

Universidade Federal do Rio de Janeiro

ANÁLISE DE DISPOSITIVOS DEFEITUOSOS EM UM SISTEMA *LORA* PARA
COLETA DE DADOS DE MOBILIDADE URBANA: O CASO DA CIDADE DE
CAMPOS DOS GOYTACAZES

Amanda de Souza Vicente Dias

2025



ANÁLISE DE DISPOSITIVOS DEFEITUOSOS EM UM
SISTEMA *LORA* PARA COLETA DE DADOS DE
MOBILIDADE URBANA: O CASO DA CIDADE DE CAMPOS
DOS GOYTACAZES

Amanda de Souza Vicente Dias

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes.

Orientador(es): Matheus Henrique de Souza Oliveira

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2025

ANÁLISE DE DISPOSITIVOS DEFEITUOSOS EM UM SISTEMA *LORA* PARA
COLETA DE DADOS DE MOBILIDADE URBANA: O CASO DA CIDADE DE
CAMPOS DOS GOYTACAZES

Amanda de Souza Vicente Dias

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Orientadores: Matheus Henrique de Souza Oliveira

Aprovada por: Prof. Matheus Henrique de Souza Oliveira
Prof. Marcelino Aurélio Vieira da Silva
Prof. Pedro Henrique Cruz Caminha

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
FEVEREIRO DE 2025

Dias, Amanda de Souza Vicente

Análise de dispositivos defeituosos em um sistema LoRa para coleta de dados de mobilidade urbana: o caso da cidade de Campos dos Goytacazes / Amanda de Souza Vicente Dias. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2025.

XI, 69 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Matheus Henrique de Souza Oliveira

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2025.

Referências Bibliográficas: p. 63-68.

1. Dispositivos inteligentes. 2. Análise de dados. 3. Mobilidade. 4. Tecnologia LoRa. I. Oliveira, Matheus Henrique de Souza. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III. Título.

Ao meu papai, Janilton.

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus pela dádiva da vida, que me permite seguir em busca de conhecimento. Agradeço ao meu amor Jefferson por me apoiar e sempre mostrar que desistir não era uma possibilidade. Sou completamente realizada ao seu lado.

Agradeço aos meus pais, Janilton e Josélia, pela dedicação à mim ao longo de todos os anos.

Ao meu irmão, Nickson, pela amizade e companheirismo de sempre.

Ao meu professor e orientador, Matheus Oliveira, que me acompanhou ao longo do mestrado e muito contribuiu com minha pesquisa acadêmica.

A todos os professores do Programa de Engenharia de Transportes da UFRJ que contribuíram com conhecimento

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ANÁLISE DE DISPOSITIVOS DEFEITUOSOS EM UM SISTEMA *LORA* PARA
COLETA DE DADOS DE MOBILIDADE URBANA: O CASO DA CIDADE DE
CAMPOS DOS GOYTACAZES

Amanda de Souza Vicente Dias

Fevereiro/2025

Orientadores: Matheus Henrique de Souza Oliveira

Departamento: Engenharia de Transportes

Este trabalho desenvolve uma análise de dispositivos defeituosos instalados em veículos urbanos no projeto piloto em Campos dos Goytacazes, município do noroeste do Estado do Rio de Janeiro. A partir do momento de instalação, foi realizada uma análise de software de todos os dispositivos e de hardware de uma amostra de 21 dispositivos após a desinstalação. Essa análise conseguiu demonstrar erros de captura de dados, de emissão de informações e de mau uso por parte dos responsáveis dos dispositivos. Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo analisar os dispositivos defeituosos que foram instalados em vans e ônibus em Campos dos Goytacazes com conexão em rede de *Internet of Things*, utilizando *gateways LoRa*. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica, relacionando os principais conceitos pertinentes à análise e inteligência de dispositivos: análise do ciclo de vida, tecnologia *LoRa*, *Internet of Things* e *Smart Cities*. Na análise de hardware foi possível observar o estado do dispositivo, ou seja, se a bateria estava em bom estado, se a antena *LoRa* estava acoplada e em funcionamento, se havia a presença de informações no sistema, se o dispositivo funcionava e qual era o tipo de entrada do dispositivo (USB ou carregador veicular). Os resultados obtidos evidenciaram algumas falhas no processo de instalação dos dispositivos, que proporcionaram uma qualidade menor na evidência dos dados. Além disso, foram identificadas as limitações que essa pesquisa apresentou ao longo do projeto que refletiam no processo humano algumas falhas, como foi o caso de retirada dos dispositivos sem aviso prévio, prejudicando a precisão e qualidade da pesquisa.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

ANALYSIS OF FAULTY DEVICES IN A LORA SYSTEM FOR COLLECTING
URBAN MOBILITY DATA: THE CASE OF THE CITY OF CAMPOS DOS
GOYTACAZES

Amanda de Souza Vicente Dias

February/2025

Advisors: Matheus Henrique de Souza Oliveira

Department: Transportation Engineering

This paper carries out an analysis of defective devices installed in urban vehicles in the pilot project in Campos dos Goytacazes, a municipality in the northwest of the state of Rio de Janeiro. From the moment of installation, a software analysis was carried out on all the devices and a hardware analysis was carried out on a sample of 21 devices after uninstallation. This analysis was able to show errors in capturing data, issuing information and misuse by those responsible for the devices. In view of this, this study aims to analyze the defective devices that were installed in vans and buses in Campos dos Goytacazes with Internet of Things network connections, using LoRa gateways. To this end, a literature review was carried out, relating the main concepts pertinent to device analysis and intelligence: life cycle analysis, LoRa technology, Internet of Things and *Smart Cities*. In the hardware analysis, it was possible to observe the state of the device, i.e. whether the battery was in good condition, whether the LoRa antenna was attached and working, whether there was information in the system, whether the device worked and what type of input the device had (USB or vehicle charger). The results showed some flaws in the process of installing the devices, which led to a lower quality of data evidence. In addition, the limitations that this research presented throughout the project were identified, which reflected some flaws in the human process, such as the removal of the devices without prior warning, jeopardizing the accuracy and quality of the research.

SUMÁRIO

1. Introdução.....	1
1.1 Objetivos.....	4
1.1.1 Objetivo geral.....	4
1.1.2 Objetivos específicos.....	4
1.2 Justificativa	5
1.3 Estrutura da dissertação	6
2. Revisão da literatura.....	7
2.1 Ciclo de vida e externalidades	7
2.1.1 Análise do ciclo de vida (ACV)	8
2.1.2 Análise do custo do ciclo de vida	10
2.2 <i>Internet of things - IoT</i>	13
2.2.1 Cenário brasileiro	14
2.2.2 Aplicações de <i>IoT</i> nas novas tecnologias.....	15
2.3 Tecnologia <i>Long Range (LoRa)</i>	16
2.3.1 Panorama mundial da tecnologia <i>LoRa</i>	18
2.3.2 Panorama nacional da tecnologia <i>LoRa</i>	19
2.3.3 Aplicações dessas tecnologias em dispositivos inteligentes.....	19
2.4 <i>Smart cities</i>	22
2.4.1 <i>Smart cities</i> no Brasil.....	24
2.4.2 O caso da cidade de Campos dos Goytacazes.....	26
3. Metodologia	28
3.1 Descrição da metodologia.....	28
4. Estudo de caso em Campos dos Goytacazes.....	31
4.1 Descrição da análise realizada dos dispositivos defeituosos	32
4.2 Construção da análise dos dispositivos defeituosos	35
4.3 Descrição da amostra	37
4.4 Método de coleta.....	38
4.5 Validação da amostra.....	38
4.6 Análise de Hardware dos dispositivos	54
4.7 Análises e interpretações	57
5 A viabilidade de dispositivos inteligentes para coleta de dados em <i>smart cities</i> , segundo a análise realizada.....	58

5.1	Aplicação da ACV em dispositivos inteligentes.....	59
5.2	Resultados esperados na ACV	59
5.3	Resultados obtidos na ACV	60
5.4	Críticas aos resultados obtidos na ACV	61
6	Considerações finais.....	61
6.1	Conclusões	61
6.2	Limitações da pesquisa	62
6.3	Recomendações para trabalhos futuros.....	63
7	Referências bibliográficas	64

Lista de Figuras

Figura 1 - Arquitetura do sistema <i>IoT</i>	14
Figura 2 - Instalação na caixa elétrica de fusíveis	34
Figura 3 - Dispositivos utilizados no projeto de Campos dos Goytacazes.....	35
Figura 4 - Carregador Veicular.....	36
Figura 5 - Gateway <i>LoRa</i>	36
Figura 6 - Mapa dos locais de instalação.....	37
Figura 7 - Quantidade de dados enviados a partir dos dispositivos que mais emitiram dados.....	47
Figura 8 - Distribuição de contagem de dados ao longo do tempo dos dispositivos que mais emitiram dados.....	48
Figura 9 - Tipo de veículo para cada dispositivo que mais emitiram dados	49
Figura 10 - Nível de bateria no momento de instalação	49
Figura 11 - Nível de bateria no momento de desinstalação.....	50
Figura 12 - Potência <i>LoRa</i> na instalação dos dispositivos.....	51
Figura 13 - Potência <i>LoRa</i> no momento de desinstalação.....	51
Figura 14 - Quantidade de dados enviados a partir dos dispositivos que menos emitiram dados.....	54
Figura 15 - Dispositivo aberto para análise de bateria e antena <i>LoRa</i>	56
Figura 16 - Temperatura dispositivo PT-00000165	57

Lista de Quadros

Quadro 1 – Finalidades de produtos	21
Quadro 2 - Aplicação do uso da tecnologia <i>LoRa</i>	33
Quadro 3 - Contagem de envio de dados por dispositivo	51
Quadro 4 - Dispositivos que mais enviaram dados	55
Quadro 5 - Dispositivos que menos emitiram dados	61
Quadro 6 - Análise de <i>Hardware</i> dos dispositivos	64

1. Introdução

Nos dias atuais são intensos os debates sobre o melhor desenvolvimento das cidades e de como o uso da tecnologia pode aprimorar a mobilidade urbana dos cidadãos (REIS *et al.*, 2019), acarretando numa melhora no nível de bem-estar do indivíduo que pode ser maximizado mediante as situações favoráveis no ambiente urbano diário. Adjacente a isso, o uso de tecnologias é primordial para aperfeiçoar e até melhor desenvolver processos inerentes à melhora da mobilidade urbana, tornando-a mais sustentável e tecnológica, buscando priorizar aspectos sociais, ambientais e financeiros numa mesma proporção (MARTENDAL, 2023).

Essas tecnologias possuem o poder de oferecer melhores condições para gerir os recursos naturais de um local, administrando e proporcionando maximização no planejamento urbano. O investimento massivo na descoberta de novas tecnologias apresenta competência para o desenvolvimento urbano e diminuição das desigualdades sociais (HE e CHEN, 2024).

A busca por dados de mobilidade tem se tornados crescentes entre as cidades e diversas entidades buscam por esses dados com o intuito de conseguir tornar a mobilidade urbana mais inteligente, tornando cidades conectadas e tecnologicamente atuais (LÓPEZ e FAROOQ, 2020). A utilização de dados pode aperfeiçoar a potencialidade dos governos e pesquisadores, na qual podem contribuir para uma mobilidade humana mais inteligente, confiável, segura e orientada para a demanda (LÓPEZ e FAROOQ, 2020), contribuindo para melhorias ambientais e sociais sob a ótica da mobilidade. Nesse sentido, é importante denotar que a utilização de dados deve considerar a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD), que assegura os direitos sobre privacidade de dados.

Dada essa agenda tecnológica, atualmente as Nações Unidas buscam atingir diversos objetivos que estão alinhados para serem atingidos até 2030, que são os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Essa agenda alinha diversos interesses em prol de um: o desenvolvimento sustentável das cidades. Os ODS permeiam por 17 Metas Globais para alcançar 3 objetivos extraordinários, que são: i. Erradicar a pobreza extrema; ii. Combater a desigualdade e a injustiça; e iii. Conter as mudanças climáticas. Esses objetivos que devem ser considerados com mesma atenção, percorrendo por problemas sociais, econômicos e ambientais, buscando integrar uma melhora urbana, potencializando a melhora nas desigualdades sociais, nos problemas ambientais e nas questões econômicas.

Desse modo, é importante ressaltar como as melhorias urbanas inerentes ao desenvolvimento tecnológico devem estar alinhadas com os ODS, pois o mesmo busca que a sociedade seja desenvolvida e que todas as partes da população possam participar dessas mudanças. Alinhado a esses interesses de uma cidade melhor desenvolvida, a escolha por tecnologias que funcionem a um custo ambiental e financeiro menor é sempre uma opção melhor observada. Desse modo, a utilização de dispositivos inteligentes para coleta de dados de mobilidade urbana é primordial para que haja interação entre dados e cidades, potencializando a agenda de cidades em desenvolvimento tecnológico. A utilização em tempo real desses dados melhora os resultados e torna as cidades mais inteligentes. O debate sobre como tornar uma cidade mais inteligente a partir da utilização de dispositivos inteligentes abrange uma necessidade de integrar infraestrutura e conectividade inteligente (BIYIK *et al.*, 2021).

A partir desse contexto, com o uso crescente de dispositivos de coleta de dados urbanos, é necessário visualizar impactos que possam ser ocasionados pelo uso desses dispositivos inteligentes e em que medidas eles são sustentáveis a partir do seu ciclo de vida. Para isso, é necessário que haja uma análise desses dispositivos, buscando entender sua viabilidade energética e o quanto isso impacta na sociedade. Logo, uma análise do ciclo de vida se torna importante à medida que ela pode agregar determinados pontos críticos na análise, tais quais: a eficiência energética e a durabilidade desses dispositivos, que pode explicar fatores ambientais e econômicos. BIYIK *et al.* (2021) assumem que os segmentos que mais se destacam no âmbito da mobilidade urbana seriam: os sistemas de transportes inteligentes, dados abertos e análise desses dados. Tais segmentos possuem um papel crucial em qualquer análise que venha a ser feita nessa área.

Assim, o uso de tecnologia com o intuito de facilitar a coleta de dados e análise deles, torna a sociedade mais conectada, sustentável e inclusiva. O uso de *IoT* (*Internet of Things* – internet das coisas) pode transformar a forma de vivência, sendo o seu uso para o desenvolvimento da mobilidade um fator que agrega valor ao uso de dados abertos, podendo otimizar o planejamento urbano e a escolha por dados que maximizem o bem estar de toda sociedade. A *IoT* possui um papel significativo para a implementação de dispositivos desse tipo, pois possui o potencial de reduzir o consumo de energia em até 30% (DING, TUKKER e WARD, 2023), fato este que pode influenciar no ciclo de vida desses dispositivos.

A busca por uma sociedade mais tecnológica, que diariamente colete dados de tudo ao redor dos mesmos, tornará as cidades mais inteligentes e incluirá todos os setores diretos e indiretos, incentivando o uso de dados abertos e acessíveis. Além disso, no Brasil, com suas grandes metrópoles e um denso desenvolvimento urbano, é notória a necessidade de análises cada vez

mais profundas e consistentes sobre tudo que tange a mobilidade urbana. A necessidade desses estudos transita, principalmente, pelo uso de novas tecnologias que possam agregar, inovar e trazer mais embasamento teórico e prático para essas análises.

De igual modo, a implementação de novas tecnologias transforma a maneira de a sociedade buscar novos conhecimentos, minimiza a mão de obra e impacta direta e indiretamente o meio ambiente e a economia. Essas novas tecnologias possuem o poder de tornar as cidades mais conectadas entre si. Entretanto, há lacunas que precisam ser preenchidas em pesquisas nesse âmbito (BIYIK *et al.*, 2021), pois a mobilidade urbana é um fator importante para que uma cidade se torne mais sustentável e inteligente. A mobilidade inteligente está intrinsecamente relacionada às melhores decisões políticas dos municípios que buscam focar no uso de ferramentas de dados (TOMASZEWSKA e FLOREA, 2018).

No caso do estudo no município de Campos dos Goytacazes, a utilização de dispositivos inteligentes conectados a uma rede *LoRa*, acaba por desenvolver tecnologicamente essa cidade, proporcionando mais conectividade e a possibilidade de maior desenvolvimento tecnológico na área de mobilidade urbana. Mas de igual forma, toda essa tecnologia deve vir acompanhada de uma preocupação genuína no impacto que essas instalações podem causar ao meio ambiente.

Neste estudo, o problema de pesquisa é analisar os dispositivos instalados na cidade que apresentaram algum defeito depois de um dado período de tempo, observando quais podem ser os fatores de influência para o não funcionamento dos mesmos. BIYIK *et al.* (2021) indicam que em áreas urbanas, a *IoT* pode conceder uma maior conectividade, sendo possível modelar um estudo a partir da coleta de dados. Desse modo, de acordo com BIYIK *et al.* (2021) é necessário que os dispositivos inteligentes sejam sinérgicos com todas as demais infraestruturas que operam ao redor e que possam ser viáveis através do seu tempo de vida útil.

Logo, a escolha pela metodologia de Análise do Ciclo de Vida, baseou-se na estrutura que essa metodologia possui, considerando uma abordagem de análise e resultado diferente de outras metodologias, tais como a abordagem de impacto de sustentabilidade. Essa metodologia permite dimensionar propostas que irão causar um maior desempenho do produto, e assim, menor impacto ambiental. De acordo com a norma ISO 14040 (2009), a ACV é uma investigação extremamente abrangente em relação ao uso de todos os insumos que são relativos ao processo do produto.

Assim, a hipótese da análise que será feita neste trabalho consiste em analisar as explicações para alguns dispositivos inteligentes apresentarem mal funcionamento, trazendo novas perspectivas sobre a utilização deles em um projeto piloto de coleta de dados. Isso se deve às dezenas de bilhões de dispositivos inteligentes que se encontrarão no mundo nos próximos anos,

trazendo questionamentos sobre a viabilidade ambiental da utilização desses dispositivos. Pois como a *IoT* é apresentada como uma solução para os problemas ambientais, é necessário visualizar o problema por esse outro ângulo (PIRSON e BOL, 2021), avaliando os processos negativos que podem estar atrelados ao uso desses dispositivos.

Diante desses desafios, torna-se crucial definir objetivos claros que guiarão este estudo, buscando não apenas analisar o impacto das tecnologias emergentes, mas também fornecer insights práticos para a melhoria da mobilidade urbana.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar os dispositivos defeituosos que foram utilizados para coleta de dados de mobilidade urbana na pesquisa piloto no município de Campos dos Goytacazes, que foram instalados em veículos do tipo ônibus e vans, baseados em um sistema *LoRa* observados no período de 09 de janeiro de 2023 à 18 de janeiro de 2024. Assim, será necessário identificar quais foram as possíveis falhas que os dispositivos apresentaram ao longo do processo de pesquisa do projeto piloto, sendo essas análises realizadas através de verificação do software e hardware dos dispositivos.

1.1.2 Objetivos específicos

- Identificar na literatura os fatores que influenciam no funcionamento de dispositivos inteligentes
- Analisar os dispositivos defeituosos utilizados pela pesquisa de campo na cidade piloto de Campos dos Goytacazes
- Analisar os principais fatores que tornaram esses dispositivos defeituosos
- Observar se a conexão por *LoRa* influencia no estado desses dispositivos
- Observar a utilização da bateria e influência nos dispositivos
- Verificar se os dispositivos são ambientalmente saudáveis para cidades inteligentes que visam utilizar dispositivos inteligentes na coleta de dados.

Os objetivos traçados reforçam a relevância deste estudo, cuja justificativa se baseia na necessidade urgente de soluções tecnológicas que promovam um desenvolvimento urbano sustentável e inclusivo.

1.2 Justificativa

O uso de dispositivos inteligentes para a coleta de dados pode estar se tornando um novo modelo de negócios para a pesquisa de mobilidade no Brasil. Dispositivos inteligentes podem mudar a forma de coletar e analisar dados de mobilidade, tornando esse processo mais rápido e menos custoso. Isso permite influenciar esses dispositivos ao ponto de ser possível observar suas propriedades, medindo suas semelhanças e analisando as diferenças entre elas.

MALMODIN e LUNDÉN (2018) indicam que a implementação de dispositivos inteligentes baseados em *IoT* pode elevar a pegada global de carbono, mesmo contrapondo com as vantagens tecnológicas que essas tecnologias podem proporcionar. Por outro lado, há vantagens na pegada energética da implementação de dispositivos, mas para que essa análise seja mais realista possível é necessário que diversos parâmetros sejam analisados, tais como: a quantidade de dispositivos instalados, a diversidade de modelo, o local no qual serão instaladas, as condições em serão submetidas, o modo que será desinstalado e como todos esses fatores influenciam na disposição final desses dispositivos.

