

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DANIEL BUENO DOS SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTAÇÃO DE SENSORIAMENTO COM
CONEXÃO LORA PONTO A PONTO E RECARREGAMENTO DE BATERIAS POR
PLACAS SOLARES PARA APLICAÇÕES NA AGRICULTURA DE PRECISÃO**

PONTA GROSSA

2022

DANIEL BUENO DOS SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTAÇÃO DE SENSORIAMENTO COM
CONEXÃO LORA PONTO A PONTO E RECARREGAMENTO DE BATERIAS POR
PLACAS SOLARES PARA APLICAÇÕES NA AGRICULTURA DE PRECISÃO**

**Development of a sensing station with point-to-point lora connection and
battery charging by solar plates for applications in precision agriculture**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Josmar Ivanqui

PONTA GROSSA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

DANIEL BUENO DOS SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTAÇÃO DE SENSORIAMENTO COM
CONEXÃO LORA PONTO A PONTO E RECARREGAMENTO DE BATERIAS POR
PLACAS SOLARES PARA APLICAÇÕES NA AGRICULTURA DE PRECISÃO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 27/junho/2022

Josmar Ivanqui

Doutorado

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Jeferson José Gomes

Mestrado

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Frederic Conrad Janzen

Doutorado

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PONTA GROSSA

2022

Dedico este trabalho, primeiramente,
a Deus por me conceder intelecto e
capacidade para desenvolver este
projeto e aos meus pais por todo
esforço despendido para realização
desse sonho.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi resultado do esforço do autor, como também do suporte prestado por diversas pessoas, as quais devo agradecer.

Agradeço a Deus, primeiramente, pois sem Ele não seria capaz de desenvolver as atividades necessárias para elaboração deste projeto.

Aos meus pais, minha eterna gratidão, não somente pela força e encorajamento nos momentos difíceis, mas também por todas as repreensões e conselhos, que me impulsionaram a chegar a esse momento.

Ao meu orientador, professor Dr. Josmar Ivanqui, que demonstrou os modos corretos de expressar todo o conhecimento adquirido e pela confiança depositada.

Aos professores e a todas as pessoas que de algum modo, transmitiram-me conhecimento e que dessa maneira, auxiliaram no meu processo de formação acadêmica e profissional.

Embora não seja possível mencionar todas as pessoas que fizeram parte desta trajetória, expresso o sentimento de gratidão a todos que de alguma forma contribuíram para que fosse possível a realização deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho apresenta a implementação de uma estação de sensoriamento alimentada por baterias recarregáveis via energia fotovoltaica e equipada com uma conexão LoRa® ponto a ponto para a comunicação de dados para outro dispositivo a distância. Foi realizada uma revisão bibliográfica dos principais conceitos utilizados neste trabalho, sendo eles a agricultura de precisão, o sensoriamento agrícola, conexão LoRa® ponto a ponto e o carregamento de baterias por energia solar. Através da implementação prática desenvolvida é possível obter informações sobre o ambiente monitorado em um local remoto, sendo a aplicação mais viável na agricultura de precisão, podendo auxiliar na gestão do processo produtivo agrícola, aumentando lucro e diminuindo desperdícios.

Palavras-chave: LoRa; Comunicação; Sensoriamento.

ABSTRACT

This work presents the implementation of a sensing station powered by rechargeable batteries via photovoltaic energy and equipped with a point-to-point LoRa® connection for data communication to another device at a distance. A literature review of the main concepts used in this work was carried out, namely precision agriculture, agricultural sensing, point-to-point LoRa® connection and battery charging by solar energy. Through the practical implementation developed, it is possible to obtain information about the monitored environment in a remote location, being the most viable application in precision agriculture, being able to assist in the management of the agricultural production process, increasing profit and reducing waste.

Keywords: LoRa; Data communication; Sensing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – ESP32 LilyGO	24
Figura 2 – Heltec WiFi	25
Figura 3 – Sensor de luz - TSL2561	26
Figura 4 – Sensor Higrômetro	26
Figura 5 – Sensor de Umidade e Temperatura - DHT11	27
Figura 6 – Bateria - 18650	27
Figura 7 – Módulo de carregamento de baterias - CN3065	28
Figura 8 – Placas solares - DreamLight JZ	29
Figura 9 – Esquema elétrico	32
Figura 10 – Estação de Sensoriamento	33
Figura 11 – Estrutura da estação de sensoriamento	33
Figura 12 – Sensores instalados	33
Figura 13 – Estação receptora de sinal	34
Figura 14 – Estação aguardando comunicação	35
Figura 15 – Comunicação	35
Figura 16 – Monitor serial	36
Figura 17 – Medição de distância.	37
Figura 18 – Localização da estação receptora de dados.	37
Figura 19 – Sinais recebidos na Estação.	37
Figura 20 – Equipamentos utilizados.	39
Figura 21 – Forma da onda de entrada.	40
Figura 22 – Pirômetro.	42
Fluxograma 1 – Fluxograma da estação de transmissão.	30
Fluxograma 2 – Fluxograma da estação receptora.	30
Gráfico 1 – Distância x Intensidade de sinal.	39
Gráfico 2 – Potência <i>versus</i> Luminosidade	41
Gráfico 3 – Temperatura: pirômetro e estação <i>versus</i> umidade da estação.	42
Quadro 1 – Valores de distância <i>versus</i> intensidade do sinal.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de luminosidade, corrente e tensão medidos e potência calculada.	40
---------------------------------------------------------------------------------------------	----

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABREVIATURAS

AP Agricultura de Precisão

SIGLAS

A/D Conversores analógico-digital
CPU Unidade central de processamento, do Inglês *Central Processing Unit*
I²C Interface de dois fio, do Inglês *Two Wire Interface*
IoT Internet das coisas, do Inglês *Internet of Things*
LoRa® Longo Alcance, do Inglês *Long Range*
NTC Coeficiente de temperatura negativa, do Inglês *Negative Temperature Co-efficient*
PIB Produto Interno Bruto
RSSI Indicador de intensidade do sinal recebido, do Inglês *Received Signal Strength Indication*
SCL Pulso serial, do Inglês *Serial Clock*
SDA Dados serial, do Inglês *Serial Data*
TIC Tecnologias da informação e comunicação
USB Porta universal, do Inglês *Universal Serial Bus*
UTFPR Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

LETRAS LATINAS

km

Quilômetro

[km]

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	ESTADO DA ARTE	14
1.2	O PROBLEMA	15
1.3	HIPÓTESE	15
1.4	OBJETIVOS	15
1.4.1	Objetivo Geral	15
1.4.2	Objetivos Específicos	16
1.5	JUSTIFICATIVA	16
2	REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.2	AGRICULTURA DE PRECISÃO	17
2.3	SENSORIAMENTO AGRÍCOLA	18
2.4	CONEXÃO LORA PONTO A PONTO	19
2.5	CARREGAMENTO DE BATERIAS POR ENERGIA FOTOVOLTAICA	20
2.6	PROTOCOLO I2C	21
3	MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1	DEFINIÇÃO DE REQUISITOS	23
3.2	DEFINIÇÃO E LEVANTAMENTO DE MATERIAIS	23
3.2.1	Microcontrolador	23
3.2.2	Módulo de WiFi	24
3.2.3	Sensor de luminosidade	25
3.2.4	Sensor de umidade do solo - Higrômetro	25
3.2.5	Sensor de umidade do ar e temperatura - DHT11	26
3.2.6	Bateria	27
3.2.7	Módulo de carregamento de baterias por energia solar - CN3065	28
3.2.8	Placas solares - DreamLight	28
3.3	PROGRAMAÇÃO DOS DISPOSITIVOS	29
3.4	INTEGRAÇÃO DOS COMPONENTES	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1	ENSAIOS E RESULTADOS	35
4.2	TESTES	36
4.2.1	Distância	36
4.2.2	Geração e consumo de energia	38
4.2.3	Temperatura e umidade	41
5	CONCLUSÕES	44
5.1	CONCLUSÃO	44
5.2	IMPLEMENTAÇÕES FUTURAS	44
	REFERÊNCIAS	46
	APÊNDICE A – CÓDIGOS EMBARCADO NOS ESP32	50
A.1	CÓDIGO EMISSOR	51
A.2	CÓDIGO RECEPTOR	55
	ANEXO A – DADOS TÉCNICOS	59

A.1	HELTEC ESP32:	60
A.2	ESP32 TTGO LORA 32:	60
A.3	SENSOR DE LUMINOSIDADE TSL2561	61
A.4	HIGRÔMETRO	61
A.5	DHT11	61
A.6	MÓDULO DE CARREGAMENTO DE BATERIAS CN3065	62

1 INTRODUÇÃO

Segundo a (EMBRAPA, 2020), a agricultura é uma das bases da economia brasileira, sendo a principal fonte de empregos, riqueza, alimentos, fibras e bioenergia no território nacional, contribuindo para o desenvolvimento do Produto Interno Bruto (PIB) nacional e continuará sendo, nos próximos anos, a principal fonte econômica com papel estratégico para o Brasil. Portanto, a pesquisa no setor agropecuário será a base fundamental na evolução deste importante setor, buscando ofertar tecnologias para melhorar os sistemas agrícolas. Visando atender à crescente demanda por alimentos de qualidade e com menor uso de insumos químicos, tendo em vista a preservação e manutenção dos recursos naturais.

Como a demanda por alimentos cresce a cada ano devido o aumento da população mundial, deve-se ter políticas de incentivo ao aprimoramento dos métodos de produção agrícola para produzir mais com menos esforço, isso só é alcançado aplicando tecnologias que modernizem e otimizem os processos agrícolas. Uma das ferramentas que busca implementar a tecnologia da informação a esses processos é a Agricultura de Precisão (AP). A AP utiliza de informações precisas para realizar a tomada de decisão, gerindo um campo produtivo metro a metro, conhecendo as diferentes propriedades de cada local (ROZA, 2000).

Para o sucesso da AP é necessário fazer a análise dos dados gerados a partir de sensores para definir onde e como serão aplicados os insumos agrícolas, analisando a quantidade necessária para cada tipo de solo, levando em consideração dados como temperatura, umidade e luminosidade (NUNES, 2010).

Existem pontos considerados críticos ao se implementar a AP, sendo eles: viabilidade econômica, dificuldade na obtenção de energia para operação dos equipamentos e o modo de comunicação de dispositivos a longas distâncias. Isso acaba abrindo portas para a pesquisa e desenvolvimento de sistemas mais sofisticados e que se apliquem à realidade do campo, muitas das vezes utilizando tecnologias de comunicação e métodos alternativos para contornar essas dificuldades (RESENDE *et al.*, 2010).

A exemplo disso pode-se, por exemplo, utilizar conexões de comunicações de longa distância com baixo consumo de energia, geração de energia em campo para alimentação dos sistemas e há outras diversas opções que possibilitem a implementação da AP.

Embora a tecnologia seja muito importante no desenvolvimento da agricultura, um dos pontos apontados por especialistas é que com o avanço da agricultura, muitas das vezes ocorre o desmatamento de florestas e a degradação do meio ambiente através da utilização de combustíveis fósseis para geração de energia no meio agrícola. Essa questão está sendo tratada com o desenvolvimento de novas tecnologias com as quais é possível minimizar ou eliminar os efeitos causados ao meio ambiente. Um dos modos mais eficientes para geração de energia é a utilização de um recurso abundante e inesgotável, a luz solar para gerar energia (ANDRADE, 2020).

