



Universidade Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação Lato Sensu
Engenharia Industrial 4.0



MATHEUS KUNHAVALIK DA ROSA
GEAN ERNESTO DALL'AGNOL

SENSOR SEM FIO AGÍCOLA DE BAIXO CUSTO PARA APLICAÇÕES
EM ESTUFAS E HORTAS RESIDENCIAIS

CURITIBA
2021

MATHEUS KUNHAVALIK DA ROSA
GEAN ERNESTO DALL'AGNOL

**SENSOR SEM FIO AGRÍCOLA DE BAIXO CUSTO PARA
APLICAÇÕES EM ESTUFAS E HORTAS RESIDENCIAIS**

Monografia apresentada como resultado parcial à obtenção do grau de Especialista em Engenharia Industrial 4.0. Curso de Pós-graduação Lato Sensu, Setor de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Guy

**CURITIBA
2021**

RESUMO

Com a crescente escassez de recursos causada pelas mudanças climáticas, assim como o aumento pela demanda de alimentos, torna-se imperativo otimizar tais recursos na produção agrícola. Neste trabalho desenvolveu-se um sistema de baixo custo para o monitoramento de variáveis pertinentes à irrigação através de sensores, baseado em internet das coisas, inicialmente para ambiente residencial e de estufas, mas que pode ser ampliado para aplicações de agricultura em grande escala. Um protótipo foi construído e programado, utilizando microcontroladores, sensores de baixo custo e impressão 3D. O microcontrolador foi programado, em linguagem C, para coletar dados periodicamente de umidade relativa do ar, temperatura e umidade do solo, os enviando à nuvem AWS via MQTT. A interface do usuário foi programada em Node-RED, rodando na nuvem da IBM e podendo ser acessada de qualquer dispositivo com *browser* e acesso à *internet*. Pôde-se constatar o funcionamento mesmo, acompanhando os índices para uma planta em ambiente residencial, em tempo real e através de um gráfico temporal, assistindo o agricultor na tomada de decisão para a irrigação da cultura.

Palavras-chave: IoT. Agricultura 4.0. Nuvem. RSSF. Irrigação.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – PALM HOUSE.....	7
FIGURA 2 – CULTIVO DE HORTALIÇAS EM SISTEMA SEM ESTRUTURA DE PROTEÇÃO.....	8
FIGURA 3 - RSSF.....	15
FIGURA 4 – SENSOR DE UMIDADE RELATIVA DO AR E TEMPERATURA	17
FIGURA 5 – LIGAÇÃO ELÉTRICADO SENSOR DHT11	18
FIGURA 6 – LIGAÇÃO ESQUEMATICA ENTRE SENSORES E MICROCONTROLADOR...	19
FIGURA 7 – LIGAÇÃO ESQUEMATICA TÉCNICA ENTRE SENSORES E MICROCONTROLADOR	19
FIGURA 8 – CONFIRMAÇÃO DE CONEXÃO VIA SERIAL.....	21
FIGURA 9 – RECEBIMENTO DA MENSAGEM MQTT NA AWS.....	22
FIGURA 10 – PROGRAMAÇÃO EM NODE-RED	23
FIGURA 11 – INTERFACE ACESSADA ATRAVÉS DE UM COMPUTADOR E DE UM CELULAR.....	24
FIGURA 12 – DESENHO DO INVÓLUCRO	25
FIGURA 13 – COMPARAÇÃO ENTRE TIPOS DE MATERIAS PARA IMPRESSÃO 3D	26
FIGURA 14 – PLANEJAMENTO DE IMPRESSÃO 3D.....	27
FIGURA 15 – INVÓLUCRO IMPRESSO EM 3D	27
FIGURA 16 – PRODUTO MONTADO.....	28
FIGURA 17 – EQUIPAMENTO EM USO	30
FIGURA 18 – GRÁFICO DE UMIDADE DO SOLO	31
FIGURA 19 – GRÁFICO UMIDADE RELATIVA DO AR.....	31
FIGURA 20 – GRÁFICO DE TEMPERATURA.....	32

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CUSTOS	29
-------------------------	----

CONTEÚDO

1. INTRODUÇÃO	5
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	5
1.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	5
1.3. JUSTIFICATIVA.....	5
1.4. HIPÓTESE	6
1.5. OBJETIVO	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1. CULTIVO PROTEGIDO	7
2.2. NECESSIDADES AMBIENTAIS DAS CULTURAS	8
2.2.1. Influência da Temperatura	9
2.2.2. Influência da Umidade relativa do ar.....	9
2.2.3. Influência da umidade do solo	9
2.2.4. Influência da radiação solar	10
2.3. RECURSOS HÍDRICOS	10
2.3.1. Irrigação	10
2.3.2. Métodos e sistemas de irrigação	11
2.3.3. Manejo de irrigação.....	11
2.4. AGRICULTURA DE PRECISÃO.....	12
2.5. REDE DE SENSORES SEM FIO NA AGRICULTURA.....	14
3. METODOLOGIA	16
3.1. Topologia da rede e controlador	16
3.2. Variáveis coletadas	17
3.3. Integração do sensor com o microcontrolador	18
3.4. Integração do microcontrolador com a internet.....	20
3.5. Configuração de um servidor de recebimento de dados na nuvem.....	20
3.6. Interface com o usuário.....	22
3.7. Desenho do encapsulamento	24
3.8. Manufatura do encapsulamento.....	27
3.9. Integração	28
3.10. Análise de custos	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5. CONCLUSÕES	33
5.1. Sugestões de trabalhos futuros	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Com a crescente demanda mundial por alimentos, as mudanças climáticas e a escassez de recursos naturais, como a água, se torna fundamental otimizar a produtividade agrícola e a utilização de tais recursos (SOFI, 2021).

De acordo com De Clercq et al. (2018), um efeito colateral das mudanças climáticas é a variação da precipitação, com o aumento de frequência de secas e inundações, afetando a produtividade, a previsibilidade e qualidade dos alimentos.

Para garantir o suprimento de alimentos, um conceito antigo, porém crescente, pode ser aplicado, a Agricultura de Precisão. Segundo Stafford (2000), a base da agricultura de precisão leva em conta a variação temporal e espacial no solo para a tomada de decisão, seja na irrigação ou na aplicação de aditivos agrícolas, evitando a aplicação de uma taxa fixa em toda a plantação. O conceito vem sendo viabilizado em grande escala com o avanço tecnológico. Para De Clercq et al. (2018), entre as tecnologias que devem revolucionar a agricultura estão o IoT (*internet das coisas*) e a agricultura focada em dados.

Logo, uma ferramenta fundamental para cumprir o objetivo da agricultura de precisão é a informação, a coleta de dados do campo.

1.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

As tecnologias existentes para monitoramento de variáveis relevantes para a irrigação não estão popularizadas no Brasil. Muitas das soluções disponíveis são focadas em grandes produtores, e apresentam um grande custo, dificultando o acesso do pequeno produtor a essa tecnologia.

1.3. JUSTIFICATIVA

Para disponibilizar uma tecnologia avançada e que proporcione ganho de produtividade, ao mesmo tempo que economiza recursos naturais e energéticos, ao pequeno produtor, é necessário desenvolver um produto de baixo custo.

Atualmente encontram-se no meio rural diversos modelos de casas de vegetação. Geralmente, a construção de uma estufa é mais uma alternativa para driblar as adversidades climáticas e criar um ambiente propício à agricultura, mesmo em regiões onde o clima ou o solo são desfavoráveis.

Nas casas de vegetação podemos controlar parâmetros ambientais importantes para as culturas vegetais, tais como: luminosidade, temperatura, umidades atmosférica e do solo, desta forma, necessita-se de um sistema que possibilita a leitura facilitada de alguma dessas variáveis. Trata-se de uma solução com relevância crescente, uma vez que torna a atividade produtiva mais eficiente e racional em relação aos recursos energéticos e hídricos.

1.4. HIPÓTESE

A obtenção de dados do solo pode ser feita de maneiras distintas, seja com sensoriamento proximal, com sensores no solo, ou com sensoriamento remoto, como análise espectral de imagem de satélite ou VANTS (veículos aéreos não tripulados) (SANQUETTA et al., 2019).

No caso do sensoriamento proximal, o mesmo pode ser feito com coleta do solo em campo e análise laboratorial ou análise com sensores no local. Quando são utilizados sensores locais, esse processo se torna muito mais ágil, trazendo leituras até mesmo em tempo real ao agricultor, contribuindo para a tomada de decisão, caso a caso. O uso de sensoriamento proximal se torna ainda mais relevante se o cultivo se der dentro de estufas, dada as dificuldades de utilizar os métodos citados anteriormente.

