

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO  
Programa de Pós-Graduação em  
Computação Aplicada

Dissertação de Mestrado

**DESENVOLVIMENTO DE UM  
SISTEMA DE ALERTAS PARA  
TELEMETRIA EM DISPOSITIVOS  
LPWAN**

MATHEUS MAROSO DA SILVA



**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E GEOCIÊNCIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO APLICADA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE  
ALERTAS PARA TELEMETRIA EM  
DISPOSITIVOS LPWAN**

**Matheus Maroso Da Silva**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Computação Aplicada na Universidade de Passo Fundo.

**Orientador: Prof. Roberto dos Santos Rabello**

Passo Fundo  
2021

CIP – Catalogação na Publicação

---

S586d Silva, Matheus Maroso da  
Desenvolvimento de um sistema de alertas para  
telemetria em dispositivos LPWAN [recurso eletrônico] /  
Matheus Maroso da Silva. – 2021  
13 MB ; PDF.

Orientador: Prof. Dr. Roberto dos Santos Rabello.  
Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) –  
Universidade de Passo Fundo, 2021.

1. Arquitetura de computador. 2. Aplicativos móveis.  
3. Protocolo LoRaWAN. 4. Monitoramento. 5. *Smart  
Campus*. 6. Telemetria. I. Rabello, Roberto dos Santos,  
orientador. II. Título.

CDU: 004.41


---

Catalogação: Bibliotecária Jucelei Rodrigues Domingues - CRB 10/1569


## ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DO ACADÊMICO

### MATHEUS MAROSO DA SILVA

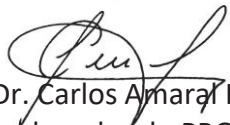
Aos vinte e nove dias do mês de março do ano de dois mil e vinte e um, às 14 horas, realizou-se, de forma on-line, por meio de videoconferência, a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso “Desenvolvimento de um Sistema de Alertas para Telemetria em Dispositivos LPWAN”, de autoria de Matheus Maroso da Silva, acadêmico do Curso de Mestrado em Computação Aplicada do Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada – PPGCA. Segundo as informações prestadas pelo Conselho de Pós-Graduação e constantes nos arquivos da Secretaria do PPGCA, o aluno preencheu os requisitos necessários para submeter seu trabalho à avaliação. A banca examinadora foi composta pelos doutores Roberto dos Santos Rabello (Orientador), Marcelo Trindade Rebonatto (UPF) e Maurício de Campos (UNIJUÍ). Concluídos os trabalhos de apresentação e arguição, a banca examinadora considerou o candidato **APROVADO**. Foi concedido o prazo de até quarenta e cinco (45) dias, conforme Regimento do PPGCA, para o acadêmico apresentar ao Conselho de Pós-Graduação o trabalho em sua redação definitiva, a fim de que sejam feitos os encaminhamentos necessários à emissão do Diploma de Mestre em Computação Aplicada. Para constar, foi lavrada a presente ata, que vai assinada pelos membros da banca examinadora e pela Coordenação do PPGCA.



Prof. Dr. Roberto dos Santos Rabello – UPF  
Presidente da Banca Examinadora  
(Orientador)

p.p.   
Prof. Dr. Marcelo Trindade Rebonatto – UPF  
(Avaliador Interno)

p.p.   
Prof. Dr. Maurício de Campos – UNIJUÍ  
(Avaliador Externo)



Prof. Dr. Carlos Amaral Hölbig  
Coordenador do PPGCA

“Epígrafe: Uma das coisas mais valiosas que alguém pode aprender na vida é a arte de pôr em prática os conhecimentos e as experiências dos outros.”

**(Napoleon Hill)**

# DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE ALERTAS PARA TELEMETRIA EM DISPOSITIVOS LPWAN

## RESUMO

O tema sobre cidades inteligentes é hoje alvo de vários estudos tanto que é possível encontrar milhares de artigos, publicações e livros a respeito do assunto. Uma tecnologia que se destaca neste meio é a LoRaWAN, ela permite o envio de dados via ondas de rádio, isto por sua vez faz com que as mensagens sejam enviadas a distâncias muito grandes normalmente entre 3 a 5 km, além de possuir um baixo consumo de energia e trabalhar em uma faixa que quase não possui interferência de outros dispositivos. Estudando trabalhos realizados anteriormente observou-se que havia uma demanda por sensoriamento interno dos dispositivos e plataformas ou propriamente dito a telemetria dos mesmos, visando solucionar essa demanda é que surgiu a idealização e realização deste empreendimento, que envolve o desenvolvimento de um método de telemetria através de aplicação web e notificação por meio de aplicativo móvel de dispositivos LoRa, que apresentou resultados eficientes e alcançou os objetivos esperados.

Palavras-Chave: LoRaWAN, Monitoramento, Smart Campus.

# **DEVELOPMENT OF A TELEMETRY ALERT SYSTEM ON LPWAN DEVICES**

## **ABSTRACT**

The topic of smart cities is now the subject of several studies so much so that it is possible to find thousands of articles, publications and books on of the subject. A technology that stands out in this environment is LoRaWAN, it allows the sending of data via radio waves, so the messages can be sent over very long distances, usually between 3 to 5km, in addition to having a low consumption of power and work in a range that has almost no interference from other devices. Studying previous work, it was observed that there was a demand for internal sensing of the devices and platforms or the telemetry itself, in order to solve this demand, the idea and realization of this enterprise emerged, which involves the development of a telemetry method through of web application and notification through mobile application of LoRa devices, which presented efficient results and achieved the expected objectives.

Keywords: LoRaWAN, Monitoring, Smart Campus.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Cidades Inteligentes e Humanas - Elementos Chave . . . . .	23
Figura 2.	IoT e a Convergência de Três Visões Diferentes . . . . .	26
Figura 3.	Gráfico de Bilhões de Dispositivos Conectados por Ano . . . . .	27
Figura 4.	Sistema de Arquitetura LoRaWAN . . . . .	30
Figura 5.	Arquitetura <i>The Things Network</i> [14] . . . . .	32
Figura 6.	Painel Balena . . . . .	33
Figura 7.	Fluxo de Atividades . . . . .	41
Figura 8.	Módulos Desenvolvidos por Souza[2] . . . . .	42
Figura 9.	Arquitetura Desenvolvida por Manchini . . . . .	43
Figura 10.	Arquitetura Desenvolvida por Rodrigues . . . . .	43
Figura 11.	Banco de Dados InfluxDB . . . . .	46
Figura 12.	Arquitetura LPWAN Desenvolvida . . . . .	47
Figura 13.	<i>Bashboard</i> Desenvolvido no Grafana . . . . .	50
Figura 14.	<i>Bashboard</i> em Modo de Erro Geral . . . . .	50
Figura 15.	Criação Alertas Grafana . . . . .	51
Figura 16.	Opções de Plataformas para Envio de Notificações . . . . .	51
Figura 17.	Configurações Telegram - Grafana . . . . .	52
Figura 18.	Teste de Comunicação Grafana - Telegram . . . . .	52
Figura 19.	Aviso de Falha de Sensor no Telegram . . . . .	53
Figura 20.	NodeMCU ESP32 WiFi e Bluetooth com Suporte para Bateria 18650 e Gerenciador de Carga . . . . .	53
Figura 21.	Leitura de Tensão Realizado Pelo ESP32 . . . . .	54
Figura 22.	Servidor e Gateway Raspberry Pi Com ESP32 . . . . .	55
Figura 23.	Mensagens de Alerta do Servidor e do Gateway . . . . .	55
Figura 24.	Mensagem de Resolução do Problema no Sensor . . . . .	55
Figura 25.	Isolamento do Sensor de CO . . . . .	57
Figura 26.	Erro Detectado no Sensor de CO . . . . .	57
Figura 27.	Alerta de Erro Detectado no Sensor de CO . . . . .	57
Figura 28.	Correção Realizada no Sensor de CO . . . . .	58
Figura 29.	Notificação de Normalização do Sensor de CO . . . . .	58
Figura 30.	Isolamento do Sensor de NO2 . . . . .	59



Figura 31.	Erro Detectado no Sensor de NO2 . . . . .	59
Figura 32.	Status de Mensagens do Sensor de NO2 . . . . .	59
Figura 33.	Erro Detectado nos Sensores de Temperatura e Umidade . . . . .	60
Figura 34.	Alerta de Erro Detectado nos Sensores de Temperatura e Umidade	60
Figura 35.	Correção Realizada nos Sensores de Temperatura e Umidade . . .	61
Figura 36.	Notificação de Normalização dos Sensores de Temperatura e Umidade . . . . .	61
Figura 37.	. . . . .	62
Figura 38.	Arquitetura LPWAN Desenvolvida . . . . .	63
Figura 39.	Gateway e Servidor . . . . .	63
Figura 40.	Dispositivo Coletor de Dados . . . . .	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Comparação entre os Dispositivos LPWAN . . . . .	29
Tabela 2.	Termos De Pesquisa Para Identificar Os Estudos Relacionados Sobre LoRa . . . . .	36
Tabela 3.	Estudos Seleccionados na Base de Dados IEEE . . . . .	37
Tabela 4.	Estudos Seleccionados na Base de Dados MDPI . . . . .	37
Tabela 5.	Estudo Seleccionado na Base de Dados Spring . . . . .	37
Tabela 6.	Preço de Compra Gateway Dólar / Real . . . . .	45
Tabela 7.	Comparação entre WhatsApp e Telegram . . . . .	48

## LISTA DE SIGLAS

ACM – *Association for Computing Machinery*  
ADR – *Adaptive Data Rate*  
API – *Application Programming Interface*  
AS – *Application Server*  
CLI – *Command-Line Interface*  
CO – *Monóxido de Carbono*  
CSC – *Connected Smart Cities*  
ED – *End Device*  
EPC – *Electronic Product Code*  
G-LAB – *Global Entrepreneurship Lab*  
GW – *Gateway*  
IBM – *International Business Machines*  
IEEE – *Institute of Electrical and Electronic Engineers*  
IDC – *International Data Corporation*  
IOT – *Internet of Things*  
ISM – *Industrial Scientific and Medical*  
LPWAN – *Low Power Wide Area Network*  
M2M – *Machine to Machine*  
MEMS – *Micro-Electro-Mechanical Systems*  
MIT – *Massachusetts Institute of Technology*  
NFC – *Near Field Communication*  
NO<sub>2</sub> – *Dióxido de Nitrogênio*  
NS – *Network Server*  
ONU – *Organização das Nações Unidas*  
PIB – *Produto Interno Bruto*  
RFID – *Radio Frequency Identification*  
SDK – *Software Development Kit*  
SO<sub>2</sub> – *Dióxido de Enxofre*  
TIC – *Tecnologia da Informação e Comunicação*  
TTN – *The Things Network*  
UIT – *União Internacional de Telecomunicações*

WSN – *Wireless Sensor Network*

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>21</b>
2.1	CIDADES INTELIGENTES .....	21
2.2	SMART CAMPUS .....	23
2.3	INTERNET DAS COISAS .....	25
2.4	LPWAN .....	28
2.4.1	<b>LoRaWAN</b> .....	29
2.5	CONSTRUÇÃO DA ARQUITETURA LORA .....	31
2.5.1	<b>The Things Network</b> .....	31
2.5.2	<b>Balena</b> .....	33
2.5.3	<b>NodeRED</b> .....	33
2.5.4	<b>InfluxDB</b> .....	34
2.6	TELEMETRIA .....	34
2.7	REVISÃO SISTEMÁTICA .....	35
2.8	TRABALHOS RELACIONADOS .....	36
2.8.1	<b>Smart Air Quality Monitoring System with LoRaWAN</b> .....	37
2.8.2	<b>Solutions for SmartCities: proposal of a monitoring system of air quality based on a LoRaWAN network with low-cost sensors</b> .....	38
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>41</b>
3.1	ANÁLISE DA ARQUITETURA E HARDWARE EXISTENTE .....	42
3.2	IDENTIFICAÇÃO DE MELHORIAS .....	44
3.3	ESTUDO DE TECNOLOGIAS E MUDANÇAS DA ARQUITETURA LPWAN .	44
3.4	DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO E ALERTAS	47
3.4.1	<b>Grafana</b> .....	47
3.4.2	<b>Telegram</b> .....	48
3.4.3	<b>Sistema de Monitoramento e Alertas</b> .....	49
3.5	TESTE E VERIFICAÇÃO .....	56
3.6	ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS .....	56
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>67</b>



## 1. INTRODUÇÃO

O conceito de Cidade Inteligente é recente e, apesar de sua popularidade, ainda não conta com uma definição unificada e precisa. Existe um maior consenso que engloba a eficiência dos processos urbanos, em geral se referindo ao uso de recursos naturais e financeiros, e à provisão de serviços à população, por meio da integração da tecnologia aos processos e territórios da cidade [1].

Uma das tecnologias que está se destacando neste conceito é a LPWAN que trabalha com envio de dados de longa distância e detém um consumo de energia reduzido, o que desperta interesse em sua utilização.

Contudo, o desenvolvimento de suas aplicações ainda está no meio acadêmico e a pouco iniciou-se no setor industrial, pode-se observar tal fato devido a escassez de publicações a respeito de sua utilização, tendo seu início datado no ano de 2016, tal carência de trabalhos no assunto torna a sua pesquisa e implementação mais restrita, além disso é notado uma falta de projetos que visam a telemetria dos próprios dispositivos.

Os testes e validações de tecnologias novas com foco em cidades inteligentes se dá por aplicação em Campus Inteligentes, que são universidades e locais de pesquisa onde é possível simular um município de pequeno porte, facilitando a instalação, manutenção e atualização de sistemas até que os mesmos estejam atendendo a todos os requisitos necessários e possam assim ser implementados em centros urbanos.

É importante citar junto com estes conceitos de Cidades Inteligentes, *Smart Campus* e LPWAN os trabalhos realizados por Souza [2] e Rodrigues [3]. O trabalho de Souza [2] intitulado de "Uma arquitetura LPWAN de custo acessível para cidades inteligentes" visou a criação e implementação de uma rede de comunicação LoRa onde eram coletados dados de temperatura, umidade do ar, além de dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e monóxido de carbono (CO), todos relacionados diretamente com as emissões veiculares.

Já por sua vez o trabalho de Rodrigues [3] intitulado "Um aplicativo para gerar recomendações e alertas sobre a qualidade do ar em um smart campus" buscou melhorar a arquitetura de software feita por Souza [2] e como o próprio nome já diz, implementar um aplicativo de recomendações e alertas sobre a qualidade do ar no *Smart Campus UPF*.

Trabalhos estes que contribuíram com o meio acadêmico além de servir de base para o atual projeto apresentado, visto que foram experienciados problemas a seu respeito. A falta de aviso quando algo acontecia com os dispositivos e ou o sistema acarretou em prejuízo tanto financeiros quanto em conhecimento para os acadêmicos, o que também se torna um problema da instituição, pois retarda estudos e publicações científicas, e melhorias no ambiente universitário.

Buscando contribuir para essa comunidade é que o foco deste trabalho se enquadra, desenvolvendo um sistema de monitoramento via aplicação web dos sensores e dos dispositivos LoRa que alerte através de aplicativo móvel sobre a perda e falha da entrega de dados realizando a telemetria desses dispositivos.