Desse modo, é necessário que haja uma avaliação profunda em relação ao impacto que esses dispositivos causam ao meio em que estão inseridos. Essa avaliação busca verificar se o impacto em relação à coleta de dados se sobrepõe a outros pontos, como é o caso do não funcionamento desses dispositivos, identificando oportunidades de melhorias nesses aparelhos (LEIVA *et al.*, 2021). Analisar esses dispositivos não é apenas verificar quanto tempo eles funcionam dentro do que são programados para funcionar, mas também é observar toda a cadeia produtiva desses dispositivos, desde a extração de matérias primas para a fabricação dos mesmos, passando pela produção, distribuição, venda e utilização final.

A partir dessa análise, será verificado se o tempo que esses dispositivos ‘sobrevivem’ é o suficiente, dado todo o impacto que eles podem causar ao meio ambiente. Sendo assim, a escolha por esse objeto de pesquisa tende a nortear diversos outros estudos que utilizam dispositivos inteligentes na busca por coleta de dados de mobilidade. Desse modo, serão analisados os custos energéticos que esses dispositivos possuem e se há impactos econômicos e ambientais negativos. Além disso, faz-se necessário o aprofundamento nesse estudo, pois a

literatura, apesar de indicar alguns caminhos sobre a discussão ambiental (PIRSON e BOL, 2021), nenhum dos trabalhos encontrados visualizaram o problema a partir do cálculo do tempo de vida desses dispositivos, além do cenário ser inovador, pois não foram encontrados trabalhos anteriores que analisem dispositivos inteligentes a partir do seu ciclo de vida, nem ambientes urbanos agrupados em veículos móveis. Desse modo, considerando a urgência desse debate, o estudo mostra-se muito relevante para a ciência sobre mobilidade e sustentabilidade. Para alcançar esses objetivos e responder adequadamente ao problema de pesquisa, a dissertação está organizada de forma a refletir a complexidade e a interconexão dos temas abordados, como se detalha a seguir.

1.3 Estrutura da dissertação

Este trabalho será demonstrado através de capítulos e subcapítulos através da seguinte estrutura: o primeiro capítulo será aprofundado a introdução do tema proposto, indicando contextualização e problema de pesquisa, objetivos e justificativas da relevância desse trabalho; o segundo capítulo agrega a revisão da literatura, explorando e conectando os principais conceitos pertinentes ao tema do trabalho, tais quais: análise do ciclo de vida, que é o método de análise que será explorado no estudo; *internet of Things* e tecnologia *LoRa*, que se baseiam em tecnologia para desenvolvimento de dados; e *smart cities*, explorando o conceito atrelado ao município de estudo e ao desenvolvimento de novas tecnologias; no capítulo seguinte será explorado o estudo de caso que está sendo realizado no município de Campos dos Goytacazes, que busca explorar a descrição da análise do ciclo de vida que será realizada, demonstrar a construção da análise do ciclo de vida, descrever a amostra, assim como o método de coleta e por fim identificar a validação da amostra; no capítulo subsequente será incorporada ao debate a viabilidade dos dispositivos inteligentes para coleta de dados em *smart cities*, baseando-se na análise feita dos dispositivos, assim como a aplicação da ACV em dispositivos inteligentes, os resultados esperados, os resultados obtidos e, por fim, críticas aos resultados obtidos nessa análise. Por fim, no último capítulo serão ponderadas as considerações finais assim como as limitações da pesquisa exposta. Assim sendo, com a estrutura definida, será realizada uma revisão da literatura, que oferece o embasamento teórico necessário para compreender as dinâmicas do tratamento de dados coletados através de novas tecnologias, que estão sendo desenvolvidas em cidades inteligentes, para a utilidade fim que é compreender o ciclo de vida dos dispositivos inteligentes e suas implicações na mobilidade urbana.

2. Revisão da literatura

A partir dos objetivos e das justificativas descritas no capítulo anterior, este capítulo tem como propósito aprofundar os conceitos centrais necessários para a análise do ciclo de vida de dispositivos inteligentes em ambientes urbanos. Para isso, serão explorados os conceitos de ciclo de vida, *Internet of Things (IoT)*, cidades inteligentes e tecnologia *LoRa*, conectando esses conceitos para explorar e atingir os objetivos do trabalho.

2.1 Ciclo de vida e externalidades

A relação de produtos eletrônicos na sociedade atual é de bastante proximidade, trazendo para o mundo globalizado mais tecnologia e conexão. Esse avanço tecnológico trouxe praticidade à vida humana, mas no longo prazo pode tornar-se prejudicial pelos impactos ambientais que o uso exacerbado de tecnologias pode acarretar. Com isso, a inserção de dispositivos inteligentes no âmbito da mobilidade urbana, traz consigo a necessidade de utilização de modelos e técnicas que avaliem e por fim, minimizem o impacto deles no meio ambiente, ocasionando análises e prospecções de melhorias ao serem utilizados.

Assim, no que tange ao meio ambiente, quando se relaciona o conceito de ciclo de vida de um produto, há alguns debates que podem ser iniciados, como é o caso do conceito de externalidade para o debate econômico e ambiental. Na microeconomia, a externalidade é definida como sendo uma ação do consumidor ou de um produtor que afeta outro consumidor ou produtor de maneira positiva ou negativa. Dessa maneira, há o entendimento da existência de externalidades negativas e positivas quando a ação de uma das partes impõe custos ou benefícios à outra parte (RODRIGUES e SANTANA, 2012).

Nesse contexto, o ciclo de vida de um dispositivo tecnológico pode ser medido pelo nível de externalidade que o mesmo gera ao meio ambiente, sejam elas positivas e negativas, havendo a necessidade de identificar o cálculo desses custos. Para uma análise mais detalhada, é importante entender como a análise do ciclo de vida pode ser aplicada de maneira eficaz de acordo com a literatura. Assim, no próximo item será explorado o debate acerca da análise do

ciclo de vida, identificando cada etapa e explorando o que cada uma significa para uma análise detalhada do produto em questão.

2.1.1 Análise do ciclo de vida (ACV)

No mercado, há uma intensa necessidade de produção e escoamento da mesma, incentivando o consumo e a prática da obsolescência programada¹ desses aparelhos eletrônicos, que em muitos casos são utilizados para coletar dados, como é o caso dos dispositivos utilizados na pesquisa. Esse cenário consumista provoca o aumento de resíduos no longo prazo, prejudicando o meio ambiente e causando externalidades negativas para todo o ecossistema (SILVEIRA, 2016).

Assim, essa nova forma de consumo indica o interesse de especialistas para técnicas que analisem e investiguem os melhores caminhos para o não detrimento do meio ambiente e da sociedade como um todo, inserindo em debates acadêmicos e propondo análises pertinentes ao uso e consumo de determinados produtos ou serviços. Nesse contexto, há o estudo de ciclo de vida de produtos, com o objetivo de observar todo o processo desde o seu nascimento (análise de utilização da matéria prima na produção de tal produto) até o fim de sua vida (que pode ser o descarte imediato ou a aplicação de logística reversa/economia circular) (PINTO, 2021).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) baseada na norma ISO 14040:2009, a Análise do Ciclo de Vida (ACV) pode indicar oportunidades de melhoria do desempenho ambiental de produtos em diversos pontos do seu ciclo de vida e identificar indicadores de desempenho ambiental relevantes. A ACV salienta para os aspectos ambientais, assim como seus principais impactos ambientais ao longo de todo processo de vida, desde as matérias-primas, produção, uso, pós-uso e descarte (ABNT, 2009). Essa metodologia é um método quantitativo que busca avaliar os impactos ambientais em detrimento do uso de recursos e emissões de um produto ou serviço no meio ambiente ao longo de toda sua vida: desde a extração de matérias primas até o fim da vida (MENGUAL e SALA, 2022).

A expressão de suas finalidades desencadeia em processos específicos que devem ser pontuados individualmente a fim de haver desenvolvimento e melhora do produto, planejamento estratégico e a inserção de políticas públicas, a criação e aprofundamento de indicadores de sustentabilidade e a gestão de impactos ambientais nos produtos e serviços. Suas finalidades podem ser observadas através do Quadro 1:

¹ Termo utilizado para definir a prática de ‘programar’ aparelhos para terem vida útil menor. (LONDON, 1932).

Quadro 1 - Finalidades de Produtos

Finalidade			
Concepção e Design	Materiais e recursos	Eficiência de recursos	Ciclo de vida longo
Produção	Emissões e resíduos	Práticas sustentáveis	
Uso	Eficiência energética	Manutenção	Impacto na infraestrutura urbana
Fim de vida útil	Reciclabilidade	Descarte seguro	
Aspectos sociais	Acessibilidade	Impacto na comunidade	
Inovação contínua	Atualizações tecnológicas		

Fonte: Elaboração própria baseado em TAVARES (2006), 2024.

As aplicações de uma ACV podem se demonstrar bastantes significativas, mas são totalmente dependentes da interpretação que os seus resultados podem gerar. Isso demonstra que é necessário um trabalho detalhado e minucioso, dado que uma interpretação discrepante dos resultados pode gerar um problema na categorização do impacto daquele produto ou serviço no meio ambiente (TAVARES, 2006). Dessa maneira, a aplicação de uma ACV é de suma importância no que tange o desenvolvimento do próprio país, contribuindo para a aplicação prática dessa análise, aumentando a disponibilidade de dados e consequentemente aumentando a quantidade de estudos pertinentes àquele tema (UNEP, 2020).

Além disso, a capacidade local pode ser desenvolvida na mesma proporção que haja estudos decorrentes de uma ACV, visto que sua aplicação busca reduzir o consumo de recursos e encargos ambientais associados a produtos e serviços (SETAC, 2022).

Logo, as abordagens de ACV podem ser estabelecidas baseadas em conceitos como *cradle-to-cradle* (do berço ao berço), que consiste na ideia sustentável de um processo produtivo com a aplicação de logística reversa e economia circular no processo de produção e consumo, permitindo que ao fim de sua vida útil tal produto se regenere e volte à cadeia produtiva (PINTO, 2021), substituindo a cadeia produtiva linear por uma cadeia circular. Há também o conceito de *cradle-to-grave* (do berço ao túmulo), que consiste na ideia de que o processo de um produto possui início, meio e fim, baseado na economia linear, na qual o descarte do resíduo é a primeira solução pertinente. Nesse sentido, definir qual dos dois conceitos será utilizado na análise consiste em definir os limites do sistema da ACV, ou seja, a sua fronteira que determina os processos que serão incluídos e excluídos da análise (BANDEKAR *et al.*, 2022). Dessa maneira, a ACV é uma maneira de identificar, quantificar e qualificar os impactos de determinado produto no ecossistema (TAVARES, 2006). Associado a esse cenário, há um

intenso crescimento da ACV de produtos eletrônicos, para que seja avaliada sua vida útil e, assim, reaproveitado os resíduos pertinentes a eles (NUNES *et al.*, 2021).

A ACV permite adquirir alguns conhecimentos a respeito do produto que está sendo observado. Mas, para além disso, é necessário entender todo o contexto que determinado produto está inserido. Ou seja, a região do país, a densidade demográfica, as características de clima, entre outros fatores que podem influenciar no resultado final de uma análise do ciclo de vida, podendo alterar o tempo útil do produto para mais ou menos.

Além de fatores ambientais, a ACV de um dispositivo pode ser observada a partir de outra perspectiva: a análise de custo do ciclo de vida, que é um dos fatores mais críticos de um planejamento. O custo do ciclo de vida (CCV) é definido como sendo a soma dos custos ao longo de todo o ciclo de vida daquele produto (ZENG *et al.*, 2019).

Dessa maneira, é necessário que seja estruturado a análise do custo do ciclo de vida, seguindo o primeiro passo para essa estruturação que é dimensionar a bateria de cada dispositivo a fim de garantir que nenhum dispositivo descarregue no meio de um dia que esteja sendo utilizado. A segunda etapa estaria associada a configurar suas restrições, garantindo que os dispositivos possam sinalizar de alguma forma quando não estiverem em sua plena utilização. Esse método é essencial para avaliar e comparar alternativas que são economicamente mais viáveis de acordo com seu ciclo de vida.

Assim, deve haver uma integração nas situações ambientais, sociais e econômicas através de uma abordagem holística, com o intuito de identificar oportunidade de melhoria ao longo prazo em todas as fases, promovendo um desenvolvimento sustentável e responsável no âmbito da mobilidade urbana inteligente.

Para além desses fatores, é possível observar essas questões através da ótica de outra análise, que consiste em avaliar o ciclo de vida através dos seus custos, tornando esses dois métodos complementares um do outro. Além do aspecto ambiental, a análise do ciclo de vida também deve considerar os custos associados ao longo do ciclo de vida dos dispositivos, o que traz o debate de análise do custo do ciclo de vida, que será explorado no próximo item.

2.1.2 Análise do custo do ciclo de vida

A análise do custo do ciclo de vida é outro método que pode ser pertinente ao estudo atual, mesmo que não seja aprofundado em todos os seus aspectos. Através da análise do custo do ciclo de vida (*Life Cycle Cost Analysis – LCCA*) é possível calcular o custo total ou fluxo de

caixa ao longo de todo o ciclo de vida do produto ou serviço em análise. Esse custo leva em consideração custos financeiros, custos externos e ambientais, utilizando também os custos iniciais de aquisição, assim como os custos operacionais, de manutenção e atualização (ARFAN *et al.*, 2023).

A análise do custo do ciclo de vida complementa a ACV ao incorporar uma dimensão econômica. Essa análise avalia os custos totais ao longo do ciclo de vida de um produto ou serviço, incluindo custos de aquisição, operação, manutenção e descarte. A LCCA ajuda a comparar alternativas econômicas e a identificar a opção mais viável financeiramente, considerando também os impactos ambientais.

Além disso, em estudos que consideram a LCCA, pode existir a incerteza de alguns parâmetros para cálculo, o que pode impactar ativamente em mudanças na tecnologia e na sensibilidade dos resultados. Assim, a fim de obter resultados mais contundentes é necessária uma generalização dos dados, buscando uma maior sensibilidade dos resultados obtidos em tal sistema em forma de insumos utilizados e método de avaliação de impacto (ARFAN *et al.*, 2023). As normas ISO 14040-44 e ISO 15686-5 definem o custo do ciclo de vida como sendo o custo total ao longo de todo o ciclo de vida de determinado produto ou serviço, que visa avaliar e comparar diferentes opções.

Para realizar a análise do custo do ciclo de vida é necessário percorrer por algumas etapas específicas envolvidas nessa análise. A primeira etapa seria a definição de escopo, que estaria relacionada a identificar o produto e delimitar o período da análise, abrangendo desde sua fase de concepção até sua disposição final. Essa etapa de definição de escopo se semelha a primeira etapa da ACV, embora sejam com objetivos um pouco distintos.

A etapa seguinte é a identificação de custos, que visa identificar e quantificar todos os custos pertinentes ao longo do ciclo de vida do produto, tais quais: custos iniciais, custos operacionais, custos de manutenção, custos de atualização e custos de disposição final. Após a identificação dos custos é necessário avaliar os mesmos, atribuindo valores monetários a todos os custos que foram identificados. Em seguida faz-se necessário uma análise e comparação de todos os custos e avaliação da viabilidade financeira de cada opção.

O custo financeiro está relacionado às despesas de investimento de capital e despesas operacionais, já o custo ambiental está relacionado ao nível econômico de bem-estar devido a algum determinado impacto, assim como o custo de mitigação referente a alguma intervenção humana (SALA, FARIOLI e ZAMAGNI, 2013).

Os custos operacionais estariam relacionados aos custos fixos e variáveis. Os custos fixos consistem em mão de obra, reparo, manutenção, despesas gerais e seguros; os custos variáveis

incluem matérias-primas, serviços e custos de gerenciamento do produto (ARFAN *et al.*, 2023). De acordo com ARFAN *et al.* (2023) é possível definir a equação de custos operacionais da seguinte maneira:

$$OPEX = C_R + C_U + C_{RAM} + C_{OL} + C_{EB} + C_{LAB} + C_{INT} + C_{POH} - R_{DS}$$

Equação 1 - Fórmula de OPEX

No qual:

C_R é custo de matérias primas;

C_U é o custo de serviços públicos;

C_{RAM} é o custo de reparo e manutenção;

C_{OL} é o custo operacional da mão de obra;

C_{EB} é o custo dos benefícios dos funcionários;

C_{LAB} é o funcionamento do laboratório;

C_{INT} é o custo para seguros e impostos;

C_{POH} é para custos indiretos das fábricas e

R_{SD} são receitas provenientes de subprodutos dos sistemas.

Dessa maneira, a fim de mensurar o custo do ciclo de vida de um produto é necessário medir todas essas variáveis e verificar a avaliação do impacto que esse ciclo de vida pode causar. Esses custos devem ser levados em consideração mediante a perspectiva ampla de desenvolvimento do meio ambiente, pois se relaciona os custos operacionais juntamente com os custos ambientais, que permite nortear a análise para a perda de bem-estar mediante a emissão de poluentes, utilizando aspectos de acesso e de disponibilidade de dados quando combinado com a análise do ciclo de vida. Compreender o ciclo de vida e seus custos é crucial, mas a tecnologia subjacente que permite a coleta e análise de dados em tempo real também desempenha um papel fundamental. Assim, é necessário explorar os conceitos tecnológicos que extrairão atrelados ao estudo em questão.

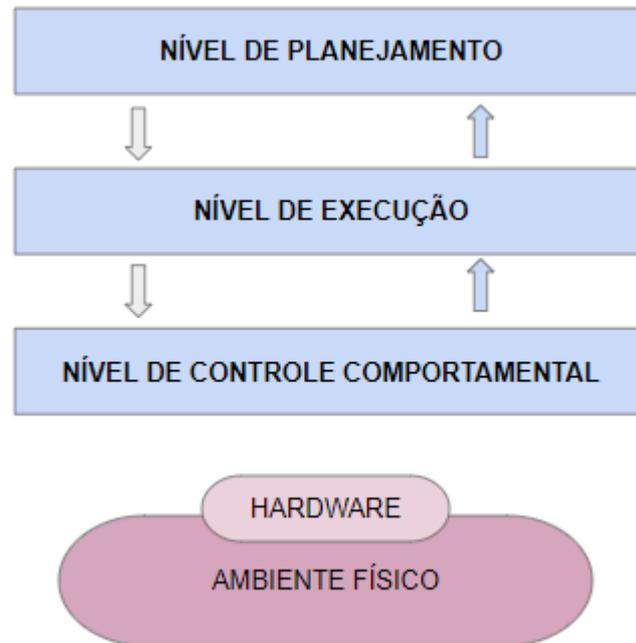
2.2 *Internet of things - IoT*

Como visto anteriormente, com a conceituação da ACV de dispositivos inteligentes é necessário explorar as tecnologias que estarão presentes no estudo, buscando identificar fatores que relacionem o ciclo observado com as tecnologias utilizadas nesses dispositivos. Dessa maneira, *Internet of Thing (IoT)*, ou também conhecido no Brasil como Internet das Coisas, permite um entendimento mais aprofundado sobre o desenvolvimento tecnológico dos últimos anos e como pode impactar na utilização de dispositivos tecnológicos. O conceito de *IoT* é relativamente novo no âmbito tecnológico e possibilita a conexão e compartilhamento de informações sem a necessidade de uma intervenção humana (HEMMATI e RAHMANI, 2022). A *IoT* representa uma revolução no modo como dispositivos coletam, transmitem e processam dados, sem a necessidade de intervenção humana. Essa tecnologia é central para o desenvolvimento de cidades inteligentes, permitindo que sensores conectados transmitam informações cruciais para a melhoria da mobilidade urbana e da infraestrutura da cidade.

Os avanços tecnológicos dos últimos anos permitem automatizar uma gama maior de novas funções sem que seja necessário que uma inteligência humana opere tal equipamento diretamente. A *IoT*, juntamente com a inteligência artificial e a computação em nuvem, podem mudar o futuro de coleta e análises de dados, trazendo vertentes que impulsionam produtos e serviços que melhorem a qualidade de vida humana através de uma melhora na mobilidade urbana. A automação de serviços e produtos é uma nova realidade através da *IoT*, pois essa tecnologia tem se tornado importante e influente no mundo atual. A questão da qualidade e confiabilidade de dados são os grandes desafios para os provedores de tecnologia. Os avanços em *IoT* buscam oferecer melhores soluções para o aprimoramento do gerenciamento dessas tecnologias (TURJMAN e ABUJUBBEH, 2019)

O sistema *IoT* pode ser observado de acordo com a seguinte estrutura:

Figura 1 - Arquitetura do sistema *IoT*



Fonte: LUSSIER e YU, 2022.