1.5. OBJETIVO

Desenvolver um sensor sem fio que colete dados pertinentes à agricultura - umidade relativa do ar, temperatura e umidade do solo – voltado à aplicações residenciais, em estufas ou não, permitindo ao produtor acessar tais informações em tempo real em qualquer dispositivo com acesso à internet.

O protótipo visa três objetivos principais:

- 1) Redução do consumo de água para irrigação, se comparado à um sistema sem mensuração;
- 2) Utilização de um sistema simples e fácil de operar;

3) Automatização da coletada de dados das características ambientais dos vegetais cultivados;

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CULTIVO PROTEGIDO

Segundo Filho (2017) o início da prática de cultivar alimentos em ambientes protegidos começou por volta do século XVII, nas chamadas *orangeries*, ambientes cobertos de vidro que permitiam o cultivo de espécies tropicais, como laranjas, no clima mais frio europeu. Uma das estufas mais importantes da época é a Palm House, construída em Londres em 1840, como pode ser vista na FIGURA 1.

FIGURA 1 – PALM HOUSE



FONTE: WIKIPEDIA (2021)

Ainda segundo Filho (2017), este tipo de estrutura permite a passagem da radiação infravermelha, a retendo em seu interior, ocasionando no aumento da temperatura interna se comparada à exterior. Atualmente, o principal uso de estufas é para culturas mais sensíveis, como hortaliças, pois possuem grande vulnerabilidades a fatores climáticos e problemas de fitossanidade.

Para Andriolo (1999), tornou-se tão comum o cultivo de hortaliças em estufas, pois o sistema proporciona um controle maior dos parâmetros, como por exemplo, o momento certo de irrigação, manejo da ventilação e elevação da temperatura.

Em grande parte do Brasil, um fator limitante para a produção agrícola é o excesso de chuvas e o granizo, resultantes de um cultivo, culminando em uma redução de qualidade do produto, como pode ser visto na FIGURA 2

FIGURA 2 – CULTIVO DE HORTALIÇAS EM SISTEMA SEM ESTRUTURA DE PROTEÇÃO



FONTE: GUATIMOSTIM (2013)

O “cultivo protegido” e “casas de vegetação”, podem ser distintos, com poucos ou mesmo sem nenhum mecanismo de controle ambiental, e podem conter rigoroso sistema tecnológico, objetivando alterar o microambiente interno da edificação (PURQUEIRO & TIVELLI, 2010).

2.2. NECESSIDADES AMBIENTAIS DAS CULTURAS

Para Filgueira (2008), fatores externos à planta, influenciam diretamente o seu desenvolvimento e produção, como o clima, tipo de solo, adubação e irrigação. O conceito de “ambiente” é o conjunto de fatores agroecológicos e agrotecnológicos. Os principais são: temperatura; umidade do ar; umidade do solo; radiação solar. De maneira geral, se o ambiente é hostil, a planta apresenta um tipo de desenvolvimento, se o ambiente é amigável, apresenta outra forma. Assim a fisionomia da planta pode indicar como estava o ambiente ao longo de seu desenvolvimento.

2.2.1. Influência da Temperatura

A temperatura é o fator que mais influencia as culturas vegetais, sendo também o que mais interfere na produção. Cada cultura possui uma zona de conforto térmico ideal para desenvolvimento, sendo que temperaturas baixas alongam seu ciclo vegetativo, ou provocam florescimento prematuro. Já temperaturas acima do ideal podem afetar a qualidade final do produto (FILGUEIRA, 2008).

Para Filho (2017), é fundamental diferença de temperaturas entre o dia e a noite para que o crescimento vegetal se processe de forma mais adequada. De fato, a amplitude térmica é fundamental na formação dos açúcares e no amadurecimento dos frutos.

2.2.2. Influência da Umidade relativa do ar

As oscilações diárias de umidade são grandes dentro de um cultivo protegido, ficando diretamente relacionado com as oscilações de temperatura atmosférica (CERMEÑO, 1990).

A umidade relativa do ar no interior de uma estufa está vinculada ao equilíbrio hídrico das plantas, onde um déficit pode alterar a evapotranspiração, alterando assim a capacidade do sistema radicular de absorver o soluto nutricional. Dessa forma, o manejo da umidade do ar, também dependerá da cultura (FILHO, 2017).

A irrigação é um dos fatores que mais influencia a umidade relativa do ar, sendo necessária ser monitorada sempre que possível através de sensores. Outras formas de fazer o manejo da umidade do ar, é através a ventilação do ambiente ou a pulverização das plantas com água. (PURQUERIO & TIVELLI, 2009).

2.2.3. Influência da umidade do solo

Segundo Filho (2017), a umidade do solo interfere diretamente no comportamento nutricional da planta já que é através da água que os vegetais realizam sua nutrição. Um sistema de irrigação bem dimensionado, pode suprir as necessidades de forma perfeita para as plantas. Porém a demanda hídrica varia de acordo com o ciclo fenológico das culturas e deve ser ajustado periodicamente, um sistema de controle automatizado através de sensores permite que a água chegue na planta no momento exato em que ela necessita, o que representa melhor crescimento e produtividade e maior economia de água.

2.2.4. Influência da radiação solar

Para Cermeño (1990), a luminosidade possui grande importância nos processos vitais das plantas, sendo que em seu desenvolvimento as principais funções metabólicas estão relacionadas à energia luminosa. Assim a luz afeta diretamente a fotossíntese, o fototropismo, o crescimento dos tecidos, a floração e o amadurecimento dos frutos entre outras funções.

Cassilhas (2000), afirma que a fotossíntese é um processo de síntese de substâncias orgânicas, principalmente açúcares. Fato este, que demonstra o quão importante é a energia luminosa para os vegetais, sendo esta a mola propulsora da fotossíntese, o principal processo metabólico das plantas.

2.3. RECURSOS HÍDRICOS

Segundo Neves (2021), a água é um recurso fundamental para a manutenção equilíbrio dos ecossistemas, mantendo os ciclos químicos, biológicos e geológicos. Logo, devido a sua crescente escassez, esse recurso natural vem gerando debates e disputas sobre a sua utilização, por ser uma inquietação mundial.

A água influencia diversas atividades econômicas, principalmente a produção agrícola. Há indícios de sistemas de irrigação datados de 5400 anos atrás, no Peru. Uma técnica milenar que se mostra eficaz para possibilitar o desenvolvimento socioeconômico em regiões desfavorecidas, nas quais a agricultura sofre com a falta d'água, ou para potencializar a produtividade em regiões agrícolas tradicionais (NEVES, 2021).

O momento ideal para a irrigação, assim com a lâmina de água a ser aplicada, vem essencialmente da medição da umidade do solo (Us) (NEVES, 2021).

2.3.1. Irrigação

Para Neves (2021), a irrigação na agricultura traz algumas vantagens, dentre elas:

- Um aumento de produção na ordem de duas a três vezes;
- Aumento de renda ao produtor;
- Oscilação de preço ao consumidor é reduzida, pois há menor sazonalidade da produção;
- A rotação de culturas se torna mais favorável;
- Geração de empregos diretos e indiretos.

Disponibilidade adequada e boa qualidade de água são fatores essenciais para a irrigação. Através do manejo e gestão, advindos da constante capacitação do produtor, é possível atingir o uso eficiente da água, fazendo a irrigação não com base no volume de água disponível, mas sim na demanda hídrica dos cultivos (SENAR, 2019).

Pode-se descrever a irrigação eficiente como aquela na qual há a menor perda de água e menor consumo energético, sendo executada quando as variáveis lidas, como umidade do solo, são as ideias para tal. No entanto, é preciso posicionar os sensores de tais variáveis corretamente, na zona radicular das plantas. (NEVES, 2021).

2.3.2. Métodos e sistemas de irrigação

A maneira com a qual a água é aplicada nas culturas é chamada de método de irrigação. Existem quatro métodos, são eles: superfície, aspersão, localizada e subsuperfície (SENAR, 2019).

Segundo Neves (2021), no primeiro método citado, a água é disponibilizada, como o nome diz, na superfície do solo. No segundo método, o subterrâneo, a água é disposta do solo, sendo aproveitada pelas raízes das plantas. O sistema de irrigação por aspersão contém algumas partes: bombeamento, tubulação (transporte) e sprays ou aspersores (distribuição). A irrigação localizada pode ser descrita como aplicação, com alta frequência, de volumes de água pequenos. Esse método possui estação de bombeamento, cabeçal de controle, sistema de distribuição, emissores, válvulas, a irrigação em si pode ser por gotejamento. A escolha do método depende de alguns fatores, como socioeconômicos, ambientais, a disponibilidade e a qualidade da água (ANA, 2017).