Esse incremento de conhecimento além de possuir uma demanda por experiências vividas é reforçado por artigos existentes constatando a falta de uma plataforma de telemetria e notificação para eventuais falhas.



## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica onde são introduzidos os assuntos pertinentes a pesquisa, abordando os temas de cidades inteligentes, campus inteligente, internet das coisas, LPWAN, arquitetura LPWAN, telemetria, revisão sistemática e trabalhos relacionados.

### 2.1 CIDADES INTELIGENTES

Em meados da década de 90, com o protocolo de Kyoto, teve-se o primeiro debate em torno das Cidades Inteligentes, como decorrência do movimento conhecido por crescimento inteligente. Já o início dos anos 2000 o termo Cidade Inteligente (do inglês, "*Smart City*") apareceu em diversos trabalhos científicos, ainda é dito que uma cidade digital segue políticas digitais para suprir serviços eletrônicos aos cidadãos através do uso da Web, como Computação em Nuvem e Internet das Coisas. Uma cidade inteligente segue estratégias sustentáveis onde busca-se com inovações utilizar seus próprios recursos naturais, por inovações podemos trazer como exemplo os diversos dispositivos IoT que são desenvolvidos para gerar informações úteis a respeito do consumo de diversos ativos da região onde são instalados. Há ainda o termo cidade inteligente baseada na digital que segue estratégias sustentáveis usando tecnologias aplicadas a cidades digitais [1].

Atualmente há o CSC (*Connected Smart Cities*) que é um espaço onde acontece os eventos mais atuais a nível de Brasil sobre Cidades Inteligentes, todo ano há novas colocações a respeito das cidades mais inteligentes, mais informações e mais diretrizes a respeito do assunto [4].

Uma outra visão do conceito de Cidades Inteligentes mostra os diferentes termos englobados, e os separa em três dimensões [1]:

- Dimensão Tecnológica: baseada no uso de infraestruturas, especialmente as de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), para melhorar e transformar a vida e o trabalho dentro de uma cidade de forma relevante, que engloba os conceitos de Cidade Digital, Cidade Virtual, Cidade da Informação e Cidade Ubíqua;
- Dimensão Humana: baseada em pessoas, educação, aprendizagem e conhecimento (fatores chave para uma cidade inteligente), que engloba os conceitos de Cidade de Aprendizagem e Cidade do Conhecimento;
- Dimensão Institucional: baseada na governança e na política, pois a cooperação entre as partes interessadas e os governos institucionais é muito importante para projetar

e implementar iniciativas inteligentes, e que engloba os conceitos de Comunidade Inteligente, Cidade Sustentável e Cidade Verde.

Para que o conceito de Cidade Inteligente seja implementado, é importante que as três dimensões sejam consideradas no projeto [1].

Outro modelo de conceito de Cidade Inteligente é baseado em seis principais dimensões, que são: economia inteligente, mobilidade inteligente, ambiente inteligente, pessoas inteligentes, vida inteligente e governança inteligente. É dito também que uma cidade é inteligente quando seus investimentos em capital humano e social, em transporte urbano e infraestrutura de TIC alimentam o desenvolvimento econômico sustentável e uma melhor qualidade de vida, com sábio gerenciamento de recursos naturais, através do governo participativo [1].

Contudo, indicar alguma iniciativa como pertencente a uma única dimensão é difícil, devido a possíveis intersecções entre as dimensões. Como exemplo, um novo sistema de transporte público baseado em baixa emissão de carbono impacta tanto em mobilidade quanto em ambiente inteligente. Mais difícil ainda é definir projetos que não impactam em vida inteligente, já que essa única dimensão engloba todos os benefícios do conceito de iniciativas inteligentes para uma cidade [1].

É observado que o conceito de Cidade Inteligente é recente e, apesar de sua popularidade, ainda não conta com uma definição unificada e precisa. Existe um maior consenso em torno da eficiência dos processos urbanos, em geral se referindo ao uso de recursos naturais e financeiros, e à provisão de serviços à população, por meio da integração da tecnologia aos processos e territórios da cidade [1].

Modelos genéricos de Cidades Inteligentes são impossíveis, pois deve-se procurar elaborar, desenvolver, salientar e explorar aquilo que é peculiar, singular a cada contexto urbano, ancorando todo esse processo em valores compartilhados na escala da comunidade. Ao mesmo tempo é necessário construir pontes entre as singularidades locais e os padrões estabelecidos em escala internacional, assim os municípios conseguem tirar proveito das economias de escala, e de experiências de sucessos obtidos em outras cidades do mundo. Os Living Labs são modelos de pontes que não desrespeitam e não desfazem aquilo que faz cada contexto urbano único e valioso, pois são um ecossistema de inovação aberta que integra processos de pesquisa em uma parceria público-privada [1].

Com intenção de incrementar a qualidade de vida nas cidades, o conceito de Cidade Inteligente deve ser embasado no uso consciente, racional e aberto de um grande volume de dados, gerados em tempo real, com confiabilidade de informações. Além de uma infraestrutura e visibilidade operacional, a Cidade Inteligente também demanda plena participação do cidadão, que deve ter acesso a programas de capacitação digital, política e urbanística, para que possa colaborar tanto na identificação de problemas e prioridades, como no desenho e no monitoramento das políticas e dos serviços públicos. Os esforços

em construir projetos, implementações, políticas públicas e indicadores para a Cidade Inteligente devem partir do ser humano, e chegar na tecnologia como o resultado do que se produziu nas comunidades e na sociedade civil, como valores, demandas e prioridades compartilhadas [1].

Na Figura 1, pode ser observado os elementos chaves mencionados até o momento sobre Cidades Inteligentes, nela existem três tipos de fatores que são, os fatores humanos, tecnológicos e institucionais, e cada um deles é de extrema importância para a conclusão desse objetivo [1].

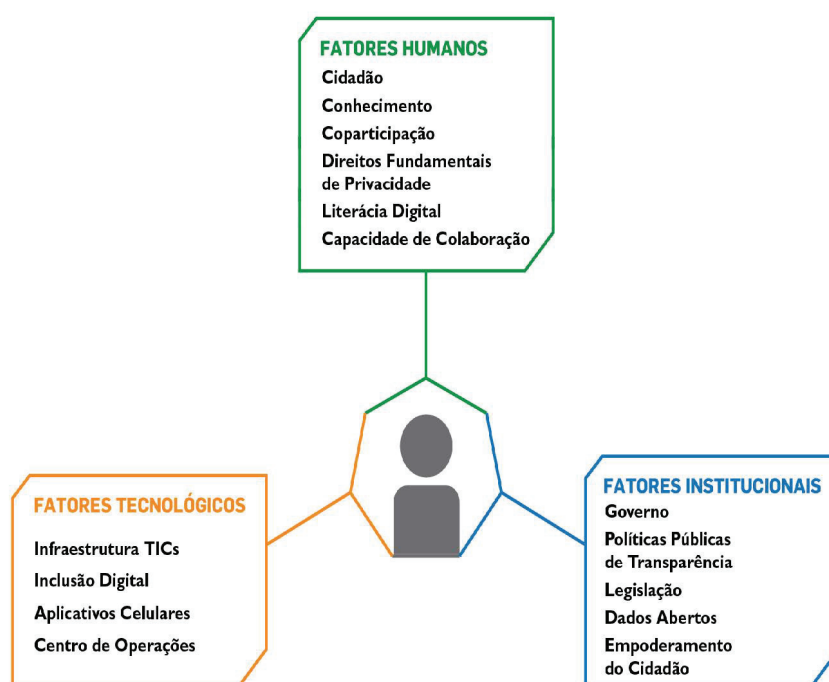


Figura 1. Cidades Inteligentes e Humanas - Elementos Chave [1]

## 2.2 SMART CAMPUS

A primeira coisa que deve-se saber a respeito de *Smart Campus* é que é uma marca registrada da Facens onde é utilizado o campus do Centro Universitário Facens para estudos e implementação reais aplicáveis aos conceitos de Smart Cities. Possuindo atuação multidisciplinar e integração com demais Centros de Inovação e departamentos da instituição, a fim de criar e manter um portfólio de soluções para as cidades, complexos e conglomerados de convivência humana, como shopping centers, condomínios, clubes e outros [5].

O projeto iniciou-se em 2014 com a colaboração do G-Lab – (*Global EntrepreneurshipLab*) do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (M.I.T.) o maior desafio enfren-

tado é o de fazer a integração dos dados disponibilizados por sensores, softwares e dispositivos de IoT oriundos de diversos setores (internos e externos) em um único *DashBoard* [5].

Além disso o *Smart Campus* possui como princípio fundamental a simulação do ambiente real de uma cidade, priorizando projetos que colaborem e que estejam alinhados com os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU [5].

Como um protótipo de uma pequena cidade, a construção de um Campus Inteligente (em inglês, "*Smart Campus*") junto a aplicações tecnológicas como a Internet das Coisas (em inglês, "*Internet of Things*", ou IoT) e *Big Data* possuem um papel importante na melhoria do ambiente de ensino das faculdades e universidades, melhorando a utilização de recursos de ensino e tornando a educação mais flexível. A avaliação de desempenho docente utiliza informações de ensino e interação entre professores e alunos, motivando os mesmos a melhorar a qualidade do ensino. A avaliação de desempenho do ensino no Campus Inteligente analisa em primeiro lugar as deficiências dos métodos de avaliação tradicionais e propõe a combinação destes métodos com tecnologias modernas, tornando assim o ensino mais eficiente [6].

A rede de internet de uma universidade deve ser rápida, forte e segura [7], pois as aplicações como, redes sociais, computação em nuvem, *Big Data*, tecnologia móvel e Internet das Coisas são algumas das tecnologias que servem como suporte da informatização educacional. O termo inteligente, no contexto de Campus Inteligente está na aplicação de IoT, onde há dispositivos na escola conectadas pelo meio físico e virtual gerando dados úteis que são armazenados e utilizados para gerenciar assuntos diários da universidade [6].

Os negócios baseados em *Big Data* educacional são a tecnologia chave para a construção de um Campus Inteligente. As tecnologias de realidade aumentada podem apresentar o estado completo do campus, portanto é necessário fornecer uma estrutura de serviço para tecnologias aberta e fornecer um suporte técnico completo. O modo de desenvolvimento de faculdades e universidade para Campus Inteligentes será pelo modo de construção no qual a escola faz o planejamento geral e as outras instituições técnicas participam. A infraestrutura da tecnologia da informação é a mais complicada, pois abrange o sistema de informação social e do campus, além do serviço de provedores, tudo isso para garantir a operação e manutenção da construção de um Campus Inteligente [6].

A forma de aplicação mais típica do Campus Inteligente é a aplicação na plataforma de ensino, que conecta professores e alunos, ajudando a enriquecer os recursos de aprendizagem dos alunos e melhorando o desempenho dos professores. A construção de um Campus Inteligente não é apenas uma tendência única, ele precisa ser estreitamente combinado com tecnologia e informação de recursos educacionais [7].

Pode-se citar como exemplo de implementação de um Campus Inteligente o instituto de pesquisa indiano que fez uso dos recursos de ensino da escola e melhorou a qualidade do mesmo, e a Universidade da Califórnia que realizou um controle inteligente das instalações do campus, tornando possível monitorar o seu ambiente [7].

A principal função de um Campus Inteligente é ser um laboratório para possíveis aplicações e construções que possam ser utilizados em uma escala municipal. Por se tratar de uma área acadêmica é possível estudar, fazer testes, cometer erros e validar hipóteses. Sua estrutura é importante porque grande parte das propostas de projetos para Cidades Inteligentes ainda estão em desenvolvimento, atualização e em fase de teste.

### 2.3 INTERNET DAS COISAS

O primeiro uso do termo Internet das Coisas foi proposto por Kevin Ashton em 1999 na otimização de uma cadeia de suprimentos, utilizando a radiofrequência (RFID, Radio Frequency Identification, em português Identificação por Radiofrequência) para realizar o rastreamento e monitoramento de ativos e inventários de negócios. Contudo o conceito de Internet das Coisas foi cunhado pela primeira vez e usado pelo MIT quando ligaram o RFID ao código eletrônico do produto (EPC) [8].

Atualmente, milhões de usuários no mundo estão conectados a internet, para enviar e ler e-mails, navegar em páginas da Web, ter acesso a serviços de comércio eletrônico, jogos e compartilhamento de experiências nas mídias sociais [9]. A difusão em larga escala da internet tem sido a força motriz de uma tendência emergente, que possibilita a comunicação entre máquinas, objetos inteligentes, animais e pessoas, chamada de Internet das Coisas (em inglês, "*Internet of Things*", ou IoT) criando um mundo altamente conectado, coletando e compartilhando dados, permitindo assim o desenvolvimento da automação, monitoramento e otimização de casas, cidades e indústrias [10]. IoT pode ser visto como um conceito que promete conectar tudo, todos e em todos os lugares para sempre. Uma das aplicações mais promissoras desta conectividade onipresente será a realidade aumentada [8].

Sua evolução anda de mãos dadas com o progresso das tecnologias de suporte endereçadas a comunicação sem fio, tais como RFID, NFC (*Near Field Communication*, em português Comunicação por Campo Próximo), sensores vestíveis (*Wearable*), redes de sensores sem fio (em inglês, "*Wireless Sensor Network*, ou WSNs), atuadores e dispositivos de máquina (em inglês, "*Machine To Machine*", ou M2M) [9].

A União Internacional de Telecomunicações (UIT), descreve IoT como uma infraestrutura global para as informações da sociedade, permitindo serviços avançados interconectando, por meio físico e virtual, as "coisas", com base no desenvolvimento de tecnologias de informação e comunicação. Ainda hoje, apesar da recomendação da UIT, a comunidade científica, as entidades de padronização e as empresas não concordam com o significado real de Internet das Coisas. A razão desta divergência é que IoT combina em um único paradigma três visões diferentes, visão orientada para a semântica, visão orientada para a internet e visão orientada para as coisas (Figura 2). A visão orientada para as coisas indica que cada objeto pode ser monitorado usando tecnologias difundidas. A visão orientada

para a internet enfatiza a capacidade dos objetos de interagir entre eles através da rede. A visão orientada para a semântica, está relacionada com a enorme quantidade de dados heterogêneos coletados por diversos sensores, esses dados precisam ser processados para superar os problemas de interoperabilidade. A fusão de visões leva a vários desafios, como a necessidade de sensores com altas características computacionais e baixo consumo de energia, o desenvolvimento de métodos para impedir ataques contra plataformas IoT e a proteção da privacidade do usuário e dos dados armazenados gerados pelos sensores [9].