Essa estrutura demonstra que um sistema de *IoT* pode agir de maneira autônoma, consistindo em um grupo de sensores que podem interagir com o ambiente na qual ele está operando. Dessa maneira, o ambiente físico está relacionado a uma tendência de conexão de computadores ao mundo real, possibilitando reconhecer, rastrear, coletar dados e transmiti-los a uma finalidade específica. Dentro desse ambiente físico é necessário que haja um sistema de hardware que consiga sensoriar e entender dados menos perceptíveis em tempo real.

A *IoT* e suas abrangências precisam ser exploradas num cenário nacional, a fim de estreitar sua utilização a nível municipal, identificando suas forças e fraquezas na cidade piloto de estudo. Assim, o próximo item busca demonstrar como essa tecnologia está inserida num cenário brasileiro.

2.2.1 Cenário brasileiro

No Brasil, os avanços tecnológicos permitem nortear sobre tecnologias cada vez mais avançadas e que permitem acesso a dados em tempo real, otimizando diversos setores da economia e tornando processos mais práticos. São diversos obstáculos que são enfrentados no país no que tange a inovação tecnológica, mas há uma crescente utilização de tecnologias que

permitem assegurar privacidade, segurança e eficácia no uso de dados em diversas áreas, inclusive na área de mobilidade urbana.

No Brasil, há o Plano Nacional de Internet das Coisas que regula o âmbito da Internet das Coisas através do Decreto nº 9.854 de 2019, buscando programar e desenvolver projetos baseados em *IoT*, através da livre circulação de dados, em uma busca por melhora na qualidade de vida, eficiência na prestação de serviços, promoção de inovação em diversas áreas. Entretanto, deve haver cuidado no tratamento desses dados, pois há também a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD), que assegura o uso e tratamento correto de dados pessoais. A regulação da *IoT* no país garante que há uma preocupação com os avanços tecnológicos que já estão sendo implementados no resto do mundo para melhoria da qualidade de vida dos cidadãos, facilitando e revolucionando a maneira de se relacionar dos indivíduos (SILVA e JESUS, 2020).

Dessa maneira, é possível verificar o avanço dessa tecnologia no país, mas deve haver uma vigilância quase que onipresente, a fim de garantir que essa nova tecnologia esteja dentro os parâmetros da LGPD, garantindo o avanço e evolução de todos os aspectos da internet das coisas. Além disso, a aplicação da *IoT* em novas tecnologias deve seguir o mesmo princípio de cuidado tanto na aplicação, quanto na análise dos dados que serão explorados.

2.2.2 Aplicações de *IoT* nas novas tecnologias

Ao considerar o uso de *IoT* em novas tecnologias de exploração de dados, é possível verificar que o Brasil está transformando diversos setores com aplicações de *IoT* em áreas de inovação, sustentabilidade e tecnologia. No que tange as cidades inteligentes, por exemplo, diversas delas estão adotando soluções baseadas em *IoT* para melhorar a gestão urbana, incluindo a mobilidade urbana, tornando a vida dos indivíduos com maior qualidade e contribuindo para avanços na sustentabilidade ambiental.

No setor de serviços de mobilidade urbana, a *IoT* está sendo aplicada na gestão de tráfego, que permite a implementação de semáforos inteligentes, ajustando-se em tempo real ao fluxo de veículos e também no monitoramento de trânsito. No transporte público há a conectividade entre ônibus, que são monitorados e gerenciados através de sensores que possibilitam informações sobre localização, velocidade, entre outros, além da integração de modos de transporte que através da utilização de dados coletados *IoT*, atualizam informações sobre horários, itinerários e integração entre um modo e outro. No planejamento urbano, os dados

coletados de sensores *IoT* são usados para identificar padrões, a fim de permitir um planejamento mais eficiente das infraestruturas de uma cidade. (MENDONÇA e ANDRADE, 2019). Assim, explorada a funcionalidade de *IoT* para as cidades inteligentes, é importante indicar que para melhorar a eficiência dos ambientes urbanos, o uso de tecnologias de comunicação como a instalação de antenas *LoRa* são soluções para revelar novas maneiras de extrair dados de forma inteligente.

2.3 Tecnologia *Long Range (LoRa)*

Ao associar o uso de *IoT* com novas tecnologias, é importante indicar ao debate a tecnologia que será utilizada na pesquisa de campo, a tecnologia *LoRa*, que é uma tecnologia inovadora que permite a transmissão de informação por vários quilômetros em um nó de origem a um gateway (OSORIO *et al.*, 2022). Essa tecnologia é do tipo *Low Power Wide Area Network (LPWAN)* baseada na modulação *Chirp Spread Spectrum*, que pode alcançar longas distâncias, tendo a capacidade de negociar uma sensibilidade do sinal (TRANTAFYLLOU, ZORBAS e SARIGIANNIDIS, 2022), operando na camada física (SANTOS *et al.*, 2023). Essa técnica de comunicação sem fio é adotada no campo da *IoT*, apresentando diversas vantagens de ampla cobertura e baixo consumo de energia (HONG *et al.*, 2023).

Essa tecnologia além de permitir a comunicação de longa distância, também utiliza um baixo consumo de energia, sendo ideal para redes de *IoT* em cidades inteligentes. A tecnologia *LoRa* é fundamental para a coleta de dados em larga escala, oferecendo alta eficiência energética e abrangência em áreas urbanas.

Essa tecnologia possui quatro parâmetros de configuração, que são eles:

- i. Freqüência Portadora: está associada à freqüência central utilizada para a banda de transmissão que difere de um país para o outro, no caso do Brasil a freqüência varia de 915 a 928 MHz.
- ii. Spreading Factor: está associada ao número de bits de modulação, ou seja, quanto maior o spreading factor mais longa será o chirp, transmitindo mais bits por cada chirp.
- iii. Largura de banda: está associada a faixa de freqüência ocupada pelo sinal modulado, ou seja, quanto maior a largura de banda, maior será a taxa de dados, podendo ser impactada por ruídos extras. As larguras de banda variam de 125 kHz a 500kHz.
- iv. Taxa de Código: está relacionado à recuperação de erros nas mensagens, quanto maior a taxa de código, maior será a proteção contra perdas de dados (SANTOS *et al.*, 2023).

Assim, associado a um desenvolvimento rápido, a implementação de tecnologias do tipo *LoRa* nas grandes cidades do país pode permitir avanços inimagináveis na busca por maior conectividade e captação de dados. Desse modo, quando a ideia da pesquisa é distribuir sensores em uma área muito ampla, a melhor solução para a coleta de dados é a configuração de gateways *LoRa* que sejam suficientes para coletar os dados e encaminhá-los (MARI e GABILLON, 2023).

A utilização de redes *LoRa* permite medições em cidades inteligentes e comunicações de emergência na qual um nó consegue enviar informações para um gateway através de longas distâncias (TURJMAN e ABUJUBBEH, 2019). Uma rede *LoRa* permite a criação de uma ‘constelação’ na qual cada nó pode ir se conectando a um ou mais gateways, na qual estão conectados a um servidor principal. É possível mensurar que cada gateway de *LoRa* permite a comunicação de até dez mil nós em distâncias diferentes entre zonas urbanas e rurais (OSORIO *et al.*, 2022). A conservação de energia é a primeira prioridade em uma rede desse tipo, sendo esperado que um dispositivo final *LoRa* permaneça em modo de suspensão o maior tempo possível (HONG *et al.*, 2023).

A literatura permite identificar duas estratégias pertinentes para o estudo da rede *LoRa*, que seriam protocolos de árvores e os protocolos de malha, na qual as árvores permitem que cada nó consiga encaminhar informações em direção a um gateway específico, enquanto os algoritmos permitem a conexão dos nós sem alguma hierarquia (OSORIO *et al.*, 2020). Há dois tipos diferentes de nós, os sensores e os repetidores, na qual os primeiros coletam dados e encaminham suas próprias informações, enquanto os repetidores enviam todos os pacotes para um gateway utilizando pacotes *LoRaWAN*. Para HAXHIBEQIRI *et al.* (2018), *LoRaWAN* é um protocolo de comunicação sem fio que permite conectar dispositivos à internet em longas distâncias, sendo uma tecnologia de baixa potência e grande área. Em uma abordagem de protocolo de malha proposto para *LoRa* é utilizado o *LoraBlink*, que permite a coordenação de janelas de transmissão e recepção usando sinais enviados do gateway (BOR *et al.*, 2016). A exploração dessa tecnologia é de abrangência mundial, visto que diversos países já utilizam a *LoRa* para a captação e transmissão de dados que podem contribuir para o desenvolvimento urbano. No próximo item é importante destacar o panorama dessa tecnologia a um nível mundial.

2.3.1 Panorama mundial da tecnologia *LoRa*

O avanço da tecnologia *LoRa* em diversos países é perceptível ao longo dos últimos anos. Com o desenvolvimento tecnológico mundial, a aplicação dessas tecnologias permite o desenvolvimento de metodologias e aplicações de estudos no mundo todo. A partir desse desenvolvimento, diversos países aumentaram a utilização dessa tecnologia sendo proeminentes na utilização da tecnologia *LoRa* e se destacando mediante aos demais. A adoção dessa tecnologia demonstra a busca de diversos países por uma solução eficiente para conectar dispositivos de baixa potência em áreas geográficas largas.

Os Estados Unidos possuem uma forte presença no campo da *IoT* e *LoRa*, sendo amplamente utilizados em diversas aplicações, desde cidades inteligentes à mobilidade assertiva, desenvolvendo diversas empresas que têm investido na infraestrutura da tecnologia e em soluções com o intuito de atender as demandas do mercado de tecnologia. A China é um dos principais mercados para *IoT*, sendo a tecnologia *LoRa* adotada em diversas cidades do país com o intuito de monitorar o ambiente urbano, controle de tráfego, entre outras utilizações. O investimento de empresas de tecnologia é amplamente expansivo e a infraestrutura está sendo desenvolvida de maneira robusta. Além dos EUA e da China, países da Europa possuem um grande impacto na expansão dessa tecnologia, visto que a França, Alemanha, Holanda e Espanha possuem redes *LoraWAN*, identificando ativamente *LoRa* no desenvolvimento de cidades inteligentes e mobilidade urbana, promovendo a captação de dados em tempo real.

Para além desses países, a Índia tem garantido um aumento significativo na adoção da tecnologia em diversas áreas inteligentes do ambiente urbano. O Estado criou incentivos para novas iniciativas a fim de impulsionar o uso da tecnologia no país, contribuindo com seu desenvolvimento. A Austrália também tem se desenvolvido mediante a uso da tecnologia, havendo uma implementação em massa.

Dessa maneira, é possível verificar como o avanço da tecnologia *LoRa* têm influenciado nos grandes investimentos do setor privado, permitindo que vários fornecedores tentem garantir espaço nos mercados globais, o que possibilita cada vez mais o avanço e a entrada de novos países nesse mercado (PETÄJÄRVI *et al.*, 2017). Através do avanço global da tecnologia, o cenário brasileiro se torna muito favorável para aplicação desses novos tipos de tecnologia.

2.3.2 Panorama nacional da tecnologia *LoRa*

A partir do contexto mundial é possível identificar o panorama nacional da tecnologia e identificar as forças e fraquezas, incluindo quais são as principais cidades que estão implementando essas inovações. No Brasil, a tecnologia *LoRa* tem sido adotada em diversos setores, expandindo diversas áreas e impulsionando a inovação em áreas como a mobilidade urbana, tratamento do solo, temperatura do ar, desenvolvimento de cidades inteligentes, entre outras áreas.

No âmbito de cidades, municípios de grande expansão estão adotando o uso da tecnologia *LoRa* e explorando as redes *LoRaWAN* com o intuito de suportar aplicações de *IoT*. A cidade de São Paulo é um exemplo de município que está implementando a tecnologia *LoRa* em diversos projetos de cidades inteligentes, incluindo monitoramento de tráfego, iluminação pública e gestão de resíduos. Além de São Paulo, Curitiba está investindo em soluções de *IoT* que são baseadas na tecnologia *LoRa* com o intuito de melhorar a eficiência dos serviços urbanos, principalmente no que tange a mobilidade urbana. Porto Alegre e Campinas também são exemplos de cidades que estão investindo em inovações implementando tecnologias baseadas em rede *LoRaWAN*.

Além de todas essas cidades citadas, a cidade do Rio de Janeiro também tem utilizado a tecnologia *LoRa* em áreas de desenvolvimento urbano e mobilidade, buscando uma melhora na qualidade de vida dos indivíduos e promovendo o desenvolvimento para uma cidade mais inteligentes. É possível identificar o uso da tecnologia *LoRa* em monitoramento de tráfego, no qual foram implantadas sistemas para a coleta em tempo real de dados sobre fluxo de veículos em pontos estratégicos da cidade (ZYRIANOFF *et al.*, 2019). O uso desses dados pode permitir a otimização do planejamento urbano, identificação de congestionamentos e uma melhora na mobilidade urbana. A cidade também adotou melhoria no sistema de iluminação pública, permitindo o controle e monitoramento das luminárias públicas.

2.3.3 Aplicações dessas tecnologias em dispositivos inteligentes

A partir do contexto de panorama do uso dessas tecnologias, é possível identificar a tecnologia *LoRa* como um modelo de tecnologia de comunicação sem fio que são projetadas especificamente em aplicações de *IoT*, operando em frequência que permite que os sinais projetados por ela, percorram longas distâncias e consumam pouca energia. No caso de dispositivos inteligentes, como sensores, a tecnologia *LoRa* é usada para transmitir dados para

gateways *LoRaWAN*. Pode-se considerar a avaliação da tecnologia *LoRa* observando o desempenho do seu alcance, taxa de dados, duração da bateria, podendo variar o desempenho real de acordo com a topologia de rede, determinadas interferências e algumas implementações específicas da rede *LoRa* (ALIPIO e BURES, 2023)

Essa tecnologia possui uma tipologia que pode ser implantada em provedores de redes públicas ou empresas privadas, determinando a infraestrutura que deverá ser utilizada. Desse modo, existem algumas características do uso da tecnologia *LoRa* pelo mundo que são utilizadas para diversos fins, incluindo a coleta e análise de dados. No quadro abaixo, é possível observar as principais aplicações da tecnologia *LoRa*, de acordo com ALIPIO e BURES (2023).

Quadro 2 - Características do uso da tecnologia *LoRa*

Aplicações	Usabilidade
Eficiência da bateria/energia	Utilizada para medir a vida útil da bateria, como métrica para avaliar a eficiência da rede
Indicador de intensidade de sinal recebido	Utilizada para medir a intensidade de sinal recebido por um dispositivo
Latência	Utilizada para medir o tempo que um pacote percorre de um dispositivo até seu gateway
Precisão	Utilizada para medir a precisão da posição geográfica de um dispositivo final
Relação sinal – ruído	Utilizada para medir a força do sinal recebido comparado com o nível de ruído
Taxa de dados e taxa de transferência	Utilizada para medir a velocidade que as informações são transmitidas e a quantidade real de dados que é transmitida em um determinado momento
Taxa de entrega de pacotes	Utilizada para medir a probabilidade de pacotes que são recebidos com sucesso no gateway
Taxa de erros de pacotes	Utilizada para medir a razão entre número de pacotes recebidos com erros e o número total de pacotes transmitidos
Taxa de erro de símbolo	Utilizada para medir a probabilidade de um símbolo ser decodificado incorretamente
Tempo de ar	Utilizada para medir o tempo que uma transmissão consome quando enviada por ondas aéreas

Fonte: ALIPIO e BURES (2023).

É possível observar que existem inúmeras aplicações da tecnologia *LoRa* quando associadas a dispositivos inteligentes, que possuem como objetivo a captação de dados e análise para tornar mais eficiente determinado projeto ou estudo. Há alguns trabalhos que permeiam pela aplicabilidade do uso dessa tecnologia, nos quais é possível avaliar dispositivos, desempenho, simular testes, avaliar a cobertura da rede, analisar profundidade máxima em avaliações subaquáticas, investigar robustez da tecnologia contra ataques de esgotamento de energia, entre outras empregabilidades (ALIPIO e BURES, 2023). Assim, a aplicação dessas tecnologias em

dispositivos inteligentes é o próximo passo para entender como elas podem ser implementadas em cidades que buscam se tornar mais inteligentes e conectadas.

Assim, quando há a associação da tecnologia *LoRa* com a *IoT*, permitindo a identificação de metodologias de testes que possuem o objetivo de identificar quais melhores classificações no seu uso e na sua finalidade, podendo ser utilizada na coleta e análise de dados, há também uma otimização da empregabilidade da tecnologia, promovendo maior desenvolvimento das cidades. Essa combinação de *IoT* e *LoRa* permite a criação de redes eficientes para a coleta e análise de dados em cidades inteligentes. Essas tecnologias são usadas em dispositivos inteligentes que captam e transmitem informações em tempo real, contribuindo para a gestão mais eficiente da infraestrutura urbana e da mobilidade. Dentre alguns parâmetros, na coleta de dados o presente estudo conseguiu identificar os seguintes:

- Alcance: esse parâmetro busca identificar qual é a distância máxima que um dispositivo inteligente consegue comunicar algum tipo de informação através da tecnologia *LoRa*. O Alcance serve para verificar a intensidade e qualidade do sinal em determinadas áreas de cobertura, variando pelas interferências e externalidades do local;
- Atraso: esse parâmetro identifica os dados que estão sendo coletados, medindo se há atraso ou não no acesso aos mesmos quando conectados a uma rede *LoRa*;
- Capacidade: esse parâmetro busca avaliar o desempenho dessa rede sob diversas condições (ou externalidades), sendo possível através desse parâmetro designar suas possíveis limitações;
- Confiabilidade: esse parâmetro está relacionado a como aquela determinada rede irá lidar com perdas de dados e determinadas interferências externas, podendo avaliar qual será o comportamento da rede em situações de altas perdas de dados e conexões;
- Eficiência Energética: parâmetro que está estritamente relacionado à avaliação do consumo de energia dos dispositivos inteligentes conectados via *LoRa*. Esse parâmetro possui a funcionalidade de medir o uso de energia em modos operacionais distintos, ou seja, quando os dispositivos estão ativos, em processo de transmissão de dados, em processo de recepção de dados ou inativos.
- Escalabilidade: esse parâmetro é utilizado quando há um número grande de dispositivos que estão sendo avaliados, buscando identificar como ocorre o desempenho dos mesmos;
- Funcionalidade: parâmetro que está associado ao parâmetro de eficiência, ele permite mensurar as funcionalidades de tais dispositivos, verificando se os dispositivos estão

sendo transmitidos de maneira correta e se sua vida útil é correspondente ao volume de dados que transmite;

- Geolocalização: parâmetro que é exatamente a precisão e confiança da geolocalização inserida naquele dispositivo, permitindo que os mesmos sejam rastreáveis; e
- Segurança: parâmetro que está relacionado à segurança e autenticação dos dados.

Assim sendo, é possível observar que em determinados estudos, vários desses parâmetros de avaliação podem surgir, assim como em outros possa aparecer apenas um ou dois. Entretanto, é necessário que o estudo conceda a elegibilidade dos dados, a fim de garantir que a coleta e análise gerada do processo de captura e transmissão de dados possam ser seguras e evitar falhas nesses sistemas. Através desses parâmetros é possível avaliar o desempenho do dispositivo em um local específico, ou seja, em uma cidade ou em determinados raios de km. Além disso, é possível observar o desempenho dos dispositivos frente a diferentes condições climáticas e sob curta ou longa distância, observando quais podem ser os mecanismos de tolerância a falhas desses dispositivos.

JOSBERT, WEI e WANG (2024) indicam que as falhas identificadas em tais dispositivos podem ser não planejadas, aquelas que não são intencionais, que estariam relacionadas a desastres naturais, falhas de dispositivos de rede, sobrecarga, bugs de software, entre outros; ou planejadas, que seriam aquelas causadas pelo processo de solução de problemas de rede. Assim, é necessário que seja identificado o princípio da falha que tal dispositivo está apresentando, a fim de que seja proposto um mecanismo que tolere tais falhas. FRANCO *et al.* (2023) determinam que o processo de recuperação dessas falhas é mais complexo, pois o tempo irá depender da propagação das informações sobre a falha identificada ao longo da rede, ou seja, da arquitetura da rede. A identificação de falhas, permite sondar mecanismos de recuperação que atuam no processo a fim de restaurar a conectividade dos dispositivos de sistemas embarcados (FRANCO *et al.*, 2023).

A identificação de determinadas falhas em tempos cada vez menores, indica uma funcionalidade das cidades no quesito de aplicabilidade de tecnologias. Uma vez que uma cidade consegue manter mecanismos que diminuem as falhas dos dispositivos que são utilizados para coleta de dados, há grandes chances de crescimento exponencial em termos tecnológicos para aquele município.

