

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

JOÃO VICTOR FRUTUOSO KUHNEN

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DE UMIDADE DO SOLO MONITORADO
POR APLICATIVO WEB**

TOLEDO

2022

JOÃO VICTOR FRUTUOSO KUHNEN

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DE UMIDADE DO SOLO MONITORADO
POR APLICATIVO WEB**

Monitoring System of Soil Moisture by Web App

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Eletrônica
do Curso de Bacharelado em Engenharia
Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal
do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Felipe Walter Dafico
Pfrimer

**TOLEDO
2022**



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

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

JOÃO VICTOR FRUTUOSO KUHNEN

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DE UMIDADE DO SOLO MONITORADO
POR APLICATIVO WEB**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Eletrônica
do Curso de Bacharelado em Engenharia
Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal
do Paraná.

Data de aprovação: 13/dezembro/2022

Felipe Walter Dafico Pfrimer
Doutorado em Engenharia Elétrica
Universidade Estadual de Campinas

Marcos Roberto Bombacini
Doutorado em Métodos Numéricos em Engenharia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Sofia Moreira de Andrade Lopes
Mestrado em Engenharia Elétrica
Universidade de São Paulo

TOLEDO
2022

Dedico este trabalho a minha família e amigos
que sempre me apoiaram e foram
fundamentais para que eu pudesse chegar até
aqui.

AGRADECIMENTOS

Um agradecimento especial ao Prof. Dr. Felipe Walter Dafico Pfrimer que aceitou participar dessa etapa importante da minha graduação como meu orientador, pela paciência e pelos conselhos durante as iniciações científicas e também para que esse trabalho fosse executado com sucesso.

Aos meus pais, Adriana e Ederson por me apoiar e ser os principais exemplos de persistência, dedicação e que me possibilitaram alcançar meus objetivos durante todos esses anos.

Aos meus irmãos Annie e Arthur por ter me proporcionado momentos de descontração e companhias mesmo com a distância.

À Gabrielly, minha amiga de infância e grande responsável por me proporcionar ótimas competições de desempenho acadêmico desde o ensino fundamental.

À Milena, que me acompanha e apoia desde o ensino médio sempre acreditando no meu potencial. Obrigado pelo carinho, conselhos e reciprocidade.

Às queridas amigas, Eduarda e Emilly que foram referência de dedicação, esforço, superação e sempre me ajudaram quando precisei.

Às famílias Simonis e Gavião por me fazerem sentir parte da família. Em especial à Clarice, que foi como uma segunda mãe para mim e sempre será lembrada por ter sido uma pessoa incrível.

Agradeço a banca de TCC, Prof. Dr. Marcos Roberto Bombacini e Prof^a. Ma. Sofia Moreira de Andrade Lopes, por contribuírem com o trabalho.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelo ensino com professores excelentes que puderam transmitir um pouco do conhecimento como docentes.

RESUMO

A água é um recurso natural essencial para a manutenção da vida, por isso seu uso deve ser feito de maneira consciente. Frente as crises hídricas no país, cada vez mais existe a necessidade do manejo eficiente da água e com isso surgem pesquisas e tecnologias que visam reduzir o desperdício desse recurso. O teor de umidade do solo é um fator determinante para diversas áreas como: na agricultura é uma variável que influencia diretamente no bom crescimento das plantas, com ele pode-se fazer o manejo adequado da água utilizado para adequar a quantidade de água disponível para as plantas; na construção civil é utilizado para planejar e executar obras; e no controle de desastres naturais. Porém, em alguns casos, essa informação pode ser de difícil acesso por questões de custo de equipamento e necessidade de nível técnico avançado. Em muitos casos os sistemas de irrigação funcionam em períodos programados que podem causar excesso ou a escassez de água, pois caso não haja a manutenção do acionamento do sistema nas diferentes épocas do ano o volume de água utilizado será diferente do necessário para o crescimento da plantio. Com isso, o objetivo desse trabalho foi o desenvolvimento uma ferramenta que auxilie na aferição do teor de umidade do solo, que seja de fácil utilização e que ajude no manejo de água do campo podendo ser utilizado também para ajustar os sistemas de irrigação.

Palavras-chave: monitoramento; solo; umidade; aplicativo; microcontrolador.

ABSTRACT

Water is an essential natural resource for the maintenance of life, so its use must be done consciously. Facing with water crises in the country, there is an increasing need for efficient water management and thus appears research and technologies that aim to reduce the waste of this resource. The moisture content of the soil is a determining factor for several areas such as: in agriculture it is a variable that directly influences the good growth of the plants, with it it is possible to make the proper handling of the water used for adjust the amount of water available to the plants; in construction is used for plan and execute works and in the control of natural disasters. However, in some cases, this information may be difficult for the producer to access due to equipment cost issues and the need for an advanced technical level. Irrigation is a technique used to supply the lack of rainfall and also as a complement to it. In many cases the irrigation systems run on scheduled periods that can cause excess or shortage of water for the plant, because if there is no maintenance of activation system, at different times of the year the volume of water used will be different from that needed for the plant growth. Therefore, the objective of this work is to develop a tool that assist in the measurement of soil moisture content, which is easy to use and which helps in the field water management and can also be used to adjust irrigation systems.

Keywords: monitoring; soil; humidity; application; microcontroler.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de Ponto de Murcha	14
Figura 2 – Representação esquemática dos processos relacionados à irrigação .	17
Figura 3 – Diagrama de sinais em um sensor	18
Figura 4 – Vista frontal de um sensor capacitivo	19
Figura 5 – Disposição do Hardware	21
Figura 6 – Circuito simplificado do sensor capacitivo de umidade de solo (SCUS)	22
Figura 7 – Amostras para obtenção da umidade	23
Figura 8 – Amostra 10ml de água	24
Figura 9 – Diagrama de Blocos do Sistema Proposto	24
Figura 10 – Diagrama de blocos de funcionamento do programa	25
Figura 11 – Comparação das amostras de solo: (a) Amostra com 10 ml de água, (b)	
 Amostra com 20 ml de água	29
Figura 12 – Comparação das amostras de solo: (a) Amostra com 30 ml de água, (b)	
 Amostra com 40 ml de água	30
Figura 13 – Gráfico de Umidade	30
Figura 14 – Tela do aplicativo	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Massa das amostras de solo seco	27
Tabela 2 – Valores obtidos com 10 ml de água	27
Tabela 3 – Valores obtidos com 20 ml de água	28
Tabela 4 – Valores obtidos com 30 ml de água	28
Tabela 5 – Valores obtidos com 40 ml de água	28
Tabela 6 – Comparação entre umidade de referência e do sistema de monitoramento	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Siglas

ADC	Conversor Analógico Digital, do inglês <i>Analogic Digital Conversor</i>
ANA	Agência Nacional de Águas
CGA	conteúdo gravimétrico de água
CVA	conteúdo volumétrico de água
ddp	diferença de potencial
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>
IDE	Integrated Development Environment
IP	Internet Protocol
PS	porção seca
PU	porção úmida
RC	resistor-capacitor
SCUS	sensor capacitivo de umidade de solo
TDR	Time Domain Reflectometry
TUS	teor de umidade do solo
Web	Web, do inglês Rede

LISTA DE SÍMBOLOS

LETRAS LATINAS

EBC Empresa Brasil de Comunicação

m_a massa da amostra úmida

m_s massa da amostra seca

v_a volume da amostra

g gramas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Justificativa	12
1.2	Objetivos	13
1.2.1	Objetivo geral	13
1.2.2	Objetivos específicos	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	A Importância da Água na Agricultura	14
2.2	Umidade do Solo	15
2.3	Irrigação	16
2.4	Sistemas Embarcados	17
2.4.1	Microcontroladores	17
2.4.2	Sensores	18
2.4.3	Sensores Capacitivos	18
2.4.4	Sensores de umidade capacitivos	19
3	MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1	Materiais	20
3.2	Métodos	20
3.2.1	Construção do Protótipo	20
3.2.2	Sensor Capacitivo de Umidade de Solo	21
3.3	Etapas do projeto para funcionamento do sistema	22
3.3.1	Procedimento de Calibração do Sensor de Umidade de Solo Capacitivo	23
3.3.2	Desenvolvimento do Algoritmo do ESP-32	23
3.4	Desenvolvimento do Aplicativo	26
4	RESULTADOS	27
4.1	Valores obtidos em laboratório	27
4.2	Características das amostras em relação ao volume de água adicionado	29
4.3	Calibração e validação dos dados do sensor	29
4.4	Funcionamento do aplicativo <i>Web</i>	30
4.5	Implementação do sistema	31
4.6	Análise da eficácia do dispositivo	31

