

Fernando Koji Yamashiro  
Otávio Augusto Paganotti Messias da Silva

## **Desenvolvimento de uma aplicação utilizando RSSF para a Agricultura de Precisão.**

Brasil

2021, v-0.1.0

Fernando Koji Yamashiro  
Otávio Augusto Paganotti Messias da Silva

## **Desenvolvimento de uma aplicação utilizando RSSF para a Agricultura de Precisão.**

Trabalho de conclusão de curso, objetivando o desenvolvimento e a proposta de uma aplicação utilizando RSSF para a Agricultura de Precisão, realizado na Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD.

Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD  
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia - FACET  
Engenharia de Computação - Bacharelado

Orientador: Felipe José Carbone  
Coorientador: Carla Eloize Carducci

Brasil  
2021, v-0.1.0

# Resumo

Os atributos do solo, em uma plantação, influenciam diretamente na qualidade e quantidade da produção final, porém estes atributos apresentam variabilidade espacial e temporal, ou seja, os atributos do solo variam dentro de uma plantação. Este trabalho propõe um modelo de Rede de Sensores sem Fio, como prática de Agricultura de Precisão, para auxiliar na coleta de informações do solo, resultando em um melhor controle sobre a qualidade de uma plantação. Este trabalho apresenta seu funcionamento e o desenvolvimento de um protótipo. A proposta consiste de uma rede contendo diversos dispositivos *Nodos*, onde cada 1(um) contém diversos sensores para a coleta de dados a nível do solo, com comunicação a um *Gateway* via LoRa.

**Palavras-chaves:** Agricultura de Precisão. Rede de Sensores sem Fio. Sensoriamento. Análise de Solo. LoRa.

# Listas de ilustrações

Figura 1 – Alteração do manto de intemperismo e a formação do solo (POPP, 2017).	11
Figura 2 – Topologias de Rede . . . . .	13
Figura 3 – Composição da Rede . . . . .	21
Figura 4 – Diagrama de Sequências: Primeiros Ciclos . . . . .	22
Figura 5 – Principais componentes do <i>Nodo</i> . . . . .	25
Figura 6 – Circuito do <i>Nodo</i> . . . . .	26
Figura 7 – Principais componentes do <i>Gateway</i> . . . . .	28
Figura 8 – Circuito do <i>Gateway</i> . . . . .	28
Figura 9 – Telas do aplicativo desenvolvido. . . . .	31
Figura 10 – Comparação entre o Node.js e o modelo tradicional em relação a recebimento de requisições do cliente e operações de E/S. . . . .	32
Figura 11 – Medidor de pH, luminosidade e umidade do solo. . . . .	34
Figura 12 – a. Sensor de Umidade, b. Sensor de pH; c. Sensor de Umidade . . . . .	34
Figura 13 – Dados gerados no teste de sensores. . . . .	35
Figura 14 – Montagem para o teste de distância. . . . .	36
Figura 15 – Antenas testadas. . . . .	36
Figura 16 – Equipamentos instalados. . . . .	38
Figura 17 – Dados gerados no teste de campo do protótipo. . . . .	39

# **Lista de tabelas**

Tabela 1 – Quadro comparativo de tecnologias de comunicação. Adaptada de (REH-MAN et al., 2016)	17
Tabela 2 – Eventos do <i>Nodo</i>	23
Tabela 3 – Eventos do <i>Gateway</i>	24
Tabela 4 – Eventos no Servidor	25
Tabela 5 – Componentes eletrônicos do <i>Nodo</i>	27
Tabela 6 – Componentes eletrônicos do <i>Gateway</i>	29
Tabela 7 – Distâncias do teste de comunicação	36

# Listas de abreviaturas e siglas

AP	Agricultura de Precisão
RSSF	Rede de Sensores sem Fio
Perfil	Corte transversal do solo, que permite a visualização das diferentes camadas do solo.
API	Interface de comunicação de um servidor para com outro dispositivo.
<i>endpoint</i>	Rota da API, onde relaciona a lógica de programação que será executada para processar a requisição enviada ao servidor.
<i>Front-end</i>	Classificação dada a programação de interfaces gráficas em uma aplicação web.
ESP32	Placa com chip microcontrolador e outras funcionalidades integradas de baixo custo energético.
<i>Deep Sleep</i>	Modo de operação em economia de energia da placa ESP32.
<i>Datasheet</i>	Manual de operação de um componente eletrônico ou uma placa de circuito integrado.
<i>Wake up</i>	Operação para o ESP32 sair do modo <i>Deep Sleep</i> de operação.

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>10</b>
<b>2.1</b>	<b>Solos</b>	<b>10</b>
2.1.1	Formação do Solo	10
<b>2.2</b>	<b>Tipos de Solos</b>	<b>11</b>
<b>2.3</b>	<b>Agricultura de Precisão</b>	<b>12</b>
<b>2.4</b>	<b>Redes</b>	<b>13</b>
2.4.1	Redes de Sensores Sem Fio	14
2.4.2	Comunicação	15
2.4.2.1	Bluetooth	15
2.4.2.2	LoRa	16
2.4.2.3	ZigBee	16
2.4.2.4	nrf24(Wifi)	16
<b>2.5</b>	<b>Trabalhos Relacionados</b>	<b>18</b>
2.5.1	Agricultura de Precisão	18
2.5.2	Rede de Sensores sem Fio	19
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b>	<b>20</b>
<b>3.1</b>	<b>Organização e Funcionamento da Rede</b>	<b>20</b>
<b>3.2</b>	<b>Desenvolvimento do Protótipo</b>	<b>21</b>
3.2.1	Nodo	23
3.2.1.1	Materiais	23
3.2.1.2	Operações	23
3.2.1.2.1	Identificação na Rede	24
3.2.1.2.2	Pedido de Inserção na Rede	24
3.2.1.2.3	Leitura e Envio de Dados dos Sensores	26
3.2.1.2.4	Proximos Ciclo de Operações	27
3.2.2	Gateway	27
3.2.2.1	Materiais	28
3.2.2.2	Operações	28
3.2.2.2.1	Identificação na Rede e no Servidor	29
3.2.2.2.2	Inicialização do Gateway (Primeiro Ciclo)	29
3.2.2.2.3	Pedidos de Inserção de Nodos	29
3.2.2.2.4	Recepção de Dados de Sensores	30
3.2.2.2.5	Envio de Dados ao Servidor	30

3.2.2.2.6	Proximos Ciclo de Operações . . . . .	30
3.2.3	Servidor (API) . . . . .	30
3.2.3.0.1	Aplicativo Web . . . . .	30
3.2.3.0.2	Desenvolvimento . . . . .	30
3.2.3.1	Operações da Rede . . . . .	32
3.2.3.1.1	Registro de <i>Nodos e Gateways</i> . . . . .	33
3.2.3.1.2	Inserção de equipamentos na rede . . . . .	33
3.2.3.1.3	Recepção de dados . . . . .	33
<b>4</b>	<b>TESTES E RESULTADOS . . . . .</b>	<b>34</b>
<b>4.1</b>	<b>Teste de sensor de PH . . . . .</b>	<b>34</b>
<b>4.2</b>	<b>Teste de distância de comunicação . . . . .</b>	<b>35</b>
<b>4.3</b>	<b>Teste de campo do protótipo . . . . .</b>	<b>37</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS . . . . .</b>	<b>40</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>41</b>

# 1 Introdução

Uma das principais funções do solo, que é de servir de meio para o desenvolvimento de plantas, está diretamente relacionada aos seus atributos que, segundo Popp (2017), variam no tempo e espaço devido a fatores de formação do solo, ao seu uso e manejo. Por terem especificidades estruturais, morfológicas, químicas e biológicas os solos podem moldar o desempenho de uma cultura, assim o entendimento sobre os complexos relacionamentos entre os atributos do solo e os fatores ambientais geram dados úteis para um melhor manejo do solo e da produção agrícola com melhorias em produtividade (GEBBERS; ADAMCHUK, 2010).

A Agricultura de Precisão (AP) é reconhecida por se utilizar sensores, GPS, informações sistematizadas, maquinário tecnológico e gerenciamento de dados da condução do preparo/plantio/semeadura para otimizar a produção. Segundo Srinivasan (2006), os produtores rurais adeptos dessa tecnologia podem utilizar diferentes sistemas de manejo aliado a aplicações precisas dos insumos agrícolas (fertilizações, corretivos e condicionadores de solo) em acordo com as exigências químicas de cada gleba de solo cultivável, em contrapartida com essa mesma tecnologia é possível detectar áreas compactas e realizar a descompactação de forma localizada sem a necessidade de realizar o revolvimento em área total.

A adoção da AP vem crescendo no Brasil e no mundo, por inúmeros motivos, como o retorno econômico esperado, assim como o aumento da produtividade, sustentabilidade do sistema de produção com relação a minimização do impacto ambiental negativo (toxicidades e degradação), competitividade no mercado, entre outros motivos, coincidindo com o preconizado pela Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão em 2012<sup>1</sup>. Bernardi e Inamasu (2014) levantaram uma taxa de 53%, entre 301 proprietários e administradores de propriedade a nível nacional, adotavam algum nível de uso de AP nas propriedades que geriam, outro levantamento, realizado pela Embrapa (2020), mais recente e em maior escala, levanta que 84% dos agricultores brasileiros já utilizam ao menos uma tecnologia digital como ferramenta de apoio na produção agrícola, mais de 70% dos produtores rurais que responderam à pesquisa possuem acesso à internet, utilizando-a para interesses gerais sobre agricultura.

Tecnologias emergiram para a melhor aplicação da AP, como maquinário com piloto automático, sensoriamento remoto e proximal, sistemas de gerenciamento de insumos, produção e origem de materiais, em adição a isso, práticas de produção entraram em uso. Uma prática predominante no Brasil é a utilização de dados provenientes de amostragens

---

<sup>1</sup> <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p\\_do42.pdf](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do42.pdf)>

de solo georreferenciadas, ou em grade, para o gerenciamento da adubação (fertilizantes e corretivos) de acordo com cada talhão, ou determinados locais de um talhão ([MOLIN, 2017](#)).

O ideal, para uma produção agrícola, seria obter dados a nível de solo com certa constância, para correções necessárias durante as fases do preparo, plantio e semeadura. A partir de tal necessidade, este trabalho propõe um sistema de mensuração de dados do solo, com determinada periodicidade, utilizando de uma Rede de Sensores sem Fio.

[Sarangapani \(2019\)](#) define Rede de Sensores sem Fio (RSSF) como uma sub categoria de redes sem fio, caracterizadas pela coleta de dados físicos de ambiente utilizando de diversos equipamentos sensores, pode apresentar distintas organizações, topologias e tecnologias de acordo com os requisitos presentes sobre a coleta dos dados. Além de equipamentos sensores (*Nodos*), *Gateways* e Servidores, compõem uma RSSF.

Portanto, a proposta deste trabalho é o projeto, desenvolvimento e a descrição do funcionamento de uma aplicação RSSF, projetada para utilização no cenário agrícola como ferramenta para aplicar AP, coletando dados do solo de uma produção agrícola, como também a descrição do desenvolvimento e funcionamento da aplicação Web criada para visualização dos dados colhidos e gerenciamentos dos equipamentos da rede.

Este trabalho esta dividido

## 2 Fundamentação Teórica

### 2.1 Solos

Os solos apresentam uma importante característica de permitir o desenvolvimento da vida vegetal na superfície da Terra, tendo um papel fundamental para a agricultura (POPP, 2017). O bom desenvolvimento de uma planta se deve a partir de diversos fatores. Com relação aos nutrientes Embrapa (2006), são elementos químicos essenciais ao desenvolvimento das plantas, que são subdivididos em dois grupos principais. Os macronutrientes são nutrientes absorvidos em grandes quantidades pelas culturas. Os micronutrientes são aqueles que as culturas precisam em quantidades pequenas, sendo expressos em partes por milhão (ppm). Os macronutrientes ocorrem em concentrações de 10 a 5000 vezes superiores à dos micronutrientes (FINKLER et al., 2018).

Atributos do solo como o pH que ajuda a determinar a concentração dos elementos químicos do solo, ou a porosidade que indica quanto ar e água podem ser retidos no solo, além de diversos outros fatores, como temperatura, humidade, luminosidade, etc. Ajudam a analisar como será, ou está sendo, o desenvolvimento de uma planta, apesar de muitos desses atributos serem influenciados por fatores externos, o solo é o meio mais manipulável pelo homem, tanto no aspecto físico, quanto no químico Faquin (2005). Assim, o entendimento sobre a variância de atributos de um solo e seu controle são importantes para que seja possível produzir plantações de maior qualidade.

