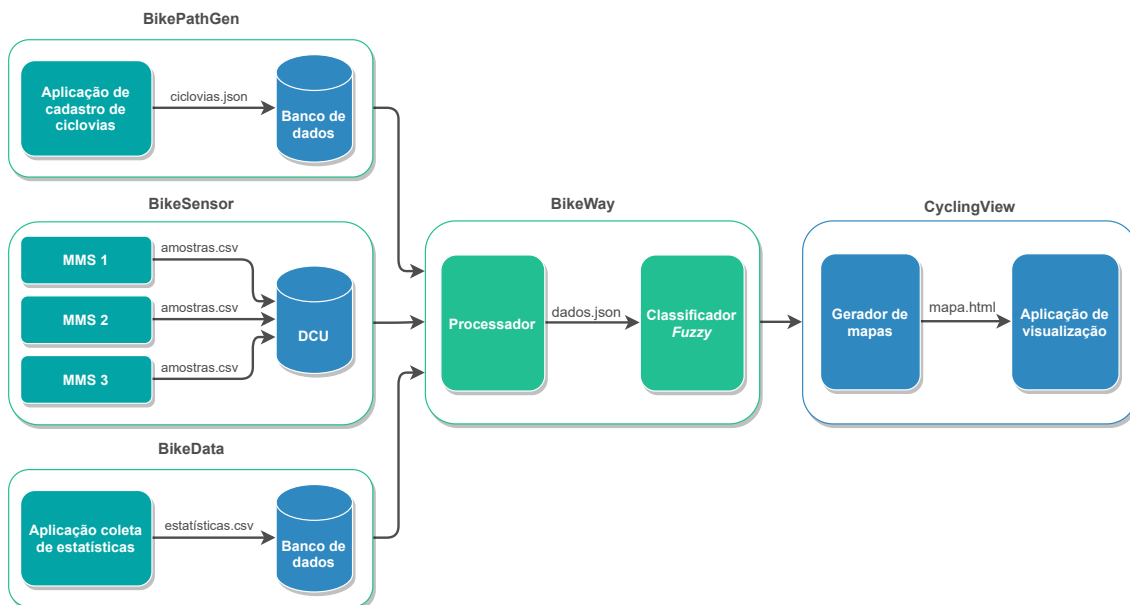


Figura 3.12: Diagrama de integração do sub-sistema BikeWay com os outros sub-sistemas do modelo iBikeSafe.

Como o objetivo do sub-sistema BikeWay é qualificar os trechos das ciclovias cadastradas no BikePathGen, é necessário realizar uma associação do modelo gerado para as ciclovias cadastradas neste sub-sistema com as amostras coletadas pelo BikeSensor e com as estatísticas das cidades capturadas pelo BikeData. Este cruzamento de

informações é realizado pelo módulo processador, mostrado na Figura 3.12, e que segue os passos apresentados na Figura 3.13.

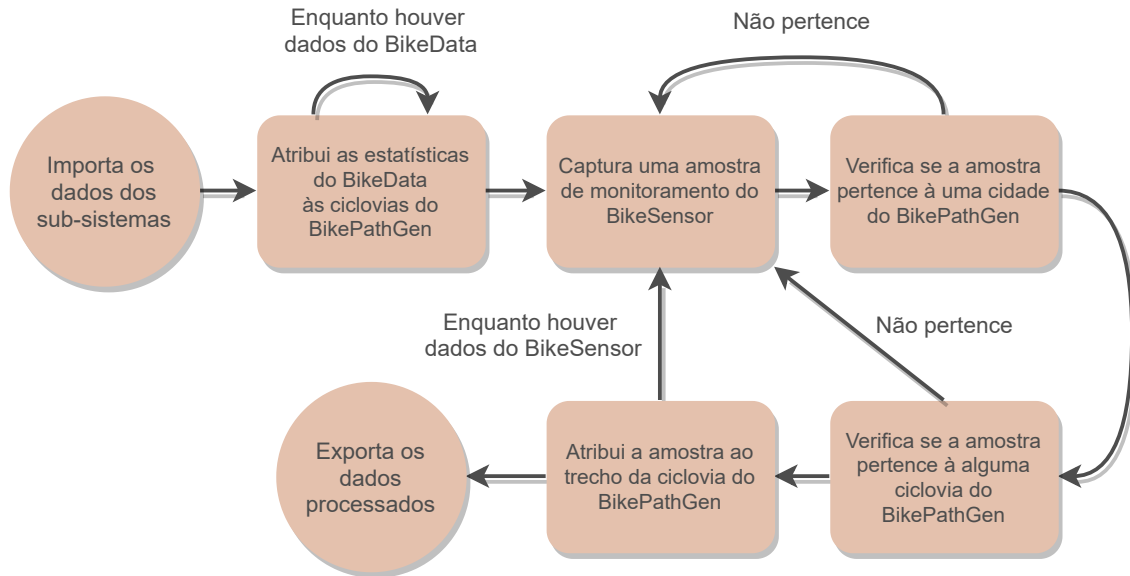


Figura 3.13: Etapas do processamento dos dados dos sub-sistemas de aquisição de dados no Processador do BikeWay.

A primeira etapa de processamento apresentada na Figura 3.13 consiste na importação dos dados mensais provenientes dos sub-sistemas BikePathGen, BikeSensor e BikeData seguindo os formatos dos arquivos apresentados nas Listagens 3.1, 3.3 e 3.4, respectivamente. Após a importação desses dados, é realizada a primeira associação de informações. Esta consiste na verificação das cidades com estatísticas processadas pelo BikeData e atribuição desses dados às ciclovias cadastradas para as respectivas cidades, onde as informações de cada cidade são vistas como um ponto estatístico sp_i para $i > 0$. Além disso, nesta etapa o tipo da ciclovias, que é fornecido pelo sub-sistema BikePathGen, é vinculado aos dados estatísticos provenientes do BikeData.

Uma vez que todas as ciclovias de todas as cidades cadastradas pelo BikePathGen possuem os dados estatísticos do BikeData atribuídos à elas, o processador BikeWay avança para a segunda associação de informações. Nesta fase do processamento, o sub-sistema captura uma amostra de monitoramento fornecida pelo BikeSensor, converte a coordenada GPS para o nome da cidade e o código do país onde esta foi capturada (Ex: *Feira_de_Santana-BR*) e verifica se a mesma pertence a uma das cidades cadastradas através da comparação com o seu ID.

Após a confirmação do pertencimento da amostra à cidade, o processador BikeWay realiza a verificação do pertencimento desta amostra à um trecho de ciclovias cadastrada no sub-sistema. Para isso, o sub-sistema calcula a distância d entre uma dada

amostra mp_i e um trecho s_i de uma ciclovia c da cidade verificada. A Figura 3.14 ilustra como esse cálculo é realizado.

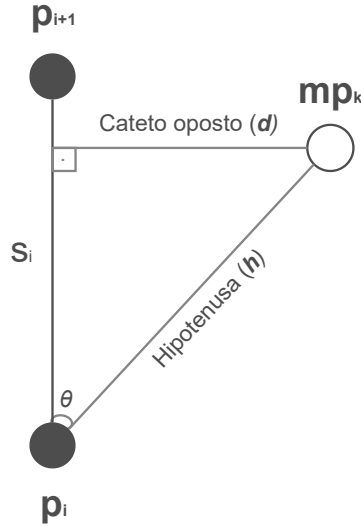


Figura 3.14: Ilustração da matemática que verifica se uma amostra de monitoramento pertence ao trecho de uma ciclovia.

Inicialmente, os vetores bidimensionais u e v são criados através dos pontos p_i , p_{i+1} e mp_k usando a Equação 3.8 e Equação 3.9.

$$u(x, y) = (|mp_k(x)| - |p_i(x)|, |mp_k(y)| - |p_i(y)|) \quad (3.8)$$

$$v(x, y) = (|p_{i+1}(x)| - |p_i(x)|, |p_{i+1}(y)| - |p_i(y)|) \quad (3.9)$$

Esses vetores são usados para calcular a hipotenusa h , o ângulo θ e a distância d representada pelo cateto oposto do triângulo retângulo apresentado na Figura 3.14. As Equações 3.10, 3.11 e 3.12 definem esses três componentes.

$$h = |u| = \sqrt{u(x)^2 + u(y)^2} \quad (3.10)$$

$$\theta = \arccos\left(\frac{u(x).v(x) + u(y).v(y)}{\sqrt{u(x)^2 + u(y)^2} \cdot \sqrt{v(x)^2 + v(y)^2}}\right) \quad (3.11)$$

$$d = h \cdot \sin(\theta) \quad (3.12)$$

Após encontrar a distância d , a verificação do pertencimento do ponto de monitoramento mp_i ao trecho s_i é realizada através da comparação com uma distância

máxima D , que pode ser configurada de acordo com a necessidade de precisão. Para esta comparação, os valores devem estar em graus, que é a unidade utilizada nas equações mencionadas. No entanto, também é possível fazer uma conversão de d para uma unidade de distância linear. Uma das formas de fazer essa conversão é através da utilização da norma *World Geodetic System 84*, que mapeia distâncias entre coordenadas geográficas utilizando a equivalência de 1° à aproximadamente 111km.

Após a associação de todas as amostras de monitoramento aos trechos de ciclovias cadastradas no sub-sistema, a etapa de processamento é finalizada com o cálculo da média, mínimo e máximo das variáveis do grupo *BW-Environment* para cada trecho s_i de cada ciclovia c . Por fim, esses dados são armazenados em um arquivo *json* para cada cidade e exportados para o módulo classificador *Fuzzy*.

Na Figura 3.15, é possível visualizar o processamento de forma mais detalhada. Esta mostra a representação dos dados coletados pelos três sub-sistemas de aquisição de dados e os seus formatos de arquivos que passam pelo processamento do BikeWay. Após a passagem desses dados pelo módulo Processador, é apresentado um gráfico que ilustra a atribuição dos dados de monitoramento ao trecho de ciclovia que ele pertence, mostrados na cor verde, e os dados que estão fora de algum trecho são descartados, apresentados na cor vermelha.

Por fim, A Figura 3.15 apresenta o arquivo com os dados referente às ciclovias da cidade *Feira_de_Santana-BR* processados e preparados para a aplicação no módulo de classificação.

Após o processamento das informações provenientes dos sub-sistemas de aquisição de dados e exportação dos arquivos com as informações das ciclovias por cidade, o passo seguinte a ser executado é a qualificação das ciclovias. Para isso, foi criado o módulo classificador *Fuzzy* para o sub-sistema BikeWay.

Este módulo é responsável por aplicar alguns conceitos da métrica já discutidos (processamento das variáveis, processamento dos grupos de variáveis e classificação com lógica *Fuzzy*) a fim de qualificar as ciclovias presentes nos arquivos oriundos do módulo processador. Na Figura 3.16 são apresentados os formatos de arquivos de entrada e saída do Classificador BikeWay, onde é possível visualizar que após utilizar todos os dados do arquivo *Processador-Feira_de_Santana-BR.json*, é gerado um arquivo *Classificador-Feira_de_Santana-BR.json* com a qualidade BikeWay para a ciclovia já inserida, e apenas os dados necessários para a próxima etapa do processo.

Uma vez que as ciclovias são qualificadas, através da utilização do classificador *Fuzzy* BikeWay, e exportadas como mostra a Figura 3.16, os dados são encaminhados para o sub-sistema da camada de visualização do iBikeSafe, o CyclingView.

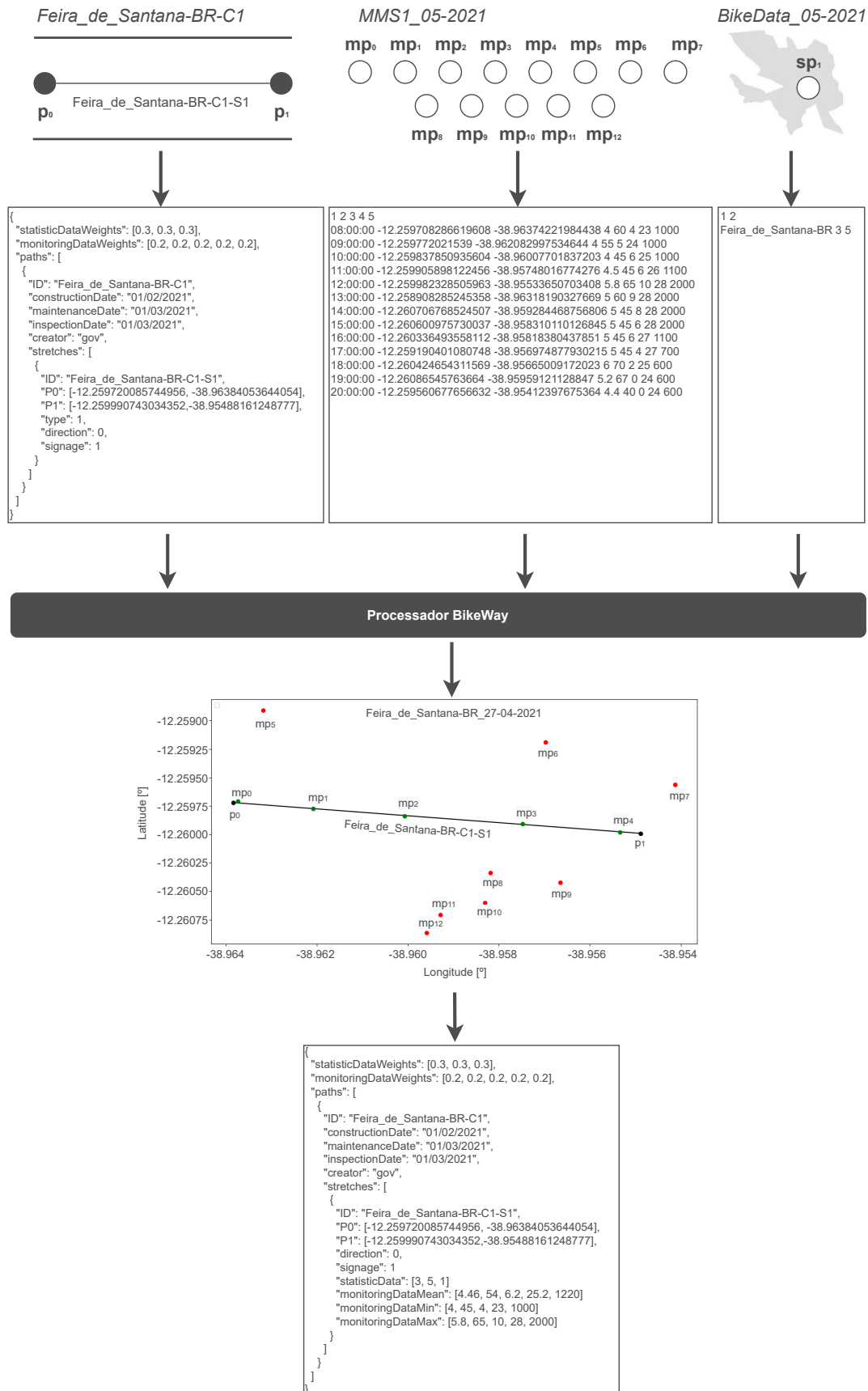


Figura 3.15: Fluxo de dados que ilustra o funcionamento do processador BikeWay.