4.7	Trabalhos relacionados	32
5	CONCLUSÃO	35
	REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

Á água é um recurso natural finito essencial para a manutenção da vida. Segundo a Empresa Brasil de Comunicação (EBC), no ano de 2021 o Brasil enfrentou a pior crise hídrica desde 1929, operando na geração de energia com apenas 19,59% nas regiões Sudeste e Centro-Oeste (RIBEIRO, 2021). As crises hídricas que aconteceram nos últimos anos no Brasil, como em março e maio de 2021 (GETIRANA; LIONATI; CATALDI, 2021), mostram o estado alarmante sobre a falta de água. Por esse motivo é importante que sejam desenvolvidos procedimentos e técnicas que possam tornar mais eficiente o uso da água visto que o país possui a maior reserva de água doce do planeta e tem a agricultura como uma das principais bases da economia no país (EURIQUES, 2019).

Mesmo que sejam reconhecidos os benefícios, ainda existe a dificuldade por parte dos produtores de dimensionar a importância da irrigação na agricultura, tanto em relação ao aumento de produção quanto na segurança alimentar (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2017).

As tecnologias de monitoramento e manejo de solo são amplas (GUTIERRES; NEVES, 2021). Porém, mesmo que existam variadas técnicas, em muitos casos os produtores não conseguem fazer uso de tal. No Brasil, a agricultura é a fonte de renda de muitas famílias, porém, no caso da agricultura familiar deve-se considerar o baixo nível de escolaridade e conhecimento técnico por parte dos produtores (COELHO *et al.*, 2013), além do custo elevado dos equipamentos.

A partir da necessidade de um manejo ideal dos recursos naturais para o plantio, o presente trabalho visa desenvolver uma ferramenta de monitoramento de umidade de solo de fácil utilização para auxiliar os produtores rurais no aumento de produção, redução de custos e consequentemente aumentar os lucros.

Para o desenvolvimento, utilizou-se componentes de baixo custo disponíveis no mercado. Foi montado um *hardware*, contendo o microcontrolador ESP32, responsável por fazer leituras de sinais captados por um sensor capacitivo de umidade de solo. Além da aquisição dos dados, o ESP32 é responsável por processar os sinais do sensor antes de enviá-los por *Wi-Fi* para um aplicativo *Web* onde é possível visualizar a umidade de solo em tempo real.

1.1 Justificativa

O monitoramento da umidade do solo é um fator que abrange diversas áreas como: planejamento e monitoramento na construção civil (BRADY; WEIL, 2013), controle de desastres naturais e agricultura, sendo a última uma das principais fontes de renda do Brasil (EURIQUES, 2019). Fatores como as recentes crises hídricas no Brasil comprovam que o uso eficiente e manejo da água são indispensáveis na agricultura, que representa 70% do consumo das reservas globais de água doce segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

Os métodos diretos e indiretos de determinação do teor de umidade do solo (TUS) têm vantagens e limitações (EURIQUES, 2019). Algumas das limitações são a falta de conhecimento técnico por parte do produtor, o difícil acesso de pelo alto valor do equipamento e também a inviabilização no envio de amostras para análise em laboratório. Sendo assim, organizações como a EMBRAPA buscam trazer ferramentas para ajudar pequenos e médios produtores que vivem por meio da agricultura familiar.

Ainda são poucos os dispositivos de valor acessível e que sejam práticos de usar (COELHO *et al.*, 2013), por isso, o presente trabalho pretende colaborar com o desenvolvimento de uma ferramenta simplificada e de fácil acesso para auxiliar os produtores no monitoramento do TUS.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um dispositivo de baixo custo (*hardware*) para leitura do TUS com uma interface em aplicativo Web, do inglês Rede (Web).

1.2.2 Objetivos específicos

Para o cumprimento do objetivo geral do trabalho foram traçados os objetivos específicos abaixo:

- Desenvolver um *hardware* para monitoramento da umidade do solo;
- Desenvolver um aplicativo Web em *HyperText Markup Language* (HTML) que se comunique com o hardware desenvolvido;
- Criar um código responsável pela aquisição dos dados do sensor e comunicação com o aplicativo Web;
- Determinar a curva de calibração do dispositivo;
- Validar o dispositivo com testes em laboratório e campo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são abordados conceitos básicos e fundamentais sobre a importância da água na agricultura, métodos de obtenção do teor de umidade do solo, irrigação e funcionamento de sensores.

2.1 A Importância da Água na Agricultura

Para as plantas, a água tem varias funções como reações metabólicas, fotossíntese, fosforilação oxidativa e também manter o turgor celular permitindo que a planta tenha rigidez e crescimento adequados. Por isso, o conhecimento da propriedades físico-químicas é indispensável. Seu excesso ou sua falta afetam diretamente no desenvolvimento das plantas. Dessa maneira, o monitoramento do nível de água no solo é imprescindível na otimização da produção agrícola (REICHARDT; TIMM, 2016).

A necessidade de água varia entre culturas, em algumas o plantio é feito com base em conhecimentos empíricos como na região do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, onde são mais comuns as culturas de soja e milho. Sendo assim, grande parte dos produtores não monitoram de maneira frequente a umidade do solo. Porém, existem regiões em que as chuvas não são suficientes e ainda possuem um solo com menor retenção de água (solos mais arenosos) existindo assim a necessidade da aferição da umidade com mais frequência.

Em algumas culturas mais sensíveis, o monitoramento de umidade do solo é fundamental, pois podem facilmente atingir o ponto de murcha permanente como mostrado na Figura 1, não sendo possível recuperar sua turgidez mesmo quando colocada em uma câmara de ambiente controlado (PEREIRA *et al.*, 2005). Outro fator importante é a capacidade de campo que é o limite máximo de retenção de água no solo após a drenagem gravitacional (REICHARDT; TIMM, 2016).

Figura 1 – Exemplo de Ponto de Murcha



Fonte: EMBRAPA, 2005.

2.2 Umidade do Solo

O TUS pode ser obtido basicamente de duas maneiras, a direta e a indireta, sendo o método de gravimetria considerado o padrão dos métodos diretos (JUNIOR *et al.*, 2013), mudando apenas as fontes utilizadas para o aquecimento. O método a ser escolhido dependerá das necessidades e da disponibilidade dos equipamentos.

Os métodos diretos são aqueles que removem ou separam a água do solo, fazendo uma medição direta de acordo com a água removida. A secagem, reações químicas e extração por solventes são formas de remover a água (COSTA, 2019). O método de determinação do TUS através da gravimetria pode ser obtido através da relação entre a massa de água e a massa de solo seco a partir da equação:

$$CGA = \frac{m_a - m_s}{m_s}, \quad (1)$$

onde:

CGA - conteúdo gravimétrico de água (CGA), em kg/kg; ;

m_a - massa da amostra úmida, em gramas [g];

m_s - massa seca da amostra obtida a 105 °C até atingir o peso constante, em g.

Outro método direto é por meio umidade em base volumétrica conteúdo volumétrico de água (CVA) que relaciona o volume de água com o volume de solo:

$$CVA = \frac{m_a - m_s}{v_a}, \quad (2)$$

ou ainda:

$$CVA = CGA \cdot D_s, \quad (3)$$

onde:

CVA - conteúdo volumétrico de água, em m³/m³, assumindo normalmente que o valor da densidade da água é igual a 1,00 g/cm³;

m_a - massa da amostra úmida, em g;

m_s - massa seca da amostra obtida a 105 °C, em g;

v_a - volume da amostra, em cm³;

D_s - densidade do solo, em g/cm³.