1.1 ESTADO DA ARTE

O surgimento da *internet* juntamente com as Tecnologias da informação e comunicação (TIC) proporcionaram grandes avanços em diversas áreas da sociedade. Não foi diferente na agricultura, onde cada dia que passa vem sendo impulsionados por novos métodos utilizando tecnologias para potencializar os resultados e gerir a produção eficientemente.

(MENDES; BUAINAIN; FASIABEN, 2014) descrevem que as TIC promovem grandes transformações nos meios de produção, resultando no desenvolvimento da agricultura através da troca de informações. Esse processo permite aos agricultores aprimorarem seus métodos produtivos, bem como gerir os vários processos realizados analisando os dados obtidos da sua plantação.

Um ponto de observação é o custo para instalação de sistemas de sensores na agricultura brasileira. Atualmente a maioria dos equipamentos são importados e o custo de instalação e manutenção é alto, dificultando a implementação em massa. O valor tende a diminuir com a transferência de tecnologia e nacionalização da produção desses equipamentos (MOLIN, 2009).

Atualmente, existem várias tecnologias que possibilitam a implementação de comunicação de dados na agricultura. (ALMEIDA; TEIXEIRA, 2017) realizou um comparativo entre as soluções mais evidentes, apresentou alguns dispositivos que utilizam o LoRa® como meio de comunicação e apresentou uma aplicação, em , utilizando estações de rádio base, *modems* LoRa mDot, sensores BME280 da marca Multitech.

O desempenho do LoRa® também vem sendo testado em diversas situações, como forma de atestar a sua aplicabilidade para AP. Oliveira (2021) realizou uma aná-

lise sobre o desempenho dessa tecnologia para aplicações em AP, testando diversas configurações para dispositivos que utilizam essa tecnologia. Durante os testes (OLIVEIRA, 2021) realizou a comunicação de dispositivos com o *gateway* observando a variação do valor da intensidade do sinal e identificou alguns fatores que podem influenciar no alcance de comunicação, dentre eles, os cabos de alta tensão que estão no percurso do emissor para o receptor, que causam atenuação no sinal.

1.2 O PROBLEMA

A dificuldade em se implementar sistemas de AP parte, muita das vezes, em obter e manter a alimentação elétrica para dispositivos de campo e realizar a comunicação a longas distâncias. Os dispositivos de AP tornam-se caros devido a falta de pesquisa para desenvolvimento de tecnologias de baixo custo.

1.3 HIPÓTESE

Este trabalho apresenta a implementação de uma estação de sensoriamento para monitorar temperatura, luminosidade, umidade do solo e do ar alimentada por bateria recarregável por placas solares, e ainda equipadas com uma conexão de Longo Alcance, do Inglês *Long Range* (LoRa®)¹ ponto a ponto para enviar dados a um *gateway* de leitura de dados.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma estação de sensoriamento para obtenção de dados (temperatura, luminosidade, umidade do solo e do ar) alimentada por bateria recarregável via energia fotovoltaica e retransmissão de dados via rádio LoRa® para visualização em local remoto.

¹ Semtech é proprietária desta tecnologia.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Apresentar conceitos necessários para o desenvolvimento;
- Definição dos requisitos de projeto;
- Definição e apresentação dos materiais necessários;
- Integração dos componentes utilizados;
- Programação dos microcontroladores ESP32's;
- Realizar comunicação entre dispositivos;
- Testar alcance do sinal entre transmissor e receptores e
- Medir os parâmetros elétricos de consumo e geração de energia.

1.5 JUSTIFICATIVA

Observando-se a grande dificuldade de acesso a tecnologias que possibilitem a implementação de técnicas de AP para monitoramento de solos e ambientes, este projeto com objetivo de propor e analisar tecnologias existentes para construção de um equipamento que obtém e disponibiliza valores de temperatura, umidade e luminosidade lidos remotamente para um usuário a distância.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

Será apresentado os principais conceitos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho, explanando sobre agricultura de precisão, sensoriamento agrícola, rádio LoRa® e carregamento de baterias por placas solares.

2.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO

Desde os primórdios do processo de produção agrícola, os agricultores já sabiam reconhecer e classificar as áreas cultivadas através das características físico-químicas e biológicas do solo. Essa classificação, muitas das vezes, permitia ao agricultor tratar as áreas conforme as características do solo e dessa forma, uniformizar a sua produção agrícola (FRAISSE; FAORO, 1998).

O conhecimento nas técnicas agrícolas acumulados durante anos permitiram a sobrevivência humana ao longo da história, sendo repassado de pais a filhos, garantindo a produção de alimento e a subsistência do grupo. As técnicas para uma produção agrícola mais eficiente foram sendo acumuladas ao longo dos anos visando o aprimoramento da produção.

As bases da AP foram lançadas antes da Revolução Industrial, onde os produtores visando aumentar o rendimento do plantio realizaram o estudo da localização, fertilidade do solo e outros fatores antes do plantio. Já a agricultura de precisão moderna começou a ser implementada na década de 80, na Europa e nos EUA, através do desenvolvimento da eletrônica e computação, com a produção de computadores, sensores e *softwares* que viabilizaram a sua implementação (LAMPARELLI, 2022).

A AP é um conjunto de tecnologias que promovem melhorias na gestão dos sistemas de produção com base no reconhecimento de que o “potencial de resposta” das lavouras pode variar consideravelmente, mesmo em pequenas distâncias, da ordem de poucos metros (BRAMLEY, 2009).

Nesse contexto, (BRAMLEY) demonstra a variabilidade que um sistema de produção agrícola pode apresentar, sendo o processo produtivo descontínuo e consequentemente não eficiente. Porém com o surgimento de tecnologias aplicadas ao ramo

agropecuário é possível obter dados importantes para aumentar e melhorar a produção de forma satisfatória, aplicando estratégias de manejo da cultura no momento e lugar ideal.

(MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015) destaca que quanto mais dados disponíveis ou coletados, mais consistente é a informação gerada e mais preciso o diagnóstico referente à variabilidade existente nas lavouras, para isso é necessário utilizar recursos para aumentar a resolução em todo o processo, desde o diagnóstico, com mais dados, até as intervenções, com auxílio de automação. A aquisição de dados é um ponto importante para se ter mais assertividade e eficiência, evidenciando que quanto mais dados, mais preciso será a tomada de decisão para gestão do processo produtivo.

(MOLIN; AMARAL; COLAÇO) também afirma que conhecendo o potencial de resposta, obtêm-se várias possibilidades de gerenciamento, aumentando a lucratividade econômica por meio da racionalização de uso dos insumos devido o conhecimento da variabilidade espacial do ambiente, demonstrando assim que os benefícios que a agricultura de precisão proporciona devido sua aplicação.

No Brasil há obstáculos para implantação da AP, dentre eles pode-se citar: custo relativamente elevado de equipamentos, carência de pesquisas para aplicação nos sistemas de produção, escassez de mão de obra de qualidade para manutenção e operação de máquinas e equipamentos (PIRES *et al.*, 2004).

2.3 SENSORIAMENTO AGRÍCOLA

Sensores são dispositivos que ao receberem um estímulo físico ou químico, produzem um sinal em outra grandeza física capaz de ser medida mais facilmente, sendo possível monitorar a grandeza principal de forma indireta (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2019).

A finalidade de um sensor é responder a um estímulo e convertê-lo em um sinal elétrico compatível com os circuitos a ele acoplados. Já um transdutor é um dispositivo que, podendo conter um elemento sensor, converte uma forma de energia em outra forma de energia, mais comumente a elétrica, sendo assim, o sinal de saída pode ser lido sob forma de tensão, corrente ou resistência (MAZZAROPPI, 2007).

O desenvolvimento da AP passa pela implementação de sensores no campo para levantamento de dados, tornando isso um fator determinante para o sucesso de

seu uso. Gerando dados de forma rápida e facilitada, os sensores podem ser aplicados em locais de difícil acesso ou com condições ruins para trabalho humano. O uso de sensoriamento agrícola tem diversas aplicações, sendo a principal: o fornecimento de dados sobre qualidade do solo e estado hídrico temporal do ambiente para tomada de decisão na gestão de insumos agrícolas (SCHIESSL, 2018).

Sensores para aplicações agrícolas, denominados proximais são dispositivos desenvolvidos para realizar a obtenção de dados através do contato direto, podendo ser utilizados acoplados a máquinas agrícolas ou colocados manualmente. Atualmente, a coleta de dados de solos e de plantas são aplicações mais utilizadas para esses tipos de sensores. (PUSCH; MACHADO; AMARAL, 2019).

O sensoriamento de áreas agrícolas permite que se tenha informações específicas sobre a variável monitorada, tornando o processo de tomada de decisão simplificado, pois a quantidade de dados gerados permite a realização de uma análise para escolha da melhor forma de atuação no ambiente.

2.4 CONEXÃO LORA PONTO A PONTO

LoRa® é uma tecnologia de rádio frequência que permite comunicação a longas distâncias com consumo mínimo de energia, portanto essa tecnologia é muito utilizada em aplicações de Internet das coisas, do Inglês *Internet of Things* (IoT) para leitura de valores de sensores em locais de difícil acesso, sendo que sua cobertura varia de 3 Km em áreas urbanas até 12 Km em áreas rurais (SILVA JUNIOR, 2022).

Pela praticidade e facilidade de implementação, a rede LoRa® está se tornando muito popular, sendo aplicada em vários setores e mais recentemente em indústrias e na agricultura, lugares onde o fornecimento de energia não é facilitado, ou onde as condições para permanência humana são precárias, facilitando dessa maneira, a obtenção de dados a distância.

A comunicação ponto a ponto é considerada a forma mais simples de comunicação LoRa®, não necessitando de endereçamento dos dispositivos para que a comunicação ocorra. Dois dispositivos se comunicam diretamente sem a necessidade de componentes intermediários, é também conhecida como comunicação simplex.

O rádio LoRa® utiliza frequências sub-gigahertz em bandas dedicadas, variando conforme a região do planeta. Os benefícios da utilização dessa tecnologia são:

Longo alcance e baixo consumo de energia quando comparado a outras tecnologias de rádio, imunidade a interferências por trabalhar em banda de frequência diferente da maioria dos dispositivos tornando-se fundamental para operação em sistemas urbanos e custo relativamente baixo (BERTOLETI, 2019).

Os benefícios proporcionados pela LoRa® na AP são inúmeros, porém ainda existem limitações tecnológicas que necessitam de soluções. Pode-se citar a falta de compatibilidade de aplicativos, necessidade de calibração frequente de sensores, variabilidade de topografia e cultura adotada (ALONÇO, 1998).

Para se utilizar comunicação sem fio, como o rádio LoRa®, é importante levar em consideração alguns indicadores de transmissão dos dados para que o processo ocorra de forma satisfatória.

Um sinal de rádio transitando por um meio de propagação sofre diversas interferências relacionadas a potência do transmissor, sensibilidade do receptor, atenuação do meio, perda de caminho e influência de outros sinais. Devido a esses fatores o sinal perde intensidade à medida que se propaga, sendo importante medir essa intensidade a partir do dispositivo receptor, para isso é utilizado um parâmetro conhecido como RSSI (Received Signal Strength Indication), que é medido em decibéis (0 a -120 dB) numa escala negativa, portanto quanto maior o valor do módulo do RSSI, menor é a intensidade do sinal recebido (BELLECIERI; JABOUR, F.; JABOUR, E., 2015).