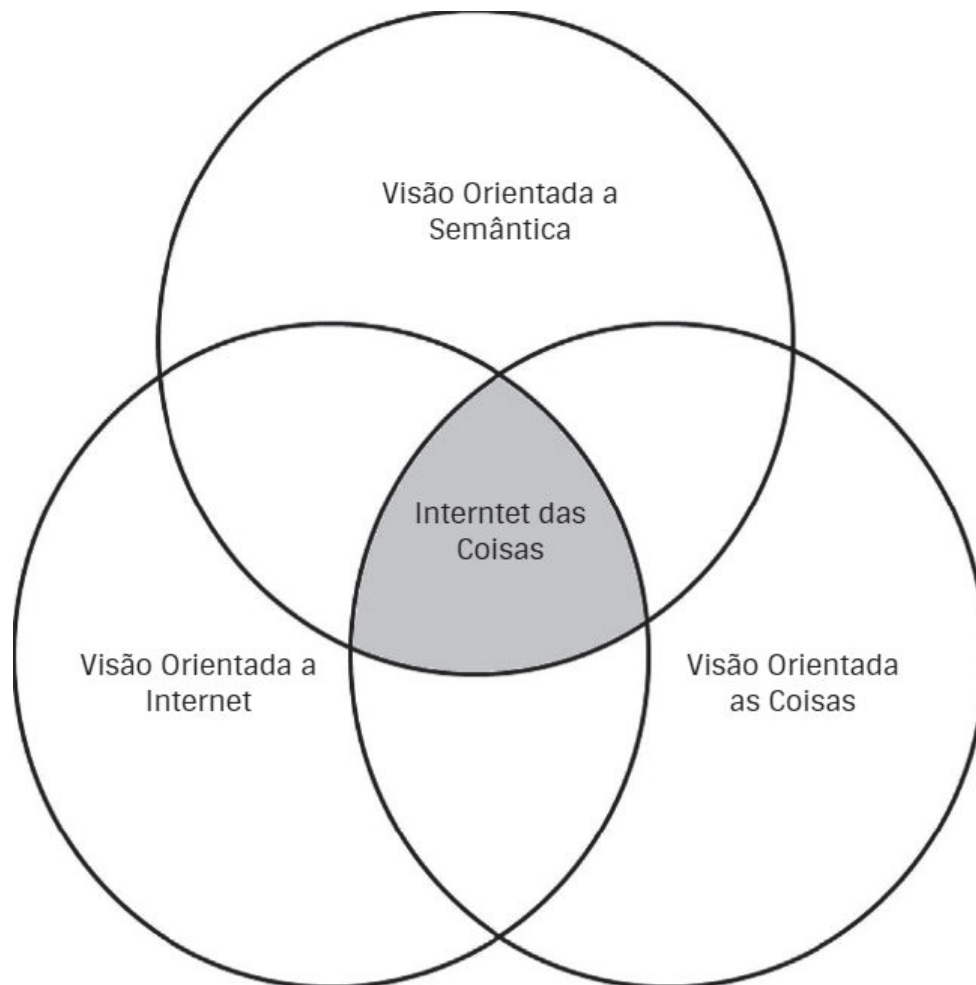


Figura 2. IoT e a Convergência de Três Visões Diferentes [9]

Em 2010, estimou-se que 50 milhões de 50 bilhões de máquinas foram conectadas, isto é apenas 1% com um potencial de crescimento de 99% no mercado de IoT. Para resolver essa lacuna dentro do mercado, as principais empresas de tecnologia da comunicação estão trabalhando com o conceito de IoT usando termos como Internet Industrial (GE), Planeta mais Inteligente (IBM), Internet de Tudo (CISCO) [8].

Segundo o site marroquino Statista em 2019 estavam conectados 7,74 bilhões de dispositivos IoT, em 2020 este número subiu para 8,74 bilhões, para o ano de 2021 é para ter aproximadamente 10,07 bilhões de dispositivos conectados no mundo todo, e a

previsão para 2030 é para aumentar para 25,44 bilhões de dispositivos, pode-se observar estas informações no gráfico apresentado na Figura 3 [11].

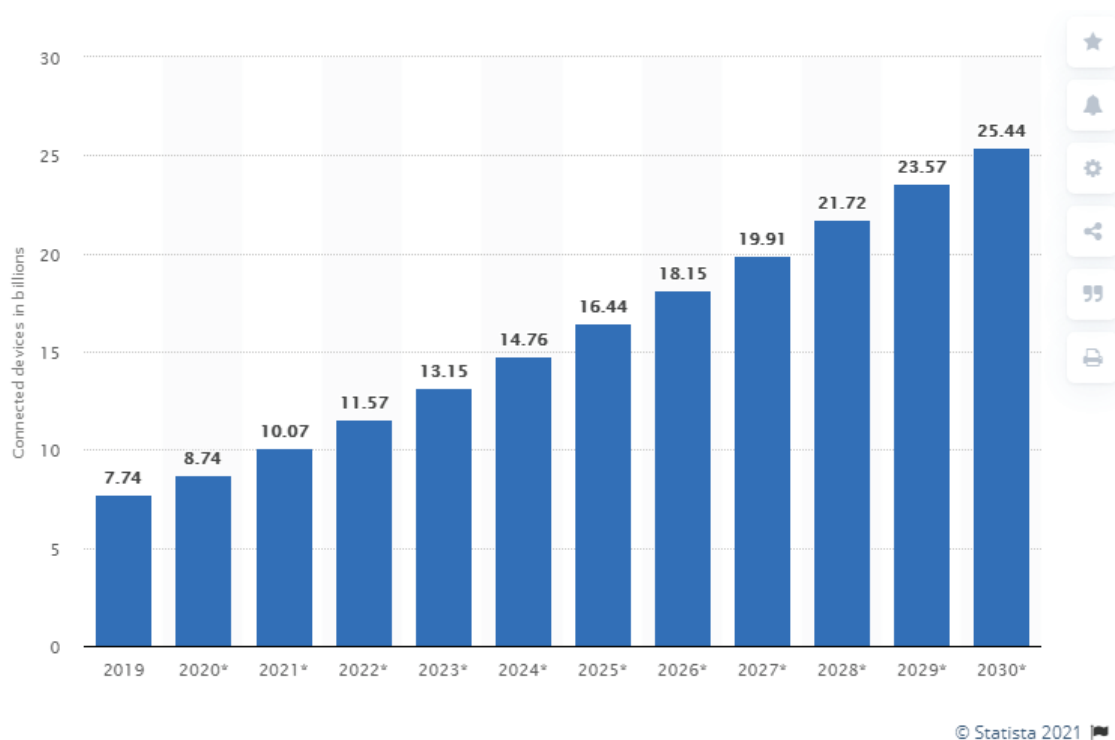


Figura 3. Gráfico de Bilhões de Dispositivos Conectados por Ano [11]

Esse montante de dispositivos abrangem diversas áreas como, na saúde, varejo, e-commerce, casas inteligentes e edifícios comerciais, transporte, agricultura, fabricação, energia e aplicações militares [8].

Em 2016 houve um grande movimento no mercado brasileiro na área de IoT, cujo objetivo era transformar as cidades brasileiras em espaços inteligentes. De acordo com a pesquisa realizada pela IDC, o mercado de IoT continuará crescendo acima do PIB brasileiro, podendo fechar como o sexto mais importante do mundo. O estudo trás ainda consigo as informações de que 130 milhões de dispositivos inteligentes estavam conectados no país, o que correspondia a quase metade das "coisas", conectadas na América Latina. A adoção da tecnologia era pequena tanto na América Latina quanto no Brasil. A pesquisa apontava que apenas 7% das empresas da região usavam IoT, e que 44% afirmavam ainda estar "observando e aprendendo" naquele ano [1].

Um dos principais facilitadores da revolução da IoT foi a evolução da microeletrônica (MEMS) que miniaturizaram os componentes de hardware como sensores, atuadores, microcontroladores, transceptores sem fio entre outros [8].

Há alguns tópicos que precisam ser levados em consideração quanto a revolução da IoT e são eles [8]:

- A conectividade é primordial;

- Integração e colaboração de dispositivos heterogêneos conectados por tecnologias diferentes em redes com fio e redes sem fio e executando uma gama de softwares de aplicações específicas;
- Escalabilidade além de milhões de dispositivos, onde soluções centralizadas se tornam gargalos;
- Agilidade em termos de adaptação e transições contínuas na configuração do dispositivo, implantação de um novo serviço e ambiente é fundamental;
- Problemas de segurança;
- Capacidade computacional;
- Tolerância a falhas;
- Consumo de energia;
- Tecnologia de detecção inteligente.

## 2.4 LPWAN

LPWAN (*Low Power Wide Area Network*, ou Rede de Área Ampla de Baixa Potência), é um dos protocolos de comunicação sem fio desenvolvidos para atender a demanda de IoT. Suas principais características são: baixo custo, longo alcance, baixo consumo de energia e escalabilidade, contudo possuem menores taxas de transferência e maior latência. Pode-se citar como exemplo de sistemas LPWAN: LoRaWAN, Sigfox, Ingenu e NarrowBand-IoT (NB-IoT) [10].

LoRaWAN, Sigfox e Ingenu são tecnologias que utilizam de bandas de frequências não licenciadas e são chamadas de tecnologias não baseadas em celulares enquanto a NB-IoT é uma tecnologia baseada em celular, esta por sua vez possui uma melhor qualidade de serviço em termos de taxa de transferência, latência e confiabilidade, mas tem custo mais elevado devido ao uso de espectro licenciado, e seu consumo de energia é maior diminuindo a vida útil das baterias [10].

LoRaWAN e Sigfox funcionam em bandas sub-GHz, que transmitem mais longe os dados do que 2,4 GHz adotada pela Ingenu. Vale resaltar que a Sigfox e a Ingenu são serviços de assinatura, ou seja, a cobertura, o gerenciamento de rede, software e hardware são fornecidos pelas empresas. A LoRaWAN por sua vez é livre de assinaturas e permite que um projetista de sistemas crie e gerencie a rede IoT de forma autônoma [10].

Na Tabela 1 é apresentado de forma visual uma comparação entre os dispositivos LPWAN.



Tabela 1. Comparação entre os Dispositivos LPWAN

	LoRaWAN	Sigfox	Ingenu	NB-IoT
Frequência não licenciada	Sim	Sim	Sim	Não
Bandas Sub-GHz	Sim	Sim	Não	Sim
Assinatura	Não	Sim	Sim	Sim
Autonomia	Sim	Não	Não	Não

### 2.4.1 LoRaWAN

LoRaWAN é um protocolo de rede LPWAN, projetado para conectar sem fio "coisas", operadas por baterias à Internet em redes regionais, nacionais ou globais, e tem como alvo os principais requisitos da Internet das Coisas, como serviço bidirecional de comunicação, segurança ponto a ponto (*end-to-end*), mobilidade e localização [12].

LoRaWAN é uma das tecnologias mais populares e bem sucedidas no espaço dos LPWANs. Ela consiste de uma pilha de protocolos especificada pela LoRa Alliance que opera na camada física de longo alcance (em inglês, "*Long Range*", LoRa) em bandas não licenciadas, que modula os sinais na banda ISM (*Industrial Scientific and Medical*) que são bandas reservadas internacionalmente para o desenvolvimento industrial, científico e médico, de sub-GHz usando uma técnica de espalhamento de espectro. Esta tecnologia conta com uma baixa taxa de dados, baixa complexidade, pode funcionar com diferentes classes operacionais para diversas aplicações, e pode fazer conexão de vários nós em um único gateway, tudo isto para fornecer um mecanismo de controle de acesso médio e habilitar os dispositivos finais (em inglês "*End-Devices*", ED) [13].

A arquitetura proposta pela LoRaWAN Alliance é apresentada na Figura 4, é utilizada uma topologia de rede em estrela, na qual um gateway transmite as mensagens entre um Servidor de Rede (em inglês "*Network Server*", NS) a um *End Device*. Estes End Devices usam uma comunicação LoRa para se comunicar com os Gateways (GW). Os gateways utilizam de uma rede IP (Ethernet, 3G, WiFi) para se comunicar com o servidor, e as informações do servidor são utilizadas nas aplicações [13].

A comunicação entre os dispositivos e os gateways é difundida em diferentes canais de frequência, e as taxas de transmissão de dados são determinadas de acordo com a faixa de comunicação e a duração da mensagem enviada. Este controle pode ser feito por uma infraestrutura de rede LoRaWAN, que seleciona a taxa de dados e o canal de utilização para cada dispositivo utilizando um esquema ADR (em inglês "*Adaptive Data Rate*", em português Taxa de Dados Adaptativa) [13].

Uma rede LoRaWAN consiste dos seguintes elementos [13]:

- *End-Device* (ED): é qualquer coisa que envie ou receba informação. Normalmente são sensores, detectores e atuadores, que são utilizados para executar o sensoriamento e o controle de lugares;

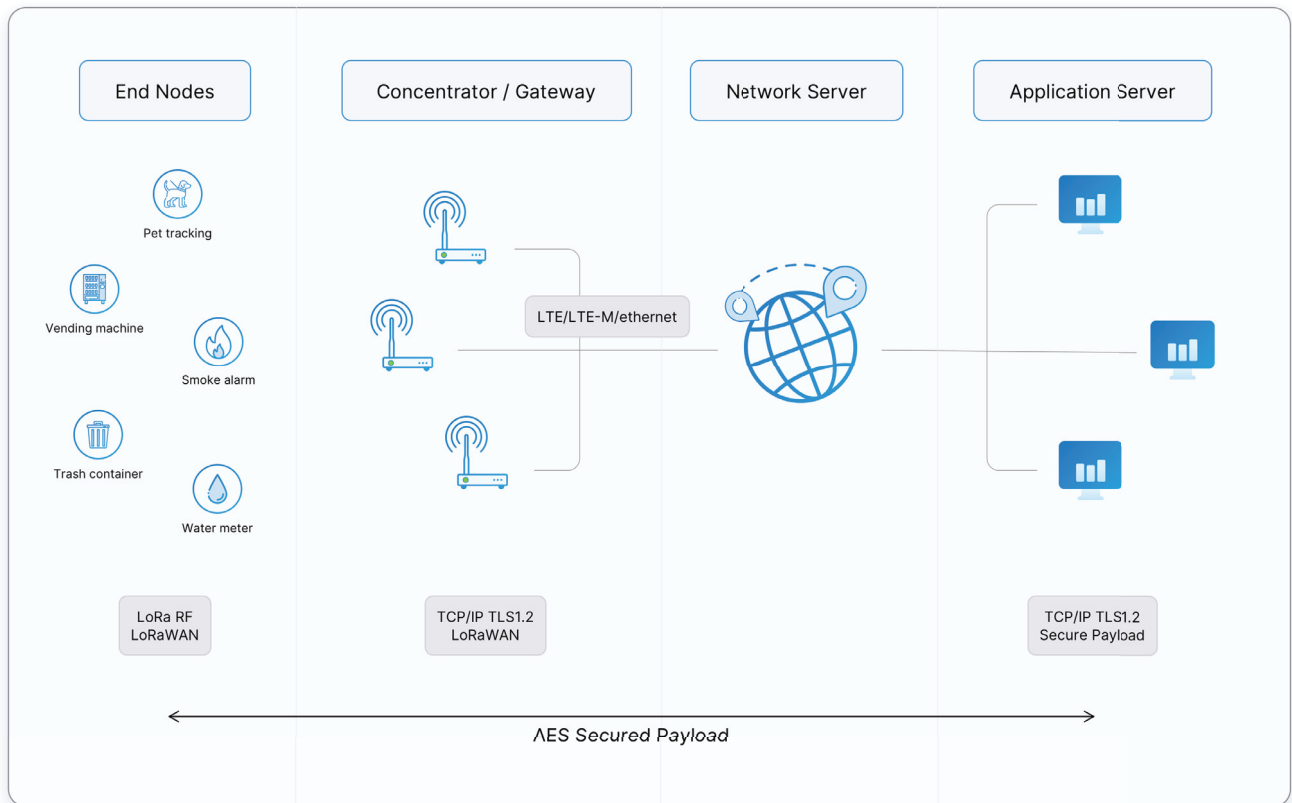


Figura 4. Sistema de Arquitetura LoRaWAN [13]

- **Gateway (GW):** também chamado de modem ou ponto de acesso. É usado para encaminhar mensagens dos EDs para o NS;
- **Network Server (NS):** é a parte mais inteligente da Rede LoRaWAN. É responsável por:
  - Monitorar o GW e os EDs;
  - Agregar os dados recebidos;
  - Encaminhar os dados recebidos para o servidor;
  - Remover mensagens duplicadas;
  - Selecionar um GW com maior intensidade de sinal;
  - Armazenar mensagens de downlinks até o ED acordar.
- **Application Server (AS):** representa o aplicativo desenvolvido pelo desenvolvedor ou por uma empresa, que analisa os dados recebidos do ED, aplicando uma ação dependendo da análise dos dados. Por exemplo, controla a temperatura de uma sala, se ela subir acima de 25°C é ligado o ar condicionado.