Existem diversos métodos indiretos para a estimativa da umidade do solo a partir da relação com outras propriedades do solo como a permissividade dielétrica relativa, condutividade elétrica e tensão de água no solo, por exemplo.

Um dos métodos indiretos é o uso do Time Domain Reflectometry (TDR), que consiste em explorar a permissividade do solo que está diretamente relacionada com o TUS. A técnica determina a permissividade elétrica do solo em domínio do tempo de propagação de um pulso eletromagnético (EURIQUES, 2019). O equipamento emite um pulso eletromagnético por meio de uma linha de transmissão terminada em hastes metálicas inseridas no solo no qual serão feitas as leituras dos sinais. A permissividade dielétrica determinada pelo TDR controla a velocidade de propagação da onda gerada no solo, então a partir de uma relação empírica ou semi-empírica é feita uma aproximação do TUS (COSTA, 2019).

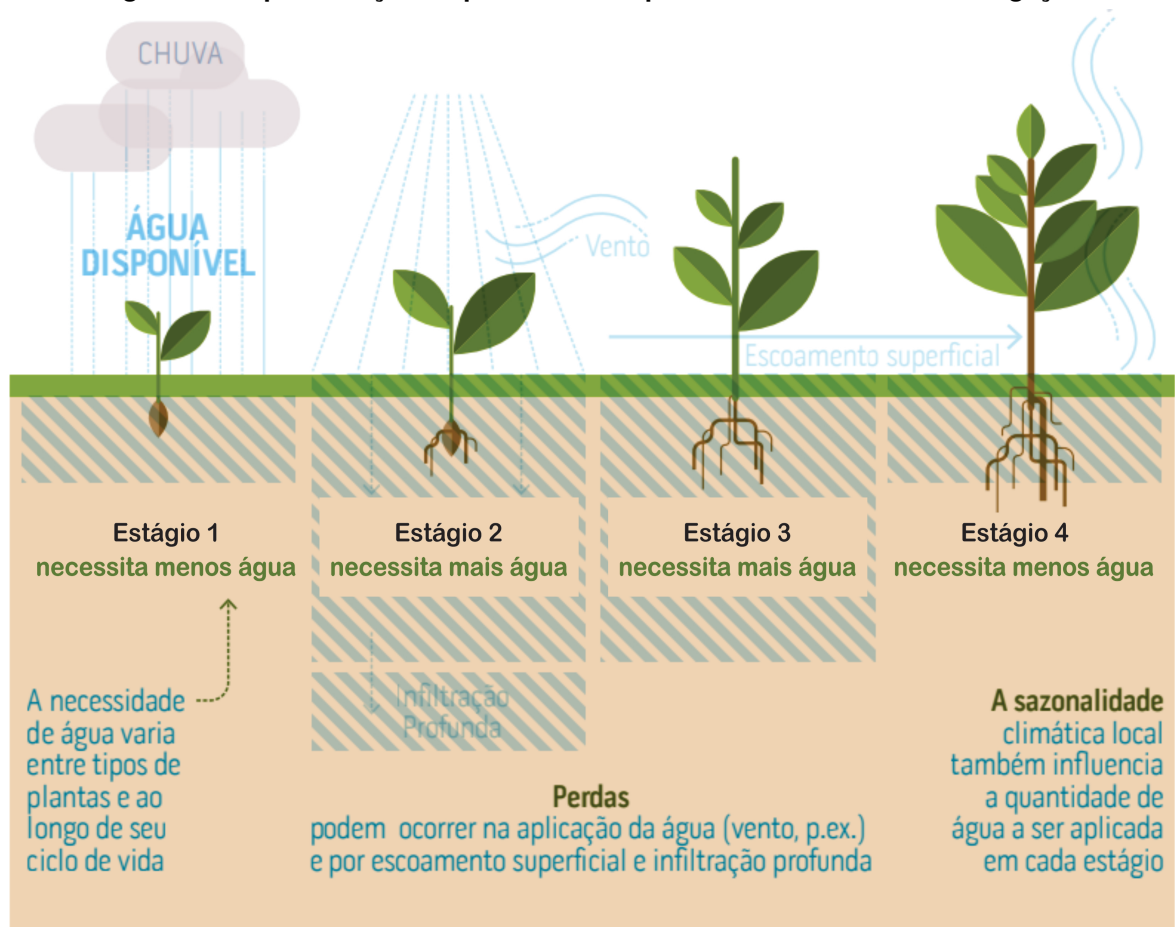
2.3 Irrigação

O termo irrigação possui várias definições fornecidas por diferentes autores ao decorrer da história das ciências agrícolas. O presente trabalho adotará o termo irrigação citado por Testezlaf (2017) como: "as técnicas, formas ou meios utilizados para aplicar água artificialmente às plantas, procurando satisfazer suas necessidades e visando a produção ideal para o seu usuário". O autor cita também que a irrigação em conceitos mais exigentes deve ser vista como uma ciência que tratará de maneira satisfatória a necessidade que as plantas possuem para uma produção ideal.

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA) (2017), no Brasil a irrigação teve início no Rio Grande do Sul, onde se firmou como importante polo de irrigação no país. A irrigação pode ser utilizada em regiões de baixa precipitação como no árido e semi-árido brasileiro sendo a principal fonte de água para o plantio e também como forma complementar a chuva nas regiões Sudeste e Centro-Oeste. A Figura 2 mostra o processo relacionado à irrigação, onde no primeiro estágio a planta necessita de menos água, no estágio 2 e 3 a planta tem maior necessidade de água, caso a disponibilidade de água no solo seja menor que a necessidade da planta a irrigação será utilizada, por ultimo no estágio 4 a planta necessita de menos água não sendo utilizado o sistema de irrigação.

Dentre os principais métodos de irrigação, podem ser citados: os por aspersão onde a água é aplicada sobre a folhagem da cultura e acima do solo (Pivô e Carretel), por superfície que utiliza a superfície do solo de forma parcial ou total para aplicação da água por ação da gravidade (Sulcos e Inundação), por aplicação localizada onde a água é aplicada em uma área limitada da superfície do solo (Gotejamento e Microaspersão), geralmente dentro da área sombreada pela copa das plantas e, o de subsuperfície ou subterrânea quando a água é aplicada abaixo da superfície do solo, dentro do volume explorado pelas raízes das plantas (Gotejamento Subterrâneo, Elevação do Lençol Freático e Mesas de Subirrigação) (TESTEZLAF, 2017).

Figura 2 – Representação esquemática dos processos relacionados à irrigação



Fonte: Adaptado de ANA, 2017.

2.4 Sistemas Embarcados

Segundo Oliveira e Andrade (2010), sistemas embarcados podem ser definidos como sistemas com capacidade de processamento de informações vindas de um *software* embarcado que está sendo processado internamente na própria unidade.