Utilizando-se do RSSI é possível realizar a análise da intensidade de sinal recebido por um determinado dispositivo receptor. Esse modelo é bastante difundido devido sua simplicidade de medição e por não ser necessário a utilização de *hardware* adicional para realizar a medida (LUOMALA; HAKALA, 2012).

2.5 CARREGAMENTO DE BATERIAS POR ENERGIA FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica é definida como a energia gerada através da conversão direta da radiação solar em eletricidade. Isto se dá, por meio de um dispositivo conhecido como célula fotovoltaica que atua utilizando o princípio do efeito fotoelétrico ou fotovoltaico segundo (IMHOFF, 2007).

Nos dias atuais a questão da sustentabilidade está em pauta, estão sendo debatidas soluções para eliminar a poluição no planeta através da queima de combustíveis fósseis. A geração de energia através de placas solares está se tornando

muito comum, pois com a utilização de placas solares, diminui-se a poluição do meio ambiente por não se utilizar meios degradantes para produção da energia.

(CARVALHO, 2010) define a energia do sol como a principal fonte renovável de energia, sendo que a quantidade de energia que chega até o planeta Terra é 28.000 vezes superior à quantidade de energia primária convencional consumida. Portanto, em 20 minutos a Terra recebe a energia equivalente ao que a humanidade consome anualmente.

O Brasil, devido sua localização geográfica, possui grande potencial para geração de energia elétrica através de placas solares, sendo uma das apostas mais promissoras a médio e longo prazo. O Brasil também possui matéria prima para a produção do silício, principal componente utilizado para a fabricação das células fotovoltaicas (ABINEE, 2012).

A energia solar é abundante, o que torna a sua exploração para produção de energia elétrica bastante promissora e rentável quando comparada a outros modos de geração de energia.

Para a geração de energia são utilizadas placas solares, onde através da incidência dos raios solares é gerada uma diferença de potencial devido seu aspecto construtivo.

A utilização da energia gerada nas placas solares acoplada diretamente a carga não é um processo viável, pois durante a geração ocorre oscilação devido à quantidade de luz incidente sobre as placas solares ser variável. Portanto, são utilizadas baterias como forma de armazenar a carga produzida e equalizar o potencial elétrico para consumo.

2.6 PROTOCOLO I²C

O protocolo Interface de dois fio, do Inglês *Two Wire Interface* (I²C) foi inventado pela empresa Philips em 1982, originalmente para comunicação entre componentes de aparelhos de TV, porém houve uma expansão da aplicação para microcontroladores, memórias, sensores e uma vasta gama de dispositivos. A principal função do I²C é facilitar a comunicação entre dispositivos mestres e os diversos dispositivos escravos presentes em um circuito, fornecendo o endereçamento de dispositivo, um sinalizador de leitura e ou gravação para identificar o processo que está sendo realizado e um

mecanismo simples de confirmação de comunicação (KALINSKY, D.; KALINSKY, R., 2001).

O protocolo I²C utiliza-se de dois barramentos de comunicação, Pulso serial, do Inglês *Serial Clock* (SCL) que é alimentado com o *clock*, o que torna esse protocolo síncrono, e o Dados serial, do Inglês *Serial Data* (SDA), que é o barramento onde os dados irão trafegar em ambas as direções, caracterizando a comunicação como bidirecional, também conhecida como *Half-duplex*. A principal característica do I²C é o nível lógico baixo dominante, ou seja, se vários dispositivos estiverem controlando o barramento simultaneamente, o dispositivo que transmitir nível lógico baixo obterá preferência na comunicação. O método de comunicação consiste no envio de uma palavra de oito bits por parte do emissor, seguido de um sinal de confirmação de recebimento emitido pelo receptor. Somente o dispositivo mestre pode iniciar a comunicação, controlando o barramento de *clock*, sendo que todos os dispositivos possuem um endereço físico único no barramento para sua identificação (CARVALHO, 2016).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DEFINIÇÃO DE REQUISITOS

O sistema desenvolvido e apresentado neste trabalho é composto de dois sub-sistemas: a estação de sensoriamento juntamente com módulo de carregamento de baterias e o dispositivo receptor de dados. A estação de sensoriamento funciona de forma autônoma, por possuir alimentação e geração de energia própria, podendo ser aplicada no campo, em estufas e sistemas que exijam o monitoramento de dados remotamente.

O sistema pode ser aplicado em vários locais, para monitoramento das condições climáticas do ambiente. Uma das aplicações mais relevantes é na AP para tomada de decisão, podendo ser posicionada em pontos específicos como plantações e estufas, desse modo enviando dados para visualização em local remoto.

Quanto às variáveis mensuradas, foi realizada uma análise de requisitos do sistema para definição das condições ambientais relevantes a serem medidas nas aplicações de AP, sendo que foi definido as variáveis: luminosidade, temperatura, umidade do solo e umidade do ar, as quais serão medidas através de sensores a fim de obter valores e transmiti-los ao dispositivo receptor que disponibilizará os dados para monitoramento.

3.2 DEFINIÇÃO E LEVANTAMENTO DE MATERIAIS

Foi realizado um levantamento para definição dos materiais necessários para a implementação neste projeto, sendo que a seguir são detalhados os principais componentes utilizados neste trabalho.

3.2.1 Microcontrolador

O ESP32 LoRa TTGO é módulo eletrônico muito avançado tecnologicamente, capaz de integrar todas as possibilidades de uso do ESP32 com 3 formas distintas de comunicação: Wifi, Bluetooth e a comunicação de longo alcance LoRa® (até 3,6 km de distância sem barreiras), numa pequena placa, que pode ser observado na Figura 1.

Este dispositivo utiliza o microprocessador do tipo Xtensa 32-Bits LX6, que apresenta baixo consumo de energia, com dois núcleos de Unidade central de processamento, do Inglês *Central Processing Unit* (CPU), também chamado de processador *dual core*, permitindo aplicação em conjunto com sensores, módulos e diferentes interfaces.

Entre as características do ESP32 WiFi TTGO encontra-se uma tela funcional *oled* de 0,96" com resolução de 128x64 capaz de mostrar informações em tempo real ao projetista, além de contar com um controlador de carga e conector JST na parte inferior para uma bateria (Li-Ion ou Li-Po) de 3.7V e até 1000mAh para alimentação remota, sem a necessidade de fios.

Figura 1 – ESP32 LilyGO



Fonte: LILYGO®-TTGO (2022).

3.2.2 Módulo de WiFi

O módulo WiFi LoRa 32(V2), fabricado pela empresa HELTEC, trata-se de um módulo de conectividade *wi-fi*, *bluetooth* e LoRa®, além de contar com um *display OLED*. As informações adicionais podem ser encontradas no Anexo A enquanto na Figura 2 pode-se observar a imagem do módulo.

A escolha desse módulo em relação aos de outros fabricantes foi a praticidade e a relação custo-benefício que ele proporciona, e vem sendo muito utilizado nas implementações de IoT devido à facilidade de programação e conectividade, não necessitando de nenhum módulo adicional para se comunicar com outros dispositivos.

Figura 2 – Heltec WiFi

Fonte: Heltec-Automation (2022).

Uma característica muito importante desse módulo é que ele permite a utilização da plataforma de programação Arduino para implementação de códigos, podendo assim ser utilizado toda a vasta quantidade de bibliotecas e códigos abertos já existentes para o Arduino/ESP32.

3.2.3 Sensor de luminosidade

O TSL2561, conforme apresentado na Figura 3 é um conversor de luz para sinal digital, ou seja, transforma a intensidade luminosa em um sinal elétrico proporcional, e ainda é integrado ao protocolo I²C. Possui dois fotodiodos integrados em um *chip* CMOS fornecendo uma saída digital com 16 bits de resolução e dois conversores analógico-digital (A/D) que convertem as correntes dos foto-diodos para uma saída digital que representa a quantidade de luz incidente, informações adicionais podem ser averiguadas no Anexo A.

3.2.4 Sensor de umidade do solo - Higrômetro

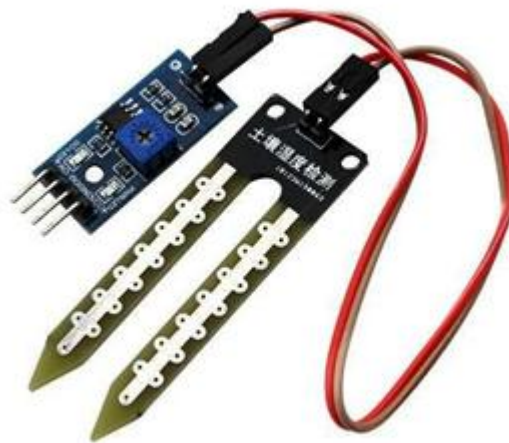
O sensor de umidade, também conhecido como higrômetro, mostrado na Figura 4, é utilizado para medir as variações de umidade do solo. Possui uma saída digital com *setpoint* ajustável e uma saída analógica, sendo possível obter tanto um sinal de saída discreto para acionamento ou sinal analógico para monitoramento contínuo.

Figura 3 – Sensor de luz - TSL2561



Fonte: Adafruit-TSL2561 (2022).

Figura 4 – Sensor Higrômetro



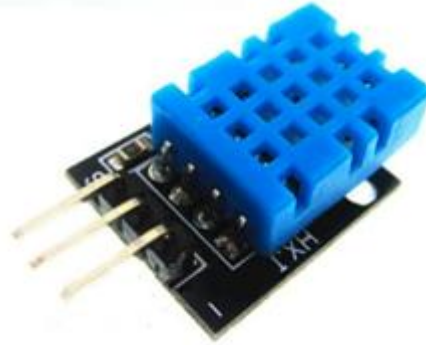
Fonte: Voltriz (2022).

3.2.5 Sensor de umidade do ar e temperatura - DHT11

O DHT11 é um sensor de temperatura de umidade do ambiente, conforme mostrado na Figura 5, calibrado para oferecer valores digitais em sua saída utilizando um microcontrolador de 8 bits conectado a um sensor resistivo de umidade e um sensor NTC (Coeficiente de temperatura negativa, do Inglês *Negative Temperature Coefficient*) para medição de temperatura.

Esse sensor permite a medição simultânea de umidade do ambiente e temperatura, o dispositivo é encapsulado em único componente, tornando a sua aplicação viável financeiramente e tornando desnecessário a aquisição de dois sensores para a medição destas duas variáveis.

Figura 5 – Sensor de Umidade e Temperatura - DHT11



Fonte: DHT11 (2022).

3.2.6 Bateria

A bateria 18650 é uma célula de íon de lítio de 18 mm por 65 mm, sendo também conhecida como “pilha 18650” e oferece uma capacidade de 8.800 mAh com uma saída de 3,7 Volts. É muito utilizada para alimentação de equipamentos eletrônicos como câmeras, notebooks.

Essa bateria foi escolhida devido sua alta capacidade de carga, aumentando assim, o tempo de funcionamento da estação de sensoriamento sem necessidade de carregamento. Essa bateria também permite várias cargas e descargas diferentemente de baterias convencionais, possuindo um circuito eletrônico de controle de carga para evitar sobrecarga e conseqüentemente o aquecimento e a explosão. Sua apresentação é ilustrada na Figura 6.

Figura 6 – Bateria - 18650



Fonte: 18650 (2022).