2.3.3. Manejo de irrigação

É necessário desenvolver o processo de irrigação, utilizando técnicas que permitam o uso eficiente da água, reduzindo desperdícios e consumo de energia elétrica, para que o produtor rural tenha um retorno financeiro viável e garanta uma alta produtividade (ANA, 2017). Outros fatores que se beneficiam destas técnicas são a melhoria da qualidade do produto, a diminuição da incidência de pragas e doenças e o aumento da eficiência dos fertilizantes (SENAR, 2019).

De acordo com Balbino (2016), o manejo da irrigação é definir o momento, modo de aplicação e a quantidade de água, considerando aspectos como o controle fitossanitário, economia, meteorologia e estratégias de cultivo. O manejo da irrigação

deve ser analisado tendo duas principais etapas: engenharia da irrigação (como irrigar) e ciência da irrigação (quando e quanto irrigar), assim como levar em conta fatores como o solo, clima e cultura para garantir o sucesso do procedimento.

Há três maneiras para realizar o controle da irrigação: processos baseados nas condições atmosféricas, nas condições de umidade do solo e nas condições de água na planta. Existe também o manejo integrado, que combina a irrigação baseada nas condições da atmosfera e do solo. O acompanhamento pode ser feito através de sensores de umidade instalados no solo (BALBINO, 2016).

Os métodos mais comumente utilizados para o manejo de irrigação são aplicados através dos dados atmosféricos ou do acompanhamento da umidade do solo. Através de sensores, instalados no campo, permitem realizar medidas em tempo real (NEVES, 2021).

A umidade do solo e o seu monitoramento são fundamentais, porém, é preciso monitorar e manejar adequadamente para ter efeitos positivos na irrigação (NEVES, 2021). O monitoramento de umidade pode ser feito diretamente, a partir de amostras de solo e a determinação da umidade através do método padrão de estufa, no entanto, é mais habitual a utilização de métodos indiretos, através de sensores de umidade (SENAR, 2019).

2.4. AGRICULTURA DE PRECISÃO

A agricultura de precisão cresceu tornou-se uma grande indústria agrícola com o Posicionamento Global baseado em satélite, surgiu a possibilidade de levar em consideração a variabilidade. No entanto, maior desenvolvimento de tecnologia se faz necessário, em especial na área na detecção e mapeamento, fornecendo dados relacionados a cultura, solo e fatores ambientais. A agricultura de precisão gera grande quantidade de informação e se beneficia de avanços na tecnologia de comunicação e de processamento. A agricultura de precisão, como um conceito de manejo de safra, tem potencial de atender uma grande parte das demandas por produções mais sustentáveis (STAFFORD, 2000).

Recentemente, a agricultura de precisão vem crescendo na comunidade agrícola, no entanto, ainda apenas uma minoria dos agricultores praticam o novo conceito em qualquer grau. Cada vez mais empresas produzem equipamentos, com crescente tecnologia e sofisticação, que permitem que a prática da agricultura de

precisão. A tecnologia de maior importância no desenvolvimento do conceito de agricultura de precisão foi o lançamento, no final dos anos 1970, do Sistema de Posicionamento Global (GPS) com satélites desenvolvidos e operados pelo Departamento de Defesa dos EUA. O GPS pode determinar a posição (latitude, longitude e altitude) em qualquer lugar da Terra, ininterruptamente, com grande precisão, que chega a alguns centímetros a depender da tecnologia utilizada (STAFFORD, 2000).

Segundo Stafford (2000), o princípio da agricultura de precisão, foi especialmente devido a Johnson et al. (1983), que desenvolveu o conceito de “lavoura personalizada prescrita”. Eles anteciparam como automação, sistemas de detecção, sistemas de localização e tecnologia da informação iriam transformara produção agrícola quando essas tecnologias entrassem em operação. Eles declararam que o futuro maquinário usado na agricultura poderá ser controlado automaticamente para prescrever práticas culturais, com base em variáveis como solo, cultura e clima. Algumas informações do solo e da cultura podem ser detectadas e armazenadas em um computador remoto ou a bordo da máquina. Tal computador pode ser programado para tomar decisões com base nas informações coletadas em tempo real, controlando as práticas culturais, como fertilizantes, herbicidas e aplicação de pesticidas. Neste conceito, torna-se importante um sistema de posicionamento.

Ao mapear da variabilidade espacial no estresse das plantas, é possível realizar o tratamento variável para fatores de estresse, como doenças, deficiência de nutrientes ou umidade insuficiente. Porém, a detecção destes fatores utilizando a reflexão espectral é desafiadora, pois todos induzem clorose foliar, apresentando poucas características espectrais distintivas (STAFFORD, 2000). Logo, outros tipos de sensores podem ser utilizados.

Segundo Stafford (2000), um dos pontos mais relevantes é a interação complexa entre o crescimento da cultura e o solo, ou seja, é difícil inferir qual é o tratamento espacialmente variável aos solos mapeados. No entanto, mapear os fatores do solo fornece assistência para a decisão do agricultor. Por exemplo, um mapa de disponibilidade de nutrientes no solo tem a capacidade de indicar ao agricultor quais são as áreas de deficiência, porém não pode ser usado diretamente para aplicação variável de fertilizante. Por outro lado, um mapa de pH ou de compactação do solo fornece dados para inúmeros tratamentos de subsolagem ou calagem. Estudos mostraram como o mapeamento da condutividade elétrica do solo pode ser uma boa

medida substituta para variáveis que não são facilmente detectadas em mapas de solo e teor de umidade. Essa técnica está disponível como um serviço usando medição direta de condutividade por meio de discos de corte de solo que possuem uma sonda de indução eletromagnética.

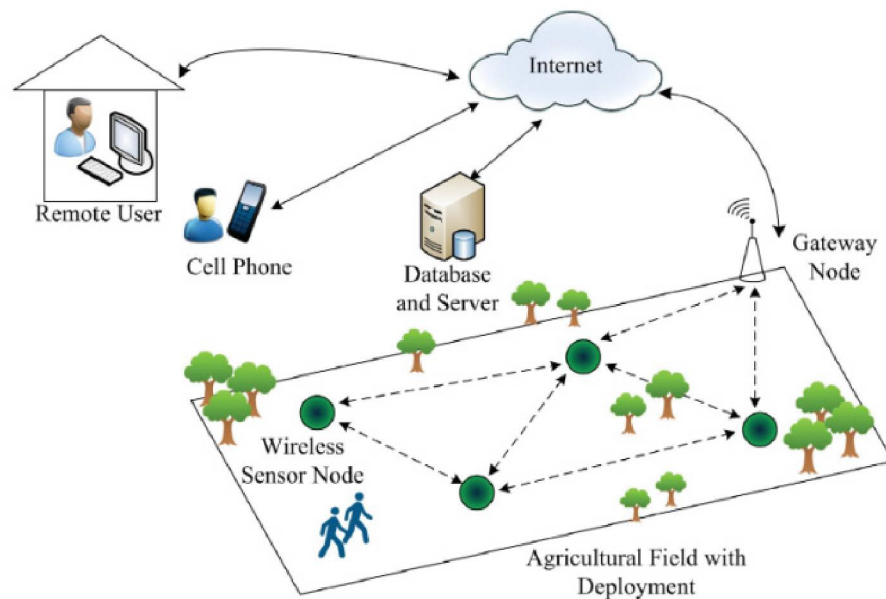
A agricultura de precisão é um conceito de gestão de culturas, e deve ser implementado como tal em toda a área, assim como praticado para todas as operações de cultivo e de safras. Legislação ambiental no que diz respeito para a minimização e o uso ideal de insumos e pressões de mercado para rastreabilidade forçarão os produtores a considerar seriamente a agricultura de precisão como uma solução. Ao lado dessas pressões será possível otimizar o uso de tecnologias sofisticadas. Assim, as políticas de substituição de máquinas e equipamentos serão o mais amplamente possível em todas as operações de campo (STAFFORD, 2000).

2.5. REDE DE SENSORES SEM FIO NA AGRICULTURA

Para viabilizar a coleta de dados em tempo real na agricultura, é necessário um conjunto de sensores, trabalhando em grupo e transmitindo seus dados de forma padronizado.

