

Centro Paula Souza
ETEC Benedito Storani
Curso Técnico em Agropecuária

**RELAÇÃO ENTRE UMIDADE E TEMPERATURA EM SISTEMAS DE CULTIVO:
ESTUDO COMPARATIVO DE DIFERENTES LOCAIS POR MEIO DE SENSORES
INTEGRADOS AO ARDUINO**

Maria Clara Perozzi Morelli^a

Mateus Iuri Rocha^b

Pedro Henrique Kubitza^c

Samuel lenne Manoel^d

Edimar Paulo Santos^e

Letícia Cecília Foratto^f

Resumo: Frente aos desafios climáticos e à escassez de recursos, a tecnologia na agricultura é essencial, não apenas para grandes propriedades. Este trabalho descreve o desenvolvimento de um dispositivo portátil e de baixo custo projetado para otimizar a recomendação de culturas. A metodologia envolveu a construção de um protótipo com sensores de umidade do solo e temperatura do ar para coletar dados ambientais. Um microcontrolador Arduino Uno foi programado para processar essas informações e, com base em parâmetros pré-definidos, exibir uma sugestão de cultivo em uma tela LCD 16x2. A aplicabilidade da tecnologia foi validada através de testes comparativos em três estufas e em um ambiente aberto. Os resultados demonstraram a eficácia e viabilidade da solução, com dados consistentes aos de equipamentos de referência. Conclui-se que o protótipo é uma ferramenta acessível e funcional, com potencial para democratizar o acesso a ferramentas de precisão, impulsionando a sustentabilidade e a rentabilidade em diversos cenários agrícolas.

^a Aluna Maria Clara Perozzi Morelli do curso Técnico em agropecuária, na Etec Benedito Storani – mcperozzimorelli@yahoo.com

^b Aluno Mateus Iuri Rocha do curso Técnico em agropecuária, na Etec Benedito Storani – email pessoal para contato

^c Aluno Pedro Henrique Kubitza do curso Técnico em agropecuária, na Etec Benedito Storani – email pessoal para contato

^d Aluno Samuel lenne Manoel do curso Técnico em agropecuária, na Etec Benedito Storani – email pessoal para contato

^e Prof. Dr. do curso Técnico em Agropecuária, na Etec Benedito Storani – edimar.santos5@etec.sp.gov.br

^f Profa. Dra. do curso Técnico em Agropecuária, na Etec Benedito Storani – leticia.foratto@etec.sp.gov.br

Palavras-chave: Arduino; Tecnologia de Baixo Custo; Agricultura de Precisão.

1 INTRODUÇÃO

A produção alimentícia mundial enfrenta desafios crescentes, como mudanças climáticas e escassez de água, que demandam inovações para mitigar o desperdício de recursos naturais (MARTINELLI; CAVALLI, 2019). Nesse cenário, o desenvolvimento de tecnologias de monitoramento e precisão torna-se indispensável para garantir a sustentabilidade da produção agrícola.

A justificativa para esta pesquisa reside na dificuldade que muitos produtores enfrentam ao cultivar espécies em ambientes desfavoráveis. O conhecimento preciso das condições microclimáticas, como temperatura e umidade, é fundamental para a tomada de decisão, a escolha de culturas adequadas e a maximização da produtividade. Portanto, o uso de tecnologias de monitoramento de baixo custo surge como uma solução estratégica para otimizar o manejo agrícola. (CUNHA; RODRIGO, 2016).

Apesar da disponibilidade de tecnologias de agricultura de precisão, a maioria delas possui um custo elevado, tornando-as inacessíveis para pequenos e médios produtores. Isso cria uma lacuna tecnológica que limita a capacidade desses agricultores de otimizar suas produções de forma sustentável. Diante disso, o problema de pesquisa que norteia este trabalho é: como desenvolver um sistema de monitoramento microclimático que seja, ao mesmo tempo, de baixo custo, portátil e eficaz para auxiliar na tomada de decisão sobre o cultivo?

Como resposta a essa questão, propõe-se o desenvolvimento de um protótipo baseado na plataforma Arduino, integrado a sensores de temperatura e umidade do solo e do ar. A hipótese deste trabalho é que a utilização de componentes eletrônicos de baixo custo e código aberto permite a criação de uma ferramenta precisa e acessível, capaz de fornecer dados ambientais em tempo real que, quando comparados a parâmetros ideais de diferentes culturas, possibilitam uma recomendação de plantio mais assertiva.