2.4.1 Microcontroladores

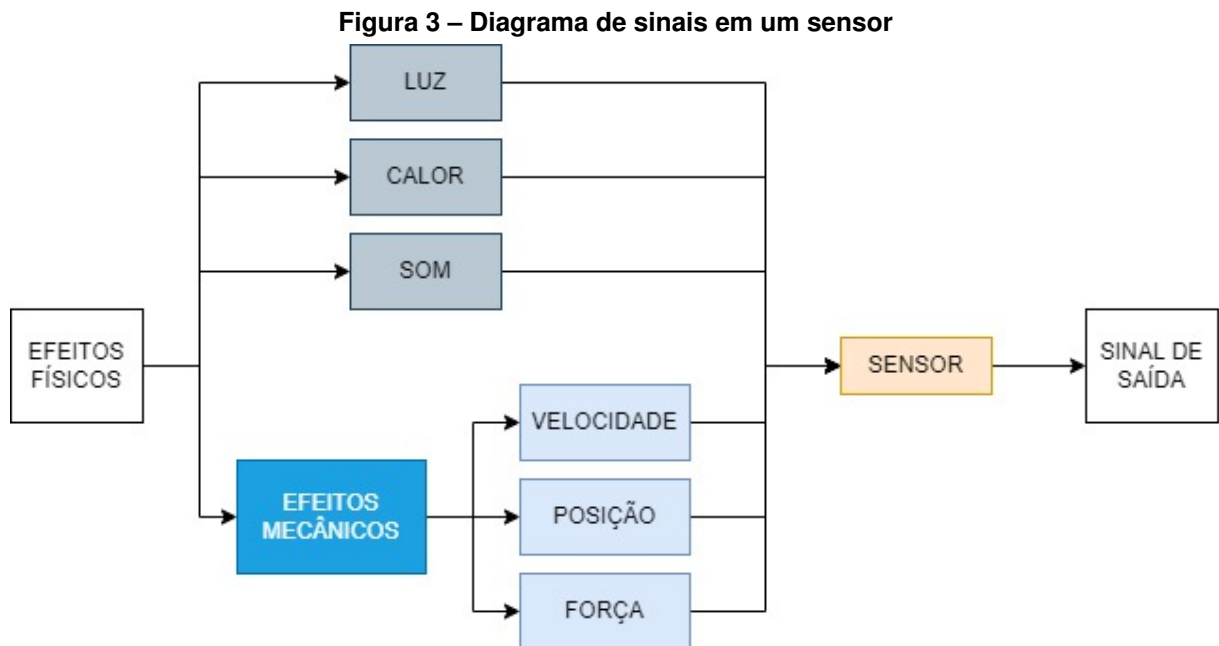
Os microcontroladores são dispositivos que em geral, possuem todos os periféricos necessários para funcionar em um só *chip* (ALMEIDA; MORAES; SERAPHIM, 2016; OLIVEIRA; ANDRADE, 2010). Esse dispositivo é grandemente utilizado em automação residencial, predial, industrial e diversas outras situações que seja necessário o controle de um dispositivo de sinais eletrônicos (OLIVEIRA; ANDRADE, 2010).

2.4.2 Sensores

Segundo Júnior e Silva (2015), sensores são dispositivos capazes de sentir a variação de uma grandeza física qualquer. Para a interpretação dos sinais dos sensores é necessário o uso dos transdutores que convertem o sinal de variação de entrada em um sinal elétrico de saída correspondente a grandeza física.

Os sensores podem ser classificados de diferentes formas como, por exemplo, quanto ao campo de aplicação, quanto à aplicação e função que realizam ou medem, quanto ao princípio de funcionamento, quanto a aplicação e etc (JÚNIOR; SILVA, 2015).

A Figura 3 mostra o diagrama de sinais em um sensor causados por efeitos físicos. Esses efeitos podem ser resultados de variações da luz, calor, som e a partir dessas variações o sensor produz sinais de saída. Efeitos mecânicos como velocidade, posição e força também são captados pelo sensor que produzirá valores relacionados à grandeza aferida.



Fonte: Tomazini adaptada, 2020.

2.4.3 Sensores Capacitivos

Os sensores capacitivos parte do princípio de armazenamento de energia entre duas ou mais placas (Figura 4) separadas por um meio dielétrico quando sujeitas a uma diferença de potencial (ddp) (TOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2020; JÚNIOR; SILVA, 2015). A variação da capacitância ocorrerá em resposta à variação de alguma propriedade física à qual seja submetida (COSTA, 2019) seja ela distância entre as placas ou o meio dielétrico contido entre as placas (BORIM; PINTO, 2019).

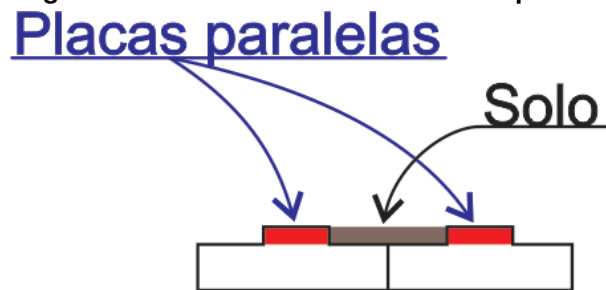
2.4.4 Sensores de umidade capacitivos

A utilização de sensores capacitivos de umidade é uma interessante e eficaz opção para a medição de umidade do solo. Isso porque evitam a corrosão, um frequente problema dos sensores resistivos de umidade (BORIM; PINTO, 2019).

Em geral, os sensores de umidade do solo resistivos efetuam as leituras de umidade com base na condutividade do solo. Sendo assim, quanto maior for a corrente que circula entre os dois condutores metálicos ligados à terra, maior será o valor da umidade. Consequentemente, o contato direto com o solo faz com que o sensor resistivo sofra corrosão, fator que influencia o funcionamento e a durabilidade do sensor (FREDERICO, 2022).

Em contraste, os sensores de umidade capacitivos realizam as leituras de umidade sem o contato direto com o elemento metálico do sensor. Com isso, uma camada externa anticorrosiva pode ser aplicada para proteger o sensor, favorecendo não só a durabilidade como também a qualidade das medições (FREDERICO, 2022; BORIM; PINTO, 2019).

Figura 4 – Vista frontal de um sensor capacitivo



Fonte: Autoria própria (2022).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão abordados os materiais e métodos utilizados para a validação do sistema, assim como a comunicação do microcontrolador ESP32 com os sensores e a comunicação e envio dos dados via *Wi-Fi*.

3.1 Materiais

No presente trabalho utilizou-se os seguintes materiais:

- Estufa: a estufa foi utilizada para fazer a secagem da amostra nas condições ideais;
- Balança de umidade: a balança de umidade foi utilizada como referência para calibração do SCUS;
- Sensor de Umidade de Solo Capacitivo (Capacitive Soil Moisture Sensor v1.2): o sensor foi utilizado para coletar os sinais relacionados à umidade do solo;
- Microcontrolador ESP32: o microcontrolador foi utilizado para processar os sinais obtidos pelo sensor de umidade e temperatura e pela comunicação sem fio com o servidor.
- Software Arduino como Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE do inglês Integrated Development Environment)

3.2 Métodos

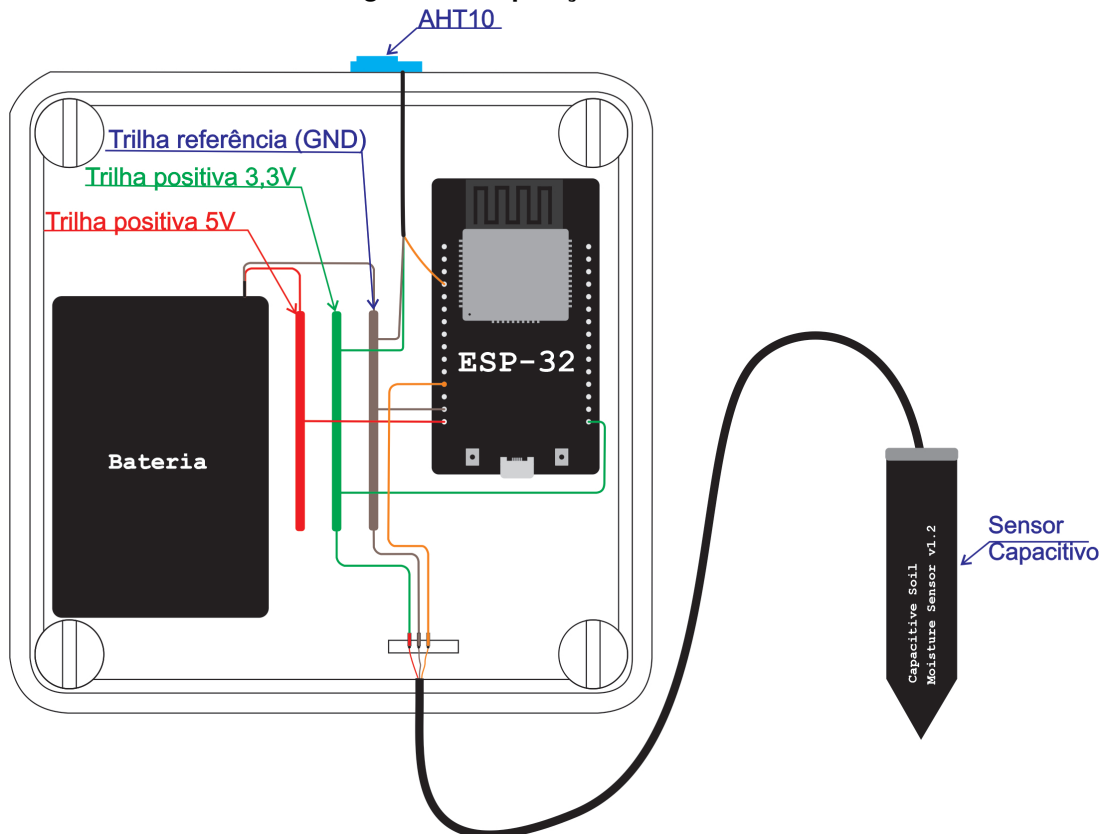
Neste capítulo serão abordados os métodos realizados para o projeto do hardware, calibração do sensor de umidade de solo, as etapas do projeto para o funcionamento do sistema *hardware* e aplicativo *Web*