2.4 *Smart cities*

Ao explorar o debate da tecnologia *LoRa* aplicada em *IoT* é necessário identificar em quais locais essas tecnologias podem ser implementadas, garantindo a empregabilidade dos parâmetros mencionados acima. Assim, o conceito de *smart cities*, as cidades inteligentes, está crescendo exponencialmente no Brasil e no mundo (SPICER, GOODMAN e WOLFE, 2023). O uso de tecnologias para a resolução de problemas urbanos, associado com aplicações de *IoT*, permite alimentar cada vez mais esse mercado. O debate futurista do conceito de cidades inteligentes dificulta uma definição precisa, pois é embarcada de questões diversas, ligadas a temas políticos, ambientais, tecnológicos e econômicos (REIA e CRUZ, 2023).

Esse termo está crescendo rapidamente, impulsionado pela necessidade de resolver problemas urbanos complexos por meio da tecnologia. As cidades inteligentes utilizam *IoT* e outras tecnologias avançadas para melhorar a qualidade de vida dos cidadãos, promovendo a sustentabilidade e a eficiência.

Esse termo é assumido por SPICER, GOODMAN e WOLFE (2023) de diferentes maneiras, mas o consenso é que a tecnologia está no centro do processo, alimentando o debate sobre sustentabilidade ambiental, desenvolvimento econômico e a melhora na vida da população. Esse discurso do conceito de uma cidade inteligente permeia pela coleta e uso de dados em grande volume, sofisticando a ideia de infraestrutura para o espaço e para as pessoas, desenvolvendo serviços e aplicações dos mesmos (REIA e CRUZ, 2021).

A predominância da população urbana traz um marco do processo de urbanização e rápidos avanços tecnológicos (HUI *et al.*, 2023). Esse conceito permite introduzir uma economia de valor, na qual as cidades buscam por cumprir critérios que melhorem sua imagem e deem a ela esse título, principalmente no que tange a promoção da sustentabilidade. Essa predominância urbana além de proporcionar os rápidos avanços tecnológicos, trouxe consigo diversos problemas ambientais que estão correlacionados à vida urbana e o exacerbado consumo nela existente. A urbanização ocasionou o aumento da poluição atmosférica, o aumento do consumo de energia e alterações climáticas (HUI *et al.*, 2023).

Arelado a essas consequências negativas do processo de urbanização, o conceito de cidades inteligentes promete solucionar esses desafios da nova sociedade, buscando soluções no planejamento urbano, incorporando tecnologias sofisticadas para melhor informação e comunicação entre as cidades e os indivíduos. Entretanto, é necessário cuidado na definição e na aplicação de uma cidade inteligente, pois mesmo que teoricamente a ideia permita a solução de diversos problemas estruturais do desenvolvimento urbano, é essencial que as iniciativas não gerem ainda mais problemas do que os já existentes (REIA e CRUZ, 2021). LAI *et al.* (2020) irão afirmar que a capacidade de conectar as informações em tempo real em relação às

preferências dos usuários e seus padrões comportamentais é um dos principais constituintes de uma cidade inteligente.

Desse modo, para o desenvolvimento de uma região urbanizada para cidade inteligente é necessário o apoio de órgãos públicos, governos, cidadãos e empresas privadas, sendo as características de uma cidade inteligente: melhorias nos padrões de vida dos indivíduos para melhor tomada de decisão, sistemas integrados para a troca de informações e maximização da sustentabilidade. Assim, uma cidade inteligente é impulsionada em seis domínios principais, que são eles: energia e meio ambiente; economia; segurança e proteção; saúde e vida; mobilidade e educação e governo (LAI *et al.*, 2020). Dessa maneira, a definição de uma cidade inteligente não fica congelada, podendo partir para uma abordagem de um processo contínuo de transformação dos espaços urbanos.

Arelado a isso, a International Organization for Standardization (ISO) estabelece que a padronização internacional seja o melhor parâmetro para avaliar desempenhos funcionais, desenvolvendo padrões que especificam e estabelecem indicadores de cidades inteligentes, incluindo vários dos domínios já mencionados anteriormente, que visa à utilização de dados urbanos para tentar padronizar a ideia de uma cidade inteligente, refinando os dados entre as cidades (LAI *et al.*, 2020) e utilizando novas tecnologias e infraestruturas. Cidades no mundo inteiro estão se transformando e se tornando cada vez mais conectadas e, conseqüentemente, inteligentes. Desse modo, é necessário observar em um horizonte mais restrito, como é o caso nacional, o Brasil, e observar quais são as potencialidades econômicas para o avanço de cidades se tornarem conectadas e ambientalmente inteligentes. No contexto brasileiro, algumas cidades estão se destacando como pioneiras na implementação de soluções de cidades inteligentes.

2.4.1 *Smart cities* no Brasil

No cenário brasileiro, há alguns casos de cidades em grande desenvolvimento de tecnologias, que são fontes de inovações tanto em nível de planejamento, quanto em fontes de criatividade e colaboração de ambientes mais sustentáveis (MACKE *et al.*, 2018). A consolidação do Brasil como uma liderança global em temas relacionados à tecnologia e política, proporciona o desenvolvimento de diversas capitais brasileiras.

O Brasil tem visto um aumento significativo na implementação de tecnologias de cidades inteligentes.

A implementação de redes, dados e infraestruturas mais inteligentes já é realidade em diversos municípios brasileiros, que se desenvolvem diariamente, convergindo em narrativas de análise e distribuição de dados em tempo real (REIA e CRUZ, 2021). Dessa maneira, para que uma cidade seja verdadeiramente inteligente é necessário que haja uma combinação de capital humano e infraestrutura de tecnologia e comunicação, gerando desenvolvimento sustentável e qualidade de vida (CAPDEVILA e ZARLENGA, 2015), permitindo que o contexto político influencie positivamente na agenda de cidades inteligentes.

Por outro lado, nesse debate sobre as *smart cities*, apesar de planos diretores relacionarem setor privado e setor público, promovendo uma forte associação e conectividade no país, como é o caso de instalação de câmeras em transporte público para reconhecimento facial, ainda há casos de baixa conectividade, expondo um problema social e potencializando as desigualdades existentes (REIA e CRUZ, 2023).

Na agenda brasileira, as cidades inteligentes estão atreladas aos interesses de empresas, governo e sociedade, na qual a implementação de sistemas integrados estão centrados nesse debate (REIA e CRUZ, 2023). Esse debate deixou de ser utópico e tem gerado soluções estruturais para contextos sociais, econômicos e ambientais através de aparatos tecnológicos.

No cenário brasileiro, diversas cidades estão em desenvolvimento urbano e tecnológico e há duas principais cidades consideradas internacionalmente inteligentes: Curitiba e Rio de Janeiro (MACKE *et al.*, 2018), que atuam com quatro principais atores: a academia, setor público e privado e a sociedade (REIA e CRUZ, 2023). O papel desses atores é a contribuição para que haja desenvolvimento tecnológico nas principais cidades do país.

A cidade de Curitiba ao longo dos últimos anos vem contribuindo para um maior e melhor desenvolvimento econômico, baseados em inclusão social, maior segurança, alcance maior da sustentabilidade, investimento em infraestrutura e transporte e também em maiores inovações em tecnologias de informação e comunicação. Desde meados da última década, esse município conta com iniciativas voltadas para uma ambientação mais inteligente, implementando projetos que tornam essa cidade cada vez mais conectada, com inovações urbanas, principalmente no que tange a área de transporte (MERCIER *et al.*, 2016). A cidade de Curitiba possui um sistema de transporte muito bem estruturado e desenvolvido, constatando-se que foi a primeira cidade do mundo a conectar ônibus públicos em redes de banda larga móvel 3G (MACKE *et al.*, 2018). A cidade do Rio de Janeiro, por sua vez, possui o projeto de se tornar uma cidade inteligente desde 2010, na qual a implementação de órgãos e agências de monitoramento urbano de 24 horas por dia, demonstra a busca por inclusão digital através da utilização de dados (WEISS, BERNARDES e CONSONI, 2017). Essa cidade é considerada referência no país em questões

culturais, econômicas e turísticas, na qual seu desenvolvimento urbano e ampliação do acesso à educação e trabalho condiz com seu avanço tecnológico e com a aplicação de tecnologias inteligentes para melhoria da mobilidade, saúde, segurança e pesquisa, pois sedia diversas referências de instituições de ensino, sendo referência em pesquisa no Brasil (INVESTRIO, 2021).

A visão estratégica do Rio de Janeiro como referência econômica e política traz para a cidade os olhares de estudiosos, que investem cada vez mais em avanços tecnológicos e estruturais na cidade. No estado do Rio de Janeiro, há inúmeras cidades com potencial para avanços de tecnologias de diversas áreas, que permeiam para o desenvolvimento urbano e melhoria do bem-estar das pessoas. Há cidades nos grandes centros da região metropolitana, assim como há municípios em regiões mais afastadas, mas que possuem o mesmo potencial econômico e tecnológico de transformação do uso de diversas novas tecnologias, como é o caso da cidade piloto do estudo.

É necessário que a agenda de cidades inteligentes não funcione apenas como um ‘remendo’ do problema urbano relacionado à tecnologia existente, mas que de fato promova debates e melhoras palpáveis para toda a área urbana, proporcionando uma melhora inclusiva (REIA CRUZ, 2023). Dentro do contexto nacional, o município de Campos dos Goytacazes também está emergindo como um exemplo de aplicação dessas tecnologias e, como cidade piloto do estudo em questão, será mais explorado no próximo item.

2.4.2 O caso da cidade de Campos dos Goytacazes

A escolha do município de Campos dos Goytacazes foi determinada pelo Projeto da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) que financia toda a pesquisa da REDE Mob em parceria com a Phygitall² que é uma empresa especializada em soluções em Internet das Coisas, que auxiliou os pesquisadores do Laboratório Vivo Mob4.0 na construção e na distribuição dos dados que foram captados no município.

² A Phygitall oferece soluções de implantação e infraestrutura, oferecendo tecnologia para desenvolver Internet das Coisas em Indústrias. Foi uma das startups finalistas do Demoday Startup Rio em 2016 e apresentou seu conceito de rede global, aberta e colaborativa que tem o objetivo de fomentar o desenvolvimento de novas aplicações, ecossistemas e modelos de negócio inovadores com base em Internet das Coisas. A Phygitall é composta por uma equipe multidisciplinar e possui ampla experiência em instrumentação industrial, além de possuir profissionais experientes na área de desenvolvimento de negócios, planejamento estratégico, publicidade, marketing e designer gráfico com conhecimento em negócios digitais, empreendedorismos e startups (PHYGITALL, 2025).

O município de Campos dos Goytacazes está localizado na região Norte Fluminense do estado do Rio de Janeiro e teve seu processo de urbanização muito latente nas últimas décadas, diminuindo drasticamente o número populacional de indivíduos que residem na área rural (PRATA, 2020). No seu processo de urbanização houve uma preocupação genuína na representatividade da história da cidade, a fim de manter os aspectos da arquitetura existente, apesar de haver uma pressão sobre movimentos tecnológicos e de inovação na cidade.

Nos últimos anos, a participação da população da cidade aumentou consideravelmente, identificando um ritmo de crescimento médio anual acima da média estadual entre os anos de 2000 e 2010 (SOUZA e TERRA, 2017). Além disso, desde a última década observou-se uma urbanização muito crescente, associada também a um processo de metropolização que está em curso há alguns anos e coloca o município de Campos dos Goytacazes como o centralizador da metropolização dos municípios dessa região do estado.

O avanço tecnológico na cidade traz consigo diversas inovações para a mobilidade urbana no município, avançando para que o mesmo se torne mais inteligente e participativo na vida dos cidadãos. O município está em avanço e participa de eventos sobre mobilidade e cidades inteligentes, como ocorreu em Agosto de 2023, no qual foi convidado e se destacou dentre os 20 municípios convidados. O projeto de semáforos inteligentes se tornou referência para outros municípios, como é o caso de Cachoeiro de Itapemirim (PREFEITURA DE CAMPOS, 2023). Esse projeto funciona há alguns meses na cidade de Campos e possui a capacidade de interligar os semáforos, controlando o tráfego de veículos em tempo real, possibilitando que haja diminuição de engarrafamentos, por exemplo.

Além disso, o município está engajado através do Plano de Metas, que visa auxiliar as prefeituras a definir prioridades e ações estratégicas ao longo dos governos, buscando desenvolver diversas diretrizes para o desenvolvimento das cidades, tais quais: planos de mobilidade urbana, habitação, saúde, educação, entre outros (PROGRAMA CIDADES SUSTENTÁVEIS, 2024). O município que dispõe de um Plano de Metas bem estruturado, pode aumentar a eficiência administrativa, ampliando a inserção de representantes da sociedade como atores dos processos de valorização de políticas públicas. Assim, o município de Campos dos Goytacazes é uma das 75 cidades brasileiras em já possuem leis municipais que tornam obrigatório o Plano de Metas.

Dessa maneira, direcionando para a aplicação do estudo realizado no município que foi escolhido como piloto para a exploração da pesquisa. A cidade contou com a instalação de uma rede *LoRa*, com o objetivo de adequar a cobertura que seria eficiente. Nesse aspecto, é necessário ponderar que por ser uma cidade grande, mas pequena em área urbana, no qual os

ônibus não tinham acesso em termos de trajeto obrigatório, é possível que em determinados pontos da cidade, a tecnologia não fosse eficiente em termos de cobertura para coleta de dados eficiente.

3. Metodologia

Neste capítulo será realizada a descrição do processo metodológico que será utilizado neste trabalho, buscando a exploração do passo a passo que serão realizados na análise que será produzida para fins de demonstração do ciclo de vida dos dispositivos através das informações que serão identificadas na pesquisa de campo do município de Campos de Goytacazes.

3.1 Descrição da metodologia

No atual estudo o limite do sistema será definido de acordo com o conceito *cradle-to-grave*, no qual toda a jornada de vida desse produto será baseada em uma economia linear, avaliando os impactos de todo o ciclo de vida do produto em uma jornada “do berço ao túmulo”. Assim, considerando essa abordagem que consiste na etapa do produto, etapa de uso e fim de vida, é possível realizar estudos relacionados às etapas de utilidades do produto (FELICIONI *et al.*, 2023).

A ACV deve ser realizada de maneira sistêmica, considerando todos os processos que são capazes de impactar de forma potencial o meio ambiente. É necessário que todas as etapas sejam realizadas à rigor, dando veracidade e potencializando os resultados esperados. A partir disso, a norma ISO 14040:2006 estabelece essa metodologia como tendo uma estrutura de quatro fases: a primeira fase é a definição de objetivo e escopo; a segunda fase é a análise de inventário; a terceira fase é a avaliação de impactos e a quarta fase é a interpretação de resultados. Todas essas etapas precisam ser detalhadas, condicionando o motivo para a realização do estudo com as aplicações que serão pretendidas realizar (NUNES *et al.*, 2021).

Na literatura foi observado, que a ACV é indicada como sendo uma ferramenta extremamente útil, pois ela consegue tornar perceptíveis os processos atrelados a cada etapa da vida útil de um objeto. Através dela é possível identificar os impactos que tais dispositivos podem provocar no meio ambiente e na economia (HUANG *et al.*, 2021). Quando não são mais úteis, esses dispositivos são conhecidos como resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) e podem

provocar inúmeros problemas ambientais, tais como: poluição do ar, acúmulo de resíduos químicos na natureza, doenças em humanos, entre outros (CHEN e ZHANG, 2010). A análise do ciclo de vida busca avaliar os impactos ambientais que um produto pode causar ao meio ambiente, desde o momento que é extraído de matérias-primas até o descarte final dos seus componentes (NUNES *et al.*, 2021). É uma ferramenta que incentiva uma produção mais limpa, fortalecendo a demanda por instrumentos mais sustentáveis. No campo da academia, essa metodologia permite que pesquisadores realizem a análise líquida do impacto ambiental durante toda vida útil de um aparelho (SWARNA, HOSSAIN e BERNIER, 2022).

A primeira etapa da ACV consiste em definir o objetivo e o escopo, definindo a unidade funcional do produto, descrevendo o produto em detalhes e delimitando a pesquisa, escolhendo os parâmetros ambientais que serão analisados (LÓPEZ *et al.*, 2020), declarando a aplicação pretendida, assim como as razões para a execução do estudo, o público alvo e se há a intenção de utilizar os resultados da análise em alguma comparação. Já o escopo busca descrever o sistema do produto que está a ser estudada, assim como as funções desse sistema, a unidade funcional, a fronteira do sistema, os procedimentos de alocação, os requisitos iniciais em relação aos dados, o tipo de análise que será aplicado, assim como o formato do relatório para a declaração do estudo. Nessa etapa é abordado o conceito de criticidade, que identificará o local de relevância de tal estudo, seja ele em considerações políticas, econômicas, sociais e ambientais.

A etapa de análise de inventário consiste numa identificação da necessidade de dados para realizar a análise do processo, quantificando os fluxos de entrada e saída de um processo, ou seja, quantas vezes aquele ciclo acontece (ARAÚJO, 2013). Nessa etapa é realizado um inventário com todos esses dados de entrada e saída, envolvendo a coleta de dados que são necessários para o alcance dos objetivos do estudo, quantificando o uso de recursos primários e secundários, assim como as emissões geradas (TAVARES, 2006). O inventário do ciclo de vida deve considerar todos os fluxos relevantes relacionados com processos unitários dentro dos limites do sistema (MANCINI, 2015). Na medida em que novos dados são inseridos na análise, novos requisitos e limitações podem ser identificados. Isso pode desencadear em mudanças nos procedimentos de coleta de dados. Nessa etapa é realizada a coleta a quantificação das variáveis que estão relacionadas no processo de ciclo de tal produto ou processo.

O processo para a realização dessa etapa considera os seguintes aspectos: coleta de dados, definição dos limites do sistema utilizado e determinação dos cálculos. Após os cálculos faz-se necessário uma base para comparação entre sistemas. Dentro dessa etapa, é necessário atenção

na coleta de dados que consiste nessa entrada e saída de dados, assim como na percepção de resíduos e outros aspectos ambientais. Assim como também no cálculo com esses dados, que visa à validação deles, a correlação dos dados aos fluxos que serão pertinentes no estudo, assim como o cálculo dos fluxos energéticos e alocação de fluxos e liberações. Desse modo, a qualidade dos dados nessa etapa está relacionada com a integralidade, que pode ser verificada em categorias de impactos.

Na etapa de avaliação de impacto do ciclo de vida são avaliados os aspectos da etapa anterior, sendo analisados os impactos relacionados às emissões e uso de matérias-primas no processo e a significância dos potenciais impactos ambientais, utilizando o impacto de ciclo de vida (ICV), que associa os dados de inventário com as categorias de impacto específicas. Essa etapa converte os resultados que são colhidos no inventário para um determinado tipo de impacto, podendo incluir uma análise crítica do objeto e escopo, determinando se os objetivos iniciais foram atingidos, buscando avaliar se os mesmos podem ou não serem alcançados. Essa etapa consiste em identificar as preocupações ambientais mais pertinentes que o estudo julga importante, ou seja, seleciona e define as categorias de impacto. Em seguida, é realizada uma classificação dos dados obtidos no inventário, atribuindo pesos para a computação dos resultados, na qual eles são agrupados nas categorias definidas anteriormente, envolvendo valores culturais e políticos (TAVARES, 2006). Por fim, é necessário caracterizar esses aspectos ambientais, podendo comparar o potencial dos impactos do produto em análise.

Por fim, na quarta etapa, a interpretação dos resultados do ciclo de vida, os resultados obtidos são correlacionados com os objetivos propostos na etapa inicial da análise, gerando sugestões de como reduzir o impacto ambiental gerado por aquele produto, remetendo a todas as demais fases anteriores. A interpretação busca que haja uma reflexão dos resultados obtidos até o presente momento, e também podem concluir e recomendar decisões futuras, consistentes com os objetivos definidos anteriormente. Essa fase pode também gerar uma análise crítica em relação ao escopo da ACV e contribuir para a tomada de decisões. Essa etapa considera a identificação dos pontos ambientais mais significativos relacionando os dados obtidos no inventário. Em seguida a avaliação passa por um processo de validação da integridade dessa análise, por fim, a sensibilidade e consistência da ACV são consideradas, juntamente com as conclusões que foram desenvolvidas em relação às questões ambientais pertinentes.

4. Estudo de caso em Campos dos Goytacazes

Neste trabalho, será realizado um estudo de caso relacionado ao projeto que ocorre atualmente na cidade de Campos dos Goytacazes, noroeste do estado do Rio de Janeiro. Esse estudo realizado na cidade piloto está sendo desenvolvido pelo Mob 4.0, que é um projeto que possui financiamento da FAPERJ (Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro), buscando investir em estudos de melhoria para mobilidade urbana e desenvolvimentos das cidades. O projeto que está sendo desenvolvido neste município utiliza a cidade como piloto para a instalação de uma rede *LoRa* que pudesse abranger todo o município. Esse estudo possui o intuito de melhorar o planejamento e reparo no pavimento de ruas das cidades, e contará com um sistema de detecção e georreferenciamento de buracos lombadas e travessias elevadas no pavimento. O processo de instalação dos dispositivos foi realizado em vans e ônibus da cidade de Campos dos Goytacazes.