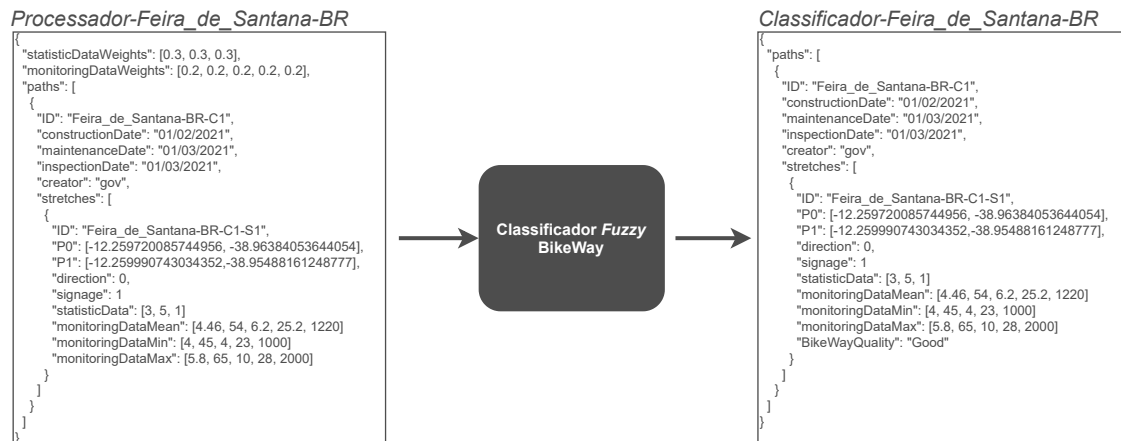


Figura 3.16: Fluxo de dados que ilustra o funcionamento do classificador *Fuzzy* BikeWay.

3.5 Camada de Visualização de Ciclovias Avaliadas

3.5.1 Sub-sistema de geração de mapas e visualização: CyclingView

Após a qualificação das ciclovias cadastradas, processo que consiste na aquisição de dados mensais dos sub-sistemas BikePathGen, BikeSensor e BikeData, importação dessas informações para o sub-sistema BikeWay e realização do processamento e classificação pelo mesmo, é necessário criar uma forma intuitiva de visualização desses dados e um meio de disponibilizar o acesso à essas informações finais.

Nesse intuito, para compor a camada de visualização do iBikeSafe, foi criado o sub-sistema CyclingView. Este é responsável por pegar todos os arquivos gerados pelo sub-sistema BikeWay, gerar mapas com as informações de todas as ciclovias cadastradas para um determinado mês e disponibilizá-los através de uma página web. Este sub-sistema foi desenvolvido para possuir dois módulos bem definidos para a realização das funções dedicadas a ele, são eles: gerador de mapas, que captura os arquivos gerados pelo módulo classificador *Fuzzy* do BikeWay e gera um mapa mensal a partir do agrupamento de todas as informações de ciclovias no mundo, e a aplicação de visualização, que consiste na ferramenta que importa esses mapas de acordo com a requisição do usuário e mostra na página web (Figura 3.12).

É importante salientar que apesar do CyclingView ser utilizado neste trabalho para consumo de visualização dos dados do BikeWay, o mesmo pode ser utilizado para outras finalidades, como um sub-sistema de geração de mapas de calor para variáveis ambientais no contexto urbano.

3.5.2 Gerador de mapas

Criado para importar os dados que são gerados pela camada de avaliação do iBike-Safe e criar mapas para visualização dos dados de forma fácil e intuitiva, o módulo gerador de mapas do CyclingView é a parte principal desse sub-sistema de visualização. Este, tem o seu funcionamento bem definido para processar os dados provenientes do BikeWay a fim de alcançar o resultado desejado, como mostra o diagrama da Figura 3.17.

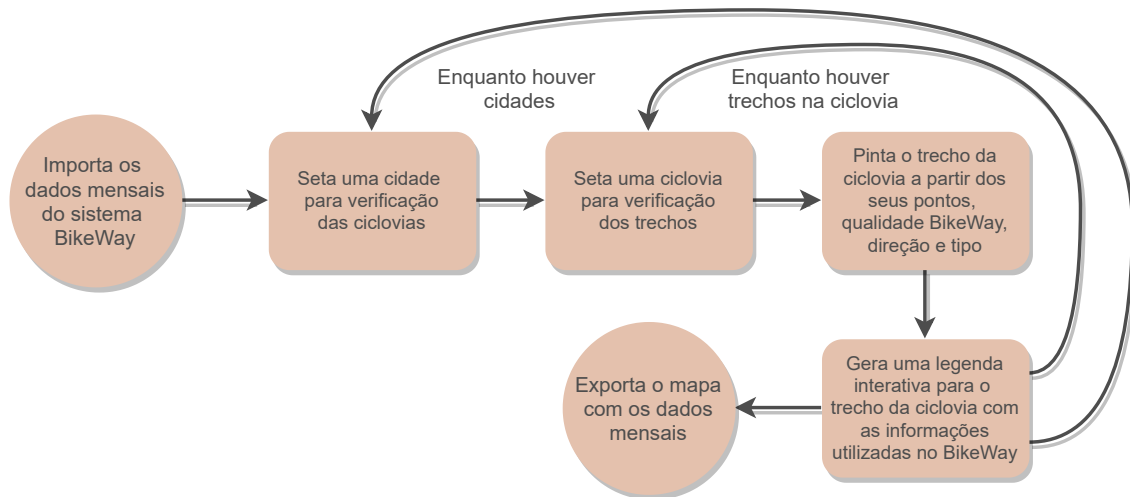


Figura 3.17: Etapas do processamento dos dados do sub-sistema BikeWay para geração de mapas no sub-sistema de visualização CyclingView.

Neste diagrama, é possível visualizar todos os passos executados pelo gerador de mapas, desde a importação dos arquivos de entradas até a geração do arquivo de saída. O primeiro passo consiste no carregamento dos arquivos *json* gerados pelo BikeWay para cada cidade cadastrada no BikePathGen, tendo como conteúdo os dados das suas ciclovias (Figura 3.16). Uma vez que os dados de todas as cidades são importados, o gerador de mapas inicia a verificação das ciclovias de uma por uma, que por sua vez tem todos os seus trechos verificados e suas informações plotadas no mapa.

Para a realização da plotagem dos trechos de cada ciclovias no mapa, são consideradas três tipos de informações relacionadas ao mesmo, são elas: qualidade BikeWay, refletindo na cor da linha traçada entre os pontos p_i e p_{i+1} que indica a qualidade da ciclovias nos cinco níveis BikeWay, direção, indicando o sentido de fluxo de bicicletas através de símbolos plotados no interior da linha traçada para o trecho, e o tipo da ciclovias, que é representado pelo formato da reta plotada. A Figura 3.18 apresenta essas informações de uma forma exemplificada.

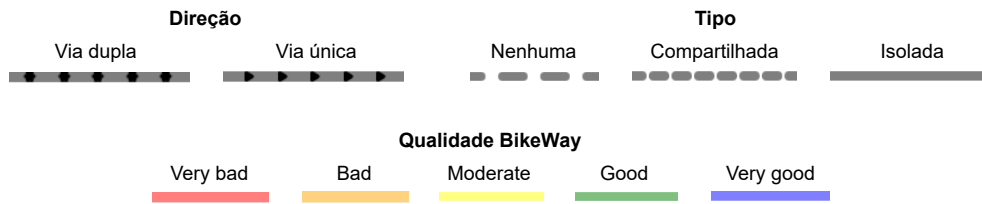


Figura 3.18: Representação gráfica das ciclovias de acordo com a direção, tipo e qualidade BikeWay.

Além da plotagem dos trechos seguindo as características apresentadas na Figura 3.18, o gerador de mapas também cria um *popup* para cada um deles. Este *popup* consiste em uma forma interativa de mostrar as informações básicas daquele trecho para o mês processado (ID, data de construção, da última manutenção e da última inspeção, criador, dados estatísticos e média, mínimo e máximo dos dados de monitoramento) e a sua visualização é possível a partir do clique no trecho em questão.

O formato desse *popup* pode ser visualizado na Figura 3.19 junto ao modelo do mapa exportado, em um arquivo *html*, por este módulo na execução do seu último passo quando não existir mais trechos de nenhuma ciclovias presente em alguma das cidades registradas. Além disso, os mapas gerados contam com uma barra de pesquisa de local, para facilitar a busca de ciclovias, e um botão que direciona o usuário até o local onde o mesmo se encontra.

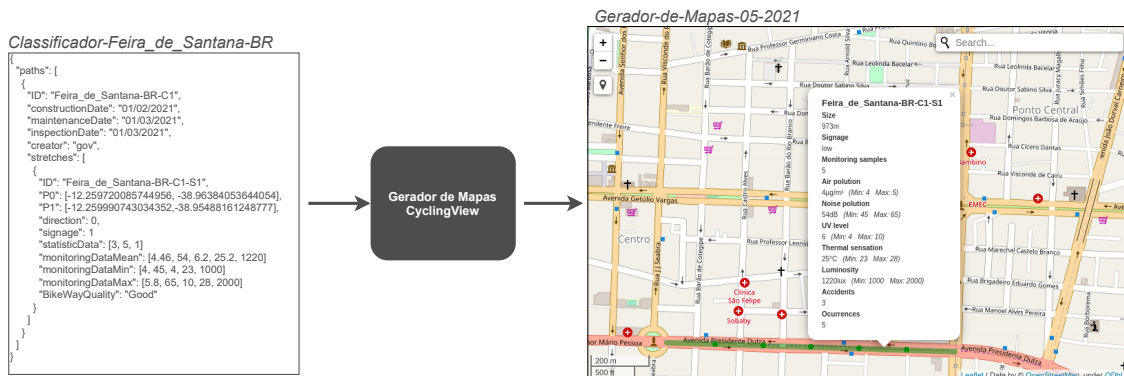


Figura 3.19: Fluxo de dados que ilustra o funcionamento do Gerador de Mapas CyclingView.

Todo o processo de geração de mapas realizado por este módulo do CyclingView é executado através do *framework* Laeflet, e através da exportação do arquivo *html* que contém a informação do mapa mensal é feita a integração com a aplicação de visualização.

3.5.3 Aplicação de visualização

Desenvolvida para ser o meio de acesso aos mapas gerados pelo outro módulo do CyclingView, a aplicação de Visualização consiste em um servidor, desenvolvido através da utilização do *framework* Flask, e uma página web que permite que o usuário realize a requisição do mapa para determinado mês e tenha acesso à visualização do mesmo, como mostra o diagrama da Figura 3.20.

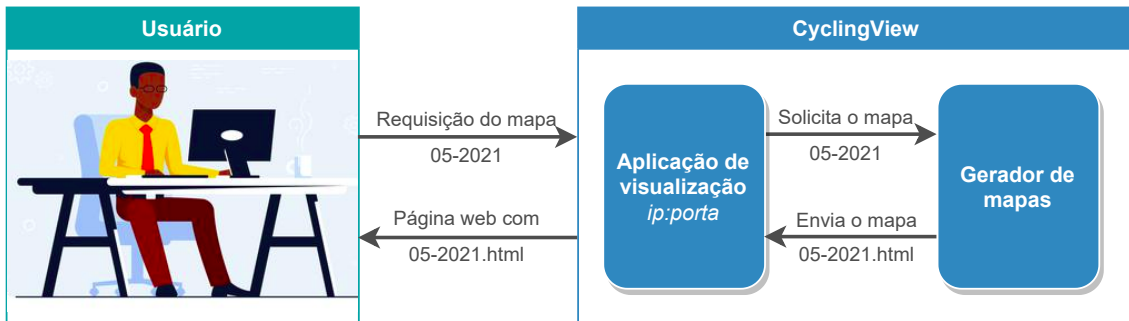


Figura 3.20: Diagrama que representa a interação entre o usuário e o CyclingView.

Uma vez que o módulo gerador de mapas realiza as funções definidas para ele e exporta o mapa para um determinado mês, o módulo aplicação de visualização é sinalizado que existe um novo mapa disponível para visualização.

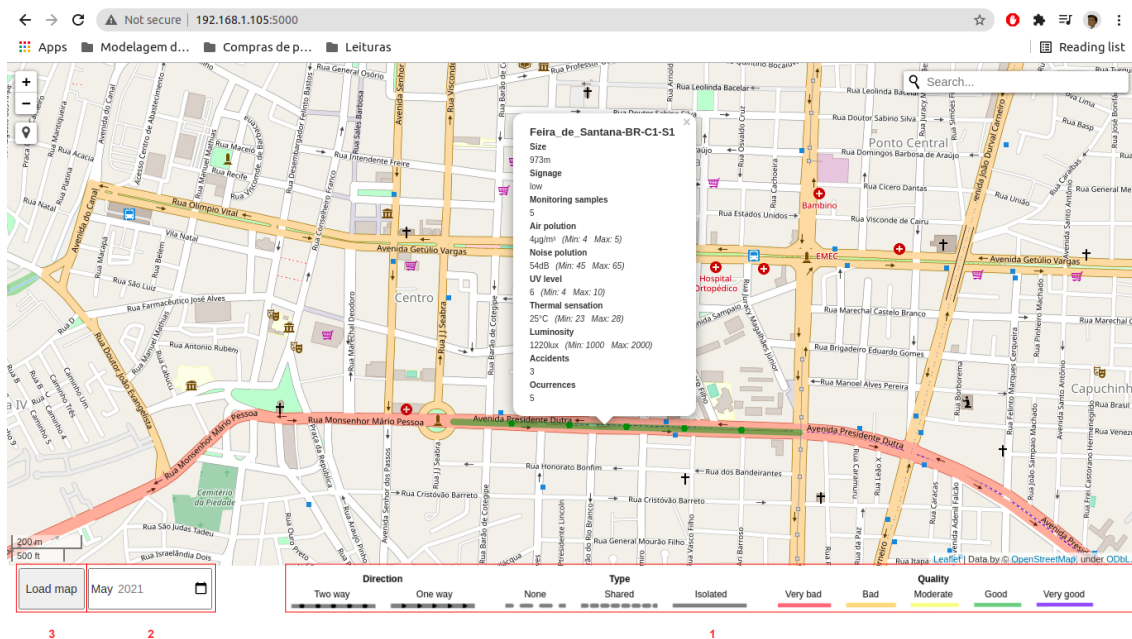


Figura 3.21: Interface da página web do CyclingView.

Desta forma, o usuário pode escolher o mês que deseja acessar os dados das ciclovias através do componente 2 apresentado na Figura 3.21, e requisitar o mapa ao apertar o botão de carregamento do mapa (componente 1). Além disso, a página web desenvolvida para esse módulo possui um terceiro componente, que consiste em uma legenda que informa ao usuário como as características das ciclovias são diferenciadas. Na Figura 3.21, temos o exemplo de uma ciclovie com um único trecho de via dupla, isolado e com qualidade BikeWay classificada como *Good*.

Com todos os sub-sistemas de aquisição de dados definidos e o sub-sistema de visualização de dados modelado junto ao sub-sistema BikeWay, o passo seguinte desta Dissertação de Mestrado consistiu na execução de etapas de validação prática do sistema iBikeSafe, com aplicação da métrica BikeWay e subsequente visualização dos níveis de qualidade pelo sub-sistema CyclingView. Essas etapas de validação são descritas no próximo Capítulo.