Portanto, o objetivo geral deste trabalho é projetar, construir e validar um protótipo funcional e de baixo custo para monitoramento de condições microclimáticas na agricultura. Para alcançar este fim, os seguintes objetivos específicos foram

traçados: 1) Selecionar os componentes de hardware mais adequados, visando baixo custo e eficiência; 2) Desenvolver o software embarcado para coleta, processamento e exibição dos dados; e 3) Validar a precisão do protótipo através de testes comparativos em diferentes ambientes.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Fatores Microclimáticos na Agricultura

Nesta seção, são abordados os principais fatores ambientais que influenciam diretamente o desenvolvimento das plantas e que são o foco do monitoramento deste projeto.

2.1.1 A Influência da Umidade do Ar

A umidade relativa do ar é um fator climático determinante para o desenvolvimento vegetal, pois regula a taxa de transpiração da planta. Níveis muito baixos de umidade podem levar ao estresse hídrico, fechamento dos estômatos e redução da fotossíntese. Por outro lado, o excesso de umidade cria um ambiente propício para a proliferação de doenças fúngicas, como o míldio, e pode levar ao apodrecimento de raízes e tecidos (COSTA, 2003).

2.1.2 A Importância da Temperatura

A temperatura governa a velocidade das reações bioquímicas nas plantas, influenciando diretamente processos como a fotossíntese, a respiração e a absorção de nutrientes. Cada espécie vegetal possui uma faixa de temperatura ótima para seu desenvolvimento, com limites mínimos e máximos que definem sua sobrevivência (PEIXOTO, 2020). Temperaturas fora da faixa ideal podem causar estresse térmico, afetando desde a germinação até a frutificação e, conseqüentemente, a produtividade final da lavoura.

2.2 Tecnologias para Monitoramento Agrícola

Para realizar o monitoramento dos fatores microclimáticos, foram empregadas tecnologias de baixo custo e código aberto, detalhadas a seguir.

2.2.1 A Plataforma Arduino

A plataforma Arduino é um sistema de prototipagem eletrônica de código aberto (open-source) que consiste em uma placa com um microcontrolador e um ambiente de desenvolvimento integrado (MCROBERTS, 2015). Sua simplicidade e baixo custo a tornaram uma ferramenta popular para o desenvolvimento de projetos de automação e monitoramento na agricultura.

2.2.2 Sensores de Coleta de Dados

Para a coleta de dados de temperatura e umidade, são comumente utilizados sensores como o DHT11 ou DHT22. Estes dispositivos digitais medem as duas variáveis e as enviam para o microcontrolador, permitindo um monitoramento ambiental preciso e em tempo real (MACHADO; LUZ; FEIL, 2023)

2.2.3 Sensoriamento Proximal na Agricultura de Precisão

O monitoramento por sensores na agricultura, também conhecido como sensoriamento proximal, é uma ferramenta da Agricultura de Precisão. Ele se baseia na coleta contínua de dados do ambiente (como temperatura, umidade do ar e do solo) por meio de sensores instalados diretamente na lavoura. Essas informações permitem ao produtor tomar decisões mais assertivas sobre irrigação, controle de doenças e outras práticas de manejo (CATEN et al., 2021). A grande vantagem dessa abordagem é a possibilidade de criar soluções de baixo custo e alta eficiência, que fornecem um diagnóstico em tempo real das condições de cultivo.

2.3 O Impacto da Tecnologia na Agricultura Familiar

A agricultura familiar desempenha um papel vital na segurança alimentar e na economia do Brasil, sendo responsável por uma parcela significativa da produção de alimentos consumidos no país (LIMA; SILVA; IWATA, 2019). Este setor, no entanto, muitas vezes carece de acesso a tecnologias de alto custo. Portanto, o desenvolvimento de soluções de monitoramento acessíveis, como as baseadas em

Arduino, representa uma oportunidade para aumentar a eficiência e a resiliência desses produtores frente às variações climáticas (CORRÊA; PASSINI, 2025).

2.4 Materiais e Métodos

Este capítulo detalha os materiais utilizados na construção do protótipo, a metodologia de desenvolvimento do software e os procedimentos experimentais adotados para a coleta e validação dos dados.

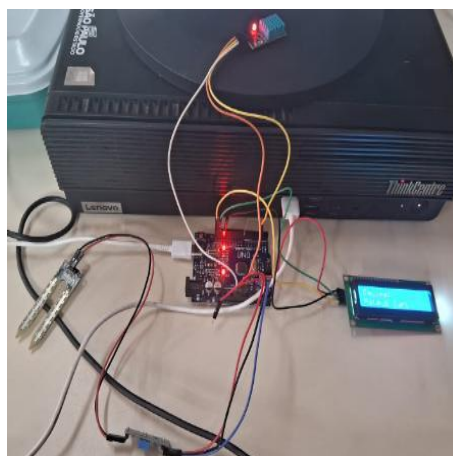
2.4.1 Construção do Protótipo de Monitoramento

O sistema de monitoramento foi desenvolvido com foco em baixo custo e portabilidade. Os componentes eletrônicos utilizados estão listados abaixo:

- **Microcontrolador:** Placa Arduino Uno R4 WiFi, responsável pelo processamento dos dados e conectividade.
- **Sensor de Ar:** Modelo DHT22 (AM2302), para medição de temperatura e umidade relativa do ar.
- **Sensor de Solo:** Sensor de umidade do solo do tipo capacitivo, para aferir a disponibilidade de água no substrato.
- **Display:** Tela LCD 16x2 para exibição dos dados em tempo real.
- **Estrutura e Conexões:** Protoboard, jumpers e uma caixa protetora impressa em 3D para abrigar os componentes.