3.2.1 Construção do Protótipo

A disposição dos módulos na construção do protótipo foi projetada conforme mostrado na Figura 5. Os componentes escolhidos serão acomodados em uma caixa plástica protegida contra poeira e jatos de água. Na região central da caixa serão dispostas trilhas de conexão 5,0 V representada na cor vermelho, 3,3 V na cor verde e referência na cor marrom, onde serão conectados a alimentação do sensor, bateria e do microcontrolador, as linhas de cor laranja representam a conexão de dados dos sensores ligados ao microcontrolador.

A alimentação foi feita através de um sistema de bateria recarregável que fornece uma tensão de 5V recarregável. Foi utilizado um módulo ESP-32 que consiste em um microcontrolador programável com microprocessador Tensilica Xtensa LX6 Dual-core, inclui uma antena

Figura 5 – Disposição do Hardware



Fonte: Autoria própria (2022).

integrada de rádio frequência (RF) do tipo *balun* para transmissão e recepção de dados através do sistema de conectividade *Wi-Fi* e *Bluetooth*, permitindo assim a comunicação entre módulos ESP-32 e outros dispositivos que tenham *Wi-Fi* ou *Bluetooth*. Será utilizado um sensor capacitivo para a leitura umidade do solo, *Capacitive Soil Moisture Sensor 1.2*, calibrado a partir de análises feitas por métodos convencionais em estufa e balança de umidade, enviando os sinais ao ESP-32 que por sua vez enviará os dados coletados para um aplicativo.

3.2.2 Sensor Capacitivo de Umidade de Solo

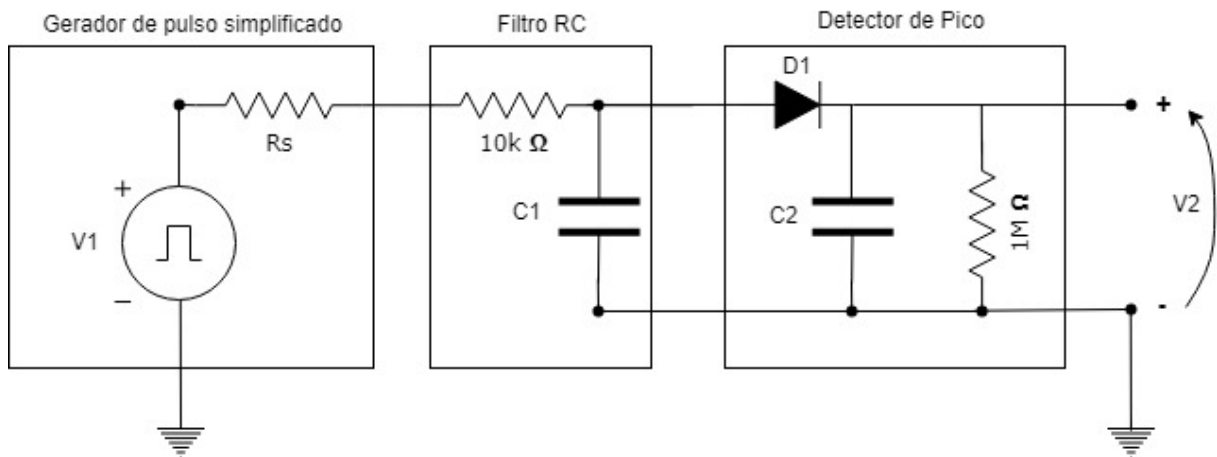
O sensor capacitivo escolhido para o trabalho foi o *Capacitive Soil Moisture Sensor* que possui as características listadas abaixo:

- Interface: Analógica;
- Tensão de operação: 3.3 - 5.5 VDC;
- Tensão de saída: 0 - 3.0 VDC;
- Corrente de operação: 5mA.

O circuito do sensor utilizado pode ser simplificado como indicado na Figura 6 onde possui 3 blocos sendo eles:

- O gerador de pulso demonstrado de maneira simplificada;
- O filtro resistor-capacitor (RC) que possui um resistor de $10k\Omega$ e o capacitor C1 que representa a sonda do sensor que é inserida no solo;
- O circuito detector de pico utilizado para estabilizar o sinal vindo do filtro e enviá-lo através da tensão V2 para o microcontrolador

Figura 6 – Circuito simplificado do SCUS



Fonte: Autoria própria (2022).

3.3 Etapas do projeto para funcionamento do sistema

Para realização dos experimentos necessários na etapa de calibração do sensor de umidade de solo, foi necessário construir o circuito da ?? para adequar e estabilizar a tensão de entrada na porta analógica do ESP32. Foi construído também um sistema (Figura 7) cuja única variável era o volume de água presente na amostra de solo. Essa variável foi monitorada pelo método de obtenção da umidade com uma balança de umidade. A partir da construção do circuito e do sistema tornou-se possível levantar uma curva que relaciona os valores lidos pela entrada analógica do ESP32 com a umidade aferida pela balança de umidade. Assim que obtida de calibração foram iniciados os testes de funcionamento do protótipo e sistema de comunicação *Wi-Fi* responsável pela transmissão dos dados para o aplicativo Web.

3.3.1 Procedimento de Calibração do Sensor de Umidade de Solo Capacitivo

Com base no método de análise de umidade de solo proposto no Manual de Métodos de Análise de Solo 2017, foi coletada uma amostra de 2296 g, colocada em uma forma de alumínio. Em seguida a amostra foi seca em estufa à 105°C até a massa constante (TEIXEIRA *et al.*, 2017). O termo massa constante indica que a amostra não possui água, ou seja, sua umidade está próxima a zero. A amostra permaneceu em estufa por 24 horas que é utilizado como tempo necessário para retirar toda a umidade. Para obter valores confiáveis de referência, foram utilizados 3 béqueres contendo aproximadamente 100 g do solo seco como indicados na Figura 7.

Figura 7 – Amostras para obtenção da umidade



Fonte: Autoria própria (2022).

Após a separação das amostras, foi adicionado o volume de 10 ml de água nas amostras. O tempo esperado para absorção da água foi de 10 minutos. Após esse período, foi retirado uma porção da amostra 1 para a análise na balança de umidade e o sensor posicionado conforme mostrado na Figura 8. Para verificar o valor lido pelo sensor e relacionar com o do obtido pela balança de umidade. Posteriormente o procedimento foi repetido para as amostras 2 e 3. Em seguida foi adicionado mais 10 ml de água em cada amostra totalizando 20 ml e o processo de separação das novas porções para a análise até se obter o volume de 40 ml de água em cada uma das amostras.