Capítulo 4

Resultados

O modelo iBikeSafe foi projeto para monitorar as ciclovias a fim de mensurar a qualidade destas de acordo com diversas características que impactam, direta ou indiretamente, a saúde e segurança dos ciclistas nas cidades. Para isso, como descrito no Capítulo anterior, a abordagem proposta utiliza as camadas de monitoramento, avaliação e visualização para realizar a aquisição de dados de condições adversas das ciclovias cadastradas por um sub-sistema auxiliar, qualificando estas ciclovias a partir da aplicação de uma métrica com lógica *Fuzzy* incorporada. Por fim, é disponibilizado também um mecanismo padronizado para visualização dessas ciclovias a fim de informar as condições das pistas para os ciclistas e demais interessados, como o poder público.

A fim de realizar uma validação inicial da solução proposta, que foi definida de forma genérica e configurável, foi definida uma possível implementação do iBikeSafe através da utilização dos seus sub-sistemas: BikePathGen, BikeSensor, BikeData, BikeWay e CyclingView. Esta implementação, nomeada de BrazilCycling, tem o seu funcionamento ilustrado na Figura 4.1. Esta implementação em particular foi utilizada como referência para as etapas de validação da solução iBikeSafe proposta.

Nesta Dissertação, foi possível implementar parcialmente o sub-sistema BikeSensor, que neste Capítulo possui três versões de MMSs apresentadas e testadas de forma *in-door*. Além disso, este Capítulo apresenta a simulação da avaliação de vinte ciclovias em diferentes cidades do mundo através da aplicação da métrica BikeWay.

Por fim, foi realizado um estudo de caso simulando a implantação do BrazilCycling em algumas ciclovias da cidade de Natal - Rio Grande do Norte. Neste estudo de caso, foram apresentados alguns aspectos socioeconômicos da região, para um melhor conhecimento da cidade, e foram utilizados dados de monitoramento reais, porém obtidos de forma manual devido aos impactos da Pandemia da COVID-19.

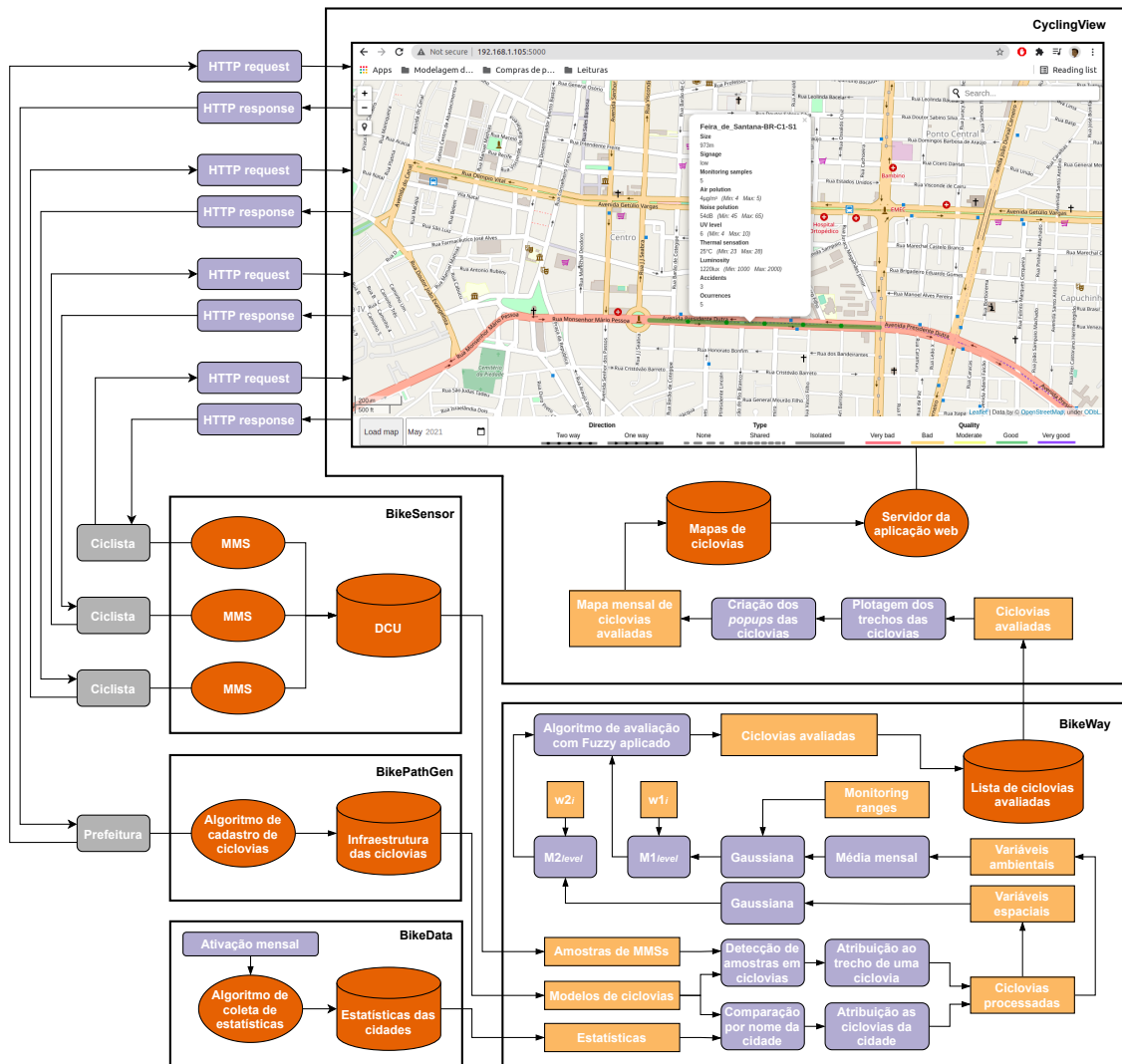


Figura 4.1: Funcionamento geral da implementação do modelo iBikeSafe, denominada BrazilCycling.

4.1 Resultados de Monitoramento *Indoor*

Dentre os sub-sistemas que compõem a camada de monitoramento do BrazilCycling, implementação do modelo iBikeSafe, apenas o BikeSensor foi desenvolvido neste trabalho, tornando a implementação do BikeData um trabalho futuro.

Devido a Pandemia da COVID-19, a validação deste sub-sistema foi limitada à testes *indoor* devido à impossibilidade de acoplar unidades de monitoramento nas bicicletas de ciclistas voluntários. Desta forma, a implementação parcial desse sub-sistema consistiu em um protótipo da MMS funcionando de forma *indoor* (com sensores mais baratos) para a coleta de alguns dados relacionados às condições adversas ambientais incidentes na ciclovia (coordenada geográfica, índice de calor, índice de radiação ultravioleta e luminosidade) e na implementação do DCU a fim de armazenar os dados coletados pelo protótipo para que a camada de avaliação, inserida neste contexto como BSC, utilize-os. De fato, nem todas as variáveis do grupo *BW-Environment* foram obtidas na primeira versão da MMS (M1.1 e M1.2), devendo ser consideradas em versões futuras devido às complexidades de calibração e integração dos sensores.

4.1.1 Aplicação do MSensorMob na MMS

O desenvolvimento do modelo da *Monitoring Mobile Station* (MMS) foi baseado na implementação do *framework* MSensorMob, como explicado no capítulo anterior. Assim, esta subseção apresenta a estrutura básica da MMS a partir da implementação dos dois componentes previstos pelo MSensorMob: *hardware* e *firmware*.

Hardware

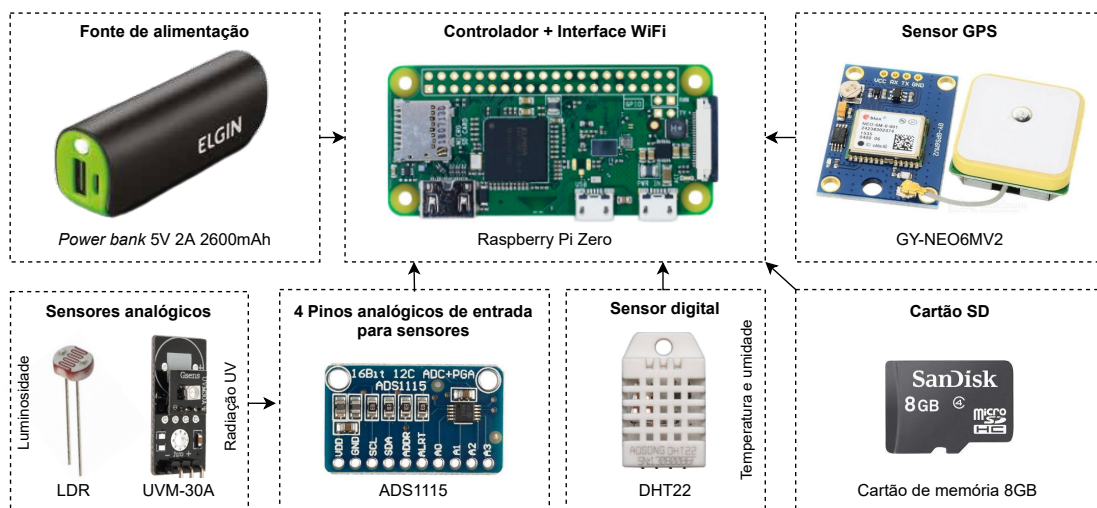


Figura 4.2: Componentes utilizados para a implementação da MMS do BikeSensor baseado na arquitetura de *hardware* proposta pelo MSensorMob.

A partir da arquitetura de *hardware* definida no *framework* MSensorMob, que pode ser visualizada na Figura 3.6, foram escolhidos os componentes para a montagem das versões da MMS apresentadas neste trabalho. Na Figura 4.2, é possível visualizar todos os dispositivos escolhidos para integrarem a MMS, representando os componentes básicos definidos na arquitetura de *hardware* do MSensorMob, apresentada na Figura 3.6.

Com um custo final de aproximadamente \$100 dólares, a montagem da MMS utilizando estes dispositivos permitiu que a unidade de monitoramento móvel cumprisse com as características propostas (baixo custo, adaptabilidade, baixo consumo energético, etc.). Além disso, apesar desta MMS ter sido montada com essa configuração de sensores, ela pode ser facilmente modificada e/ou incrementada, desde que seja realizada a devida configuração através da execução do *firmware* proposto pelo MSensorMob e implementado na MMS.

Firmware

Seguindo o Algoritmo 3.1, criado para permitir a adaptabilidade do dispositivo e garantir o funcionamento padrão das unidades de monitoramento móvel baseadas no MSensorMob, o *firmware* que executa as funções da MMS inicialmente é responsável por inicializar os seus componentes através de um arquivo de configuração (*/boot/BikeSensor/config.txt*) que possui as informações apresentadas na Listagem 4.1

Listing 4.1: Saída apresentada na inicialização da MMS.

```
[INFO] MODULE CONFIGURATION
  BikeSensor module: MMS001
  Sample rate: 5 seconds
  Number of ADS1115: 1
  NEO6MV2 referenced to UART
  DHT22 referenced to GPIO pin 4
  LDR referenced to ADC0-CH0
  UVM30A referenced to ADC0-CH1
[INFO] IDLE STATE
  Waiting
```

Após a configuração inicial do dispositivo, o mesmo entra no estado *IDLE*, esperando então a transição para um dos outros estados. A primeira transição entre estados a ser explanada tem como gatilho o acionamento do botão *S-Button*, fazendo com que a MMS entre no estado de *SETUP* e retorne ao estado *IDLE* independente do resultado obtido na tentativa de conexão com a rede WiFi, como apresentado na Listagem 4.2. No critério de sucesso, onde a MMS consegue conectar à rede, o botão WPS do roteador também foi pressionado, permitindo então a conexão.

Listing 4.2: Transição entre os estados *IDLE* e *SETUP*.

```

[INFO] IDLE STATE
      Waiting
[INFO] SETUP STATE
      MMS not connected to network
      WPS router not available
[INFO] IDLE STATE
      Waiting
[INFO] SETUP STATE
      MMS not connected to network
      WPS router available: 10:fe:ed:31:2c:44
      Network saved and connected
[INFO] IDLE STATE
      Waiting
[INFO] SETUP STATE
      MMS is already connected to network
[INFO] IDLE STATE
      Waiting

```

Com o dispositivo conectado à uma rede, o passo seguinte do teste foi acionar o botão *M-Button* para permitir que a MMS mudasse o seu estado de *IDLE* para *MONITORING*, a fim de coletar os dados como apresentado no exemplo da Listagem 4.3.

Listing 4.3: Transição entre os estados *IDLE* - *MONITORING* e *IDLE* - *UPLOADING*.

```

[INFO] IDLE STATE
      Waiting
[INFO] MONITORING STATE
      Started at 18:39:02
      18:39:02 | (-12.168241,-38.578245) | 27C | 173lux | 1UV
      18:39:08 | (-12.168241,-38.578245) | 27C | 178lux | 1UV
      18:39:13 | (-12.16825,-38.578241) | 27C | 181lux | 1UV
      18:39:19 | (-12.16825,-38.578241) | 27C | 176lux | 1UV
      18:39:24 | (-12.16825,-38.578241) | 27C | 174lux | 1UV
      18:39:30 | (-12.16825,-38.578241) | 27C | 178lux | 1UV
      18:39:35 | (-12.16825,-38.578241) | 27C | 174lux | 1UV
      18:39:40 | (-12.168257,-38.578229) | 27C | 174lux | 1UV
      18:39:46 | (-12.168257,-38.578229) | 27C | 174lux | 1UV
      18:39:51 | (-12.168258,-38.578226) | 27C | 168lux | 1UV
      Finished at 18:39:55
      Monitoring duration: 0:00:53
[INFO] IDLE STATE
      Data available to upload
      Checking network connection
      Connected
[INFO] UPLOADING STATE
      Uploading '18-11-2020.csv'
      File uploaded
      File not removed

```

```
[INFO] IDLE STATE
      Waiting
```

Neste exemplo, todos os dados coletados no estado *MONITORING* foram armazenados no arquivo *18-11-2020.csv* (Listagem 4.4) enquanto a MMS se encontrava no mesmo. Após o segundo acionamento do botão *M-Button*, a MMS mudou do estado *MONITORING* para *IDLE*, que posteriormente transitou para o estado *UPLOADING* devido ao fato de possuir conexão com a Internet e dados de monitoramento para envio (Listagem 4.3).

Listing 4.4: Arquivo *18-11-2020.csv*.

```
1 2 3
18:39:02 -12.168241 -38.578245 27 173 1
18:39:08 -12.168241 -38.578245 27 178 1
18:39:13 -12.16825 -38.578241 27 181 1
18:39:19 -12.16825 -38.578241 27 176 1
18:39:24 -12.16825 -38.578241 27 174 1
18:39:30 -12.16825 -38.578241 27 178 1
18:39:35 -12.16825 -38.578241 27 174 1
18:39:40 -12.168257 -38.578229 27 174 1
18:39:46 -12.168257 -38.578229 27 174 1
18:39:51 -12.168258 -38.578226 27 168 1
```

Uma vez no estado de *UPLOADING*, a MMS é capaz de enviar os dados para o DCU, como apresenta o exemplo descrito na Figura 4.3. Para as etapas de validação, o DCU está implementado como um serviço de *storage* do Firebase disponível no endereço `gs://bikesensor-78135.appspot.com`.