A integração dos componentes foi realizada conforme o esquema elétrico apresentado na Figura 1.

FIGURA 1 – Arduino e sensores em funcionamento



Fonte: Elaboração Pessoal

O custo total dos componentes principais do projeto foi de aproximadamente R\$ 100,00, conforme detalhado na Tabela 1. Custos adicionais com jumpers e a impressão 3D da estrutura não foram contabilizados, pois os cabos eram de acervo próprio e a impressão foi realizada na impressora 3D da instituição de ensino.

Tabela 1 – Orçamento dos componentes do protótipo

Componente	Preço Unitário (R\$)
Arduino Uno R4 WiFi	65,00
Sensor DHT22	20,00
Sensor de Umidade Capacitivo	15,00
Total	100,00

Fonte: Autoria própria (2025).

2.4.2 Locais de Estudo e Delineamento Experimental

O estudo foi conduzido em quatro ambientes distintos localizados na Etec Benedito Storani, em Jundiaí-SP (Figura 2), com o objetivo de comparar microclimas com características diferentes.

FIGURA 2 – Localização da área de estudo na Etec Benedito Storani



Fonte: Google Earth (2025), adaptado pelos autores.

Os quatro ambientes selecionados foram:

Ambiente 1 (E1): Estufa de grande porte (6m x 20m x 4,4m), com cultivo de tomate.

Ambiente 2 (E2): Estufa de médio porte (7m x 21m x 3,6m), com cultivo de berinjela e abobrinha.

Ambiente 3 (E3): Estufa de pequeno porte (7m x 21m x 4,6m), com cultivo de folhosas (alface, cebolinha, salsinha).

Ambiente 4 (E4): Área externa adjacente às estufas, utilizada como testemunha a céu aberto. A escolha de estufas com diferentes volumes visa avaliar como a relação superfície/volume afeta as variações de temperatura e umidade.

A seguir, detalham-se as características de cada estufa (Figuras 3, 4 e 5).

Figura 3 – Ambiente 1 (E1): Estufa de grande porte (Tomate)



Fonte: Autoria própria (2025).

A estufa E1 possui a maior altura entre as três, com teto em lona plástica transparente e laterais em tela de sombreamento clara. Essas características, aliadas ao maior volume de ar, favorecem a dissipação de calor, tornando-a comparativamente mais fresca.

FIGURA 4 – Ambiente 2 (E2): Estufa de médio porte (Berinjela e Abobrinha)



Fonte: Autoria própria (2025).

A estufa E2 apresenta a menor altura entre as estudadas. Seu teto é de lona branca e as laterais de tela transparente. Devido ao menor volume de ar, este ambiente tende a apresentar as temperaturas mais elevadas.

FIGURA 5 – Ambiente 3 (E3): Estufa de pequeno porte (Folhosas)



Fonte: Autoria própria (2025).

A estufa E3 possui altura intermediária e laterais em tela de sombreamento vermelha. Esta tela é projetada para difundir a luz de maneira uniforme, o que pode beneficiar o crescimento de plantas sensíveis ao fotoperíodo, como as folhosas.

2.5 Procedimento de Coleta de Dados

A coleta de dados foi realizada durante o período de 14 de outubro de 2025 a 23 de outubro. Em cada um dos quatro ambientes, o protótipo foi instalado a uma altura do solo, com o sensor de umidade inserido a 45mm de profundidade.

As medições de temperatura do ar, umidade do ar e umidade do solo foram registradas em intervalos de 2 minutos totalizando 15 leituras por dia em cada local. Os dados foram armazenados em tabelas para posterior análise.