3.3.2 Desenvolvimento do Algoritmo do ESP-32

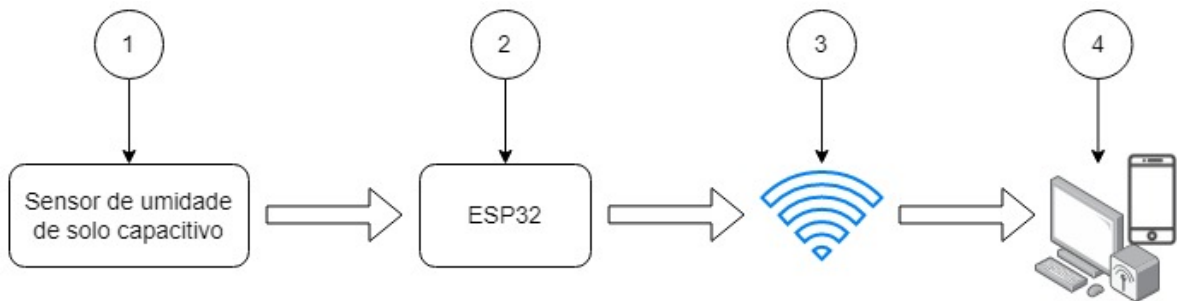
O diagrama da Figura 10 apresenta o funcionamento do algoritmo implementado na Integrated Development Environment (IDE) e gravado no microcontrolador ESP-32 da Figura 9 nas entradas analógicas, responsável por converter os sinais captados pelos sensores em dados que serão enviados para o aplicativo. Os sensores mostrados no bloco na etapa 1, leem os sinais do TUS e enviam para o microcontrolador (ESP-32) da etapa 2, onde são convertidos

Figura 8 – Amostra 10ml de água



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 9 – Diagrama de Blocos do Sistema Proposto



Fonte: Autoria própria (2022).

os sinais analógicos em digitais com resolução de 12 bits. Na etapa 3, os dados de umidade de solo são enviados por *Wi-Fi* para um aplicativo web. Na etapa 4, com uma interface para visualização dos dados de TUS.

Como indicado no diagrama da Figura 10 o programa inicia na posição *reset*, configurando a conexão *Wi-Fi*. Posteriormente, o programa aguarda a conexão com o dispositivo e inicia automaticamente as leituras do TUS, os sinais analógicos dos sensores são convertidos e enviados para o aplicativo onde é possível ver a leitura do sensor em tempo real.

Figura 10 – Diagrama de Blocos de Funcionamento do Programa



Fonte: Autoria própria (2022).

3.4 Desenvolvimento do Aplicativo

Para a implementação do aplicativo Web foram analisados alguns parâmetros como facilidade de desenvolvimento, compatibilidade com versões dos navegadores e disponibilidade de bibliotecas compatíveis com os módulos utilizados para o desenvolvimento do protótipo. A partir dos parâmetros analisados a linguagem de marcação HTML foi utilizada para estruturar a página de visualização da umidade de solo lida pelo sensor de umidade de solo capacitivo.

Para a comunicação *Wi-Fi* entre o microcontrolador e o aplicativo Web foram utilizadas as bibliotecas mostradas na Listagem 2.

4 RESULTADOS

Este capítulo mostra os resultados do trabalho a partir das análises feitas em laboratório da umidade de solo e desenvolvimento do código e aplicativo para verificação do TUS.

4.1 Valores obtidos em laboratório

As massas das amostras de solo seco foram obtidas a partir da pesagem em uma balança semi analítica que possui dois dígitos de precisão. A amostra 1 com 100,12 g, a amostra 2 com 100,07 g e a amostra 3 com 100,16 g, não tendo uma diferença significativa que pudesse causar erro durante a coleta das medidas. A Tabela 1 mostra os valores relativos com as amostras de massa de solo seco utilizadas para as análises de umidade de solo e leitura dos valores analógicos do sensor.

Tabela 1 – Massa das amostras de solo seco

Amostra	Peso [g]
1	100,12
2	100,07
2	100,16

Fonte: Autoria própria (2022).

As Tabelas 2, 3, 4, e 5 apresentam os valores da porção úmida (PU), obtida após a adição do volume correspondente de água, porção seca (PS) que representa o valor obtidos após a análise de umidade feita na balança de umidade, com a adição do volume de 10 ml, 20 ml, 30 ml e 40 ml de água adicionados de 10 ml em 10 ml nas amostras.

Tabela 2 – Valores obtidos com 10 ml de água

Amostra	PU[g]	PS[g]	Umidade[%]	Sensor
1	4,31	3,88	10,1	2918
2	4,36	3,94	10,4	2901
3	4,36	3,94	9,9	2898

Fonte: Autoria própria (2022).

Os valores obtidos pelo sensor são resultantes da leitura do Conversor Analógico Digital, do inglês *Analogic Digital Conversor* (ADC) do ESP foram de 2918 para a amostra 1 com 10,1% de umidade, 2901 para a amostra 2 com 10,4% de umidade e 2898 para a amostra 3 com 9,9% de umidade.

Os valores obtidos nas análises com o volume de 20 ml de água estão representados na Tabela 3. Os valores lidos pelo sensor foram de 2519 para a amostra 1 com 16,9% de umidade, 2688 para a amostra 2 com 16,5% de umidade e 2615 para a amostra 3 com 16,0% de umidade

Tabela 3 – Valores obtidos com 20 ml de água

<i>Amostra</i>	<i>PU[g]</i>	<i>PS[g]</i>	<i>Umidade[%]</i>	<i>Sensor</i>
1	4,67	3,88	16,9	2519
2	4,29	3,58	16,5	2688
3	4,44	3,66	16,0	2615

Fonte: Autoria própria (2022).

A diferença da umidade obtida entre cada amostra apresentada nas tabelas, pode ter ocorrido devido a diferença da quantidade de pedaços de terra endurecidos nas amostras, e também a homogeneização não equivalente devido ao processo ser feito de forma manual.

Em casos de análises cuja precisão seja de altíssima importância as amostras são previamente preparadas através da padronização da granulometria dos pedaços de terra, retirada de detritos de rocha, folhas e outras matérias que possam afetar na análise. No presente trabalho, optou-se por analisar as amostras sem o preparo das amostras para representar melhor uma situação real no campo.

Tabela 4 – Valores obtidos com 30 ml de água

<i>Amostra</i>	<i>PU[g]</i>	<i>PS[g]</i>	<i>Umidade[%]</i>	<i>Sensor</i>
1	4,74	3,78	20,1	2477
2	4,9	3,9	20,2	2320
3	4,15	3,3	20,3	2369

Fonte: Autoria própria (2022).

Para o volume de 30 ml de água, representado na Tabela 4, os valores lidos pelo sensor em relação a umidade foram de 2447 para a amostra 1 com 21,1% de umidade, 2320 para a amostra 2 com 20,2% de umidade e 2369 para a amostra 3 com 20,3% de umidade.

Tabela 5 – Valores obtidos com 40 ml de água

<i>Amostra</i>	<i>PU[g]</i>	<i>PS[g]</i>	<i>Umidade[%]</i>	<i>Sensor</i>
1	3,89	3,0	22,8	2197
2	4,79	3,54	26,1	2151
3	4,6	3,41	25,5	2158

Fonte: Autoria própria (2022).

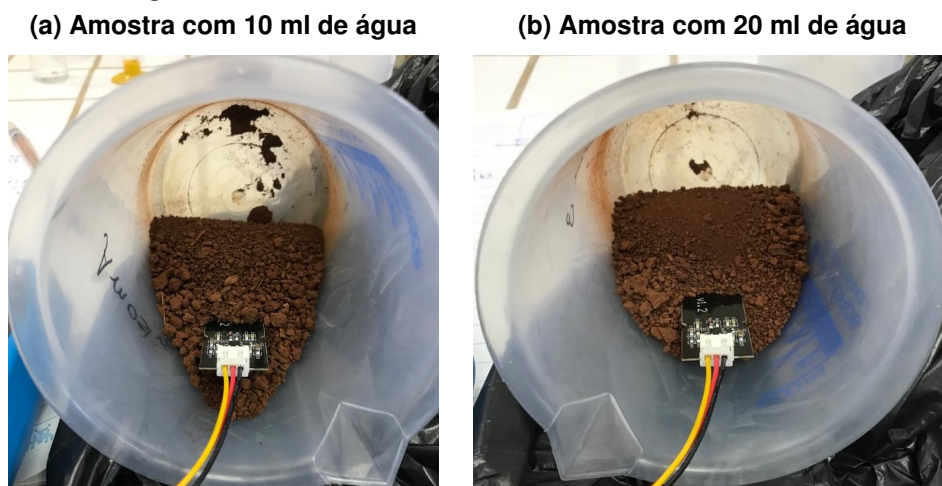
Na Tabela 5, os valores obtidos da umidade do solo apresentaram uma diferença grande entre as amostras 1 e 3, essa diferença pode ter sido consequência da forma em que a porção da amostra foi coletada, uma na região com lâmina de água (com maior teor de umidade) e outra numa região sem a lâmina de água (com menor teor de umidade), resultando em uma umidade de 22,8% para a amostra 1, 26,1% para a amostra 2 e 25,5% para a amostra 3.