A LoRaWAN Alliance define três classes de End Device, são elas [13]:

- Classe A: EDs bidirecionais, é a classe mais eficiente no quesito de energia, pois o dispositivo permanece a maior parte do tempo dormindo, no modo sleeping;
- Classe B: EDs bidirecionais com espaço para recebimentos programados, executa a mesma tarefa da classe A, contudo seu consumo de bateria é um pouco maior, devido ao dispositivo receber mensagens em intervalos de tempo regulares, sincronizados com um sinalizador;
- Classe C: EDs bidirecionais com espaço de recepção máxima, nesta classe os dispositivos esperam continuamente por um dado de entrada, normalmente esta classe é utilizada para aplicativos em tempo real e são ligadas a energia, dispensando o uso de baterias, porque seu consumo energético é bem alto se comparado com as outras duas classes.

## 2.5 CONSTRUÇÃO DA ARQUITETURA LORA

Nesta sessão, são apresentados os objetos de estudo que vieram a ser utilizados para a construção da arquitetura do projeto, plataformas que conversassem entre si e que tivessem acesso gratuito.

### 2.5.1 The Things Network

O *The Things Network* (TTN) é uma plataforma e uma comunidade para compartilhamento de gateways e informações sobre a tecnologia LoRaWAN, sua visão é realizar as funções de roteamento de forma descentralizada e distribuída, possibilitando qualquer parte interessada de configurar sua própria rede e sua própria parte do back-end, permitindo que participem da comunidade global [14].

Uma rede típica de IoT requer gateways como ponte entre protocolos de rádio específicos e a Internet. Nos casos em que os próprios dispositivos suportam a pilha de IP, esses gateways precisam apenas encaminhar os pacotes para a rede. Os protocolos não IP, como LoRaWAN, requerem alguma forma de roteamento e processamento antes que as mensagens possam ser entregues a um aplicativo. O TTN está posicionada entre os gateways e os aplicativos e cuida dessas etapas de roteamento e processamento [14].

Para descentralizar a rede, ela foi dividida em vários componentes como: *Packet Forwarder, Gateway Connector, Bridge, Router, Broker, NetworkServer, Handler, Application Manager API e Data API*, como podemos observar na Figura 5 [14].

Os dispositivos transmitem mensagens LoraWAN que são recebidas pelos gateways estes por sua vez enviam as informações para o *back-end* (TTN) que está conectado

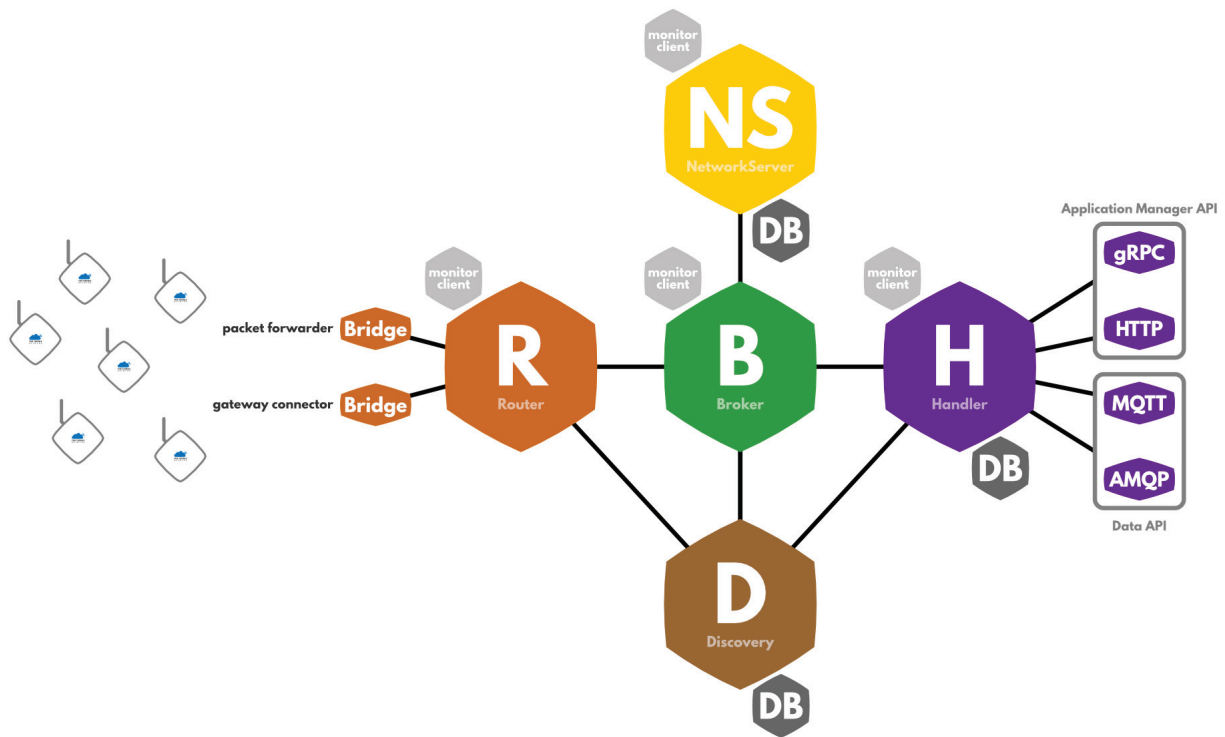


Figura 5. Arquitetura *The Things Network* [14]

um *Router* que é responsável por gerenciar o status do gateway e programar as transmissões. Cada *Router* está conectado a um ou mais *Brokers* estes que são a parte central da *The Things Network*, cuja responsabilidade é mapear um dispositivo para o aplicativo, encaminhar mensagens de *uplink* para o aplicativo correto e encaminhar mensagens de *downlink* para o roteador correto [14].

O *Network Server* é responsável por centralizar os dados, executar aplicativos e prestar serviços dentro da rede. Um *Handler* é responsável por lidar com os dados de um ou mais aplicativos além de ser o ponto onde os dados são criptografados ou descriptografados. Para fazer isso, ele se conecta a um *Broker* onde registra aplicativos e dispositivos. Por sua vez o *Discovery* é a chave para a arquitetura descentralizada da TTN, pois é onde os roteadores, corretores e manipuladores se encontram e é possível utilizá-los. [14].

O objetivo da *The Things Network* é ser muito flexível em termos de opções de implantação. A opção preferencial é conectar-se à rede da comunidade pública hospedada pela *The Things Network Foundation* ou de seus parceiros, contudo é possível implantar redes privadas, executando todos esses componentes em um ambiente próprio. Dessa forma, todos os dados permanecerão dentro do ambiente particular, havendo ainda a possibilidade de fazer uso do servidor de conta hospedado do TTN para autenticação e autorização [14].

## 2.5.2 Balena

O Balena foi desenvolvido para trazer um fluxo de trabalho de microsserviços em nuvem para o mundo dos dispositivos de ponta. Seu objetivo é tornar os aplicativos IoT tão fáceis de implantar quanto os aplicativos da Web [15].

Ele conta com um conjunto completo de ferramentas para construir, implantar e gerenciar frotas de dispositivos Linux conectados, fornecendo infraestrutura para os usuários, para que eles possam se concentrar no desenvolvimento de seus aplicativos, além disso a plataforma central *BalenaCloud*, pode abranger dispositivos, servidor e software [15].

As ferramentas são projetadas para funcionar juntas como uma plataforma, mas também podem ser escolhidos os componentes de que cada projeto necessita e adaptá-los ao seu caso de uso específico, pois sabe-se que não existem dois projetos de IoT iguais e que não existe uma solução única para todos [15].

Todos os seus dispositivos e seus serviços em execução podem ser gerenciados, monitorados e atualizados por meio do painel da web (Figura 6) ou por meio da API (*Application Programming Interface*, em português Interface de Programação de Aplicativos), do CLI (*Command-Line Interface*, em português Interface de Linha de Comando) e SDK (*Software Development Kit*, no português Kit de Desenvolvimento de Software) [15].

The image shows two side-by-side screenshots from the Balena Cloud web interface. The left screenshot displays the details for a device named 'GatewayLoRaUPF'. It shows the device is 'Offline', has a UID of '256979b', and is a 'Raspberry Pi 3'. Other details include 'Last seen (Y/N): 3 days ago', 'Host OS version: balenaOS 2.47.0+rev1', 'Supervisor version: 10.6.27', 'Current release: 69e3019', and 'Local IP address: 192.168.0.12'. A table at the bottom shows a service named 'main' with a status of 'Running' and release '69e3019'. The right screenshot shows the 'Logs' section for the same device, displaying system logs with timestamps and messages such as 'altitude 0 m', 'Upstream radio packet quality: 0.00%', and 'bridge-us-west.thethings.network: Connected'. Below the logs is a 'Terminal' section with a message: 'The terminal is unavailable because your device is not connected to the VPN'.

Figura 6. Painel Balena

## 2.5.3 NodeRED

Desenvolvida por J. Paul Morrison na década de 1970, a programação baseada em fluxo é uma maneira de descrever o comportamento de um aplicativo como uma rede de caixas pretas, ou “nós”, como são chamados. Cada nó tem uma finalidade bem definida;

ele recebe alguns dados, faz algo com esses dados e então os passa adiante. A rede é responsável pelo fluxo de dados entre os nós [16].

Node-RED é uma ferramenta de programação baseada em fluxo, que começou no início de 2013 como um projeto paralelo de Nick O’Leary e Dave Conway-Jones, do grupo de Serviços de Tecnologia Emergentes da IBM e agora faz parte da Fundação JS serve para conectar dispositivos de hardware, APIs e serviços online de maneiras novas e interessantes [16].

É um modelo que se presta muito bem a uma representação visual e o torna mais acessível a uma gama mais ampla de usuários. Se alguém puder decompor um problema em etapas distintas, poderá observar um fluxo e ter uma noção do que ele está fazendo; sem ter que entender as linhas individuais de código dentro de cada nó [16].

Ele fornece um editor baseado em navegador que torna mais fácil conectar fluxos, usando alguns dos seus 225.000 módulos existentes em seu repositório, na paleta que podem ser implementados em seu tempo de execução com um único clique. Uma biblioteca integrada ainda permite que você salve funções úteis, modelos ou fluxos para reutilização [16].

O tempo de execução é construído em Node.js, aproveitando ao máximo seu modelo sem bloqueio orientado por eventos. Isso o torna ideal para ser executado na extremidade da rede em hardware de baixo custo, como o Raspberry Pi, bem como na nuvem [16].

#### **2.5.4 InfluxDB**

Errplane começou a desenvolver o InfluxDB no final de 2013 como um projeto de código aberto para monitoramento de desempenho e alerta [17].

A plataforma possibilita aos desenvolvedores desenvolver softwares analíticos e de monitoramento para IoT. Ele é projetado especificamente para lidar com grandes volumes e inúmeras fontes de dados com registro de data e hora produzidos por sensores, aplicativos e infraestrutura [17].

O InfluxDB é um banco de dados de série temporal de código aberto (TSDB) desenvolvido pela InfluxData. Ele é escrito em Go e otimizado para armazenamento rápido e de alta disponibilidade e recuperação de dados de séries temporais em campos como monitoramento de operações, métricas de aplicativos, dados de sensores da Internet das Coisas e análises em tempo real [17].

## **2.6 TELEMETRIA**

A palavra telemetria é de origem grega e é a união de outras duas palavras, *tele* que significa longe e *meter* que significa medir. Por isso o termo telemetria significa realizar

medições à distância, ou em local remoto, este processo de medição evoluiu de algo simples como por exemplo medir a temperatura dentro de um forno, até uma ciência complexa capaz de realizar medições dentro de um míssil guiado, ou em qualquer local remoto [18].

Os ingredientes essenciais de qualquer sistema de telemetria incluem pelo menos um sensor, uma antena transmissora de baixo ganho, uma antena receptora de alto ganho, um receptor e um mostrador. Alguns sistemas mais modernos e complexos utilizam múltiplos sensores, métodos para empacotar muitos dados em um enlace de rádio frequência, métodos de desempacotar os dados no centro de controle, métodos de etiquetar o tempo (*time tagging*) na informação para análise pós-operacional, métodos de arquivamento dos dados para análise subsequente, e métodos para processar os dados antes de mostrá-los [18].

Em geral, a telemetria é requerida sempre que uma medida tem que ser realizada em um local ou ambiente que é inacessível ao homem. Pode-se citar como exemplo, dentro do reator de uma usina nuclear, já na área médica é utilizado para monitorar seres humanos [18].

Com o tempo, a prática de alimentar sistemas e tabelas manualmente já não comportava as necessidades dos gestores, que precisam de agilidade e precisão nas informações e muitas vezes, quando a coleta dos dados de equipamentos dependia exclusivamente de pessoas, as informações acabam não sendo tão precisas, então as próprias máquinas, atreladas a um sistema mais moderno, começaram a coletar seus dados.

Em resumo a telemetria é um sistema tecnológico de monitoramento, utilizado para comandar, medir ou rastrear alguma coisa a distância, através de comunicação sem fio (sinais de rádio, 3G, 4G, HSPDA ou satélite) ou simplesmente registrando em um banco de dados interno, para ser coletado de forma manual diretamente da máquina. O sistema fica embarcado, composto por um coletor de dados, que também pode ser emissor em alguns casos, ou seja, uma central que coleta dados específicos ou completos do equipamento ou máquina para uma análise mais minuciosa, seja em forma física ou através da transmissão de dados para um sistema que processa e interpreta, tornando acessíveis e visíveis aos gestores e tomadores de decisão.