Uma rede de sensores sem fio (RSSF) é uma rede de sensores interconectados por uma tecnologia de comunicação *wireless* que servem um propósito específico, como pode ser visto na FIGURA 3 (AKYILDIZ et al., 2002).

FIGURA 3 - RSSF



FONTE: Ojha et al. (2015)

De acordo com Colina et al. (2016), há três tipos de elementos principais em uma RSSF:

- Nós de sensores: possuem os sensores propriamente ditos, medindo variáveis ambientais;
- Nós concentradores: recebe as informações dos demais nós da rede e os envia para um conversor, o *gateway*
- Nós de atuação: que possuem algum elemento ativo, como uma válvula ou motor

Segundo Baggio (2005) e Ojha et al. (2015), a tecnologia de rede de sensores sem fio teve um grande avanço em anos recentes, como a criação de sensores e processadores pequenos e baratos, viabilizando a sua aplicação na agricultura de precisão. Essa rede de sensores pode coletar dados do solo, ambientais e das plantas, tanto antes da plantação quanto após a colheita. Tais dados podem ser usados para a tomada de decisão do produtor, como possíveis tratamentos e a melhor quantidade de determinado insumo aplicar em cada área da cultura.

3. METODOLOGIA

O protótipo implementado tem por objetivo realizar a coleta de dados relevantes à irrigação de uma planta para cultivo residencial, com o objetivo de monitoramento, assistindo a tomada de decisão do usuário de quando realizar a irrigação.

Para implantar um protótipo que valide a ideia, optou-se por apenas um nó de sensor na rede, comunicando diretamente com a *internet*.

Os passos para o funcionamento do processo podem ser definidos como:

1. Definição da topologia da rede, tecnologia sem fio e controlador;
2. Definição dos sensores, quais variáveis relevantes e disponíveis no mercado;
3. Integração sensor e microcontrolador;
4. Conexão microcontrolador com a *internet*;
5. Configuração de um servidor de recebimento de dados na nuvem;
6. Configuração de uma interface com usuário mínima;
7. Desenho do encapsulamento
8. Manufatura do encapsulamento
9. Integração

3.1. Topologia da rede e controlador

Num projeto final, é desejável ter uma rede sem fio de longo alcance e possua a capacidade de funcionar em *mesh*, ou seja, nós que se comunicam entre si, aumentando o alcance total do conjunto conforme mais nós são adicionados. Tais tecnologias já estão disponíveis em redes como LoRa, Sigfox, Zigbee e Sub 1- GHz (NUNES, ROLIM e ROSA, 2018).

No entanto, para o protótipo, decidiu-se utilizar uma topologia mais simples, a fim de validar o conceito, com o sensor se comunicando diretamente com um roteador comum via WiFi em 2,4 GHz. A escolha se justifica pela realização da prova de conceito em pequenas estufas, com apenas um nó.

Para tal, buscou-se um microcontrolador que já trouxesse as tecnologias de comunicação embutidas. Foram encontrados os microcontroladores de baixo custo

ESP8266 e ESP32, ambos possuem WiFi 2,4 GHz. Por disponibilidade e poder de processamento, optou-se pelo ESP32.

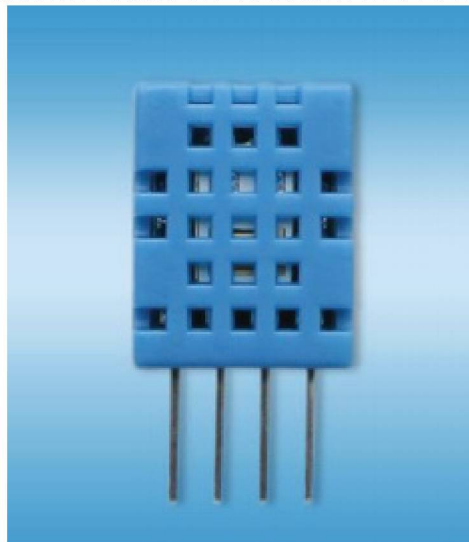
3.2. Variáveis coletadas

Uma das atividades mais importantes na cultura de uma planta é a sua irrigação, por isso, variáveis que auxiliem na tomada de decisão dessa ação foram focadas.

Para tal, verificou-se os sensores com alta disponibilidade no mercado e de baixo custo. Sensores de umidade do ar, temperatura e umidade do solo foram selecionados.

Para umidade do ar e temperatura, um sensor comum em aplicações de baixo custo é o DHT11, que pode ser visto na FIGURA 4, que usa o princípio da variação de capacitância para medição. Sua faixa de medição varia de 5 a 95 % para umidade relativa do ar e de -20 a 60 °C para temperatura ambiente, com resolução de 1 % e 0,1 °C, respectivamente. A precisão para a medição de umidade é de +- 5 % e de temperatura é de 2 °C. (AOSONG, 2021).

FIGURA 4 – SENSOR DE UMIDADE RELATIVA DO AR E TEMPERATURA



FONTE: Aosong (2021).

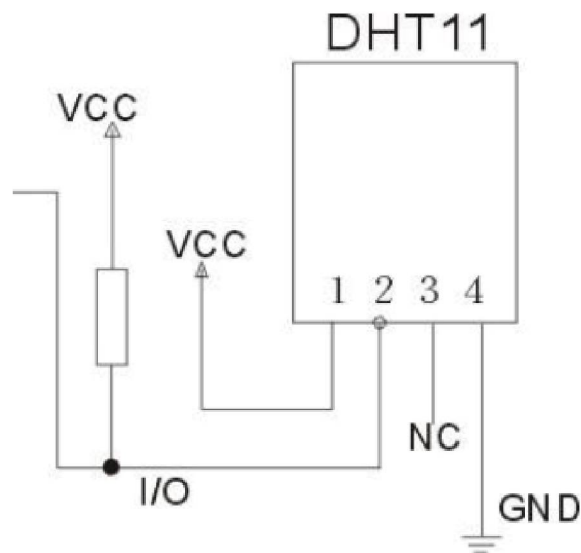
Já para umidade do solo, um sensor analógico simples foi utilizado. Este sensor funciona baseado na resistência elétrica entre dois terminais, quanto maior a tensão elétrica medida, menor a resistência, maior a quantidade de água, logo maior é a umidade do solo.

3.3. Integração do sensor com o microcontrolador

A integração dos dois sensores é feita de maneira distinta. Para o sensor de umidade do solo, o procedimento é mais simples, basta fazer a coleta de um sinal analógico no microcontrolador, quanto maior a tensão, maior a umidade. Empiricamente definiu-se uma umidade de 100%, com o solo encharcado, e através de uma equação linear, definiu-se a umidade percentual em termos da tensão lida.

Já o sensor de umidade relativa do ar e de temperatura, o DHT11, tem um funcionamento mais sofisticado, que envia dados digitais ao microcontrolador, demandando a utilização de uma biblioteca. Se os valores recebidos são válidos, não sendo NaN (*not a number*), tais dados podem ser utilizados, essa verificação é realizada no software. Este sensor já vem calibrado de fábrica.

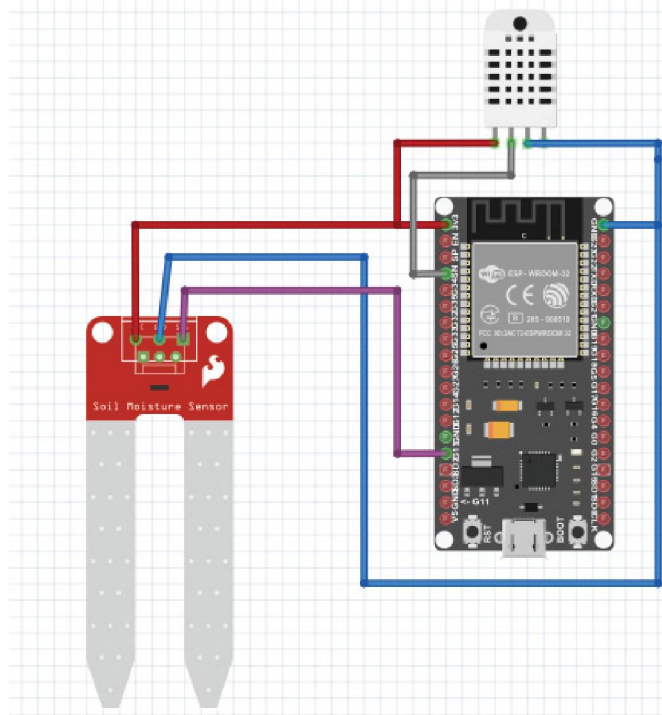
FIGURA 5 – LIGAÇÃO ELÉTRICA DO SENSOR DHT11



FONTE: Aosong (2021).