2.6 Construção do Protótipo

2.6.1 Componentes e Montagem

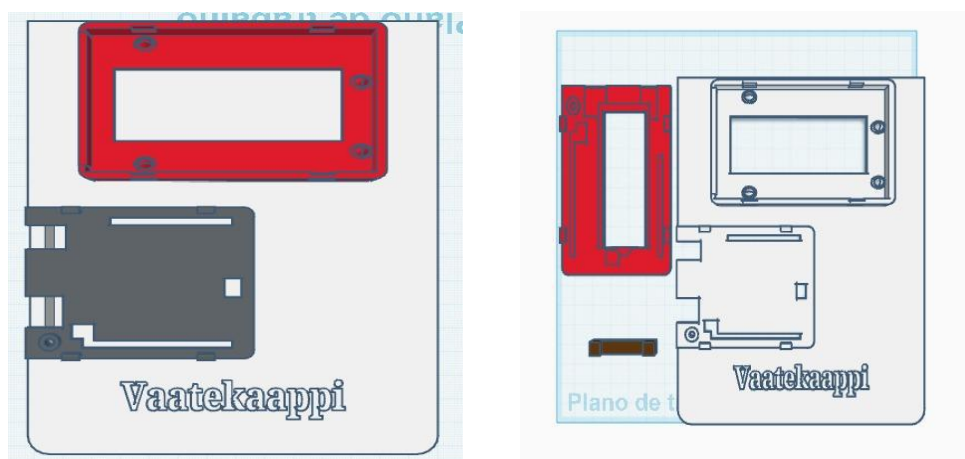
O protótipo foi construído utilizando os componentes detalhados na Tabela 1. A montagem inicial foi realizada em protoboard para testes de funcionalidade do código e dos sensores. Após a validação, os componentes foram conectados de forma permanente com solda para garantir a estabilidade das conexões. O esquema elétrico final da pinagem é apresentado na Tabela 2.

2.6.2 Desenvolvimento do Invólucro (Case)

Para garantir a proteção e portabilidade do protótipo, um invólucro (case) foi projetado e fabricado por meio de impressão 3D. O modelo foi desenvolvido no software de modelagem Tinkercad, a partir de um design base denominado "Arduino Uno Case" (JANEČEK, 2020), e adaptado para abrigar todos os componentes.

O processo de prototipagem do invólucro foi iterativo. Um primeiro modelo (Figura X) apresentou dimensões excessivas, o que comprometia a ergonomia e o peso do conjunto.

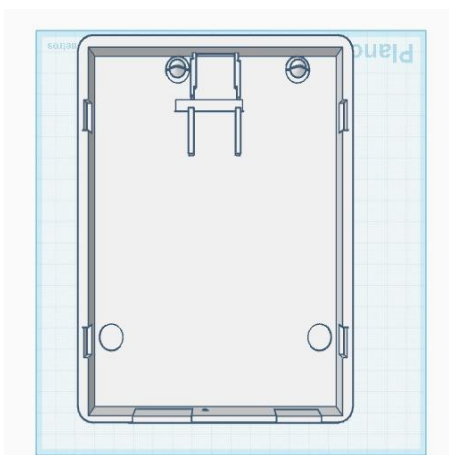
FIGURA 6 – Modelo 3D da Capa do Aparelho



Fonte: Elaboração pessoal

Realizou-se, então, um segundo projeto com dimensões otimizadas (Figura 6), garantindo um encaixe preciso e um peso reduzido. Adicionalmente, foram projetadas e impressas proteções externas para o display LCD e para a placa Arduino, aumentando a durabilidade do aparelho em campo (Figura 7).

FIGURA 7 –Modelo da Parte Inferior da Case



Fonte: Elaboração pessoal

2. 7 Calibração dos Sensores

Antes da coleta de dados em campo, foi realizado um rigoroso processo de calibração dos sensores para garantir a acurácia das medições.

2.7.1 Calibração do Sensor de Temperatura e Umidade do Ar (DHT22)

A calibração do sensor DHT22 foi realizada por comparação direta com uma estação meteorológica de referência. O protótipo foi posicionado ao lado da estação e as leituras foram comparadas. Observou-se um desvio sistemático (offset) de aproximadamente 4°C na temperatura e 4% na umidade relativa. Este desvio foi corrigido via software, ajustando-se o código-fonte para compensar a diferença e alinhar as leituras do protótipo com as da estação de referência.

2.7.2 Calibração do Sensor de Umidade do Solo

A calibração do sensor de umidade do solo seguiu o método gravimétrico padrão, utilizando um analisador de umidade por infravermelho. O procedimento consistiu em:

1. Coletar amostras de 2g do substrato utilizado nos experimentos.
2. Secar as amostras no analisador de umidade a 150°C para determinar a massa de água e a massa de solo seco.
3. Calcular a Umidade Gravimétrica (Ug) real do solo, que resultou em um valor médio de **15,6%**.
4. Comparar este valor real com a leitura fornecida pelo sensor capacitivo no mesmo solo. O sensor indicava um valor de 53%, que, ao ser analisado matematicamente, implicaria uma densidade de solo fisicamente impossível (3,38 g/cm³).
5. Esta análise comprovou que o sensor estava severamente descalibrado para o tipo de solo em questão. Foi então criada uma curva de calibração específica no código, relacionando a leitura bruta de tensão do sensor com os valores reais de umidade obtidos pelo método gravimétrico.