## 2.7 REVISÃO SISTEMÁTICA

A fim de responder ao objetivo do estudo, foram elaboradas três questões para fomentar a pesquisa com vista a coletar informações sobre o tema realizando análise e avaliação dos documentos encontrados. As questões da pesquisa abordadas por este estudo foram:

Q1. A tecnologia é utilizada em ambientes denominados como Smart Campus?

Q2. Qual é a função destes dispositivos, eles coletam algum dado importante ou relevante que possa contribuir para a sociedade local?

Q3. A transmissão de dados ocorre por uma rede LPWAN ou LoRaWAN?

Para a busca e seleção dos trabalhos relevantes, foi optado por utilizar uma estratégia com palavras-chaves que remetem ao contexto. As palavras-chaves foram agrupadas como uma string de busca: “ (A1 OR A2) AND (B1 OR B2 OR B3 OR B4) ”. A Tabela 2 apresenta os termos de pesquisa que constituem a string.

Tabela 2. Termos De Pesquisa Para Identificar Os Estudos Relacionados Sobre LoRa

A1. LPWAN	B1. Smart Campus
A2. LoRaWAN	B2. Smart University
	B3. SmartCities
	B4. CityLab

Não houve alteração na string entre as bases de pesquisa. As buscas foram restritas a título, resumo e palavras-chave nas bases: *Association for Computing Machinery (ACM)*, *Springer*, *Science Direct*, *Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE)*. Foram considerados os artigos escritos em inglês, a partir do ano de 2014 até o ano de 2019 antes da execução do trabalho que foi até junho deste mesmo ano.

O processo de seleção foi realizado em duas fases:

Fase 1: os artigos encontrados após a aplicação da string de busca nas bases de dados foram avaliados quanto à sua adequação, a partir do título, resumo e palavras-chave. Nesta fase, as publicações que não atendiam aos critérios selecionados eram excluídas.

Fase 2: as publicações selecionadas na Fase 1 foram analisadas mais detalhadamente, a partir da leitura dos métodos, conclusão ou, mesmo, do texto integral. Essa fase foi realizada para assegurar que as publicações definitivamente continham informações relevantes para a pesquisa.

Após o processo de seleção obteve-se 8 artigos que passaram pelos critérios de seleção e estão de acordo com os métodos definidos, estes trabalhos são apresentados nas Tabelas 3, 4, 5 que são divididas pelas bases de dados em que foram encontrados.

## 2.8 TRABALHOS RELACIONADOS

Esta seção trás dois artigos encontrados na base de dados da IEEE Xplore ambos publicados no ano de 2018 com um método de aplicação semelhante ao que se implementou no trabalho realizado.

Tais publicações foram escolhidas e apresentadas devido ao seu método de aplicação em plataformas de armazenamento, leitura, controle e notificação dos dados coletados e armazenados.



Tabela 3. Estudos Seleccionados na Base de Dados IEEE

<b>Título e Autores</b>	<b>Ano</b>
<i>A Study of Air Pollution Smart Sensors LPWAN via NB-IoT for Thailand Smart Cities 4.0</i> - Sarun Duangsuwan, Aekarong Takarn, Rachan Nujankaew e Punyawit Jamjareegulgarn [19]	2018
<i>An IoT framework for the pervasive monitoring of chemical emissions in industrial plants</i> - Tommaso Addabbo, Ada Fort, Marco Mugnaini, Lorenzo Parri, Stefano Parrino, Alessandro Pozzebon e Valerio Vignoli [20]	2018
<i>Smart Air Quality Monitoring System with LoRaWAN</i> - Min Ye Thu, Wunna Htun, Yan Lin Aung, Pyone Ei Ei Shwe e Nay Min Tun [21]	2018
<i>Solutions for SmartCities: proposal of a monitoring system of air quality based on a LoRaWAN network with low-cost sensors</i> - Agustin Candia, Soledad Natacha Represa, Daniela Giuliani, Miguel Ángel Luengo Andrés Atilio Porta e Luis Armando Marrone [22]	2018

Tabela 4. Estudos Seleccionados na Base de Dados MDPI

<b>Título e Autores</b>	<b>Ano</b>
<i>A Method to Construct an Indoor Air Pollution Monitoring System Based on a Wireless Sensor Network</i> - Ahras Naziha, Li Fu, Galloua Mohamed Elamine e Lingling Wang [23]	2019
<i>A Modular Plug-And-Play Sensor System for Urban Air Pollution Monitoring: Design, Implementation and Evaluation</i> - Wei-Ying Yi, Kwong-Sak Leung e Yee Leung [24]	2018
<i>Development and Application of an Atmospheric Pollutant Monitoring System Based on LoRa—Part I: Design and Reliability Tests</i> - Yushuang Ma, Long Zhao, Rongjin Yang, Xiuhong Li, Qiao Song, Zhenwei Song e Yi Zhang [25]	2018

Tabela 5. Estudo Seleccionado na Base de Dados Spring

<b>Título e Autores</b>	<b>Ano</b>
<i>Low-Power Wide-Area technologies as building block for smart sensors in air quality measurements</i> - M. Knoll, P. Breitegger, A. Bergmann [26]	2018

### 2.8.1 Smart Air Quality Monitoring System with LoRaWAN

No documento *Smart Air Quality Monitoring System with LoRaWAN* foi utilizado um Arduino Uno, um sensor de CO<sub>2</sub> (T6713), sensor de poeira (SM-PWM-01C), sensor de temperatura e umidade (T9602) e um módulo LoRa para fazer a comunicação com a plataforma de controle e monitoramento The Things Network (TTN). A plataforma então envia os dados gerados para o InfluxDB que é um banco de dados e então o Grafana é utilizado para permitir que os usuários monitorem as informações. Após todo esse processo, é apli-

cado o aprendizado de máquina nos dados, extraindo informações valiosas. As leituras de temperatura, dióxido de carbono, umidade e poeira são plotados cada um no seu respectivo gráfico, e apresentados ao público por meio do Grafana, sendo necessário fazer o login com uma conta do Google para poder visualizar. A construção de um sistema escalável com detecção de informações essenciais no monitoramento da qualidade do ar, utilizando da tecnologia LoRaWAN como backbone central demonstra um passo inicial para um futuro promissor [21].

### **2.8.2 *Solutions for SmartCities: proposal of a monitoring system of air quality based on a LoRaWAN network with low-cost sensors***

Segundo a obra *Solutions for SmartCities: proposal of a monitoring system of air quality based on a LoRaWAN network with low-cost sensors*, a exposição contínua a altos níveis de poluição atmosférica pode causar efeitos prejudiciais à saúde da população e ao meio ambiente. Na cidade de La Plata na Argentina por meio de uma comunicação LoRaWAN foram instalados 7 sensores sendo eles: de PM10 e PM2.5 que são um tipo de partículas inaláveis, de diâmetro inferior a 10 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) e 2.5 micrómetros respectivamente, e constitui um elemento de poluição atmosférica, de temperatura, de umidade, de direção do vento, de velocidade e de luminosidade, em 5 pontos da cidade que geravam dados a cada minuto. Estes dados eram transmitidos para um gateway e deste as informações eram armazenadas no InfluxDB, e no ambiente Grafana eram apresentadas as informações obtidos para as pessoas [22].

O surgimento de inúmeros dispositivos para detectar poluentes a um custo acessível e sua proliferação em múltiplos projetos de ciência cidadã, levou instituições de prestígio a se envolverem para analisar o desempenho desse tipo de sensor. Em todos os casos, fica claro os limites da confiabilidade de suas medições e a necessidade de calibrações tanto em ambiente de laboratório quanto em cenários reais. Diferentes instrumentos de referência são usados nesses estudos, e a precisão e influência da temperatura e da umidade nas medições são analisadas principalmente. Em geral, uma diferença considerável é observada entre os estudos de laboratório e os cenários reais, principalmente devido à variedade no tamanho, composição e faixa de concentração das partículas, tornando altamente recomendável calibrar o equipamento no ambiente em que são usados. Outros desafios que surgem no uso de equipamentos de baixo custo, é a sua durabilidade e deterioração ao longo do tempo. A rede LoRaWAN evidencia uma faixa ótima, resultando na escolha correta deste protocolo de trabalho. O fato de poder implantar gateways em antenas próprias permitiu adaptar a solução às necessidades do projeto. Por outro lado, as plataformas de software selecionadas aceleraram o desenvolvimento da solução, adicionando um contexto adicional à sua crescente divulgação em ambientes IoT. O sistema de monitoramento proposto é uma ferramenta viável para a medição dos níveis de contaminantes e outras métricas de

interesse para o estudo da qualidade do ar. O avanço nesse sentido permitirá o desenvolvimento e a validação de modelos de previsão de alta resolução espacial, a avaliação do impacto das emissões industriais e a decisão estratégica para o planejamento de longo prazo. Em trabalhos futuros busca-se gerar um controle e fornecer alertas em tempo real caso algum sensor ou módulo apresente falhas de conexão, além de uma memória interna nos dispositivos para gerar um backup caso houver uma falha de envio [22].

Neste capítulo foi apresentado, todo o estudo realizado para entender melhor os princípios de cidade inteligente, campus inteligente, IoT e o processo de funcionamento dos dispositivos LoRa, as suas aplicabilidades e seu desempenho. Além disso foram apresentadas plataformas que auxiliaram na obtenção, controle e visualização dos dados gerados. A junção de todas essas informações resultou no presente projeto que trouxe resultados satisfatórios.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O capítulo a seguir apresenta a análise da arquitetura e do hardware existentes e realizados nos trabalhos anteriormente que serviram de base para a execução do projeto atual. A identificação de melhorias, o que foi encontrado que possibilitou a atualização do sistema como um todo. Apresenta ainda o estudo tecnológico em cima de plataformas que foram utilizadas, e porque foram escolhidas, o desenvolvimento do sistema criado, as aplicações e ferramentas utilizadas, os testes realizados e os resultados obtidos.

Dentre as pesquisas mais difundidas estão a quantitativa e a qualitativa, onde a quantitativa se baseia em números, buscando o maior número de exemplares assim obtendo um dado estatístico sobre determinado assunto. Já o modo qualitativo busca uma informação mais ampla sobre o assunto, dando liberdade para quem avalia de gerar uma resposta mais completa e pessoal [27].

Há ainda uma junção destas duas formas de pesquisa, denominada qualiquantitativo, ela busca fazer uma mescla dos dois modos buscando obter uma compreensão e explicação mais ampla sobre o tema estudado. Esta abordagem permite que o pesquisador consiga um cruzamento de conclusões, tendo mais confiança nos seus dados e resultados [27].

A pesquisa experimental é um dos principais métodos de pesquisa quantitativo, por sua vez é qualquer pesquisa realizada com uma abordagem científica, onde um conjunto de variáveis é mantido constante, normalmente chamadas de variáveis controle, enquanto um outro conjunto de variáveis é medido como o assunto do experimento, denominadas variáveis dependentes [28].

O presente projeto trabalha com a junção da pesquisa experimental e quantitativa, buscando assim um controle e uma assertividade maior no experimento.

O fluxo das atividades desenvolvidas pode ser observado na Figura 7.

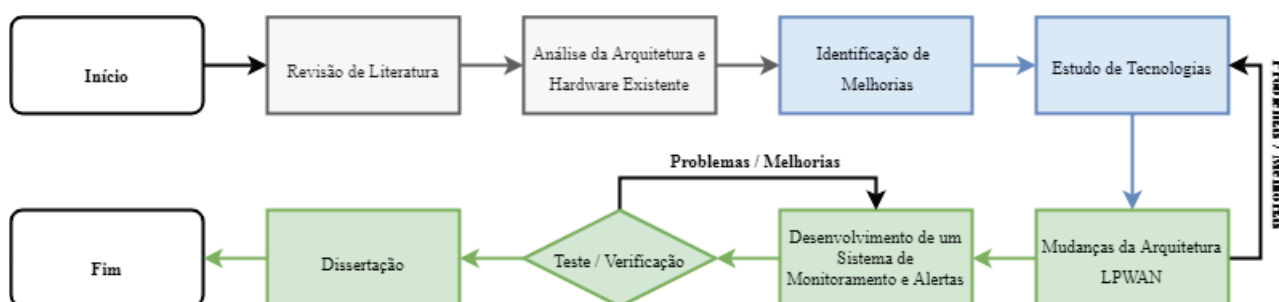
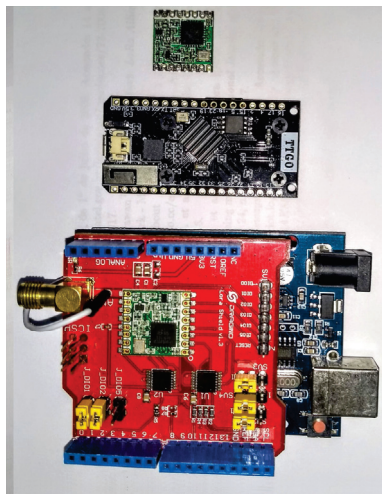


Figura 7. Fluxo de Atividades

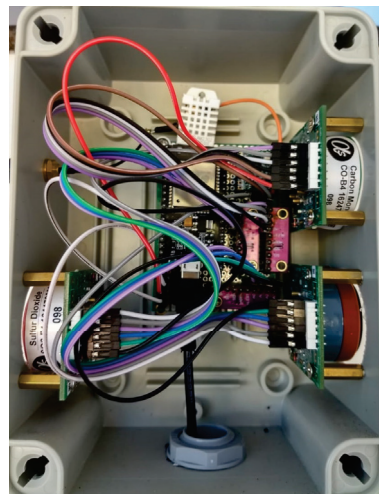
A revisão da literatura já foi abordada em capítulos anteriores portanto dispensa maiores explicações nos tópicos que seguem.

### 3.1 ANÁLISE DA ARQUITETURA E HARDWARE EXISTENTE

Os dispositivos físicos bases utilizados são provenientes do trabalho de mestrado de Fernando Vinícios Manchini de Souza, "Uma arquitetura LPWAN de custo acessível para cidades inteligentes", foram inicialmente instalados 5 kits que comportavam os seguintes equipamentos de comunicação e processamento, RFM95 (dispositivo verde), TTGO LoRa ESP32 (dispositivo preto), Shield LoRa Dragino (dispositivo vermelho) e Arduino UNO (dispositivo azul), observados na Figura 8(a), além de sensores de gases (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> e CO), de umidade e temperatura, o case desenvolvido é mostrado na Figura 8(b) [2]



(a) Módulos LoRa



(b) Case Desenvolvido por Souza

Figura 8. Módulos Desenvolvidos por Souza[2]

O trabalho realizado está em operação e gerou dados úteis e importantes, contudo no tempo que estão instalados, por volta de 2 anos, observou-se algumas melhorias possíveis de serem realizadas. Melhorias estas que só puderam ser observadas pelo passar do tempo e presentes em situações adversas, como ocorrências de interferências externas ocasionando na queda de dispositivos levando a perda de sensores e dos próprios equipamentos, além do mal funcionamento dos kits, sendo necessário efetuar manutenções para correções dos problemas gerados. Devido aos acontecimentos citados, hoje apenas 2 dos 5 módulos instalados estão em operação.

Vale ressaltar que houve à perda da central de armazenamento do sistema operacional do dispositivo gateway que era responsável pelo gerenciamento do mesmo, sendo necessário adquirir um novo a cada vez que o defeito viesse a ocorrer, feito que ocorreu mais de três vezes.