A instalação de redes *LoRa* busca adequar a cidade ao estudo para que toda a região possua cobertura de tecnologia *LoRa*, mas é importante salientar a grande dimensão da cidade em território, restringindo o alcance da tecnologia. Além disso, apesar da cidade ter grandes dimensões continentais, a área urbana é mais reduzida, e, diversos polos da cidade são espalhados, dificultando o alcance da tecnologia utilizada no estudo.

Os equipamentos instalados foram rastreadores Phygital, modelo Phyll Tracker, no qual são combinados diversos sensores presentes, assim como sensores externos. O objetivo da instalação desses dispositivos nos veículos é a captação de dados de buracos, lombadas e travessias elevadas nos pavimentos pelos quais percorrem. A infraestrutura de rede de internet das coisas baseada na tecnologia *LoRa* e no protocolo *LoRaWAN* permitem a criação de aplicações voltadas à conexão de veículos. O sensor de movimento utilizado é o Inertial Motion Unit (IMU) que consegue capturar os dados de acelerômetro e giroscópio para em seguida capturar o movimento dos dispositivos. Os veículos foram rastreados em tempo real, permitindo a captação de dados. O projeto contou com uma metodologia de coleta, rotulagem dos dados, classificação dos algoritmos e testes em campo. Será esmiuçada com detalhes essa fase do projeto piloto para conceder embasamento para os próximos itens.

4.1 Descrição da análise realizada dos dispositivos defeituosos

Para a escolha da metodologia, é necessário que quatro fases estejam em acordo, buscando aperfeiçoar o processo de análise do objeto em questão. O primeiro passo é buscar identificar qual é o objetivo daquele produto em questão, logo, é necessário compreender os aspectos que serão avaliados e qual objetivo deve ser alcançado através da análise. Nesse sentido, no presente trabalho é possível estabelecer que o objetivo seja verificar os dispositivos que foram instalados em vans e ônibus na cidade de Campos de Goytacazes, que apresentaram algum defeito e, baseado na análise do ciclo de vida, analisar as possíveis explicações para o não funcionamento de determinados dispositivos inteligentes, observando a sua trajetória de uso desde o momento que são instalados até o momento que são retirados dos veículos.

Em seguida é necessário que o ambiente seja verificado, sendo considerado um aspecto crítico da avaliação de desempenho daqueles dispositivos. Dessa maneira, o local de estudo deve ser analisado juntamente com os dispositivos, a fim de verificar se o cenário de estudo possui alguma influência nos resultados obtidos na análise. Assim, nesse estudo, é necessário que haja uma avaliação dos veículos, a fim de entender pontos de eficiência energética dos dispositivos que foram instalados em área interna (dentro dos veículos ou perto do motor), e também da cidade que estão instalados esses veículos (condições climáticas também é uma questão plausível para avaliar o ciclo de vida de dispositivos inteligentes conectados via *LoRa*).

Após a verificação do ambiente, o próximo passo é executar cenários de teste para simular o desempenho dos dispositivos sob diversas condições, a fim de verificar o comportamento daquele dispositivo em vários contextos. Em seguida é realizada uma análise desses testes de simulação, buscando métricas para realizar a análise do ciclo de vida dos dispositivos. Essa avaliação possui desafios, pois apesar da tecnologia *LoRa* permitir a funcionalidade esperada dos dispositivos, não permitindo que haja inatividade ou problemas de conexão, ainda assim os cenários de teste possuem variabilidade, podendo interferir na avaliação final dos dispositivos. Dessa maneira, há questões que causam ‘ruídos’ na análise dos dispositivos conectados via *LoRa*, como é o caso da cobertura que essa tecnologia consegue alcançar, pois essa questão irá depender do ambiente de implantação específico, o que pode ser afetada caso haja interferências de sinal ou um tipo de topografia que prejudique a propagação de sinal. Além disso, outro fator que pode prejudicar é a permanência de interferências de ruídos de outros dispositivos, ocasionando num baixo desempenho dos dispositivos da pesquisa.

Outro fator desafiante é vida útil da bateria, pois diversos dispositivos *IoT* operam com bateria e é necessário aperfeiçoar o consumo de energia. Desse modo, uma avaliação dos dispositivos

se torna uma maneira fundamental para verificar o desempenho dos dispositivos em diferentes cenários de uso, como será realizado neste trabalho. Observar esses fatores permite que a avaliação dos dispositivos inteligentes conectados via *LoRa* traga soluções pertinentes para melhorar o desempenho dos mesmos no projeto piloto.

O escopo deste trabalho está baseado na funcionalidade do produto, que são os dispositivos inteligentes que foram instalados no município de Campos dos Goytacazes. Dessa maneira, a intenção dessa análise é buscar entender se a funcionalidade dos dispositivos se apropria do tempo em que emitiram dados na pesquisa e cumpriram suas funções. O escopo irá descrever o sistema do produto e a fronteira desse sistema, relacionando os procedimentos de alocação. Nesse sentido, o sistema será baseado no conceito de *cradle-to-grave*, no qual é verificado o período inicial do dispositivo até o período final. Neste trabalho, o período inicial será identificado como o momento de instalação e o período final será o momento de desinstalação. O projeto contou com instalações em vans e ônibus, na qual em vans foram selecionados permissionários de vans voluntários para a participação do estudo e nos ônibus foram selecionadas empresas de ônibus voluntárias. A instalação nas vans foi realizada concedendo prioridade para aquelas que possuíam tomada veicular 12Vcc em bom estado de conservação e funcionamento, sendo instaladas no centro do painel, sem que causasse impacto às operações dos veículos. Em alguns veículos as tomadas veiculares tipo isqueiro estavam com mau contato ou desativadas, causando impacto na instalação nesses veículos.

A instalação nos ônibus foi realizada utilizando conexões elétricas disponíveis em 12 Vcc e acoplando o carregador veicular com saídas USB por meio de fios. Muitos veículos não possuíam as tomadas veiculares, ocasionando a interligação elétrica. A instalação buscou o posicionamento da caixa do equipamento em local central do letreiro do ônibus ou no interior do compartimento da caixa de fusíveis e barramento elétrico, como demonstra a Figura 2.

Figura 2 - Instalação na caixa elétrica de fusíveis



Fonte: Relatório Mob 4.0, 2023.

Na etapa de análise de inventário foram aprofundados os dados que seriam extraídos da coleta realizada no período no município. Desse modo, nessa etapa foram observados dados relacionados à bateria dos dispositivos, a conectividade da tecnologia, informações dos dispositivos, assim como dados de movimento. Na bateria dos dispositivos foi possível identificar a porcentagem de carga, se o dispositivo está carregando ou não e o nível de bateria deles; na conectividade da tecnologia foi observado a potência da tecnologia *LoRa*, o servidor conectado e a qual gateway cada dispositivo estava conectado. Os dados foram colhidos através da Plataforma Phygital, que é uma plataforma de acesso fechado, com acesso através de e-mail e senha de identificação.

Na etapa seguinte, a de avaliação do impacto do ciclo de vida é possível identificar todos os dados observados na etapa anterior, análise de inventário e mensurar através com questões ambientais. Nessa etapa, os resultados são identificados e relacionados com aspectos pertinentes, que possam explicar determinados movimentos que são realizados pelos dispositivos a depender do local em que estão sendo observados, pois pode haver um impacto maior de um determinado produto, visto o aspecto ambiental analisado.

A última etapa consiste numa interpretação dos resultados obtidos através de todas as etapas anteriores, que foram construídas passo a passo através dos dados colhidos dos dispositivos inteligentes utilizados na pesquisa. Assim, a interpretação será um reflexo do resultado da análise de cada dado colhido, pertinentes à bateria, conectividade com tecnologia *LoRa* e porcentagem de bateria. O aspecto mais significativo dessa abordagem são os dados referentes à bateria, como utilização e tempo de vida útil.

4.2 Construção da análise dos dispositivos defeituosos

Os dispositivos utilizados, do modelo PHYLL TRACKER foram concebidos para uso em veículos em geral, e nos últimos cinco anos, são utilizados em embarcações da Marinha do Brasil, sendo utilizados pela primeira vez em veículos de transporte público no projeto piloto na cidade de Campos dos Goytacazes de maneira ampla.

Os dispositivos utilizados no projeto piloto foram rastreadores GNSS com análise de movimento embarcada, os chamados PHYLL TRACKER, que podem ser observados na Figura 3:

Figura 3 - Dispositivos utilizados no projeto de Campos dos Goytacazes



Fonte: Relatório Técnico RL-004-2821-000-PH-002, Phygital, 2023.

Para que houvesse a possibilidade de instalação em veículos do tipo VAN, foi utilizado carregador veicular 12-24Vcc com USB 5v, para que não fosse necessário manutenção em oficina. Isso permitiria que as instalações ocorressem durante os intervalos de parada das VANs em seus pontos finais. Os carregadores veiculares possuem tomada USB adicional, que permite o carregamento de outros dispositivos externos, podendo garantir o principal uso da tomada. Os carregadores são conforme demonstra a Figura 4:

Figura 4 - Carregador Veicular



Fonte: Relatório Técnico RL-004-2821-000-PH-002, PHYGITALL, 2023.

Mediante aos dispositivos utilizados, foi construída na cidade piloto de Campos dos Goytacazes uma rede *LoRa* baseada no protocolo *LoRaWan*, operando em rede HELIUM por meio do patrocínio da empresa ILLIOS TECNOLOGIA LTDA.

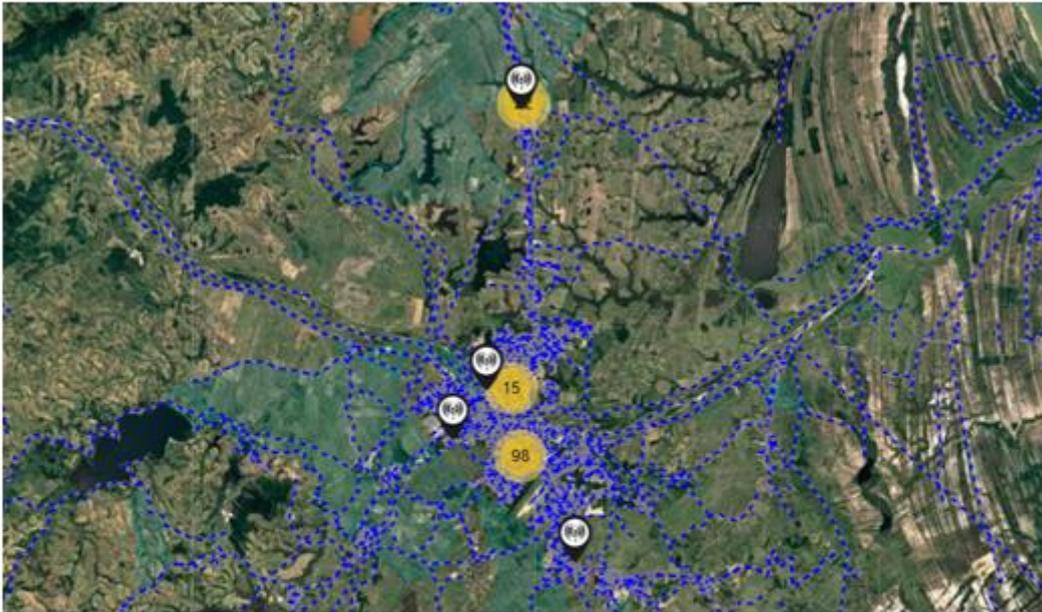
Figura 5 - Gateway *LoRa*



Fonte: Relatório Técnico RL-004-2821-000-PH-002, 2023.

Nesse processo de construção foram cedidos seis gateways *LoRa* (Figura 5), sendo estes instalados pela equipe PHYGITALL em parceria com as equipes do Centro de Informação e Dados de Campos (CIDAC) e do Instituto Municipal de Transito e Transporte (IMTT) em prédios públicos da cidade de Campos dos Goytacazes, tais quais: a Rodoviária Roberto Silveira no centro da cidade; o Hospital Ferreira Machado também no centro da cidade; o Hospital São José; o CIEP 268 Luiz Carlos de Lacerda; o Shopping Estrada e escolas municipais. A disposição dos pontos pode ser observada na Figura 6. A escolha desses pontos foi decorrente da facilidade de acesso para a instalação, visto que em um primeiro momento não havia equipamentos de segurança necessários.

Figura 6 - Mapa dos locais de instalação



De cima para baixo:
 CIEP 268 Luiz Carlos de Lacerda
 Hospital Ferreira Machado
 Shopping Estrada
 Hospital São José

Fonte: PHYGITALL, 2024.

4.3 Descrição da amostra

A amostra utilizada neste trabalho foi baseada no projeto piloto da cidade de Campos dos Goytacazes, no qual foram utilizados dispositivos para a verificação de padrões de movimentos. Dessa maneira, os dispositivos, com uma conectividade de longo alcance através da tecnologia *LoRa*, poderão identificar buracos, lâmpadas e travessias elevadas naquele pavimento. Nesse modelo, há alguns desafios tecnológicos, que influenciarão na coleta da amostra colida dos dispositivos, tais quais:

- Pacote de transmissão de dados reduzido
- Análise de movimento embarcada
- Capacidade de exibir grandes volumes de dados de forma organizada e eficiente

A amostra consiste na avaliação de 142 dispositivos instalados no município de estudo, buscando avaliar os critérios de hardware e software e, dessa maneira, criando cenários para a análise de dados.

4.4 Método de coleta

Neste trabalho, com a utilização dos dispositivos inteligentes do modelo PHYLL TRACKER, foram coletadas amostras de acelerômetro e giroscópio presentes nesses dispositivos. Através do acelerômetro e do giroscópio é possível capturar movimento dos dispositivos, e, além disso, realizar filmagem da coleta para auxiliar na etapa de rotulagem de dados, que consiste em identificar os exatos momentos que o veículo passou por buracos através do auxílio de vídeos, passo importante para identificar características relevantes do pavimento durante a fase de coleta de dados, para que no fim seja aplicado em algoritmos de aprendizado de máquina.

Para o aprendizado de máquinas, é necessário que seja realizada aplicação dos algoritmos para a identificação de tais buracos. Assim, a elaboração de um algoritmo que possa ser embarcado em micro controlador fez-se necessário para que houvesse uma regressão logística para a classificação dos dados.

Assim, no processo de coleta de dados do projeto no município, foi adotado um procedimento de elaboração de modelos utilizando diferentes janelas de tempo, com o objetivo de identificar a abordagem mais eficaz para reconhecer o movimento. Os modelos de regressão logística fornecem uma estimativa da probabilidade de ocorrência de um movimento específico, sendo descritos por uma equação logística que inclui constante e dados provenientes dos sensores. (Relatório RL-004-2821-000-PH-003, PHYGITALL, 2023.).

4.5 Validação da amostra

A amostra utilizada neste estudo considera o uso de todos os dispositivos que foram instalados na cidade de Campos dos Goytacazes, um acumulado de 142 dispositivos inteligentes que eram nomeados da seguinte maneira “PT-00000100, PT-00000102...” e assim suscetivelmente até o último dispositivo “PT-00000259”. A avaliação dessa amostra considerou uma análise de duas maneiras: através do hardware e do software, ou seja, uma análise física dos dispositivos, considerando suas condições após o uso no estudo e também as condições em relação à prospecção de dados nivelados.

A primeira análise foi baseada no software dos dispositivos, sendo possível observar a contagem de pacotes *LoRa* recebidos ao longo de um período. Neste caso, o período levantado foi de 09 de janeiro de 2023 a 18 de janeiro de 2024, sendo considerados todos os momentos

em que houve algum envio de dados. Através do quadro abaixo é possível verificar cada dispositivo e seus potenciais envios de dados.

Quadro 3 - Contagem de envio de dados por dispositivo

Dispositivo	Quantidade de vezes que foi observado (quantidade de dia que emitiram dados)	Quantidade de dados enviados	Quantidade de veículos em que foram instalados	Veículos	
PT-00000191	198	240.883	1	VAN A01088	
PT-00000143	125	173.494	3	VAN C02003	VAN C02012
PT-00000133	124	173.329	1	VAN F02029	
PT-00000105	90	154.699	1	VAN C02018	
PT-00000249	222	141.757	2	VAN A03027_01	VAN A03027
PT-00000121	150	141.273	1	VAN A11100	
PT-00000125	210	125.468	2	VAN C07015	VAN C02021
PT-00000122	165	113.317	1	VAN C01070	
PT-00000251	274	112.617	1	BUS 3008	
PT-00000156	186	112.522	1	VAN A18039	
PT-00000152	184	110.046	1	VAN A04030	
PT-00000135	222	105.258	1	VAN A01089	
PT-00000150	143	97.431	1	VAN A17016	
PT-00000244	148	94.807	1	MICRO A19104	

PT-00000102	155	91.008	2	VAN C11028	VAN F02021
PT-00000111	143	90.766	1	VAN C02004	
PT-00000173	185	88.117	1	BUS 1116	
PT-00000243	172	77.435	1	BUS 3007	
PT-00000228	139	66.040	1	BUS 3021	
PT-00000257	185	61.650	1	BUS 3005	
PT-00000246	68	58.820	1	BUS 3025	
PT-00000259	246	57.352	2	VAN C02013	BUS 1037
PT-00000223	229	53.606	1	BUS 1009	
PT-00000170	86	51.583	1	BUS 1096	
PT-00000103	67	49.595	2	VAN C03026	VAN C02013
PT-00000210	7	47.672	3	VTR ARGO	PT- 00000210
PT-00000137	115	46.275	1	VAN A06033	
PT-00000120	177	45.431	1	VAN A04039	
PT-00000187	105	44.214	1	BUS 1202	
PT-00000181	143	43.211	1	MICRO A13090	
PT-00000148	165	40.216	1	VAN A21040	
PT-00000190	107	40.198	1	BUS 1053	
PT-00000168	216	38.146	1	BUS 3032	
PT-00000253	142	36.000	1	VAN F04020	
PT-00000140	61	34.555	1	VAN A09086	
PT-00000129	94	31.295	3	VAN A17009	VAN A17016
PT-00000213	249	30.450	1	BUS 1066	
PT-00000177	84	28.956	1	VAN F01019	
PT-00000229	80	28.683	1	VAN D02003	
PT-00000217	83	26.711	1	BUS 1037	
PT-00000178	73	26.395	1	VAN A17081	

PT-00000136	128	25.771	1	VAN F03006	
PT-00000157	52	25.406	1	VAN C03012	
PT-00000218	139	25.296	1	BUS 2321	
PT-00000154	67	24.311	1	VAN A16094	
PT-00000212	200	22.918	1	VAN F03007	
PT-00000107	137	22.727	2	VAN A06033	BUS 1023
PT-00000255	179	21.318	1	VAN C11031	
PT-00000145	89	21.026	1	VAN A17069	
PT-00000110	187	20.814	1	VAN F03016	
PT-00000171	190	20.232	1	VAN B01007	
PT-00000162	231	20.064	1	BUS 2301	
PT-00000258	147	19.745	1	VAN C11028	
PT-00000182	63	19.456	1	BUS 1045	
PT-00000142	78	18.926	1	VAN A22082	
PT-00000124	58	18.895	1	VAN C02002	
PT-00000166	33	18.150	1	VAN A01075	
PT-00000197	115	17.452	1	VAN F11030	
PT-00000220	126	17.445	1	BUS 1140	
PT-00000116	109	17.075	1	VAN A20085	
PT-00000146	120	16.405	2	VERIFICAR 2	PT00000146
PT-00000219	220	15.531	1	BUS 3011	
PT-00000144	10	15.512	1	VAN A03027	
PT-00000106	230	15.003	1	VAN A07093	
PT-00000112	95	14.930	1	VAN C01044	

PT-00000196	224	14.809	1	BUS 1120	
PT-00000192	227	14.794	1	BUS 3027	
PT-00000147	75	14.650	1	VAN F03015	
PT-00000131	54	13.985	3	VAN C05032	VAN A01088
PT-00000225	77	13.468	1	VAN A03046	
PT-00000207	116	13.114	1	BUS 1138	
PT-00000104	103	12.609	1	MICRO A19105	
PT-00000208	107	12.268	2	VAN A17077	VAN C11029
PT-00000245	167	11.921	1	VAN A18054	
PT-00000132	96	11.702	2	VAN A17016	VAN C03026
PT-00000214	147	11.591	1	BUS 3012	
PT-00000179	216	11.524	1	BUS 2323	
PT-00000127	89	11.371	1	VAN F05034	
PT-00000117	102	11.369	1	BUS 3014	
PT-00000123	118	11.091	1	VAN B02002	
PT-00000130	57	10.298	1	VAN A03047	
PT-00000141	80	10.291	1	VAN C11036	
PT-00000226	26	9.944	1	BUS 1118	
PT-00000163	59	9.891	2	VAN C11034	VAN A03017
PT-00000159	86	9.519	1	VAN C02011	
PT-00000211	105	8.479	1	BUS 1094	
PT-00000252	64	6.863	1	VTR RANGER	
PT-00000231	27	6.739	1	BUS 1015	
PT-00000126	33	6.427	1	VAN C09054	
PT-00000232	90	6.163	1	VAN A03031	
PT-00000167	44	6.116		VAN F03010	