2.8 Delineamento Experimental e Coleta de Dados

O estudo foi conduzido em quatro ambientes na Etec Benedito Storani (detalhados na seção 2.4.2). A coleta de dados ocorreu no período de 14 de outubro de 2025 a 23 de outubro de 2025.

O procedimento de coleta consistiu no registro manual das leituras de temperatura do ar, umidade do ar e umidade do solo exibidas no display do protótipo. As medições foram realizadas em intervalos de uma hora em cada um dos quatro ambientes. Os dados foram transcritos para planilhas eletrônicas (Microsoft Excel) para posterior análise estatística e elaboração de gráficos comparativos.

TABELA 1 – Dados de Umidade e temperatura

Local	Temp	URA	Solo	Status	Horário
Estufa 1 - F1	25.0 °C	35.00%	15.00%	UMIDO	10:41
Estufa 1 - F2	26.1 °C	32.90%	18.10%	UMIDO	10:43
Estufa 1 - F3	26.5 °C	30.40%	16.80%	UMIDO	10:46
Estufa 1 - F4	28.0 °C	30.50%	21.40%	ENCHARCADO	10:47
Estufa 2 - F1	25.0 °C	35.90%	9.40%	UMIDO	10:49
Estufa 2 - F2	25.8 °C	47.90%	12.90%	UMIDO	10:51
Estufa 2 - F3	25.7 °C	45.80%	19.60%	UMIDO	10:52
Estufa 2 - F4	27.6 °C	37.40%	18.50%	UMIDO	10:54
Estufa 3 - F1	25.8 °C	33.60%	14.70%	UMIDO	11:05
Estufa 3 - F2	25.9 °C	41.40%	15.90%	UMIDO	11:06
Estufa 3 - F3	26.3 °C	50.40%	14.70%	UMIDO	11:08
Ar Livre - F1	24.3 °C	47.60%	10.80%	UMIDO	11:11
Ar Livre - F2	26.1 °C	37.30%	11.20%	UMIDO	11:13
Ar Livre - F3	26.3 °C	36.20%	11.20%	UMIDO	11:14
Ar Livre - F4	26.9 °C	35.70%	10.80%	UMIDO	11:15

Fonte: Autoria própria

2.9 Análise Comparativa dos Microclimas

Nesta seção, são apresentados os dados coletados nos quatro ambientes de estudo.

Observa-se que a temperatura média no ambiente a céu aberto (E4) foi 25,9°C, inferior à média registrada nas estufas, com destaque para a Estufa 2 (E2), que apresentou a maior média térmica 26°C. Este resultado corrobora a expectativa de que o menor volume de ar da E2 levaria a um maior acúmulo de calor.

Em contrapartida, a umidade relativa do ar média foi maior nos ambientes protegidos, variando de 32,2% em E1 a 41% em E3, em comparação com 39,2% no ambiente externo. Isso demonstra a eficácia das estufas em reter a umidade, o que é benéfico para a redução do estresse hídrico das plantas. A umidade do solo, monitorada pelo sistema de irrigação por gotejamento, também se mostrou mais estável dentro das estufas.

Observa-se que a umidade média do solo na E1 foi de 17,8%, foi a maior medida entre todas as estufas, uma vez que ela é a estufa mais alta e que permite a melhor dispersão do calor, mantendo a umidade do solo; a média da E2 foi de 15% sendo a

mesma média da E3, o ambiente externo teve uma média de 11%, sendo possível observar o benefício que a estufa trás quando se diz de umidade do solo.

2.9.1 Calibração do Sensor de Umidade do Solo

Devido à conhecida imprecisão de sensores capacitivos de baixo custo em diferentes tipos de solo, foi realizado um rigoroso processo de calibração para garantir a acurácia das medições. O método adotado foi o gravimétrico padrão, utilizando um analisador de umidade por infravermelho como equipamento de referência.

O procedimento metodológico consistiu nas seguintes etapas:

1. Coleta e Preparação da Amostra: Foram coletadas amostras de 2g do substrato utilizado nos locais de estudo.
2. Análise de Referência: As amostras foram submetidas à secagem em um analisador de umidade por infravermelho (150°C) para determinar a massa de água ($M_{\text{água}}$) e a massa de solo seco (M_s). Este processo foi repetido em triplicata para garantir a confiabilidade dos dados.
3. Cálculo da Umidade Gravimétrica Real (U_g): A umidade gravimétrica real do solo foi calculada utilizando a fórmula padrão: $U_g(\%) = (M_{\text{água}} / M_s) * 100$.
4. Análise Comparativa: O valor de U_g obtido foi comparado com a leitura percentual fornecida pelo sensor capacitivo quando inserido em uma amostra do mesmo substrato.
5. Análise de Viabilidade Física: Foi utilizada a equação de conversão entre umidade volumétrica (θ_v , medida pelo sensor) e umidade gravimétrica (U_g , real) — $\theta_v = U_g * \rho_s$ (onde ρ_s é a densidade do solo) — para verificar a consistência física da leitura do sensor.
6. Desenvolvimento da Curva de Calibração: Com base na discrepância encontrada, foi desenvolvida uma curva de calibração específica no software do protótipo, ajustando a leitura bruta do sensor para que correspondesse à umidade real medida em laboratório.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Validação e Calibração do Protótipo