Além disso houve a perda do banco de dados, pois o mesmo estava sendo mantido em uma plataforma de nuvem paga, quando a mesma deixou de ser sustentada o acesso foi cancelado e os dados perdidos.

Na Figura 9 é possível observar a arquitetura implantada por Manchini[2], que implantou uma rede LPWAN de baixo custo e trouxe consigo a visualização dos dados coletados em um navegador web.

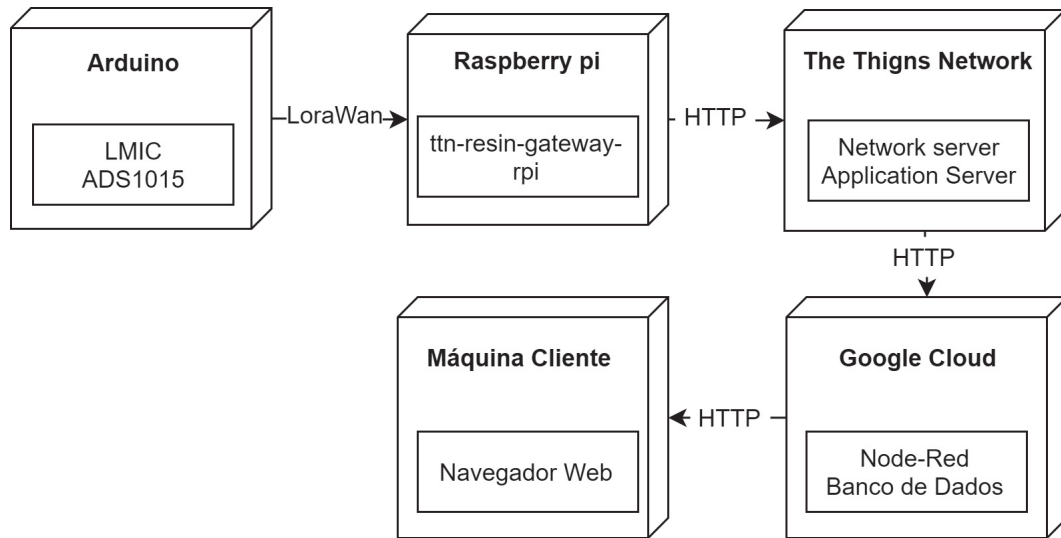


Figura 9. Arquitetura Desenvolvida por Manchini [2]

Após a execução do projeto de Manchini[2] a arquitetura do sistema sofreu alterações realizadas por Rodrigues[3] em seu trabalho intitulado "Um aplicativo para gerar recomendações e alertas sobre a qualidade do ar em um Smart Campus", que podem ser observadas na Figura 10.

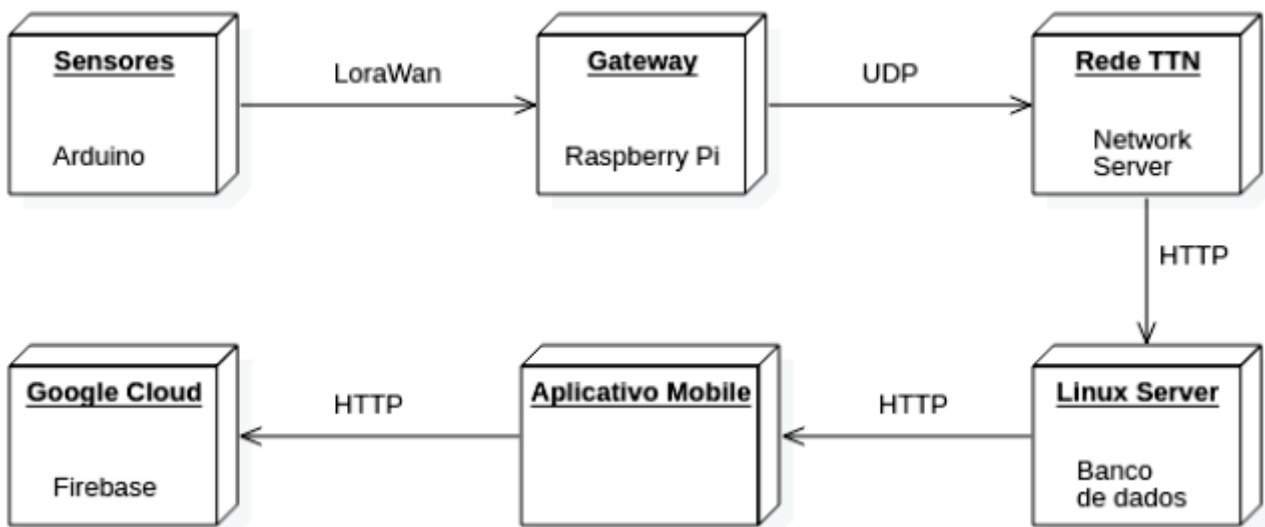


Figura 10. Arquitetura Desenvolvida por Rodrigues [3]

A arquitetura proposta por Rodrigues[3] trabalhava com os problemas a partir do banco de dados, não realizando alterações no hardware e nem no sistema de comunicação LoRa em si. Como o foco do seu trabalho era na utilização dos dados coletados não cabia

a ele melhorar outras partes que não fossem de fundamental importância para o desenvolvimento de seu projeto.

O novo banco de dados estava funcionando em uma máquina hospedada no setor de TI da UPF, contudo o processo de implementação foi muito penoso e complicado, visto que era necessário solicitar permissões e acessos para eventuais mudanças, além da universidade sofrer com inúmeras atualizações em sua rede interna, o que causava um transtorno de readequação das configurações do servidor, estes problemas retornavam a aparecer em meio ao decorrer do projeto, o que demonstrou ser um problema recorrente que precisaria ser corrigido.

A utilização do banco de dados se dá através de um aplicativo móvel desenvolvido que possui acesso a plataforma da instituição, sendo possível por meio do celular utilizando a conta de usuário da universidade, receber recomendações e alertas a respeito da temperatura e dos gases presentes no campus.

### 3.2 IDENTIFICAÇÃO DE MELHORIAS

Após a análise do hardware e do sistema existente que se encontram em funcionamento realizado no trabalho de Manchini[2] e Rodrigues[3], foram identificadas possíveis melhorias a serem feitas. Conseguiu-se detectar esses *upgrades* devido ao tempo em que o projeto ficou em funcionamento além do mesmo passar por situações adversas, podemos ressaltar os eventos que ocorreram, como a perda de dispositivos e sensores, quedas, mudanças na rede de comunicação, falhas na alimentação, cancelamento da assinatura de armazenagem em nuvem e queimas de cartões SD no gateway.

Observando os problemas mencionados e buscando solucioná-los é que a implementação de alertas para eventos adversos foi cogitada, pois traria uma confiança maior no sistema existente além de possibilitar respostas rápidas e resolutivas.

### 3.3 ESTUDO DE TECNOLOGIAS E MUDANÇAS DA ARQUITETURA LPWAN

Com todo o processo realizado por Souza[2] e Rodrigues[3] ainda sim era possível observar pontos onde poderiam ocorrer melhorias no projeto, as duas principais melhorias observadas eram o monitoramento dos *kits* e a mudança do gateway para facilitar seu acesso e uso.

Tendo como base estes problemas relatados é que inicia o estudo buscando formas de corrigi-los e supera-los.

O primeiro desafio encontrado fora realizar uma possível troca do gateway utilizado, pois o mesmo como constatado anteriormente estava com um problema recorrente onde o cartão SD se tornava inutilizável, cujo tempo de vida útil do dispositivo era em torno

de 3 meses, sendo feita a troca da central de armazenamento quatro vezes desde o início de sua análise em 2019.

A primeira opção que foi cogitada era a adesão de um gateway profissional próprio para esta função, contudo devido ao seu preço de aquisição elevado logo foi descartada tal ideia. Para termos uma noção do preço de compra desses dispositivos seguiu-se as recomendações de gateway profissionais do TTN, e criou-se a Tabela 6 para melhor visualização de suas informações, a tabela considera o dólar a R\$5,35 considerando ele no dia 03 de fevereiro de 2021.

Tabela 6. Preço de Compra Gateway Dólar/Real

Gateway	Dólar	Real
Dragino OLG01-N	86,25	461,43
RAK831	132,00	706,20
WisGate Edge Lite 2	139,00	743,65
WisGate Developer D3	199,00	1064,65
SenseCAP Gateway	399,00	2134,65
WisGate Edge Prime	499,00	2669,65

A segunda opção era utilizar o que tínhamos disponível buscando fazer alguma atualização de software para melhorar o seu desempenho e cessar a queima de dispositivos de armazenamento. Está por sua vez demonstrou-se ser uma infeliz decisão visto que foram realizadas pesquisas e testes com diversos modelos e métodos existentes utilizando o sistema do raspberry pi o Raspian e seus derivados, das falhas que se acometeram pode-se destacar a não efetuação da comunicação ao servidor do TTN, a utilização de faixa de frequência não permitida dentro do território nacional e a não obtenção de êxito na implementação destas novas configurações desejadas. Todo este processo mostrou-se muito custoso e ineficiente, visto que houve uma demanda muito grande de tempo imposto nesta atividade e acabou por não gerar os resultados desejados optou-se por voltar a utilizar o sistema operacional de controle do gateway anterior Balena.

Com a readequação do gateway o novo desafio seria alocar o servidor de dados que receberia todas as informações geradas e fornecidas pelos dispositivos, visto que o servidor que armazenava esses dados trabalhava na nuvem e era necessário pagar uma taxa de utilização mensal, inclusive o servidor existente na instituição de ensino UPF estava inoperante.

Houve pesquisa a respeito de implementações em nuvem, contudo todas exigiam alguma compensação financeira pelos seus serviços, e visto que a partir do momento em que não houvesse mais os pagamentos a aplicação se perderia, optou-se por utilizar um servidor físico. Pensando em um dispositivo que tivesse mobilidade, agilidade, baixo custo de aquisição e que funcionasse adequadamente a opção de um raspberry pi se tornou a mais viável para executar esta função.



Com a escolha do hardware do servidor, era necessário avaliar que aplicação de banco de dados seria implementada. A primeira escolha foi o Prometheus que em estudos demonstrava uma grande facilidade de implementação, contudo devido a problemas na sua criação não foi possível utilizar seus serviços. Por conta disso, a segunda opção que era o InfluxDB começou a ser estudada, este por sua vez obteve sucesso em sua criação (Figura 11) e comunicação.

```

> use MESTRADO
Using database MESTRADO
> SHOW FIELD KEYS FROM MESTRADO
> SELECT * FROM stations LIMIT 30
name: stations
time                analog_in_3 analog_in_4 analog_in_5 relative_humidity_2 temperature_1
-----
1606875235403630053 2.35      0      0.13      95.5      26
1606875324855917334 2.28      0      0.22      95.5      26
1606875414169377749 2.22      0      0.25      95.5      26
1606875503598646913 2.23      0      0.19      95.5      26
1606875593066052318 2.23      0      0.2       95.5      26
1606875682463573972 2.14      0      0.22      95.5      26
1606875771943944132 2.2       0      0.16      95.5      26
1606875861279791662 2.23      0      0.14      95.5      26
1606875950702894963 2.18      0      0.19      95.5      26
1606876040122404350 2.16      0      0.21      95.5      26
1606876129539447999 2.07      0      0.22      95.5      26
1606876218972339294 2.12      0      0.13      95.5      26
1606876308432218671 2.08      0      0.26      95.5      26
1606876397815567243 2.13      0      0.18      95.5      26
1606876487257668532 2.13      0      0.22      95.5      26
1606876576648769185 2.03      0      0.19      95.5      26
1606876666087774794 1.98      0      0.09      95.5      26
1606876755490482007 2.07      0      0.24      95.5      26
1606876844900970837 2.04      0      0.21      95.5      26
1606876934325969040 2.05      0      0.18      95.5      26
1606877023763518976 1.96      0      0.23      95.5      26
1606877113273093827 2         0      0.16      95.5      26
1606877202591438987 2         0      0.16      95.5      26
1606877292009272867 1.95      0      0.24      95.5      26
1606877471069463830 1.91      0      0.27      95.5      26
1606877560299983298 1.92      0      0.14      95.5      26
1606877649683461999 1.91      0      0.14      95.5      26
1606877739132837354 1.88      0      0.16      95.5      26
1606877828583151800 1.88      0      0.11      95.5      26
1606877918028199155 1.94      0      0.19      95.5      26

```

Figura 11. Banco de Dados InfluxDB

Faltava agora realizar a comunicação e troca de dados entre os dispositivos de coleta e gateway que estavam armazenados na plataforma do TTN, e o servidor físico InfluxDB que estava no raspberry pi. Buscando orientação na forma como o Fernando[2] realizou está conversa foi observado que o mesmo utilizou a ferramenta Node-RED.

O Node-RED mostrou-se eficaz realizando a ligação entre o TTN e o InfluxDB. Desta forma podemos representar a trajetória dos dados desde sua coleta até o banco de dados pela Figura 12.

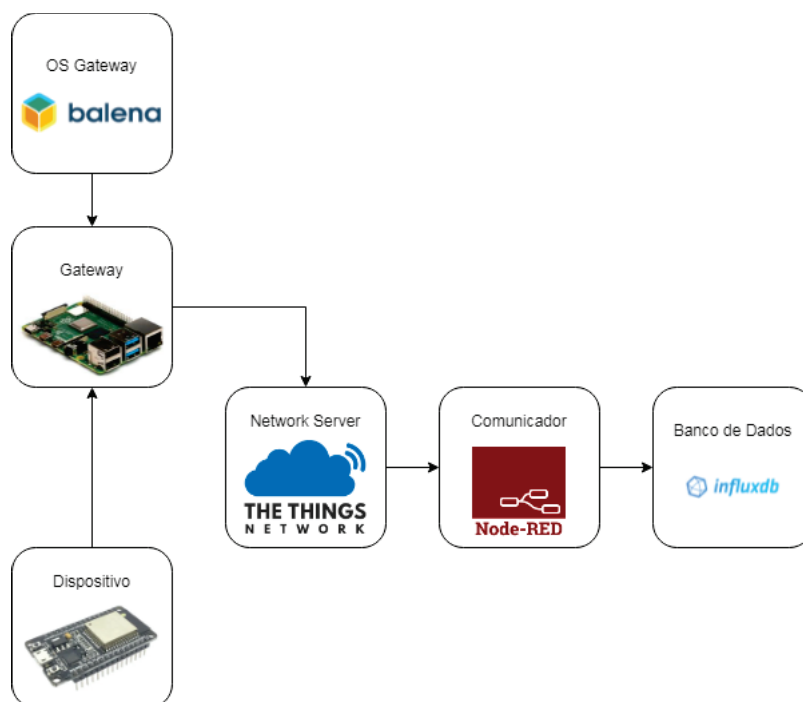


Figura 12. Arquitetura LPWAN Desenvolvida

### 3.4 DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO E ALERTAS

Com o conjunto de operações desenvolvido até o momento funcionando de forma adequada é dada a devida atenção a criação e implementação de alertas a respeito dos sensores dos dispositivos.