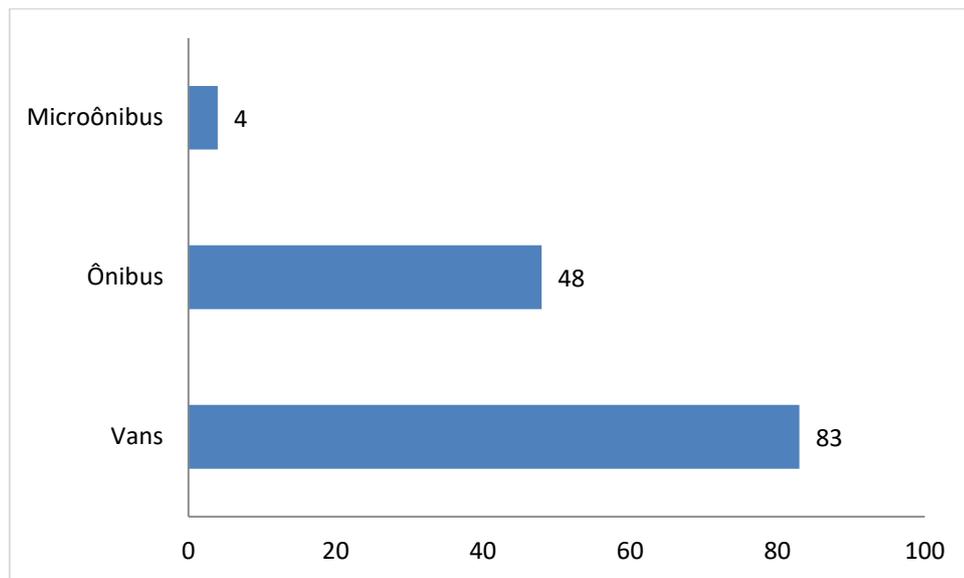
PT-00000139	22	6.027	1	VAN A23109	
PT-00000100	111	5.359	1	VAN F07024	
PT-00000109	51	5.293	1	VAN C10061	
PT-00000250	12	5.071	1	BUS 1024	
PT-00000189	31	4.945	1	VAN F06023	
PT-00000118	20	4.809	1	VAN A17058	
PT-00000234	64	4.647	1	VAN F03008	
PT-00000175	34	4.570	1	VAN F01004	
PT-00000161	35	4.293	2	VTR02	VAN F01013
PT-00000186	54	4.166	1	BUS 1043	
PT-00000240	4	3.917	2	PT- 00000142	PT- 00000240
PT-00000254	38	3.799	1	VAN A12099	
PT-00000194	16	3.636	1	BUS 2303	
PT-00000183	19	3.293	1	VAN A01083	
PT-00000180	44	2.948	1	BUS 1011	
PT-00000201	14	2.909	3	BUS XXX	PT- 00000201
PT-00000149	62	2.854	1	BUS 009	
PT-00000199	36	2.834	1	BUS 1027	
PT-00000153	21	2.626	1	VAN F03005	
PT-00000221	12	2.361	1	VAN A03044	
PT-00000198	13	2.251	1	VAN A05065	
PT-00000160	20	2.210	1	BUS 1031	
PT-00000158	10	2.013	1	VAN F01013	
PT-00000113	9	1.897	1	VAN C02003	
PT-00000151	20	1.848	1	VAN C10055	

PT-00000188	42	1.724	1	BUS 1001	
PT-00000206	10	1.600	2	PT00000206	VAN F01004
PT-00000176	12	1.559	1	BUS 1017	
PT-00000248	9	1.487	1	BUS 1035	
PT-00000224	101	1.365	1	BUS 1064	
PT-00000108	51	1.291	1	VAN B02004	
PT-00000169	82	1.288	1	MICRO C16058	
PT-00000203	13	1.054	1	BUS 1002	
PT-00000119	12	863	1	VAN A17009	
PT-00000204	17	746	1	BUS 1055	
PT-00000185	20	741	1	VTR18	
PT-00000215	12	725	1	BUS 2324	
PT-00000134	12	682	1	VAN C08009	
PT-00000222	2	670	1	PT- 00000222	
PT-00000114	8	524	1	VAN C11029	
PT-00000164	1	509	1	BUS 1019	
PT-00000230	5	482	1	BUS 2320	
PT-00000138	5	462	1	VAN A05065	
PT-00000115	6	366	1	BUS 1047	
PT-00000193	3	275	1	BUS 1023	
PT-00000205	16	257	1	VAN C11034	
PT-00000200	5	146	1	PT- 00000200	
PT-00000172	3	106	2	PT00000172	PT- 00000155
PT-00000165	1	70	1	PT00000165	
PT-00000227	10	54	1	BUS 1039	
PT-00000202	2	18	1	BUS 3043	

Fonte: elaboração própria com base em Relatório Phytall, Mob 4.0 (2024).

Considerando o Quadro 3, é possível observar algumas informações relevantes a presente investigação. Dessa maneira, foram observados 142 dispositivos que emitiram informações de dados, alguns instalados em ônibus, micro-ônibus e outros instalados em vans. No Gráfico 1 é possível verificar que nessa pesquisa de campo, a instalação de dispositivos foi mais presente em vans do que em ônibus e micro-ônibus, cerca de 60%, enquanto ônibus, 36% e micro-ônibus, 2%.

Gráfico 1 - Quantidade de cada tipo de veículo



Fonte: elaboração própria com base em Relatório Phygital, Mob 4.0 (2024).

Essa amostra demonstra uma clareza da eficiência dos dispositivos e na emissão de mensagens de dados capturadas ao longo do período em que captavam dados.

Ao analisar os dados obtidos ao longo desse um ano de captação é possível observar alguns fatores pertinentes para o estudo, como frequência de emissão de dados, volume de dados que cada dispositivo instalado conseguiu emitir, entre outras informações. A partir disso, será realizado um aprofundamento em relação aos dispositivos que mais emitiram dados e também em relação aos que menos emitiram.

Ao analisar os 14 dispositivos que mais enviaram dados, ou seja, os 10% de toda a amostra, temos o seguinte ranking.

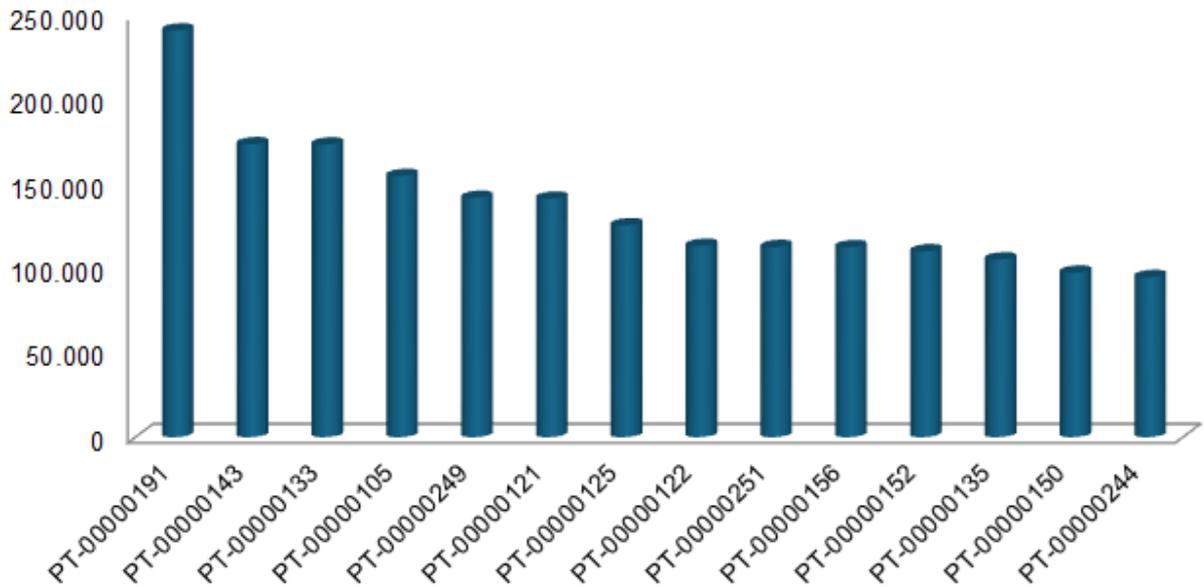
Quadro 4 - Dispositivos que mais enviaram dados

Dispositivo	Quantidade de vezes que foi observado (quantidade de dia que emitiram dados)	Quantidade de dados enviados
PT-00000191	198	240.883
PT-00000143	125	173.494
PT-00000133	124	173.329
PT-00000105	90	154.699
PT-00000249	222	141.757
PT-00000121	150	141.273
PT-00000125	210	125.468
PT-00000122	165	113.317
PT-00000251	274	112.617
PT-00000156	186	112.522
PT-00000152	184	110.046
PT-00000135	222	105.258
PT-00000150	143	97.431
PT-00000244	148	94.807

Fonte: elaboração própria com base em Relatório Phygital, Mob 4.0 (2024).

Como observado no **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, os dispositivos que mais emitiram dados, emitiram entre 94.807 e 240.883 dados, sendo possível observar esses números na Figura 7:

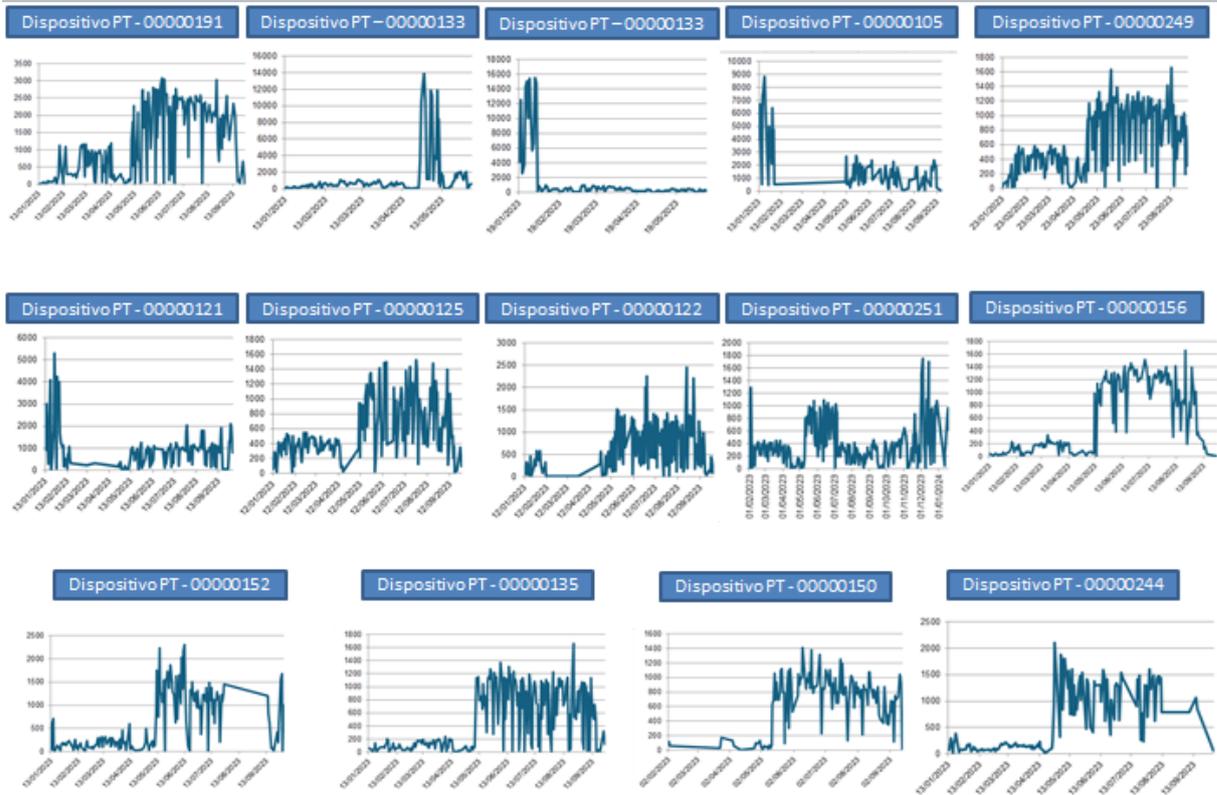
Figura 7 - Quantidade de dados enviados a partir dos dispositivos que mais emitiram dados



Fonte: elaboração própria com base em Relatório Phygital, Mob 4.0 (2024).

Na Figura 8, é possível identificar cada um desses dispositivos, observando as oscilações dia a dia, desde o momento de instalação até o processo de desinstalação desses dispositivos.

Figura 8 - Distribuição de contagem de dados ao longo do tempo dos dispositivos que mais emitiram dados

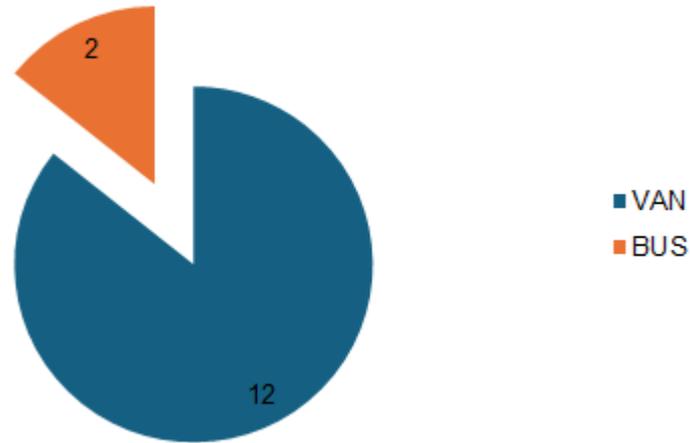


Fonte: elaboração própria com base em Relatório Phytigall, Mob 4.0 (2024).

Dessa maneira, é possível observar que determinados dispositivos oscilam muito entre os dias e outros oscilam consideravelmente, e essas oscilações estão diretamente ligadas à quantidade de dados que são capturados. Logo, se o dispositivo emite uma quantidade x de dados sem variar muito para mais ou menos, haverá pouca oscilação ao decorrer dos dias. Entretanto, quando há variações na quantidade x de dados emitidos, haverá bastante oscilação ao analisar um período de dias.

Através da Figura 9, é possível identificar que dos 14 dispositivos analisados por emitirem uma maior quantidade de dados, apenas 2 foram instalados em veículo do tipo ônibus, sendo um do tipo micro-ônibus, enquanto os demais foram instalados em veículos do tipo van.

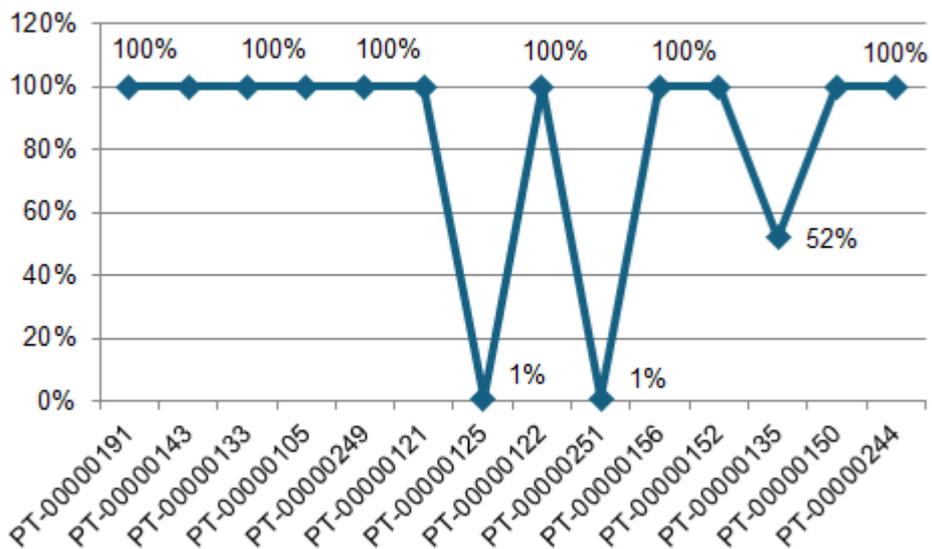
Figura 9 - Tipo de veículo para cada dispositivo que mais emitiram dados



Fonte: elaboração própria com base em Relatório Phygital, Mob 4.0 (2024).

Esse dado é curioso, pois apesar de já ter sido observado que as vans foram em maior quantidade no processo de instalação, há também a consolidação do fato de os motoristas das vans serem mais resistentes quanto à continuação das análises nos veículos em que foram instalados. Dessa maneira, é possível identificar que apesar da resistência por parte de alguns motoristas, os dispositivos instalados nesses tipos de veículos contabilizaram maior volume de dados. Além disso, é possível observar o nível de bateria de cada um dos dispositivos no momento de instalação e desinstalação.

Figura 10 - Nível de bateria no momento de instalação



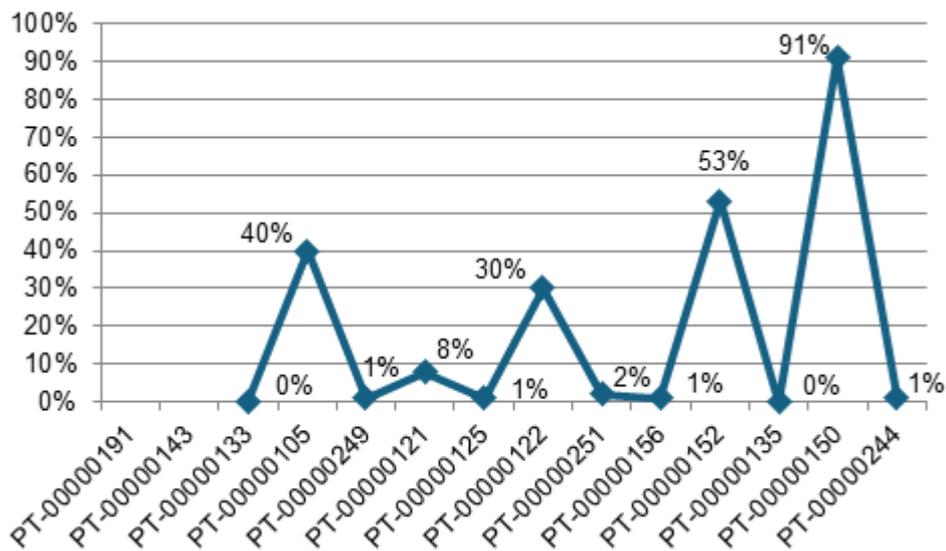
Fonte: elaboração própria com base em Relatório Phygital, Mob 4.0 (2024).

A Figura 10 indica que os dispositivos ‘PT-00000125’ e ‘PT00000251’ iniciaram o processo de coleta de dados com nível muito abaixo do identificado como normal. O dispositivo 125 não estava com status de ‘carregando’ no momento da instalação, assim como estava com uma temperatura muito elevada (83°C) quando comparado aos demais dispositivos.

Por outro lado, o dispositivo 251 tinha o status de ‘carregando’ no momento da instalação, entretanto, permaneceu por um tempo com o nível 1%, o que pode indicar alguma ineficiência nesse dispositivo. Além disso, a temperatura estava normalizada em 32°C. O dispositivo ‘PT-00000135’ iniciou o processo com nível de bateria em 52%, enquanto os demais dispositivos analisados estavam normalizados com status de carregando e bateria com nível 100%. A ineficiência de carga da bateria pode indicar uma inconstância da eficiência do uso dos dispositivos para os fins de coleta de dados.

No processo de retirada dos dispositivos dos veículos nos quais estavam instalados também é possível observar o nível de bateria, como evidencia a Figura 11.