3.2.7 Módulo de carregamento de baterias por energia solar - CN3065

O CN3065 é um módulo carregador linear de tensão e corrente constante para baterias, conforme dispositivo observado na Figura 7, recarregáveis de íons de lítio de célula única e polímero de lítio. Possui um conversor A/D de 8 bits para realizar o ajuste de corrente com base na capacidade de saída da fonte de alimentação de entrada, portanto, o CN3065 é ideal para sistemas alimentados por energia solar. Quando a alimentação de entrada é removida, o CN3065 entra automaticamente em um modo de espera de baixa energia, reduzindo a corrente de drenagem da bateria para menos de $3\mu A$. Outros recursos incluem bloqueio de subtensão, recarga automática, sensor de temperatura da bateria e indicador de carga/terminação.

Figura 7 – Módulo de carregamento de baterias - CN3065



Fonte: CN3065 (2022).

3.2.8 Placas solares - DreamLight

As placas solares DreamLight JZ-110x69 Fotovoltaica, possuem uma capacidade de corrente de $240mA$, e uma tensão de 5 Volts e uma potência de 1,2 Watts. É uma placa solar fabricada em silício, adequada para experimentos com energia fotovoltaica, tais como: luzes de decoração, carregador móvel, lanternas e uma variedade de pequenos projetos que possam utilizar energia solar para alimentar seus circuitos. A escolha por essa placa solar foi pelo custo-benefício que ela proporciona, pois cumpre os requisitos necessários para implementação, e o seu dispositivo físico pode ser observado na Figura 8.

Figura 8 – Placas solares - DreamLight JZ



Fonte: Solares (2022).

3.3 PROGRAMAÇÃO DOS DISPOSITIVOS

A programação foi realizada utilizando-se da plataforma Arduino, juntamente com bibliotecas desenvolvidas para facilitar a implementação e operação dos sensores. A utilização de bibliotecas é um recurso que proporciona facilidade e flexibilidade na construção de códigos.

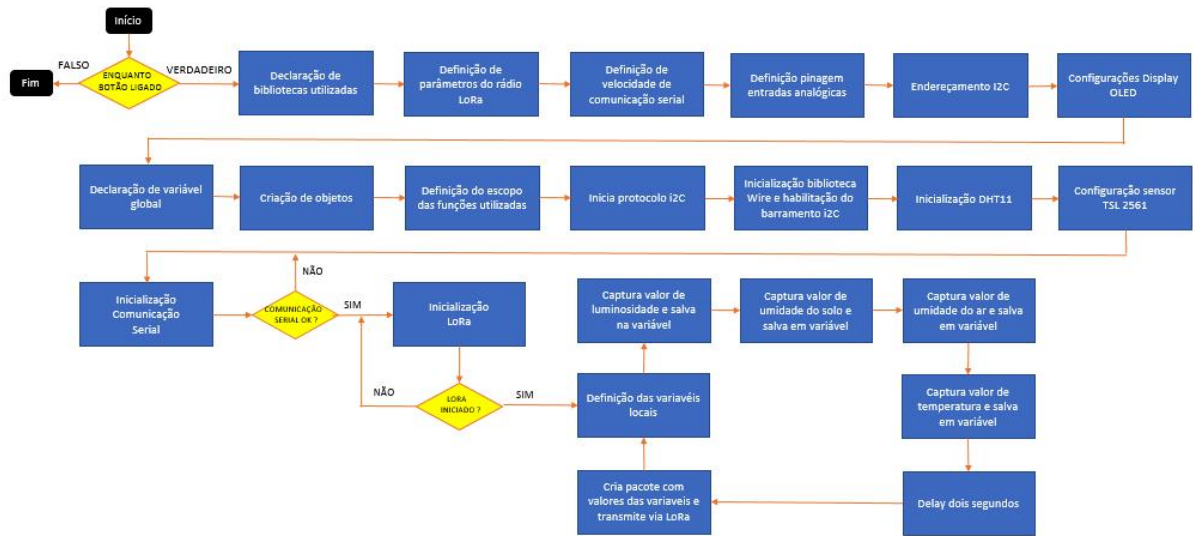
A estrutura do código contido na estação de sensoriamento consiste em obter os dados através dos sensores e salvar os dados em variáveis do programa. Após isso, os valores das variáveis são colocados em um pacote de dados e transmitidos via LoRa®.

Na estação receptora, os dados são recebidos e impressos no *display OLED* e no Monitor serial.

O código implementado neste trabalho para a estação de transmissão é apresentado na forma do Fluxograma 1.

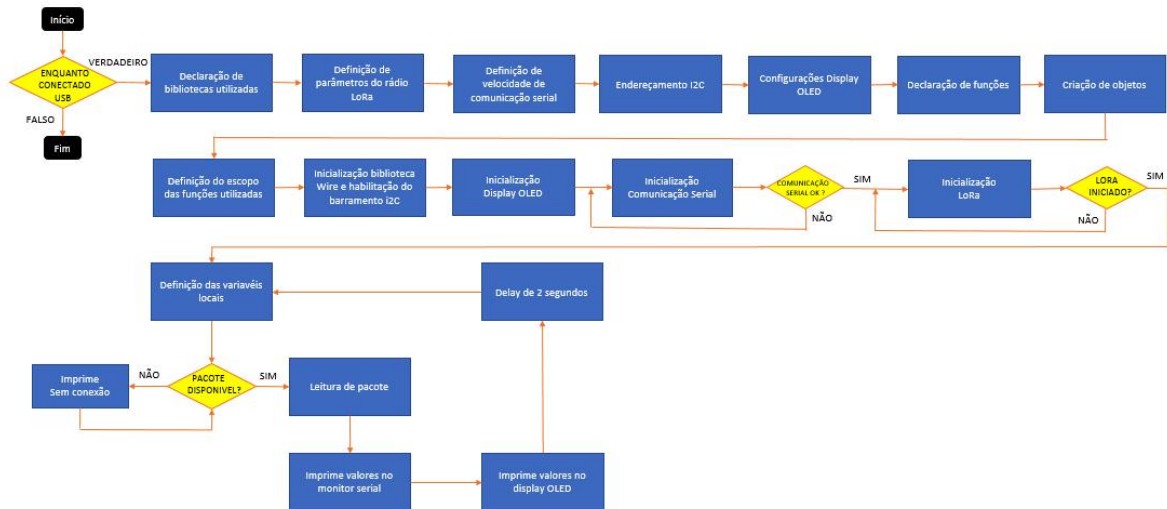
Da mesma maneira o Fluxograma 2 representa a implementado do código na estação receptora:

Fluxograma 1 – Fluxograma da estação de transmissão.



Fonte: autoria própria (2022).

Fluxograma 2 – Fluxograma da estação receptora.



Fonte: autoria própria (2022).

3.4 INTEGRAÇÃO DOS COMPONENTES

Para o desenvolvimento da estação de sensoriamento foi utilizado um dispositivo Heltec ESP32 V2 com comunicação LoRa® conectado aos sensores especificados nos materiais.

Para maior assertividade, o projeto foi realizado por etapas, sendo testado cada um dos sensores individualmente e posteriormente feito a integração ao sistema.

Para visualização dos valores em tempo real, foi programado o *display OLED* do ESP32 para mostrar os valores das medições dos sensores.

A estação de sensoriamento é alimentada por uma bateria 18650 recarregável, conforme descrito na Seção 3.2.6, através de placas solares, apresentado na Seção 3.2.8, para isso foi utilizado o módulo específico de recarregamento de baterias, detalhado na Seção 3.2.7, tornando a implementação com uma excelente relação custo-benefício e de menor complexidade.

O esquema elétrico da montagem é mostrado na Figura 9.

O módulo de recarregamento de baterias possui três conexões. Na conexão Solar foram conectadas duas placas solares ligadas em paralelo para fornecer um valor de corrente requisitado para o recarregamento de baterias. A conexão *Bat In* foi conectada ao invólucro da bateria 18650 respeitando as polaridades + (positiva) e – (negativa). Foi utilizado dois barramentos (positivo e negativo) conectados à saída *Sys Out* deste módulo, sendo estes utilizados para alimentar os sensores e o microcontrolador ESP32. Os sensores: higrômetro e o DHT11 foram ligados nas entradas analógicas do ESP32, enquanto o sensor TSL2561 foi ligado ao barramento I2C.

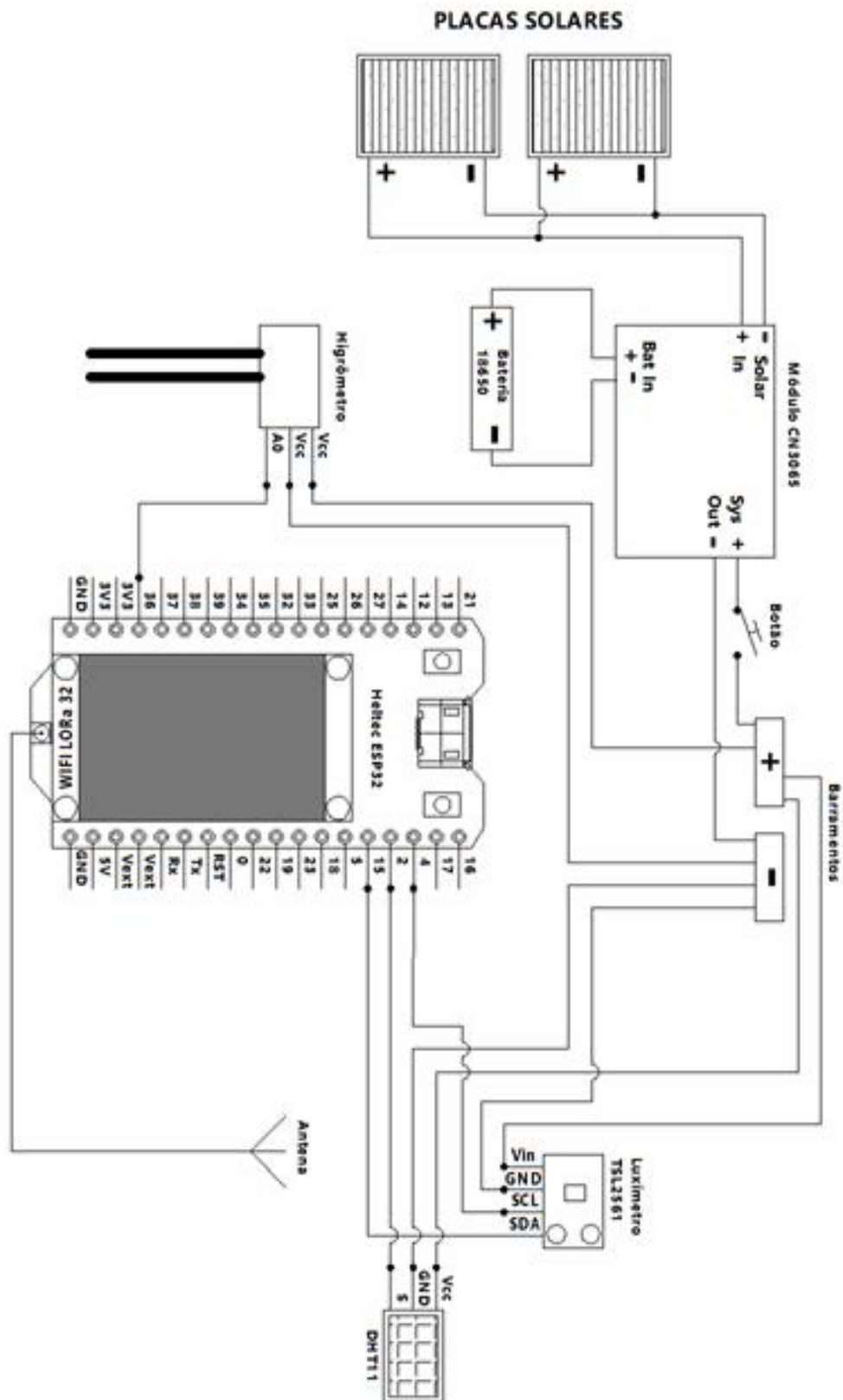
A estação de sensoriamento é ilustrada na Figura 10.