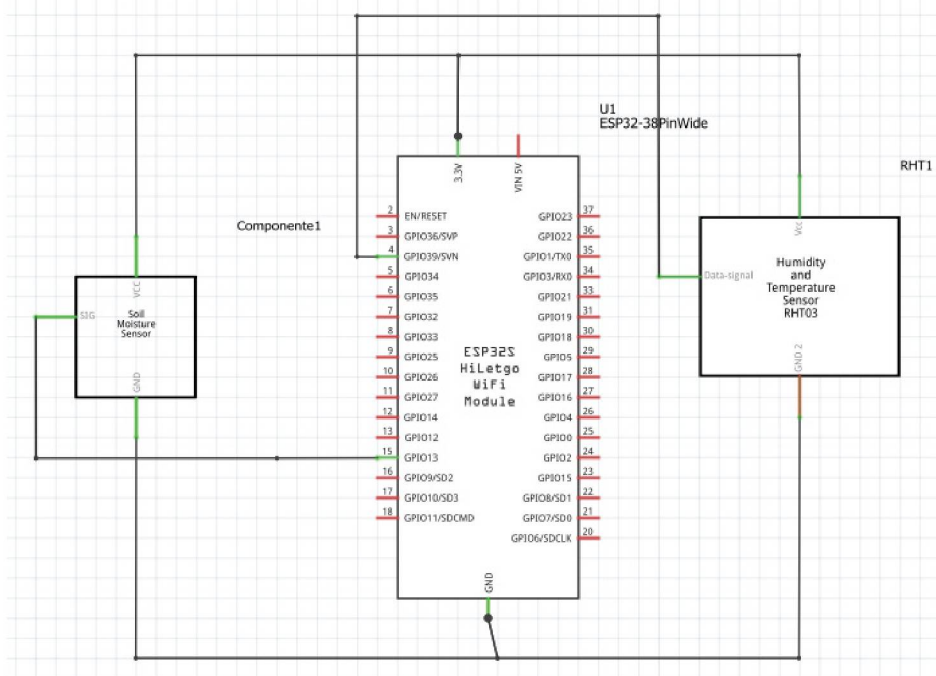
A ligação foi realizada conforme esquemas das FIGURA 6 e FIGURA 7, alimentando e recebendo o sinal de cada sensor. O microcontrolador foi alimentado através da entrada micro USB do microcontrolador. Os esquemas de ligação foram realizados no software Fritzing.

FIGURA 6 – LIGAÇÃO ESQUEMATICA ENTRE SENSORES E MICROCONTROLADOR



FONTE: O autor (2021).

FIGURA 7 – LIGAÇÃO ESQUEMATICA TÉCNICA ENTRE SENSORES E MICROCONTROLADOR



FONTE: O autor (2021).

Foi verificado que as medidas do sensor DHT11 apresentava grande variação de medidas de uma amostra para a outra, em especial para a umidade relativa do ar.

Portanto, foi utilizado uma média de dez medidas do sensor para cada amostra enviada.

O microcontrolador escolhido permite a fácil expansão do sensoriamento, pois possui diversas portas disponíveis, tornando o sistema escalável e modular, utilizando os sensores necessários para cada aplicação.

Os dados dos sensores são coletados periodicamente, tal período pode ser facilmente modificado no código. Para fins de protótipo, o tempo de coleta das variáveis é de aproximadamente 5 segundos, devido à estabilidade de conexão, no entanto, como as variáveis em questão apresentam uma dinâmica lenta, característica de plantas térmicas e de umidade, o tempo entre amostras não precisa ser na ordem de segundos, mas sim de minutos. Portanto, futuramente tal período pode ser expandido, resultando em uma maior autonomia de bateria. Tal tempo pode ser de 5 min entre as amostras, assim como demonstrado por Pacidi et al. (2021).

3.4. Integração do microcontrolador com a internet

Para a conexão do microcontrolador com a internet, a escolha do modelo foi essencial por já possuir rede WiFi, facilitando a conexão em redes domésticas. Tal procedimento foi realizado utilizando uma biblioteca padrão para o ESP32, inserindo-se a rede WiFi e a senha dela.

3.5. Configuração de um servidor de recebimento de dados na nuvem

Segundo Stanford-Clark e Truong (2013), o protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) é um protocolo ideal para aplicações IoT, pois é leve e aberto. O MQTT se baseia em tópicos, que permitem inscrições e publicações. O nó do sensor publica periodicamente seus dados nos tópicos relevantes, tópico temperatura, por exemplo. Já um cliente, se inscreve nos tópicos desejados, recebendo, a partir desse momento, todas as mensagens publicadas nos mesmos.

Ainda de acordo com Stanford-Clark e Truong (2013), para a aplicação do protocolo é necessário que exista um *broker*, ou servidor. Este elemento é o

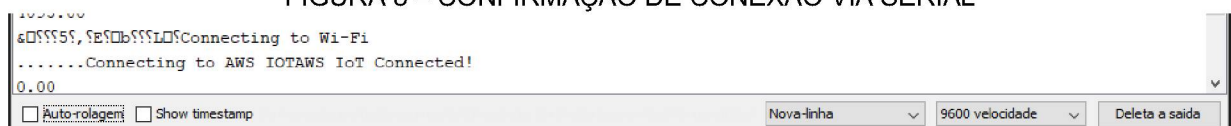
responsável por gerir todo o processo de inscrições e publicações. Para o protótipo, foi escolhido um *broker* MQTT gratuito para testes, que roda em nuvem, o AWS IoT Core, que possui a funcionalidade gratuita por um ano. A plataforma foi escolhida devido a familiaridade dos integrantes da equipe, assim como grande presença no mercado de nuvem e IoT.

Segundo a AWS (2021), para a conexão de um dispositivo IoT, é necessário gerar certificados digitais, que garantem a autenticidade dos dispositivos conectados. Os nós da rede enviam os dados sob a criptografia TLS 1.2, garantindo que os dados não podem ser lidos fora da conexão *client – broker*.

A programação do microcontrolador para que ele envie os dados para a nuvem foi baseada no código e exemplo disponível na AWS (2021b). O código foi alterado para conter também a leitura dos sensores e as particularidades da configuração da nuvem.

Após a energização, o microcontrolador envia seu status via serial, que pode ser visto na FIGURA 8 , logo é possível verificar com um monitor serial corretamente configurado se a conexão com o WiFi e com o MQTT broker no AWS foram bem-sucedidas.

FIGURA 8 – CONFIRMAÇÃO DE CONEXÃO VIA SERIAL

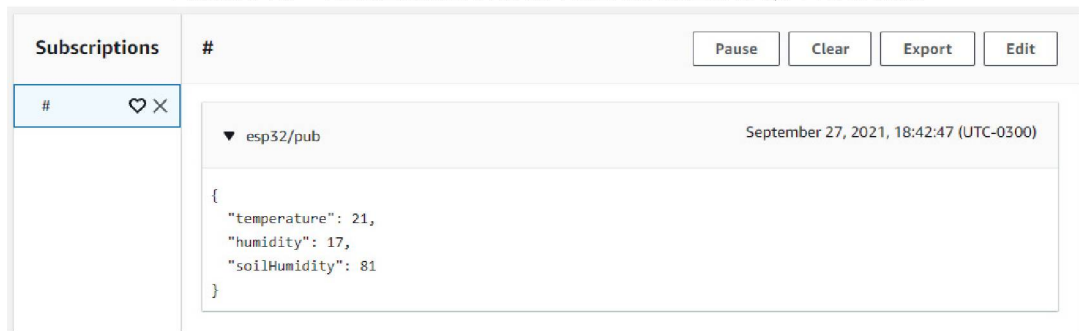
A screenshot of a serial monitor interface. The text displayed in the main window is: "Connecting to Wi-Fi", ".....Connecting to AWS IOT AWS IoT Connected!", and "0.00". At the bottom of the window, there are several controls: a checkbox for "Auto-rolagem" (unchecked), a checkbox for "Show timestamp" (unchecked), a dropdown menu set to "Nova-linha", a dropdown menu set to "9600 velocidade", and a button labeled "Deleta a saida".

```
Connecting to Wi-Fi
.....Connecting to AWS IOT AWS IoT Connected!
0.00
```

FONTE: O Autor (2021).

Em seguida, foi verificado na plataforma AWS IoT se as mensagens MQTT estavam de fato chegando ao destinatário. Para tal, na aba *test*, foi feita a inscrição em todos os tópicos, representado pelo símbolo #. O teste pode ser visto na FIGURA 9.