Os valores lidos pelos sensores para as amostras com volume de 40 ml de água foram de 2197 para a amostra 1 com 22,8% de umidade, 2151 para a amostra 2 com 26,1% de umidade e de 2158 para a amostra 3 com 25,5% de umidade.

4.2 Características das amostras em relação ao volume de água adicionado

A Figura 11 apresenta a amostra com 10 ml de água e a amostra com 20 ml de água, ao compararmos visualmente as duas amostras a diferença do volume de água não é observada facilmente. Quando utilizado o teste do tato para análise da umidade da amostra com 10 ml e a com 20 ml é possível sentir uma maior umidade na amostra com o maior volume de água. Nas amostras da Figura 12 a diferença do volume de água é visualmente notável, a amostra principalmente quando comparada a Figura 11. Observou-se também que a capacidade de campo do solo foi empiricamente obtida com o volume de 40 ml de água, pois as amostras já apresentavam uma lâmina superficial de água.

Figura 11 – Comparação das amostras de solo: (a) Amostra com 10 ml de água, (b) Amostra com 20 ml de água



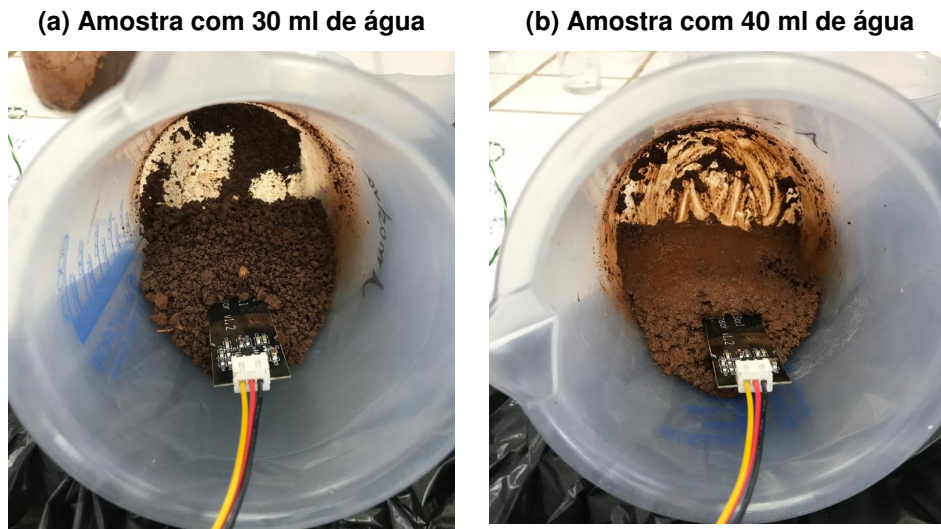
Fonte: Autoria própria (2022).

4.3 Calibração e validação dos dados do sensor

Com base nos valores obtidos pelos sensores e pela balança de umidade foi utilizado o software Excel para elaborar uma Regressão Linear com variável independente (x) valor obtido pela medida do sensor e a variável dependente (y) a umidade de solo conforme mostrado na Figura 13. Utilizando a ferramenta "Linha de Tendência" que contém o Método dos Mínimos Quadrados, foi obtido um coeficiente de correlação de $R^2 = 0,9984$ e também uma forma funcional do modelo linear:

$$y \approx -0,0197 \cdot x + 67,45 \quad (4)$$

Figura 12 – Comparação das amostras de solo: (a) Amostra com 30 ml de água, (b) Amostra com 40 ml de água



Fonte: Autoria própria (2022).

onde x representa o valor lido pelo sensor e y o teor de umidade de solo respectivo.

Figura 13 – Gráfico de Umidade



Fonte: Autoria própria (2022).

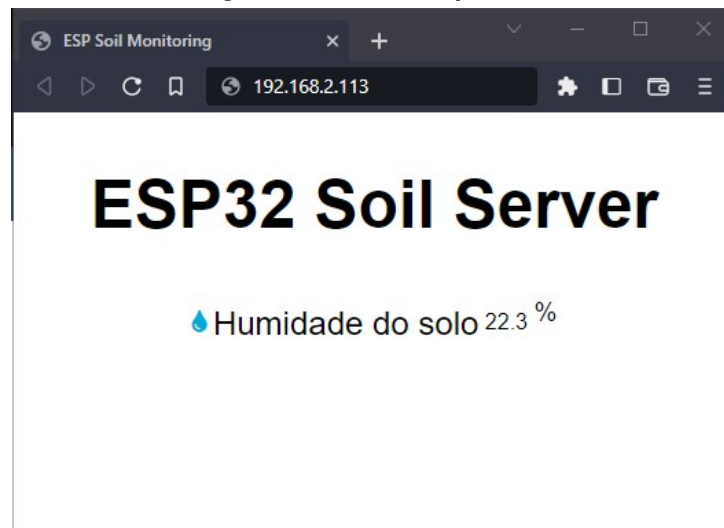
4.4 Funcionamento do aplicativo Web

A tela de visualização (Figura 14) foi implementada em *HTML* com o algoritmo demonstrado na Listagem 1, na página é mostrado nome da aba do navegador, o endereço de Internet

Protocol (IP) definido aleatoriamente pelo dispositivo com base na disponibilidade da rede, o nome da aplicação no topo da página e ao centro o valor pós processamento da umidade do solo.

Na implementação do algoritmo de comunicação foram utilizadas as bibliotecas contidas na Listagem 2 para configuração *Wi-Fi* e do servidor.

Figura 14 – Tela do aplicativo



Fonte: Autoria própria (2022).

4.5 Implementação do sistema

Para o processamento do valor obtido do sensor foi desenvolvida uma função do tipo *float* que tem como entrada uma variável denominada *valSens* do tipo *int*. O valor de entrada lido pelo sensor é utilizado na equação obtida através da regressão numérica apresentada anteriormente, o resultado da equação é salvo na variável *umidCalc* que também é a variável que a função irá retornar. O algoritmo implementado pode ser visto na Listagem 3.

4.6 Análise da eficácia do dispositivo

Para verificar a eficácia do sistema foi utilizado o modelo linear $y \approx -0,0197 \cdot x + 67,45$. Os resultados obtidos de umidade do solo pelo sistema podem ser observados na Tabela 6. A partir da análise da Tabela 6 pode-se observar que quanto mais alto o valor de leitura do sensor, menor é o valor de umidade de solo obtido. Isso ocorre devido a mudança da capacitância causada pelos diferentes níveis de umidade do solo.

Os valores obtidos pelo SCUS não são iguais aos da balança de umidade, porém podem ser considerados como uma boa aproximação dos valores reais, uma vez que o circuito não foi otimizado para a leitura dos valores.

Tabela 6 – Comparação entre umidade de referência e do sistema de monitoramento

Umidade de referência (%)	Leitura do sensor	Umidade obtida (%)
9,9	2898	10,36
10,1	2918	9,97
10,4	2901	10,3
16,0	2688	14,5
16,5	2519	17,83
16,9	2615	15,94
20,1	2477	18,66
20,2	2320	21,75
20,3	2369	20,78
22,8	2197	24,17
25,5	2158	24,9
26,1	2151	25,08

Fonte: Autoria própria (2022).

4.7 Trabalhos relacionados

Alguns trabalhos desenvolvidos e utilizados como base no contexto da implementação de ferramentas para monitoramento de umidade de solo foram utilizados como referência, sendo eles:

Trabalho de graduação com o título: "SISTEMA DE MONITORAMENTO DA UMIDADE DO SOLO PARA PREVISÃO DE DESLIZAMENTOS"(RODRIGUES, 2019). Onde o autor, traz o exemplo de desastres naturais que partem do princípio que precipitação de um elevado volume de chuva, a terra fica encharcada, podendo ceder, levando um deslizamento de terra ou rompimento de barragens. Tendo como proposta um sistema de aferimento da umidade do solo com o objetivo de prever possíveis situações que possam fazer que o solo ceda.