#### 2.1.1 Formação do Solo

O Solo é uma superfície inconsolidada, representando o produto final do intemperismo das rochas, constituída por camadas que diferem pela natureza física, química, mineralógica e biológica. As características do solo são adquiridas lentamente à medida que os processos evoluem e as propriedades dinâmicas do solo são gradativas. Quando o solo é representado por rochas (Figura 1) não totalmente decompostas ele é chamado de manto de intemperismo ou de regolito (LEINZ; AMARAL, 1980).

O Intemperismo consiste na alteração física e química das rochas e seus minerais, sendo um importante agente no processo da formação dos solos, que se dá através da desagregação ou desintegração das rochas, sem haver alteração química. Este processo é causado pela uma desagregação de fragmentos cada vez menores da rocha, causando desgaste e formando a matéria mineral do que conhecemos como solo. O Intemperismo ajuda a explicar o motivo ao qual solos de uma mesma região geralmente apresentem características minerais semelhantes, porém, outros atributos podem apresentar certa

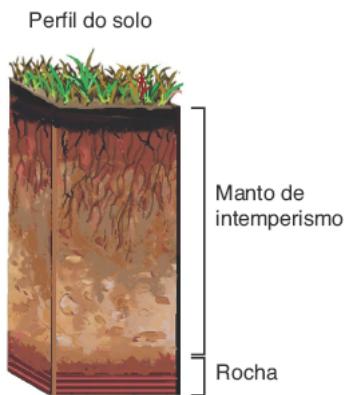


Figura 1 – Alteração do manto de intemperismo e a formação do solo (POPP, 2017).

variância com relação a amostras distâncias geograficamente e/ou temporalmente. Esta variabilidade se deve ao ambiente, do ponto de vista pedogenético, ela ocorre a partir da combinação de fatores de formação do caráter físico, químico e biológico, tais fatores são:

- **Adição:** Todo objeto externo que entra no corpo do solo, podendo vir através de compostos orgânicos, componentes minerais, erosão, ou pela água do lençol freático.
- **Perda:** Tudo o que sai do corpo do solo, podendo ser originada por erosões ou queimadas e até mesmo por lixiviação.
- **Translocação (transporte):** Tudo o que é transportado dentro do corpo do solo, podendo ser por processos seletivos (migração de argila), ou por processos não seletivos (transporte por formigas, etc.).
- **Transformação:** Transformação sofrida por minerais que são constituídos a partir do material de origem, podendo originar minerais secundários.

De maneira genérica, os solos são constituídos de matéria mineral, matéria orgânica, umidade e ar. O solo apresenta determinados atributos físicos e químicos de acordo com a sua constituição, apesar da quantidade massiva de combinações que possam existir, os solos podem ser caracterizados mediante a determinadas características que apresentam.

## 2.2 Tipos de Solos

Os tipos de solos podem variar de acordo com sua posição geográfica, sendo formados por resultados de produtos físicos, químicos e biológicos. Dependendo de seus atributos físicos, químicos e morfológicos eles podem ser classificados. No território nacional, em aproximadamente 70%, predominam os Latossolos, Argissolos e Neossolos (SANTOS et al., 2018). Em especial, os Latossolos, predominantes no bioma cerrado (apresenta

maior atividade agrícola nacionalmente), apesar de apresentarem restrições de ordem química (SOUZA; PAZ, 2007) possuem atributos físicos que, aliados à topografia suavizada (RESCK; PEREIRA; SILVA, 1991), apresentam elevado potencial ao desenvolvimento de uma agricultura altamente tecnificada.

## 2.3 Agricultura de Precisão

Molin (2017), a Agricultura de Precisão (AP) originou-se devido a gestão da variabilidade espacial e temporal de atributos do solo nas lavouras, sendo um grande desafio que a agricultura precisa perseguir no século XXI, motivado pelo espaço para melhora das técnicas praticadas hoje, assim, especializando os conceitos que se utiliza na condução das lavouras. Srinivasan (2006) AP pode ser definido como uma estratégia ecológica e holística, em que os produtores podem aplicar diferentes métodos de cultivo e uso de insumos diversos, em distintas regiões do campo de acordo com as variações nas propriedades do solo. Essas estratégias são praticadas em diferentes níveis de complexidade, em diferentes abordagens, sendo caracterizado por etapas de coleta de dados e gerenciamento da informação. No Brasil, é predominante a prática de gerenciamento de adubação, onde é aplicado calcário, gesso, fósforo e potássio em taxas variáveis de acordo com a amostragem do solo divididos por talhões, proporcionando a economia do uso de insumos e aumentando a produtividade das culturas (MOLIN, 2017).

A prática de AP possui inúmeras vantagens em relação ao sistema convencional de manejo. Na forma tradicional, os fertilizantes e insumos são aplicados igualmente em toda área, com base em uma amostragem média dos talhões, ou até mesmo para toda área da fazenda. Comparado à Agricultura de Precisão, que são recolhidas diversas informações que auxiliam na tomada de decisão, assim o entendimento sobre os complexos relacionamentos entre as propriedades do solo e fatores ambientais geram dados úteis para um melhor manejo da plantação, permitindo aplicar somente os fertilizantes e insumos necessários em determinadas áreas, gerando a melhora em quantidade e qualidade na produção agrícola (GEBBERS; ADAMCHUK, 2010), como resultado direto, gera benefícios como a economia financeira em insumos e recursos, melhoria das atividades agrícolas e melhor segurança na tomada de decisão. De acordo com Mendes (2018), ao adotar as práticas de AP em uma fazenda, é possível observar a redução dos custos de operação no campo em 11%, redução de custos com análise do solo em 37%, 19% de redução dos custos totais e um aumento do rendimento global das lavouras em 67%.

Segundo uma pesquisa realizada pela Embrapa (2020), 84% dos agricultores brasileiros já utilizam ao menos uma tecnologia digital como ferramenta de apoio na produção agrícola. Mais de 70% dos produtores rurais que responderam à pesquisa possuem acesso à internet, utilizando-a para interesses gerais sobre agricultura.

## 2.4 Redes

Uma rede pode ser definida como um conjunto de dispositivos, ou nós, conectados por *links* de comunicação, onde tais nós precisam estar conectados a outros de uma rede, além de poder ser qualquer tipo de dispositivo que possa enviar e/ou receber dados (FOROUZAN, 2008).

Apesar de tamanha extensão organizacional das redes, causada pela evolução nas tecnologias e conceitos utilizados no passar dos anos, estas podem ser caracterizadas distintamente de acordo com seus atributos, como sua topologia, tipos de conexões, categorias e modelos de rede, entre outros.

Dentro das diversas topologias de redes (Figura 2), esquema organizacional das conexões entre os dispositivos conectados à rede, vale expandir o conhecimento da topologia em árvore, que é base da rede proposta neste trabalho, nesta topologia cada nó apresenta um nível hierárquico, e seus *links* de comunicação são entre nós de 1 nível mais alto, ou 1 nível mais baixo. É necessário ter no mínimo 3 (três) níveis para ser considerado uma topologia em árvore (SOSINSKY, 2009). Visualmente, caso um nó não tenha nenhuma conexão com um outro de nível mais alto, implica em este ser o de nível mais alto da rede.

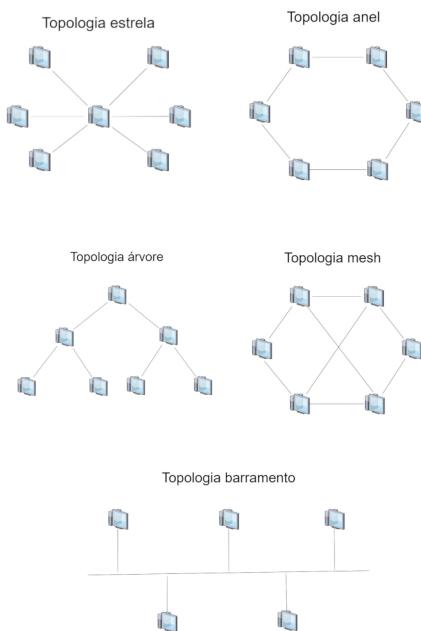


Figura 2 – Topologias de Rede

Os *links* de conexão podem ser físicos (cabeados) ou sem fio, há muitas diferenças entre ambos, apesar de ser mais difícil a realização de uma comunicação sem fio entre equipamentos, por envolver fatores do ambiente em que o equipamento está presente, redes sem fio são extremamente populares comercialmente por não haver conexão física entre

*Nodos*, evitando a necessidade de ter equipamentos fixos, gerando assim *Nodos* com maior mobilidade geográfica ([SARANGAPANI, 2019](#)).

Dentro de uma rede, muitos sistemas distintos se comunicam, isso é possível, sem que os sistemas tenham de realizar mudanças de lógica de hardware ou software de cada um deles, graças a utilização de modelos e protocolos de comunicação, que são organizados em camadas, cada uma apresenta conjuntos de funcionalidades coerentes ao componentes de comunicação que ela simboliza, visando uma arquitetura abrangente e flexível de rede.

Quando o modelo OSI (7 camadas) e o conjunto de protocolos TCP/IP (4 camadas), predominam o cenário acadêmico e o cenário comercial, respectivamente, são comparados pode se dizer que a camada host-rede(TCP/IP) equivale a combinação das camadas física(OSI) e de enlace de dados(OSI), a camada de internet(TCP/IP) equivale à camada de rede(OSI) e a camada de aplicação(OSI), e a grosso modo, a camada de transporte(TCP/IP) e a de aplicação(TCP/IP) realizam as funções das camadas de sessão(OSI), de apresentação(OSI) e de aplicação(OSI) ([FOROUZAN, 2008](#)).

O protocolo LoraWan, base para o protocolo da RSSF proposta, que será melhor explorado na subseção de “Comunicação”, apresenta camadas que podem ser classificadas como a camada de enlace e rede do modelo OSI ([LORAWAN..., 2020](#)).

#### 2.4.1 Redes de Sensores Sem Fio

Redes de Sensores sem Fio, ou RSSF, tem como objetivo a coleta de dados físicos de ambiente, pode apresentar distintas organizações, topologias e tecnologias de acordo com os requisitos presentes sobre a coleta dos dados. A rede pode ser composta inteiramente de *Nodos*<sup>1</sup> sensores, que podem exercer tanto o papel de envio de dados ou coleta de dados dependendo da organização da rede, pode conter *Gateways* também, equipamentos exclusivos de transmissão de dados, media a comunicação entre os *Nodos* e um servidor.

[Akyildiz et al. \(2002\)](#) Apesar das diferentes características que uma rede pode ter, um *Nodo*, fundamentalmente falando, é composto por uma unidade de processamento, uma de transmissão de dados, de sensoriamento e de alimentação.

Há certas limitações e preocupações no projeto da rede que caracterizam uma RSSF:

- **Tolerância a falhas:** Geralmente não há facilidade de acesso aos *Nodos*, assim, no caso de falhas em 1(um) ou mais *Nodos*, a rede não pode ficar inoperante.

<sup>1</sup> Apesar de não haver distinção no uso do termo “*Nodos*” e “nós” nos conceitos de redes, para este trabalho o termo “nós” será usado com a definição de “dispositivo conectado à rede” e o termo “*Nodos*” se destina a definição de componente da RSSF, assim, neste caso, todo *Nodo* é um nó, mas nem todo nó é um *Nodo*.

- **Escalabilidade:** Deve haver a possibilidade de crescimento da rede, para comportar novos *Nodos*.
- **Custo de produção:** Pode ser numeroso a quantidade de *Nodos* em uma rede, por isso ideal é evitar um custo muito alto de produção.
- **Ambiente de operação:** Define tecnologias e características da rede podem e/ou devem ser utilizadas e implementadas.
- **Topologia:** É um fator muito importante pois, sua escolha, influencia diretamente na escalabilidade da rede, assim como no protocolo de comunicação.
- **Limitações de hardware:** Geralmente os controladores dos *Nodos* apresentam um poder computacional limitado, sendo capaz de limitar certas operações que um *Nodo* possa vir a querer realizar.
- **Meio de transmissão:** Dependem do meio de operação e o raio de operação desejado para cada *Nodo*, mas o meio de transmissão influência na escolha das tecnologias de transmissão que vão vir a ser utilizadas, que por sua vez, têm influência no consumo energético.
- **Consumo energético:** A alimentação de um *Nodo* utilizando a rede elétrica nem sempre é possível neste tipo de rede, ou até mesmo boa parte das vezes, fazendo com que a alimentação de *Nodos* geralmente seja feita por baterias, unido ao fato de possa ser difícil o acesso a um *Nodo*, o consumo energético deste é uma das principais preocupações no projeto de um *Nodo*, tendo então como objetivo um menor consumo energético ainda sendo capaz de operar de maneira satisfatória

## 2.4.2 Comunicação

A transmissão de dados na rede é um fator muito importante, que pode depender do ambiente de operação do *Nodo* e a distância entre os nós da rede, e é limitado pelo consumo energético, desta maneira não há uma tecnologia ou protocolo de transmissão que seja a melhor para todos os projetos de RSSF, porém, neste trabalho será apresentado peculiaridades de algumas delas, que em algum ponto foram estudadas para a escolha da tecnologia que a RSSF proposta deveria usar.