FIGURA 9 – RECEBIMENTO DA MENSAGEM MQTT NA AWS



FONTE: O Autor (2021).

Como pode ser visto na imagem acima, a mensagem foi recebida com sucesso, portanto, pôde-se seguir para a próxima etapa.

3.6. Interface com o usuário

Para a interface com o usuário, foi escolhida uma visualização web, segundo Hechtman (2006), uma interface web é um sistema com muitas vantagens, podendo rodar em qualquer dispositivo que possua um *browser* e acesso ao servidor, não requer instalações, como no caso de aplicativos, nem licenças.

Combinando o conceito de interface web com o de nuvem, podemos ter acesso à interface do usuário de qualquer ponto com acesso à internet.

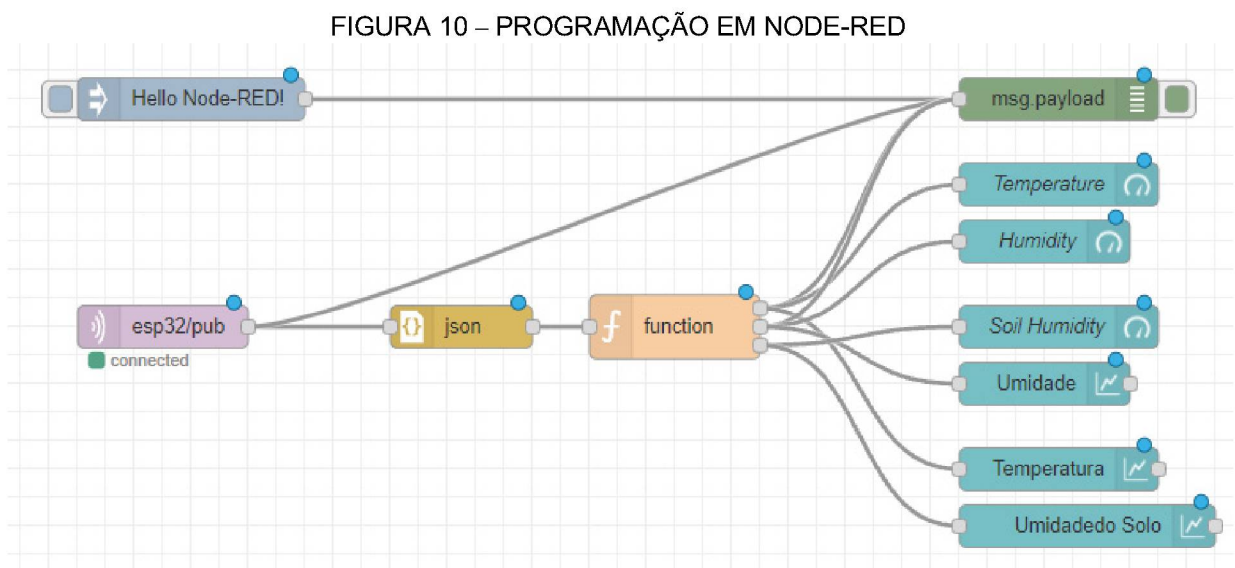
Para a execução da interface, foi buscado um sistema gratuito, de fácil programação e que rodasse na nuvem. Todos esses itens são atendidos pela linguagem de programação Node-RED, trata-se de uma linguagem baseada em blocos, de fácil execução e aprendizado, desenvolvida pela IBM justamente para aplicações em nuvem (NODE-RED, 2021). Tal ferramenta também gera uma interface de usuário em web, baseada em HTML5, CSS3 e *Javascript*, no entanto, não é necessário programar em nenhuma dessas linguagens, sendo preciso apenas utilizar uma biblioteca específica – *node-red-dashboard*.

Utilizou-se esse serviço rodando gratuitamente na nuvem da IBM, a IBM Cloud, assim, um endereço é disponibilizado, sendo possível acessar a interface e programar a partir de qualquer dispositivo com acesso à internet e um browser.

A programação se divide em três etapas:

1. MQTT cliente: se conecta ao broker MQTT e se inscreve nos tópicos relevantes;
2. Tratamento dos dados: os dados são recebidos em json, um formato no qual todas as informações vêm aglomerados em um texto, logo é necessário tratar a mensagem recebida, a fragmentando nas variáveis existentes, no caso, temperatura, umidade relativa do ar e umidade do solo;
3. Criar a interface: criar elementos gráficos para dispor os dados, mostradores numéricos e gráficos no tempo foram utilizados.

A programação realizada pode ser vista na FIGURA 10.



FONTE: O Autor (2021).

Após compilado, a interface gráfica é gerada, podendo ser acessada tanto de um dispositivo móvel quanto de um computador, pois a interface se adapta automaticamente. A interface do usuário pode ser vista na FIGURA 11.

FIGURA 11 – INTERFACE ACESSADA ATRAVÉS DE UM COMPUTADOR E DE UM CELULAR

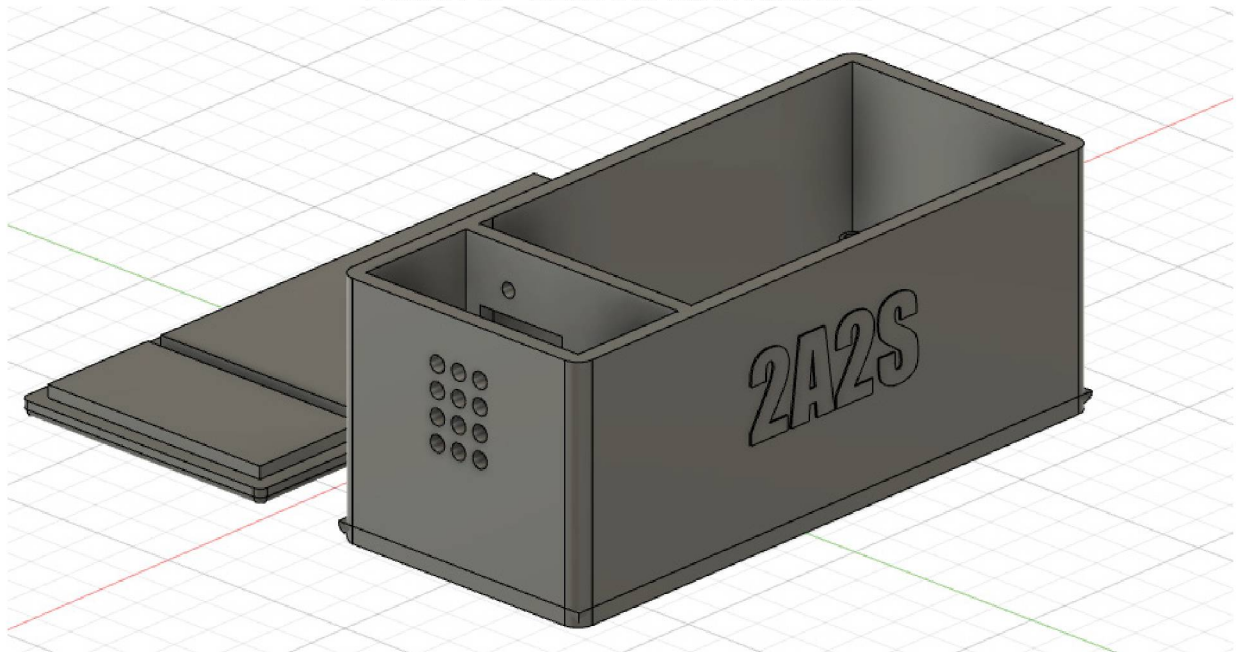


FONTE: O Autor (2021).

3.7. Desenho do encapsulamento

Ao dispor o dispositivo no campo, mesmo que em uma estufa coberta, é necessário um encapsulamento para o produto, para proteger a eletrônica da água, umidade e partículas. Para tal, foi projetado um invólucro a ser impresso em 3D no software Fusion 360, da Adobe, que pode ser visto na FIGURA 12. Tal equipamento possui duas áreas. Uma para a alocação do microcontrolador – e em versões posteriores a bateria, mais protegido. Uma segunda área para abrigar o sensor de temperatura e umidade, que o protege ao mesmo tempo que permite a troca de ar e energia com o ambiente.

FIGURA 12 – DESENHO DO INVÓLUCRO



FONTE: O Autor (2021).