#### 3.4.1 Grafana

Grafana é uma plataforma de código aberto de análise de métricas que foi iniciado por Torkel Ödegaard em 2014 e acabou por se tornar um dos projetos de código aberto mais populares do GitHub, ele permite que você consulte, visualize e alerte métrica e registros, não importa onde estejam armazenados [29].

O Grafana tem um modelo de fonte de dados plugável e vem com suporte a mais de 30 fontes de dados comerciais e de código aberto para muitos dos bancos de dados de série temporal mais populares, como *Graphite*, *Prometheus*, *Elasticsearch*, *OpenTSDB* e *InfluxDB*. Ele também tem suporte integrado para fornecedores de monitoramento de nuvem como *Google Stackdriver*, *Amazon Cloudwatch*, *Microsoft Azure* e bancos de dados SQL como MySQL e Postgres. Além disso é uma ferramenta que pode combinar dados de vários lugares em um único painel, além de atribuir alertas aos quadros de visualização, e possibilita misturar diferentes fontes de dados no mesmo gráfico [29].

Por métricas entendemos que são medidas quantificáveis usadas para analisar o resultado de um processo, ação ou estratégia específica. A plataforma permite que você

consulte, visualize, alerte e entenda esses dados independente de onde eles estejam armazenados, pois o conjunto de banco de dados que a plataforma suporta compreende uma parte significativa dos serviços hoje existentes [29].

Podemos citar alguns gigantes das tecnologia que utilizam em sua instituição o Grafana, por exemplo o PAYPAL, o EBAY, a INTEL, a TED, o BOOKING.COM, o Tinder, UBER, e WIX entre inúmeros outros [29].

### 3.4.2 Telegram

Criado pelos irmãos e programadores russos Pavel e Nikolai Durov em 14 de agosto de 2013 o Telegram abrangeu primeiramente usuários do sistema operacional iOS e apenas em 20 de outubro do mesmo ano foi que a plataforma Android recebeu o aplicativo de troca de mensagens [30].

A diferença mais marcante entre o WhatsApp e o Telegram consiste em um mensageiro baseado em nuvem, além disso possui um grande foco em velocidade e segurança, sendo considerado super rápido, simples de utilizar e grátis, a aplicação pode ser utilizada em diversas plataformas simultaneamente como em celulares, tablets ou computadores, tendo todas as informações sincronizadas entres estes dispositivos [30].

O aplicativo permite a troca de mensagens, fotos, vídeos e arquivos de qualquer extensão até no máximo de 2 Gb cada. Além de ser possível criar grupos de até 200.000 usuários ou até canais para transmissão possuindo uma audiência ilimitada [30].

A API do aplicativo é aberta o que possibilita aos desenvolvedores criar bots e a construir ferramentas especializadas para a plataforma, integrar vários serviços e possibilitar até o pagamento de usuários de todo o mundo [30].

Na Tabela 7 é apresentado de forma sucinta uma comparação entre o WhatsApp e o Telegram.

	WhatsApp	Telegram
Pessoas por grupo	256	200.000
Fotos, vídeos e áudios	Até 16MB	Até 2G
Documentos	Até 100MB	Até 2G
Armazenamento	Local e Nuvem	Nuvem
Criptografia	Ponta a Ponta	Ponta a Ponta
API	Fechada	Aberta

A criação de um bot no aplicativo se dá através de outro bot denominado The Bot-Father disponível pelo próprio Telegram, após a criação é recebido o token de autorização que é utilizado para vincular o robô a outros aplicativos, plataformas e ferramentas, ainda

é possível receber notificações e notícias personalizadas, possuir integração com outros serviços, aceitar pagamentos e criar jogos [30].

Para a criação do bot o Telegram oferece dois tipos de APIs, o Bot API que permite criar facilmente programas que usam mensagens configuráveis do próprio aplicativo para uma interface e o TDLIB que permite que o desenvolvedor crie seus próprios clientes personalizados [30].

A API de BOT permite que o usuário conecte os bots ao sites ma do aplicativo, esses robôs são contas especiais que não necessitam de um número de telefone adicional para serem usados e configurados, elas servem como uma interface para o código em execução em algum lugar no seu servidor [30].

Já na TDLIB é possível personalizar ainda mais o seu bot, mas não há a necessidade de se preocupar com implementações de rede, criptografia e armazenamento de dados locais, pois está aplicação já vem com estas configurações pré determinadas pela própria desenvolvedora, fazendo com que o foco do desenvolvedor seja apenas no design, nas interfaces responsivas e nas animações que serão utilizadas [30].

Vale ressaltar alguns exemplos de utilização no meio corporativo e empresarial do uso do Telegram, como a empresa O Primo Rico, a empresa Alfacon Concursos Públicos e a rede Magrass. Muitas outras corporações e usuários acabaram por migrar para este aplicativo devido a atualização de políticas de privacidade feita pelo WhatsApp, além disso essas mudanças acabaram por acarretar em resultados não satisfatórios, visto que tornou o Telegram o aplicativo de celular com maior número de downloads realizados em Janeiro de 2021 [31], abrindo espaço para a concorrente desenvolver um modo de importar as mensagens e conteúdos do WhatsApp para o seu aplicativo.

### 3.4.3 Sistema de Monitoramento e Alertas

O sistema de monitoramento se dá através do *dashboard* do Grafana (Figura 13), onde é possível visualizar a leitura dos sensores por meio dos gráficos de cada um, além disso a tela possui os quadros de status dos sensores que indicam se estão funcionando ou não, mostrando o status ON e OFF, além do painel de alerta, informando a situação atual deles.

É possível observar que nos gráficos são apresentadas três linhas verticais, a verde contínua se refere aos dados coletados, a verde pontilhada demonstra a leitura inicial realizada pelo monitoramento e a laranja pontilhada refere-se a leitura intermediária, a distância das duas linhas pontilhadas se dá por dois minutos, se no próximo momento da leitura dentro do prazo de cinco minutos contado os dois que já passaram, houver falha no recebimento dos dados é apresentado uma linha vermelha pontilhada e acionado o alerta, caso contrário é emitido outra linha verde pontilhada e assim se segue o monitoramento.



Figura 13. *Dashboard* Desenvolvido no Grafana

Na Figura 14 é demonstrado como fica o *dashboard* quando todos os sensores apresentam falhas.

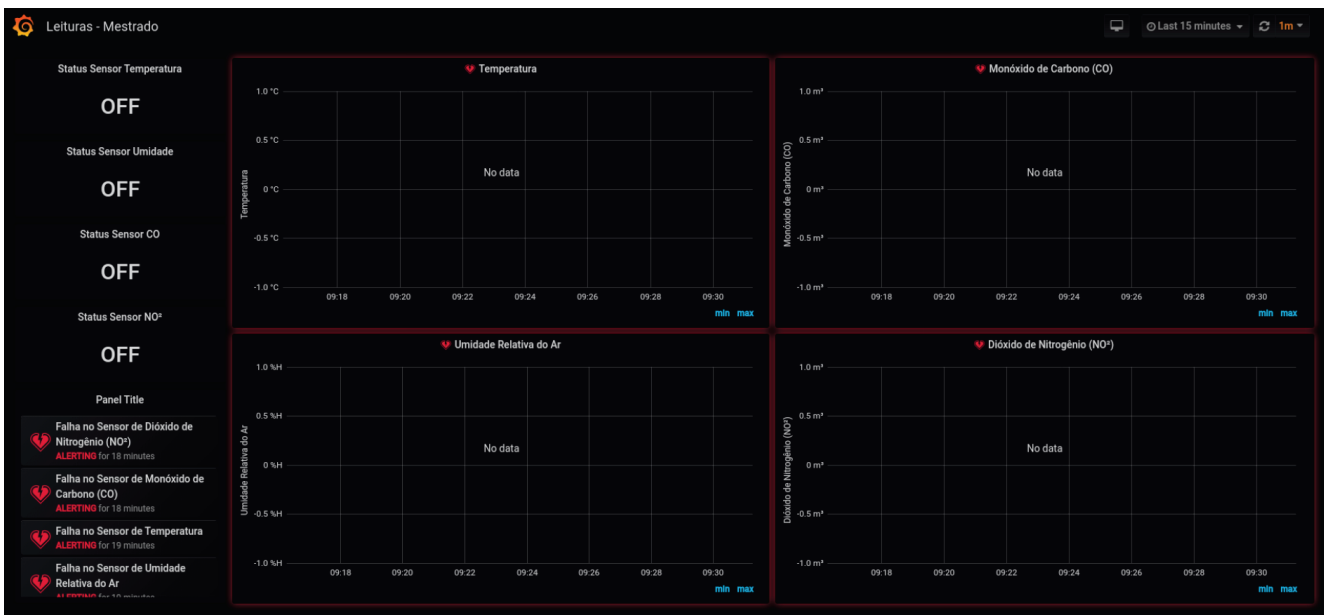


Figura 14. *Dashboard* em Modo de Erro Geral

Nota-se que os status dos sensores trocaram de seus respectivos ONs verdes por OFFs brancos, o coração antes verde indicando nenhum alerta apresenta um coração partido de cor vermelha indicando que os alertas foram acionados, os gráficos antes apresentados sem muito destaque ganharam uma moldura vermelha indicando falhas.

Na aplicação web Grafana é possível gerar alertas e construir mensagens (Figura 15) caso algum parâmetro pré estabelecido não funcione de forma correta, como por exemplo, é possível determinar limites máximos e mínimos, falha na entrega de dados, entre

outras opções disponíveis na aplicação. Quando algum destes parâmetros ocorre é efetuado o envio do sinal de alerta que pode ser recebido de diversas fontes o que é observado na Figura 16, é possível de ver entre eles Telegram, email, Hangouts, Discord entre outros.

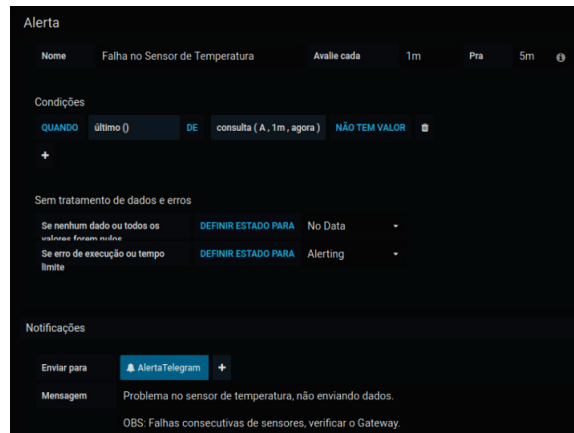


Figura 15. Criação Alertas Grafana

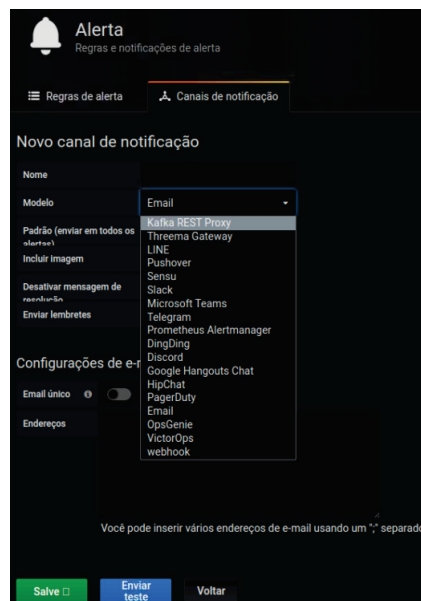


Figura 16. Opções de Plataformas para Envio de Notificações

No caso do projeto utilizou-se o aplicativo de troca de mensagens Telegram, visto que é um aplicativo gratuito, com código aberto, com possibilidade de implementação de bot e com interatividade com o Grafana entre outras aplicações.

Para ocorrer o envio automático de mensagens por parte do Grafana na detecção de erros e falhas, é necessário a criação de um bot no Telegram, por conta disso utilizou-se o robô disponibilizado pela própria desenvolvedora do aplicativo de celular o *TheBotfather*. A criação do bot se deu de forma rápida e precisa, visto que é uma plataforma muito utilizada para diversas aplicações por conta disso material de apoio e consulta não falta a seu respeito.

Os maiores cuidados que se deve tomar a respeito do bot é o não compartilhamento do *token* de acesso, visto que se alguém o possuir poderá tomar o controle do bot criado, e o *id chat* que é responsável por enviar as mensagens para a conversa certa, se o *token* estiver certo e o *id chat* errado o usuário não receberá as mensagens. Este problema é evitado ao realizar o vínculo entre o Grafana e o Telegram (Figura 17), visto que é possível solicitar uma mensagem de testes (Figura 18) para verificar se todas informações estão em ordem, caso algum dos dados esteja incorreto ou faltando não é emitido o teste e é apresentado erro.

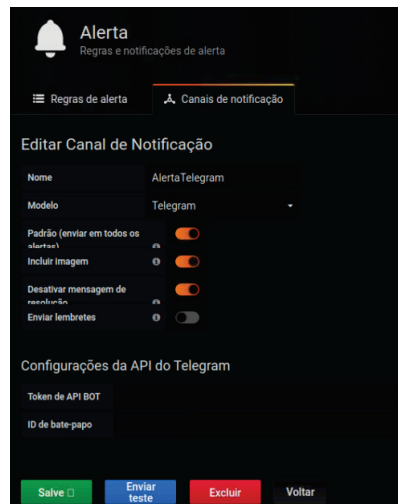


Figura 17. Configurações Telegram - Grafana

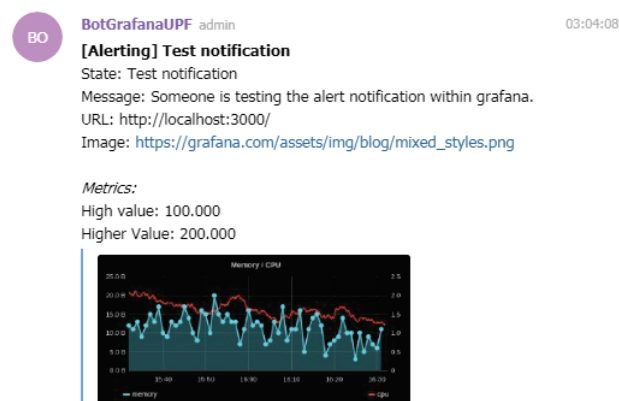


Figura 18. Teste de Comunicação Grafana - Telegram

Com os alertas criados no Grafana e o vínculo de mensagem de aviso estabelecido no Telegram, é realizado um teste para aferir se o aviso realmente é enviado caso algum dos sensores deixe de enviar algum dado. Vale ressaltar que o aviso só será enviado caso a aplicação web deixe de receber algum dado do sensor, pois como se trata de sensores de gás, temperatura e umidade, não é ideal colocar limites máximos e mínimos, visto que eles podem transitar dentro de uma ampla faixa de valores positivos e negativos, e como o foco do trabalho é notificar caso algum deles pare de funcionar, a aplicação se mostra efetiva como pode-se observar na Figura 19.