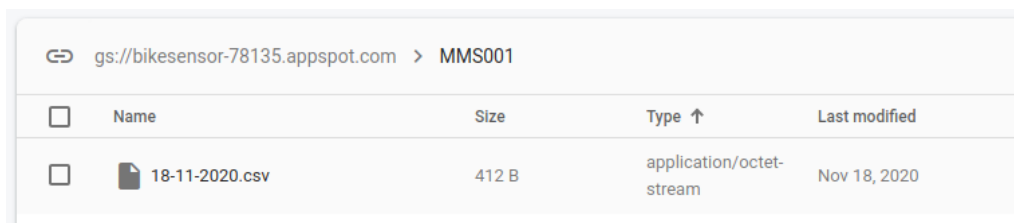


Figura 4.3: Presença do arquivo de monitoramento (*18-11-2020.csv*) no DCU como resultado do funcionamento da MMS.

4.1.2 MMS v1: Montagem na *protoboard*

Na fase inicial do desenvolvimento da MMS proposta de acordo com o que foi apresentado anteriormente, a preocupação considerada como prioridade foi a de testar o funcionamento de todos os componentes de acordo com os objetivos traçados para esta unidade de monitoramento. Pensando desta forma, o primeiro passo para o desenvolvimento da primeira versão da MMS consistiu na montagem de um esquemático virtual utilizando o Fritzing (Knörig et al., 2009), como apresentado na Figura 4.4.

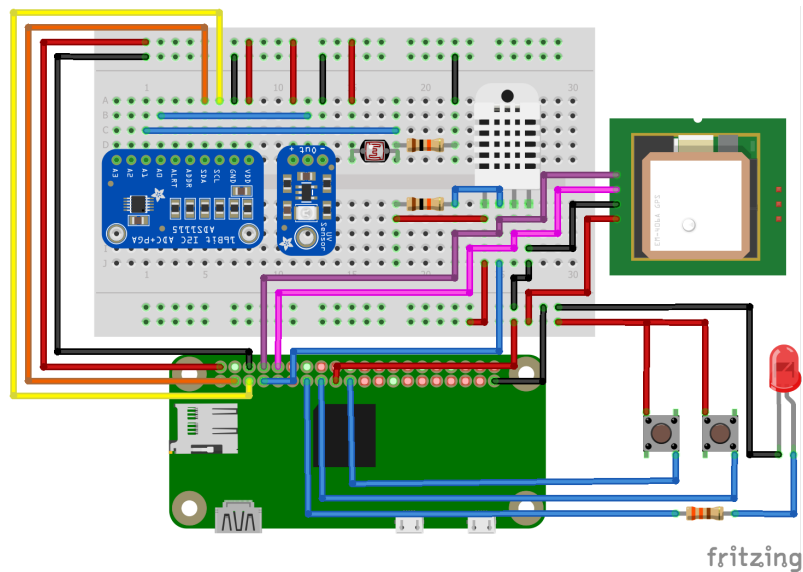


Figura 4.4: Montagem da primeira versão da MMS no Fritzing.

Uma vez que a montagem da Figura 4.4 foi realizada, foi possível avançar para a montagem física da MMS na *protoboard* (Figura 4.5) a fim de testar o funcionamento de cada componente presente na arquitetura do *hardware* de forma individual, bem como a implementação do *firmware* proposto pelo MSensorMob e que tem seus resultados apresentados nas Listagens 4.1, 4.2 e 4.3.

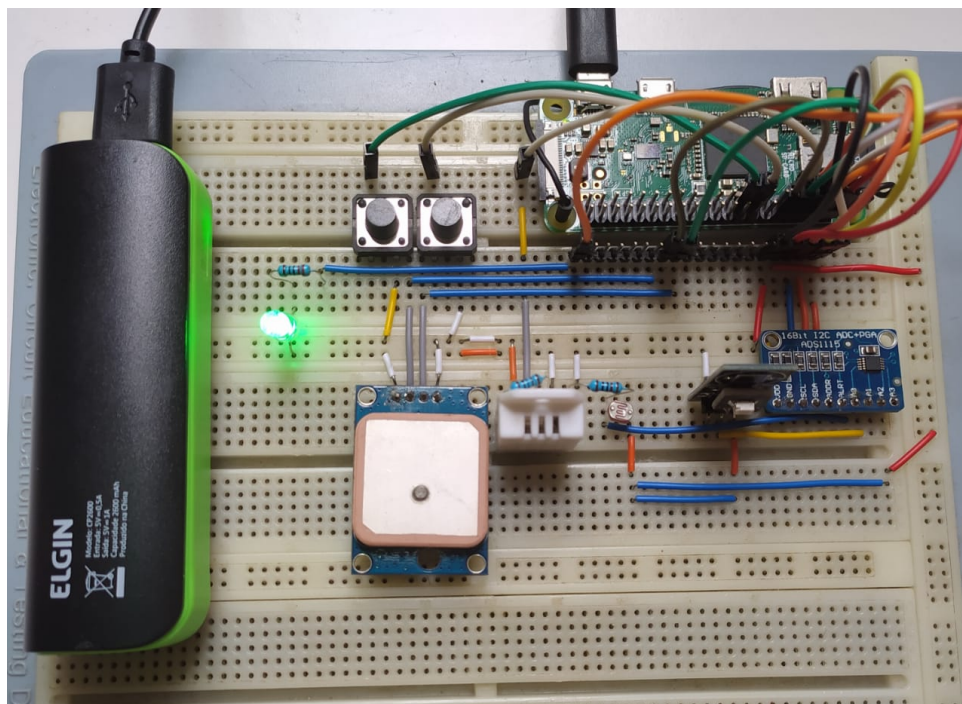


Figura 4.5: Montagem da primeira versão da MMS na *protoboard*.

A partir da montagem simulada na Figura 4.4 e apresentada na Figura 4.5, foi possível montar uma versão funcional da MMS que permitiu desenvolver todo o *firmware* capaz de executar os estados de configuração e funcionamento do dispositivo a partir da arquitetura de *hardware* proposta. No entanto, a MMS v1 não é prática o suficiente para acoplar à bicicletas, tornando necessário o *upgrade* da mesma para uma segunda versão mais versátil em termos de montagem.

4.1.3 MMS v2: Acoplamento do HAT com sensores integrados

Sabendo que a montagem na *protoboard* não é o ideal para realizar testes mais dinâmicos, como o de posicionamento dos sensores na MMS, foi desenvolvida uma segunda versão da MMS. Para esta versão, foi criado um HAT (*Hardware Attached on Top*) para ser acoplado ao Raspberry Pi Zero, embarcando o ADS1115. Assim, é disponibilizada de forma mais prática uma interface com os outros componentes. A Figura 4.6 apresenta o *layout* do HAT criado para compor a segunda versão da MMS (Figura 4.7).

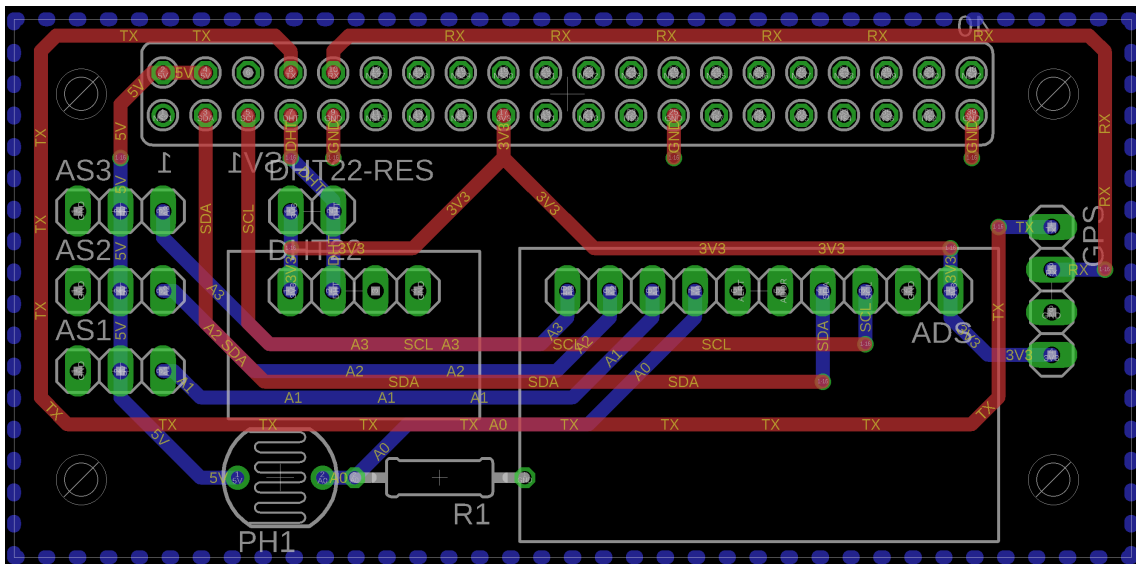


Figura 4.6: *Layout* do HAT criado para interfacear o Raspberry Pi Zero na segunda versão da MMS.

Apesar da montagem apresentada na Figura 4.7 apresentar uma *protoboard*, esta foi colocada apenas para posicionar algum dos componentes que ficam fora do HAT desenvolvido. Desta forma, a MMS v2 foi projetada para dar liberdade de posicionamento de todos os componentes presentes no dispositivo. Com isso, estes componentes podem ser estrategicamente posicionados em uma *case* desenvolvida a partir de impressão 3D, planejada para a terceira versão da MMS.

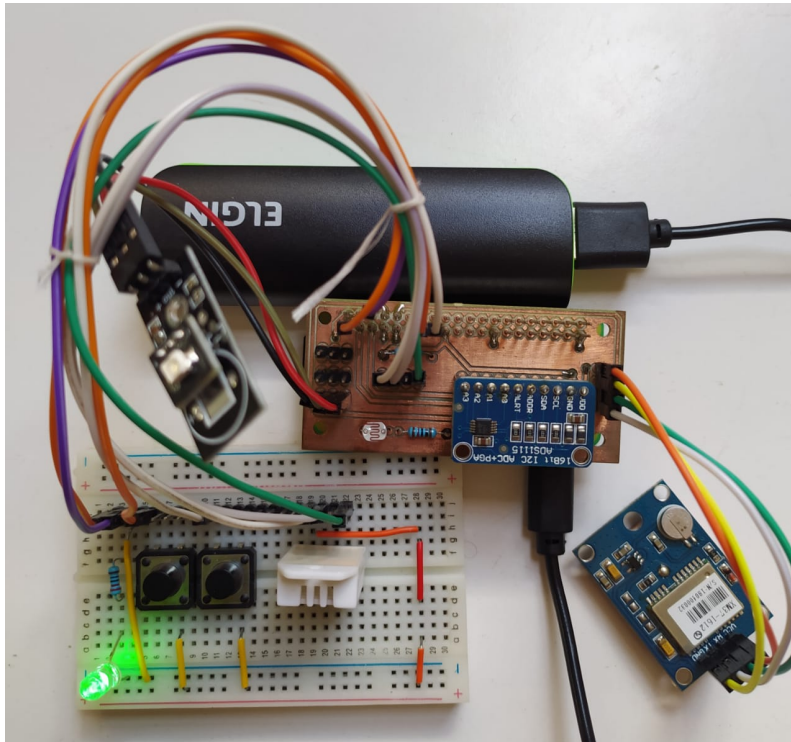


Figura 4.7: Montagem da segunda versão da MMS utilizando o HAT projetado.

4.1.4 MMS v3: Projeto e modelagem do dispositivo final

Diante da montagem definida na MMS v2, que é baseada na liberdade dos componentes para serem posicionados de diversas formas, e do cenário pandêmico durante as etapas de validação, impossibilitando a finalização apropriada da MMS e execução de testes *outdoor* com maior abrangência, foi possível gerar resultados de projeto e modelagem apenas para a terceira versão da MMS. Nesta versão, foi modelada a estrutura externa da MMS seguindo o objetivo de criar um dispositivo fácil de acoplar à bicicleta e com dimensões reduzidas, definidas em 100x35x30mm.

Nestas dimensões, a MMS é capaz de abrigar o volume de componentes adotados para esta versão, respeitando o distanciamento entre os mesmos para evitar principalmente o sobreaquecimento dos componentes, que pode ocasionar no mau funcionamento da MMS. Além disso, para a definição do tamanho do dispositivo, foram consideradas as dimensões das bicicletas com aro 26 e 29, que são as mais utilizadas pelos adultos. Desta forma, tivemos como objetivo desenvolver uma MMS capaz de ser acoplada no tubo da caixa de direção deste tipo de bicicleta (peça de 15 a 20cm de comprimento que fica localizada entre o pneu dianteiro e o guidão).

Como pode ser visto na Figura 4.8, a parte superior do dispositivo possui duas entradas de luz que permite a coleta de dados pelos sensores LDR e UVM-30A (luminosidade e radiação ultravioleta) e os botões e LEDs que permitem a interação com o ciclista. Além disso, na parte traseira da MMS é possível visualizar uma

entrada de ar, feita para arrefecimento dos componentes internos e para permitir uma boa coleta de dados pelo sensor DHT22 (temperatura e umidade).



Figura 4.8: Modelo 3D da parte externa da versão final da MMS.

Também na Figura 4.8, pode-se visualizar uma entrada micro USB na base do dispositivo. Esta entrada permite que o ciclista carregue a MMS utilizando um carregador compatível e com as especificações de 5V e pelo menos 2A. Todas as características apresentadas em relação ao modelo final da MMS foram cuidadosamente desenvolvidas para permitir o fácil acoplamento, apresentado na Figura 4.9, à bicicleta, bem como a fácil utilização da mesma pelos ciclistas.



Figura 4.9: Simulação de acoplamento da versão final da MMS em uma bicicleta.

Por fim, a partir dos resultados alcançados ao longo do desenvolvimento das versões apresentadas da MMS, foi possível implementar a parte funcional do dispositivo e projetar a parte externa do mesmo. Com isso, é planejado para trabalhos futuros a impressão desta *case* e a realização de testes reais com a implantação dos dispositivos nas bicicletas de voluntários em um cenário pós pandêmico.

4.2 Resultados de Avaliação através de Simulação

Além do BikeSensor, sub-sistema de sensoriamento de variáveis ambientais que compõe a camada de monitoramento do BrazilCycling, implementação do modelo iBike-Safe, e que foi apresentado na seção anterior, o sub-sistema da camada de avaliação, o BikeWay, também foi desenvolvido no escopo desta dissertação.

Então, no intuito de validar a métrica de qualificação de ciclovias BikeWay, foram realizados experimentos através da simulação de dados de entrada da métrica para algumas cidades, tendo em vista que a validação com dados coletados pela camada de monitoramento foi impossibilitada devido a Pandemia do COVID-19. Desta forma, esta seção apresenta a estratégia utilizada para a simulação desta avaliação de ciclovias, bem como os seus resultados.