Figura 11 - Nível de bateria no momento de desinstalação



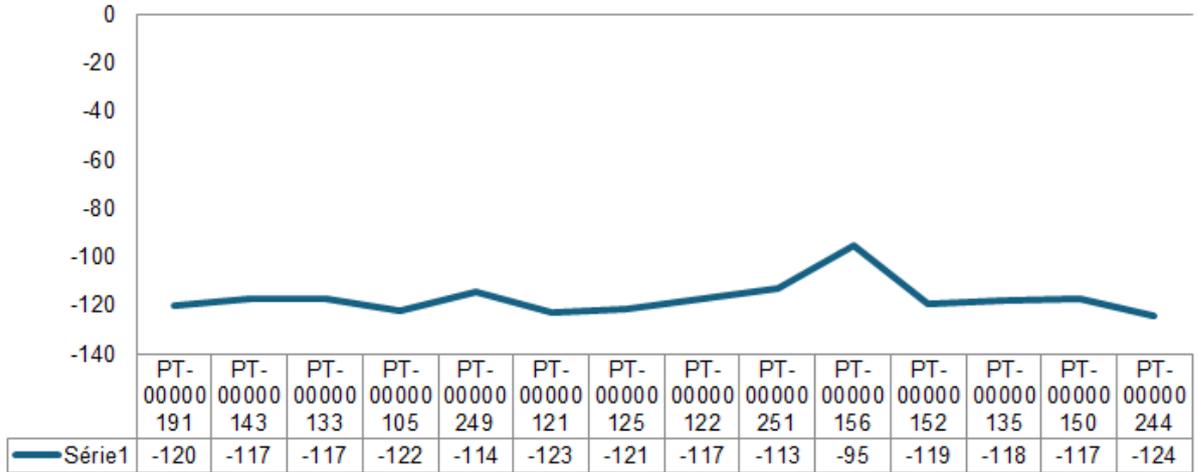
Fonte: elaboração própria com base em Relatório Phygital, Mob 4.0 (2024).

Através da Figura 11 é evidente que não há informação sobre a bateria de dois dispositivos: PT-00000191 e PT-00000143. Através de uma análise do hardware seria possível identificar se havia ou não alguma falha na bateria, como processo de estufamento ou desgaste natural da bateria. Os demais dispositivos indicam algum nível de bateria, variando de 0% a 91%. Além disso, é possível identificar que todos esses dispositivos não estavam mais com status de

‘carregando’, o que evidencia a concretização do processo de retirada do dispositivo dos veículos inicialmente instalados.

De igual modo, é possível identificar o nível da potência da tecnologia *LoRa* no momento em que os dispositivos foram instalados, como é possível observar na Figura 12.

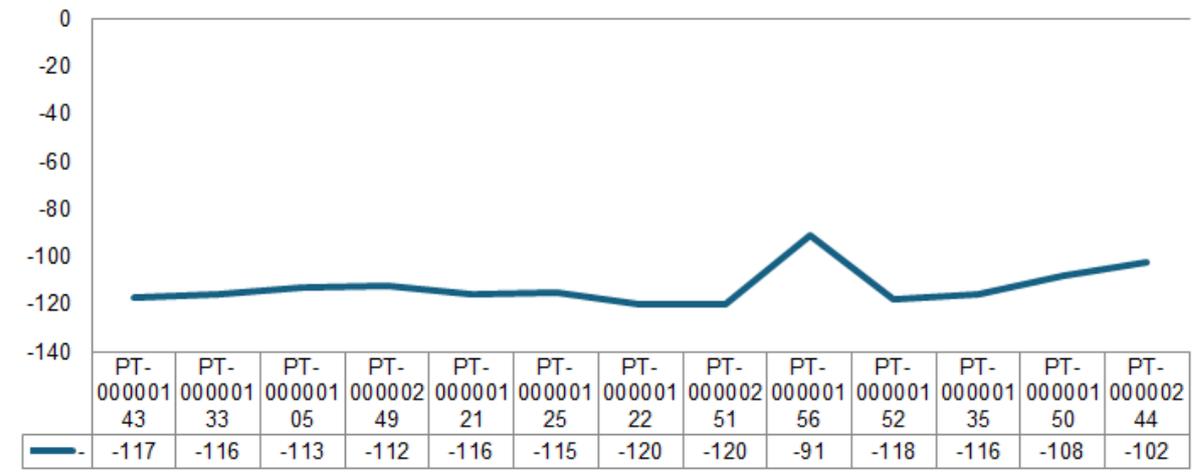
Figura 12 - Potência *LoRa* na instalação dos dispositivos



Fonte: elaboração própria com base em Relatório Phygital, Mob 4.0 (2024).

A potência *LoRa* dos dispositivos pode ser identificada apenas nos dispositivos que possuem uma antena *LoRa* instalada no gateway. O mesmo pode ser visualizado para o momento em que os dispositivos foram desinstalados ou desativados dos veículos nos quais foram instalados.

Figura 13 - Potência *LoRa* no momento de desinstalação



Fonte: elaboração própria com base em Relatório Phygital, Mob 4.0 (2024).

É possível verificar uma mudança no padrão do gráfico, indicando uma mudança no padrão da potência *LoRa* verificada após alguns meses de uso pelos dispositivos. Através dessas imagens, é importante pontuar que a rede *LoRa* fornecida no local do estudo não oferecia cobertura plena para todo o território da cidade, ou seja, havia áreas de sombra na qual os dados poderiam não ser coletados (Relatório RL-004-2821-000-PH-001, Phygital, 2023.). Outro fator que pode ser considerado relacionado a abrangência da tecnologia *LoRa* e sua funcionalidade enquanto tecnologia é a estrutura do município quanto às dimensões quilométricas.

Além dessa limitação da tecnologia *LoRa*, não houve a possibilidade de instalação de rede wi-fi nos pontos finais e terminais rodoviários da cidade. Essa limitação prejudicou na atualização remota dos rastreadores e no escoamento de backup acumulado em áreas de sombra, ou seja, onde não há banda de transferência de grande volume de dados em *LoRaWAN* e na calibração recorrente dos equipamentos de forma precisa.

Assim como foi possível identificar os dispositivos que mais emitiram dados, também é possível relacionar os dispositivos que menos emitiram dados no decorrer dos dias, sendo possível observar no Quadro 5 os principais que emitiram em menor quantidade algum tipo de dados.

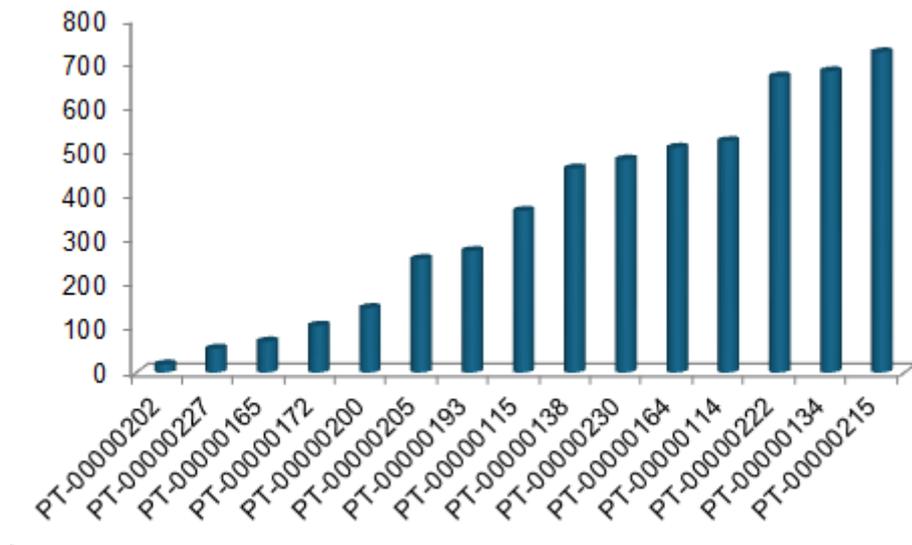
Quadro 5- Dispositivos que menos emitiram dados

Dispositivo	Quantidade de vezes que foi observado (quantidade de dia que emitiram dados)	Quantidade de dados enviados
PT-00000202	2	18
PT-00000227	10	54
PT-00000165	1	70
PT-00000172	3	106
PT-00000200	5	146
PT-00000205	16	257
PT-00000193	3	275
PT-00000115	6	366
PT-00000138	5	462
PT-00000230	5	482
PT-00000164	1	509
PT-00000114	8	524
PT-00000222	2	670
PT-00000134	12	682
PT-00000215	12	725

Fonte: elaboração própria com base em Relatório Phytall, Mob 4.0 (2024).

Na Figura 14 é possível observar a disposição de dados para cada dispositivo observado.

Figura 14 - Quantidade de dados enviados a partir dos dispositivos que menos emitiram dados



Fonte: elaboração própria com base em Relatório Phygital, Mob 4.0 (2024).

O comportamento dos dispositivos que menos emitiram dados na pesquisa retrata um comportamento não linear, identificando uma falta de padrão entre a emissão de dados, assim como a quantidade de dados emitidos ao longo do período em que estavam instalados nos veículos.

4.6 Análise de Hardware dos dispositivos

Em um cenário perfeito, a intenção do estudo era de realizar uma análise de hardware em todos os dispositivos que foram instalados no processo de análise do projeto. Entretanto, devido a algumas limitações de pesquisa que serão evidenciadas em capítulos futuros, a análise de hardware só foi realizada nos primeiros 21 dispositivos que foram desinstalados. Com isso, vale ponderar que a análise desses dispositivos não tem correlação com os dispositivos que mais ou menos emitiram dados. Assim, esses 21 dispositivos observados fisicamente não estavam na escala dos que mais emitiram dados ou dos que menos emitiram dados. Vale ressaltar também que não houve a avaliação de hardware dos demais dispositivos, por dificuldades logísticas quanto à desinstalação dos dispositivos na cidade piloto de Campos dos Goytacazes em tempo hábil para a realização de análises.

A análise foi realizada no dia 17 de janeiro de 2024, com uma correspondente da Phygital em sala da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Para a realização dessa análise todos os dispositivos foram abertos e foi verificado se a bateria estava estufada, se a antena *LoRa*

estava no local adequado, assim como o tipo de tomada utilizada. O Quadro 6 indica todos os dispositivos que foram analisados, assim como o estado da bateria e da antena *LoRa* de cada um deles.

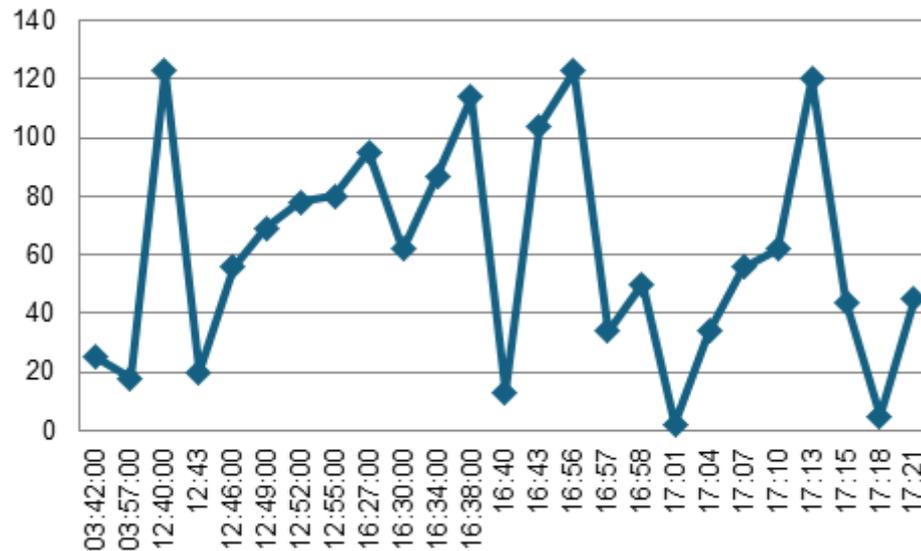
Quadro 6 - Análise de Hardware dos dispositivos

Dispositivo	Bateria estufada	Antena lora	Serial	Funciona	carregador
PT-00000113	Não	ok	ok	sim	
PT-00000155	Não	OK	OK	sim	
PT-00000158	Não	ok	Não	não	
PT-00000114	Não	OK	Não	não	
PT-00000240	Não	OK	ok	sim	
pt-00000193	Não	ok	não	não	
pt-00000210	Não	ok	ok	sim	
PT-00000142	Não	OK	OK	sim	
PT-00000165	Não	ok	ok	sim	
PT-00000150	Não	ok	ok	sim	
PT-00000175	Não	ok	Não	não	carregador veicular
PT-00000158	Não	OK	não	não	carregador veicular
PT-00000199	Não	ok	não	não	carregador veicular
PT-00000201	Não	ok	Não	não	
PT-00000217	Não	ok	Não	não	carregador veicular
PT-00000130	Não	ok	não	não	carregador veicular
PT-00000195	Não	ok	não	não	
PT-00000235	Não	ok	não	não	
PT-00000138	Não	ok	ok	não	carregador veicular
PT-00000241	Não	ok	Não	não	
PT-00000200	Não	ok	ok	sim	

Fonte: elaboração própria com base em Relatório Phygital, Mob 4.0 (2024).

Na Figura 15, é possível observar o dispositivo aberto para ser realizado a análise do estado da bateria e da antena *LoRa*

Figura 16 - Temperatura dispositivo PT-00000165



Fonte: elaboração própria com base em Relatório Phygital, Mob 4.0 (2024).

É possível observar que em determinados períodos do dia em que foi observado, o dispositivo estava com a temperatura em nível extremamente alto, enquanto em outros períodos a temperatura se aproximava de 0. Essa oscilação na temperatura pode ser explicada pelo local em que o dispositivo foi instalado, ou seja, locais que está diretamente exposto ao sol indicará uma temperatura mais elevado em horários mais quentes, no meio do dia, por exemplo. Enquanto que em outros horários, tal local dispnda de sombra e por isso, indique temperatura menor.

Essa análise do hardware dos dispositivos permite observar que nenhum dos dispositivos teve algum detrimento na bateria ou na posição da antena *LoRa*, logo, o não funcionamento em seu estado pleno não pode ser associado a esses fatores.

4.7 Análises e interpretações

Em uma análise preliminar no local do estudo foi observado que houve um forte impacto transmitido ao equipamento, podendo ser ocasionado o descolamento da antena do terminal na placa, mediante a pouca solda no local. Estão sendo avaliados os impactos de eventual atenuação na antena com um possível acréscimo de solda durante o processo de placa. Cabe ressaltar que o processo de soldagem de antenas é sensível a inúmeras variáveis físicas (soldagem, malha de terra, material do invólucro e posição de uso) e, portanto, estão sendo

avaliados os potenciais impactos na qualidade do sinal com o incremento de solda nos terminais das antenas.

Mediante a isso, devido às condições de uso e instalação do projeto não possuem uma homogeneidade controlada dos parâmetros físicos de instalação e manutenção, ainda não foi possível o mapeamento completo da recorrência e amplitude dos problemas até aqui detectados. O caráter de voluntariado dificulta a análise já que a liberdade do desligamento proposital dos equipamentos pode mascarar problemas de fato recorrentes daqueles pontuais. Dessa maneira, sugere-se um aprimoramento no processo de instalação dos equipamentos para garantir maior homogeneidade no processo, estabelecendo padrões de qualidade mínimos dos veículos para instalação dos equipamentos. Há que se destacar também que em alguns casos deverá haver adaptações e reparos na parte elétrica dos veículos a fim de atender a estes critérios mínimos de aceitação do veículo para instalação.

Além disso, é possível observar que nenhum dos dispositivos sofreu qualquer dano na bateria ou na placa *LoRa* no interior do objeto. Logo, qualquer dificuldade no acesso à tecnologia estava estritamente relacionada ao sinal *LoRa* disponível no trajeto em que o dispositivo percorreu. Além disso, problemas relacionados ao nível de carregamento das baterias provavelmente podem ser associados ao tipo de tomada do dispositivo, seja ela do tipo isqueiro ou tomada veicular.

5 A viabilidade de dispositivos inteligentes para coleta de dados em *smart cities*, segundo a análise realizada

Através desse estudo, é possível identificar diversos fatores que impactam e desenvolvem melhor a utilização de dispositivos inteligentes em cidades inteligentes. A partir das análises identificadas neste estudo, é possível verificar que há um impacto no nível de bateria, conectividade *LoRa* e até no funcionamento dos dispositivos no período em que estavam instalados.

Assim, esse capítulo tem o objetivo de percorrer sobre os resultados encontrados na pesquisa realizada, assim como identificar os principais fatores de dificuldade para todos os processos desse projeto, sejam eles de instalação, desinstalação e também o processo operacional.

5.1 Aplicação da ACV em dispositivos inteligentes

Nas análises realizadas com os dispositivos inteligentes instalados no município de Campos dos Goytacazes, se sobressaem fatores que podem influenciar nos resultados do experimento, tais quais: condições climáticas, altura dos dispositivos transmissores *LoRa* nos ônibus, temperatura do local da instalação dos dispositivos, impacto dos buracos e lambado das vias. Ao se considerar todo processo de uma análise dos dispositivos inteligentes que estavam defeituosos aplicados em *smart cities* é necessário o entendimento de que cada etapa é única para cada um dos dispositivos. Logo, se aplicam as quatro etapas necessárias: definição de objetivo e escopo; análise de inventário; avaliação de impactos e a interpretação de resultados. Nesse estudo, o objetivo era identificar a funcionalidade dos dispositivos na captura de movimento através do acelerômetro e giroscópio. Essa etapa se consolida através da etapa seguinte, a análise de inventário que relaciona todos os dados emitidos por todos os dispositivos que foram instalados.

Na etapa de avaliação de impacto é possível que os dados obtidos através da análise de software sejam correlacionados com a análise de hardware, proporcionando uma aplicação mais detalhada e aprofundada em relação ao estado dos dispositivos inteligentes. Assim, é possível obter informações sobre estado da bateria, extensão da antena *LoRa*, funcionalidade dos dispositivos, temperatura do aparelho e momento de desinstalação dos dispositivos.

A partir desses dados, a última etapa é a interpretação desses resultados no cenário de captura de movimentos dos dispositivos e coleta de dados. Nesse estudo, os dados obtidos puderam consolidar respostas acerca da usabilidade em tempo determinado das baterias dos dispositivos, assim como da funcionalidade da rede *LoRa* na cidade. Assim, como a cobertura da rede *LoRa* não era eficiente em todo o território estudado, houve uma falha na obtenção de determinados dados e, dessa maneira, uma menor aplicabilidade por completo das informações. Alguns dos fatores que podem influenciar os resultados dos experimentos: condições climáticas, altura dos dispositivos transmissores *LoRa* nos ônibus. Além disso, é possível identificar a trajetória do veículo através da tecnologia, em função da mudança no ângulo e a velocidade em que os veículos se deslocaram (ROCHA *et al.*, 2024).

5.2 Resultados esperados na ACV

Uma análise do ciclo de vida é baseada na realização de diversos passos, que quando cruzados permitem uma análise robusta e bem conceituada intelectualmente. Como visto nos capítulos

anteriores, é possível realizar uma análise com os dados obtidos em uma análise preliminarmente. Assim, apesar da vasta literatura sobre *smart cities*, *big data* e dispositivos inteligentes, foram encontrados poucos textos na literatura que trouxessem o debate específico sobre a análise dos dispositivos inteligentes baseados no contexto da mobilidade urbana.

Por outro lado, FILHO e COELHO (2018) demonstram alguns cases de sucesso de exemplo do uso de tecnologias que tornam a cidade mais inteligente, como são o caso da Espanha que possibilita uma infraestrutura de sensores que disponibilizam dados sobre vagas de estacionamento, dados coletados em ônibus, entre outras informações. Isso permite a observação sobre o avanço do uso de novas tecnologias para o avanço da mobilidade e da conexão de dados, entretanto, pouco se visualiza sobre os impactos que dispositivos inteligentes podem agregar na mobilidade urbana mediante ao volume de dados diários.

Assim, com o estudo realizado nos dispositivos que foram instalados na cidade de Campos dos Goytacazes, eram esperados alguns comportamentos dos dispositivos que serão relatados a seguir e em seguida será identificados quais foram de fato os resultados obtidos na análise realizada.

Nas análises realizadas nos 142 dispositivos que foram instalados entre ônibus e vans eram esperados alguns comportamentos dos dispositivos. No caso das baterias, com o não funcionamento de diversas baterias ao fim da sua vida útil na pesquisa, era de se esperar que as baterias estivessem estufadas ou com algum dano físico.

Para a conectividade *LoRa*, como a tecnologia foi aprimorada para a utilização no projeto era esperado que essa rede pudesse abranger todos os pontos em que os dispositivos percorressem na cidade.

5.3 Resultados obtidos na ACV

Com os resultados observados no último capítulo é possível percorrer sobre os resultados que realmente foram obtidos nessa análise. Assim, no caso das baterias que faziam parte dos dispositivos inteligentes, nenhuma delas, da amostra de 21 dispositivos, demonstrou qualquer sinal de dano físico que pudesse explicar a não funcionalidade da bateria.

Por outro lado, há algumas explicações que podem explicar o não funcionamento da bateria de determinados dispositivos, como o mau funcionamento das tomadas veiculares, que proporcionam um nível de bateria menor ou sem a qualidade necessária para a captação dos dados. Além disso, o desligamento proposital dos equipamentos pelos próprios motoristas

devido à desconfiança do projeto proporcionaram um carregamento mais lento, visto que impactava no carregamento do dispositivo e na carga da bateria.