### 2.4.2.1 Bluetooth

Apesar de a tabela Y indicar uma rede bluetooth como P2P, atualmente há a possibilidade de implementar redes Mesh com o bluetooth, por apresentar o modo Low Energy sua utilização para RSSF's se torna possível. Há a possibilidade de se estruturar a rede para aumentar o alcance da comunicação por Bluetooth, porém sua distância continua

relativamente pequena pouco mais de 1(um) km<sup>2</sup>, unido a sua confiabilidade no mercado, redes de BLE(Bluetooth Low Energy) tem sido implementados principalmente nos cenários industrial e domiciliar<sup>3</sup>.

#### 2.4.2.2 LoRa

LoRa é uma técnica de modulação de ondas de radiofrequência que permite um alcance muito grande com um consumo energético baixo em troca de uma baixa taxa de transmissão de dados<sup>4</sup>. O uso e implementação do LoRa é feito principalmente utilizando o protocolo aberto LoRaWan, sendo caracterizado como uma rede LPWAN. Uma rede deste tipo é geralmente implementado com uma topologia em estrela estendida, *singlehop*, composto de *Nodos*, *Gateways* e um servidor central de operação([LORA ALLIANCE, 2018](#)). Sua utilização vem crescendo, mas como é relativamente recente, ainda está em processo de se estabelecer no mercado, o que implica em ter casos de uso não explorados em seu máximo.

#### 2.4.2.3 ZigBee

É uma das principais tecnologias referentes à RSSFs, utilizado mundialmente, otimizado para uma implementação de rede Mesh com *multihop*<sup>5</sup>, porém seu alcance é reduzido e no cenário nacional, a implementação a nível comercial é um tanto dificultada pelo preço de revenda de seus módulos, o que é uma preocupação no desenvolvimento de RSSF, como citado anteriormente, já que a rede pode ter uma grande quantidade de dispositivos conectados, onde cada 1(um) necessitará de um módulo ZigBee de comunicação.

#### 2.4.2.4 nrf24(Wifi)

Apresenta uma implementação com preço bem baixo, por utilizar o padrão Wifi de comunicação, apresenta grande flexibilidade para implementação em diversas topologias, com alcance médio de até 1(um) km, esta série de módulos (nrf24), pode ser utilizado com o protocolo ANT ([CHRIST et al., 2011](#)), assim não apresenta tamanha desvantagem do consumo energético alto como o indicado na tabela Y, mas sua desvantagem se torna o baixo alcance nesse tipo de implementação.

Na mesma categoria de rede que o LoRaWan, há as tecnologias sigfox e NB-IoT, populares internacionalmente, porém elas não foram citadas acima pelo fato de que suas especificações técnicas são relativamente similares ao Lora, com exceção da cobertura e técnica de modulação de dados. Outro fator para a falta de extensão na descrição de ambas as tecnologias é por terem sido descartados como escolha tecnológica para a RSSF

<sup>2</sup> <<https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/bluetooth-technology/range/>>

<sup>3</sup> <<https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/markets/>>

<sup>4</sup> <<https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>>

<sup>5</sup> <<https://www.ti.com/wireless-connectivity/zigbee/overview.html>>

	<b>Bluetooth(BLE)</b>	<b>Zigbee</b>	<b>Wifi</b>	<b>LoRa</b>
<b>Padrão</b>	IEEE 802.15.1 <i>IoT Interconnect</i>	IEEE.15.4	IEEE 802.11 ah	IEEE 802.15g
<b>Tipo de rede</b>	P2P	Mesh	WLAN	LPWAN
<b>Consumo energético</b>	10mW	30mA TX1, Standby 3# 956; A (baixo)	400+mA TX1 Standby 20mA (alto)	Muito baixos
<b>Taxa de dados (Mbps)</b>	1	0.25	Min 150 kbps	250kbps
<b>Alcance</b>	35m	10-100m	1km	100km
<b>Faixa de operação</b>	2.5GHz	2.4GHz	2.4-5GHz	868-915MHz

Tabela 1 – Quadro comparativo de tecnologias de comunicação. Adaptada de ([REHMAN et al., 2016](#))

proposta, já que, o NB-IoT trabalha em espectro de radiofrequência licenciado([GSMA, 2016](#)), já o sigfox necessita de infraestrutura já instalada para comunicação de dispositivos com servidores, atualmente apresentando baixa cobertura, ou nenhuma, em áreas de baixa densidade populacional do Centro Oeste Brasileiro<sup>6</sup>, local de desenvolvimento e testes. Além de apresentar um modelo de negócios que não condiz com a implementação desejada<sup>7</sup>.

Mediante ao quadro comparativo na Tabela 1, as informações acima e a problemática a ser resolvida pela proposta da rede, foi escolhido a tecnologia LoRa para comunicação entre *Nodos* e *Gateways* na rede, vale a nota, de que o protocolo utilizado neste tipo de comunicação não é o LoraWan, mas sim um protocolo baseado nele, que foi criado em específico para este trabalho, devido ao modelo de hardware para *Gateways* utilizado no protótipo não se assemelha às especificações necessárias para implementação plena do protocolo.

<sup>6</sup> <https://www.sigfox.com/en/coverage>

<sup>7</sup> <https://build.sigfox.com/sigfox>

## 2.5 Trabalhos Relacionados

Esta seção traz informações acerca de trabalhos relacionados a este, assim, há a separação em 2 (duas) subseções, “Agricultura de Precisão - AP” e “Rede de Sensores Sem Fio - RSSF”, onde, a grosso modo, tratarão de citações referentes à tendências nas técnicas de AP e implementações de estruturas e protocolos em RSSFs, respectivamente.

A ciência de tais trabalhos relacionados, aqueles que apresentam características similares à rede aqui proposta, torna possível traçar similaridades e defender as escolhas realizadas no projeto e desenvolvimento.

### 2.5.1 Agricultura de Precisão

As primeiras iniciativas de pesquisa da Agricultura de Precisão (AP) no Brasil começaram a aparecer na década de 1990, sendo vista como um conjunto de ferramentas para o manejo localizado da lavoura. Após este período, deu-se uma interpretação mais sistêmica, considerando-a como um sistema de gerenciamento da produção agrícola, em especial, as técnicas voltadas para otimização do sistema de produção, tendo como elemento chave a gestão da variabilidade espacial da produção e dos fatores nela envolvidos ([MOLIN, 2001](#)). Desde a popularização da tecnologia de Sistema de Posicionamento Global (GPS), a AP tornou-se acessível aos produtores com o surgimento de vários equipamentos e tecnologias ([BERNARDI, 2013](#)).

[Molin \(2004\)](#), reforçou que a AP deve ser vista como uma estratégia de manejo do solo e das culturas, sendo capaz de melhorar o nível de gerenciamento agrícola, e possibilitando a melhor tomada de decisão. A AP só consegue possibilitar tudo isso, porque ela consegue identificar, quantificar, e mapear com acurácia a variabilidade das lavouras ([SARAIVA; CUGNASCA; HIRAKAWA, 2000](#)).

O conhecimento da distribuição espacial dos atributos do solo é essencial para o gerenciamento da variabilidade espacial das culturas, porém, o alto nível de detalhamento do mapeamento pode acabar sendo inviabilizado por altos custos e tempo demandados entre a coleta, análise e geração dos mapas de atributos do solo ao nível de fazenda ([MCBRATNEY; SANTOS; MINASNY, 2003](#)). A utilização de sensores hiperespectrais têm sido sugerida como alternativa para o preenchimento da lacuna de dados encontrada no planejamento da produção agrícola ([IZNAGA et al., 2014](#)).

Várias tecnologias vem se destacado nos últimos anos, a empresa Veris Technologies Inc. (Salina, KS, EUA) desenvolveu um equipamento capaz de fazer o sensoriamento através de técnicas ópticas de mensuração da reflectância espectral de solos na região visível e infravermelho, Vis-NIR ([EITELWEIN et al., 2016](#)).

Outro tipo de tecnologia amplamente utilizado na AP, é o uso de sensores conectados

através de uma rede (RSSF), podendo monitorar vários aspectos do ambiente agrícola, oferecendo recursos para controle, monitoramento e transmissão de dados (TERUEL et al., 2012). Recentes avanços nesta área tem levado ao desenvolvimento de aparelhos com baixo custo, baixo consumo de energia e de novos nós sensores multifuncionais (TERUEL et al., 2012 apud RUIZ-ALTISENT et al., 2010).

O uso de RSSF é uma possibilidade na obtenção de dados em tempo real, sendo um meio importante para a geração de informação que auxilie no controle e monitoramento do sistema, garantindo um ambiente adequado para a cultura (TERUEL et al., 2012).

### 2.5.2 Rede de Sensores sem Fio

As RSSFs podem ser implementadas utilizando de diversas topologias, além de apresentar diversas características distintas baseadas em seus requisitos, apesar disto os desafios básicos citados na Seção 2.4.1, são presentes.

Babusiaik, Smondrk e Borik (2019) implementa uma RSSF com topologia em estrela usando nrf24(Wifi), enquanto Oliveira (2013), implementa e testa uma RSSF em mesh usando ZigBee. Verona (2010), testa diversas topologias e configurações de rede a partir de critérios de consumo energético, perda de pacotes e tempo de atraso, concluindo que o projeto da rede deve visar o melhor manejo destes atributos considerando os demais requisitos da rede.

Muitos artigos analisam o uso de protocolos de roteamento, como o Leach, que separam os *Nodos* de rede em clusters, com 1(um) *Nodo* como líder (RABER et al., 2013), apesar haver componentes diferentes na rede proposta(*Gateways* como líderes), com protocolo baseado no LoRaWan, é notável a semelhança em termos estruturais da rede, em que ambos apresentam estruturas hierárquicas, assim algumas análises também são similares sobre o tráfego de rede e perda de pacotes.

# 3 Desenvolvimento

Esta seção descreve o funcionamento da rede proposta e o desenvolvimento dos componentes da mesma. Para uma maior compreensão, segue a subseção de “Organização e Funcionamento da Rede”, que explicita as características da rede proposta para este trabalho, sua leitura é recomendada para o entendimento da subseção posterior, o “Desenvolvimento do protótipo”, que descreve os materiais utilizados para cada componente da rede, suas operações e a montagem do protótipo. Ao projetar um sistema computacional, segundo as diretrivas de engenharia de software (PRESSMAN, 2011), certos requisitos, que são definido pela problemática, recursos do projeto e características que a solução deve ter, devem ser considerados para o projeto de um bom sistema.

Para o projeto da rede foi considerado seu objetivo que, descrito anteriormente na Seção 1, é recolher dados do solo de uma produção agrícola. Devido a escala de tamanho que uma produção agrícola têm, além da variabilidade de atributos do solo em função de tempo e espaço, a proposta é coletar os dados entre pontos com certas distâncias geográficas mínimas e com determinada frequência de tempo. Com as informações acima, junto ao fato de ser bem difícil o acesso à rede elétrica na área de coleta de dados, uma solução aplicável seria o desenvolvimento de uma RSSF.

## 3.1 Organização e Funcionamento da Rede

A RSSF proposta coleta dados dentro de um determinado raio de operação em uma única área geográfica, sendo uma topologia em árvore (quando implantados múltiplos equipamentos). Os equipamentos são separados em *Nodos*, *Gateways* e servidor, onde muitos *Nodos* se comunicam com um único *Gateway*, e muitos *Gateways* se comunicam com um servidor.

A troca de mensagens do servidor com o gateway é realizado através de requisições *HTTP POST*, a troca de mensagens por LORA (entre *Gateway* e *Nodos*) segue a formatação de CO + DA + OA + *payload*, onde CO é o código de operação, indica se a mensagem é um pedido de inserção na rede, envio de dados ou então resposta a uma outra mensagem, DA é o *Destiny Address*, ou seja o endereço destino, OA é o *Origin Address*, ou seja endereço destino, e o *payload* refere-se aos dados que a mensagem deseja transmitir.