Figura 19. Aviso de Falha de Sensor no Telegram

Após alguns dias e testes realizados observou-se novos problemas formados por está nova configuração, foi constatado que se o gateway parar de funcionar todos os avisos dos sensores acusavam falha, visto que todos perderam a entrada de dados, contudo aí permanecia a dúvida se todos os sensores deram problema ou o gateway que acabou por ter algum problema, além disso se por ventura o servidor tiver alguma falha não seria notificado que algo deu errado.

Estudando a respeito de soluções que poderiam ser implementadas e que utilizassem as mesmas plataformas de notificações e avisos selecionadas, aderiu-se ao uso de um ESP32 da *Espressif Systems* que possibilitasse o envio de mensagens para o aplicativo Telegram.

O dispositivo escolhido foi o NodeMCU ESP32 (Figura 20) que possui um suporte para bateria e um carregador de bateria acoplado, este aparelho atendeu a todas as exigências alocadas como, possuir comunicação Wi-Fi, possuir bibliotecas que possibilitassem a utilização do bot do Telegram, o suporte e o carregador da bateria. Estes últimos dois critérios são de importância quase que fundamental igualmente como os outros, pois se o mesmo não os tivesse haveria a necessidade de projetar, testar e validar a utilização deles.

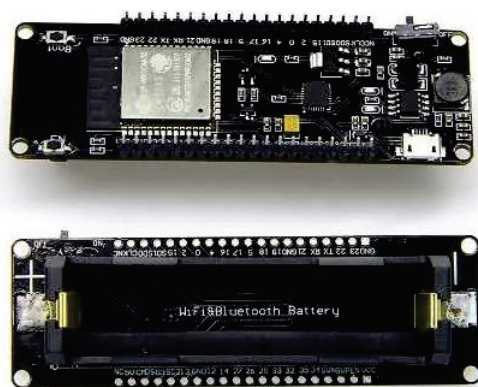


Figura 20. NodeMCU ESP32 WiFi e Bluetooth com Suporte para Bateria 18650 e Gerenciador de Carga



A vantagem encontrada com o suporte e o carregador, é que o ESP32 tem sua alimentação junta ao servidor e ao gateway, e este por sua vez fica lendo a tensão gerada por uma das saídas dos dispositivos que pode variar entre 3.3 e 5 volts (Figura 21), caso está leitura seja menor que um significa que o raspberry desligou, acarretando em perda de dados. Como o microcontrolador possui uma bateria própria que está sempre carregada devido a alimentação contínua, é detectado a alteração na tensão de saída do microcomputador e em seguida é emitido o sinal de alerta para o Telegram solicitando atenção ao dispositivo.

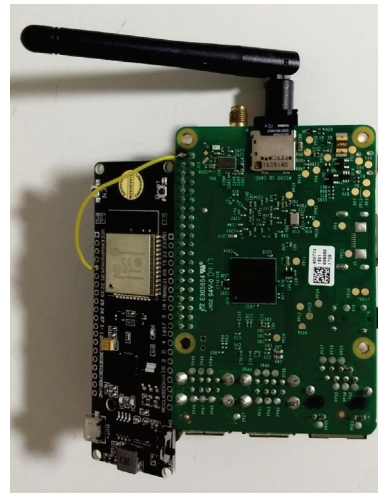
```
04:10:44.974 -> Connecting to Wifi SSID Maroso...
04:10:47.046 -> WiFi connected. IP address: 192.168.0.11
04:10:47.080 -> Retrieving time: ...1613286651
04:10:49.900 -> Tensao = 0.00
04:10:53.126 -> Tensao = 0.00
04:10:56.556 -> Tensao = 0.00
04:11:00.052 -> Tensao = 0.00
04:11:03.413 -> Tensao = 0.00
04:11:06.806 -> Tensao = 0.00
04:11:10.066 -> Tensao = 3.94
04:11:11.085 -> Tensao = 3.87
04:11:12.072 -> Tensao = 3.64
04:11:13.090 -> Tensao = 3.44
04:11:14.075 -> Tensao = 3.41
04:11:15.094 -> Tensao = 3.16
04:11:16.079 -> Tensao = 2.93
04:11:17.097 -> Tensao = 3.21
04:11:18.082 -> Tensao = 3.10
04:11:19.066 -> Tensao = 3.02
04:11:20.085 -> Tensao = 3.15
04:11:21.068 -> Tensao = 3.26
04:11:22.088 -> Tensao = 3.47
04:11:23.072 -> Tensao = 3.48
04:11:24.091 -> Tensao = 3.36
04:11:25.077 -> Tensao = 3.46
04:11:26.097 -> Tensao = 3.48
04:11:27.081 -> Tensao = 3.49
04:11:28.066 -> Tensao = 3.56
04:11:29.085 -> Tensao = 3.56
04:11:30.071 -> Tensao = 3.63
04:11:31.089 -> Tensao = 3.67
04:11:32.075 -> Tensao = 3.74
04:11:33.093 -> Tensao = 3.91
04:11:34.077 -> Tensao = 0.00
```

Figura 21. Leitura de Tensão Realizado Pelo ESP32

Na Figura 22(a) e Figura 22(b) é possível observar o servidor e o gateway ambos cada um com um NodeMCU ESP32, e na Figura 23(a) e na Figura 23(b) é visível as mensagens enviadas por estes dispositivos ao Telegram.

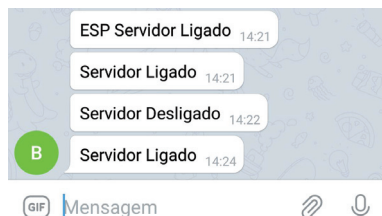


(a) Servidor Raspberry Pi



(b) Gateway Raspberry Pi

Figura 22. Servidor e Gateway Raspberry Pi Com ESP32



(a) Mensagens de Alerta do Servidor



(b) Mensagens de Alerta do Gateway

Figura 23. Mensagens de Alerta do Servidor e do Gateway

Não só mensagens de falhas são enviadas como também quando os serviços voltam a funcionar de forma adequada, tanto os sensores (Figura 24) quanto o servidor e o gateway que apresentam respectivamente as mensagens "Servidor Ligado" / "Gateway Ligado".

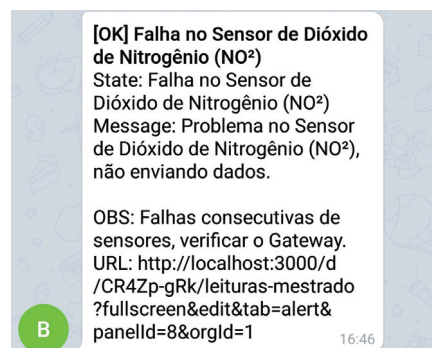


Figura 24. Mensagem de Resolução do Problema no Sensor

É possível observar no caso dos erros dos sensores que quando acontece o erro ele fica escrito [Alerting] e quando a falha é corrigida aparece [OK].

### 3.5 TESTE E VERIFICAÇÃO

Primeiramente o sistema de alertas esta funcionando deste a metade de janeiro de 2021 quando concluiu-se a montagem do *dashboard* e a configuração da plataforma de comunicação.

A partir deste ponto os dispositivos que compreendem o gateway, o servidor e um coletor de dados, permaneceram ligados ininterruptamente sendo desligados apenas para eventuais atualizações do sistema ou manutenções.

Para comprovar a eficácia do projeto desenvolvido é necessário realizar testes de controle, pois o trabalho se caracteriza como experimental controlado.

Os teste realizados funcionaram da seguinte forma, eram desacoplados os cabos de alimentação e os de dados dos sensores forçando uma falha, em seguida era esperado a resposta do sistema, o tempo que o Grafana demorava para detectar a falta de dados, passando pela primeira e segunda verificação, esperando-se a terceira e última que compreendia o alerta.

No momento em que o alerta fosse apresentado no dashboard era verificado quanto tempo havia se passado até receber a mensagem no Telegram. O mesmo processo foi realizado para o religamento dos sensores.

Cada sensor foi testado individualmente e em forma de grupo.

Além disso o processo de desligamento também ocorreu com o servidor e com o gateway seguindo a mesma metodologia citada de forçar a falha do equipamento e observar o tempo de reação e notificação.

### 3.6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A seguir seguem os resultados obtidos nos testes e as discussões dos mesmos.

No primeiro teste é desconectado os cabos de alimentação e troca de dados do sensor de CO (Figura 25, quadrado vermelho) o que resulta na falha apresentada na Figura 26, e na mensagem recebida no Telegram (Figura 27), observa-se que a detecção do erro (linha vertical vermelha pontilhada) é acionada por volta das 10 horas e 43 minutos, aproximadamente quase três minutos após o último dado ser recebido, igualmente o mesmo horário que é apresentado na mensagem recebida no celular.

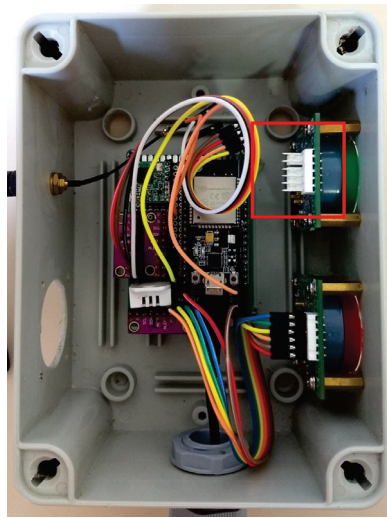


Figura 25. Isolamento do Sensor de CO

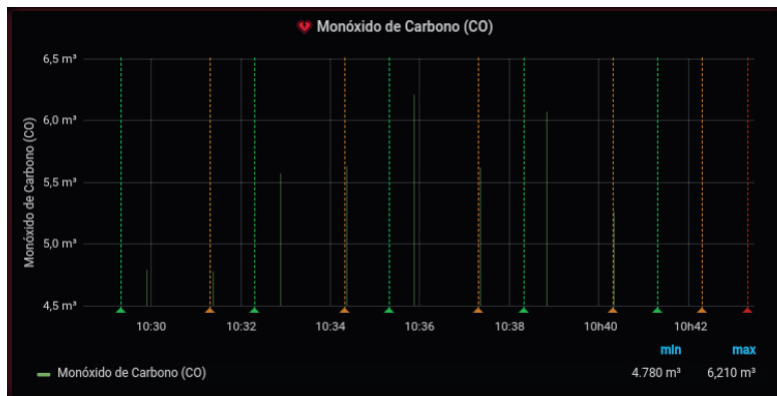


Figura 26. Erro Detectado no Sensor de CO



Figura 27. Alerta de Erro Detectado no Sensor de CO

Após detectado e notificado o erro é ligado novamente o sensor às 10 horas e 45 minutos e novamente temos as respostas esperadas de volta do recebimento dos dados no Grafana (Figura 28) e a mensagem de que o erro foi normalizado no Telegram (Figura 29).

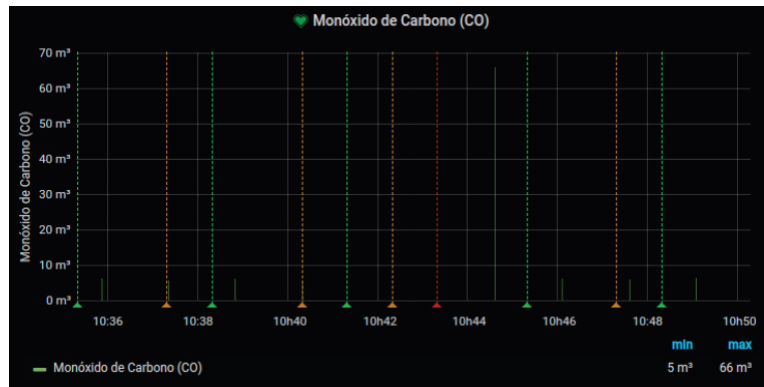


Figura 28. Correção Realizada no Sensor de CO



Figura 29. Notificação de Normalização do Sensor de CO

O segundo teste é realizado seguindo o mesmo procedimento feito no sensor de CO, mas agora no sensor de NO<sub>2</sub> (Figura 30). É observado que a falha é detectada próximo às 10 horas e 16 minutos no Grafana (Figura 31), e no mesmo momento é recebida pelo Telegram o aviso (Figura 32(a)). Passado alguns minutos é realizado o religamento do sensor gerando a resposta da Figura 32(b).

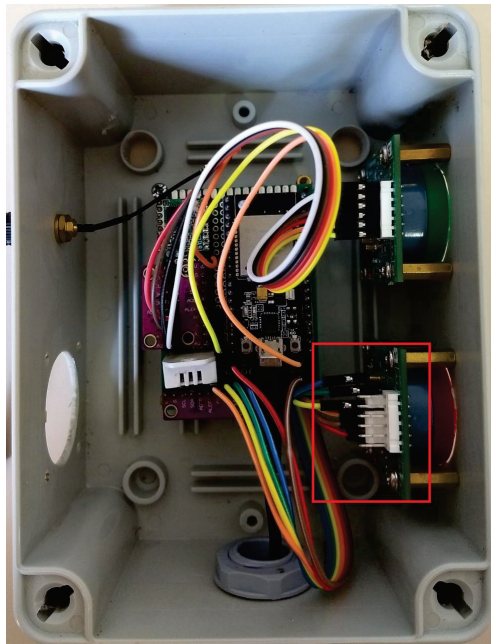


Figura 30. Isolamento do Sensor de NO<sub>2</sub>

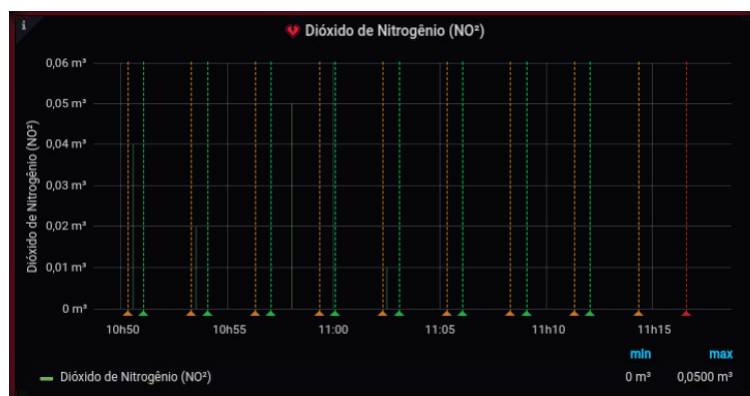


Figura 31. Erro Detectado no Sensor de NO<sub>2</sub>



(a) Alerta de Erro Detectado no Sensor de NO<sub>2</sub>

(b) Notificação de Normalização do Sensor de NO<sub>2</sub>

Figura 32. Status de Mensagens do Sensor de NO<sub>2</sub>

Agora como os dados de temperatura e umidade são provenientes de um único sensor os dois são notificados ao mesmo tempo, como este sensor está soldado na placa de controle não é recomendado a retirada dele, sendo assim houve a interrupção da alimentação do dispositivo, causando uma erro geral, contudo como esta sendo analisado apenas o sensor de temperatura e umidade os outros erros foram desconsiderados, o que gerou as seguintes respostas no Grafana (Figura 33), e no Telegram (Figura 34). Na sequência ouve o religamento do sistema obtendo como resultado as Figuras 35 e na Figura 36 onde é possível ver os dados e seu monitoramento.



Figur