4.2.1 Estratégia de simulação

A simulação realizada para verificar o funcionamento da métrica BikeWay foi baseada na coleta de valores médios referentes aos dados de julho de 2020 para todas as variáveis de *BW-Environment* e *BW-Infrastructure*. Esta coleta foi realizada através de várias fontes (*Accuweather*, *CycloOSM* e notícias locais) e teve como amostras, determinadas ciclovias das seguintes cidades: Salvador/Brasil (I), Belo Horizonte/Brasil (II), São Paulo/Brasil (III), São Francisco/Estados Unidos da América (IV), Vancouver/Canadá (V), Cidade do Cabo/África do Sul (VI), Lisboa/Portugal (VII), Amsterdã/Holanda (VIII), Nova Delhi/Índia (IX), Copenhague/Dinamarca (X), Santiago/Chile (XI), Buenos Aires/Argentina (XII), Montevideu/Uruguai (XIII), Cidade do México/México (XIV), Cairo/Egito (XV), Casablanca/Marrocos (XVI), Assunção/Paraguai (XVII), Tóquio/Japão (XVIII), Pequim/China (XIX) e Berlim/Alemanha (XX). A Figura 4.10 mostra a localização geográfica de todas as cidades presentes no experimento.

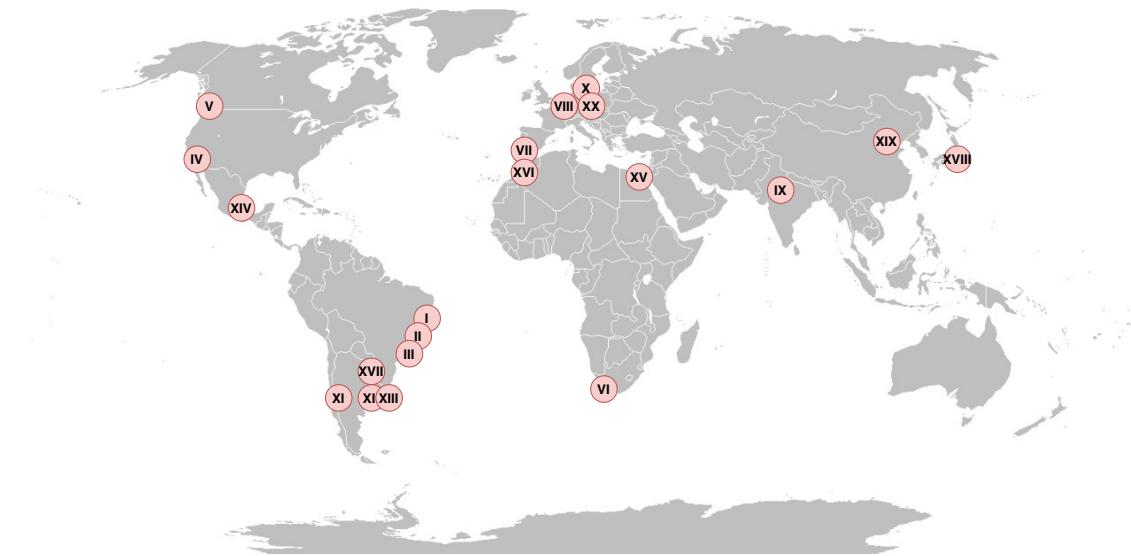


Figura 4.10: Mapeamento das cidades presentes no experimento.

Estas cidades, em sua maioria, foram escolhidas de forma empírica para este experimento. No entanto, algumas cidades foram selecionadas a partir de um conhecimento prévio a respeito da situação das ciclovias em geral. Dentre elas, existem os casos de bom exemplo (III, VIII, X e XX), os quais são esperados bons resultados fornecidos pela métrica, e tem também os casos de mau exemplo (IX e XIX), onde se é esperado os resultados ruins de acordo com as informações presentes nos meios de comunicação.

4.2.2 Resultados de aplicação da métrica BikeWay

A métrica BikeWay processa informações de dois grupos de dados distintos que são, idealmente, fornecidos por sistemas complementares independentes. A partir dessas informações, as percepções de qualidade das ciclovias podem ser calculadas, de acordo com as definições propostas. Contudo, a fim de permitir uma validação inicial da métrica, os dados necessários para o cálculo da métrica podem ser obtidos manualmente, através de buscas dos dados em sites e bases de dados abertas.

Tabela 4.1: Dados de entrada e saída da simulação para Julho de 2020.

Cidade	M1					M2			Processamento			Cor
	1	2	3	4	5	1	2	3	M1	M2	BW	
I	5.8	57	8	27	1075.3	13	4	N	G	B	M	
II	43.5	65	10	21	10752.7	8	2	N	B	M	B	
III	16	68	7	18	1075.3	21	1	C	M	M	M	
IV	31.6	63	8	21	5376	4	4	I	M	G	G	
V	78.6	71	9	25	5376	2	4	I	B	G	M	
VI	3.3	55	6	9	10752.7	1	5	N	G	M	G	
VII	6.4	53	7	22	5376	10	10	C	G	G	G	
VIII	22.2	46	8	23	10752.7	0	0	I	G	VG	VG	
IX	70.8	75	5	27	107.53	17	17	N	M	VB	VB	
X	22.5	65	8	13	107.53	0	0	I	M	VG	G	
XI	17	66	6	25	10752.7	5	4	I	M	G	G	
XII	3.3	58	6	24	10752.7	3	3	I	G	VG	VG	
XIII	2.7	55	6	13	10752.7	2	0	C	G	G	G	
XIV	19.1	69	12	27	5376	9	13	C	M	M	M	
XV	21.1	65	6	31	10752.7	0	1	N	M	G	G	
XVI	8.1	68	7	23	5376	0	0	N	M	G	G	
XVII	40.2	54	9	29	10752.7	7	15	N	M	B	B	
XVIII	3.7	65	6	17	1075.3	3	0	C	G	G	G	
XIX	63.9	70	5	16	1075.3	4	6	N	M	M	M	
XX	3.7	50	2	18	1075.3	0	2	I	VG	VG	VG	

Uma vez que as cidades responsáveis por compor os dados de entrada da métrica BikeWay foram escolhidas (Figura 4.10), o passo seguinte do experimento foi buscar na Internet (ou simular) as informações destas cidades referente aos grupos *BW-Environment* (M1) e *BW-Infrastructure* (M2) referentes ao mês de julho de 2020. Com a execução deste passo, utilizando das fontes de simulação, foi possível chegar ao resultado apresentado na Tabela 4.1.

Algumas dessas variáveis coletadas não possuem um alto grau de confiabilidade devido à complexidade de encontrar informações a respeito. No caso de M1.5, não foi possível encontrar valores numéricos de luminosidade, sendo necessário estimar os resultados a partir da condição do céu (nublado, sem nuvens, etc).

Quanto às variáveis M2.1 e M2.2, o fator agravante da coleta desses dados está na dificuldade de encontrar uma estatística exata a partir da busca manual desses dados na Internet, sendo necessário fazer uma estimativa a partir das informações encontradas. Com a implementação futura do sub-sistema BikeData, espera-se uma obtenção mais confiável desses dados.

Uma vez que os dados de entrada foram processados, a métrica BikeWay foi capaz de gerar o gráfico de pertinência para cada cidade, e a Figura 4.11 apresenta a aplicação das regras do sistema *Fuzzy* a fim de qualificar a ciclovias de algumas cidades que juntas apresentam todos os níveis de qualidade definidos na métrica. Por fim, por meio do arquivo de saída gerado pela métrica, foi possível criar a parte de processamento da Tabela 4.1 para analisar os dados desta simulação.

Como resultado desta etapa de testes, foi criada a Figura 4.12. Essa figura ilustra a qualidade de algumas das ciclovias escolhidas através da marcação da cor resultante do funcionamento da métrica BikeWay sob as mesmas.

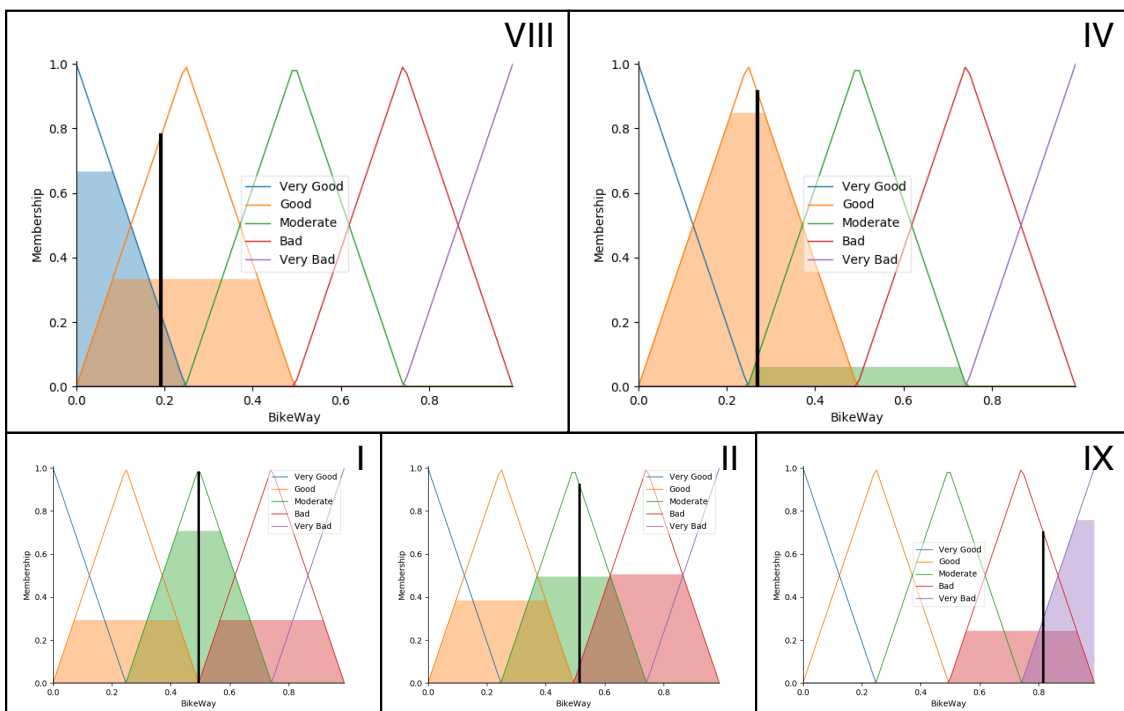


Figura 4.11: Conjunto de cidades com os cinco níveis do BikeWay (gráfico de pertinência da lógica *Fuzzy*).

Analisando as ciclovias tomadas como bons e maus exemplos, podemos observar que a partir dos dados de entrada, a métrica BikeWay foi capaz de fornecer os resultados esperados. Desta forma, é possível verificar que para um primeiro teste, foi obtido um bom resultado da métrica de acordo a sua proposta. No entanto, um segundo teste foi pensado a fim de simular a implementação completa do BrazilCycling em

uma cidade brasileira. Para isso, foi desenvolvido o estudo de caso apresentado a seguir e que considera diversas questões técnicas, socioeconômicas e de infraestrutura da cidade.

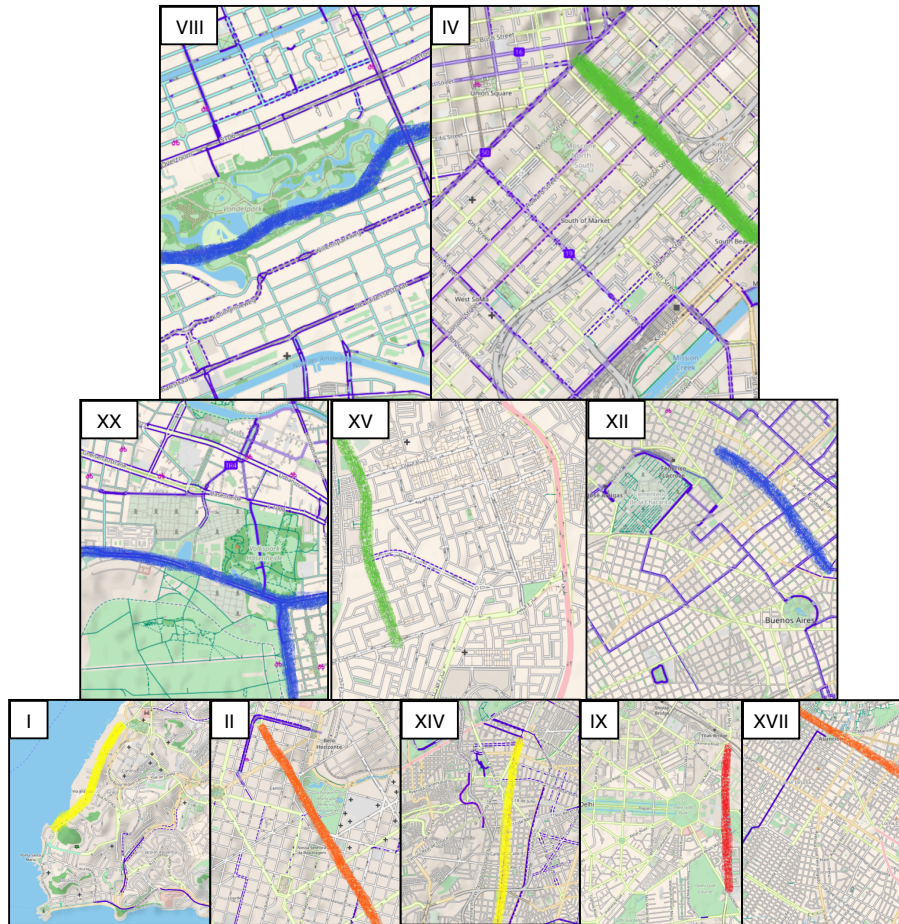


Figura 4.12: Conjunto de cidades com os cinco níveis de BikeWay (cor aplicada na ciclovia).

4.3 Implantação Simulada do BrazilCycling: um Estudo de Caso

Esta seção aborda a simulação da implantação de todos os sub-sistemas do BrazilCycling em uma cidade brasileira a fim de apresentar como funcionaria a aplicação desse sistema derivado do modelo iBikeSafe para realizar as funções atribuída a ele, que são monitorar, avaliar e visualizar ciclovias. Além disso, este estudo de caso visa apresentar detalhes práticos de como qualquer implementação da abordagem iBikeSafe poderia ser utilizada em uma cidade real.

Desta forma, para os experimentos conduzidos e para a análise de dados, foi escolhida uma cidade brasileira de médio porte, a capital do Rio Grande do Norte, Natal.

Classificada como a sexta maior capital do Brasil, esta cidade da região nordeste tem uma área de aproximadamente 167km^2 e uma população de quase 900.000 habitantes, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (ibg, 2020). Além disso, Natal possui uma estrutura cicloviária de 83,47km, com a expectativa de aumento de 15km até o final de 2021, possuindo uma infraestrutura significativa em relação à grande maioria das cidades brasileiras.

Devido à estrutura cicloviária implementada em Natal, 82,6% da população da cidade aprova a utilização da bicicleta como meio alternativo de mobilidade, principalmente em contraproposta à utilização do transporte público. Além disso, uma pesquisa desenvolvida por órgãos municipais e estaduais, com uma população de 800 pessoas, estimou que 62,1% da população natalense adotou a utilização da bicicleta como principal meio de transporte desde o início da Pandemia da COVID-19 (fec, 2020).

Essa crescente popularização da prática do ciclismo em Natal tem a busca pelo distanciamento social como principal impulsionador, medida de combate ao coronavírus que é quase impossível de tomar quando existe a necessidade de utilizar o transporte público. Com isso, torna-se extremamente necessário entender se esses aproximadamente 26.000 ciclistas que realizam cerca de 58.000 viagens por dia têm as condições adequadas para a prática do ciclismo em termos de saúde, segurança e infraestrutura.