3.1.1 Calibração do Sensor de Umidade do Solo: Uma Análise Crítica

A etapa de calibração do sensor de umidade do solo revelou-se um ponto crítico e um resultado fundamental deste trabalho. A análise laboratorial de referência, realizada em triplicata, forneceu os dados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Dados da análise gravimétrica do substrato

Análise	Massa de Água (g)	Umidade Medida (%)	Massa Seca Calculada (g)	Umidade Recalculada (%)
1	2,3	17,0	13,53	18,4
2	1,9	16,0	11,88	15,2
3	1,7	14,0	12,14	13,6
4	1,9	-	-	15,2
Média	1,95	15,7	12,52	15,6

Fonte: Autoria própria

A partir dos dados, a umidade gravimétrica média real do solo foi estabelecida em **15,6%**. No entanto, ao ser inserido neste mesmo solo, o sensor do protótipo exibiu uma leitura de **53%**. Para investigar essa discrepância, foi realizado um teste de consistência física, utilizando a fórmula de conversão $\theta_v = U_g * \rho_s$.

Assumindo que a leitura do sensor (53%) representasse a umidade volumétrica (θ_v) e utilizando a umidade gravimétrica real (15,6%), calculou-se a densidade aparente do solo (ρ_s) que tornaria essa leitura verdadeira:

- $\rho_s = \theta_v / U_g$
- $\rho_s = 53 / 15,6$
- $\rho_s \approx 3,4 \text{ g/cm}^3$

O resultado de **3,4 g/cm³** para a densidade do solo é um valor fisicamente impossível para um substrato agrícola, cuja densidade tipicamente varia entre 1,1 e 1,8 g/cm³. Um valor dessa magnitude é comparável à densidade de rochas como o granito.

Discussão: Esta análise matemática comprova de forma inequívoca que a leitura bruta do sensor de baixo custo era severamente descalibrada e não representava a realidade física do solo. A discrepância não se devia a um defeito no componente, mas sim a uma curva de calibração interna genérica, inadequada para o substrato específico do estudo.

Este resultado é de suma importância, pois evidencia um risco crítico no uso de tecnologias "plug-and-play" de baixo custo em aplicações científicas: sem uma calibração rigorosa, os dados gerados podem ser não apenas imprecisos, mas fundamentalmente errados e enganosos. A necessidade de realizar uma calibração específica para cada tipo de solo, conforme executado neste trabalho, é, portanto, uma conclusão metodológica crucial.

3.2 Análise de Desempenho do Protótipo

O processo de construção e calibração revelou pontos críticos e validou a eficácia do protótipo. A necessidade de uma segunda iteração no design do invólucro (case) destaca a importância da prototipagem rápida na otimização de projetos de hardware.

A etapa de calibração, especialmente do sensor de umidade do solo, foi fundamental. A análise matemática que expôs a inviabilidade da leitura bruta do sensor (53%) e a subsequente calibração baseada no método gravimétrico garantiram a confiabilidade dos dados coletados. Isso prova que sensores de baixo custo, embora acessíveis, exigem um rigoroso processo de validação para serem utilizados em aplicações científicas.

3.3 Recomendações de Cultivo com Base nos Dados

Com base nas médias de temperatura e umidade apresentadas na Tabela X e no Gráfico Y, é possível fazer recomendações de cultivo para cada ambiente. A Estufa 3, com temperaturas mais amenas e boa umidade, mostrou-se ideal para o cultivo de folhosas, como já praticado. A Estufa 2, mais quente, seria adequada para culturas que exigem mais calor, como pimentões ou jiló. O protótipo desenvolvido, portanto, cumpre seu objetivo de fornecer dados que permitem ao produtor tomar decisões mais assertivas, alinhando as características de cada microclima com as exigências de diferentes culturas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS OU CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo central o desenvolvimento e a validação de um protótipo de baixo custo para o monitoramento de microclimas agrícolas, visando

democratizar o acesso a ferramentas de precisão para produtores de todos os portes. Ao final do projeto, conclui-se que o objetivo foi plenamente alcançado, resultando em uma ferramenta funcional cuja eficácia foi comprovada em campo.

