

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CAMPUS ITUMBIARA
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO



STEFANE BRESSANI GERMANO

**PROTÓTIPO DE SOLUÇÃO IOT PARA UMA ESTAÇÃO METEORO-
LÓGICA APLICANDO TECNOLOGIA LORA NO AMBIENTE AGRO**

ITUMBIARA

2022

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO
NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Stefane Bressani Germano

Matrícula: 20151040100197

Título do Trabalho: Protótipo de solução IoT para uma estação meteorológica aplicando tecnologia LoRa no ambiente agro

Autorização - Marque uma das opções

- ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
- ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
- ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Itumbiara-GO, 09 / 12 / 2022
Local Data


Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

STEFANE BRESSANI GERMANO

PROTÓTIPO DE SOLUÇÃO IOT PARA UMA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA APLICANDO TECNOLOGIA LORA NO AMBIENTE AGRO

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Controle e Automação, do Instituto Federal de Goiás - Câmpus Itumbiara, como requisito para aprovação na disciplina de trabalho de conclusão de curso.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Gabriel Gustavo
Leonardo Zambolini Vicente
Coorientador: Prof. Dr. Jucélio Costa de Araújo

ITUMBIARA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

G373p Germano, Stefane Bressani
 Protótipo de solução IOT para estação meteorológica
 aplicando tecnologia Lora no ambiente agro. / Stefane Bressani
 Germano. -- Itumbiara, 2022.
 61p. : il.

 Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia
 de Controle em Automação) - Instituto Federal de Educação,
 Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Itumbiara, 2022.

 Orientador: Prof. Drº. Bruno Gabriel Gustavo Leonardo
 Zambolini Vicente.
 Coorientador: Prof. Drº. Jucélio Costa de Araújo.

 1. Metodologia agrícola. 2. Plantio. 3. Tecnologia. I.
 Título. II. Vicente, Bruno Gabriel Gustavo Leonardo Zambolini.
 III. Araújo, Jucélio Costa de. IV. Instituto Federal de
 Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

CDD 633.61

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Biblioteca Maria Gabriela Pacheco Pardey / Câmpus Itumbiara
Bibliotecária: Rosiane Gonçalves de Lima CRB1/1684

Stefane Bressani Germano

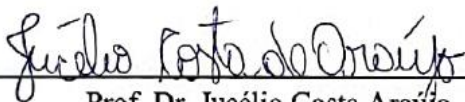
Protótipo de solução IOT para uma estação meteorológica aplicando tecnologia
LoRa no ambiente Agro

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca
avaliadora, parte dos requisitos para a obtenção do título de
bacharel em Engenharia de Controle e Automação junto ao
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Goiás (IFG), Câmpus Itumbiara.

Aprovado em 09 de dezembro de 2022.



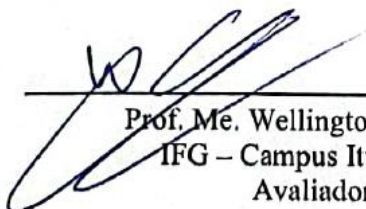
Prof. Dr. Bruno Gabriel Gustavo Leonardo Zambolini Vicente
IFG – Câmpus Itumbiara
Orientador



Prof. Dr. Jucélio Costa Araújo
IFG – Câmpus Itumbiara
Coorientador



Prof. Dr. Victor Régis Bernardeli
IFG – Câmpus Itumbiara
Avaliador



Prof. Me. Wellington do Prado
IFG – Câmpus Itumbiara
Avaliador

Itumbiara/GO
2022

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que me deu a chance de reestabelecer minha saúde para continuar nessa jornada durante a pandemia, que acontecera no último ano.

Ao meu Orientador Bruno por conceder toda a maestria do seu conhecimento, em acreditar que este projeto é possível e estar sempre disponível a ajudar.

Aos meus pais, Antonio e Marta, e ao meu irmão, Samuel, por apoiar meus sonhos e dedicarem estar prontos a ajudar em todas as etapas desse projeto. Tenho orgulho de fazer parte dessa família.

Agradeço ao meu companheiro e amigo Raul, que em todos os momentos sempre esteve ao meu lado estendendo a mão de forma incondicional e manter firme na minha meta.

Aos professores do Instituto pela dedicação em conduzir os conhecimentos em toda minha trajetória acadêmica.

À toda a equipe técnica e administrativa do Instituto Federal de Goiás do Câmpus Itumbiara, por disponibilizar o material e o laboratório. Sem ele esse projeto não seria possível.

E por último, mas não menos importante, aos meus amigos e colegas de turma, em especial ao Pedro Paulo, João Eduardo, Nayelle, Michelly, muito obrigada pela ajuda e apoio por todos esses anos.

RESUMO

O avanço da IoT no ambiente agro trouxe para o cenário uma nova tecnologia chamada LoRa, que se mostrou atrativo para cumprir a necessidade de cobrir uma extensa área na coleta de dados de um plantio. Ao se deparar com este tipo de problema, normalmente as soluções costumam ter alto custo em razão do maquinário e infraestrutura. Ao implantar um sistema que utiliza a tecnologia do protocolo LoRaWAN, este custo é reduzido devido à comunicação sem fio e à alimentação por bateria. Por esta razão esta tecnologia foi selecionada para um desenvolvimento do protótipo de uma estação meteorológica implantada em ambiente agro, a fim de estudar o gasto energético e área de cobertura. As informações captadas pelo protótipo são transmitidas via nuvem que podem ser melhor estudadas posteriormente a fim de melhorar o desempenho do plantio. Durante os testes, o sistema exibiu resultados promissores, utilizando pouco consumo de energia devido à metodologia de transmissão de dados do chip LoRa. Quanto à distância de comunicação, os dados puderam ser recebidos a cerca de 4 quilômetros, considerando um nível mediano de interferências de obstáculos.

Palavras-chave: Agrometeorologia, LPWAN, LoRa.

ABSTRACT

The advancement of IoT in the agro environment brought to the scene a new technology called LoRa, which proved to be stimulating to meet the need to cover a large area in the collection of data from a plantation. When faced with this type of problem, solutions are usually costly due to machinery and infrastructure. By deploying a system using LoRaWAN protocol technology, this cost is reduced due to wireless communication and battery power. For this reason, this technology was selected for the development of a prototype of a meteorological station implanted in an agro-environment, in order to study energy expenditure and coverage area. The information captured by the prototype is transmitted via cloud that can be better studied later in order to improve planting performance. During the tests, the system showed promising results, using little energy consumption due to the data transmission methodology of the LoRa chip. As for the communication distance, data can be received at about 4 kilometers, considering an average level of interference from obstacles.

Key words: Agrometeorology, LPWAN, LoRa

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Funcionamento da internet das coisas.....	14
Figura 2 - Gráfico de comparação das redes em referência à distância e velocidade	17
Figura 3 - Modulação CSS	20
Figura 4 - Comparação do comportamento do SF em correlação a BW	21
Figura 5 - Sistema LoRa em campo	22
Figura 6 - Camadas de protocolo LoRaWAN	23
Figura 7 - Janelas de recebimento da classe A	24
Figura 8 - Janelas de recebimento da classe B	25
Figura 9 - Janelas de recebimento da classe C	25
Figura 10 - Plano de frequência do padrão australiano AU915	26
Figura 11 - Tecnologia LPWA conectadas.....	28
Figura 12 - Perfil técnico entre as tecnologias SigFox, LoRa e NB-IoT.....	29
Figura 13 - Zona de Fresnel sem interferências	30
Figura 14 - Near Line of Sight.....	30
Figura 15 - Non Line of Sight	30
Figura 16 - Zona de Fresnel considerando a curvatura da Terra	31
Figura 17 - Diagrama do end device	36
Figura 18 - Wi-fi LoRa 32.....	37
Figura 19 - TTGO T-Call V1.4 ESP32	38
Figura 20 - Bateria de lítio instalada no sistema	38
Figura 21 - Sensor de temperatura DS18B20.....	40
Figura 22 - Higrômetro HD-38.....	41
Figura 23 - Sensor de temperatura e umidade DHT22	42
Figura 24 - Diagrama do gateway	43
Figura 25– Teste Cenário Rural.....	45
Figura 26– Conexão da bateria de lítio com a placa LoRa.....	46
Figura 27– Gráficos exibidos na plataforma ThingSpeak	49
Figura 28– Teste alcance no cenário urbano	50
Figura 29– Teste de alcance no cenário rural	50
Figura 30– Comportamento da corrente no osciloscópio conectada ao protótipo	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Taxa de comunicação de dados AU915	27
Tabela 2 - Dados técnicos entre as tecnologias LPWAN	28
Tabela 3 - Métodos e sistemas de irrigação	33
Tabela 4 - Parâmetros do sensor DS18B20	41
Tabela 5 - Parâmetros do higrômetro	41
Tabela 6 - Parâmetros do sensor DHT22	43
Tabela 7- Orçamento dos dispositivos	48
Tabela 8– Valores do consumo de energia obtidos de forma experimental	52

LISTA DE SIGLAS

ADR – *Adaptive data rate* (taxa de dados adaptável)

BW – *Bandwidth* (largura de banda)

CR – *Code rate* (taxa de código)

IoT – *Internet of things* (internet das coisas)

RSSF – Rede de sensores sem fio

CSS – *Chirp spread spectrum* (modulação por espectro disperso)

SF – *Spread factor* (fator de espalhamento)

FEC – *Forward error correction*

RSSI – *Received signal strength indication* (indicador de potência de recebimento de sinal)

LISTA DE SÍMBOLOS

dBm – Decibéis miliwatt

GHz – Gigahertz

Hz- Hertz

A – Ampère

mA – Miliampere

m – Metros

km – Quilômetros

MHz – Megahertz

bps – Bits por segundo

kbps – Kilobytes por segundo

uA – Microampère

s – Segundos

V – Volts

VCC – Tensão de corrente contínua

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. OBJETIVOS	13
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1. INTERNET DAS COISAS (IOT)	14
2.2. AGROMETEOROLOGIA	15
2.3. COMUNICAÇÃO SEM FIO	15
2.3.1. REDES DE SENSORES SEM FIO (RSSF)	16
2.4. LPWAN	16
2.4.1. SIGFOX	18
2.4.2. NB-IOT	19
2.5. TECNOLOGIA LORA	19
2.6. PROTOCOLO LORAWAN	22
2.6.1. CLASSES DE OPERAÇÃO	24
2.6.1.1. CLASSE A	24
2.6.1.2. CLASSE B	25
2.6.1.3. CLASSE C	25
2.6.2. PARÂMETRO REGIONAL	26
2.7. COMPARAÇÃO LORA COM OUTRAS TECNOLOGIAS LPWAN	27
2.8. ZONA DE FRESNEL	29
2.9. CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS E DO SOLO	32
2.9.1. TEMPERATURA DO SOLO	32
2.9.2. UMIDADE DO SOLO	33
2.10. AGRICULTURA DE PRECISÃO	33
3. METODOLOGIA	35
3.1. DISPOSITIVOS E PROJETO	35
3.1.1. END DEVICE	35
3.1.2. ESP 32 WI-FI LORA (V2)	36
3.1.3. TTGO T-CALL	37
3.1.4. FONTE DE ENERGIA	38
3.1.5. SENSORES	39
3.1.5.1. DS18B20	40
3.1.5.2. HIGRÔMETRO HD-38	41
3.1.5.3. DHT22	42
3.2. GATEWAY	43
3.3. AVALIAÇÃO DA DISTÂNCIA DE COMUNICAÇÃO	44
3.3.1. CENÁRIO URBANO	44
3.3.2. CENÁRIO RURAL	45
3.4. EXPERIMENTOS DE COLETA DE ENERGIA CONSUMIDA	45
3.5. COLETA DE DADOS EM TEMPO REAL	47
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48

4.1.	ORÇAMENTOS	48
4.2.	COMUNICAÇÃO COM A NUVEM	48
4.3.	DISTÂNCIA DE COMUNICAÇÃO	49
4.4.	ANÁLISE DE CONSUMO ENERGÉTICO.....	51
5.	CONCLUSÃO	52
6.	TRABALHOS FUTUROS	53
	REFERÊNCIAS	54

1. INTRODUÇÃO

Um levantamento feito pela Conab estimou que Goiás teve a maior produção de grãos na safra no período 2021/2022, um número recorde com 30 milhões de toneladas em comparação com o último período de 24,6 milhões. Culturas como soja, milho, girassol, trigo e algodão é destaque no estado (PORTAL GOIÁS, 2022). De acordo com a FieldView (2021), além de ser responsável por 26% do PIB em 2020, e com crescimento de 8,36% em 2021 (CEPEA, 2022), o agronegócio brasileiro vem apresentando bom desempenho ano após ano, posicionando o país como uma das potências mundiais do setor, além de grande produtor e exportador de diversos produtos. Estima-se que os alimentos entregues pelo Brasil sejam responsáveis pela alimentação de cerca de 800 milhões de pessoas em todo o mundo. Hoje, o setor é responsável por cerca de um quarto da riqueza do Brasil, devido ao grande uso de tecnologias, como maquinários com GPS, imagens satélites, e os produtores brasileiros incorporam cada vez mais a tecnologia à agricultura, em consequência, melhorando a gestão.

Usualmente, os grandes investimentos neste tipo de infraestrutura ocorrem em lavouras de grande escala, uma vez que os custos se tornam inviáveis para menores agriculturas, fazendo com que pequenos produtores rurais não tenham acesso às vantagens tecnológicas deste ramo. Uma das tecnologias que vem ganhando bastante espaço na era da agronomia 4.0 é a Internet das Coisas (IoT), um conceito que reúne os mundos físico e digital, permitindo que os indivíduos interajam continuamente com outras pessoas e objetos (JESUS, 2021). Ao vincular as tecnologias como redes de quinta geração (5G), computação em nuvem, a IoT reflete um futuro no qual diversas soluções impulsionam avanços na agricultura e na indústria. Dessa forma, a interação com o mundo físico mudou, possibilitando medidas computacionais, viabilizando novos negócios, facilitando a segurança, aprimorando a tomada de decisões, as estratégias agropecuárias e a automatização dos serviços, e consequentemente impulsionando produtividade e eficiência no uso de insumos e a redução do impacto ambiental. Nesse contexto, as operações e as decisões passaram a ser baseadas em informações coletadas em tempo real sobre clima, terras, cultivos, pecuária, produção, tais quais são algumas das possibilidades da agricultura 4.0. (MASSRUHÁ; LEITE, 2017).

1.1. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho consiste em analisar a tecnologia de rede sem fio no ambiente agro, utilizando como principal foco de pesquisa o LoRa¹. Para isso, definiu-se a construção de uma estação meteorológica com a implantação desta tecnologia, com o foco em baixo custo. Dessa forma, os conceitos se apresentam como solução para pequenos produtores e um ponto de partida para a implementação em maior escala. Os tópicos estudados nestes trabalhos se resumem a:

- Fundamentação teórica;
- Comparações das tecnologias sem fio;
- Testes de limites de alcance da comunicação em diferentes tipos de região;
- Estudo da capacidade de economia da bateria;
- Montagem de protótipo meteorológico usando LoRa;
- Conexão remota dos dados através de um aplicativo.