Então, sabendo dessas condições iniciais, esta seção aborda a implementação do BrazilCycling em Natal a fim de avaliar um conjunto de ciclovias da cidade, entender as suas qualidades e usar esses dados para comparar com as informações fornecidas pelos ciclistas sobre suas percepções em relação a estrutura cicloviária da cidade.

4.3.1 Definição da sub-região para avaliação de ciclovias

A implementação do BrazilCycling em uma cidade possui alguns requisitos mínimos a serem considerados. O primeiro requisito é que exista algumas bicicletas com a MMS do BikeSensor implantada a fim de coletar os dados relacionados às variáveis ambientais, que para o estudo de caso apresentado nesta dissertação, tiveram os seus dados coletados manualmente devido a impossibilidade de implantação do BikeSensor. Já o segundo requisito consiste no cadastro das ciclovias da cidade, que em uma situação real, seria realizado pelo poder público da cidade através do BikePathGen.

Porém, devido a impossibilidade de implantação desses sistemas no escopo dessa pesquisa, para o prosseguimento do estudo de caso foi necessário cadastrar algumas ciclovias manualmente, sem o auxílio da ferramenta BikePathGen. Sabendo da estrutura cicloviária da cidade de Natal, tornou-se impossível fazer uma avaliação de todas as ciclovias da cidade devido a necessidade de cadastrar todas elas. No entanto, para o desenvolvimento deste estudo, as ciclovias cadastradas foram limitadas a uma sub-região da cidade.

Esta sub-região, escolhida para limitar o número de ciclovias a serem cadastradas manualmente, foi definida tomando como referência a Universidade do Rio Grande do Norte (UFRN), que é uma instituição pública localizada em sua maioria na região central de Natal. Esta Universidade é a quarta melhor da região Nordeste e uma das 25 melhores do Brasil (ran, 2020) e possui cinco campi, com o campus central reunindo 47.000 alunos e 2.300 professores, além de outros funcionários e da comunidade externa que circulam diariamente (UFR, 2021). Diante destes fatos, definimos que a sub-região a ter ciclovias avaliadas pelo BrazilCycling é a do campus central da UFRN.

O campus central da UFRN oferece comodidades confortáveis para a sua população, como restaurantes e lanchonetes, agências bancárias, livraria, academia poliesportiva, galeria de arte, correio, entre outras facilidades (UFR, 2021). O campus central possui conexão com a malha urbana de Natal através de um anel viário que o circunscribe. Este foi criado para acomodar o transporte convencional, como carros, motocicletas e ônibus do sistema de transporte público urbano.

Há um tempo, a universidade iniciou a construção de ciclovias ao redor e dentro do campus para promover a mobilidade sustentável entre seus usuários. Até o momento, foram construídos mais de 5km de ciclovias que contornam o campus do leste até se unir ao anel viário, como apresentado em linhas vermelhas na Figura 4.13.



Figura 4.13: Campus central da UFRN (área cinza) e suas ciclovias (linhas vermelhas).

De acordo com o chefe do Departamento de Engenharia, os ciclistas precisam dividir a faixa com outros usuários do tráfego, trazendo um certo perigo para os mesmos. De acordo com SANTIAGO (2016), encontrar uma maneira de fornecer um sistema de compartilhamento de bicicletas no campus utilizando a infraestrutura atual é possível. Porém, existem alguns problemas que dificultam a implementação de um sistema de *bike-sharing* no campus central da UFRN.

Diante dessa situação, existem também alguns problemas estruturais nessas ciclovias, como: existência de caminhos de longa distância compartilhada com os veículos e a ausência de árvores ao longo das ciclovias do campus, que podem trazer riscos à segurança dos ciclistas, tornando o cenário propício para a ocorrência de acidentes, e trazer desconforto ao praticar o ciclismo, devido aos altos níveis de radiação solar em Natal, uma vez que a cidade fica próxima da linha do Equador.

4.3.2 Aspectos socioeconômicos da sub-região definida

Representado pela linha azul na Figura 4.14, o campus central da UFRN está localizado na Zona Sul de Natal, e também através dela, é possível visualizar uma caracterização socioeconômica deste campus, que apresenta as ciclovias disponíveis na região que podem ser utilizadas para aumentar o transporte de alunos e professores. A aquisição destes dados que compõem a Figura 4.14 foi realizada através do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada Econômica Aplicada (IPEA), órgão do governo brasileiro que propõe análises inovadoras, desenvolvendo pesquisas sobre questões relacionadas à economia com o objetivo de monitorar, avaliar e dar suporte técnico-científico em políticas econômicas e sociais. Utilizando informações censitárias, imagens de satélites e mapeamento colaborativo, o IPEA realiza o cálculo de níveis de acessibilidade para vários municípios, disponibilizando estes dados em: <<https://www.ipea.gov.br/acessoportunidades/>>.

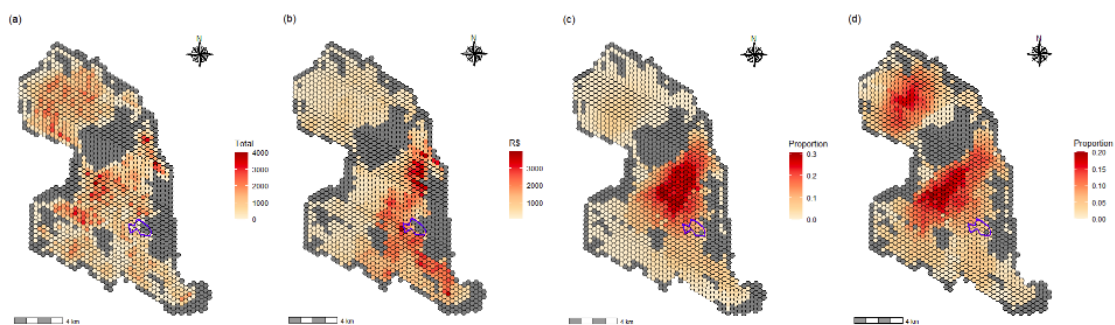


Figura 4.14: Características socioeconômicas e acesso a oportunidades usando bicicletas: (a) População total (b) Renda familiar per capita (c) Oportunidades acessíveis em 15 minutos de bicicleta - emprego (d) Oportunidades acessíveis em 15 minutos de bicicleta - escolas públicas . Em azul, os limites do campus central da UFRN.

Neste estudo, utilizou-se a malha hexagonal já disponibilizado pelo IPEA para a cidade de Natal. A malha hexagonal consiste em um modelo digital da área urbana que descreve o espaço de forma mais eficiente que outros modelos, como a grade de rede irregular ou grade plana. Desta forma, para este trabalho, foram selecionados quatro indicadores: a) distribuição da população total, b) renda familiar média per capita, ambos indicadores do Censo Demográfico de 2010, c) proporção de empregos formais e d) proporção de escolas primárias públicas, ambas acessíveis em viagens de até 15 minutos de bicicleta.

A Zona Sul de Natal é a área que apresenta maior desenvolvimento econômico e menor população do que as outras áreas da cidade, se expressando na distribuição dos domicílios e na renda média residente nesta zona e em seu entorno. Ao expandir a rede de ciclovias para além do campus central da UFRN e abrangendo outras áreas daquela região, ela pode servir de estímulo ao desenvolvimento desse meio de transporte sustentável.

Associada à falta de acesso a empregos formais, a proporção dessas oportunidades de viagens de no máximo 15 minutos tende a ser maior na porção oeste da UFRN, onde há a descontinuidade da ciclovia que circula o entorno do campus, e onde uma rodovia sem faixa exclusiva para ciclistas também liga a universidade a importantes centros comerciais da região. Isso apresenta o perigo de acidentes de trânsito envolvendo ciclistas que tentam usar as mesmas vias que os carros, uma vez que são forçados a compartilhar a via com um tráfego de automóveis em alta velocidade. Com relação ao percentual de escolas públicas acessíveis a ciclistas, este foi menor e relativamente homogêneo na região do entorno do campus central da UFRN, principalmente na Zona Oeste da cidade.

Sabendo das particularidades socioeconômicas da sub-região do campus central da UFRN e das condições de infraestrutura apresentadas anteriormente, o passo seguinte do estudo de caso da implementação simulada do BrazilCycling em uma região de Natal consiste na captura dos dados referente aos modelos das ciclovias utilizadas, bem como os dados de monitoramento das condições adversas que incidem direta e indiretamente nas ciclovias da região.

4.3.3 Ciclovias da sub-região definida e suas condições adversas

Considerando a estrutura cicloviária do campus central da UFRN, após recuperar e processar os dados da Prefeitura, disponíveis em <<https://www2.natal.rn.gov.br/sttu2/paginas/ctd-1199.html>>, a primeira etapa da coleta de dados para avaliação dessas ciclovias consistiu na criação dos modelos matemáticos para as oito ciclovias presentes sub-região definida. Em uma implementação padrão do BrazilCycling, esses dados seriam registrados pela Prefeitura por meio do sub-sistema BikePathGen, especialmente considerando a carga de registrar um grande número de ciclovias. Porém, para o escopo desta fase de avaliação, os modelos desejados foram registrados manualmente, sendo representados na Figura 4.15.

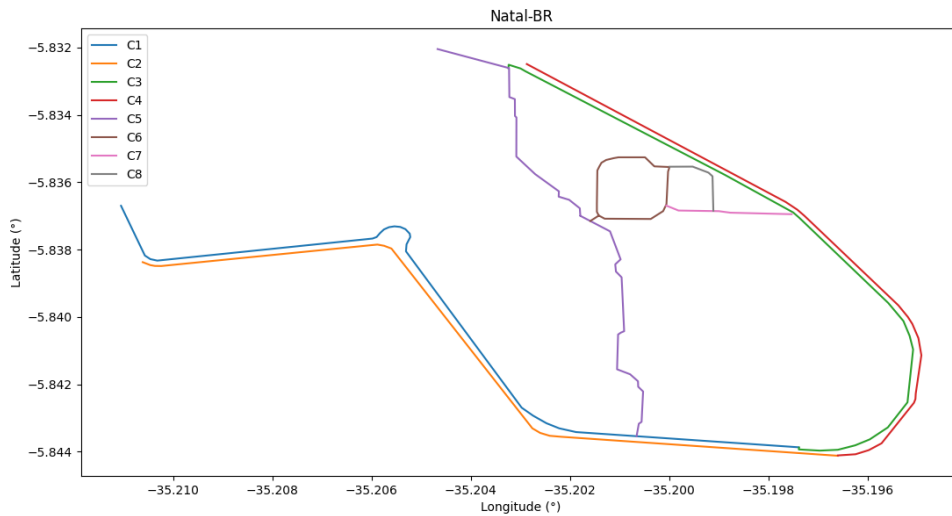


Figura 4.15: Ciclovias no campus central da UFRN, que foram modeladas matematicamente de acordo com a implementação do BikePathGen.

A partir do mapa ciclístico já disponível para a cidade de Natal, foi possível identificar as ciclovias da região do campus central da UFRN. Esta identificação permitiu a sua visualização através da ferramenta Google Maps Street View, possibilitando confirmar o tipo de cada ciclovias e adicionar estes metadados muito importantes ao conjunto de informações recolhidas do mapa da ciclovias (direção da ciclovias e administrador).

Tabela 4.2: Características das ciclovias do campus central da UFRN.

Ciclovias	Tipo	Administrador	Trânsito	Pontos	Trechos
C1	Compartilhada	UFRN	Médio	22	21
C2	Compartilhada	UFRN	Médio	12	11
C3	Nenhuma	Prefeitura	Alto	19	18
C4	Nenhuma	Prefeitura	Alto	16	15
C5	Compartilhada	UFRN	Baixo	30	29
C6	Compartilhada	UFRN	Baixo	19	18
C7	Compartilhada	UFRN	Baixo	5	4
C8	Compartilhada	UFRN	Baixo	5	4

Além do tipo de ciclovias, o serviço Google Maps permitiu a visualização do nível de tráfego de automóveis nas vias por meio de sua camada de visualização de tráfego. Uma vez que todos os dados desejados foram coletados empiricamente, a próxima etapa de registro das ciclovias consistiu em capturar as coordenadas de cada ponto

que cria as ciclovias por meio de seus trechos conectados entre dois pontos sequenciais. Dessa forma, foi possível coletar informações das ciclovias apresentadas na Tabela 4.2 e gerar gráficos que representam as oito ciclovias do campus central da UFRN, conforme apresentado na Figura 4.15.

Com todas as ciclovias modeladas e exportadas no arquivo *Natal-BR.json*, conforme exemplificado na Listagem 3.1, decidiu-se pela forma de coleta dos dados ambientais. Para isso, foram coletadas 117 coordenadas geográficas relacionadas a diferentes pontos de monitoramento, os quais foram recuperados exclusivamente de cada trecho das oito ciclovias cadastradas (Figura 4.16).

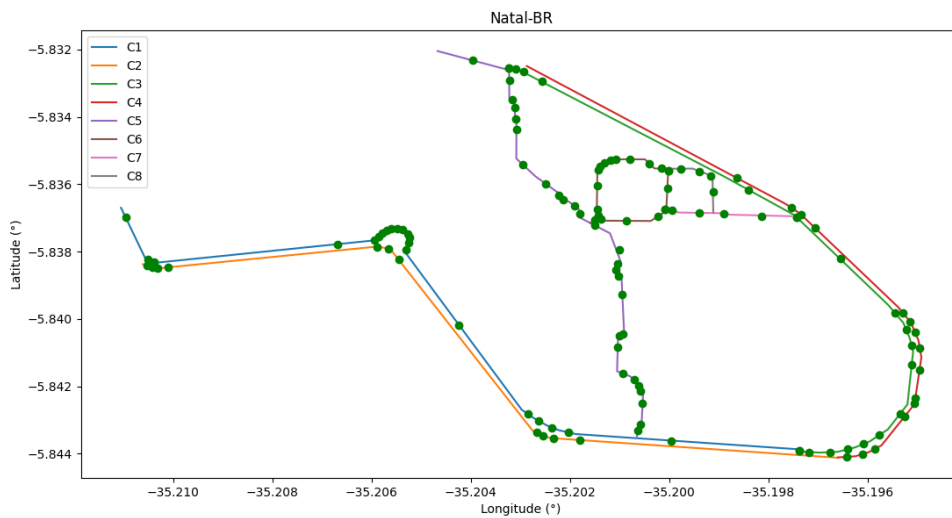


Figura 4.16: Amostras de monitoramento simuladas em cada trecho das ciclovias do campus central da UFRN.

A partir dos pontos de monitoramento definidos empiricamente, simulando a passagem de bicicletas com MMS acoplada, foi possível agrupar os dados das variáveis ambientais definidas para esta aplicação no período de Janeiro a Dezembro de 2020. Coletados através do Accuweather, este período específico foi definido a fim de permitir uma análise mais abrangente das condições das ciclovias durante o surgimento da Pandemia da COVID-19. Com isso, foi possível dividir este ano em três fases: pré-pandemia (Janeiro e Fevereiro), início da pandemia com restrições severas (Março e Abril) e relaxamento das restrições de distanciamento social (Maio a Dezembro). Desta forma, como mencionado anteriormente, esta fase de monitoramento foi simulada em vez de usar a implementação física da MMS, embora as mesmas etapas de processamento fossem consideradas na formatação e transmissão dos dados sensorados.