Os *Nodos* terão sensores ligados a ele para a coleta de dados e a transmissão ao *Gateway*, o *Gateway* tem o papel de receber os dados dos sensores e enviá-los ao servidor responsável pela operação desta rede. Devido às distâncias espaciais, a comunicação entre *Nodo* e *Gateway* é feita utilizando tecnologia LoRa (Seção 2.4.2.2), e a comunicação entre

*Gateway* e servidor utiliza TCP/IP via WiFi, para a identificação, na troca de mensagens, é utilizado um sistema de endereçamento baseado na identificação do controlador de cada *Nodo* e *Gateway*.

A rede pode ser composta de uma sub rede até o conjunto de diversas sub redes, onde cada uma é definida por um conjunto de 1(um) *Gateway* para 1(um) *Nodo*, Figura 3.

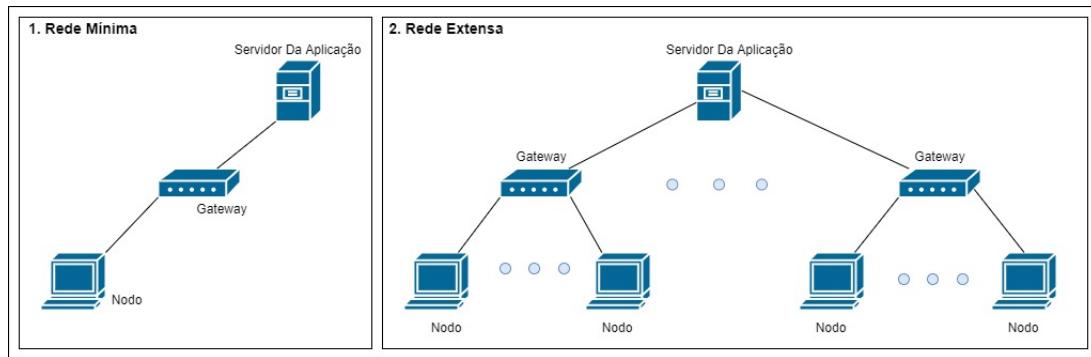


Figura 3 – Composição da Rede

O funcionamento da rede pode ser expresso pelos eventos dos componentes da rede em seu primeiro ciclo de operação, como são descritos nas tabelas 2, 3 e 4, seguindo uma ordem cronológica, considerando que os eventos tiveram resoluções bem sucedidas.

Para uma melhor visualização do funcionamento da rede, a Figura 4 apresenta um diagrama de sequência dos eventos da rede, explicitando uma ordem cronológica e causal entre as funções dos componentes da rede.

### 3.2 Desenvolvimento do Protótipo

Esta seção é destinada a uma descrição mais detalhada referentes aos componentes da rede. Há subseções referentes a cada componente da rede (*Servidor*, *Gateway* e *Nodo*) que apresentam informações acerca os materiais, operações e desenvolvimento desses componentes.

Sobre os materiais utilizados, deve ser observado que o componente ESP32, não está devidamente energizado, está sendo utilizado uma alimentação de 3,9 – 4,2V na entrada de 5V da placa, segundo seu *datasheet* a voltagem deveria ser de 4,7V até 6V, o ideal seria converter a tensão de alimentação para 3,3V e utilizar a entrada de 3,3V porém os componentes para montar um conversor não foram adquiridos a tempo para a execução da montagem. Por segurança, foi escolhido operar o equipamento em uma voltagem menor que a ideal, ao invés de tentar operar num tensão acima da máxima da entrada. A operação abaixo da mínima pode acarretar a alguns problemas que podem estar relacionados a alguns comportamentos observados na Seção 4.

Os códigos do protótipo se encontram nos seguintes repositórios:

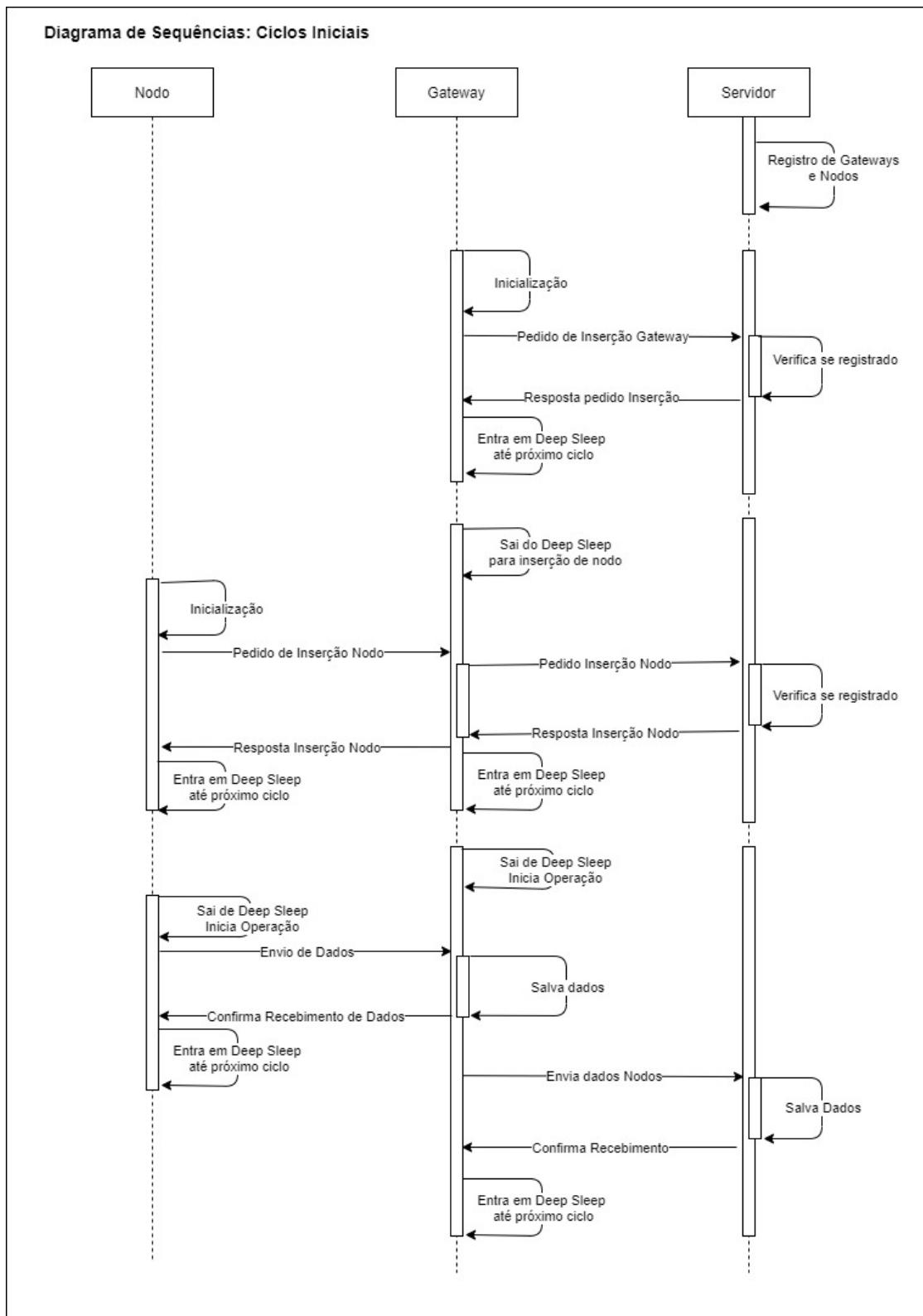


Figura 4 – Diagrama de Sequências: Primeiros Ciclos

Evento	Descrição
1. Inicialização	<i>Nodo</i> é ligado no primeiro ciclo de operação, o <i>Nodo</i> inicializa suas bibliotecas e verifica o funcionamento dos sensores e módulos ligados a ele.
2. Pedido de inserção na rede	Após inicializado, envia uma mensagem pública via LoRa para que qualquer <i>Gateway</i> possa retransmitir o pedido ao servidor, pedindo sua inserção na rede.
3. Inserção na rede	Se o pedido de inserção for respondido indicando que a operação foi bem sucedida, significa que o <i>Nodo</i> foi inserido a rede, assim armazena o endereço do <i>Gateway</i> que o respondeu e seus horários de operação, para troca de mensagens futuras.
4. Esperar até horário de operação	O <i>Nodo</i> calcula o tempo até o próximo ciclo de operação do <i>Gateway</i> e então entra em modo <i>Deep Sleep</i> (modo de economia de energia).
5. Inicia operação	Dentro do horário de operação do <i>Gateway</i> , o <i>Nodo</i> sai do <i>Deep Sleep</i> e recolhe os dados dos sensores ligados a ele.
6. Envio de dados	Envio dos dados recolhidos ao <i>Gateway</i> .
7. Fim da operação	Assim que o <i>Gateway</i> confirma o recebimento dos dados, é calculado novamente o tempo até um próximo ciclo de operação do <i>Gateway</i> e entra no modo Deep Sleep, assim os eventos 5 e 6 vão se repetindo enquanto o <i>Nodo</i> estiver em funcionamento.

Tabela 2 – Eventos do *Nodo*

- **Front-end Aplicativo Web:** <<https://github.com/Koji/TCC-Frontend>>
- **API:** <<https://github.com/Koji/TCC-Backend>>
- **Equipamentos *Nodo* e *Gateway*:** <<https://github.com/Koji/TCC-Equipamentos>>

### 3.2.1 Nodo

A composição de um *Nodo* (Figura 5) pode ser expressa pela presença dos blocos: Controlador, comunicação, Coleta de dados e Alimentação. A função principal deste componente é a coleta de dados e envio ao gateway.

#### 3.2.1.1 Materiais

Na tabela 5 é possível visualizar a listagem completa de componentes e suas funções segundo do circuito presente na Figura 6.

#### 3.2.1.2 Operações

Esta subseção descreve melhor o comportamento do *Nodo* segundo o diagrama apresentado na Figura 4.

Evento	Descrição
1. Inicialização	<i>Gateway</i> é ligado no primeiro ciclo de operação, o <i>Gateway</i> inicializa suas bibliotecas e se conecta a uma rede WiFi.
2. Pedido de inserção na rede	Após inicializado, envia uma requisição HTTP para o servidor, pedindo para que seja inserido a rede.
3. Inserção na rede	Se o pedido de inserção for respondido como bem sucedido, o <i>Gateway</i> armazena os horários de operação e as durações que deve seguir.
4. Esperar até horário de operação	O <i>Gateway</i> calcula o tempo até seu próximo ciclo de operação e então entra em modo Deep Sleep.
5. Processa interrupção para inserir no <i>Nodo</i>	Uma interrupção pode ser acionada via hardware para que o <i>Gateway</i> saia do modo Deep Sleep por determinado tempo, com o objetivo de inserir novos <i>Nodos</i> , caso eles forem instalados fora do horário de operação do <i>Gateway</i> .
6. Inserção de <i>Nodo</i>	Se receber um pedido de inserção na rede de um <i>Nodo</i> , envia uma mensagem ao servidor, se o servidor confirmar a inserção do <i>Nodo</i> a rede, o <i>Gateway</i> responderá a mensagem de inserção ao <i>Nodo</i> .
7. Esperar até horário de operação	Assim que terminar o tempo definido pela interrupção, o <i>Gateway</i> verifica se está em tempo de operação, caso não esteja, calcula o tempo até o próximo ciclo de operação e entrará em modo Deep Sleep.
8. Inicia operação	Dentro do horário de operação, o <i>Gateway</i> sai do Deep Sleep.
9. Resposta a dados recebidos	Enquanto estiver operante no tempo de duração do ciclo, pode receber e armazenar dados dos <i>Nodos</i> e realizar inserções de <i>Nodos</i> na rede, se for realizado um pedido enviará respostas aos <i>Nodos</i> para cada inserção bem sucedida ou dado recebido.
10. Envio de dados	Ao final de cada ciclo de operação, ou se armazenar certa quantidade de dados dos <i>Nodos</i> , o <i>Gateway</i> enviará as informações armazenadas para o servidor.
11. Fim da operação	Quando acabar o tempo de duração do ciclo de operação, o <i>Gateway</i> calcula o tempo até o próximo ciclo e entra em modo Deep Sleep, assim, os ciclos se repetem com os eventos 8 e 9, a menos que haja interrupção para inserção de <i>Nodos</i> , que percorre dos eventos 5 ao 7 antes do evento 8.