¹ LoRa – *Long range* (longa distância).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

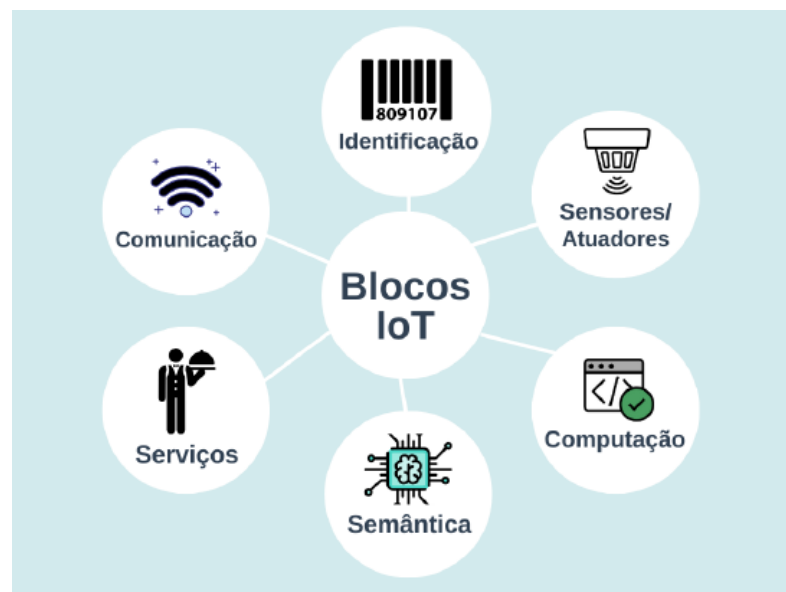
O objetivo deste capítulo é apresentar o embasamento teórico utilizado no desenvolvimento deste trabalho e detalhar conceitos como IoT, agricultura de precisão, bem como o impacto causado na produtividade agrícola ao utilizar estas tecnologias.

2.1. INTERNET DAS COISAS (IOT)

A internet das coisas (do inglês *internet of things*) consiste na comunicação de objetos do dia-a-dia com capacidade computacional na internet e entre si. Esta extensão da internet possui um grande potencial no meio acadêmico e industrial, e suas aplicações se estendem ainda mais quando aliado à instalação de sensores (SANTOS et al, 2016).

A grande vantagem da IoT é a possibilidade de ter vários aparelhos conectados entre si sendo acessíveis ou controláveis de qualquer lugar e dispositivo conectado à internet. No ambiente agrometeorológico, a IoT é aplicada nos sensores, atuadores e controladores instalados em campo, que em conjunto com a estrutura da RSSF² permite ao usuário o monitoramento das condições de suas terras (PEREIRA, 2019). A Figura 1 resume o funcionamento do conceito de internet das coisas.

Figura 1 – Funcionamento da internet das coisas



² RSSF – Redes de sensores sem fio.

Fonte: Adaptado de LOPES (2019)

2.2. AGROMETEOROLOGIA

O agronegócio tem sido uma exceção positiva em vários aspectos nos últimos anos, principalmente com a situação econômica que o Brasil enfrenta atualmente. O país ocupa uma posição de destaque no padrão mundial de produtos agrícolas justamente por ser um país com vasto território, grande variedade de produtos agrícolas e estrutura e organização de produção rural diversificada. Fala-se de um cenário de desafios e oportunidades para garantir a competitividade do agronegócio e o bem-estar das comunidades rurais. As regiões que alcançaram com sucesso altos níveis de produção agrícola adotaram novas tecnologias e aumentaram as terras aráveis, tornando-se mais eficientes e alcançando o crescimento econômico esperado (SOARES FILHO; P. A. R. DA CUNHA, 2015).

A ciência que estuda a relação entre a condição atmosférica e o desenvolvimento das plantas se chama agrometeorologia. Esta é uma área de pesquisa que coleta dados de clima, plantas e solos, além de estudar como as condições atmosféricas afetam a produtividade agrícola. A partir desse conhecimento, estratégias para melhorar os resultados da colheita podem ser utilizadas como base para identificar as melhores práticas, como irrigação, intervalo e época de plantio, e a variedade mais adequada ao clima local (EQUIPE AGRUS et al., 2020).

Quando os agricultores conseguem reunir todos os dados sobre as condições atuais e previsões meteorológicas para os próximos meses, torna-se possível tomar melhores decisões para o seu planejamento agrícola. Nesse sentido, além de conhecer o método ideal de adubação e aplicação de agrotóxicos, torna-se mais fácil determinar a melhor época para plantar e colher. É possível basear através de *sites* de meteorologia, porém manter o próprio sistema permite analisar as condições do cultivo com muito mais precisão (EQUIPE AGRUS et al., 2020).

2.3. COMUNICAÇÃO SEM FIO

Se tratando da comunicação de dados entre dispositivos, existem diversas opções de protocolos e estruturas que podem se adaptar melhor dependendo da aplicação. As redes sem fio se propagam por ondas de rádio, o que facilita a mobilidade dos dispositivos nela conectados ao enviarem e receberem dados. Além disso, evita a instalação de cabos para conectar dispositivos, o que pode ser um obstáculo na maioria das situações (TIWARI, et al., 2015).

Quando uma rede é projetada para atuar com uma finalidade, um fator importante a ser considerado é a forma como os dispositivos se conectam entre si. Estas formas de conexão são conhecidas como topologias, e os dispositivos instalados conhecidos como nós (PINHEIRO, 2006).

2.3.1. REDES DE SENSORES SEM FIO (RSSF)

O conceito de redes de sensores sem fio consiste na utilização da comunicação sem fio para obter, processar e disseminar os dados referentes à uma região de interesse. Normalmente, uma estrutura composta por sensores, bateria, dispositivo responsável pela comunicação de dados e um microcontrolador para processar as informações coletadas opera em conjunto para obter os dados da região, de modo que cada ponto onde são instalados um ou mais sensores se comunica com um sistema controlador que agrega as informações e as envia para a rede (ALCANTUD, 2017).

Ruiz et al (2013) detalha sobre as diferentes configurações na utilização de RSSFs, algo que deve ser levado em consideração ao planejar a utilização deste conceito, uma vez que este sistema depende da aplicação. Ao se tratar da configuração da frequência de envio de dados de sensoriamento, pode-se optar pelas seguintes opções:

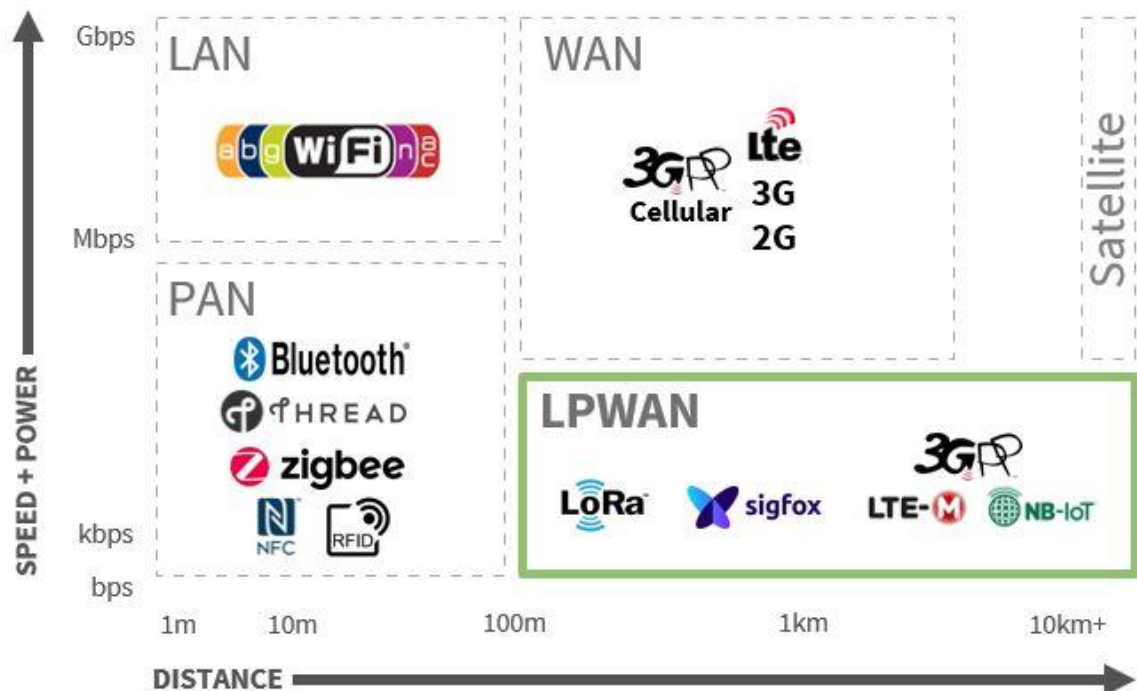
- Coleta periódica: Os dados coletados pelos sensores são enviados em um intervalo pré-determinado;
- Coleta contínua: Os dados são enviados de forma contínua;
- Coleta reativa: O dispositivo envia os dados ao ocorrer algum evento ou ser solicitado;
- Coleta em tempo real: Os dados coletados são enviados continuamente e imediatamente ao observador.

Pode-se concluir que a variação no atraso de envio dos dados está relacionada diretamente com a aplicação do sistema, e em consequência, com o consumo de energia. Neste contexto, a fase de planejamento do sistema é de grande importância para decidir este tipo de configuração e implementar a infraestrutura adequada (ALCANTUD, 2017).

2.4. LPWAN

Devido à alta propagação da tecnologia IoT, vários dispositivos e protocolos foram estudados e comercializados, como Bluetooth, Zigbee, celular (3G/4G), entre outros. Todavia, os parâmetros disponíveis para serem utilizados em aplicações específicas de comunicações de longo alcance não apresentavam bons resultados em determinados ambientes, por essa razão em 2013 se destacou um novo conceito, LPWAN (*Low Power WAN*). A Figura 2 apresenta um gráfico que diferencia estas tecnologias através da relação velocidade de tráfego/distância. Pode-se observar que o protocolo LPWAN ocupa uma posição de longa distância com poucos bps, em extremo oposto, nota-se que as redes LAN transmitem uma alta taxa de dados em curtas distâncias, e consequentemente, maior consumo de bateria.

Figura 2 - Gráfico de comparação das redes em referência à distância e velocidade



Fonte: Mäkelä (2020)

As principais propriedades propostas para as redes LPWAN são:

i. Longo Alcance:

A comunicação em longo alcance é possível devido a tecnologias que contêm módulos com grande sensibilidade de recepção, LPWAN ultrapassa -130 dBm, em

comparação do Wi-Fi que contém apenas -95dBm. Devido a essa razão, os módulos conseguem transmitir sinais de até 15 km em áreas rurais, e em áreas urbanas 5km.

ii. Baixa potência:

A característica primordial do LPWAN é a baixa potência, com justificativa de tecnologias que tem autonomia de meses ou ano sem troca de bateria ou recarga, para que esse objetivo seja realizável, as atividades dos dispositivos deve ser cuidadosamente gerenciada, ou seja, manter em modo ocioso frequentemente. O raciocínio mais adequado é um ciclo de trabalho tenha a proporção de 1 hora de tempo ocioso para 36 segundos de atividade.

iii. Baixa taxa de dados:

A taxa de dados é reduzida para que os dois critérios já citados sejam impostos. Dependendo da tecnologia a comunicação passa a ter entre 100 bps a 200 kbps, destinando com envio de poucos bytes de tamanho, própria para dados de sensores, beacons e outro tipos de comando remotos. E por essa razão, a baixa taxa de dados resulta em uma largura de banda mais estreita com maiores canais de espectro de frequência.

iv. Baixo custo:

O baixo custo é notável no mercado LPWAN, o custo do *hardware* e operação do dispositivo custa poucos dólares, e é facilmente encontrado no mercado.

Nota-se a crescente procura de aplicações onde envolve internet das coisas, e a configuração e estrutura da comunicação sem fio é um dos principais fatores para as condições acontecerem. No mercado existem diversos dispositivos capazes de entregar com eficiência os dados necessários de acordo com a necessidade do usuário, entretanto antes de tomar uma decisão deve-se entender as diferenças dos dispositivos e protocolos que mais se encaixam na aplicação. Fatores que devem ser considerados são: taxa de transferência de dados, alcance, consumo de bateria, custo-benefício, entre outros.

2.4.1. SIGFOX

É uma empresa fundada na França em 2010 a fim de criar dispositivos com objetivos LPWAN, surge com a premissa de ser econômica, confiável e baixo custo de energia, além de garantir fácil e rápida instalação. *Sigfox* utiliza uma modulação de banda muito estreita, *Ultra Narrowband* (UNB), cada mensagem tendo 100 HZ de largura numa banda de espectro não-

licenciado com taxa de dados variam entre 100 a 600 bits por segundo, essa característica garante uma maior cobertura de área (SILVA, 2021).

No Brasil adota-se a faixa de 915GHz com alcance de 10 km em perímetro urbano e 50 km no rural. É possível encontrar *Sigfox* na empresa parceira WND Brasil, cujo atua nas capitais brasileiras, pretendo expandir a rede para outros países da América do Sul, como Argentina, Colômbia e México. A WND oferece planos para instalação para cada *end-node* com *Sigfox*, por uma taxa, a qual há uma limitação máxima de 140 mensagens por dia, ou seja, uma a cada 10 minutos, e com o máximo de 12 bytes.

O aspecto mais interessante do *Sigfox* é a compatibilidade com a geolocalização, visto que o GPS usa no máximo 11 bytes, e o tamanho máximo do *payload* da mensagem é 12 bytes (SILVA, 2021).

2.4.2. NB-IOT

A Internet das Coisas de Banda Estreita (NB-IoT), é indicada quando não é necessário transmitir muitos dados e não precisa de baixa latência. Esta tecnologia aproveita-se da estrutura LTE³, e está em conformidade com as futuras redes 5G, considerando uma vantagem. A maior desvantagem dessa tecnologia é que a conectividade se dá ao uso das redes de celular, ou interferências físicas como estruturas metálicas e grandes áreas rurais e remotos pode haver problemas de transmissões (CARVALHO, 2021).

De acordo com Ratasuk et al (2016), NB- IoT padroniza três operações:

- i. *In-band*: quando usa blocos de recursos físicos de um prestador de serviço, o 4G/LTE;
- ii. *BandGuard*: quando regula o espectro não usado em um provedor de serviços de banda de guarda 4G/LTE;
- iii. Independente: quando implantada em um espectro dedicado.

2.5. TECNOLOGIA LORA

A tecnologia LoRa consiste no conceito de tráfego de dados focado em longas distâncias, como expressado na abreviação do termo inglês *Long Range* (Longa distância em

³ LTE – *Long term evolution*.