O impacto das variáveis ambientais para cada uma das fases definidas não variou consideravelmente devido ao fato de que a pandemia afetou apenas o fluxo de carros próximo às ciclovias, influenciando na baixa variação das taxas de poluição do ar e sonora, que não foi significativa (Tabela 4.3). No entanto, os dados estatísticos coletados por meio da Secretaria de Segurança Pública e Defesa Social do Estado do Rio Grande do Norte apresentaram variação considerável ao longo de 2020 (disponível em <<http://www.defesasocial.rn.gov.br/>>).

Para compor esses dados, foram consideradas as informações mensais sobre acidentes e violência urbana (homicídio doloso, intervenção policial, lesões corporais seguidas de morte, roubo/furto e feminicídio) ocorridos na cidade de Natal. Como apresenta a Tabela 4.3, as taxas de acidentes são naturalmente altas na cidade. Porém, na segunda fase de 2020, essas taxas tiveram uma queda considerável, indicando uma leve melhora na qualidade das ciclovias, uma vez que essa variável é extremamente importante pelo fato de trazer risco imediato à vida do ciclista.

Tabela 4.3: Condições adversas entre Janeiro e Dezembro de 2020 na cidade de Natal-RN. Condições adversas: $\mathbf{M}_{1.1}$ - poluição do ar em $\mu g/m^3$, $\mathbf{M}_{1.2}$ - poluição sonora em dB, $\mathbf{M}_{1.3}$ - índice de radiação ultravioleta, $\mathbf{M}_{1.4}$ - sensação térmica em $^{\circ}C$, $\mathbf{M}_{1.5}$ - luminosidade em lux, $\mathbf{M}_{2.1}$ - número de acidentes e $\mathbf{M}_{2.2}$ - número de ocorrências de violência urbana.

Fase	Mês	$\mathbf{M}_{1.1}$	$\mathbf{M}_{1.2}$	$\mathbf{M}_{1.3}$	$\mathbf{M}_{1.4}$	$\mathbf{M}_{1.5}$	$\mathbf{M}_{2.1}$	$\mathbf{M}_{2.2}$
Pre-pandêmica	Janeiro	7.5	57	10	26.6	1000	26	444
	Fevereiro	7.4	59	11	26.7	1100	19	430
Restrições Severas	Março	7.2	54	10	26.7	2200	10	435
	Abril	6.8	53	9	26.4	1100	12	364
Flexibilização das Restrições	Maio	6.9	50	9	26.1	1000	19	248
	June	6.3	55	8	25.2	1100	19	181
	Julho	6.2	51	7	24.6	1000	22	194
	Agosto	5	52	8	24.7	900	22	235
	Setembro	7.2	50	9	25.2	1100	26	261
	Outubro	7.1	52	9	26	1200	19	330
	Novembro	7	53	10	26.4	1300	20	304
Dezembro	7.5	52	11	26.7	1200	27	292	

Portanto, com todos os dados da camada de monitoramento e do sistema auxiliar de cadastro da ciclovias simulados para 2020, tornou-se possível avaliar as oito ciclovias

do campus central da UFRN, disponibilizando os dados processados para serem explorados pelo sub-sistema da camada de visualização, o CyclingView.

4.3.4 Avaliação e visualização das ciclovias da sub-região definida

Para a geração mensal dos mapas de qualidade, os dados coletados foram formatados de acordo com os arquivos exemplificados nas Listagens 3.1, 3.3 e 3.4, a fim de fornecer dados como entrada do sub-sistema de avaliação do BrazilCycling, o BikeWay. Assim, os dados apresentados na Tabela 4.3 foram processados a fim de avaliar as ciclovias de acordo com sua qualidade dentro do grupo de cinco níveis do BikeWay, conforme apresentado na Tabela 4.4.

Tabela 4.4: Qualidade BikeWay das ciclovias do campus central da UFRN.

Fase	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Pre-pandêmica	B	B	VB	VB	M	M	M	M
Restrições severas	G	G	B	B	G	G	G	G
Flexibilização das restrições	M	M	VB	VB	M	M	M	M

Sendo classificadas como muito ruim (VB), ruim (B), moderada (M), boa (G) ou muito boa (VG), as ciclovias consideradas obtiveram aproximadamente os mesmos resultados de qualidade para cada mês de 2020. A partir da análise da qualidade das ciclovias, que reflete a variação dos dados estatísticos municipais entre as fases de combate à Pandemia da COVID-19 na cidade de Natal, foi possível perceber os seguintes aspectos:

1. De modo geral, de C5 a C8 temos as ciclovias com melhor classificação. Isso se deve ao fato dessas ciclovias estarem localizadas dentro do campus central da UFRN, possuírem vias compartilhadas e estarem localizadas em um ambiente de baixo tráfego de veículos;
2. C3 e C4 são as piores ciclovias porque não existem faixas para a prática do ciclismo, fazendo com que os ciclistas disputem espaço com os muitos carros presentes nesses trechos devido ao alto tráfego;
3. A fase pré-pandêmica de 2020 foi marcada por taxas muito altas de acidentes e violência urbana, o que resultou em classificações de “*very bad*” a “*moderate*” em todas as ciclovias;
4. Com o início da pandemia e a imposição de restrições para prevenir a proliferação do vírus, fase definida como restrições severas, houve uma melhora significativa na qualidade percebida das ciclovias compartilhadas, que atingiram boa qualidade devido ao baixo índice de acidentes. Enquanto isso, os trechos com ciclovias “inexistentes” foram considerados ruins, pois representavam um risco imediato para os ciclistas que são obrigados a pedalar ao lado dos carros;

5. Após o relaxamento das restrições, houve um aumento na taxa de acidentes, reduzindo a qualidade percebida das ciclovias. No entanto, as variáveis ambientais tenderam a ter índices melhores devido à chegada do outono e do inverno, fazendo com que as ciclovias compartilhadas atingissem um nível moderado, enquanto as ciclovias inexistentes passaram de ruins para muito ruins;
6. Para todos os meses, os índices de violência urbana foram muito elevados e, neste caso, não influenciaram na variação da qualidade das ciclovias.

Nesse contexto, os dados das oito ciclovias monitoradas e avaliadas foram fornecidos ao sub-sistema CyclingView, que gerou mapas para todos os meses de monitoramento (seguindo um padrão por fase de 2020), conforme apresentado na Figura 4.17.



Figura 4.17: Mapas de cada fase definida para 2020 com as ciclovias cadastradas e suas respectivas qualidades. (a) Fase pré-pandêmica (b) Fase de restrições severas (c) Fase de relaxamento das restrições.

De acordo com a análise realizada, os fatores mais impactantes no que diz respeito às ciclovias escolhidas em Natal são as condições estruturais das ciclovias e o elevado número de acidentes recorrentes na cidade. Na pesquisa “Percepção dos Natalenses

Quanto ao Uso da Bicicleta” desenvolvido pela Federação do Comércio de Propriedades, Serviços e Turismo do Rio Grande do Norte com uma população de 800 pessoas, 53,1% dos entrevistados afirmaram que os motoristas são um fator desestimulante para o ciclismo devido à falta de educação no trânsito, o que pode refletir diretamente no alto índice de acidentes.

Nesta pesquisa, 51,9% dos participantes afirmaram que a qualidade das ciclovias pode melhorar, pois existem muitos lugares que obrigam os ciclistas a competir por espaço nas estradas com os carros, como as ciclovias C3 e C4. Por fim, outro aspecto negativo apontado por 55,6% dos participantes da pesquisa está relacionado à segurança pública, que, como pode ser visto nos dados coletados para 2020, apresenta péssimas estatísticas.

Assim, de forma a orientar os responsáveis pela construção e manutenção de ciclovias e/ou o poder público no sentido de melhorar estes aspectos, torna-se viável e muito usual uma implementação real do BrazilCycling, uma vez que as avaliações no âmbito deste trabalho têm sinergia com a percepção dos ciclistas na cidade considerada. Assim, é muito importante fornecer ferramentas de visualização para essas ciclovias para obter um *feedback* sobre suas qualidades para ciclistas e autoridades públicas.

Capítulo 5

Considerações Finais

O crescente incentivo à utilização da bicicleta como meio de transporte saudável, rápido e sustentável torna o cenário mundial atual muito propício para a construção de ciclovias de qualidade nos grandes centros urbanos. Estas cidades são normalmente projetadas para comportar o tráfego de veículos convencionais (carros, motos, transporte público, etc.), fato que dificulta a vida dos ciclistas, que além de estarem expostos à fatores ambientais que podem trazer risco às suas saúdes, tendem a disputar espaço nas estradas com os automóveis, tornando vítimas fáceis e fatais em acidentes de trânsito.

Sabendo destes problemas, este trabalho propôs um novo modelo multicamadas para o monitoramento de condições adversas das ciclovias e do ambiente onde as mesmas estão inseridas (poluição, número de acidentes, radiação ultravioleta, violência urbana, etc.), através da utilização de tecnologias de Internet das Coisas e *Web Crawling*, avaliação das ciclovias a partir do desenvolvimento de uma métrica de qualidade com lógica *Fuzzy* e visualização destas ciclovias através de uma página web responsável por disponibilizar mapas de visualização dinâmica para os ciclistas e qualquer outro usuário final, como pessoas do poder público ou responsáveis por mobilidade urbana.

A arquitetura do modelo proposto neste trabalho, o iBikeSafe, foi desenvolvida a partir da criação de sub-sistemas genéricos e configuráveis para a execução de tarefas específicas. Neste trabalho, também foi apresentada uma implementação do iBikeSafe através da utilização dos seguintes sub-sistemas: BikePathGen, projetado para permitir o cadastro de ciclovias através de um modelo matemático também proposto no escopo deste trabalho; BikeSensor, uma aplicação de Internet das Coisas desenvolvida para sensoriar as condições ambientais das ciclovias através de unidades de sensoriamento de baixo custo acopladas à bicicletas; BikeData, um algoritmo de *web crawling* projetado para realizar a captura de informações estatísticas das cidades que influenciam na qualidade das ciclovias de forma automatizada; BikeWay, uma aplicação que implementa a métrica de avaliação das ciclovias proposta neste trabalho a fim de processar os dados dos sub-sistemas já citados e qualificá-las;

e CyclingView, ferramenta capaz de gerar os mapas com as ciclovias avaliadas e disponibilizá-los em uma página web.

Dentre esses sub-sistemas, alguns puderam ser desenvolvidos completamente ou parcialmente (BikeSensor, BikeWay e CyclingView), enquanto o BikePathGen e o BikeData tiveram o desenvolvimento previsto para trabalhos futuros. Além disso, devido à Pandemia da COVID-19, tornou-se impraticável a implantação do modelo proposto para testes reais em uma cidade. No entanto, visando analisar a eficiência de uma possível implementação do iBikeSafe, como o BrazilCycling, neste trabalho também foi realizado um estudo de caso que simula a utilização desta abordagem em uma determinada região da cidade de Natal-RN.

Diante dos resultados obtidos nesta pesquisa e das múltiplas contribuições desta, através da publicação de alguns artigos bem específicos e se tratando de temas pouco discutidos na literatura, é completamente satisfatório o nível do trabalho realizado. Além disso, propõe-se que, futuramente, este trabalho tenha todos os seus sub-sistemas completamente desenvolvidos e que a abordagem no geral seja implantada em uma cidade-piloto para a execução de testes reais.

Pretende-se também analisar e considerar outros grupos de variáveis que possam impactar na vida dos ciclistas. Para isso, é cogitada a utilização de outros conceitos, como a visão computacional, a fim de extrair características importantes na avaliação de ciclovias.

Referências

- (2020). Federação do comércio de bens, serviços e turismo do estado do rio grande do norte - fecomércio rn. percepção dos natalenses quanto ao uso da bicicleta. <https://fecomerciorn.com.br/>. Accessed: 2021-06-26.
- (2020). Instituto brasileiro de geografia e estatística. estimativas de população. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=o-que-e>. Accessed: 2021-05-20.
- (2020). World university rankings 2020-21. <https://cwur.org/2020-21.php>. Accessed: 2021-06-26.
- (2021). Universidade federal do rio grande do norte. <https://www.ufrn.br/institucional/sobre-a-ufrn>. Accessed: 2021-06-26.
- Al-Ali, A., Zualkernan, I., and Aloul, F. (2010). A mobile gprs-sensors array for air pollution monitoring. *IEEE Sensors Journal*, 10(10):1666–1671.
- Atzori, L., Iera, A., and Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer networks*, 54(15):2787–2805.
- Atzori, L., Iera, A., and Morabito, G. (2011). Siot: Giving a social structure to the internet of things. *IEEE communications letters*, 15(11):1193–1195.
- Atzori, L., Iera, A., and Morabito, G. (2017). Understanding the internet of things: definition, potentials, and societal role of a fast evolving paradigm. *Ad Hoc Networks*, 56:122–140.
- Bacco, M., Delmastro, F., Ferro, E., and Gotta, A. (2017). Environmental monitoring for smart cities. *IEEE Sensors Journal*, 17(23):7767–7774.
- Bafandeh Mayvan, B., Rasoolzadegan, A., and Javan Jafari, A. (2020). Bad smell detection using quality metrics and refactoring opportunities. *Journal of Software: Evolution and Process*, page e2255.
- Baralis, E., Cerquitelli, T., Chiusano, S., Garza, P., and Kavosifaris, M. R. (2016). Analyzing air pollution on the urban environment. In *2016 39th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, pages 1464–1469. IEEE.

- Behrisch, M., Blumenschein, M., Kim, N. W., Shao, L., El-Assady, M., Fuchs, J., Seebacher, D., Diehl, A., Brandes, U., Pfister, H., et al. (2018). Quality metrics for information visualization. In *Computer Graphics Forum*, volume 37, pages 625–662. Wiley Online Library.
- Bonomi, F., Milito, R., Natarajan, P., and Zhu, J. (2014). Fog computing: A platform for internet of things and analytics. In *Big data and internet of things: A roadmap for smart environments*, pages 169–186. Springer.
- Bonomi, F., Milito, R., Zhu, J., and Addepalli, S. (2012). Fog computing and its role in the internet of things. In *Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing*, pages 13–16. ACM.
- Brasileiro, L. A. and Comar, L. C. (2015). Análise da segurança de pedestres e ciclistas em rodovias urbanas. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, 3(19).
- Brienza, S., Galli, A., Anastasi, G., and Bruschi, P. (2015). A low-cost sensing system for cooperative air quality monitoring in urban areas. *Sensors*, 15(6):12242–12259.
- Castellani, A., Loreto, S., Rahman, A., Fossati, T., and Dijk, E. (2012). Best practices for http-coap mapping implementation. *IETF work in progress*.
- Cho, J., Shim, Y., Kwon, T., Choi, Y., Pack, S., and Kim, S. (2007). Sarif: A novel framework for integrating wireless sensor and rfid networks. *IEEE Wireless Communications*, 14(6):50–56.
- Costa, D. and Duran-Faundez, C. (2018). Open-source electronics platforms as enabling technologies for smart cities: Recent developments and perspectives. *Electronics*, 7(12):404.
- Costa, D. G. (2018). On the development of visual sensors with raspberry pi. In *Proceedings of the 24th Brazilian Symposium on Multimedia and the Web*, pages 19–22. ACM.
- Costa, D. G., Damasceno, A., and Silva, I. (2019). Cityspeed: A crowdsensing-based integrated platform for general-purpose monitoring of vehicular speeds in smart cities. *Smart Cities*, 2(1):46–65.
- Costa, D. G., Vasques, F., Portugal, P., and Aguiar, A. (2020). A distributed multi-tier emergency alerting system exploiting sensors-based event detection to support smart city applications. *Sensors*, 20(1):170.
- Costa, P., Neto, G. M., and Bertolde, A. (2017). Urban mobility indexes: A brief review of the literature. *Transportation Research Procedia*, 25:3645–3655.