A conexão dos sensores ao módulo Heltec ESP32 foi realizada utilizando cabos *jumpers* do tipo fêmea-fêmea, conforme observado na Figura 11.

Pode-se observar o sensor DHT11 e o higrômetro que ficaram expostos para realizar as medições externas, são apresentados nas Figuras 12 e 13, respectivamente.

A implementação da estação de recepção de sinal deu-se utilizando um ESP32 TTGo LoRa, conectado através de cabo USB, a um computador com o *software* do Arduino instalado. A alimentação para o módulo é fornecida através da porta USB do computador, conforme pode-se observar na Figura 13:

Figura 9 – Esquema elétrico



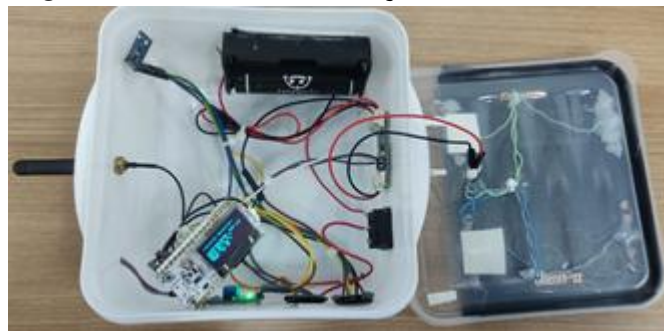
Fonte: autoria própria (2022).

Figura 10 – Estação de Sensoriamento



Fonte: autoria própria (2022).

Figura 11 – Estrutura da estação de sensoriamento



Fonte: autoria própria (2022).

Figura 12 – Sensores instalados



Fonte: autoria própria (2022).

Figura 13 – Estação receptora de sinal



Fonte: autoria própria (2022).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ENSAIOS E RESULTADOS

Após a integração de todos os componentes foi realizado o teste de comunicação entre os dispositivos. Ligando-se a estação receptora a porta USB do computador, ela fica aguardando o sinal da rádio LoRa® para então iniciar a recepção de dados, conforme mostra a Figura 14.

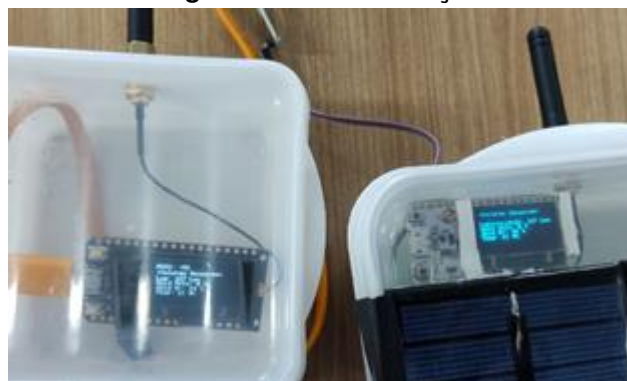
Figura 14 – Estação aguardando comunicação



Fonte: autoria própria (2022).

Após ligar a estação de sensoriamento, a conexão é estabelecida e os dados medidos pela estação de sensoriamento começam a ser transmitidos para a estação receptora, conforme é ilustrado na Figura 15.

Figura 15 – Comunicação



Fonte: autoria própria (2022).

Os dados recebidos, via rádio LoRa®, puderam ser visualizados em tempo real no *display OLED* de ambos ESP32, também podem ser observados no monitor serial do Arduino que apresenta os valores sequencialmente, conforme demonstrado na Figura 16:

Figura 16 – Monitor serial

```

Valores Sensores
RSSI: -34
Lum: 7 Lux
Umid Solo: 0 %
Umid Ar: 95 %
Temp: 25 *C

Valores Sensores
RSSI: -34
Lum: 7 Lux
Umid Solo: 0 %
Umid Ar: 95 %
Temp: 25 *C

Valores Sensores
RSSI: -33
Lum: 7 Lux
Umid Solo: 0 %
Umid Ar: 95 %
Temp: 25 *C

```

Fonte: autoria própria (2022).

4.2 TESTES

Foram executados alguns procedimentos para testar as principais características da estação de sensoriamento, sendo os testes de:

4.2.1 Distância

Foram realizados teste de distância de transmissão, para isso, foi utilizado o parâmetro RSSI para mensurar a intensidade do sinal em relação a distância. Para realização da medição de distância foi utilizado o aplicativo *Maps do Google* e paralelamente foram observados os valores de RSSI mostrados na tela da estação receptora.

O ponto marcado com a seta em vermelho, mostrado na Figura 17, é a localização aproximada da estação de sensoriamento, vista a partir da estação receptora.

Nessa distância, há aproximadamente 1 *km* estação de sensoriamento, conforme se pode ver na Figura 17, os valores medidos podem ser observados no *display OLED* da estação receptora conforme demonstra a Figura 18. Após percorrido a distância de 4 *km* foram obtidos os valores do Quadro 1. E a Figura 19 registra um momento específico que a estação adquiriu o sinal de -109 dB , como exemplo.

Pode-se observar que a partir de 2.520 *m* de distância a comunicação foi perdida e, portanto, não houve mais transmissão dos dados.

Figura 17 – Medição de distância.



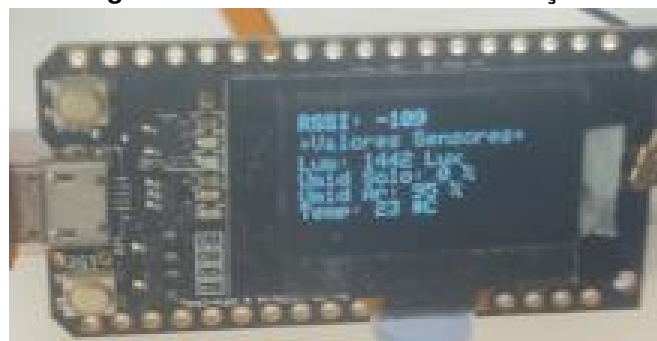
Fonte: Google Maps (2022).

Figura 18 – Localização da estação receptora de dados.



Fonte: autoria própria (2022).

Figura 19 – Sinais recebidos na Estação.



Fonte: autoria própria (2022).

Os fabricantes garantem de 3 a 4,5 km de distância de comunicação e esta diferença em relação ao constatado neste teste, apresentado no Quadro 1, pode ser devido a diversos fatores ambientais e construtivos, tais como: qualidade da antena utilizada que afeta diretamente na potência do sinal transmitido, quantidade de sinais trafegando pelo ar causando interferências, topologia de relevo do ambiente e obstáculos presentes entre a estação de sensoriamento e a estação receptora. Um ponto de observação bastante importante é os cabos de transmissão de energia elétrica vindos de uma subestação 138 kV, indicada pela seta na Figura 17, e que cortam o percurso de comunicação entre a estação de sensoriamento e estação receptora, podendo ser um potencial atenuador da intensidade de sinal devido ao campos elétricos e eletromagnéticos gerados.

Quadro 1 – Valores de distância versus intensidade do sinal.

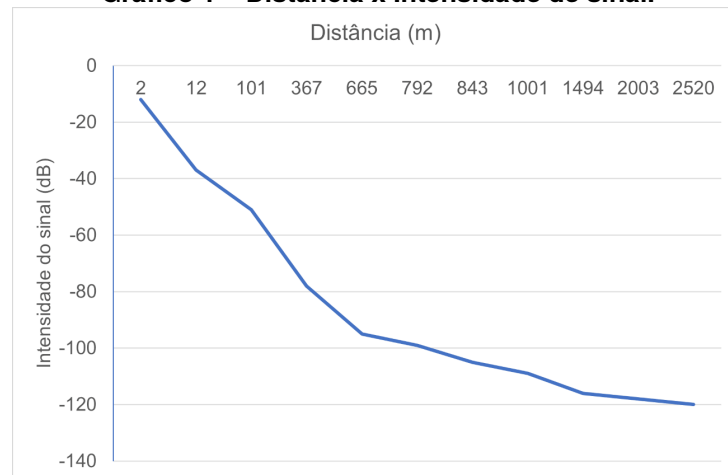
Distância (m)	RSSI (dB)
2	-12
12	-37
101	-51
367	-78
665	-95
792	-99
843	-105
1001	-109
1494	-116
2003	-118
2520	-120
3000	Sem sinal

Fonte: autoria própria (2022).

Com base nos dados medidos registrados no Quadro 1, elaborou-se o Gráfico 1 que relaciona a intensidade do sinal recebido pela estação receptora com a distância medida neste experimento, pode-se observar que com o aumento da distância ocorre uma atenuação na intensidade do sinal recebido.

4.2.2 Geração e consumo de energia

Para os testes de parâmetros elétricos foram utilizados os seguintes equipamentos: Osciloscópio MiniPa MVBDSO, Multímetro Agilent e Fluke Process Meter, con-

Gráfico 1 – Distância x Intensidade de sinal.

Fonte: autoria própria (2022).

forme pode-se observar na Figura 20.

Figura 20 – Equipamentos utilizados.

Fonte: autoria própria (2022).

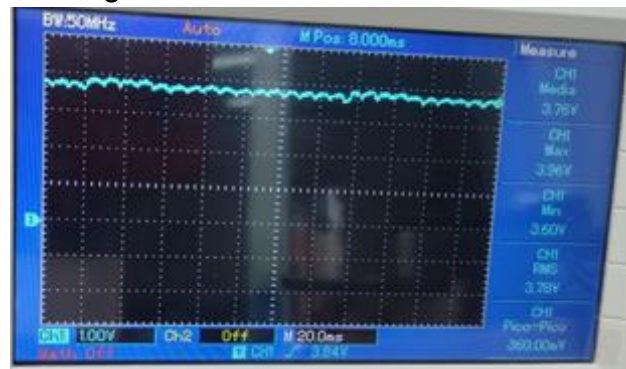
Utilizando o osciloscópio foi realizada a medição na saída das placas solares, acoplando as ponteiros a entrada do módulo de carregamento de baterias. A forma de onda obtida é apresentada na Figura 21, é possível notar ainda que a geração de energia é oscilante, gerando uma ondulação conforme a variação da intensidade luminosa que incide sobre as placas solares.

Acoplando as ponteiros do osciloscópio na saída *Out* do módulo de carregamento de baterias, é possível obter a forma de onda da tensão de consumo.

Observa-se que o consumo possui um perfil constante de tensão, pois o módulo de carregamento de bateria realiza a equalização de tensão e fornece uma saída invariante com o tempo.

Foram realizadas medições de corrente para avaliar o consumo e a geração de energia. Para isso foi conectado o *Fluke Process Meter* na função de miliamperímetro com as placas solares para medir a corrente elétrica de geração de energia e igual-

Figura 21 – Forma da onda de entrada.



Fonte: autoria própria (2022).

mente, a corrente elétrica consumida na saída de carga do módulo de carregamento de baterias.

As condições ambientais também são um ponto de relevância para a medição, devido a geração de energia ser maior em dias ensolarados.

Medições foram realizadas em local aberto buscando a máxima incidência solar sobre as placas, de modo a explorar o máximo de eficiência da estação.