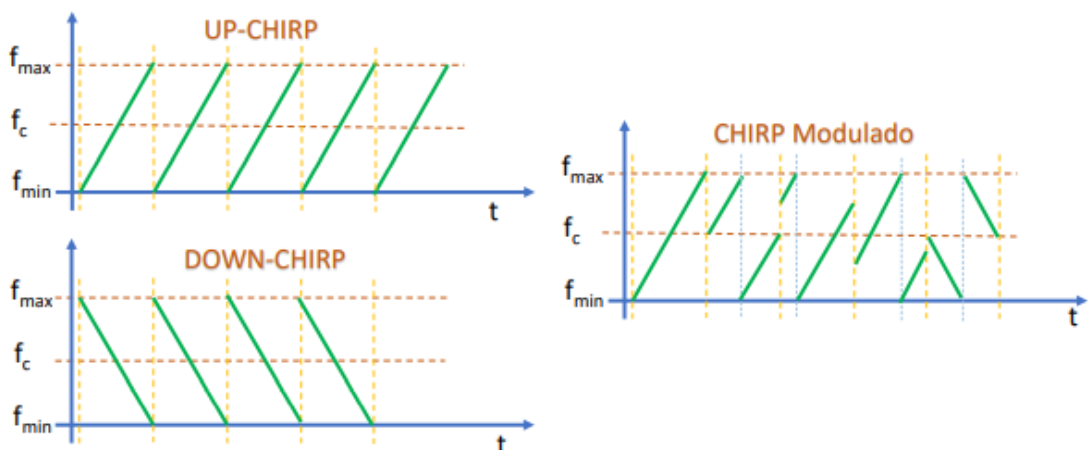
português), patenteada pela *Semtech Corporation*. Seu funcionamento se utiliza da técnica de modulação em espectro disperso, *Chirp Spread Spectrum* (CSS). A tecnologia origina-se na década de 1940 usada para técnicas de comunicações militares, razão por se propagar a grandes distâncias e com robustez à interferência.

Pichini (2019) destaca que se trata de uma rede de área ampla de baixa potência, padrão projetado para IoT com melhor cobertura, menores custos de conexão e menor consumo de bateria, contribuindo para a implementação em campo, visto que as mensagens geradas pelos dispositivos se espalham pelo meio rural, não uma grande quantidade de dados, mas dados que exigem grande largura de banda.

Facina (2021) ressalta sobre o aumento exponencial do uso dessa técnica graças a características robusta de baixa potência de transmissão, garantindo-se assim vários anos de vida útil da bateria, como também longo alcance e robustez à degradação do canal por mecanismo como multipercurso, desvanecimento, efeito doppler e interferências. Cavalli (2021) reforça que ao contrário do tipo de modulação de banda estreita, caracterizada por um sobressalto na forma de um pico, como visto na Figura 3, na modulação em CSS a mesma densidade de potência está distribuída em uma faixa maior de frequência, podendo estar totalmente abaixo da linha de ruído.

CSS usa pulsos de *chirp* modulados em frequência que varia linearmente com o tempo como método de codificação. Os *chirps* são uma rampa de $f_{\min}$ para $f_{\max}$ (*up Chirp*) ou então verso, $f_{\max}$ para $f_{\min}$ (*down chirp*). A Figura 3 apresenta graficamente a modulação CSS (FACINA, 2021).

Figura 3 - Modulação CSS

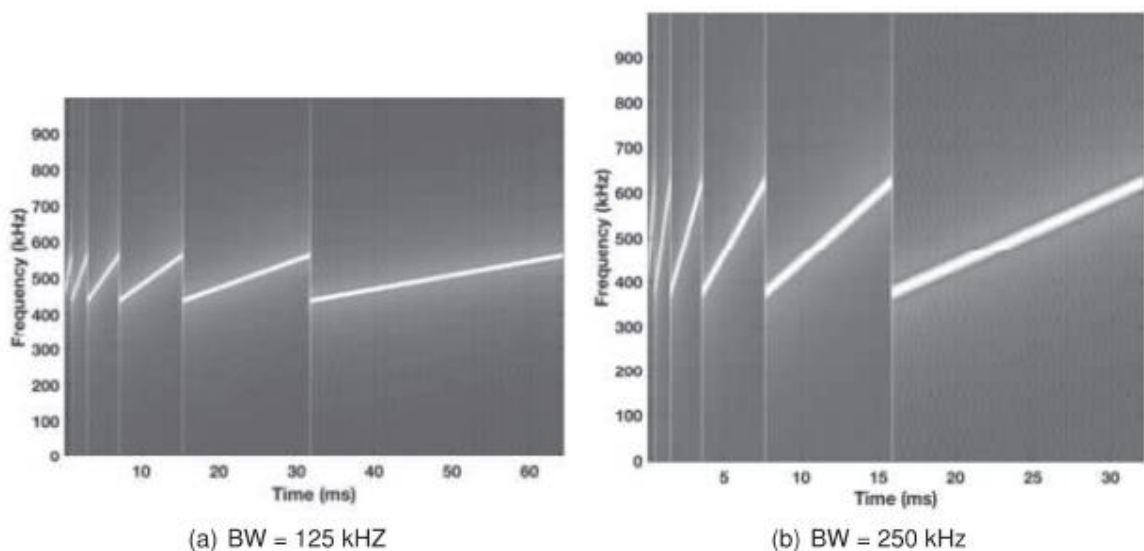


Fonte: Facina (2021)

Ao utilizar a tecnologia LoRa, leva em consideração algumas características essenciais para seu melhor funcionamento e desempenho, sendo os seguintes parâmetros:

- i. Fator de espalhamento (SF): Trata-se de um dos principais parâmetros da modulação LoRa. O SF é o número total de bits que um símbolo pode transportar e 2^{SF} corresponde ao número de chips contidos em cada símbolo. Cada pulso pode codificar entre 7 a 12 bits, quanto maior, mais longos e menos íngremes são os chips, menor é a taxa de dados e maior é o alcance do sinal.
- ii. Largura da banda (BW): Trata-se do intervalo de variação dos chips (fhigh – flow), varia-se entre 125, 250 ou 500 kHz. Na Figura 4 é exposta uma comparação do comportamento entre fatores de espalhamento com determinados 125 e 250 kHz de larguras de bandas.

Figura 4 - Comparação do comportamento do SF em correlação a BW



Fonte: Adaptado de Bouras (2018)

- iii. Taxa de código (CR): É um mecanismo de detecção e correção de erros. As configurações são 4, 4/5, 4/6, 4/7 e 4/8, em que 4 é a quantidade de bits de informação que estão embutidas nos chipsets. O CR explora a técnica de correção direta de erros (FEC – *Forward Error Correction*), o que melhora a confiabilidade da comunicação e não apresenta erros com facilidades, porém em desvantagem essa técnica induz uma sobrecarga de bits a serem transmitidos.

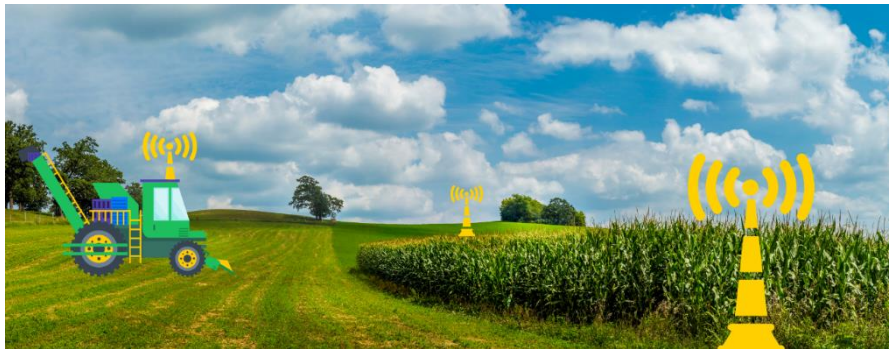
O cálculo da taxa de transferência de dados R_b depende do SF, BW e CR (Equação 1).

$$R_b = (SF)(CR) \left(\frac{B_W}{2^{SF}} \right) \text{bps} \quad (1)$$

Ao explorar as possibilidades da tecnologia LoRa no ambiente rural, percebe-se que o potencial se concentra nas aplicações que requerem longo alcance (Figura 5), e ao analisar não só as ferramentas do sistema, mas como o custo-benefício, a implantação do mesmo se torna eficaz.

Uma das aplicações ao utilizar o LoRa, é a possibilidade de rastrear as condições do rebanho de gado no campo, de tal forma que os mais diversos dados são garantidos, exemplo: a leitura dos dados através de sensores de temperatura pode indicar se um touro ou uma vaca está doente, preso, perdido ou morto. Através dos acelerômetros são capazes de distinguir a localização em tempo real caso alguma unidade tenha perdido do rebanho. Animais vivos (temperatura), mas estacionários (GPS) podem estar feridos ou presos. Pichini (2019) ressalta sobre a eficácia com a monitoração de veículos pesados por meio da rede LoRa, já que torna possível equacionar tudo em uma só plataforma de nuvem.

Figura 5 - Sistema LoRa em campo



Fonte: Autor

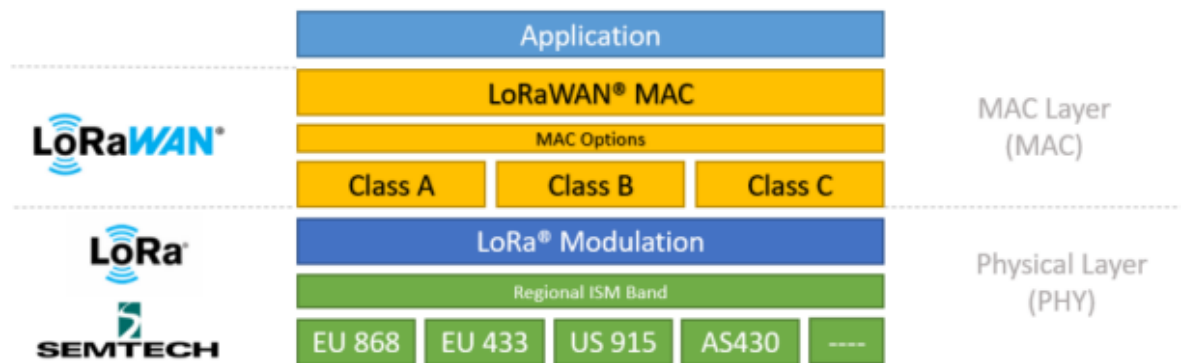
2.6. PROTOCOLO LORAWAN

O LoRaWAN consiste no protocolo principal da tecnologia LoRa. Responsável pela camada de controle médio de acesso (MAC), com a função principal de gerenciar a comunicação entre os *end-devices*, gateway e network server. Esse tipo de arquitetura usa redes ISM⁴, ou

⁴ ISM – *Industrial, scientific and medical*.

então bandas de frequência não licenciadas na faixa de sub-gigahertz. A Figura 6 apresenta as camadas de sua arquitetura de rede.

Figura 6 - Camadas de protocolo LoRaWAN



Fonte: Facina (2021)

End-Device: Ou os *end-nodes*, são dispositivos integrados a microcontroladores com um rádio LoRa, conectados a topologia estrela, por meio de uma comunicação bidirecional a um ou mais *gateway*. Por sua vez são dispositivos equipados de sensores de monitoramento. No ambiente agro, é possível fazer monitoramento de sensores de geolocalização para monitoramento de gado ou veículos, ou até sensores para captar mudanças climáticas e entre outras finalidades.

Gateway: responsável para realizar a decodificação e codificação do sinal, funciona como uma ponte entre o *End-device* e *Network servers*, geralmente são dispositivos que mantêm conectividade através de *wi-fi*, *ethernet* cabeada ou rede celular. Os *gateways* também gerenciam a integridade dos dados do pacote, se o CRC⁵ for incorreto, o pacote é desprezado.

Network Server: Gerencia a rede, estabelecendo conexões seguras dos usuários, e elimina mensagens duplicadas recebidas por vários gateways, garantindo a integridade dos pacotes. A *network server* controla a função *Adaptive Data Rate* (ADR), responsável por otimizar as taxas de dados e o tempo da ocupação do canal, com o objetivo de poupar o consumo da bateria, controlando os parâmetros de transmissão já citados no tópico anterior, que são: SF, largura de banda e potência de transmissão. Através da SNR⁶ medida nos pacotes de *uplink*,

⁵ CRC – *Cyclic redundancy check*, técnica utilizada em redes para detecção de erros.

⁶ SNR – *Signal to noise ratio*

end-devices mais perto dos *gateways* usam SF mais baixo a uma taxa de dados mais alta, e *end-device* com maiores distância, usam SF alto.

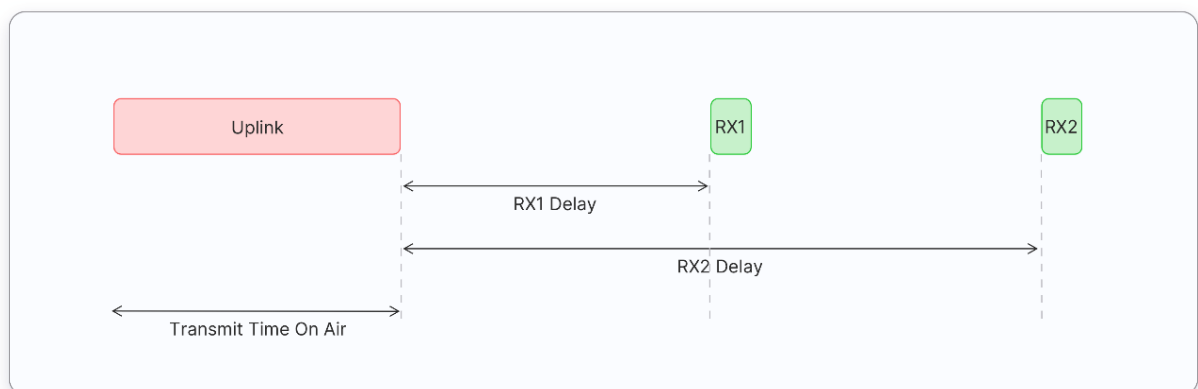
2.6.1. CLASSES DE OPERAÇÃO

Todos os dispositivos finais LoRaWAN devem oferecer suporte à implementação das classes. LoRaWAN disponibiliza três tipos de classe, detalhadas nos tópicos seguintes.

2.6.1.1. CLASSE A

A comunicação de classe A é a mais indicada entre as classes, pois são muitas vezes alimentados por bateria, de modo que garante o menor consumo de energia pois passa a maior parte do tempo no modo de suspensão. Dispositivos com classe A são sempre iniciados pelo *end-device*, que pode enviar uma mensagem de *uplink* a qualquer momento. Uma vez que a transmissão de *uplink* é concluída, o dispositivo abre duas janelas de recepção curtas (*downlink*). Há um atraso entre o final da transmissão de *uplink* (RX1) e o início das janelas de recebimento (RX2). Se o servidor de rede não responder durante essas duas janelas de recebimento, o próximo *downlink* será após a próxima transmissão de *uplink*. Este processo é ilustrado na Figura 7.