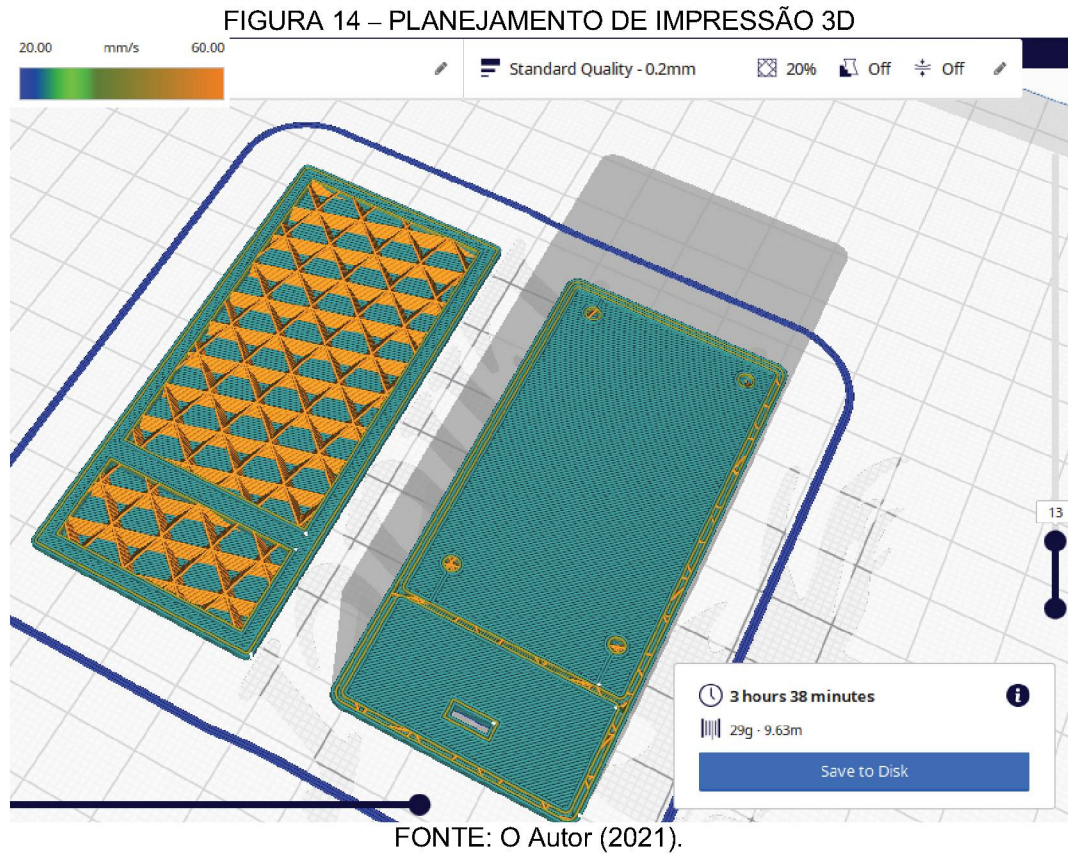
No planejamento da impressão em 3D do objeto, foi considerado o material PLA, uma vez que o objeto não sofrerá impactos, ao mesmo tempo que o PLA é um material amplamente disponível, barato e biodegradável (3D LAB, 2019). A comparação pode ser vista na FIGURA 13.

FIGURA 13 – COMPARAÇÃO ENTRE TIPOS DE MATERIAS PARA IMPRESSÃO 3D



FONTE: 3D Lab (2019).

O planejamento da impressão foi realizado no software Ultimaker Cura 4.10, considerando uma velocidade de impressão mais lenta nas camadas exteriores, apresentando maior qualidade, e uma velocidade maior nas camadas interiores, diminuindo o tempo de impressão. Chegou-se a um tempo 3 horas e 38 minutos para o processo, gastando 29 g de filamento. Considerando um preço médio de 129 reais por quilo, em outubro de 2021, o produto apresenta um custo de material de 3,67 reais, desconsiderando mão de obra e energia elétrica. O planejamento pode ser visto na FIGURA 14.



3.8. Manufatura do encapsulamento

A impressão foi realizada em uma impressora 3D Creality Ender 3, utilizando filamento PLA cinza da marca 3DX. A impressão durou 3 horas e 32 minutos. O resultado pode ser visto na FIGURA 15.

FIGURA 15 – INVÓLUCRO IMPRESSO EM 3D

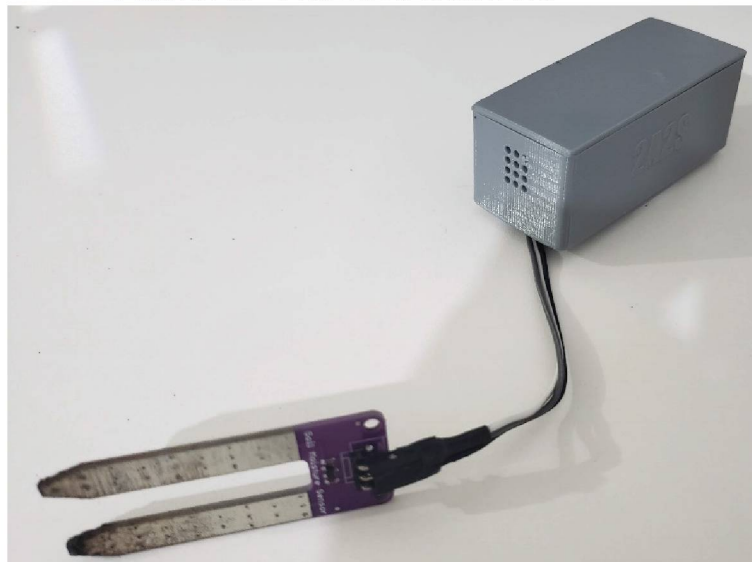


3.9. Integração

Após a impressão em 3D e conexões eletrônicas, foi possível realizar a integração dos componentes físicos. Para a conexão dos componentes eletrônicos foram utilizados *jumpers* de conexão rápida, facilitando a montagem, e garantindo fácil reparabilidade.

Na FIGURA 16 é possível visualizar o produto acabado, com a eletrônica incorporada no invólucro e o sensor de umidade de solo exposto.

FIGURA 16 – PRODUTO MONTADO



FONTE: O Autor (2021).

3.10. Análise de custos

Após a montagem do protótipo, foi possível reunir os custos na TABELA 1. Os custos dos componentes foram obtidos do preço médio praticado no site Mercado Livre, em novembro de 2021.

TABELA 1 - CUSTOS

Componente	Valor [R\$]
Microcontrolador ESP32	42,20
Sensor de temperatura e umidade relativa do ar DHT11	14,00
Sensor de umidade do solo	16,50
Fios para conexão rápida (<i>jumpers</i>)	2,40
Invólucro	3,67
TOTAL	78,77

FONTE: O Autor (2021).

O custo total de 78,77 reais representa o protótipo, para um eventual produto a ser comercializado, o custo pode ser diminuído drasticamente, com componentes otimizados, placas de circuito impresso sob medida e compras em quantidade. No entanto, um produto teria custos adicionais, como plataforma na nuvem, logística e mão de obra, os quais não foram analisados neste trabalho.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizados testes com o protótipo em uma planta residencial, localizada dentro de um ambiente fechado. O sensor de solo foi inserido, e a alimentação via micro USB foi conectada, como pode ser observado na FIGURA 17.

FIGURA 17 – EQUIPAMENTO EM USO



FONTE: O Autor (2021).

Os resultados foram observados ao longo de um mês, sendo acessados na interface gráfica a partir de lugares e dispositivos distintos, via internet, evidenciando a facilidade de verificar os dados remotamente.

Na

FIGURA 18, é possível ver graficamente a leitura de umidade do solo, que estava em 27%, com a terra seca, no momento que água foi despejada no vaso de planta, é possível ver o aumentado da leitura chegando a 76%, evidenciando a resposta do sensor.

FIGURA 18 – GRÁFICO DE UMIDADE DO SOLO



FONTE: O Autor (2021).

Na FIGURA 19 é possível ver a leitura de umidade relativa do ar, percebe-se que ocorreram eventos de instabilidade, que advêm da leitura do sensor, ainda que a média de 10 medidas esteja sendo calculada para cada amostra. Logo, assume-se que o sensor de umidade relativa do ar não possui uma grande confiabilidade, com baixa precisão.