Tabela 3 – Eventos do *Gateway*

### 3.2.1.2.1 Identificação na Rede

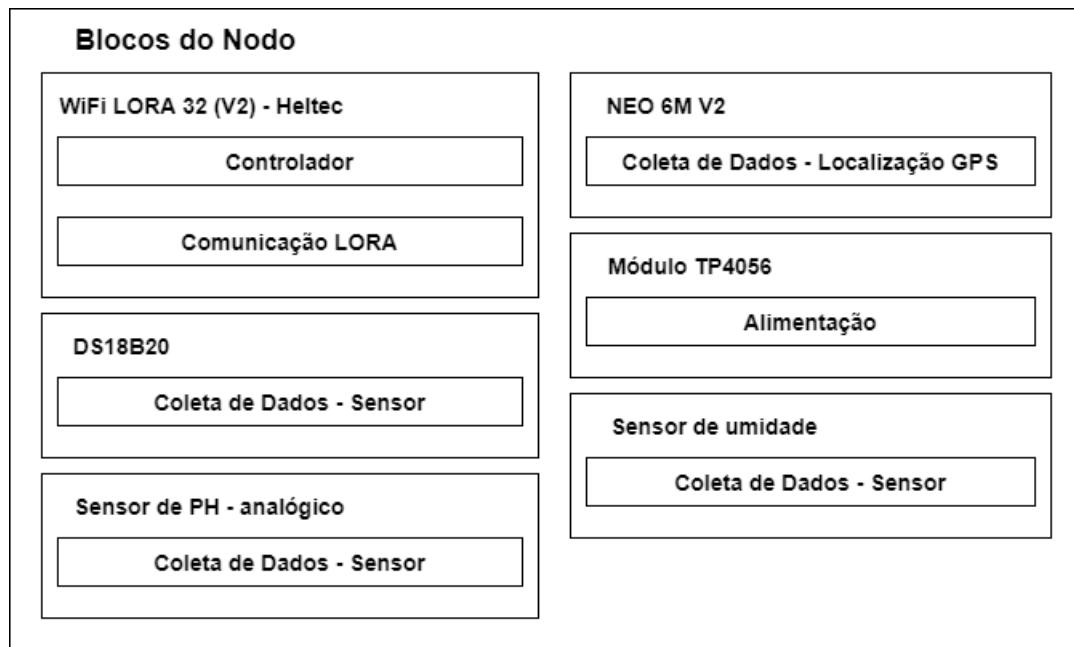
O *Nodo* utiliza de seu endereçamento único (identificação do chip) para gerar um endereçamento de 12 dígitos usados na rede, onde é identificado, na rede e pelo servidor.

### 3.2.1.2.2 Pedido de Inserção na Rede

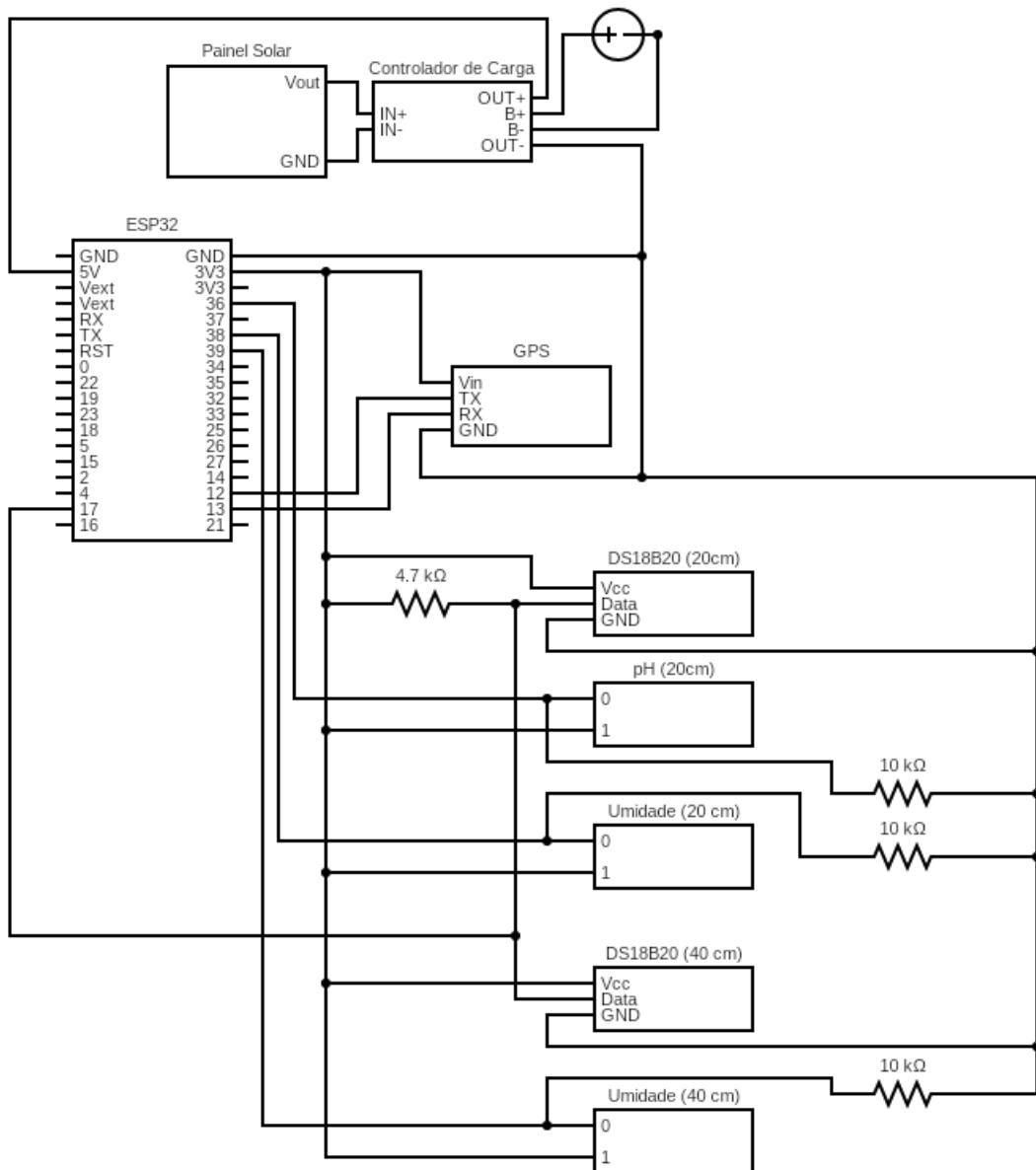
Ao ser inicializado, o *Nodo* verifica se está em sua primeira operação ou se está operando após sair do modo *Deep Sleep*, caso esteja em seu primeiro ciclo, a localização

Evento	Descrição
1. Registro de <i>Gateways</i> e <i>Nodos</i>	Para que um <i>Nodo</i> ou um <i>Gateway</i> seja inserido na rede, primeiro este deve ser registrado no servidor, em especial no registro do <i>Gateway</i> é onde deve ser indicado os horários e durações dos ciclos de operação.
2. Inserção de <i>Gateway</i>	Ao receber um pedido de inserção de <i>Gateway</i> na rede, o servidor verifica se este está registrado e então, caso esteja, responde a requisição de inserção na rede com os os horários e durações dos ciclos de operação.
3. Inserção de <i>Nodo</i>	Ao receber um pedido de inserção de <i>Nodo</i> na rede, o servidor verifica se este está registrado e então, caso esteja, responde a requisição de inserção na rede.
4. Recebimento de dados de sensores	Ao receber os dados dos sensores o servidor os armazena e envia a confirmação de recebimento ao <i>Gateway</i> .

Tabela 4 – Eventos no Servidor

Figura 5 – Principais componentes do *Nodo*

do equipamento é adquirida, verifica que sensores ligados a ele estão funcionando e então envia um pedido de inserção via LoRa, ao receber uma resposta (indica que a inserção foi bem sucedida), o endereço de origem da resposta e os horários de operação são armazenado em arquivo para uso futuro. No caso da falha na inserção na rede, o equipamento entra no modo *Deep Sleep* por tempo pré determinado e tenta realizar o pedido de inserção novamente.

Figura 6 – Circuito do *Nodo*.

### 3.2.1.2.3 Leitura e Envio de Dados dos Sensores

Dentro de um ciclo de operação, os dados dos sensores de pH, umidade e temperatura são coletados e enviados ao *Gateway* destino via LoRa. No caso de sucesso, o equipamento calcula o tempo até o próximo ciclo de operação e então entra no modo *Deep Sleep*. Na falha, mais duas tentativas são realizadas, se ainda assim não haver uma resposta o equipamento reinicia para pedir a inserção na rede novamente.

Componente	Descrição
1. WiFi LORA 32 (V2)	Esp32 da Heltec, controlador do equipamento, é responsável por gerenciar o envio e recepção de dados, coleta de dados e horários de operação.
2. NEO 6M V2	Módulo GPS para aquisição de horário e localização global.
3. Paineis solares	2 painéis solares de 5 v, 300 mA para fornecer energia ao "TP4058".
4. TP4058	Módulo de gerenciamento de carga para bateria, gerenciando a alimentação do controlador e carregamento da bateria por energia solar.
5. bateria lítio 3,7v	Armazena energia elétrica para uso ou carga gerenciada pelo "TP4058", fornecendo 4,2v com carga total e 8800 maH.
6. DS18B20	Sensores de temperatura no solo, utilizados 2 para medição aos 20 cm e 40 cm de profundidade no campo.
7. Sensor de umidade	Sensores de umidade no solo, utilizados 2 para medição aos 20 cm e 40 cm de profundidade no campo.
8. Sensor de ph analógico	Sensor de ph no solo, utilizado para medição aos 20 cm de profundidade no campo.
9. Resistores	Resistores de <i>pull down</i> de 10k para os sensores de umidade e pH e resistores de 4,7k para o sensor de temperatura.

Tabela 5 – Componentes eletrônicos do *Nodo*

### 3.2.1.2.4 Proximos Ciclo de Operações

Ao Inicializar um novo ciclo de operação, ou seja, na inicialização foi detectado que o controlador saiu do modo *Deep Sleep*, é verificado o arquivo de configuração do *Nodo* (arquivo gerado na inserção na rede), na presença dele o equipamento segue a operação normalmente, efetuando a leitura dos dados de sensores e envio ao *Gateway*. Se o arquivo de configuração não estiver presente, é feito o pedido de inserção na rede.

## 3.2.2 Gateway

Para um *Gateway*, Figura 7, há menos componentes comparado a um *Nodo*, já que não precisa coletar dados de sensores, porém sua carga de trabalho é relativamente mais alta. Sua função principal é permitir a comunicação entre os nodos com o servidor, por isso, para se comunicar com os *Nodos* utiliza troca de mensagens por LoRa, e para se comunicar com o servidor utiliza de requisições HTTP enviados via WiFi.

Inicialmente foram realizados testes para ao invés de usar WiFi, utilizar GSM, através do SIM800L, porém seu funcionamento foi bastante instável para este trabalho, onde a conexão com a rede GSM na maioria das vezes não foi realizada, não foi possível determinar a real causa deste problema, se a implementação fosse bem sucedida, possibilitaria que o *Gateway* instalado no campo junto aos *Nodos*. Como a coleta de dados

pelos *Nodos* e o envio deles ao *Gateway*, é considerado o foco principal deste trabalho, a implementação de uma outra tecnologia para substituir o WiFi será feita no futuro.



Figura 7 – Principais componentes do *Gateway*

### 3.2.2.1 Materiais

Para a escrita do código do gateway foi utilizado o Arduino IDE, esquematicamente o circuito pode ser visto na Figura 8, onde os componentes estão listados na Tabela 6.