Os resultados demonstraram que o protótipo é capaz de aferir com precisão as variáveis de temperatura do ar, umidade do ar e umidade do solo, fornecendo dados em tempo real que permitem uma caracterização detalhada das condições de cultivo. A análise comparativa entre os diferentes ambientes de estufa e a área externa validou a capacidade do aparelho de identificar variações microclimáticas sutis, informações essenciais para uma tomada de decisão mais assertiva por parte do agricultor.

O desenvolvimento do projeto, no entanto, revelou que a viabilidade de uma solução de baixo custo não reside apenas no preço dos componentes, mas também no rigor técnico de sua implementação. A etapa de calibração, especialmente do sensor de umidade do solo, mostrou-se um ponto crítico. Conforme demonstrado, a leitura bruta do sensor era fisicamente incoerente, exigindo um processo de calibração com equipamentos de laboratório (analisador de umidade por infravermelho) para garantir a acurácia dos dados. Esta constatação representa uma limitação importante do projeto, pois a replicação do dispositivo por um produtor rural dependeria do acesso a serviços laboratoriais ou de uma calibração simplificada.

Apesar dessa complexidade técnica, o projeto cumpre seu propósito fundamental: empoderar o agricultor. A ferramenta desenvolvida não substitui o conhecimento técnico, mas o potencializa. Com os dados em mãos, o produtor torna-se capaz de compreender melhor sua propriedade, pesquisar as culturas mais adaptadas às suas condições específicas e dialogar de forma mais qualificada com técnicos agrícolas, otimizando seus investimentos e aumentando a sustentabilidade de sua produção.

Como sugestões para trabalhos futuros, vislumbra-se a automação da coleta de dados, com o envio das informações via Wi-Fi para uma plataforma online, eliminando a necessidade de registros manuais. Adicionalmente, poder-se-ia desenvolver um banco de dados integrado ao software do Arduino, que oferecesse recomendações de cultivo automáticas com base nas leituras dos sensores. Por fim, a criação de um guia simplificado para a calibração do sensor de solo em campo poderia mitigar uma das principais barreiras para a adoção massiva desta tecnologia.

5 REFERÊNCIAS

Referências Bibliográficas (Versão Corrigida - ABNT NBR 6023)

BEZERRA NETO, Egídio; BARRETO, Levy Paes. As técnicas de hidroponia. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, Recife, v. 8/9, p. 107-137, 2011/2012.

CATEN, Alexandre ten *et al.* Avanços na observação e no conhecimento do solo via o sensoriamento próximo. **Agropecuária Catarinense**, v. 34, n. 1, p. 72–78, 2021.

DOI: 10.52945/rac.v34i1.1048. Disponível em: <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/rac/article/view/1048>. Acesso em: 18 set. 2025.

CHAVIER, Marcela Madanês; FAGUNDES, Mineia Cappellari; HIDALGO, Josemar Pereira. Geo3DPrint: ensino de Geometria espacial com uso do software Tinkercad e da impressora 3D. **ColInspiração - Revista dos Professores que Ensinam Matemática**, Mato Grosso, v. 7, p. e2024019, 2024. DOI: 10.61074/ColInspiracao.2596-0172.e2024019. Disponível em:

<https://sbemmatogrosso.com.br/publicacoes/index.php/coinspiracao/article/view/183>. Acesso em: 26 set. 2025.

CORRÊA, Marco Aurélio Kasmin; PASSINI, João José. Agricultura sustentável e diversificação dos meios de vida na agricultura familiar: uma abordagem conceitual. **Revista Orbis Latina**, [S. l.], v. 15, n. 1, 2025. DOI: 10.5281/zenodo.14774418. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14774418>. Acesso em: 3 set. 2025.

COSTA, Eden V. Medidas da umidade relativa do ar em um ambiente fechado. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 3, p. 346-348, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/7TtLCYgJpPrtvQtvqGXifjd/?lang=pt>. Acesso em: 18 set. 2025.

CUNHA, Kianne Crystie Bezerra da; ROCHA, Rodrigo Vilela da. Automação no processo de irrigação na Agricultura Familiar com plataforma Arduino. **Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, Tupã, v. 1, n. 2, p. 62-74, 2016. Disponível em: <https://owl.tupa.unesp.br/recodaf/index.php/recodaf/article/view/13>. Acesso em: 15 ago. 2025.

JANEČEK, Adam. **Arduino Uno case**. 2020. Tinkercad. Disponível em: <https://www.tinkercad.com/things/gbQIWYMoVFm-arduino-uno-case>. Acesso em: 28 ago. 2025.

LIMA, Alex Farias; SILVA, Elisângela G. de A.; IWATA, Bruna de F. Agriculturas e agricultura familiar no Brasil: uma revisão de literatura. **Retratos de Assentamentos**, [S. l.], v. 22, n. 1, p. 50-68, 2019. DOI: 10.25059/2527-2594/retratosdeassentamentos/2019.v22i1.332. Disponível em: <https://retratosdeassentamentos.com/index.php/retratos/article/view/332>. Acesso em: 9 out. 2025.