O trabalho proposto por Guimarães (2011), é intitulado "AUTOMAÇÃO E MONITORAMENTO REMOTO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO VISANDO AGRICULTURA FAMILIAR". O trabalho traz um sistema de irrigação de precisão para automatizar a irrigação e também tornar mais eficiente o manejo da água.

Listagem 1 – Algoritmo HTML

```

1 <!DOCTYPE HTML><html>
2 <head>
3   <meta charset="UTF-8" />
4   <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1">
5   <title> ESP Soil Monitoring </title>
6   <link rel="stylesheet" href=
7     "https://use.fontawesome.com/releases/v5.7.2/css/all.css"
8     integrity=
9     "sha384-fnmOCqbTIWlj8LyTjo7mOUStjsKC4pOpQbqyi7RrhN7udi9RwhKkMHpvLbHG9Sr"
10    crossorigin="anonymous">
11   <style>
12     html {
13       font-family: Arial;
14       display: inline-block;
15       margin: 0px auto;
16       text-align: center;
17     }
18     h2 { font-size: 3.0rem; }
19     p { font-size: 3.0rem; }
20     .units { font-size: 1.2rem; }
21     .dht-labels{
22       font-size: 1.5rem;
23       vertical-align: middle;
24       padding-bottom: 15px;
25     }
26   </style>
27 </head>
28
29 <body>
30   <h2>ESP32 Soil Server</h2>
31   <i class="fas fa-tint" style="color:#00add6;"></i>
32   <span class="dht-labels">Humidade do solo </span>
33   <span id="humidity">%HUMIDITY%</span>
34   <sup class="units">&percent;</sup>
35 </p>
36 </body>
37 <script>
38 setInterval(function ( ) {
39   var xhttp = new XMLHttpRequest();
40   xhttp.onreadystatechange = function() {
41     if (this.readyState == 4 && this.status == 200) {
42       document.getElementById("humidity").innerHTML = this.responseText;
43     }
44   };
45   xhttp.open("GET", "/humidity", true);
46   xhttp.send();
47 }, 1500 ) ;
48 </script>
49 </html>

```

Fonte: Randon Nerds Tutorial modificado (2022).

Listagem 2 – Bibliotecas utilizadas

```
1  
2 #include "WiFi.h"  
3 #include "ESPAsyncWebServer.h"
```

Fonte: Autoria própria (2022).

Listagem 3 – Cálculo de Umidade

```
1 float calculaUmidade(int valSens){  
2   float umidCalc = valSens*(-0.0197)+67.5; // Equação obtida através  
3                                           // de uma regressão numérica  
4   return umidCalc;  
5 }
```

Fonte: Autoria própria (2022).

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver um dispositivo capaz de monitorar a umidade de solo com a possibilidade de visualização por um aplicativo que fosse compatível com os principais sistemas operacionais móveis e computadores. Para esse propósito foi desenvolvido um *hardware* de aquisição de dados e um aplicativo Web em HTML para a visualização dos dados em tempo real.

Com os dados resultantes das análises em laboratório, obteve-se um referencial para calibração do sensor de umidade de solo por meio de uma equação de primeira ordem com coeficiente de determinação $R^2 = 0,9984$, significando que o modelo linear obtido está 99,84% próximo ao comportamento linear, ou seja o quão próximo o modelo funcional consegue explicar os dados obtidos pelo experimento.

Com isso o objetivo do trabalho foi concluído de maneira satisfatória seguindo os conceitos abordados no referencial teórico e também possibilitou um aprendizado mais profundo sobre sobre ferramentas utilizados na agricultura para otimização e economia no cultivo de alimentos

Para trabalhos futuros é possível fazer melhorias no dispositivo como

- Circuito para regular a tensão e filtrar os sinais de entrada;
- Confecção uma placa de circuito impresso para diminuir os efeitos de ruído causados pela matriz de montagem;
- Aumento da diversidade e quantidade de sensores;
- Adição de um filtro para escolha do tipo de sensor para visualização no aplicativo;
- Inclusão de um sistema de registro de dados em cartão de memória e nuvem.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília, 2017. 86 p.
- ALMEIDA, R. M. A. de; MORAES, C. H. V. de; SERAPHIM, T. de F. P. **Programação de Sistemas Embarcados - Desenvolvendo Software para Microcontroladores em Linguagem C**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2016.
- BORIM, A. C. A.; PINTO, C. A. R. Medição de umidade no solo através de sensores capacitivos. p. 10, 2019.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- COELHO, E. F. *et al.* **Método simplificado de determinação da umidade do solo para uso em manejo de irrigação em agricultura familiar**: Embrapa. Comunicado Técnico, 155. Cruz das Almas, 2013. 4 p.
- COSTA, B. F. D. D. **REFLECTOMETRIA NO DOMÍNIO DO TEMPO (TDR) PARA DETERMINAÇÃO DO CONTEÚDO DE ÁGUA EM SOLOS TROPICAIS DO DISTRITO FEDERAL**. 2019. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) — UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, Brasília, 2019.
- EURIQUES, J. F. **DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO POR MEIO DA TÉCNICA DE REFLECTOMETRIA GNSS: Primeiros Resultados no Brasil**. 2019. 118 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.
- FREDERICO, C. do A. **Projeto de equipamento de monitoramento de umidade do solo com comunicação LoRa**. mar. 2022. 49 p. Dissertação (Mestrado) — UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA CENTRO TECNOLÓGICO, Uberlândia, mar. 2022.
- GETIRANA, A.; LIONATI, R.; CATALDI, M. **Brazil is in water crisis — it needs a drought plan**. 2021. Nature Journal. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/d41586-021-03625-w>. Acesso em: 08 dez. 2021.
- GUIMARÃES, V. G. **AUTOMAÇÃO E MONITORAMENTO REMOTO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO VISANDO AGRICULTURA FAMILIAR**. jul. 2011. 97 p. Dissertação (Mestrado) — UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, Brasília, jul. 2011.
- GUTIERRES, M. I. de A.; NEVES, E. das. A importância do monitoramento da umidade do solo através de sensores para otimizar a irrigação nas culturas. **Ceentro Científico Conhecer**, v. 16, 2021.
- JUNIOR, J. J. da S. *et al.* Calibração de Sondas de Capacitância Para Determinação de Umidade em Latossolo Vermelho Distroférrico. **Irriga**, v. 18, n. 4, p. 743–755, 2013.
- JÚNIOR, S. L. S.; SILVA, R. A. **Automação e Instrumentação Industrial com Arduino - Teoria e Projetos**. 1. ed. São Paulo: Erica, 2015.
- OLIVEIRA, A. S. de; ANDRADE, F. S. de. **Sistemas Embarcados - Hardware e Firmware na Prática**. 2. ed. Porto Alegre: Editora Saraiva, 2010.

PEREIRA, J. R. *et al.* **Ponto de Murcha Permanente de um Neossolo Flúvico Usando Novas Plantas Indicadoras**: Embrapa. Comunicado Técnico, 241. Campina Grande, 2005. 5 p.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, Planta e Atmosfera: Conceitos, Processos e Aplicações**. 3. ed. Barueri: Manole Ltda, 2016.

RIBEIRO, V. **Brasil enfrenta a pior crise hídrica em 91 anos**: Bolsonaro pede para população poupar água e energia elétrica. [S./], 2021. 1 p. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/>. Acesso em: 03 de junho de 2022.

RODRIGUES, A. B. **SISTEMA DE MONITORAMENTO DA UMIDADE DO SOLO PARA PREVISÃO DE DESLIZAMENTOS**. jul. 2019. 50 p. Dissertação (Mestrado) — UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, Brasília, jul. 2019.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de Métodos de Análise de Solo**: 3ª edição revista e ampliada. Brasília, DF, 2017. 557 p.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. 1. ed. Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP, 2017.

TOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. de. **Sensores Industriais**. 9. ed. Bela Vista: Saraiva, 2020.