Figura 7 - Janelas de recebimento da classe A



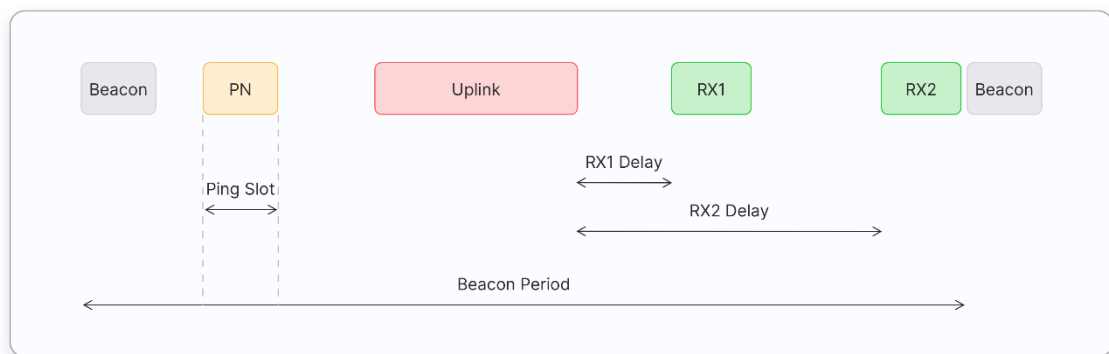
Fonte: LoRa Alliance, Inc (2021)

O servidor pode responder durante a primeira janela de recebimento (RX1) ou durante a segunda janela de recebimento (RX2), mas não usa ambas as janelas.

2.6.1.2. CLASSE B

Além das janelas de recebimento iniciadas pela classe A, os dispositivos de classe B abrem as janelas de recebimento agendadas periodicamente para receber mensagens de *downlink* da network server usando *beacons* sincronizados com o tempo transmitidos pelo *gateway*. Os dispositivos de classe B também abrem as janelas de recebimento após o envio de um *uplink*, como pode ser visto na Figura 8. Os dispositivos finais de classe B têm latência menor do que os dispositivos finais de classe A, pois eles podem ser acessados em horários pré-configurados e não precisam enviar um *uplink* para receber um *downlink*. Em consequência disso, a duração da bateria é menor na classe B do que na classe A, pois o dispositivo passa mais tempo no modo ativo, durante *beacons* e *slots* de *ping*.

Figura 8 - Janelas de recebimento da classe B

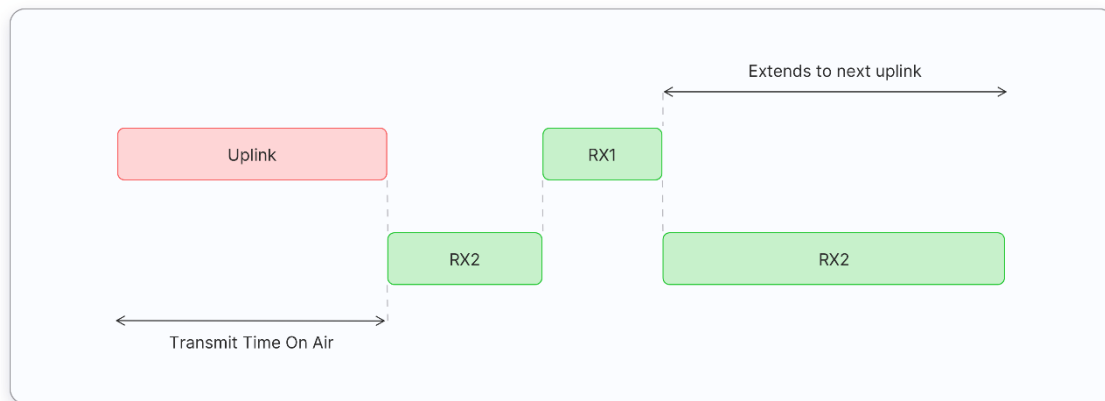


Fonte: LoRa Alliance, Inc (2021)

2.6.1.3. CLASSE C

Os dispositivos de classe C estão sempre sendo alimentados por rede elétrica, mantendo as janelas de recepção sempre abertas, a menos que estejam transmitindo, conforme mostrado na Figura 9. Nesse tipo de classe não há nenhum tipo de latência, a janela de recebimento sempre está ativa.

Figura 9 - Janelas de recebimento da classe C



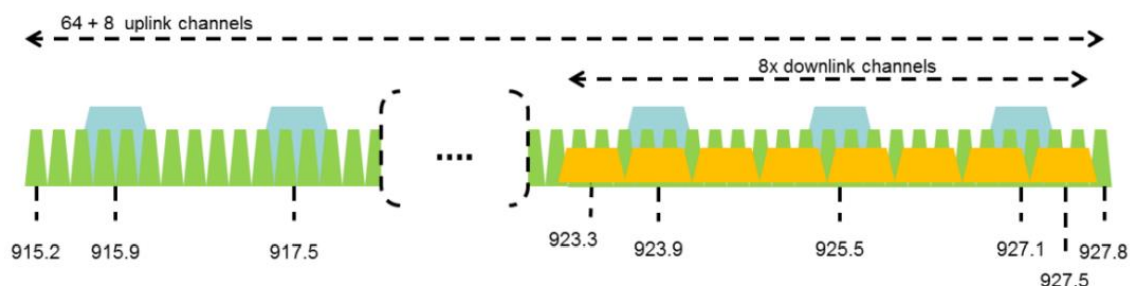
Fonte: LoRa Alliance, Inc (2021)

2.6.2. PARÂMETRO REGIONAL

ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações), órgão responsável pela fiscalização e regulamento de serviços de Telecom no Brasil, definiu que o parâmetro regional a ser usado por todo território nacional é o padrão australiano AU915, através da Resolução 680 e o Ato 114448, os quais tratam de equipamentos de radiação restrita.

A potência máxima de transmissão para sistemas de modulação de sequência direta não deve ultrapassar 30 dBm, com faixa de frequência ISM de 915 a 928 MHz. A Figura 10 apresenta a canalização de frequência.

Figura 10 - Plano de frequência do padrão australiano AU915



Fonte: LoRa Alliance, Inc (2021)

O padrão AU915 divide nas seguintes configurações:

- Upstream – 64 canais numerados de 0 a 63, com BW de 125 KHz, DR0 a DR5, $CR = 4/5$, iniciando em 915,2 MHz até 927,8 MHz com incrementos de 200 KHz;

- Upstream – 8 canais numerados de 64 a 71, *BW* de 500 KHz, DR6, variando de 915,9 MHz até 927,1 MHz com incremento linear de 1,6 MHz;
- Downstream – 8 canais numerados de 0 a 7, *BW* de 500 KHz, DR8 a DR13, iniciando em 923,3 MHz até 927,5 MHz, com incremento linear de 600 KHz.

A taxa de comunicação do parâmetro AU915 é regularizado de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 - Taxa de comunicação de dados AU915

DR	Configuração	Bit rate [bps]
0	SF12 - BW125	250
1	SF11 - BW125	440
2	SF10 - BW125	980
3	SF9 - BW125	1760
4	SF8 - BW125	3125
5	SF7 - BW125	5470
6	SF8 - BW500	12500
8	SF12 - BW500	980
9	SF11 - BW500	1760
10	SF10 - BW500	3900
11	SF9 - BW500	7000
12	SF8 - BW500	12500
13	SF7 - BW500	21900

Fonte: Adaptado de LoRa Alliance, Inc (2021)

2.7. COMPARAÇÃO LORA COM OUTRAS TECNOLOGIAS LPWAN

Neste item é apresentado com mais detalhes os dados técnicos entre LoRa, NB-IoT e Sigfox, para fim de descrever uma conjuntura. Através desses dados é possível ver a facilidade da incrementação da tecnologia LoRa em campo, além de serem tecnologias fácil aquisição, as mensagens são ilimitadas, a rede não é licenciada e fácil configuração, além de permitir rede privada, diferente das outras duas tecnologias. A Tabela 2 apresenta estas diferenças entre as tecnologias.

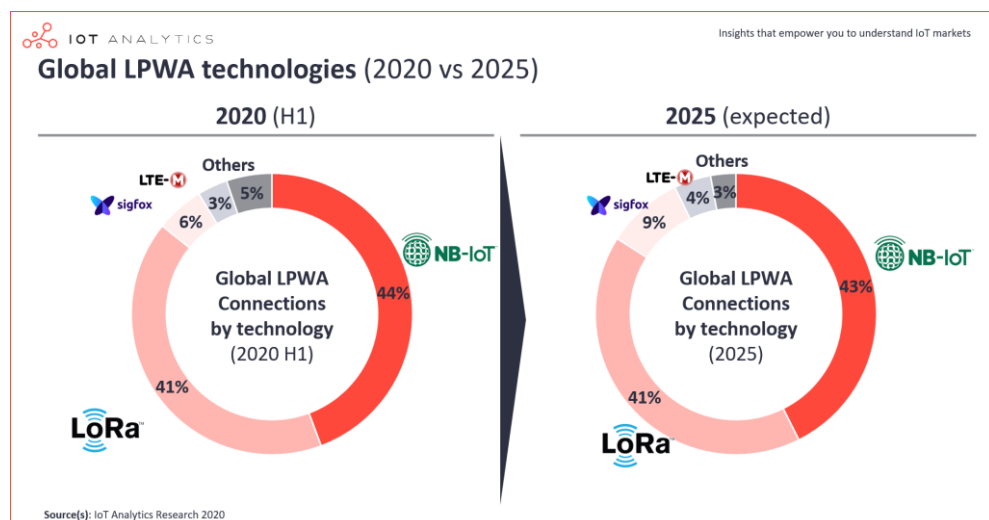
Tabela 2 - Dados técnicos entre as tecnologias LPWAN

	LoRa	NB-IoT	SigFox
Padronização	LoRa-Alliance	3GPP	SigFox e ETSI
Modulação	CSS	QPSK	BPSK/GFSK
Alcance	Urbano	1 km	10 km
	Rural	10 km	40 km
Espectro de frequência	Não licenciado (ISM)	Licenciado (LTE)	Não licenciado (ISM)
Largura da banda	125/250/928 MHz	200 kHz	100kHz
Taxa de dados máxima	50 kbps	200kbps	100 bps
Payload máximo (bytes)	243	1600	12/8 (UL/DL)
Bidirecional	Sim	Sim	Limitado
Mensagens por dia	Ilimitado	Ilimitado	140/4 (UL/DL)
Permite rede privada	Sim	Não	Não
Protocolo Aberto	Sim	Não	Não
Peak Current	32 mA	120–300 mA	27 mA
Sleep Current	1µA	5µA	16 µA
Custo	2.64 USD	5 USD	2.64 USD

Fonte: Adaptado de Avalli (2021), Carvalho (2021), Sinha (2017).

É apresentado na Figura 11 um gráfico de conexões globais desse tipo de tecnologia e a expectativa de implantação dela para 2025. Neste gráfico ressalta a liderança do LoRa e NB-IoT a frente do SigFox. A tecnologia LTE-M, foi omitida no tópico anterior, *long term evolution for machine* é uma tecnologia com as mesmas funcionalidades e performance da NB-IoT.

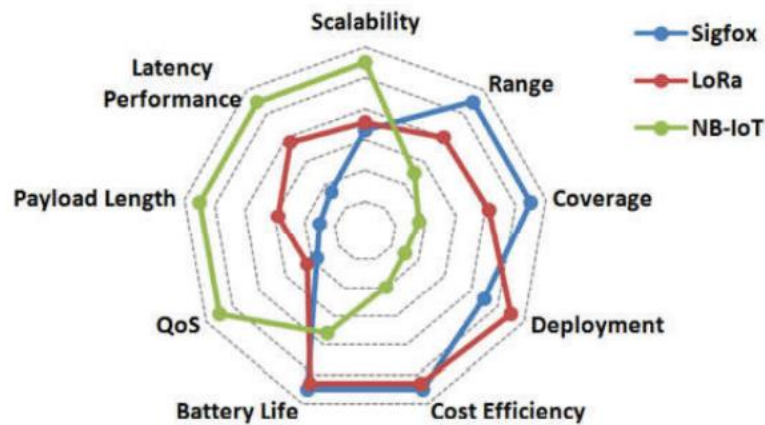
Figura 11 - Tecnologia LPWA conectadas



Fonte: Lueth (2020)

As comparações foram expostas a fim de exemplificar a diferença entre as redes, e não para determinar uma superioridade, visto que cada tecnologia tem suas vantagens e desvantagens para cada aplicação. Diante o objetivo principal desse trabalho convém a aplicação do LoRa, na Figura 12 pode-se ver que LoRa se destaca em distância, baixo custo e economia de bateria, ou seja, é mais flexível na infraestrutura, enquanto as outras características como qualidade de serviço têm pouca relevância a qual recai mais a NB-IoT.

Figura 12 - Perfil técnico entre as tecnologias SigFox, LoRa e NB-IoT



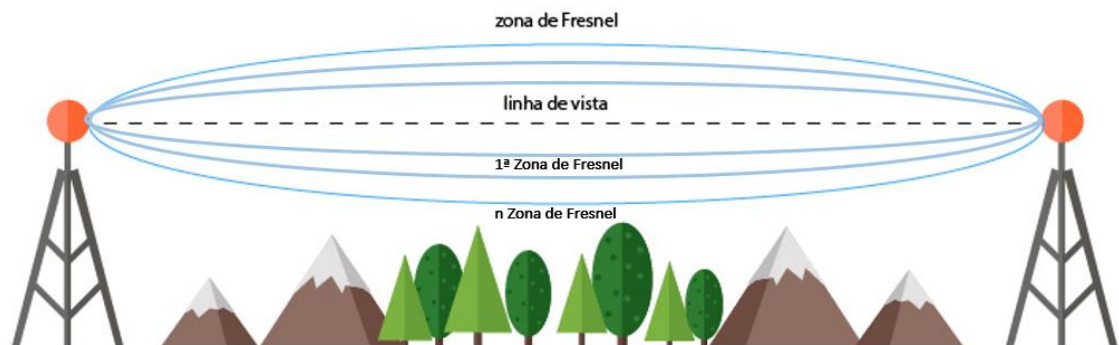
Fonte: Mekki (2019)

2.8. ZONA DE FRESNEL

As antenas são componentes indispensáveis para um circuito de radiofrequência (RF), dado que através desses componentes, há transmissão de sinais. Geralmente são dispostos em locais elevados para evitar obstruções durante a transmissão de dados que propagam em linha reta, consequentemente as antenas conseguem visão direta uma da outra. Entretanto, quando há um obstáculo e as antenas não conseguem se comunicar de modo algum, surge a necessidade de evitar esse fenômeno, que é chamado de Zona de Fresnel.