Para a rede *LoRa*, apesar de a expectativa ser de uma rede que funcionasse durante todo o território, havia áreas de sombra na qual os dados poderiam não ser coletados, impossibilitando a funcionalidade total da rede e dos dispositivos que dependiam dessa rede para a obtenção de dados. Além disso, não foi possível a instalação de redes wi-fi nos terminais de coleta, o que trouxe mais índices prejudiciais para a pesquisa, impactando o nível de dados que poderiam ser coletados.

5.4 Críticas aos resultados obtidos na ACV

O modelo de análise escolhido para essa pesquisa foi baseado em pesquisas robustas que demonstram um processo de análise seguindo vários protocolos, passo a passo. A integridade desse tipo de análise proporciona uma confiança maior a respeito dos resultados que podem ser obtidos e aprofundados.

Entretanto, a análise realizada com os dispositivos poderia ter considerados outros fatores que poderiam ser pertinentes e relevantes para um resultado mais aprimorado a respeito do funcionamento dos dispositivos.

6 Considerações finais

Esse último capítulo busca trazer as considerações finais a respeito do trabalho aprofundado ao longo de todos os capítulos anteriores. Dessa maneira, é exposta a conclusão de toda a pesquisa explorada, assim como as principais limitações da pesquisa e também recomendações para trabalhos futuros.

6.1 Conclusões

Na pesquisa realizada, há inúmeros pontos a serem considerados, desde a análise de software, hardware e também a análise de pesquisa de campo com os voluntários do projeto.

Na etapa de análise de software, foi possível obter os dados através da plataforma Phygital, na qual todos os dados foram consolidados, podendo ser comparados e aprimorados com demais dados obtidos. Assim, na análise de software foi possível capturar dados sobre o funcionamento de bateria, a potência da rede *LoRa*, a temperatura dos dispositivos nos veículos, a latitude e longitude dos dispositivos.

Na etapa de análise de hardware, o que foi observado foi o estado das baterias, a existência da antena *LoRa* no dispositivo, a existência do serial relacionado ao dispositivo e também o tipo de tomada administrada no veículo. Relacionando essas duas análises foi possível identificar o comportamento de alguns dispositivos mediante ao que era esperado e ao que de fato proporcionou de dados.

Por fim, o processo físico de instalação, atualização e desinstalação dos dispositivos proporcionou determinados cenários. O principal fator de dificuldade do projeto era o caráter de voluntariado que permitia a liberdade do desligamento proposital dos dispositivos por parte dos motoristas, dificultando as análises dos equipamentos.

6.2 Limitações da pesquisa

O estudo acerca da avaliação de dispositivos inteligentes conectados através de tecnologia *LoRa*, buscando transmitir dados que possam trazer melhorias na mobilidade urbana trouxe consigo algumas limitações enquanto pesquisa acadêmica. É possível indicar limitações em todas as etapas do processo dos dispositivos: instalação, coleta e análise de dados e desinstalação dos dispositivos.

As principais limitações da pesquisa podem ser observadas na parte técnica do projeto. Mediante ao número de instalações realizadas e pertinentes aos dados capturados foi observado que muitos motoristas responsáveis pelas VANs desligavam os equipamentos de maneira proposital, atingindo sensivelmente a coleta efetiva de dados. Em outros veículos foi observado que houve queima de fontes de alimentação DC-DC em inúmeros ônibus da cidade, que pode ter ocorrido por surtos de tensão que extrapolam os limites da fonte, comportamento este que não foi demonstrado em instalações em VANs e em alguns ônibus, que operam sem falhas a quase 6 meses de forma ininterrupta.

Além disso, o fato de não ter uma área dedicada à reserva de ferramentas e equipamentos proporcionou uma dificuldade no processo de instalação nas garagens. No caso das vans, houve uma dificuldade de localizar os veículos, visto que muitos deles não se encontravam nas

garagens, impedindo a instalação ao mesmo tempo em todos os veículos, ocasionando numa busca aleatória das vans que estavam disponíveis pela cidade.

Além disso, outro fator limitante da pesquisa é a falta de literatura específica sobre o uso de dados emitidos de dispositivos inteligentes para a mobilidade urbana.

6.3 Recomendações para trabalhos futuros

O estudo presente buscou aprofundar o debate sobre a utilização de dispositivos inteligentes em cidades com desenvolvimento mais afluente acerca do debate de uso de dados, as chamadas cidades inteligentes. O aprofundamento nesse debate e na importância cada vez maior que o uso de novas tecnologias traz para a mobilidade urbana e para as cidades, de uma maneira geral, possibilitou a realização dessa pesquisa.

Assim, apesar das dificuldades existentes na pesquisa de campo por fatores externos, mas que influenciavam na coleta dos dispositivos e também e na pesquisa bibliográfica, pelo baixo nível de materiais específicos sobre dispositivos inteligentes e mobilidade urbana, houve um grande aproveitamento do tema e foi desenvolvido um debate coerente com a realidade do projeto no município em questão.

Dessa maneira, para continuidade da pesquisa e avanços nos conhecimentos acerca do objeto em questão, se faz necessário que haja uma análise na parte do hardware desses dispositivos, buscando cruzar informações que poderiam responder algumas lacunas que ficaram evidentes nessa pesquisa, como foi o caso de entender a condição física da bateria dos 21 dispositivos com o fato da mesma estar ou não em status de carregando no software.

7 Referências bibliográficas

ALIPIO, M.; BURES, M. “Current testing and performance evaluation methodologies of LoRa and LoRaWAN in IoT applications: Classification, issues, and future directives”, **Internet of Things**, v. 25, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.101053>. Acesso em: 06 jan. 2024.

ARAÚJO, M., 2013, **Modelo de avaliação do ciclo de vida para a gestão de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos no Brasil**. Tese de D.Sc., COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

ARFAN, M.; ERIKSSON, O.; WANG, Z.; SOAM, S. “Life cycle assessment and life cycle costing of hydrogen production from biowaste and biomass in Sweden”, **Energy Conversion and Management**, v. 291, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117262>. Acesso em: 08 nov. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura**, 2009.

BANDEKAR, P.; PUTMAN, B.; THOMA, G; MATLOCK, M. “Cradle-to-grave life cycle assessment of production and consumption of pulses in the United States”, **Journal of Environmental Management**, v. 302, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114062>. Acesso em: 07 ago. 2023.

BIYIK, C.; ABARESHI, A.; PAZ, A.; RUIZ, R.; BATTARRA, R.; ROGERS, C.; LIZARRAGA, C. “Smart Mobility Adoption: A Review of the Literature”, **Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity**. v. 7, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/joitmc7020146>. Acesso em 08 ago. 2023.

BOR, M.; ROEDING, U.; VOIGT, T.; ALONSO, J. “Do LoRa low-power wide-area networks scale?” In: **19th ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems**, pp. 59-67, Malta, 2016.

CAPDEVILA, I; ZARLENGA, M. “Smart city or smart citizens? The Barcelona case”, **Journal of Strategy and Management**, v. 8, n. 3, p. 266-282, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/JSMA-03-2015-0030>. Acesso em: 02 nov. 2023.

CHEN, G.; ZHANG, B. “Greenhouse gas emissions in China 2007: inventory and input-output analysis”, **Energy Policy**, v. 38, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.06.004>. Acesso em: 03 fev. 2024.

DING, S.; TUKKER, A.; WARD, H. “Opportunities and risks of internet of things (IoT) Technologies for circular business models: A literature review”, **Journal of Environmental Management**, v. 336, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117662>. Acesso em: 15 jan. 2024.

FELICIONI, L.; GASPARI, J.; VESELKA, J.; MALÍK, Z. “A comparative cradle-to-grave life approach for addressing construction design choices: An applicative case study for a

residential tower in Aalborg, Denmark”, **Energy & Buildings**, v. 298, 2023. Acesso em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113557>. Acesso em: 21 nov. 2023.

FILHO, J.; COELHO, A. “Cidades Inteligentes: Desafios e Tecnologias”, **Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação**, v. 8, n. 2, 2018.

FRANCO, D.; HIGUERO, M.; ZABALLA, E.; UNZILLA, J.; JACOB, E. “Quantitative measurement of link failure reaction time for devices with P4-programmable data planes”, **Telecommun Systems**, v. 85, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11235-023-01084-4>. Acesso em 02 set. 2024.

HAXHIBEQIRI, J.; POORTER, E.; MOERMAN, I; HOEBEKE, J. “A survey of LoRAWAN for IoT: from technology to application”, **Sensors**, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s18113995>. Acesso em 28 nov. 2024.

HEMMATI, A.; RAHMANI, A. “The ointernet of autonomous things applications: a taxonomy, Technologies, and future directions”, **Internet of Things**, v. 20, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.iot.2022.100635>. Acesso em: 22 jan. 2024.

HE, W.; CHEN, M. “Advancing Urban Life: a systematic review of emerging Technologies and artificial intelligence in urban design and planning”, **Buildings**, v. 14, 2024.

HONG, S.; YAO, F.; ZHANG, F.; DING, Y.; YANG, S. “LPWC: Long preamble wake-up communication protocol for a LoRa network”, **Internet of Things**, v. 22, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100787>. Acesso em: 16 nov. 2023.

HUI, C.; DAN, G.; ALAMRI, S; TOGHRAIE, D. “Greening smart cities: An investigation of the integration of urban natural resources and smart city tchnologies for promoting environmental sustainability”, **Sustainable Cities and Society**, v. 99, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104985>. Acesso em: 19 jan. 2024.

HUANG, D.; ZHANG, G.; YI, J.; CHENG, M.; LAI, C.; XU, P.; ZHANG, C.; LIU, Y.; ZHOU, C.; XUE, W.; WANG, R.; LJ, Z.; CHEN, S. “Progress and challenges of metal-organic frameworks-based materials for SR-AOPs applications in water treatment”, **Chemosphere**, v. 263, 2021. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127672>. Acesso em: 21 jan. 2024.

JOSBERT, N.; WEI, M.; WANG, P. “Industrial IoT regulated by software-defined networking platform for fast and dynamic fault tolerance application”, **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 135, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2024.102963>. Acesso em: 02 set. 2024.

LAI, C.; JIA, Y.; DONG, Z.; WANG, D.; TAO, Y.; LAI, Q.; WONG, R.; ZOBAA, A.; WU, R.; LAI, L. “A review of technical standards for smart cities”, **Clean Technol**, v. 2, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2571-8797/2/3/19>. Acesso em: 01 nov. 2023.

LEIVA, R.; MEZA, L.; ARAYA, M.; IRIARTE, A.; IBARRA, L.; RENGEL, F. “A new method for eco-efficiency assessment using carbono footprint and network data envelopment analysis applied to a beekeeping case study”, **Journal of Cleaner Production**, v. 329, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129585>. Acesso em: 10 jan. 2024.

LONDON, B. **Ending the Depression Through Planned Obsolescence**. New York: Madison, 1932.

LÓPEZ, D.; FAROOQ, B. “A multi-layered blockchain framework for smart mobility data-markets”, **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 111, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.01.002>. Acesso em: 01 dez 2023.

LUSSIER, P; YU, C. “Applying IoT and deep learning for ECG data analysis.” **In: IEEE Global Conference on Artificial Intelligence and Internet of Things (GCAIoT)**, 2022. Disponível em: <http://doi.10.1109/GCAIoT57150.2022.10019169>. Acesso em: 14 jan. 2024.

MACKE, J.; CASAGRANDE, R.; SARATE, J.; SILVA, K. “Smart city and quality of life: Citizens’ perception in a Brazilian case study”, **Journal of Cleaner Production**, v. 182, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.078>. Acesso em: 02 nov. 2023.

MALMODIN, J.; LUDÉN, D. “The energy and carbono footprint of the global ICT and E&M sectors 2010-2015”, **Sustainability**, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su10093027>. Acesso em: 07 jan. 2024.

MANCINI, L.; SALA, S.; RECCHIONI, M.; BENINI, L.; GORALCZYK, M.; PENNINGTON, D. “Potential of life cycle assessment for supporting the management of critical raw materials”, **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 20, 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-014-0808-0>. Acesso em: 13 nov. 2023.

MARI, J.; GABILLON, A. “The MauMe network - A LoRa multi-hop collaborative protocol and low-cost implementation example”, **Computer standards & interfaces**, v. 86, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.csi.2023.103733>. Acesso em 08 fev. 2024.

MARTENDAL, H., 2023, **Sistemas de transportes inteligentes e sua relação com a mobilidade urbana sustentável: Proposta de framework para cidades brasileiras**. Dissertação, M.Sc., UFSC, Santa Catarina, SC, Brasil.

MENDONÇA, C.; ANDRADE, A. “Uso da IoT, Big Data e Inteligência Artificial nas capacidades dinâmicas: um estudo comparativo entre cidades do Brasil e de Portugal”, **Informação. & Sociedade: estudos**, v. 29, n. 4, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/ies/article/view/47755>. Acesso em: 09 fev. 2024.

MENGUAL, E.; SALA, S. “Life cycle assessment support to environmental ambitions of EU policies and the sustainable development goals”, **Integrated Environmental Assessment and Management**, v. 18, 2022. Disponível em <https://doi.org/10.1002/ieam.4586>. Acesso em: 12 jan. 2024.

MERCIER, J.; CARRIER, M.; DUARTE, F.; RACICOT, F. “Policy tools for sustainable transport in three cities of the Americas: Seattle, Montreal and Curitiba”, **Transport Policy**, v. 50, p. 95-105, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2016.06.005>. Acesso em: 02 nov. 2023.

NUNES, I.; KOHLBECK, E.; BEUREN, F.; FAGUNDES, A.; PEREIRA, D. “Life cycle analysis of electronic products for a product-service system”, **Journal of Cleaner Production**, v. 314, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127926>. Acesso em: 04 abr. 2024.

OSORIO, A.; CALLE, M.; SOTO, J.; BECERRA, J. “Routing in LoRa for smart cities: a gossip study”, **Future generation computer systems**, v. 136, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.future.2022.05.028>. Acesso em: 12 abr. 2024.

OSORIO, A. CALLE, M. SOTO, J. BECERRA, J. “Routing in LoRaWAN: overview and challenges”, In: **IEEE Communications Magazine**, v. 58. 2020.

PETÄJÄJÄRVI, J.; MIKHAYLOV, K.; PETTISSALO, M.; JANHUNEN, J.; LINATTI, J. “Performance of a low-power wide-area network based on LoRa technology: Doppler robustness, scalability, and coverage”, **International Journal Of Distributed Sensor Networks**. v. 13, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1550147717699412>. Acesso em: 7 jan. 2024.

PINTO, A., 2021, **Economia circular e análise de ciclo de vida: estudo de casos na indústria têxtil**. 107 f. Dissertação de M.Sc., ISEP, Porto, Portugal.

PIRSON, T.; BOL, D. “Assessing the embodied carbon footprint of IoT edge devices with a bottom-up life-cycle approach”, **Journal of Cleaner Production**, v. 322, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128966>. Acesso em: 07 jan. 2024.

PRATA, M. “As pedras da memória: patrimônio urbano e cultural em Campos dos Goytacazes”, **Patrimônio e Memória**, v. 16, n. 2, p. 444-468, 2020. Disponível em: <http://pem.assis.unesp.br>. Acesso em: 06 nov. 2023.

PREFEITURA DE CAMPOS DOS GOYTACAZES. **Projeto de Mobilidade Urbana**. Disponível em: <https://www.campos.rj.gov.br/>. Acesso em: 20 jan. 2024.

PREFEITURA DO RIO. **InvestRio**, 2021. Disponível em: <https://www.invest.rio/pt>. Acesso em: 20 jan. 2024.

PROGRAMA CIDADES SUSTENTÁVEIS. Plano de Metas. Disponível em: cidadessustentaveis.org.br/pagina/plano-de-metas. Acesso em 12 ago. 2024.

REIA, J.; CRUZ, L. “Smart cities in Brazil: connections between corporate power, rights, and civic engagement”, **Cadernos Metrópole**. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2023-5705>. Acesso em: 03 dez. 2023.

REIA, J.; CRUZ, L. “Smart cities no Brasil: regulação, tecnologia e direitos”, **Casa do Direito**, 2021.

REIS, M.; ANDRADE, P.; SANTOS, M.; LIMA, A.; PAIXÃO, A. “Smart Cities: como o conceito de cidades inteligentes pode melhorar a mobilidade urbana na cidade do Rio de Janeiro”, In: **XIX Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha**, Rio de Janeiro, 2019.

RELATÓRIO RL-004-2821-000-PH-001, *Phygitall*, 2023.

ROCHA, L.; BRUSCHI, S.; SOUZA, P.; UEYAMA, J.; SANTOS, A.; BARBOSA, J. “Performance analysis of a vehicular ad hoc network using LoRa technology and IoT devices in Amazon Rivers”, **Ad Hoc Networks**, v. 152, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2023.103301>. Acesso em: 15 jan. 2024.

RODRIGUES, W.; SANTANA, W. “Análise econômica de sistemas de gestão de resíduos sólidos urbanos: o caso da coleta de lixo seletiva em Palmas, TO”, **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 4, n. 2, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.7213/urbe.7402>. Acesso em: 03 jul. 2023.

SALA, S.; FARIOLI, F.; ZAMAGNI, A. “Life cycle sustainability assessment in the context of sustainability Science progress (part 2)”, **International Journal Life Cycle Assessment**, v. 18, p. 1686-1697, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0509-5>. Acesso em: 08 nov. 2023.

SANTOS, L.; BRUSCHI, S.; SOUZA, P.; UEYAMA, J.; SANTOS, A.; BARBOSA, J. “Performance analysis of a vehicular ad hoc network using LoRa technology and IoT devices in Amazon Rivers”, **Ad Hoc networks**, v. 152, 2023. Acesso em: <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2023.103301>. Acesso em: 16 nov. 2023.

SILVA, I.; JESUS, D. “El impacto del avance del internet de las cosas em Brasil”, **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 12, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n12-606>. Acesso em: 02 mar. 2024.

SILVEIRA, S. “Externalidades negativas: as abordagens neoclássicas e institucionalista”, **Revista da FAE**, v. 9, n. 2, 2016. Disponível em: <https://revistafae.fae.edu/revistafae/article/view/361/248>. Acesso em: 31 jun. 2023.

SOUZA, J.; TERRA, D. “Rio de Janeiro: rumo a uma nova região metropolitana”, **Caderno Metropolitano**, v. 19, n. 40, p. 817-840, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/2236-9996.2017-4006>. Acesso em: 06 nov. 2023.

SPICER, Z.; GOODMAN, N.; WOLFE, D. “How ‘smart’ are smart cities? Resident attitudes towards smart city design”, **Cities**, v. 141, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104442>. Acesso em: 24 out. 2023.

SWARNA, S.; HOSSAIN, K.; MEHTA, Y.; BERNIER, A. “Climate change adaptation strategies for Canadian asphalt pavements”, **Journal of Cleaner**, 2022.

TAVARES, S., 2006, **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. 225 f. Tese de D.Sc., UFSC, Santa Catarina, SC, Brasil.

TOMASZEWSKA, E.; FLOREA, A. “Urban smart mobility in the scientific literature – Bibliometric analysis”, **Engineering Management in Production and Services**, v. 10, 2018.

TRIANAFYLLOU, A.; ZORBAS, D.; SARIGIANNIDIS, P. “Time-slotted LoRa MAC with variable payload support”, **Computer Communications**, v. 193, 2022.

TURJMAN, F.; ABUJUBBEH, M. “IoT-enabled smart grid via SM: an overview”, **Future generation computer systems**, v. 96, 2019.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – UNEP. Emissions Gap Report 2020, 2020.

WEISS, M.; BERNARDES, R.; CONSONI, F. “Cidades inteligentes: casos e perspectivas para as cidades brasileiras”, **Revista Tecnológica da Fatec Americana**, v. 5, n. 1, 2017. Disponível em: <https://www.fatec.edu.br/revista/index.php/RTecFatecAM/article/view/137>. Acesso em: 05 nov. 2023.

ZENG, X.; EASA, D.; YANG, Z.; JI, T.; JIANG, Z. “Life-cycle sustainability assessment of pavement maintenance alternatives: methodology and case study”, **Journal of Cleaner Production**, 2019. Disponível em: <https://doi.10.1016/j.clepro.2018.12.227>. Acesso em 14 jan. 2024.

ZYRIANOFF, I.; HEIDEKER, A.; OTTOLINI, D.; KLEINSCHMIDT, J. e KAMIENSKI, C. “Impactos de LoRaWAN no desempenho de plataformas de IoT baseadas em nuvem e névoa computacional”, In: **Workshop em clouds e aplicações (WCGA)**, pp. 43-56, v. 17, 2019.