- Cuff, D., Hansen, M., and Kang, J. (2008). Urban sensing: out of the woods. *Communications of the ACM*, 51(3):24.
- CyclOSM (2020). Cycloosm: Openstreetmap-based bicycle map. <https://www.cycloosm.org/>. Accessed: August 11, 2020.
- DATASUS (2020). Mortalidade – 1996 a 2018, pela cid-10. <https://datasus.saude.gov.br/mortalidade-1996-a-2017-pela-cid-10-2/>. Accessed: August 11, 2020.
- De, S., Christophe, B., and Moessner, K. (2014). Semantic enablers for dynamic digital–physical object associations in a federated node architecture for the internet of things. *Ad Hoc Networks*, 18:102–120.
- Dernoncourt, F. (2013). Introduction to fuzzy logic. *Massachusetts Institute of Technology*, 21.
- Dhingra, S., Madda, R. B., Gandomi, A. H., Patan, R., and Daneshmand, M. (2019). Internet of things mobile-air pollution monitoring system (iot-mobair). *IEEE Internet of Things Journal*.
- Dohler, M., Vilajosana, I., Vilajosana, X., and Llosa, J. (2011). Smart cities: An action plan. In *Proc. Barcelona Smart Cities Congress, Barcelona, Spain*, pages 1–6.
- Federal, S. (2018). Programa bicicleta brasil segue para sanção presidencial. <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2018/09/05/programa-bicicleta-brasil-segue-para-sancao-presidencial>. Accessed: July 17, 2020.
- Fraser, S. D. and Lock, K. (2011). Cycling for transport and public health: a systematic review of the effect of the environment on cycling. *European journal of public health*, 21(6):738–743.
- Garg, R., Sharma, K., Nagpal, C., Garg, R., Garg, R., and Kumar, R. (2013). Ranking of software engineering metrics by fuzzy-based matrix methodology. *Software Testing, Verification and Reliability*, 23(2):149–168.
- Gigli, M. and Koo, S. G. (2011). Internet of things: Services and applications categorization. *Adv. Internet of Things*, 1(2):27–31.
- Golub, A., Hoffmann, M. L., Lugo, A. E., and Sandoval, G. F. (2016). *Bicycle justice and urban transformation: Biking for all?* Routledge.
- Gondchawar, N. and Kawitkar, R. (2016). Iot based smart agriculture. *International Journal of advanced research in Computer and Communication Engineering*, 5(6):838–842.

- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., and Palaniswami, M. (2013). Internet of things (iot): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems*, 29(7):1645–1660.
- Guinard, D., Mueller, M., and Pasquier-Rocha, J. (2010). Giving rfid a rest: Building a web-enabled epcis. In *2010 Internet of Things (IOT)*, pages 1–8. IEEE.
- Gupta, M. S. D., Patchava, V., and Menezes, V. (2015). Healthcare based on iot using raspberry pi. In *2015 International Conference on Green Computing and Internet of Things (ICGCIoT)*, pages 796–799. IEEE.
- Jara, A. J., Varakliotis, S., Skarmeta, A. F., and Kirstein, P. (2014). Extending the internet of things to the future internet through ipv6 support. *Mobile Information Systems*, 10(1):3–17.
- Joseph, A., Machry, H., Zamani, Z., and Davis, R. (2016). Impact of light on outcomes in healthcare settings—a review. *Innovation: Shifting Ground*.
- Kaczynski, A. T., Schipperijn, J., Hipp, J. A., Besenyi, G. M., Stanis, S. A. W., Hughey, S. M., and Wilcox, S. (2016). Parkindex: Development of a standardized metric of park access for research and planning. *Preventive Medicine*, 87:110–114.
- Kamgueu, P.-O., Nataf, E., and Djotio, T. N. (2015). On design and deployment of fuzzy-based metric for routing in low-power and lossy networks. In *2015 IEEE 40th Local Computer Networks Conference Workshops (LCN Workshops)*, pages 789–795. IEEE.
- Karnouskos, S. (2013). Smart houses in the smart grid and the search for value-added services in the cloud of things era. In *2013 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, pages 2016–2021. IEEE.
- Kastner, W., Neugschwandtner, G., Soucek, S., and Newman, H. M. (2005). Communication systems for building automation and control. *Proceedings of the IEEE*, 93(6):1178–1203.
- Knörig, A., Wettach, R., and Cohen, J. (2009). Fritzing: a tool for advancing electronic prototyping for designers. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction*, pages 351–358.
- Kumar, R. and Rajasekaran, M. P. (2016). An iot based patient monitoring system using raspberry pi. In *2016 International Conference on Computing Technologies and Intelligent Data Engineering (ICCTIDE'16)*, pages 1–4. IEEE.
- Kumar, S. and Jasuja, A. (2017). Air quality monitoring system based on iot using raspberry pi. In *2017 International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA)*, pages 1341–1346. IEEE.

- Lynch, J. P. and Loh, K. J. (2006). A summary review of wireless sensors and sensor networks for structural health monitoring. *Shock and Vibration Digest*, 38(2):91–130.
- Maisonneuve, N., Stevens, M., Niessen, M. E., Hanappe, P., and Steels, L. (2009). Citizen noise pollution monitoring. In *Proceedings of the 10th Annual International Conference on Digital Government Research: Social Networks: Making Connections between Citizens, Data and Government*, pages 96–103. Digital Government Society of North America.
- Mashal, I., Alsaryrah, O., Chung, T.-Y., Yang, C.-Z., Kuo, W.-H., and Agrawal, D. P. (2015). Choices for interaction with things on internet and underlying issues. *Ad Hoc Networks*, 28:68–90.
- Merchant, H. and Ahire, D. (2017). Industrial automation using iot with raspberry pi. *International Journal of Computer Applications*, 168(1):44–46.
- Moroney, L. (2017). Cloud storage for firebase. In *The Definitive Guide to Firebase*, pages 73–92. Springer.
- Mugion, R. G., Toni, M., Raharjo, H., Di Pietro, L., and Sebatu, S. P. (2018). Does the service quality of urban public transport enhance sustainable mobility? *Journal of Cleaner Production*, 174:1566–1587.
- Nikzad, N., Verma, N., Ziftci, C., Bales, E., Quick, N., Zappi, P., Patrick, K., Dasgupta, S., Krueger, I., Rosing, T. Š., et al. (2012). Citisense: improving geospatial environmental assessment of air quality using a wireless personal exposure monitoring system. In *Proceedings of the conference on Wireless Health*, pages 1–8.
- Nitti, M., Girau, R., and Atzori, L. (2013). Trustworthiness management in the social internet of things. *IEEE Transactions on knowledge and data engineering*, 26(5):1253–1266.
- Nosal, K. and Solecka, K. (2014). Application of ahp method for multi-criteria evaluation of variants of the integration of urban public transport. *Transportation Research Procedia*, 3:269–278.
- Novák, V., Perfilieva, I., and Mockor, J. (2012). *Mathematical principles of fuzzy logic*, volume 517. Springer Science & Business Media.
- Nuortio, T., Kytöjoki, J., Niska, H., and Bräysy, O. (2006). Improved route planning and scheduling of waste collection and transport. *Expert systems with applications*, 30(2):223–232.
- O’Briain, R., Shephard, S., and Coghlan, B. (2018). A river vegetation quality metric in the eco-hydromorphology philosophy. *River Research and Applications*, 34(3):207–217.

- Oceanic, N. and (NOAA), A. A. (2020). Noaa heat index. <https://www.weather.gov/safety/heat-index>. Accessed: August 18, 2020.
- Oliveira, F., Costa, D. G., and Dias, A. (2020). A multi-tier sensors-based environmental monitoring approach to assess the quality of bike paths in urban areas. In *2020 IEEE 6th IEEE International Smart Cities Conference (ISC2 2020)*, pages 1–4.
- Oliveira, F., Costa, D. G., Lima, L., and Silva, I. (2021). ibikesafe: A multi-parameter system for monitoring, evaluation and visualization of cycling paths in smart cities targeted at cycling adverse conditions. *Smart Cities*, 4(3):1058–1086.
- Oliveira, F., Costa, D. G., Silva, I., Andrade, P., and Dias, A. (2021). Msensormob: A multi-sensors hardware framework to support the development of adaptable monitoring units in mobile applications. In *IEEE International Workshop On Metrology for Industry 4.0 and IoT*, pages 1–6.
- Organization, W. H. et al. (2011). *Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe*. World Health Organization. Regional Office for Europe.
- Organization, W. H. et al. (2016). Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease.
- Organization, W. H. et al. (2018). Global status report on road safety 2018: Summary. Technical report, World Health Organization.
- Organization, W. H., on Non-Ionizing Radiation Protection, I. C., et al. (2002). Global solar uv index: a practical guide. Technical report, World Health Organization.
- Parissien, S. (2014). *The life of the automobile: the complete history of the motor car*. Macmillan.
- Patchava, V., Kandala, H. B., and Babu, P. R. (2015). A smart home automation technique with raspberry pi using iot. In *2015 International Conference on Smart Sensors and Systems (IC-SSS)*, pages 1–4. IEEE.
- Peixoto, J. P. J. and Costa, D. G. (2017). Wireless visual sensor networks for smart city applications: A relevance-based approach for multiple sinks mobility. *Future Generation Computer Systems*, 76:51–62.
- Pojani, D. and Stead, D. (2015). Sustainable urban transport in the developing world: beyond megacities. *Sustainability*, 7(6):7784–7805.
- Pucher, J., Buehler, R., Bassett, D. R., and Dannenberg, A. L. (2010). Walking and cycling to health: a comparative analysis of city, state, and international data. *American journal of public health*, 100(10):1986–1992.

- Pucher, J., Garrard, J., and Greaves, S. (2011). Cycling down under: a comparative analysis of bicycling trends and policies in sydney and melbourne. *Journal of Transport Geography*, 19(2):332–345.
- Said, O. and Masud, M. (2013). Towards internet of things: Survey and future vision. *International Journal of Computer Networks*, 5(1):1–17.
- SANTIAGO, G. A. (2016). Proposta conceitual para sistema de compartilhamento de bicicletas no campus universitário da ufrn. In *Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal*.
- Schaffers, H., Komninos, N., Pallot, M., Trousse, B., Nilsson, M., and Oliveira, A. (2011). Smart cities and the future internet: Towards cooperation frameworks for open innovation. In *The future internet assembly*, pages 431–446. Springer.
- Schwab, K. (2017). *The fourth industrial revolution*. Currency.
- Sethi, P. and Sarangi, S. R. (2017). Internet of things: architectures, protocols, and applications. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2017.
- Shanmugapriya, P., Rathika, S., Ramesh, T., and Janaki, P. (2019). Applications of remote sensing in agriculture-a review. *Int. J. Current Microbiol. Appl. Sci*, 8(1):2270–2283.
- Silva, M., Signoretti, G., Oliveira, J., Silva, I., and Costa, D. (2019). A crowdsensing platform for monitoring of vehicular emissions: A smart city perspective. *Future Internet*, 11(1):13.
- Siregar, B., Nasution, A. B. A., and Fahmi, F. (2016). Integrated pollution monitoring system for smart city. In *2016 International Conference on ICT For Smart Society (ICISS)*, pages 49–52. IEEE.
- Song, Y., Ma, H., and Liu, L. (2013). Content-centric internetworking for resource-constrained devices in the internet of things. In *2013 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pages 1742–1747. IEEE.
- Sousa, C. A. M. d., Bahia, C. A., and Constantino, P. (2016). Analysis of factors associated with traffic accidents of cyclists attended in brazilian state capitals. *Ciencia & saude coletiva*, 21:3683–3690.
- Stojmenovic, I. and Wen, S. (2014). The fog computing paradigm: Scenarios and security issues. In *2014 Federated Conference on Computer Science and Information Systems*, pages 1–8. IEEE.
- Tebaldi, C. and Sansó, B. (2009). Joint projections of temperature and precipitation change from multiple climate models: a hierarchical bayesian approach. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (Statistics in Society)*, 172(1):83–106.

- Tight, M., Timms, P., Banister, D., Bowmaker, J., Copas, J., Day, A., Drinkwater, D., Givoni, M., Gühnemann, A., Lawler, M., et al. (2011). Visions for a walking and cycling focussed urban transport system. *Journal of Transport Geography*, 19(6):1580–1589.
- Trubia, S., Severino, A., Curto, S., Arena, F., and Pau, G. (2020). On brt spread around the world: Analysis of some particular cities. *Infrastructures*, 5(10).
- Turcu, C. and Turcu, C. (2012). The social internet of things and the rfid-based robots. In *2012 IV International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems*, pages 77–83. IEEE.
- Vijayakumar, N., Ramya, and R (2015). The real time monitoring of water quality in iot environment. In *2015 International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS)*, pages 1–5. IEEE.
- Wallace, S. and Richardson, M. (2016). *Getting Started With Raspberry Pi: An Introduction to the Fastest-Selling Computer in the World*. Maker Media, Inc.
- Welbourne, E., Battle, L., Cole, G., Gould, K., Rector, K., Raymer, S., Balazinska, M., and Borriello, G. (2009). Building the internet of things using rfid: the rfid ecosystem experience. *IEEE Internet computing*, 13(3):48–55.
- Wright, J. and Harwood, V. (2012). *Biopolitics and the 'obesity epidemic': governing bodies*, volume 3. Routledge.
- Wu, M., Lu, T.-J., Ling, F.-Y., Sun, J., and Du, H.-Y. (2010). Research on the architecture of internet of things. In *2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE)*, volume 5, pages V5–484. IEEE.
- Xiang, C., Liu, X., Jiang, A., Yan, B., and Xia, J. (2016). Poster: A bicycle-borne sensor network for monitoring urban air quality. In *Proceedings of the 14th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services Companion*, pages 88–88.
- Yang, B., Castell, N., Pei, J., Du, Y., Gebremedhin, A., and Kirkevold, Ø. (2016). Towards crowd-sourced air quality and physical activity monitoring by a low-cost mobile platform. In *International Conference on Smart Homes and Health Telematics*, pages 451–463. Springer.
- Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., and Zorzi, M. (2014). Internet of things for smart cities. *IEEE Internet of Things journal*, 1(1):22–32.
- Zelenkauskaitė, A., Bessis, N., Sotiriadis, S., and Asimakopoulou, E. (2012). Interconnectedness of complex systems of internet of things through social network analysis for disaster management. In *2012 Fourth International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems*, pages 503–508. IEEE.

-
- Zhang, X., Wargocki, P., Lian, Z., and Thyregod, C. (2017). Effects of exposure to carbon dioxide and bioeffluents on perceived air quality, self-assessed acute health symptoms, and cognitive performance. *Indoor air*, 27(1):47–64.
- Zhang, Y. and Mi, Z. (2018). Environmental benefits of bike sharing: A big data-based analysis. *Applied Energy*, 220:296–301.
- Zhou, J., Chang, H. H., and Fuentes, M. (2012). Estimating the health impact of climate change with calibrated climate model output. *Journal of agricultural, biological, and environmental statistics*, 17(3):377–394.