A Zona de Fresnel consiste em uma determinada região limitada por uma série de linhas de elipse concêntricas em torno da linha de vista entre as duas antenas, como ilustrado na Figura 13.

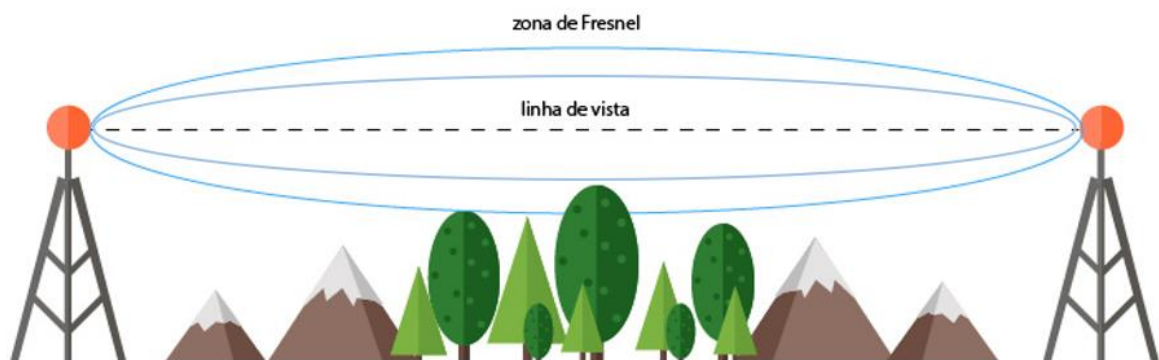
Figura 13 - Zona de Fresnel sem interferências



Fonte: Adaptado de TEKON ELECTRONICS ([2020 a 2022])

Apesar do fato de haver uma visão livre entre as antenas, não é garantido que o cenário seja sempre sem interferências, a zona Fresnel possui várias linhas elipsoidais, as interferências podem ocorrer parcialmente ou totalmente. Quando ocorrem parcialmente é chamado *Near Line Of Sight*, apesar de não obstruir totalmente a linha vista, a presença de um obstáculo entre umas das linhas elipsoidais da zona de Fresnel já causa distorções na transmissão, como pode ser visto na Figura 14.

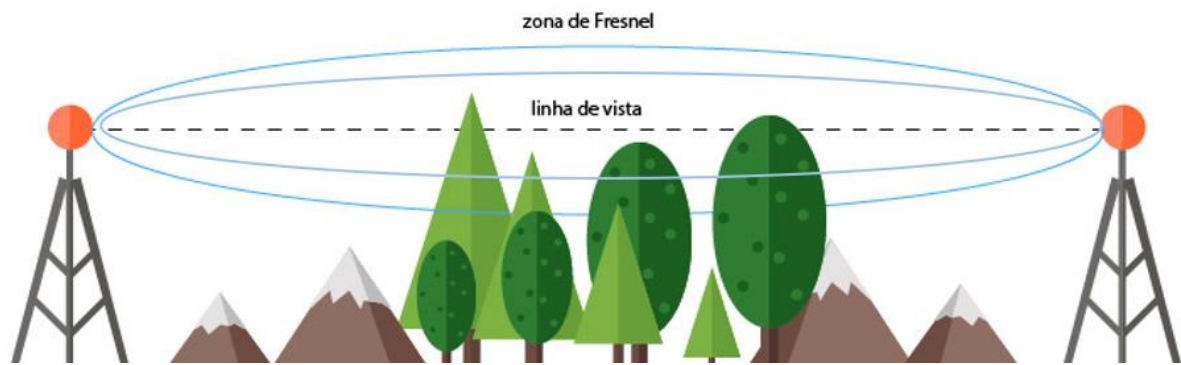
Figura 14 - Near Line of Sight



Fonte: Adaptado de TEKON ELECTRONICS ([2020 a 2022])

Seguindo a linha de raciocínio, no cenário onde ocorra em obstruir totalmente a linha de vista, é chamado *Non Light of Sight*, visualizado na Figura 15, ocorre então uma interferência total do sinal, prejudicando totalmente a comunicação entre as antenas.

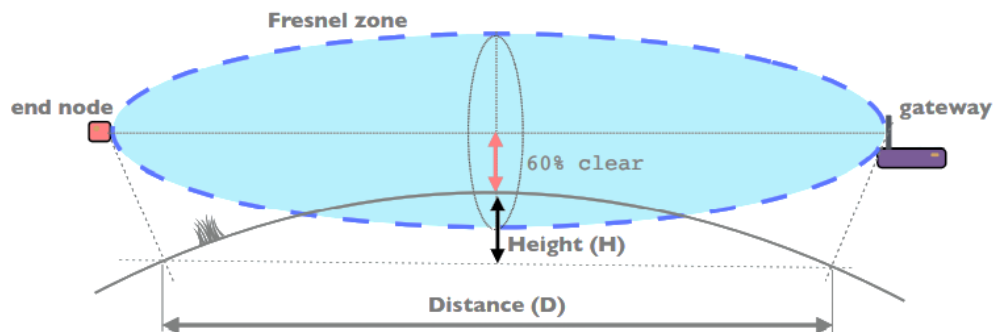
Figura 15 - Non Line of Sight



Fonte: Adaptado de TEKON ELECTRONICS ([2020 a 2022])

Um fator significativo é considerar a curvatura da Terra, dependendo do quão distante as antenas serão posicionadas esse fator poderá influenciar na rádio frequência. Deve-se levar em consideração que na zona de Fresnel existe uma tolerância até de 40% de bloqueio, para valores elevados a essa porcentagem a RF terá perdas significativas. Como ilustrado na Figura 16.

Figura 16 - Zona de Fresnel considerando a curvatura da Terra



Fonte: Mobilefish (2021)

O cálculo da altura permitida é calculado através da Equação 2, apresentada a seguir:

$$H = \frac{1000 \times D^2}{8 \times R} \quad (2)$$

Onde:

H= Altura da curvatura da terra permitida (m);

D= Distância entre *end node* e *gateway* (m);

R= Raio da terra em km = 8504 (km).

Ao considerar o cenário mais realista, onde 60% seja a porcentagem ideal para não ocorrer interferências na radiofrequência sem perder dados, considera-se a seguinte lógica (Equação 3):

$$r = 8.657 \times \sqrt{\frac{0,6xD}{f}} \quad (3)$$

Onde:

r = Raio da Zona de Fresnel (m);

f = Frequência (GHz);

D = Distância (km)

Após a resolução das grandezas, conclui-se que a altura em que o *end note* e o *gateway* deve estar, em relação ao chão é a soma do raio da zona de Fresnel e da altura.

2.9. CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS E DO SOLO

Atualmente, a agricultura é considerada uma das atividades econômicas mais importante do Brasil. Seja de pequenos produtores ou de grandes extensões de plantio, a produtividade é diretamente dependente das condições climáticas e do solo (ALCANTUD, 2017).

2.9.1. TEMPERATURA DO SOLO

Um dos parâmetros importantes na hora de semear é a temperatura do solo, que está ligado diretamente às condições atmosféricas as quais variam constantemente. A germinação e o crescimento eficiente da planta dependem diretamente deste fator, por exemplo, temperaturas altas no solo provoca a desidratação da argila, ocasionando na rachadura das partículas de áreas e concentrando lodo, conseqüentemente a penetração da água no solo é insuficiente por causa de rachaduras no terreno. Em contrapartida, a temperatura baixa é desfavorável para a proliferação de microrganismos terrestres, na qual dificulta redução das células liberando baixos nutrientes e retardando o crescimento (EOS DATA ANALYTICS INC. et al., 2021).

2.9.2. UMIDADE DO SOLO

A irrigação é uma técnica artificial que a humanidade se criou desde o princípio da agricultura, desviando cursos d'água para trazer cultivo em áreas desfavorecidas pela falta de disponibilidade hídrica. Através do tempo, a tecnologia trouxe recursos como o bombeamento de água através de motores elétricos, onde a água é de origem ambiental, como barragem, rios, açudes, ou então poços subterrâneos. Sistemas de controle e automação na agricultura é um procedimento necessário para economizar recursos hídricos, controlar o tempo, quantidades de água e produtos químicos introduzidas durante o processo da irrigação (TESTEZLAF, 2017).

De acordo com Testezlaf (2017), a aplicação da água no plantio baseia-se basicamente de 4 métodos de irrigação dependendo da necessidade hídrica das culturas. Como visto na Tabela 3:

Tabela 3 - Métodos e sistemas de irrigação

Métodos	Sistemas
Aspersão	Simulação do efeito de chuva
Superfície	Sistemas de irrigação por sulcos e por inundação
Localizada	Sistema por gotejamento ou micro aspersão
Subterrânea	Aplicação de água é realizada abaixo da superfície do solo

Fonte: Testezlaf (2017)

Através deste conhecimento, é possível monitorar o porcentual hídrico através de um sensor chamado higrômetro, capaz de medir o nível da água por uma haste que mede o comportamento da condutividade elétrica no solo.

2.10. AGRICULTURA DE PRECISÃO

Segundo Soares Filho et al (2015), a agricultura de precisão é uma realidade inequívoca aos produtores de grãos no sudoeste goiano. Pesquisas realizadas indicaram em 2015 que em culturas de leguminosas como soja, milho, sorgo e feijão necessitam de inovações devido ao aumento de produtividade, já que ocupa uma área extensa na região. Um dos problemas persistentes é a grande quantidade exagerada de consumo de água gasta na irrigação para suprir a

plantação, muitas vezes de forma indevida por falta de má gestão, sendo considerada uma das maiores consumidoras dos recursos hídricos do mundo (ANTONELLI, 2012).

Conhecer as condições do solo, tais como substâncias, pH, aliados a estudos específicos do tipo da planta proporciona segurança para os produtores, visto que é possível reduzir investimentos para possíveis erros (EOS DATA ANALYTICS INC. et al., 2021).

Pode-se inferir que os meios tecnológicos capazes de apresentar a exploração desses recursos devem ser cada vez mais utilizados para melhorar a qualidade de vida e a eficiência da proteção ambiental, já que os recursos naturais são limitados e não renováveis, e os preços dos insumos agrícolas têm subido acentuadamente a cada período, resultando em forte competitividade de mercado. Usando sensores, é possível verificar com precisão dados como umidade e temperatura e acessar facilmente estatísticas para orientar a tomada de decisões dos agricultores, promover a agricultura sustentável de várias maneiras e evitar o desperdício de recursos naturais. Então, com a quantidade certa de umidade do solo, pode-se aumentar a produtividade e reduzir os danos causados pelo excesso de umidade durante o plantio (VALE, 2017).

3. METODOLOGIA

3.1. DISPOSITIVOS E PROJETO

Os dispositivos foram escolhidos a fim de integrar com o objetivo principal do projeto, *gateway* e *end device*, detalhados a seguir:

End device: Composto com um microcontrolador com um chip LoRa integrado, o microcontrolador é capaz de processar os dados captados pelos sensores. A partir do momento que os dados são captados cria-se um pacote de dados no qual é transmitido através da codificação LoRa.

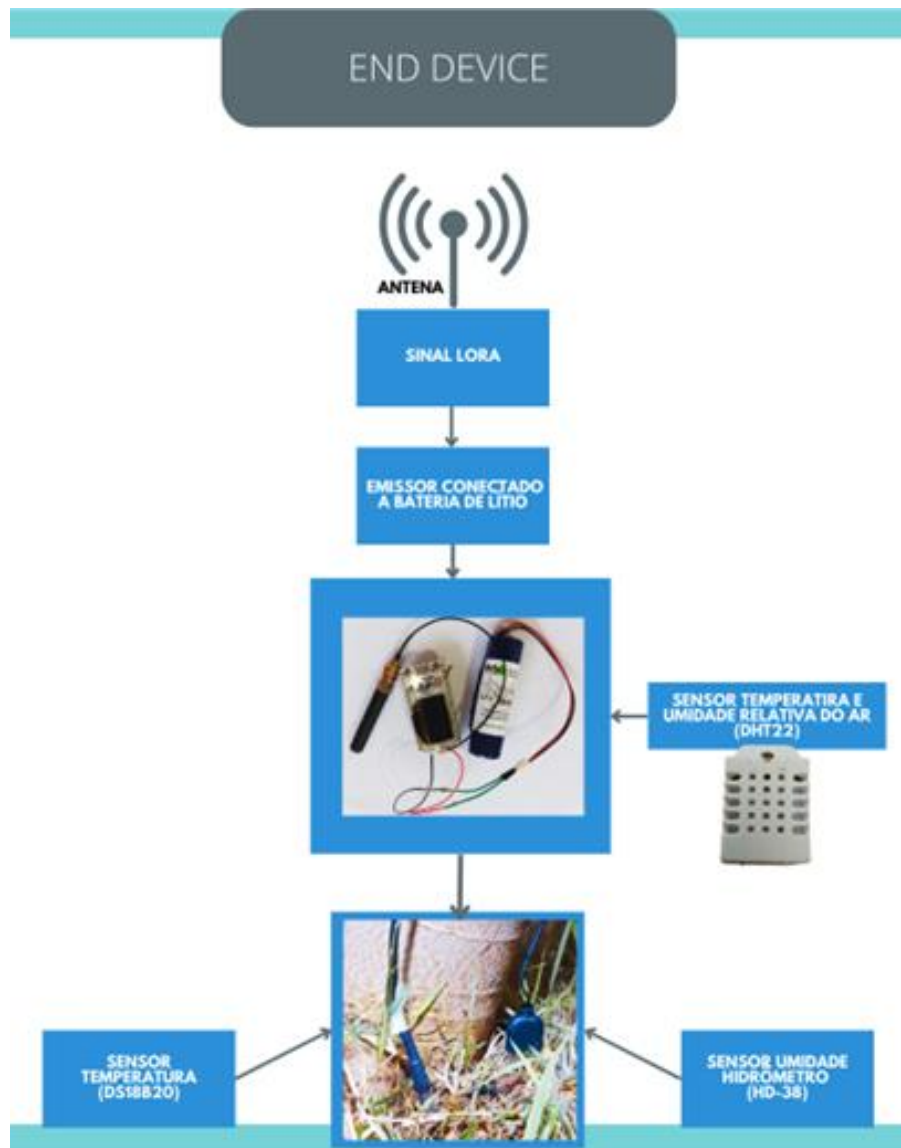
Gateway: Projetado com o mesmo microcontrolador, capaz de captar o pacote transmitido pelo *end device*, no qual ocorre uma decodificação da transmissão. Por sua vez, terá o encargo de comunicar com a *network server* por meio de rede celular.

3.1.1. END DEVICE

É o dispositivo responsável por atuar na coleta de dados dos sensores, o qual é incorporado a um microcontrolador ESP32 e um rádio LoRa. Possui conexão com um *link* de rádio bidirecional do *gateway*.