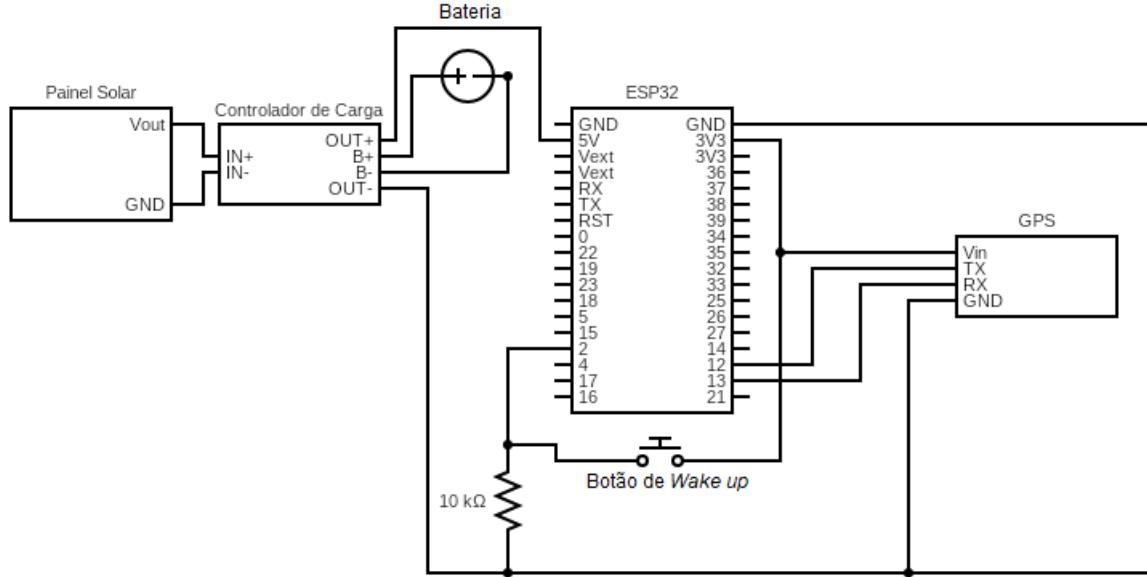


Figura 8 – Circuito do *Gateway*

### 3.2.2.2 Operações

Como expresso na Figura 4, esta subseção descreve melhor o comportamento do *Gateway* dentro de seus principais eventos.

Componente	Descrição
1. WiFi LORA 32 (V2)	Esp32 da Heltec, controlador, com módulos integrados de LORA, WiFi e tela OLED.
2. NEO 6M V2	Módulo GPS para aquisição de horário e localização global.
3. Paineis solares	2 painéis solares de 5 v, 300 mA.
4. TP4058	Módulo de gerenciamento de carga para bateria, gerenciando a alimentação do controlador e carregamento da bateria por energia solar.
5. Bateria lítio 3,7v	Principal componente de alimentação do controlador, fornecendo 4,2v com carga total e 8800 maH.
6. Resistor de 10k	Resistor de <i>pull down</i> para a chave que realiza a interrupção de <i>Wake up</i> para inserção de <i>Nodos</i> .

Tabela 6 – Componentes eletrônicos do *Gateway*

### 3.2.2.2.1 Identificação na Rede e no Servidor

Da mesma maneira que a Identificação de um *Nodo* é feita (Seção 3.2.1.2.1), o *Gateway* utiliza de seu endereçamento único (identificação do chip) para gerar um endereçamento de 12 dígitos usados na rede.

### 3.2.2.2.2 Inicialização do *Gateway* (Primeiro Ciclo)

Ao início do primeiro ciclo em que o *Gateway* é inicializado, além da inicialização das bibliotecas gerais, tenta conectar com a rede WiFi, armazena o endereço do *Gateway* e então é realiza um pedido de inserção para o servidor via WiFi. Caso seja recebido a resposta informando o sucesso na inserção, o *Gateway* se prepara para suas próximas operações. No caso de falha nas configurações e conexão com WiFi, o controlador notifica através da tela OLED, o problema encontrado. Ao receber resposta do servidor de inserção falha (significa que o *Gateway* não está cadastrado no servidor), o *Gateway* notifica do problema através da tela OLED, e depois de determinada intervalo, pede a inserção novamente.

### 3.2.2.2.3 Pedidos de Inserção de *Nodos*

Enquanto em operação, causado pela interrupção externa ou por estar em um horário de operação, ao receber uma requisição de inserção de *Nodo*, o pedido é enviado via WiFi ao servidor, em que é retornado se a inserção foi bem sucedida ou não, então reenvia a resposta ao *Nodo* novamente.

### 3.2.2.2.4 Recepção de Dados de Sensores

Durante o tempo de operação, o *Gateway* receberá dados dos *Nodos*, eles são armazenados em uma fila até o envio ao servidor. No caso de recepção de mensagens não destinadas ao *Gateway*, estas são simplesmente ignoradas.

### 3.2.2.2.5 Envio de Dados ao Servidor

O *Gateway* espera até que uma das condições sejam cumpridas, a fila de dados deve estar quase cheia, ou então se o tempo do último envio ultrapassou certa período (definido previamente), para que seja realizado o envio de dados ao servidor via WiFi. Se o envio for falho, a fila de dados é gerenciada para se manter dentro de seu limite de tamanho.

### 3.2.2.2.6 Proximos Ciclo de Operações

Finalizado seu tempo de operação, o *Gateway* calcula quanto o tempo até o início de seu próximo ciclo de operação e então entra em modo *Deep Sleep*. Ao inicio de um ciclo de operação o *Gateway* sai do modo *Deep Sleep*, e durante seu tempo de operação, aguarda as mensagens de *Nodos* e envia dados ao servidor, caso as condições descritas anteriormente tenham sido cumpridas.

## 3.2.3 Servidor (API)

Para que seja possível a comunicação entre servidor e *Gateway*, ou então servidor e *Front-end* do aplicativo desenvolvido, é necessário que haja uma interface que possibilite a troca de informações, esta interface é a API, onde através de requisições realizadas ao servidor e respostas geradas por ele a comunicação ocorre.

### 3.2.3.0.1 Aplicativo Web

Um aplicativo Web também foi criado neste trabalho, Figura 9, encontrado pelo link <<https://app.agriv.com.br/>>, sendo utilizado para dispor as informações geradas nos sensores (graficos 13 e 17 apresentados nas seções 4.1 e 4.3 respectivamente) além do gerenciamento dos mesmos (registrar, editar e remover equipamentos). A API apresenta suporte tanto para as operações da rede quanto para as operações do aplicativo.

### 3.2.3.0.2 Desenvolvimento

A API foi desenvolvida utilizando a linguagem de programação Javascript (JS), utilizando o interpretador Node.js para aplicações *server-side*. O Node.js executa seu

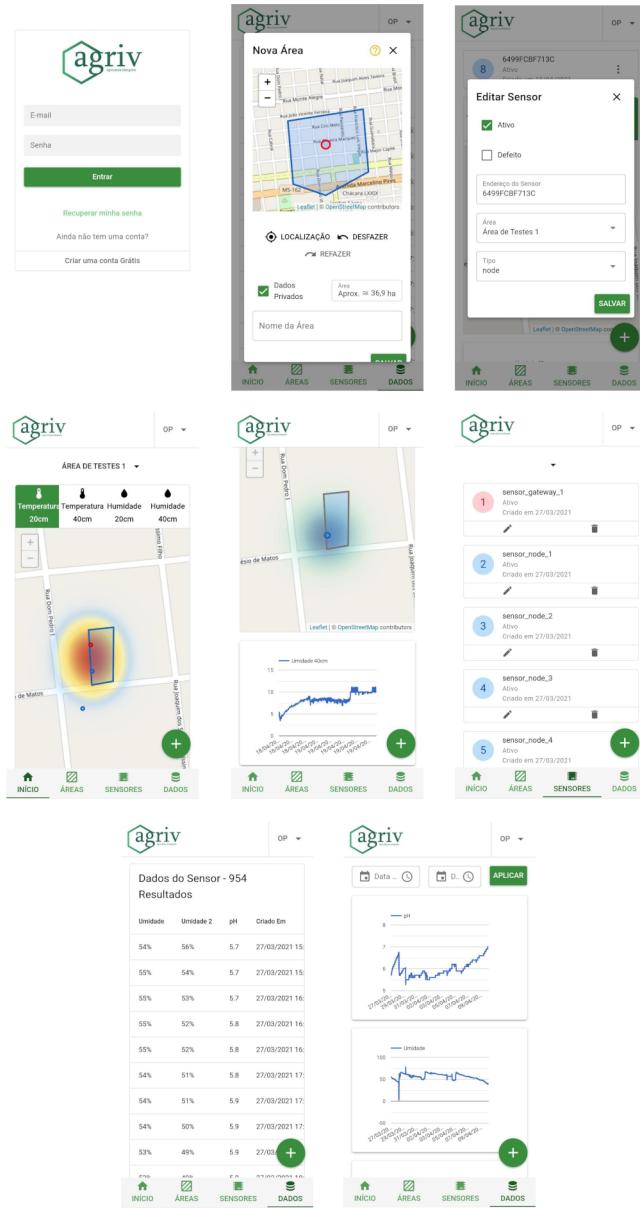


Figura 9 – Telas do aplicativo desenvolvido.

código em *single thread*, ou seja, apenas uma thread é responsável por executar o código JS da aplicação, exigindo menos recursos computacionais, dispensando a criação de uma nova thread toda vez em que uma requisição é recebida diferente de outras linguagens como PHP, Python e C# que suportam o modelo tradicional de tratamento de requisições. Na *thread única* do servidor (*Event Loop*), as requisições concorrentes são tratadas utilizando chamadas de E/S (entrada e saída) não-bloqueantes, proporcionando operações como por exemplo leitura do banco de dados e arquivos do sistema de maneira assíncrona, não bloqueando a thread e sendo diferente do modelo tradicional, onde a thread fica esperando com que as operações sejam concluídas para continuar a execução (Figura 10).

Aliado ao JS e ao Node.js, foi utilizado o Framework Express para proporcionar

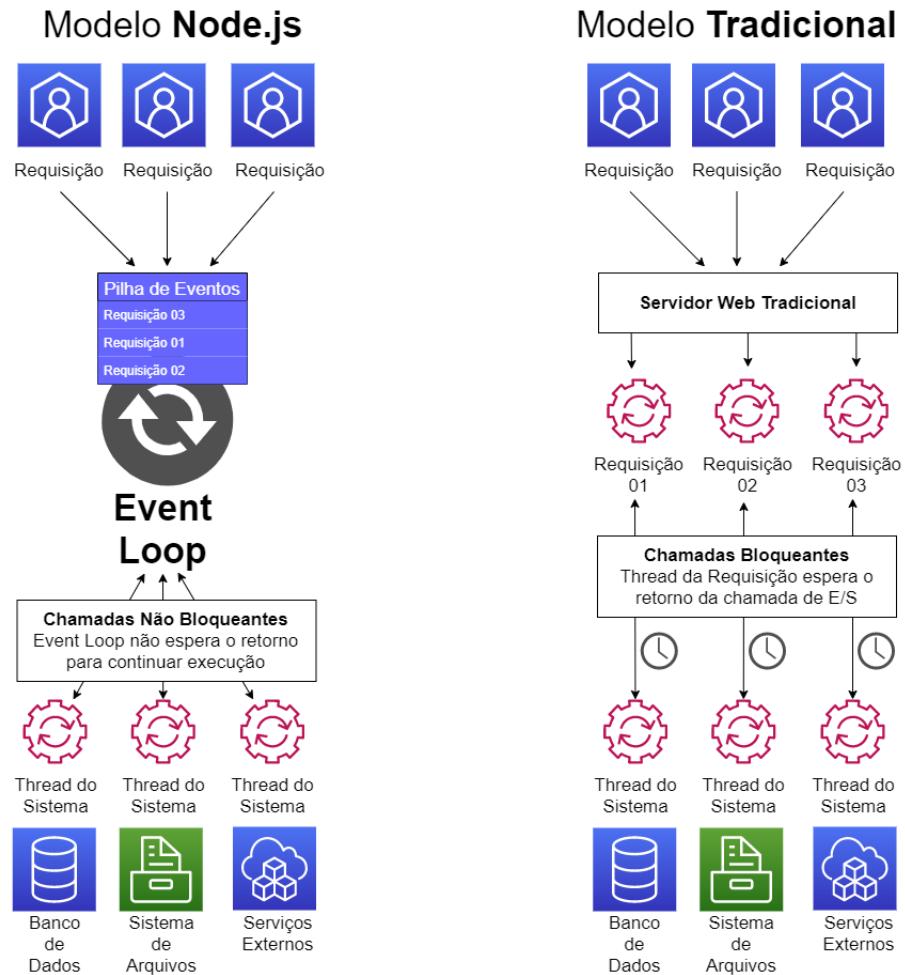


Figura 10 – Comparação entre o Node.js e o modelo tradicional em relação a recebimento de requisições do cliente e operações de E/S.

robustez e rapidez ao desenvolvimento. Com o Express, é possível se utilizar de um sistema de rotas completo, tratamento de exceções dentro da aplicação, permite a integração de vários outros pacotes para incorporar ao desenvolvimento, gerencia diferentes requisições HTTP para os mais diferentes caminhos de URL (rotas). Para banco de dados, foi utilizado PostgreSQL, um Sistema de Gerência de Banco de Dados Relacional (SGBDR), com intermédio do Framework Sequelize, ORM (Object-Relational Mapper) para Node.js.