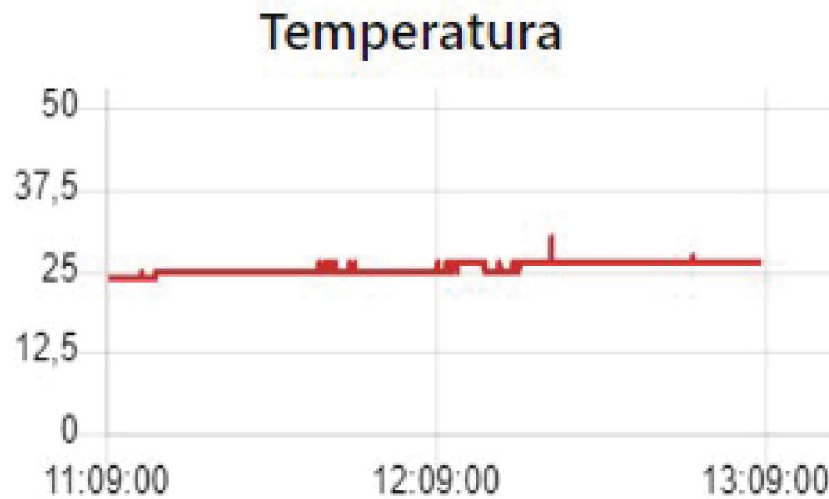
FIGURA 19 – GRÁFICO UMIDADE RELATIVA DO AR



FONTE: O Autor (2021).

Já para a temperatura, como pode ser observado na FIGURA 20, os valores apresentam uma estabilidade bem maior.

FIGURA 20 – GRÁFICO DE TEMPERATURA



FONTE: O Autor (2021).

Logo, verificando os valores e comportamento temporal de cada variável, o agricultor pode realizar a irrigação de maneira mais adequada às necessidades da planta.

Em relação ao invólucro, foi possível observar que a tampa do mesmo não se encaixa perfeitamente. Logo, melhorias podem ser feitas ao modelo 3D, como, por exemplo, um sistema de encaixe.

5. CONCLUSÕES

Ao fim da construção do protótipo, foi possível validar o funcionamento do mesmo, proporcionando o acompanhamento das variáveis da planta à distância. Assim, o agricultor, ou qualquer interessado em tal informação, pode acompanhar os dados referentes à irrigação da cultura de qualquer lugar do mundo com acesso à *internet*.

A grande contribuição de tal sistema vem de seu baixo custo, que pode ser replicado e utilizado por pessoas em suas residências ou até mesmo por agricultores, além de sua fácil expansão, permitindo adicionar novos sensores e atuadores, para monitorar e até mesmo controlar o cultivo de maneira remota e automática.

5.1. Sugestões de trabalhos futuros

Para trabalhos futuros, é possível seguir com o desenvolvimento do produto:

- Adicionar mais sensores para variáveis relevantes ao sistema;
- Utilizar uma bateria para gerar independência de uma conexão de energia;
- Melhorar o desenho do invólucro;
- Utilizar sensores de melhor qualidade;
- Realizar um sistema de aviso, quando as variáveis atingirem o limite para determinado tipo de cultura selecionada;
- Realizar uma rede *mesh*, aumentando o alcance da rede;
- Implementar na interface um sistema de alerta de irrigação, indicando momento e quantidade de água a ser utilizada na irrigação (mL), se adequando à cultura selecionada.

O produto também pode ser utilizado em trabalhos que necessitem medir as variáveis citadas, fornecendo um acesso à distância aos dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3D LAB, **Guia de comparação dos filamentos para impressora 3D!**, 3D Lab, 2019. Acessado em 16 de outubro de 2021. Disponível em: <<https://3dlab.com.br/comparativo-filamentos-para-impressora-3d/>>

AKYILDIZ, Ian F. et al. Wireless sensor networks: a survey. Computer networks, v. 38, n. 4, p. 393-422, 2002.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília, 2017.

ANDRIOLO, J.L. **Fisiologia das culturas protegidas**. Santa Maria, Editora UFSM, 1999. 141p.

HECHTMAN, Steven A., **Web-based HMI: An emerging trend?**, Automation.com, 2006. Acessado em 27 de setembro de 2021. Disponível em: <<https://www.automation.com/en-us/articles/2003-1/web-based-hmi-an-emerging-trend>>

AWS, AWS IoT Core, Acessado em: 9 de setembro de 2021. Disponível em: <<https://aws.amazon.com/pt/iot-core/>>

AWS, Building an AWS IoT Core device using AWS Serverless and an ESP32, Acessado em: 9 de setembro de 2021. Disponível em: <<https://aws.amazon.com/pt/blogs/compute/building-an-aws-iot-core-device-using-aws-serverless-and-an-esp32/>>

AOSONG, DHT11, Acessado em: 19 de agosto de 2021. Disponível em: <https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_DHT11.pdf#_ga=2.73347984.2078546443.1497268937-758355933.1447343143>

BAGGIO, Aline. Wireless sensor networks in precision agriculture. In: ACM Workshop on Real-World Wireless Sensor Networks (REALWSN 2005), Stockholm, Sweden. 2005. p. 1567-1576.

BALBINO, A. **3 formas de fazer o manejo da irrigação na lavoura**. AgroSmart Blog, 2016. Disponível em: <<https://agrosmart.com.br/blog/3-formas-de-fazer-o->> Acesso em: 03 jul. 2021.

CASSILHAS, A. M. **Determinação da eficácia luminosa natural e da variação das condições de exposição de superfícies transparentes à luz**. Viçosa-MG: Universidade Federal de Viçosa, PIBIC, CNPq, 2000, 48p. (Relatório final)

CERMEÑO, Z. S. **Cultivo de plantas Hortícolas em estufa**. Portugal: Litexa. 1977. 368p.

COLINA, A. L.; VIVES, A.; BAGULA, A.; ZENNARO, M.; PIETROSEMOLI, E. lot in five days. E-Book, June, 2016.

DE CLERCQ, Matthieu; VATS, Anshu; BIEL, Alvaro. Agriculture 4.0: The future of farming technology. Proceedings of the World Government Summit, Dubai, UAE, p. 11-13, 2018.

FERREIRA, M. E.; CASTELLANE, P.D.; PESSÔA, M.C. **Nutrição e adubação de hortaliças**. Anais do Simpósio sobre nutrição e adubação de hortaliças. Associação Bras. Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba – SP.1993. 488p.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo Manual de Olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. UFV, Viçosa – SP. 2008. 402p.

FILHO, Aldir Carpes Marques. **Sistema de automação e controle inteligente para cultivo protegido – tecnologia acessível ao pequeno produtor**. 2017. P. 134. Dissertação de mestrado - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

NEVES, E.; GUITIERRES, M.I.A. - UNEMAT. **A importância do monitoramento da umidade do solo através de sensores para otimizar a irrigação nas culturas**. Nova Mutum, 2021.

NODE-RED. **Node-RED: Flow-based programming for the Internet of Things**. 2018. Acessado em: 27 de setembro de 2021. Disponível em: <<https://nodered.org/about/>>.

NUNES, Bruno Turin Mori Capaverde; ROLIM, Ivan Lucas Batista; ROSA, Matheus Kunhavalik da. Rede de sensores sem fio aplicada a meteorologia florestal. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

OJHA, Tamoghna; MISRA, Sudip; RAGHUWANSHI, Narendra Singh. Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. Computers and electronics in agriculture, v. 118, p. 66-84, 2015.

GUATIMOSTIM, Paula. **Manual: Planejamento da Horta**. Cio Orgânicos, 2013. Disponível em: < <https://ciorganicos.com.br/biblioteca/manual-horta/>> Acesso em: 23 nov. 2021.

PLACIDI, Pisana et al. Monitoring Soil and Ambient Parameters in the IoT Precision Agriculture Scenario: An Original Modeling Approach Dedicated to Low-Cost Soil Water Content Sensors. Sensors, v. 21, n. 15, p. 5110, 2021.

SANQUETTA, C. R. et al. Inventários florestais: planejamento e execução. Curitiba: Multi-Graphic, v. 2, 2009.

SENAR- Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. **Irrigação: gestão e manejo**. / Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. Brasília: Senar, 2019.

SOFI, FAO. **The state of food security and nutrition in the world**. Global Food Insecurity Report. Rome. FAO, SOFI, 2021.

STAFFORD, John V. Implementing precision agriculture in the 21st century. Journal of agricultural engineering research, v. 76, n. 3, p. 267-275, 2000.

STANFORD-CLARK, A.; TRUONG, H. L. Mqtt for sensor networks (mqtt-sn) protocol specification. International business machines (IBM) Corporation version, v. 1, 2013.

WIKIPEDIA. **Palm House**. 2021. Acessado em 23 de novembro de 2021. Disponível em: < https://en.wikipedia.org/wiki/Palm_house>.