O *end device* contém três sensores essenciais acoplados ao mesmo microcontrolador usado no *gateway* (*ESP32 WiFi LoRa 32 V2*), que são: sensor de umidade e temperatura do ar DHT 22, higrômetro HD-38 e sensor de temperatura DS18B20, detalhados no tópico 3.2.3. Através do diagrama ilustrado na Figura 17 é possível concluir que este dispositivo já é categorizado como uma estação meteorológica. Ressalta-se que a estação meteorológica foi construída a fim de cumprir com o objetivo do LPWAN de apresentar uma autonomia da energia através de bateria, então, o sistema é alimentado por uma bateria de lítio de 3,7 V.

Figura 17 - Diagrama do end device



Fonte: Autor

3.1.2. ESP 32 WI-FI LORA (V2)

Wi-fi LoRa 32 (Figura 18), é uma placa IoT produzida pela *Heltec Automation*. Tem como base um microprocessador ESP32 (dual-core 32-bit MCU + ULP core), integrado com o chip SX1276 LoRa. Este produto contém conectividade wi-fi, BLE⁷, funções LoRa e também gerenciamento do sistema de baterias Li-Po.

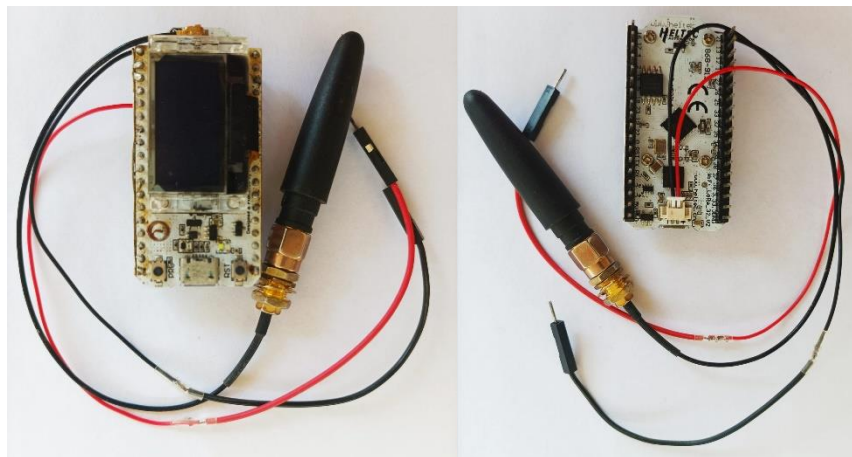
A placa foi selecionada pelo preceito de ser de baixo custo e não haver complexidade durante a montagem e para configurações de programação, uma vez que suporta o *arduino*

⁷ BLE – Bluetooth low energy.

development environment. Além disso, a Heltec garante um *design* com um bom circuito projetado para baixo consumo, especificamente com a corrente menor que 800 μ A.

O chip integrado no microcontrolador, é do modelo SX1276, que consiste em um transceptor com a tecnologia de espectro de dispersão da LoRa, patenteada pela SEMTECH AUTOMATION. Esse chip opera em 868/915 MHz, possui uma alta sensibilidade de -139 dBm com uma saída de potência de +20 dBm, longa distância de transmissão e alta confiabilidade. A antena acoplada no produto é uma antena comum de 2dbi e com alcance no máximo de 4 km, o suficiente para cobrir uma área de uma fazenda de um pequeno e médio produtor.

Figura 18 - Wi-fi LoRa 32

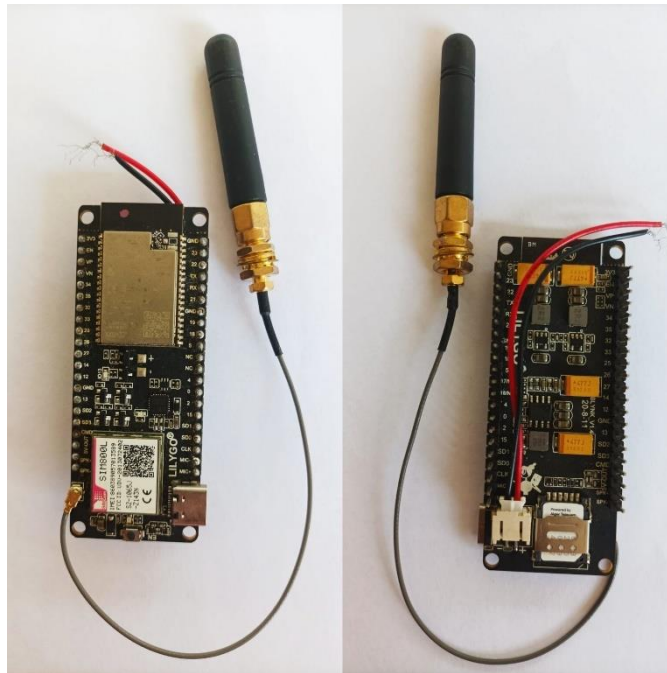


Fonte: Autor

3.1.3. TTGO T-CALL

TTGO T-Call (Figura 19), é um microcontrolador ESP32 que tem em sua composição um módulo GSM/GPRS. É importante ressaltar que esta placa funciona apenas em redes 2G, por isso, o projeto foi realizado utilizando um chip com plano de dados de um cartão SIM, com o intuito de simular o cenário onde a área de utilização não houvesse cobertura de internet wi-fi. Em adição, o TTGO permite a conexão de uma bateria de lítio 3,7 V e uma antena externa, para melhorar o sinal. Essa placa ESP32 também possui a capacidade de operar em modo *deep sleep*, ou seja, modo de suspensão profunda, a fim de economizar a bateria. (LILYGO)

Figura 19 - TTGO T-Call V1.4 ESP32



Fonte: Autor

3.1.4. FONTE DE ENERGIA

Heltec Automation (2020) especifica na ficha técnica sobre possíveis fontes de energia para a alimentação da placa, uma das quais se refere à utilização de bateria. Neste caso, devem ser seguidos os seguintes parâmetros: bateria a lítio ($\geq 250\text{mA}$) com a capacidade mínima de 3,3 V até um máximo de 4,2 V.

Diante deste fato, a forma de alimentação definida para este projeto foi o uso de uma bateria de lítio recarregável modelo 18650 (Figura 20), com a tensão nominal e de 3,7 V, e carga máxima de 4,2 V, com uma capacidade total de 2600 mAh.

Figura 20 - Bateria de lítio instalada no sistema



Fonte: Autor

Algumas baterias têm um circuito de controle chamado BMS (*battery management system*) projetado para proteger as células contra sobrecarga, descarga profunda e superaquecimento, o que pode evitar alguns dos problemas mais sérios. Alguns desses circuitos são até responsáveis por carregar e equilibrar baterias em funcionamento (WOLLINGER, 2019).

A temperatura de operação e a recarga impactam diretamente na vida útil da bateria de lítio. Quando a tensão está baixa, é necessário um nível de corrente para carregar a bateria com segurança, neste caso a bateria se comporta como um capacitor gigante com resistência série muito baixa, a corrente de recarga tende a valores altos, o aquecimento pode danificar a bateria e até causar para falhar (WOLLINGER, 2019).

Independentemente da composição, toda bateria tem limites de temperatura e as baterias de lítio não são exceções. As baterias têm temperaturas operacionais que variam operar entre -20 e 60 °C. É saudável que a bateria gere pouco ou nenhum calor durante o carregamento e a temperatura ambiente não seja muito alta. A temperatura afeta diretamente a tensão e, portanto, na capacidade da bateria. Alguns circuitos possuem comandos de resfriamento e aquecimento não apenas para prolongar sua vida útil e garantir a segurança (WOLLINGER, 2019).

A escolha deste modelo de bateria foi feita em função da relação custo benefício, uma vez que os parâmetros são condizentes com a demanda do sistema instalado. Além disso, este método de alimentação da placa é recomendável no ambiente do campo, por na maioria das vezes carecer de pontos de energia próximos.

3.1.5. SENSORES

A estação meteorológica contém sensores capazes de captar dados da rotina climática a fim de obter informações para as atividades agrícolas. Os eletrônicos do projeto foram escolhidos a fim de cumprir com o objetivo do baixo orçamento, contudo capazes de suportar fatores climáticos externos.

3.1.5.1. DS18B20

Com a finalidade de medir a temperatura do solo foi proposto o uso do sensor DS18B20 (Figura XX), criado pelo fabricante Dallas Semiconductor. É um sensor com saída digital programável de 9 a 12 bits que utiliza um protocolo *1-wire*, cujo funcionamento é a utilização de apenas um fio, ou barramento, para o envio de dados de mais de um sensor da mesma natureza (SAHA, 2021). O modelo utilizado é do tipo sonda (Figura 21), que pode ser inserido diretamente no solo.

Figura 21 - Sensor de temperatura DS18B20



Fonte: Autor

O protocolo *1-Wire* garante a comunicação do mestre com um ou mais escravos, sendo que o DS18B20 sempre será escravo, se o sistema contar com apenas um escravo, o sistema será referido como “*single drop*”, se tiver mais de um sensor escravo, o sistema será referido como “*multidrop*” (SAHA, 2021). Os valores dos parâmetros do sensor estão presentes no *datasheet* fornecida pela empresa Dallas Semiconductor, de forma resumida os parâmetros estão presentes na Tabela 4.

Tabela 4 - Parâmetros do sensor DS18B20

Parâmetros	Valores
Tensão de operação	3,3 a 5 VCC
Consumo	1,5 mA
Faixa de medição	-55 a 125 °C
Erro de medição	(-10 a 85 °C) $\pm 0,5$ °C (-30 a 100 °C) ± 1 °C (-55 a 125°C) ± 2 °C

Fonte: Saha (2021)

3.1.5.2. HIGRÔMETRO HD-38

Este sensor é capaz de captar dados de umidade através do solo (Figura 22). Seu funcionamento é possível devido ao módulo de leitura o qual inclui o amplificador operacional LM 393, que possui a capacidade de controle e conversão de sinal analógico para sinal digital ao relacionar a umidade presente no solo com a variação da resistência entre seus dois eletrodos (LOURO, 2022).

Figura 22 - Higrômetro HD-38



Fonte: Autor

A Tabela 5 exibe os principais parâmetros operacionais do higrômetro HD-38.

Tabela 5 - Parâmetros do higrômetro

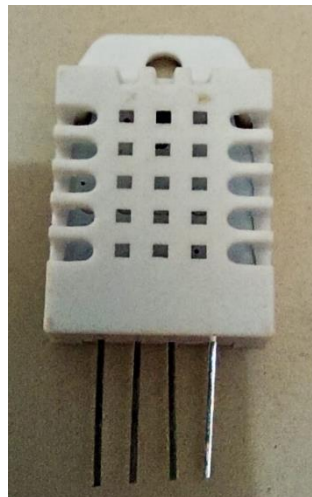
Parâmetros	Valores
Tensão de operação	3.3-12 VCC
Corrente de saída	Pico de 30 mA
Corrente de trabalho	Pico de 20 mA
Temperatura de operação	-25 ~ 85 °C

Fonte: Louro (2022)

3.1.5.3. DHT22

O sensor responsável por detectar as condições tanto de temperatura quanto de umidade do ar, é o DHT22, disposto na Figura 23.

Figura 23 - Sensor de temperatura e umidade DHT22



Fonte: Autor

Seu interior contém um sensor de umidade capacitivo e um termistor para medir o ar circundante o qual emite um sinal digital no pino de dados. Em primeiro momento, ao ativar o sensor o DHT22 um sinal baixo (*low*) é enviado, em seguida os barramentos de dados de *low* serão convertidos para *high*. O ciclo de leitura até os envios dos dados dura em volta de 2 segundos (MIHAI, 2016).

Os parâmetros do DHT22 são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Parâmetros do sensor DHT22

Parâmetros	Valores	
Alimentação	3,3-6 VCC	
Faixa de operação	0-100%RH (Umidade);	1,5 mA
Precisão	$\pm 2\%RH$ (Max $\pm 5\%RH$)(Umidade);	-55 a 125 °C
Consumo de energia	Em funcionamento: 1~1.5mA	Durante o tempo de coleta que são de 2 segundos
	Em espera: 40~50 μA	

Fonte: Mihai (2016)

3.2. GATEWAY

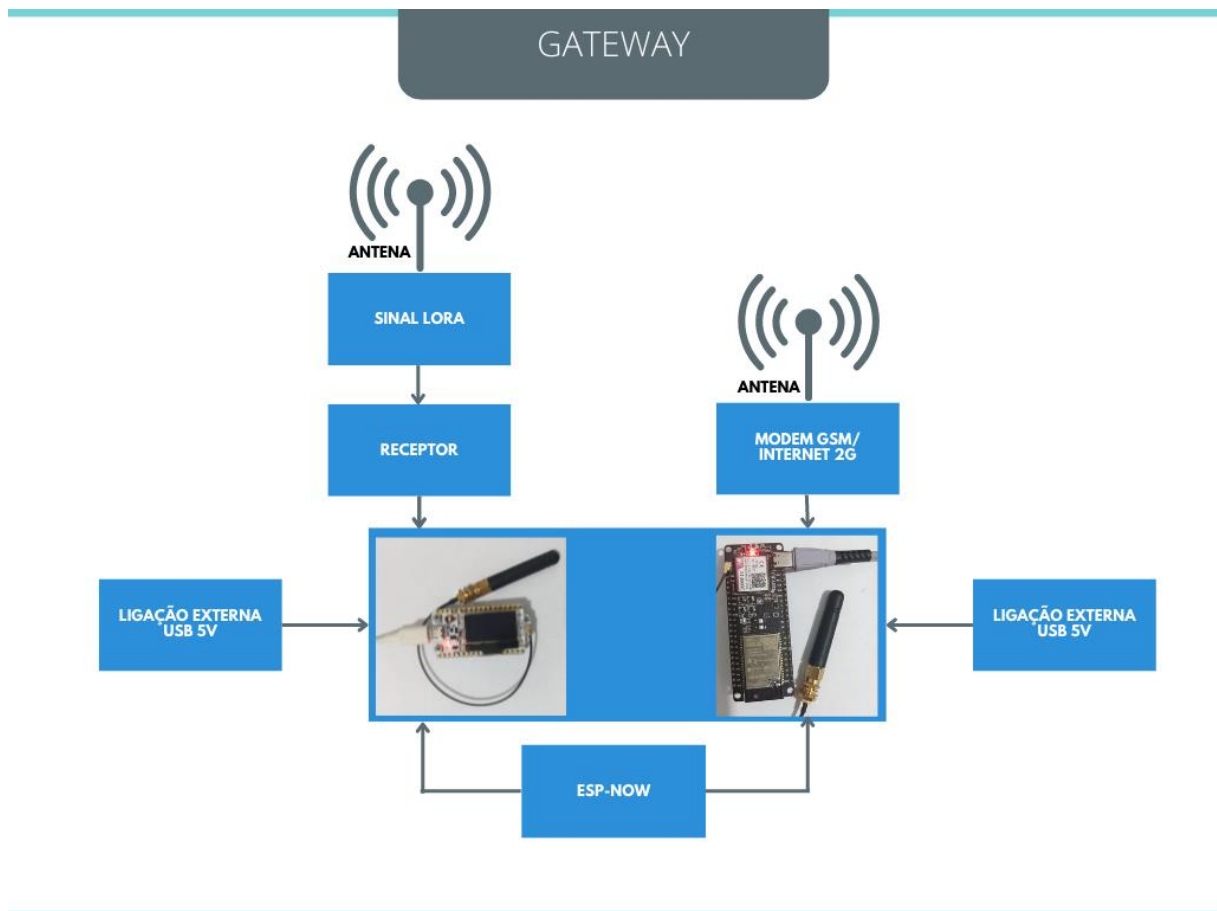
Nesse projeto foi definido um *gateway* que aplica com o objetivo do tema, baixo orçamento e fácil utilização. O *gateway* é composto por dois componentes citados nos tópicos 3.1.2 e 3.1.3. A escolha é a mesma placa que é usada no *end device*, enquanto a do emissor transmite o pacote de dados, o receptor recebe e decodifica o pacote.