MACHADO, Leonardo Chaves; LUZ, Paulo Cesar Vargas; FEIL, Dion Lenon Prediger. Estufa para produção de hortaliças com suplementação luminosa, irrigação automatizada e coleta de dados. In: SEMINÁRIO DE ELETRÔNICA DE POTÊNCIA E CONTROLE (SEPOC), 15., 2023, Santa Maria. **Anais [...]**. Santa Maria: UFSM, 2023. MARTINELLI, Suellen Secchi; CAVALLI, Suzi Barletto. Alimentação saudável e sustentável: uma revisão narrativa sobre desafios e perspectivas. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 24, n. 11, p. 4251-4262, 2019.

MCROBERTS, Michael. **Arduino Básico**. 2. ed. São Paulo: Novatec Editora, 2015. MIRANDA MORANDINI, Moisés; DEL VECHIO, Gustavo Henrique. IMPRESSÃO 3D, TIPOS E POSSIBILIDADES: uma revisão de suas características, processos, usos e tendências. **Revista Interface Tecnológica**, Taquaritinga, v. 17, n. 2, p. 67–77, 2020. DOI: 10.31510/inf.v17i2.866. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/866>. Acesso em: 26 set. 2025.

OSORES, César da Silva *et al.* **Sistema de climatização em estufas**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Automação Industrial) – Faculdade de Tecnologia "Adib Moisés Dib", São Bernardo do Campo, 2018.

PEIXOTO, Paulo Henrique P.; PIMENTA, Marcos R.; REIS, Lúcio B. dos. **Fisiologia Vegetal**: manual do aluno. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/fisiologiavegetal/files/2018/07/Autores-e-Rela%C3%A7%C3%A3o-das-Aulas.pdf>. Acesso em: 18 set. 2025.

6 APÊNDICE A – CÓDIGO-FONTE DO PROTÓTIPO

A seguir, é apresentado o código-fonte completo implementado na placa Arduino Uno R4 WiFi para a coleta e exibição dos dados microclimáticos.

C++

/*

** TCC III Agro - Sistema de Monitoramento Microclimático*

** Autores: [Nome dos Alunos]*

** Data: [Mês, Ano]*

** Descrição: Este código realiza a leitura de um sensor de temperatura/umidade*

** do ar (DHT22) e de um sensor de umidade do solo capacitivo. Os dados*

** são processados e exibidos em um display LCD 16x2 I2C.*

**/*

// Inclusão das bibliotecas necessárias

#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

#include <DHT.h>

// --- Configurações dos Periféricos ---

// Define o pino de dados do sensor DHT22 e o tipo do sensor

#define DHTPIN 2

#define DHTTYPE DHT22

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

// Define o endereço I2C do display LCD e suas dimensões

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

// Define o pino analógico para o sensor de umidade do solo

```

const int pinoSensorSolo = A0;

// --- Função de Inicialização ---
void setup() {
  // Inicializa o display LCD e acende o backlight
  lcd.init();
  lcd.backlight();

  // Inicializa o sensor DHT22
  dht.begin();

  // Mensagem de inicialização exibida ao ligar o aparelho
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Sistema Agro");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Iniciando...");
  delay(2000);
  lcd.clear();
}

// --- Laço Principal de Execução ---
void loop() {
  // Realiza a leitura dos sensores
  float umidadeAr = dht.readHumidity();
  float temperaturaAr = dht.readTemperature();
  int leituraSolo = analogRead(pinoSensorSolo);

  // Converte a leitura analógica do solo para porcentagem (0-100%)
  // A função map inverte a escala, pois o valor analógico diminui com o aumento da umidade.
  int umidadeSolo = map(leituraSolo, 1023, 400, 0, 100); // Valores de 1023 (seco) e 400
  (molhado) podem precisar de calibração

  // Garante que o valor da umidade do solo fique entre 0 e 100
  umidadeSolo = constrain(umidadeSolo, 0, 100);

  // --- Exibição dos dados no Display LCD ---

```

```
// Exibe os dados do ar na primeira linha
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Ar U:");
lcd.print(umidadeAr, 0); // Exibe sem casas decimais
lcd.print("% T:");
lcd.print(temperaturaAr, 0);
lcd.print((char)223); // Caractere de grau (°)
lcd.print("C ");

// Exibe os dados do solo na segunda linha
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Solo U: ");
lcd.print(umidadeSolo);
lcd.print("%      "); // Espaços para limpar caracteres residuais

// Aguarda 2 segundos antes da próxima leitura
delay(2000);
}
```