Organizacionalmente a API pode ser expressa como a linguagem JS aplicada ao *server-side* com o auxílio do Node.js que por sua vez está utilizando o Framework Express que, com as facilidades que o ORM Sequelize trás para dentro do Javascript, é possível manipular as tabelas, colunas e linhas do banco de dados PostgreSQL.

### 3.2.3.1 Operações da Rede

A API apresenta *endpoints* para suportar as operações da rede e operações realizadas no aplicativo web. Com relação as operações da rede, segue a descrição de como o servidor opera na recepção da requisição para cada operação.

### 3.2.3.1.1 Registro de *Nodos* e *Gateways*

No aplicativo desenvolvido é possível realizar o cadastro de novos *Nodos* e *Gateways* informando seus endereços únicos (que podem ser vistos na tela OLED de qualquer equipamento ao ser ligado), além da área em que serão instalados, no caso do *Gateway*, é necessário informar os horários de operação que serão seguidos. No término do cadastro do equipamento, eles são listados ao usuário que os cadastrou como inativos, este *status* é modificado assim que o equipamento realiza seu pedido de inserção na rede.

### 3.2.3.1.2 Inserção de equipamentos na rede

Pedidos de inserção na rede podem ser recebidos, ao receber o pedido de inserção de um *Gateway*, é verificado se ele está cadastrado, caso esteja, o equipamento é marcado como ativo no aplicativo, a requisição é respondida com uma indicação de sucesso além dos horários de operação que seguirá. Na recepção de pedido de inserção de *Nodo* é verificado se este está cadastrado, caso esteja, é marcado como ativo no aplicativo e a requisição é respondida com uma indicação de sucesso.

### 3.2.3.1.3 Recepção de dados

Na recepção de requisições contendo os dados de leitura, são salvos os dados na tabela dos dados relacionando o *Nodo* que o enviou ao dado salvo, então a requisição é respondida com uma indicação de sucesso.

## 4 Testes e Resultados

Esta seção é destinada a descrever os testes realizados, assim como suas metodologias e resultados.

### 4.1 Teste de sensor de PH

O teste de sensor de PH foi conduzido com o objetivo de analisar o comportamento do sensor de PH em uso contínuo. O sensor de pH, bem como os sensores de umidade utilizados neste trabalho funcionam baseados na medição de resistência do solo.



Figura 11 – Medidor de pH, luminosidade e umidade do solo.

Foi montado um equipamento ligado a 3 sensores (Figura 12), dois sensores de umidade e um sensor de pH. Como os sensores de pH digitais disponíveis comercialmente são para leituras em soluções aquosas, os sensores 12.a e 12.b utilizados são provenientes de um sensor analógico de jardinagem (Figura 11). A cada 20 (vinte) minutos foram enviados os dados lidos dos sensores e enviados a um servidor, assim, na duração de 14 (quatorze) dias, foram colhidos os dados representados no gráfico 13, porém vale a nota do parágrafo seguinte quanto a validade destes dados.

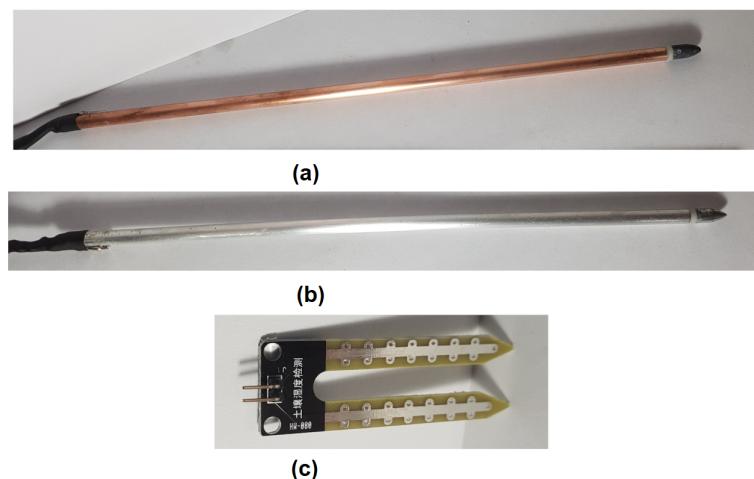


Figura 12 – a. Sensor de Umidade, b. Sensor de pH; c. Sensor de Umidade

O local em que o equipamento foi instalado foi um simples vaso de plantas doméstico, o que não expressa nenhuma validação com relação a variância dos dados no passar do tempo bem como a relação dos dados lidos com os que seriam obtidos em cenários reais, além disso, não foi encontrado documentação suficiente e nem realizados testes com amostras controle para validar os valores das leituras realizadas, porém um resultado que pode ser considerado deste teste é referente a durabilidade dos sensores com relação a um uso em períodos contínuos de tempo. No período do teste, foi observado considerável quantidade de oxidação das pontas de prova, enquanto não pode ser inferido se há ou não interferência na leitura de dados, porém esse fator interfere na utilização desses sensores em uma instalação do *Nodo* em um cenário real em longos períodos de tempo como proposto.

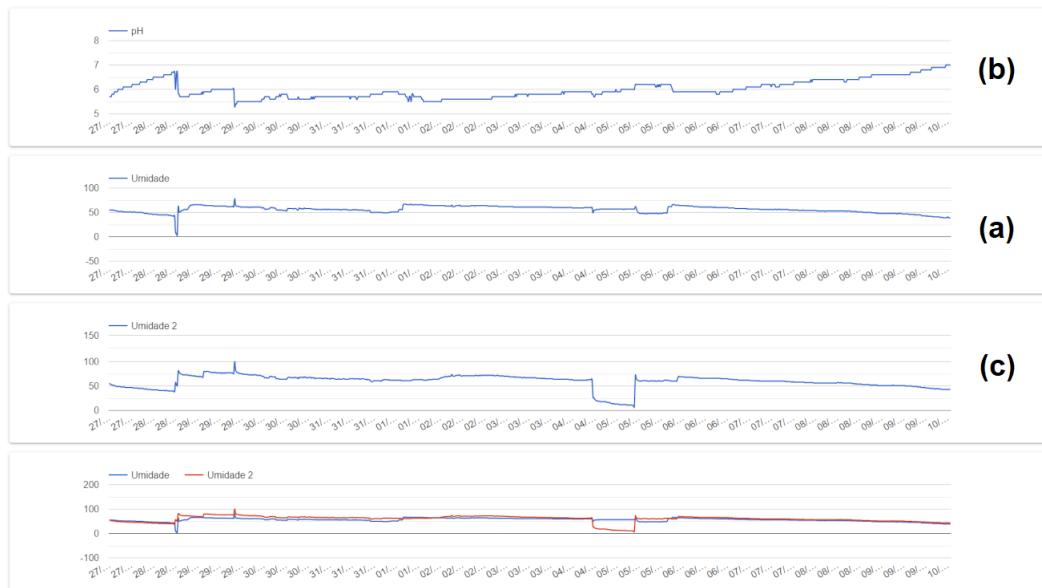


Figura 13 – Dados gerados no teste de sensores.

## 4.2 Teste de distância de comunicação

O teste de distância de comunicação teve como objetivo determinar a melhor antena para ser usada na transmissão de mensagens LORA nas condições previstas à proposta da rede.

Com relação a metodologia utilizada neste teste, foi utilizado 2 equipamentos (Figura 14), compostos de um controlador com LORA integrado e um módulo GPS, um deles envia sua posição via LORA, com o envio de uma mensagem com o tamanho médio as mensagens na rede proposta, mais ou menos 32 caracteres, e o outro ao receber, calcula a distância entre eles e o envia de volta. A uma altura de mais ou menos 1 (um) metro e 20 (vinte) cm (altura aproximada do protótipo desenvolvido) os equipamentos foram sendo distânciados e ao falharem em se comunicar, ou ter perda de informação na troca de

mensagens de forma constante, foi determinado seus limites aproximados de comunicação nessas circunstâncias.

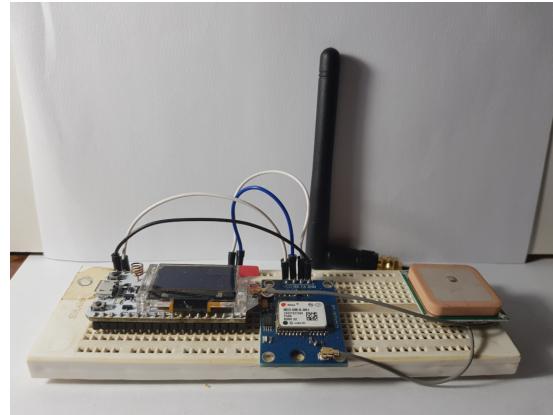


Figura 14 – Montagem para o teste de distância.

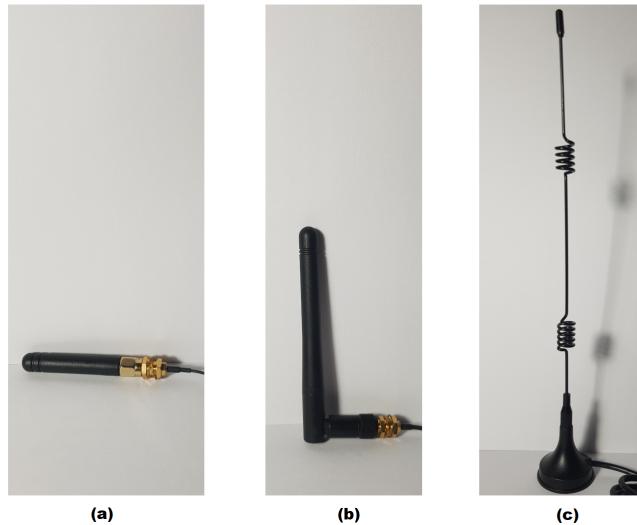


Figura 15 – Antenas testadas.

Foram testadas 3 (três) antenas diferentes, mostradas na Figura (15), os resultados do teste estão presentes na Tabela 7.

Antena	dbi	tamanho (cm)	Distância (m)
15.a	3	4,8	350 (aprox.)
15.b	3	8	760 (aprox.)
15.c	7	23	300 (aprox.)

Tabela 7 – Distâncias do teste de comunicação

Com relação aos resultados, há diversos fatores que podem explicar os resultados obtidos, que diferem da distância esperada mostrada na tabela 1. Além das especificações da antena, a alimentação e as condições ambientais apresentam grande influência na

distância máxima em que um sinal enviado pode alcançar. Segundo o datasheet do ESP32 com a alimentação adequada da placa e mediante aos periféricos ligados a placa, o limite de estabelecido é de 19 dB com uma faixa de erro de 1 dB, porém como informado anteriormente a alimentação da placa não é ideal, como explicado na seção 3.2, além disto há uma carga na placa ao alimentar o módulo NEO 6M V2 de GPS, esses fatores podem ser relacionados a relativa baixa distância de comunicação obtida e a falta de eficiência na utilização de antenas com um ganho alto (9 dB neste caso).

Na altura em que as antenas foram mantidas, é possível que tivessem perdas na transmissão provenientes do ambiente em que o teste foi realizado, inclusive, foi verificado que o simples aumento de altura para 2,5 metros foi possível obter um aumento na distância da comunicação. Outro fator que pode ter impactado nos resultados obtidos é a não utilização do protocolo LoRaWan, que divergem no empacotamento e gerenciamento das mensagens à rede desenvolvida.

Apesar da configuração adversa de alimentação e instalação da antena, foram obtidos distâncias relativamente grandes se comparado as outras tecnologias de comunicação que foram consideradas para a rede desenvolvida, o que ainda justifica seu uso em versões futuras salvas as correções nas configurações de alimentação da placa e seus periféricos.

### 4.3 Teste de campo do protótipo

Foi realizado um teste em campo do protótipo produzido, quanto a metodologia, o teste foi realizado em um quintal doméstico na cidade de Dourados, Mato Grosso do Sul, foi instalado um conjunto mínimo de operação (um *Gateway* e um *Nodo*), o teste teve duração de 1 (um) dia.

Algumas modificações foram feitas para este teste, primeiramente, o modo *Deep Sleep* foi desabilitado para permitir um maior número de leituras no período do teste, que foram realizados em um intervalo de 3 (três) em 3 (três) minutos. Outra modificação realizada foi a remoção do sensor de pH, pois como relatado no teste do sensor de pH (Seção 4.1), não foi possível determinar a validade dos dados que seriam obtidos em sua leitura, diferente dos sensores de temperatura que apresentam uma biblioteca do fabricante, apresentando uma confiabilidade maior ao relacionar os dados obtidos aos dados reais, os sensores de umidade utilizados (12.c) apesar de genéricos, também apresentam certa confiabilidade devido aos reportes e documentos no uso do sensor em diferentes projetos amadores por pessoas distintas.