Se a região onde o gateway for aplicado for em uma zona rural, a probabilidade de ter conexão wi-fi é baixa, isto posto, uma comunicação utilizando rede celular seria ideal. Logo, o TTGO T-Call é de suma importância para a composição do gateway, pois a partir da conexão de internet via GSM, é possível administrar os dados a serem enviados para o servidor.

A comunicação da passagem de dados do receptor LoRa para o TTGO T-Call se dá pelo ESP-NOW, desenvolvido pela Espressif. Trata-se de um protocolo de comunicação sem fio, que permite a comunicação entre dispositivos ESP (ESP32 ou ESP8266) direto e sem intermediários. Vale ressaltar que há uma limitação quanto ao tamanho da mensagem enviada, máximo 250 bytes (ESPRESSIF, [2015-2022]).

A Figura 24 ilustra um diagrama que representa a estrutura do *gateway*.

Figura 24 - Diagrama do gateway



Fonte: Autor

3.3. AVALIAÇÃO DA DISTÂNCIA DE COMUNICAÇÃO

Para validar as informações de distância de comunicação entre a placa e o *gateway*, foram feitos experimentos de envio de pacotes. A potência do sinal foi medida através da indicação do RSSI⁸. O teste foi realizado em dois tipos de ambiente, urbano e rural, como descrito a seguir.

3.3.1. CENÁRIO URBANO

No perímetro urbano o sinal de rádio enfrenta muitas interferências, ao levar em conta o estudo de propagação na Zona de Fresnel, mais de 40% seria bloqueado. Desta forma o ideal seria dispor o *gateway* em uma estrutura com a altitude mais elevada. Durante o teste, o emissor foi disposto em um veículo enquanto o receptor se encontrava em um ponto fixo, a fim de medir

⁸ RSSI – *Received signal strength indication* (indicador de potência de recebimento de sinal)

a distância entre os dois pontos de forma gradual, durante a análise do sinal. O intuito do teste foi a avaliação de recebimento de pacotes de dados de acordo com o RSSI.

3.3.2. CENÁRIO RURAL

O cenário rural é o mais recomendado para instalação da tecnologia LoRa, com o intuito de diminuir as obstruções na comunicação, visto que a zona urbana a radiofrequência mal propagaria devido a estruturas.

Diante dessa circunstância, o cenário rural definido para realizar o teste se encontra perto do município para um breve monitoramento. O intuito do teste é registrar o limite de maior alcance pode haver entre dois dispositivos com tecnologia LoRa, afim de superar o teste de realizado no cenário urbano.

Seguindo a mesma metodologia do cenário urbano, durante o teste o receptor foi mantido fixo em um ponto enquanto o emissor foi posto em movimento no interior de um veículo. Na figura 25 é possível visualizar uma estrutura de apoio para o elevar a altura a fim de melhorar a comunicação radiofrequência de pacotes de dados, somando em média 3,70 metros.

Figura 25– Teste Cenário Rural



Fonte: Autor

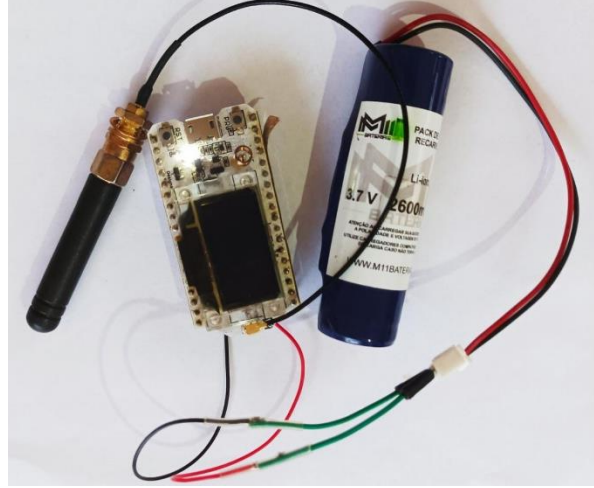
3.4. EXPERIMENTOS DE COLETA DE ENERGIA CONSUMIDA

Um dos principais focos do projeto realizado foi a otimização do consumo de bateria quando comparado a outros sistemas, uma vez que a alimentação de dispositivos instalados em campo se torna considerável quando a aplicação exige que permaneçam ligados constantemente.

As baterias de lítio utilizadas no sistema (tópico 3.1.4) foram selecionadas por oferecer autonomia suficiente para uma aplicação em pequena escala, com maior atenção no estudo do desempenho da placa. Sua conexão é feita na parte inferior do LoRa (Figura 26), e o

comprimento dos cabos do modelo utilizado permitiu a acomodação próxima à placa, sem necessidade de emendas para extensão.

Figura 26– Conexão da bateria de lítio com a placa LoRa



Fonte: Autor

O fator principal para a economia de bateria do sistema é a divisão operacional do dispositivo LoRa, que consiste na alternância entre ativo e tempo ocioso (*deep sleep*), configurada durante a programação da placa. Neste contexto, existem três tipos de estados em que a placa opera:

- Ligado – O estado pleno de funcionamento, com as funções habilitadas normalmente;
- Transmitindo o sinal – Período em que o dispositivo envia sinal para um determinado receptor, que demanda um consumo maior de corrente;
- *Deep sleep* – O dispositivo entra em um modo de repouso, utilizando a bateria apenas para as funções essenciais de operação.

Com o auxílio de um osciloscópio, a corrente de operação durante cada estado foi medida a fim de mensurar o consumo e analisar a diferença. A Equação 4 foi utilizada para calcular o consumo.

$$C = \frac{[(I1 * T1) + (I2 * T2) + (I3 * T3)]}{T1 + T2 + T3} \quad (4)$$

Onde:

C – Consumo (mA)

I – Corrente (mA)

T – Duração do estado operacional (s)

3.5. COLETA DE DADOS EM TEMPO REAL

Com o intuito de atingir os objetivos que dizem respeito ao acesso às informações relacionadas ao plantio em tempo real, e de forma remota, é possível afirmar que os demais assuntos abordados no presente tópico impactam na execução do processo. A partir deste embasamento, faz-se necessária a conexão do gateway (detalhado no tópico 3.2) com um servidor da nuvem.

A plataforma ThingSpeak oferece ferramentas para análise de dados em tempo real, e possui suporte com diversas plataformas de processamento, como MATLAB, Arduino, Raspberry pi, LoRaWAN, entre outros. Sua viabilidade e praticidade em aplicações IoT foram fatores essenciais para a atribuição desta plataforma no presente projeto, visto que atendia as necessidades do mesmo.

A interface configurada para a visualização dos dados em tempo real dispõe de quatro variáveis relacionadas com o plantio em função do tempo, que são temperatura e umidade do solo e temperatura e umidade relativa do ar. Além disso, é possível visualizar a porcentagem restante de bateria. Estas variáveis são geradas de forma gráfica e disponibilizadas em nuvem pela plataforma, e podem ser acessadas através de qualquer dispositivo com acesso à internet.

Vale ressaltar que os gráficos a serem exibidos, bem como a estrutura visual da página são personalizáveis de acordo com as preferências do usuário. Ademais, pode-se adicionar mais tipos de variáveis a serem medidas, como o consumo de bateria em ampères, assim como é possível conectar outro sensor no sistema de comunicação, tais como pluviômetros (medição de volume de chuva), anemômetros (medição da velocidade do ar), entre outros.

Os dados gerados podem ter interação com mídias sociais, serviços da Web e dispositivos através de um estilo arquitetônico projetado como um modelo de solicitação-resposta para comunicação via HTTP, chamado REST API⁹. ThingSpeak é uma plataforma IoT que usa chamadas de API GET, POST, PUT e DELETE REST para criar e excluir canais, ler e gravar e excluir dados em canais. Um navegador da Web ou cliente envia uma solicitação a um servidor e o servidor responde com dados no formato solicitado. Os navegadores da Web usam essa interface para recuperar ou enviar dados para servidores remotos (MATHWORKS, 2022). É

⁹ API – *Application programming interface* (interface de programação de aplicação)

possível gerar tabelas em formatos como “csv” e “xlsx”, que podem ser utilizados para realização de análises climáticas em diversas aplicações.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A implantação da tecnologia LoRa apresenta benefícios quando utilizada no ambiente rural, e quando associado ao conceito de IoT, o desafio se torna a conexão dos sensores e atuadores utilizados em campo de forma remota (LOPES, 2019).

Durante a realização dos testes, observou-se que é imprescindível que os sensores estejam devidamente calibrados e operacionais, fato que corrobora para a integridade das informações. Em larga escala, o posicionamento dos sensores pela extensão do solo é outro fator que pode otimizar os resultados, no sentido de ter uma leitura mais precisa da área como um todo. Utilizando múltiplos nós, os conjuntos de dispositivos responsáveis por monitorar uma área local enviam os dados para um nó central, que encaminha para um único ponto de acesso, para que sejam processados por um controlador (ALCANTUD, 2017).

Neste segmento, os resultados obtidos através dos testes detalhados no tópico 3 são destacados a seguir.

4.1. ORÇAMENTOS

O custo benefício é de supra importância para o objetivo do trabalho, a busca para dispositivos que são fáceis de encontrar no mercado e fácil implementação foram parâmetros essenciais para a escolha final na compra dos dispositivos.

Na tabela 7, identificam-se preços dos dispositivos através de uma pesquisa realizada nos começos do mês de dezembro de 2022 a fim de atualizar o valor final de todos dispositivos usados. Levando em conta um cenário a escolha do mais barato no mercado.

Tabela 7- Orçamento dos dispositivos

Dispositivo	Quantidade	Valor (un.)
ESP32 WiFi LoRa (V2)	2	R\$ 98,12
TTGO T-Call	1	R\$ 84,70
Sensor hidrômetro	1	R\$ 47,49
DHT22	1	R\$ 34,00
DS18B20	1	R\$ 15,00

4.2. COMUNICAÇÃO COM A NUVEM

Levando em consideração que uma parte do trajeto estar na zona urbana onde há edifícios no qual causa interferência de sinal, os dados foram recebidos, como pode ser visualizado na Figura 28, a uma distância de 1,46 km. Porém quanto mais próximo de 1 quilômetro, mais os pacotes de dados enviados tiveram pouco sucesso de transferência bem sucedida, por conta das estruturas que compõem o cenário urbano durante o trajeto.

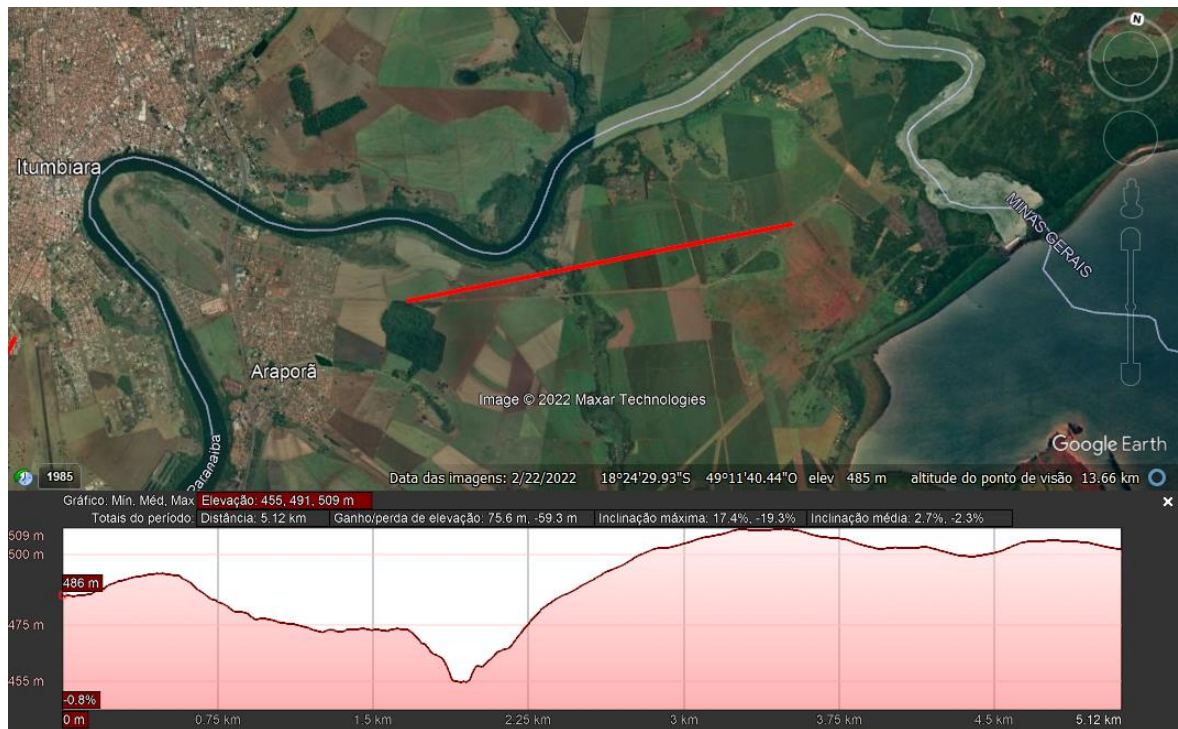
Figura 28– Teste alcance no cenário urbano



Fonte: Autor

Em contrapartida, o teste realizado no cenário rural alcançou 5,12 quilômetros, ademais durante o trajeto houve perdas de pacotes de dados durante a perda de elevação do terreno, porém durante o ganho da elevação do terreno a estabilidade da comunicação se estabeleceu. Na Figura 29 pode ser visto que o cenário rural tem ausências de estruturas de grandes altitudes, evitando obstruções durante a radiofrequência, garantindo um maior sucesso durante a transmissão LoRa.