Foram medidas tensão e corrente para valores de luminosidade e indiretamente foi obtido o valor de potência com os valores de corrente e tensão, conforme pode-se verificar na Tabela 1.

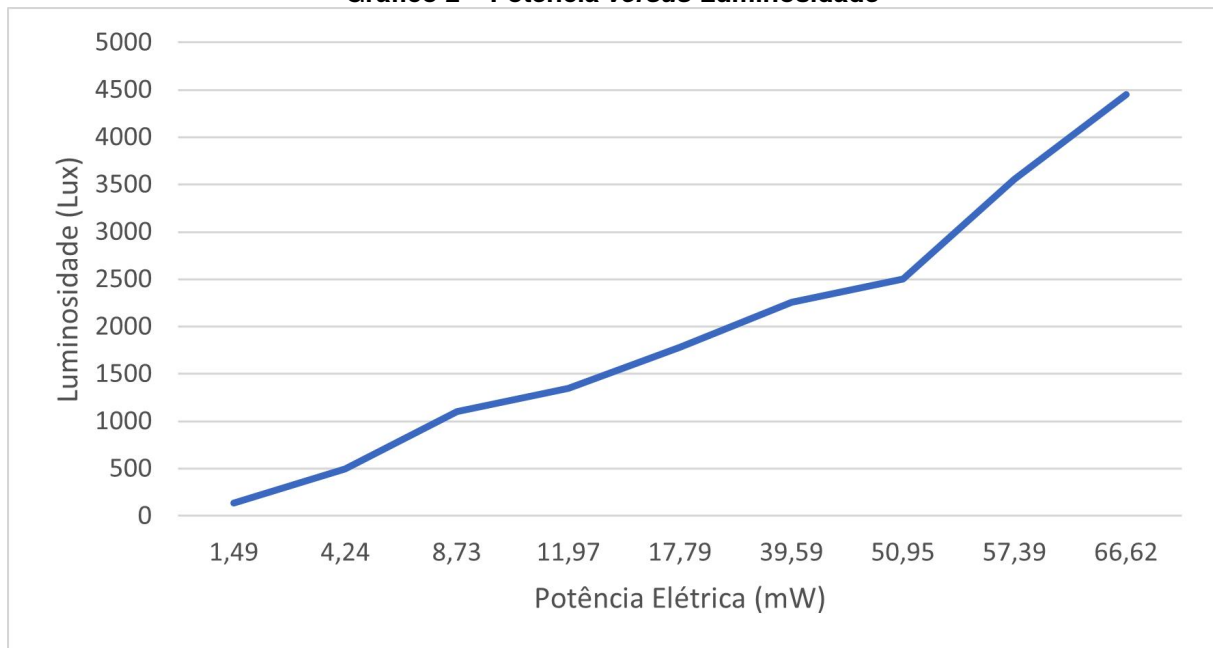
Tabela 1 – Valores de luminosidade, corrente e tensão medidos e potência calculada.

Luminosidade (Lux)	Corrente ()	Tensão ()	Potência ()
136	0,5	2,97	1,49
500	1,2	3,53	4,24
1100	2,31	3,78	8,73
1348	3,15	3,8	11,97
1780	4,503	3,95	17,79
2260	9,36	4,23	39,59
2500	11,1	4,59	50,95
3558	12,45	4,61	57,39
4450	14,42	4,62	66,62

Fonte: autoria própria (2022).

O Gráfico 2 a partir desses valores é possível obter-se um gráfico da potência gerada em relação a luminosidade incidente sobre as placas solares.

Observando os valores de potência elétrica comparados com a luminosidade, pode -se concluir que a geração de energia é dependente da quantidade de luz incidente sobre as placas solares, isso implica que durante o dia o carregamento da bateria

Gráfico 2 – Potência versus Luminosidade

Fonte: autoria própria (2022).

chega ao máximo, já durante a noite ou em dias nublados, o carregamento da bateria perde sua eficiência devido a menor quantidade de luz disponível.

Realizando a medição da potência consumida pela estação de sensoriamento foi obtido um valor médio de corrente em torno de 5 mA, variando para mais ou para menos conforme as condições em que a estação é exposta. O teste de carga e descarga da bateria foi impossibilitado de se realizar, pois o consumo é baixo quando comparado a carga da bateria e o potencial de geração de energia, gerando assim um alto tempo para descarga total da bateria.

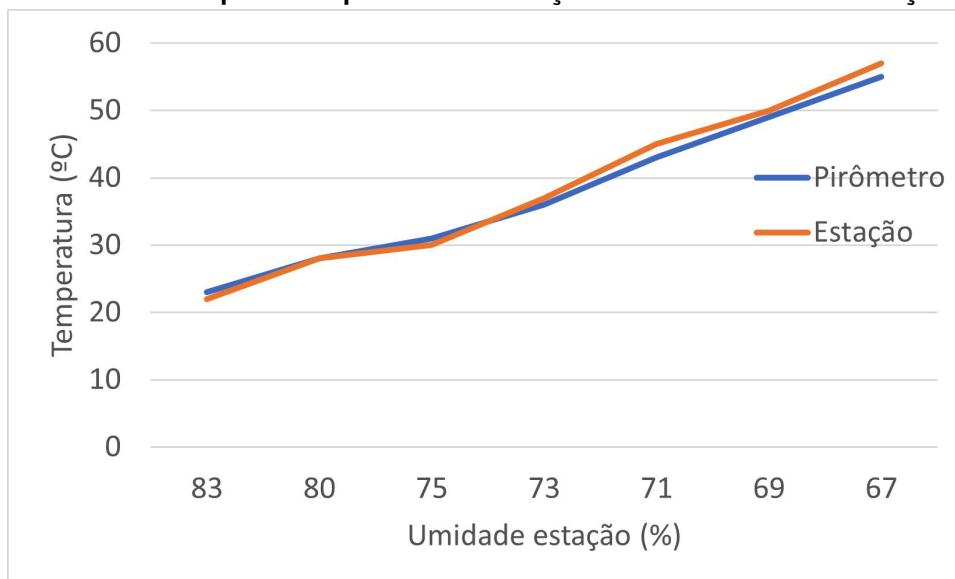
4.2.3 Temperatura e umidade

Foram realizadas a comparação de temperaturas medidas pela estação de sensoriamento e um instrumento específico de medição de temperatura: Pirômetro infravermelho, este equipamento que foi utilizado é apresentado na Figura 22.

Com auxílio de um mecanismo de aceleração de temperatura foi feito o aumento da temperatura de medição através da variação da distância entre a fonte e o sensor DHT11 e de forma concorrente foi utilizado o pirômetro para medir a temperatura no DHT11. Foi observado os valores de umidade do ar durante a execução desse procedimento. Após a realização desse procedimento obteve-se a seguinte Gráfico 3.

Figura 22 – Pirômetro.

Fonte: autoria própria (2022).

Gráfico 3 – Temperatura: pirômetro e estação versus umidade da estação.

Fonte: autoria própria (2022).

Observando o Gráfico 3 é possível notar que a temperatura da estação de sensoriamento apresenta valores muito próximos aos valores medidos pelo pirômetro, sendo que a curva que apresenta essa comparação, e ainda tem características quase lineares.

Os valores de umidade coletados pela estação de sensoriamento não puderam ser comparados devido à falta de um instrumento para medição de umidade do ar e umidade do solo.

5 CONCLUSÕES

5.1 CONCLUSÃO

Após a implementação e testes deste projeto, foi possível observar as principais características inerentes a tecnologias utilizadas, bem como a aplicabilidade do dispositivo desenvolvido. A estação de sensoriamento foi implementada para medir as principais variáveis que possam interferir no processo de plantio e colheita da área agrícola, e, pode ser utilizada para realizar o monitoramento de ambientes onde é necessário se ter o controle de temperatura, umidade e luminosidade. Os sistemas desenvolvidos foram fabricados como protótipos e, portanto, para utilização real é necessário a construção de invólucros com proteção contra intempéries.

O teste de distância experimental, em área urbana, indicou uma distância máxima de transmissão com valor $2,52 \text{ km}$ constando fora da faixa especificada pelo fabricante que possui os valores de 3 até $4,5 \text{ km}$. São diversos fatores que podem estar influenciando nesse resultado, podendo ser as características construtivas das antenas e principalmente as condições ambientais do local do teste, conforme citado na Seção 4.2.1. Esses valores podem ser melhorados com a substituição das antenas por outras de qualidade superior.

O teste de parâmetros elétricos indicou o aumento da potência gerada pelas placas solares paralelamente ao aumento da incidência de luz, através da medição de corrente e tensão elétrica e posteriormente calculando-se a potência elétrica. Não foi possível realizar o teste de descarga da bateria devido o consumo de energia ser baixo, evidenciando uma das características do rádio LoRa® que é o baixo consumo de energia.

Portanto, os dispositivos projetados apresentaram resultados satisfatórios e podem ser melhorados conforme as necessidades da aplicação.

5.2 IMPLEMENTAÇÕES FUTURAS

Como sugestões de melhorias para implementações futuras pode-se citar a utilização de criptografia para proteção dos dados, implementação de Servidor Web para visualização dos dados através da Internet, Implementação de atuadores para

realizar controle de variáveis e nesse caso é necessário o aumento da potência de energia gerada através da inserção de mais placas solares.

Também é possível implementar uma rede de transdutores através da interface I²C proporcionando a integração de diversos dispositivos no mesmo barramento. A implementação do procedimento de hibernação dos ESP32 também é uma alternativa para a economia de bateria, pois esses dispositivos irão funcionar somente no momento de medição e após esse evento eles entrarão em modo *standby*. Outra melhoria que pode ser implementada é a troca do transdutor DHT11 por um DHT22, desse modo aumentando resolução de leitura e o range de medição de temperatura e umidade do ar.

REFERÊNCIAS

18650. **Bateria**. [S. l.: s. n.], dez. 2022. Disponível em: <https://asairsensors.com/>. Acesso em: 22 abr. 2022.
- ABINEE. **Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira**. [S. l.], jun. 2012. Disponível em: <http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2022.
- ADAFRUIT-TSL2561. **Digital Luminosity: Lux: Light Sensor Breakout**. [S. l.: s. n.], dez. 2022. Disponível em: <https://learn.adafruit.com/tsl2561>. Acesso em: 22 abr. 2022.
- ALMEIDA, J. V. P.; TEIXEIRA, G. B. **REDE LORA® E PROTOCOLO LORAWAN® APLICADOS NA AGRICULTURA DE PRECISÃO NO BRASIL**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso – UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/bitstream/1/16191/1/PG_COELE_2017_2_01.pdf. Acesso em: 20 mai. 2022.
- ALONÇO, A. d. S. Agricultura de precisão x Agricultura convencional. **ENCONTRO DE PROFESSORES DE ESCOLAS AGROTÉCNICAS E AGRÍCOLAS FEDERAIS DA REGIÃO SUL**, 1998.
- ANDRADE, C. **Energias Renováveis nas Propriedades Rurais**. [S. l.: s. n.], dez. 2020. SoftFocus. Disponível em: <https://softfocus.com.br/energias-renovaveis-nas-propriedades-rurais/>. Acesso em: 19 abr. 2022.
- BALBINOT, A.; BRUSAMARELLO, V. J. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas - Vol. 1**. [S. l.]: LTC, 2019. ISBN 9788521635833.
- BELLECIERI, Y.; JABOUR, F.; JABOUR, E. **Localização Indoor Baseada na Leitura Bidirecional do RSSI**. Edição: Núcleo de Informática. Juiz de Fora, MG: [s. n.], 2015. SEMINÁRIOS DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DO BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO. Disponível em: <http://periodicos.jf.ifsudesteng.edu.br/revistabsi/article/viewFile/25/22>. Acesso em: 29 abr. 2022.
- BERTOLETI, P. **Projetos com ESP32 e LoRa**. Edição: Newton C. Braga. [S. l.]: Instituto NCB, jul. 2019. 214 p. ISBN 978-8595680630. Disponível em: https://www.ebook.de/de/product/37282733/pedro_bertoleti_projetos_com_esp32_e_lora.html.
- BRAMLEY, R. G. V. Lessons from nearly 20 years of Precision Agriculture research, development, and adoption as a guide to its appropriate application. **Crop and Pasture Science**, v. 60, p. 197–217, set. 2009. DOI: 10.1071/CP08304. Disponível em: www.publish.csiro.au/journals/cp.