Como resultado, apesar da instalação dos equipamentos não ter sido em um solo agrícola, foi possível confirmar a variância dos atributos medidos no decorrer do período do teste. A recepção dos dados e funcionamento da rede foram bem sucedidos. Com a instalação dos equipamentos foi possível verificar mudanças e melhorias que podem ser

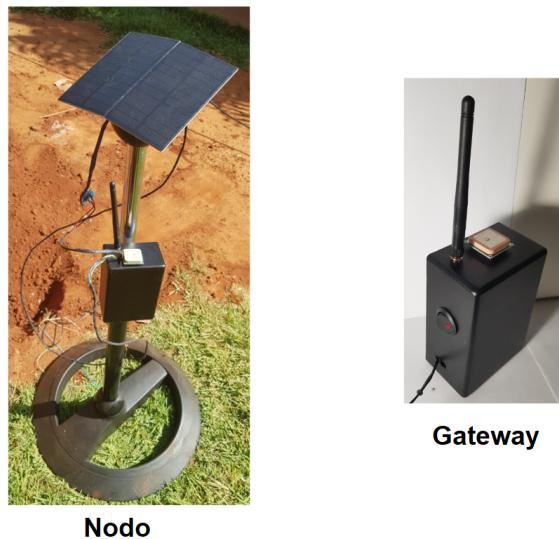


Figura 16 – Equipamentos instalados.

feitas, além da sua aplicabilidade em um cenário real, que serão discutidas na seção 5.

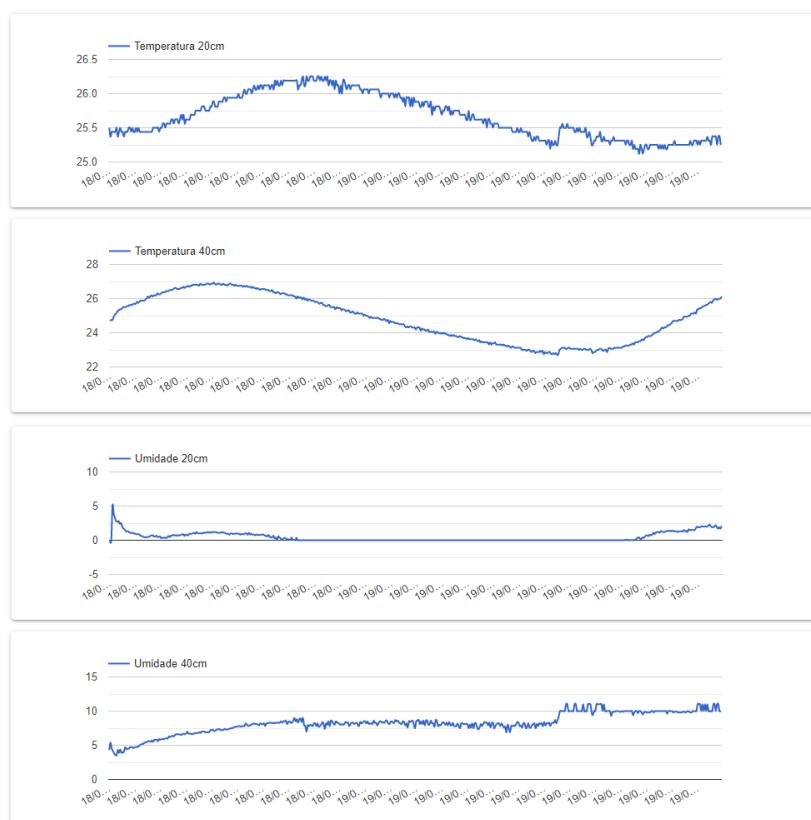


Figura 17 – Dados gerados no teste de campo do protótipo.

## 5 Conclusão e Trabalhos Futuros

A partir dos testes realizados, é possível verificar que a rede proposta consegue gerar dados de maneira constante, que podem ser utilizados para um melhor controle dos atributos de solo. Com a implementação realizada é possível agregar qualquer tipo de sensor eletrônico a ele, a confiabilidade dos dados, depende da própria confiabilidade dos sensores instalados.

Considerando o protótipo produzido e seus desafios de desenvolvimento, a implementação desta rede no cenário real, em grande escala, só será possível após a melhora de certas funcionalidades e resolução dos problemas identificados.

A utilização do WiFi para comunicação do *Gateway* com o servidor impossibilita sua instalação dentro da área de leitura, limitando o raio de operação da rede atual, por isso a implementação do GSM seria benéfica na rede, então para a versão futura, a resolução deste problema, ou então a utilização de uma outra tecnologia de comunicação é essencial para ser aplicável no cenário real. Outro fator limitante do raio de operação da rede é a comunicação *Single Hop* entre o *Nodo* e o *Gateway*, para uma instalação em grande escala de equipamentos a melhora da rede para suportar *Multi Hop* é de extrema importância na rede futura.

Além da alimentação não ideal precisar ser corrigida, nesta versão da rede não foi implementado funcionalidades de segurança, tais como criptografia de mensagens LoRa, ou então autenticação das requisições HTTP, que devem ser feitas para a proxima versão. Dependendo da produção e dos maquinários utilizados é preciso fazer uma melhora de *design* da parte aérea do equipamento. Apesar de todas as correções e melhorias que precisam ser feitas, a obtenção de dados através de uma RSSF, pode ser aplicável em uma produção agrícola, tendo suas virtudes como meio de aplicação de AP.

## Referências

- AKYILDIZ, I. et al. Wireless sensor networks: a survey. *Computer Networks*, v. 38, p. 393–422, 2002. Citado na página 14.
- BABUSIAK, B.; SMONDRK, M.; BORIK, S. Design of ultra-low-energy temperature and humidity sensor based on nrf24 wireless technology. *TSP*, 2019. Citado na página 19.
- BERNARDI, A. C. de C.; INAMASU, R. Y. Adoção da agricultura de precisão no brasil. *Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar*, Brasília, p. 559–577, 2014. Citado na página 8.
- BERNARDI, R. Y. I. Alberto C. de C. Adoção da agricultura de precisão no brasil. *Inovação em agricultura de precisão*, São Carlos, SP, p. 559–577, 2013. Citado na página 18.
- CHRIST, P. et al. Performance analysis of the nrf24l01 ultra-low-power transceiver in a multi-transmitter and multi-receiver scenario. *IEEE SENSORS*, 2011. Citado na página 16.
- EITELWEIN, M. T. et al. Plataforma multisensores de solo: proposta e testes iniciais. *Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2016*, 2016. Citado na página 18.
- EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2. ed. [S.l.]: Rio de Janeiro, 2006. Citado na página 10.
- EMBRAPA. *Pesquisa mostra o retrato da agricultura digital brasileira*. [S.l.], 2020. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/54770717/pesquisa-mostra-o-retrato-da-agricultura-digital-brasileira>>. Acesso em: 09 dez. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 8 e 12.
- FAQUIN, V. *Nutrição mineral de plantas*. 2005. Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” (Especialização) a Distância: Solos e Meio Ambiente. Citado na página 10.
- FINKLER, R. et al. *Ciências do Solo e Fertilidade*. 1. ed. Porto Alegre: SAGAH EDUCAÇÃO, 2018. Citado na página 10.
- FOROUZAN, B. A. *Comunicação de dados e redes de computadores*. 4. ed. [S.l.]: AMGH Editora, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 14.
- GEBBERS, R.; ADAMCHUK, V. I. Precision agriculture and food security. *SCIENCE*, v. 327, p. 828–831, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 8 e 12.
- GSMA. *3GPP Low Power Wide Area Technologies*. [S.l.], 2016. Disponível em: <<https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2016/10/3GPP-Low-Power-Wide-Area-Technologies-GSMA-White-Paper.pdf>>. Acesso em: 09 dez. 2020. Citado na página 17.

- IZNAGA, A. C. et al. Vis/nir spectroscopic measurement of selected soil fertility parameters of cuban agricultural cambisols. *Biosystems Engineering*, v. 125, p. 105–121, 2014. Citado na página 18.
- LEINZ, V.; AMARAL, S. *Geologia Geral*. 8. ed. [S.l.]: Ed Nacional, 1980. Citado na página 10.
- LORA ALLIANCE. *LoRaWAN™ 1.0.3 Specification*. 2018. The Things Network, LoRaWan Architecture. Disponível em: <<https://lora-alliance.org/sites/default/files/2018-07/lorawan1.0.3.pdf>>. Acesso em: 09 dez. 2020. Citado na página 16.
- LORAWAN Architecture. 2020. The Things Network, LoRaWan Architecture. Disponível em: <<https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/architecture.html>>. Acesso em: 09 dez. 2020. Citado na página 14.
- MCBRATNEY, A. B.; SANTOS, M. L. M.; MINASNY, B. On digital soil mapping. *Geoderma*, v. 117, p. 3–52, 2003. Citado na página 18.
- MENDES, L. G. *GUIA PARA INICIANTES SOBRE AGRICULTURA DE PRECISÃO (AP)*. [S.l.], 2018. Disponível em: <<https://blog.aegro.com.br/agricultura-de-precisao/>>. Acesso em: 09 dez. 2020. Citado na página 12.
- MOLIN, J. P. *Agricultura de Precisão: o gerenciamento da variabilidade*. Piracicaba - SP: [s.n.], 2001. 83 p. Citado na página 18.
- MOLIN, J. P. *Tendências da agricultura de precisão no Brasil*. ESALQ, Piracicaba - SP: [s.n.], 2004. Citado na página 18.
- MOLIN, J. P. *Agricultura de Precisão: números do mercado brasileiro*. 2017. O LAP, Boletins técnicos. Disponível em: <<https://www.agriculturadeprecisao.org.br/boletim-tecnico-03-agricultura-de-precisao-numeros-do-mercado-brasileiro/>>. Acesso em: 09 dez. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 12.
- OLIVEIRA, E. A. de. *ANÁLISE DO DESEMPENHO DE REDES DE SENsoRES SEM FIO PARA MONITORAMENTO DE PLANTAÇÕES IRRIGADAS*. 2013. Citado na página 19.
- POPP, J. H. *Geologia Geral*. 7. ed. [S.l.]: LTC, 2017. Citado 4 vezes nas páginas 3, 8, 10 e 11.
- PRESSMAN, R. S. *Engenharia de Software*. 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011. Citado na página 20.
- RABER, A. et al. Aplicação de redes de sensores sem fio (rssf) na agricultura. *EATI*, v. 3, p. 261–267, 2013. Citado na página 19.
- REHMAN, A. ur et al. Security and privacy issues in iot. *International Journal of Communication Networks and Information Security*, v. 8, n. 3, p. 147–157, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 4 e 17.
- RESCK, D. V. S.; PEREIRA, J.; SILVA, J. E. da. Dinamica da materia organica na regiao dos cerrados. *Planaltina: EMBRAPA-CPAC*, v. 36, 1991. Citado na página 12.

- RUIZ-ALTISENT, M. et al. Sensors for product characterization and quality of specialty crops - a review. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 74, p. 176–194, 2010. Citado na página 19.
- SANTOS, H. G. dos et al. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS)*. [S.l.], 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos/sibcs>>. Acesso em: 25 abr. 2021. Citado na página 11.
- SARAIVA, A. M.; CUGNASCA, C. E.; HIRAKAWA, A. R. Aplicação em taxa variável de fertilizantes e sementes. *Agricultura de Precisão*, Viçosa, UFV, p. 109–145, 2000. Citado na página 18.
- SARANGAPANI, J. *Wireless Ad Hoc and Sensor Networks: Management, Performance, and Applications*. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 14.
- SOSINSKY, B. *Networking Bible*. 1. ed. Indianapolis: Wiley Publishing, 2009. Citado na página 13.
- SOUZA, E. de A.; PAZ, E. F. C. and Vital Pedro da S. Distribuição da umidade num latossolo irrigado por gotejamento superficial e subsuperficial e enterrado, com uso de tdr. *Ciênc. agrotec.*, v. 31, p. 1161–1166, 2007. Citado na página 12.
- SRINIVASAN, A. *Handbook of Precision Agriculture: Principles and Applications*. 1. ed. Binghamton: CRC Press, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 8 e 12.
- TERUEL, B. et al. Desempenho de rede de sensores sem fio em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, v. 16, p. 1374–1380, 2012. Citado na página 19.
- VERONA, A. B. *SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE REDES DE SENsoRES SEM FIO APlicadas à VITICULTURA*. 2010. Citado na página 19.