Figura 29– Teste de alcance no cenário rural

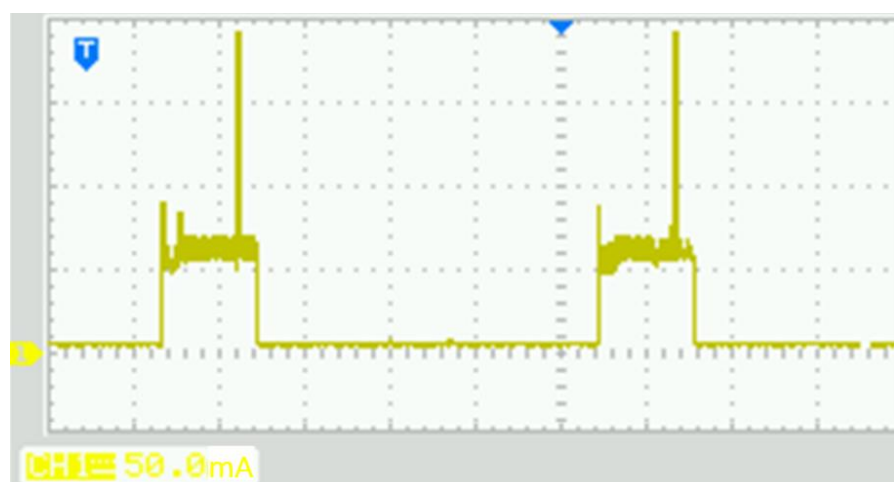


Fonte: Autor

4.4. ANÁLISE DE CONSUMO ENERGÉTICO

A fim de validar a aplicabilidade da tecnologia *Low-Power*, o dispositivo foi conectado a um osciloscópio, para que fosse feita a coleta do comportamento da corrente. A Figura 30 ilustra a forma de onda gerada considerando um período dos três estados de operação (detalhados no tópico 3.5).

Figura 30– Comportamento da corrente no osciloscópio conectada ao protótipo



Fonte: Autor

Utilizando os dados gerados em formato numérico, fez-se possível a obtenção da média do consumo energético de cada estado de operação em mA, apresentados na Tabela 8.

Tabela 8– Valores do consumo de energia obtidos de forma experimental

Estado	Média do consumo de energia (mA)
<i>Deep sleep</i>	6 mA
Ligado	58 mA
Transmitindo o sinal	198 mA

Ao analisar a Tabela 8, pode-se concluir que a economia de bateria do dispositivo LoRa ocorre majoritariamente devido ao fato de que o estado em que a placa opera a maior parte do tempo é o que apresenta o menor consumo comparado aos outros, o *deep sleep*. O pico de corrente ocorre durante a transmissão do sinal, que dura menos de 1 segundo.

Através da Equação 4, obteve-se o valor do consumo médio em razão do período completo dos três estados. A energia calculada foi próxima a 6 mA, que ao ser relacionada com a capacidade total de 2600 mAh da bateria utilizada no projeto (Equação 5), obteve-se uma autonomia de aproximadamente 18 dias, em operação constante.

$$Duração da bateria = \frac{2600 \text{ mAh}}{6 \text{ mA}} \cong 18 \text{ dias} \quad (5)$$

5. CONCLUSÃO

O projeto foi realizado com o intuito de demonstrar a capacidade da tecnologia LoRa-WAN integrada à internet das coisas (IoT). Com uma metodologia focada no baixo custo, os sensores foram especificados para atender a faixa das variáveis medidas, que inclui a temperatura ambiente e do solo e umidade do solo. Inicialmente, definiu-se o objetivo de analisar a eficiência da placa LoRa, levando em consideração o consumo de bateria, o alcance e potência do sinal e a presença de interferência enquanto utilizada no ambiente agro.

Ao gerar resultados em campo, o comportamento das curvas demonstrou uma precisão aceitável para a aplicação proposta, além de apresentar a possibilidade de monitoramento via internet. O consumo de bateria foi analisado em partes, divididas como período ocioso, período ligado e envio do sinal, a média exibiu um valor de 50 mA, demonstrando assim, o baixo

consumo. Ademais, durante o período *Deep Sleep*, a placa opera em apenas 6mA, o que resulta em um resultado considerável uma vez que é o período em que permanece por mais tempo.

A placa LoRa, desenvolvida pela empresa Heltec Automation se mostrou ser uma boa opção para a coleta de dados no ambiente rural, por abranger grandes distâncias consumindo baixa energia.

O preço aproximado do *gateway* custou de R\$184,00 e o *end device* R\$195,00, um custo muito baixo comparado no mercado, onde o preço varia de 3244 a 15600 reais, em referência ao site www.supercampo.com. Em suma, o valor do projeto condiz com o objetivo do trabalho, a adoção de tecnologias de precisão para pequeno e médios produtores, gerando retorno para agricultura familiar.

6. TRABALHOS FUTUROS

Através deste estudo, mostra-se ser possível desenvolver diferentes métodos para a coleta de dados em campo utilizando o protocolo LoRaWAN, de forma que seja mais conveniente para a aplicação. Em uma escala maior, podem ser instalados sensores adicionais, alimentando ainda mais a base de dados para análise. Ademais, é possível realizar estudos climáticos em um intervalo de tempo determinado, como curvas de temperatura e umidade do ar durante um ano, dados que poderiam ser utilizados para análise de geração fotovoltaica como exemplo. No caso de instalação em campo, é recomendável utilizar uma bateria com maior capacidade do que a realizada nos testes, ou até acrescentar um sistema de recarga da bateria.

Outra possibilidade aceita pela estrutura do sistema é a implantação de atuadores, ou seja, dispositivos que podem ser acionados através de sinais elétricos enviados pelo microcontrolador. No mesmo contexto da utilização em plantios, é possível programar válvulas para que se abrem em determinado horário, em um sistema ON/OFF (liga/desliga).

Uma alternativa viável é aderir um sistema de recarregamento da bateria, um sistema fotovoltaico para alimentação de baterias de até 4,2V é uma adição benéfica e com custo baixo.

REFERÊNCIAS

- ALCANTUD, Melissa; ROSA, Paulo. Topologias de Redes de Comunicação: **Aplicação de Redes de Sensores Sem Fio na Agricultura de Precisão: Uma Reflexão Teórica**. ENEP 2017, São Paulo, 16 set. 2017.
- ANTONELLI, Diego. **Quase metade da água usada na agricultura é desperdiçada**: Irrigações mal executadas e falta de controle da quantidade usada estão por trás do uso inconsequente da água doce no Brasil. Gazeta do Povo, 21 mar. 2012. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/quase-metade-da-agua-usada-na-agricultura-e-desperdicada-8cloqojydz90xgtv7tdik6pn2/>. Acesso em: 2 fev. 2022.
- CAVALLI, Darlan Tomazoni. **Análise de técnicas de Machine Learning aplicadas para geolocalização LoRa**. 2021. 88 f. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2021.
- CARVALHO, Danilo Farias de; MIERS, Charles Christian. **Uma proposta de análise comparativa de desempenho entre NB-IoT e LoRaWAN para aplicação em redes IoT privadas**. In: ESCOLA REGIONAL DE ALTO DESEMPENHO DA REGIÃO SUL (ERAD-RS), 22., 2022, Curitiba. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2022. p. 61-62. ISSN 2595-4164. DOI: <https://doi.org/10.5753/eradr.2022.19162>.
- CASTRO, Giovanni de. **IoT DevKit - 7: Introdução ao LoRaWAN**. [S. l.], 22 jul. 2022. Disponível em: <https://www.robocore.net/tutoriais/iot-devkit-introducao-lorawan>. Acesso em: 1 out. 2022.
- CAVALCANTI, Alexandre José Ferreira Neves. **Estudo e desenvolvimento de um protótipo de dispositivo iot de longo alcance para aplicações agrícolas**. Orientador: Dr. Eudis Oliveira Teixeira. 2021. 70 p. Monografia (Bacharel) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano – IF Sertão-PE, Campus Petrolina, 2021. Disponível em: Microsoft Word - TCC -AlexandreCavalcanti_revCom1.docx (ifsertao-pe.edu.br). Acesso em: 5 fev. 2022.
- EOS DATA ANALYTICS INC., *et al.* **Temperatura Do Solo: Fator De Desenvolvimento**. Earth Observing System, 13 dez. 2021. Disponível em: <https://eos.com/pt/blog/temperatura-do-solo/>. Acesso em: 29 jan. 2022.
- EQUIPE AGRUS, Fabrício *et al.* **Agricultura de precisão**: Entenda por que a agrometeorologia de precisão pode potencializar a produção no campo. Asd. asd. ed. Rio Verde Goiás: Asd, 9 jul. 2020. asd. Disponível em: <https://blog.redeagrus.com.br/agrometeorologia/>. Acesso em: 25 jan. 2022.
- ESPRESSIF. **ESP-NOW**. [2015-2022]. Disponível em: <https://www.espressif.com/en/products/software/esp-now/overview>. Acesso em: 4 dez. 2022.
- FACINA, Alex Rodrigo. **Desenvolvimento de Protótipo de Rastreamento Bovino Usando a Tecnologia de Comunicação LoRa**. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2021.

HELTEC AUTOMATION TECHNOLOGY (Chengdu, Sichuan, China). **WiFi LoRa 32 (V2): LoRa Node Development**. 1 maio 2020. Disponível em: <https://heltec.org/project/wifi-lora-32/>. Acesso em: 21 dez. 2021.

JESUS, Klebio de; SILVA, Ronaldo Ferreira da; VIEIRA, Cecília Cândida Frazão. **APLICAÇÃO DE INTERNET DAS COISAS (IoT) NA AGRICULTURA DE PRECISÃO**. Universidade Estadual de Goiás - Câmpus Posse, mar. 2021.

LILYGO. **LILYGO® TTGO T-Call V1.4 ESP32 Wireless Module SIM Antenna SIM Card Module**. Disponível em: http://www.lilygo.cn/club/prod_view.aspx?TypeId=62&Id=1403&FId=t28:62:28. Acesso em: 21 dez. 2021.

LOPES, Amanda. **Estudo de área de cobertura de dispositivo LORA para ambientes de Smart Campus**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia de computação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2019.

LORAWAN®: **Device Classes**. Disponível em: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lora-wan/>. Acesso em: 1 ago. 2022.

LUETH, Knud Lasse. **State of the IoT 2020**: 12 billion IoT connections, surpassing non-IoT for the first time. IoT Analytics, 19 nov. 2020. Disponível em: <https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-2020-12-billion-iot-connections-surpassing-non-iot-for-the-first-time/>. Acesso em: 1 ago. 2022.

MÄKELÄ, Albert. **Energy efficiency improvements for existing buildings with IoT**. LAPPEENRANTA-LAHTI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY LUT, 2020. Disponível em: https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/161998/mastersthesis_Makela_Albert.pdf?sequence=1. Acesso em: 4 dez. 2022.

MASSRUHÁ, Silvia Maria Fonseca Silveira; LEITE, Maria Angelica de Andrade. **Agro 4.0 - Rumo à agricultura digital**. Embrapa - Agricultura digital, 2017.

MATHWORKS. **REST API**. MathWorks, 2022. Disponível em: <https://www.mathworks.com/help/thingspeak/rest-api.html>. Acesso em: 4 dez. 2022.

PEREIRA, Emanuel. **IMPLEMENTAÇÃO DE UM DISPOSITIVO PARA REDE DE SENSORES SEM FIO LORA ® UTILIZANDO ENERGIA SOLAR**. 2019. 62 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia de computação) - Universidade Federal do Ceará, Quixadá, 2019.

PICHINI, Paulo Henrique. **IoT no campo**: LoRa garante a conectividade da agricultura de precisão. Site: ItForum, 12 fev. 2019. Disponível em: <https://itforum.com.br/noticias/iot-no-campo-lora-garante-conectividade-da-agricultura-de-precisao/>. Acesso em: 5 fev. 2022.

PINHEIRO, José. **Topologias de Redes de Comunicação**. Projeto de Redes, 17 jul. 2006. Disponível em: https://www.projetoederedes.com.br/artigos/artigo_topologias_de_rede.php. Acesso em: 16 set. 2022.

RATASUK, R., VEJLGAARD, B., MANGALVEDHE, N., GHOSH, A. (2016). NB-IoT system in 2016 IEEE wireless communications and networking for M2M communication. conference, pág. 1–5. IEEE.

RUIZ, L. B. *et al.* **MANNA: Uma Arquitetura para o Gerenciamento de Redes de Sensores Sem Fio**. Tese de doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, 2003.

SANTOS, Bruno *et al.* **Internet das Coisas: da Teoria à Prática**. Departamento de Ciência da Computação Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, 2016. Disponível em: <https://homepages.dcc.ufmg.br/~mmvieira/cc/papers/internet-das-coisas.pdf>. Acesso em: 20 set. 2022.

SILVA, Douglas Muniz da. **Utilização do Sigfox no contexto de monitoramento de ambientes**. 2021. 67f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Telecomunicações) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2021.

SINHA, Rashmi Sharan; WEI, Yiqiao; HWANG, Seung-Hoon. **A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT**: ScienceDirect, v. 3, 21 mar. 2017, p. 14-21. DOI <https://doi.org/10.1016/j.icte.2017.03.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405959517300061>. Acesso em: 27 jul. 2022.

SOARES FILHO, Romeu; P. A. R. DA CUNHA, João. Agricultura de precisão. **Particularidades de sua adoção no sudoeste de Goiás – Brasil**, Revista Engenharia Agrícola, v. 35, n. 4, p. 689-698, jul./ago. 2015. DOI <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n4p689-698/2015>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/PSDTZRmBFRcDxTs-JFwSVbZm/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 2 fev. 2022.

TEKON ELECTRONICS. **LINE OF SIGHT: O VERDADEIRO ALCANCE DAS COMUNICAÇÕES SEM FIOS**. TEKON ELECTRONICS, [2020 a 2022]. Disponível em: <https://www.tekonelectronics.com/pt/>. Acesso em: 3 dez. 2022.

TESTEZLAF, Roberto. **Irrigação: Métodos, sistemas e aplicações**. Faculdade de Engenharia Agrícola - Unicamp, fev. 2017.

TIWARI, P.; SAXENA, V. P.; MISHRA, R. G.; BHAVSAR, D. **Wireless Sensor Networks: Introduction, Advantages, Applications and Research Challenges**. HCTL Open International Journal of Technology Innovations and Research ISBN, v. 14, 2015.

VALE, N. K. A. **Trajetória da produtividade da soja em função da variabilidade das chuvas no estado de Goiás**. 2017. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócio) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017. Acesso em: 29 jan. 2022.

WOLLINGER, Leonardo. **Baterias de Lítio-Íon: Um guia completo**. Embarcados, 2022. Disponível em: <https://embarcados.com.br/baterias-de-litio-ion-um-guia-completo/>. Acesso em: 4 dez. 2022.