CARVALHO, A. R. F. **Evolução do uso de energia solar: estudo comparativo entre Israel e Brasil**. Ago. 2010. Monografia de especialização – Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG. Monografia de especialização. Disponível em: http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/4537/1/TCC_Evolu%C3%A7%C3%A3o%20do%20uso%20de%20energia%20solar:%20estudo%20comparativo%20entre%20Israel%20e%20Brasil. Acesso em: 19 abr. 2022.

CARVALHO, V. B. **Desenvolvimento e Teste de um Monitor de Barramento I2C para Proteção Contra Falhas Transientes**. 2016. Diss. (Mestrado) – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/150164/001008274.pdf?sequence=1>. Acesso em: 30 abr. 2022.

CN3065. **Módulo de carregamento de baterias**. [S. l.: s. n.], dez. 2022. Disponível em: <https://asairsensors.com/>. Acesso em: 22 abr. 2022.

DHT11. **Sensor de umidade e temperatura**. [S. l.: s. n.], dez. 2022. Disponível em: <https://asairsensors.com/>. Acesso em: 22 abr. 2022.

EMBRAPA. **VII PLANO DIRETOR DA EMBRAPA 2020–2030**. Embrapa Agricultura Digital. Brasília, DF, 2020. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/217274/1/VII-PDE-2020.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2022.

FRAISSE, C.; FAORO, L. Agricultura de precisão: a tecnologia de GIS/GPS chega as fazendas. **Revista Fator GIS On Line**. Curitiba, 21 jan. 1998.

HELTEC-AUTOMATION. **Wifi LoRa**. [S. l.: s. n.], dez. 2022. Disponível em: <https://heltec.org/project/wifi-lora-32/>. Acesso em: 22 abr. 2022.

IMHOFF, J. **Desenvolvimento de conversores estáticos para sistemas fotovoltaicos autônomos**. Jul. 2007. Diss. (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria. 146 F. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/8608>. Acesso em: 19 abr. 2022.

KALINSKY, D.; KALINSKY, R. **Introduction to I2C**. Edição: Embedded Systems Programming. [S. l.: s. n.], 31 jul. 2001. Disponível em: <https://www.embedded.com/introduction-to-i2c/>. Acesso em: 30 abr. 2022.

LAMPARELLI, R. A. C. Agricultura de precisão: **ÁRVORE DO CONHECIMENTO: Cana-de-Açúcar**. Edição: Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_72_711200516719.html. Acesso em: 29 abr. 2022.

LILYGO®-TTGO. **LILYGO**. [S. l.: s. n.], dez. 2022. Disponível em: http://www.lilygo.cn/prod_view.aspx?TypeId=50003&Id=1270. Acesso em: 22 abr. 2022.

LUOMALA, J.; HAKALA, I. Towards adaptive localization in wireless sensor networks. *In: 2012 Ubiquitous Positioning, Indoor Navigation, and Location Based Service (UPINLBS)*. [S. l.: s. n.], 2012. P. 1–8. DOI: 10.1109/UPINLBS.2012.6409778.

MAZZAROPPI, M. **Sensores de movimento e presença**. Nov. 2007. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio de Janeiro - Escola Politécnica, Rio de Janeiro, RJ. Disponível em:
<http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10001369.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2022.

MENDES, C. I. C.; BUAINAIN, A. M.; FASIABEN, M. C. R. Heterogeneidade da agricultura brasileira no acesso às tecnologias da informação. Edição: Revista ESPACIOS. **Revista ESPACIOS**, v. 35, n. 11, 2014. Disponível em:
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/117768/1/heterogeneidade-Mendes.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2022.

MOLIN, J. P. **Agricultura de Precisão: Situação Atual e Perspectivas**. Edição: Agência Embrapa de Informação e Tecnologia. [S. l.: s. n.], 13 jan. 2009. Disponível em: <http://www.ler.esalq.usp.br/download/CLP%202003.01.PDF>. Acesso em: 20 mai. 2022.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. d. R.; COLAÇO, A. F. **Agricultura de Precisão**. Edição: Graphium gráfica e editora. 1ª edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. ISBN 978-85-7975-213-1.

NUNES, J. L. d. S. **A Agricultura de Precisão como ferramenta para o produtor rural**. [S. l.: s. n.], mai. 2010. GEORREFERENCIAMENTO. Publicado por: AGROLINK. Disponível em:
https://www.agrolink.com.br/georreferenciamento/artigo/a-agricultura-de-precisao-como-ferramenta-para-o-produtor-rural_82627.html. Acesso em: 19 abr. 2022.

OLIVEIRA, R. R. **Análise de desempenho do protocolo LoRa/LoRaWAN para utilização em soluções de agricultura de precisão**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso – INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA. Disponível em:
<https://repositorio.ifsc.edu.br/handle/123456789/2443>. Acesso em: 20 mai. 2022.

PIRES, J. L. F. *et al.* **Discutindo agricultura de precisão: aspectos gerais**. Embrapa Trigo. Documentos Online; 42. Passo Fundo, RS, 2004. Disponível em:
http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do42.pdf. Acesso em: 19 abr. 2022.

PUSCH, M.; MACHADO, T. P.; AMARAL, L. R. Introdução a Agricultura de Precisão. **Gitap**, mar. 2019. Disponível em: https://www.feagri.unicamp.br/gitap/images/Introdu%C3%A7%C3%A3o_a_Agricultura_de_Precis%C3%A3o-final.pdf. Acesso em: 29 abr. 2022.

RESENDE, Á. V. *et al.* Agricultura de Precisão no Brasil: Avanços, Dificuldades e Impactos no Manejo e Conservação do Solo, Segurança Alimentar e Sustentabilidade.

XVIII REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 2010. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/29842/1/Agricultura-precisao.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2022.

ROZA, D. **Novidade no campo: Geotecnologias renovam a agricultura**. [S. l.: s. n.], fev. 2000. Editora MundoGeo Ltda. Disponível em: <https://mundogeo.com/2000/02/02/novidade-no-campo-geotecnologias-renovam-a-agricultura/>. Acesso em: 19 abr. 2022.

SCHIESSL, M. **8 maneiras de deixar sua lavoura mais inteligente utilizando sensores no campo**. Edição: O BLOG DA Logo da Aegro. [S. l.: s. n.], 16 mar. 2018. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/sensores-na-agricultura>. Acesso em: 29 abr. 2022.

SILVA JUNIOR, V. P. d. LoRa®: Camada física da rede LoRaWAN™, 2022. Disponível em: <https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/electronica/52-artigos-diversos/11992-conheca-a-tecnologia-lora-e-o-protocolo-lorawan-lor001>. Acesso em: 19 abr. 2022.

SOLARES, placas. **Placas Solares - DreamLight JZ**. [S. l.: s. n.], dez. 2022. Disponível em: <https://asairsensors.com/>. Acesso em: 22 abr. 2022.

VOLTRIZ. **Sensor de umidade do solo - Higrômetro**. [S. l.: s. n.], dez. 2022. Disponível em: <https://www.voltriz.com.br/produto/higrometro-umidade-do-solo/>. Acesso em: 22 abr. 2022.

APÊNDICE A — CÓDIGOS EMBARCADO NOS ESP32

A.1 CÓDIGO EMISSOR

```

1 //Bibliotecas Utilizadas
#include <Arduino.h>
3 #include <Wire.h>
#include <DHT.h>
5 #include <LoRa.h>
#include <SPI.h>
7 #include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_TSL2561_U.h>
9 #include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
11
/* Parametros radio LoRa */
13 #define SCK_LORA          5
#define MISO_LORA          19
15 #define MOSI_LORA        27
#define RESET_PIN_LORA    14
17 #define SS_PIN_LORA      18
#define HIGH_GAIN_LORA    20
19 #define BAND              915E6

21 /*Velocidade de comunicacao serial*/
#define DEBUG_SERIAL_BAUDRATE  115200
23
/*Definicao Entradas analogicas*/
25 #define ANALOG_UMIDAD 36
#define PIN_DHT 2
27
/*Enderecamentos I2C*/
29 #define LUX_ADDR 0x39
#define OLED_ADDR  0x3c
31
/*Configuracoes do Display OLED*/
33 #define OLED_LINE1    0
#define OLED_LINE2    10
35 #define OLED_LINE3    20
#define OLED_LINE4    30
37 #define OLED_LINE5    40
#define SCREEN_WIDTH  128
39 #define SCREEN_HEIGHT  64

41 /* Variaveis globais */
long informacao_a_ser_enviada = 0;
43
/*Criacao de Objetos*/
45 Adafruit_TSL2561_Unified tsl = Adafruit_TSL2561_Unified(LUX_ADDR, 12345);
//Objeto do Luximetro

```

```

Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, 16); //Objeto
do display
47 DHT dht(PIN_DHT, DHT11); //Objeto do DHT

49 /* Escopo das Funcoes */

51 bool init_comunicacao_lora(void); //Funcao para Iniciar Comunicacao Chip
LoRa
float CapturaUmidade(void); //Funcao para leitura do nivel de umidade do
solo
53 void configureSensor(void); //Funcao para configuracao do luxmetro
float CapturaLuz(); //Funcao para captura de Luminosidade via I2C
55 float CapturaUmidadeAr(float Umidade); //Funcao para captura de umidade do
ar - DHT11
float CapturaTemperatura(float Temperatura); //Funcao para captura de
umidade do ar - DHT11
57 void ImprimeTela(String Texto); //Funcao para Impressao Tela OLED via I2C e
monitor serial

59 bool init_comunicacao_lora(void)
{
61 bool status_init = false;
Serial.println("Iniciando Comunicacao");
63 SPI.begin(SCK_LORA, MISO_LORA, MOSI_LORA, SS_PIN_LORA);
LoRa.setPins(SS_PIN_LORA, RESET_PIN_LORA, LORA_DEFAULT_DIO0_PIN);
65
if (!LoRa.begin(BAND))
67 {
Serial.println("Falha de Comunicacao");
69 delay(1000);
status_init = false;
71 }
else
73 {
LoRa.setTxPower(HIGH_GAIN_LORA);
75 Serial.println("Comunicacao OK");
status_init = true;
77 }

79 return status_init;
}

81 float CapturaUmidade(void){
83 int ValorADC;
float UmidadePercentual;

85
ValorADC = analogRead(ANALOG_UMIDAD); //4095 -> 3,3V -> Teste
empirico da resolucao
87 UmidadePercentual = 100 * ((4095-(float)ValorADC) / 4095);

```

```
89     return UmidadePercentual;
90 }
91
92 void configureSensor(void){
93     tsl.enableAutoRange(true);           //Configuracao do ganho (1x-16)
94     tsl.setIntegrationTime(TSL2561_INTEGRATIONTIME_402MS); // Resolucao
95 }
96
97 float CapturaLuz(){
98     Wire.beginTransaction(LUX_ADDR);
99     sensors_event_t event;
100    tsl.getEvent(&event);
101    Wire.endTransmission(LUX_ADDR);
102
103    return event.light;
104 }
105
106 float CapturaUmidadeAr(float Umidade){
107     Umidade= dht.readHumidity();
108 }
109
110 float CapturaTemperatura(float Temperatura){
111     Temperatura = dht.readTemperature();
112 }
113
114 void ImprimeTela(String Texto){
115     Wire.beginTransaction(OLED_ADDR); // Mostrar valores no display OLED
116     via I2C
117     if(!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, OLED_ADDR))
118         Serial.println("Falha de inicializacao OLED");
119     else{
120         Serial.println(Texto);
121         display.clearDisplay();
122         display.setTextSize(1.8);
123         display.setTextColor(WHITE);
124         display.setCursor(0, OLED_LINE1);
125         display.println(Texto);
126         display.display();
127     }
128     Wire.endTransmission(OLED_ADDR);
129 }
130
131 void setup(void)
132 {
133     Wire.begin(4,15); // I2C utilizando SDA = pino 4 e SCL = 15.
134     dht.begin();
135     Serial.begin(DEBUG_SERIAL_BAUDRATE);
136     while (!Serial);
```

```
while(init_comunicacao_lora() == false);
137 configureSensor();
}
139
void loop(void)
141 {
    /* Definicao de variaveis*/
143
    float Luminosidade;
145     int LuminosidadeTruncada;
    float UmidadeSolo;
147     int UmidadeSoloTruncada;
    float UmidadeAr;
149     int UmidadeArTruncada;
    float Temperatura;
151     int TemperaturaTruncada;

153     /*Atribuicao para variaveis */

155     Luminosidade = CapturaLuz();
    LuminosidadeTruncada = (int)Luminosidade; //trunca umidade como
numero inteiro
157
    UmidadeSolo = CapturaUmidade();
159     UmidadeSoloTruncada = (int)UmidadeSolo; //trunca umidade como numero
inteiro

161     UmidadeAr= CapturaUmidadeAr(UmidadeAr);
    UmidadeArTruncada = (int)UmidadeAr; //trunca umidade como numero
inteiro
163
    Temperatura = CapturaTemperatura(Temperatura);
165     TemperaturaTruncada = (int)Temperatura;

167     delay(2000);

169     /*Impressao Display OLED*/
    ImprimeTela("\tValores Sensores\t \n\nLuminosidade: "+String(
LuminosidadeTruncada)+" Lux\n"+"Umid solo: "+String(UmidadeSoloTruncada)
+" % \n"+"Umid Ar: "+String(UmidadeArTruncada)+" %\n"+"Temp: "+String(
TemperaturaTruncada)+" *C");
171
/* Empacotamento e transmissao de valores */
173     LoRa.beginPacket();

175     LoRa.print("Lum: ");
    LoRa.print(LuminosidadeTruncada);
177     LoRa.print(" Lux\nUmid Solo: ");
    LoRa.print(UmidadeSoloTruncada);
```

```

179 LoRa.print(" %\nUmid Ar: ");
    LoRa.print(UmidadeArTruncada);
181 LoRa.print(" %\nTemp: ");
    LoRa.print(TemperaturaTruncada);
183 LoRa.print(" *C");
185 LoRa.endPacket();
}

```

Listing A.1 – Emissor.ino

A.2 CÓDIGO RECEPTOR

```

1
/*Bibliotecas utilizadas*/
3 #include <LoRa.h>
  #include <SPI.h>
5 #include <Wire.h>
  #include <Adafruit_GFX.h>
7 #include <Adafruit_SSD1306.h>

9 /* Parametros radio LoRa */
  #define SCK_LORA          5
11 #define MISO_LORA        19
  #define MOSI_LORA        27
13 #define RESET_PIN_LORA  14
  #define SS_PIN_LORA      18
15 #define HIGH_GAIN_LORA   20
  #define BAND              915E6
17

/* Velocidade de comunicacao serial */
19 #define DEBUG_SERIAL_BAUDRATE  115200

21 /* Enderecamento I2C*/
  #define OLED_ADDR          0x3C
23

/* Definicoes do OLED */
25 #define OLED_SDA_PIN      4
  #define OLED_SCL_PIN      15
27 #define OLED_RESET        16
  #define SCREEN_WIDTH      128
29 #define SCREEN_HEIGHT     64

31 /* Offset de linhas no display OLED */
  #define OLED_LINE1        0
33 #define OLED_LINE2        10
  #define OLED_LINE3        20

```



```
35 #define OLED_LINE4      30
    #define OLED_LINE5      40
37 #define OLED_LINE6      50

39 /* Declaracao de funcoes*/
    void display_init(void); //Funcao para inicializar o display
41 bool init_comunicacao_lora(void); //Funcao para Iniciar Comunicacao Chip
    LoRa

43 /* Criacao de Objeto */
    Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, OLED_RESET);
    //Objeto do display
45
    /*Escopo de funcoes*/
47 void display_init(void)
    {
49     if(!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, OLED_ADDR))
        {
51         Serial.println("[LoRa Receiver] Falha de comunicacao OLED");
        }
53     else
        {
55         Serial.println("Comunicacao com OLED OK");
            display.clearDisplay();
57         display.setTextSize(1);
            display.setTextColor(WHITE);
59     }
    }
61
    bool init_comunicacao_lora(void)
63 {
        bool status_init = false;
65     Serial.println("Tentando iniciar comunicacao com o radio LoRa...");
        SPI.begin(SCK_LORA, MISO_LORA, MOSI_LORA, SS_PIN_LORA);
67     LoRa.setPins(SS_PIN_LORA, RESET_PIN_LORA, LORA_DEFAULT_DIOO_PIN);

69     if (!LoRa.begin(BAND))
        {
71         Serial.println("Comunicacao com o radio LoRa falhou");
            delay(1000);
73         status_init = false;
        }
75     else
        {
77         LoRa.setTxPower(HIGH_GAIN_LORA);
            Serial.println("Comunicacao com o radio LoRa ok");
79         status_init = true;
        }
81
```

```
    return status_init;
83 }

85
void setup()
87 {

89     Wire.begin(OLED_SDA_PIN, OLED_SCL_PIN); // Configuracao da I2C para o
display OLED

91     display_init();

93     /* Aguardando Comunicacao */
display.clearDisplay();
95     display.setCursor(0, OLED_LINE1);
display.print("- Aguarde -");
97     display.display();

99     Serial.begin(DEBUG_SERIAL_BAUDRATE);
while (!Serial);
101     while(init_comunicacao_lora() == false);
}
103

105 void loop()
{

107     char byte_recebido;
int packet_size = 0;
109     int lora_rssi = 0;
long informacao_recebida = 0;
111     char * ptInformacaoRecebida = NULL;
String LoRaData = "sem conexao";
113     packet_size = LoRa.parsePacket(); // Verifica se chegou alguma
informacao do tamanho esperado

115     if (packet_size) {
// Pacote recebido
117         lora_rssi = LoRa.packetRssi();
Serial.print(" Valores Sensores \nRSSI: ");
119         Serial.print(lora_rssi);
Serial.print("\n");

121         // Lendo pacote
123         if (LoRa.available()) {
LoRaData = LoRa.readString();

125         Serial.print(LoRaData);
127         Serial.print("\n");
Serial.print("\n");
```

```
129     }  
  
131     /* Escreve RSSI de recepcao e informacao recebida */  
    display.clearDisplay();  
133     display.setCursor(0, OLED_LINE1);  
    display.print("RSSI: ");  
135     display.println(lora_rssi);  
    display.setCursor(0, OLED_LINE2);  
137     display.print("\tValores Sensores\t");  
    display.setCursor(0, OLED_LINE3);  
139     display.println(LoRaData);  
    display.display();  
141     delay(2450);  
    }  
143     else{  
        display.clearDisplay();  
145        display.setCursor(0, OLED_LINE1);  
        display.print("    - Sem Conexao -");  
147        display.display();  
    }  
149 }
```

Listing A.2 – Receptor.ino

ANEXO A — DATOS TÉCNICOS

Os dados a seguir foram retirados dos *datasheets* dos equipamentos e servem de conteúdo para análise da implementação.

A.1 HELTEC ESP32:

- Frequência de operação: 240MHz
- Memória Flash: 64M-bits
- Wi-Fi: 802.11 b/g/n/e/i
- Bluetooth
- Display OLED 0.96" da cor azul
- Rádio LoRa
- Alcance máximo do LoRa (utilizando antena oferecida no módulo): 3Km em áreas abertas.
- Frequências de LoRa disponíveis: 868-915, 923MHz (para o chip SX1276)
- Range de temperatura para operação: de -40°C até + 80°C
- Tensão de alimentação: 5V

A.2 ESP32 TTGO LORA 32:

- Fonte de alimentação USB (≥ 500 mA): 5VDC;
- Tensão de nível lógico: 3.3VDC;
- Frequência: 80 à 240 MHz (Ajustável);
- Memória ROM: 448KB;
- Memória SRAM: 520Kb;
- Memória Flash Externa: 32-Bit de acesso e 4Mb;
- GPIO: Digital IO (36), ADC 12-Bits (16 canais), DAC 8-Bits (2 canais);
- WiFi 802.11 b/g/n: 2.4 à 2.5 GHz;
- Bluetooth 4.2 BR / EDR e BLE (Bluetooth Low Energy);
- Interface do display: I2C;
- Chip Base LoRa: SX1276;
- Modo de modulação: LoRa, FSK, GFSK e OOK;
- Taxa de transferência: 0,018 à 37,5 Kbps (LoRa);

A.3 SENSOR DE LUMINOSIDADE TSL2561

- Tensão de operação: 3 a 5V;
- Faixa de medição: 0,1 a 40.000 Lux;
- Interface: I2C;
- Endereço I2C: 0x39, 0x29, 0x49 (selecionáveis com jumper);
- Dimensões: 19 x 14mm

A.4 HIGRÔMETRO

- Tensão de Operação: 3,3 a 5v
- Sensibilidade ajustável via potenciômetro
- Saída Digital e Analógica
- Fácil instalação
- Led indicador para tensão (vermelho)
- Led indicador para saída digital (verde)
- Comparador LM393
- Dimensões PCB: 3x1,5 cm
- Dimensões Sonda: 6x2 cm
- Comprimento Cabo: 21 cm

A.5 DHT11

- Faixa de medição de umidade: 20 a 90% UR
- Faixa de medição de temperatura: 0° a 50°C
- Alimentação: 3 a 5VDC (5,5VDC máximo)
- Corrente: 200uA a 500mA, em stand by de 100uA a 150 uA
- Precisão de umidade de medição: $\pm 5,0\%$ UR
- Precisão de medição de temperatura: ± 2.0 °C
- Tempo de resposta: 2s

A.6 MÓDULO DE CARREGAMENTO DE BATERIAS CN3065

- Tensão entrada da placa solar: 4,4 – 6V
- Corrente de carregamento de bateria: 500mA
- Proteção contra curto circuito
- Proteção contra sobrecarga a 4,2 V \pm 1
- Proteção contra descarga excessiva em 3,7 V \pm 1
- Corrente de Carga Contínua de 500mA
- Proteção térmica interna automática
- Indicação do status da bateria (vermelho: carregando, verde: carregado)