

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
COLÉGIO POLITÉCNICO DA UFSM  
PPGAP – PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO  
MESTRADO PROFISSIONAL EM AGRICULTURA DE PRECISÃO

Mirabor José Leite Júnior

**PROTÓTIPO DE MICROESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE BAIXO CUSTO PARA  
MONITORAMENTO DE VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS**

Santa Maria, RS  
2022

Mirabor José Leite Júnior

**PROTÓTIPO DE MICROESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE BAIXO CUSTO PARA  
MONITORAMENTO DE VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS**

Dissertação apresentada ao curso Mestrado Profissional em Agricultura de Precisão, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Gebler

Santa Maria, RS  
2022

Júnior, Mirabor  
PROTÓTIPO DE MICROESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE BAIXO CUSTO  
PARA MONITORAMENTO DE VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS /  
Mirabor Júnior.- 2022.  
66 p.; 30 cm

Orientador: Luciano Gebler  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em  
Agricultura de Precisão, RS, 2022

1. Arduino 2. Fruticultura de Precisão 3.  
Instrumentação 4. Microclima I. Gebler, Luciano II.  
Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

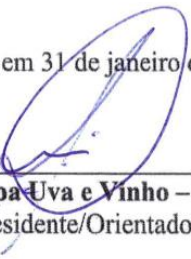
**Declaro, MIRABOR JÚNIOR, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Tese) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.**

**Mirabor José Leite Júnior**

**PROTÓTIPO DE MICROESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE BAIXO CUSTO PARA  
MONITORAMENTO DE VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS**

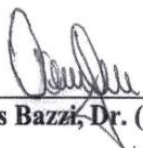
Dissertação apresentada ao curso Mestrado Profissional em Agricultura de Precisão, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Aprovado em 31 de janeiro de 2022.



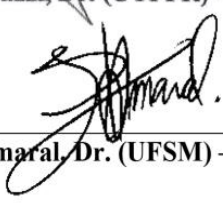
---

**Luciano Gebler, Dr. (Embrapa Uva e Vinho – EFCT) – Videoconferência**  
(Presidente/Orientador)



---

**Claudio Leones Bazzi, Dr. (UTFPR) – Videoconferência**



---

**Lúcio de Paula Amaral, Dr. (UFSM) – Videoconferência**

Santa Maria, RS  
2022

Aos meus pais  
E minha avó (*in memoriam*),  
Dedico.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à Deus por me dar forças durante todo este período em que estive longe de minha família e amigos. Eles foram o motivo pelo qual atravessei o país para realizar este sonho. Gostaria de agradecer especialmente à minha mãe, que me apoiou durante toda a minha jornada acadêmica, desde a graduação até aqui, nunca me desamparou emocionalmente e sempre me deu forças para continuar e nunca desistir; ao meu pai, que proporcionou as condições necessárias para que eu pudesse estudar em uma das melhores instituições do Brasil.

Sou grato também aos meus amigos que nunca me deixaram desanimar, mesmo diante de todas as dificuldades impostas durante a pandemia do COVID-19, em especial aos que conheci durante o desenvolvimento deste trabalho, Ana Maria, Evandro Forlin, Gustavo Pinheiro e Lucas Marchioretto, ao Alencar Lucas Soares e Lucas Molz Lara, que foram grandes amigos durante o processo seletivo e as aulas do curso de mestrado.

Agradeço também à Universidade Federal de Santa Maria e ao Colégio Politécnico, pelo provimento do curso de Mestrado Profissional em Agricultura de Precisão, bem como seu corpo docente e colaboradores; em especial ao Juliano Molinas e ao Dr. Lucio de Paula Amaral, ambos pela paciência em sanar as mais diversas dúvidas surgidas durante o curso.

Sou grato à Embrapa Uva e Vinho, em Vacaria, que me acolheu de braços abertos para a realização da minha pesquisa; ao meu orientador, Dr. Luciano Gebler, pelas conversas e ensinamentos que foram fundamentais para a conclusão de mais esta etapa importante na minha vida; a Dra. Andrea De Rossi, ao Dr. Régis Sivori e Dr. Silvio André pelas dicas que tornaram este trabalho possível; e aos demais colaboradores da Embrapa que contribuíram direta ou indiretamente para a concretização deste sonho.

Aproveito para agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da Bolsa de Desenvolvimento Tecnológico e Industrial.

*“As pessoas não sabem o que querem, até mostrarmos a elas.”*

**– Steve Jobs**

## **RESUMO**

### **PROTÓTIPO DE MICROESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAMENTO DE VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS**

**AUTOR:** Mirabor José Leite Júnior

**ORIENTADOR:** Luciano Gebler

A fruticultura vem se destacando como uma das principais atividades agrícolas do país, exercendo grande influência sobre o setor social e econômico. Isso está ligado a alguns fatores importantes, como a geração de emprego e renda em pequenas áreas e o alto valor agregado em seu produto. Ainda por se tratar de uma atividade realizada, na maioria das vezes, de forma manual e convencional, a fruticultura possui um grande potencial de crescimento tecnológico, principalmente ao adotar os conceitos aplicados pela Agricultura de Precisão (AP) sobre as culturas de grãos, fibras e energia, criando um novo segmento: a Fruticultura de Precisão. Por ser uma atividade que depende de fatores climáticos que na maioria das vezes não podem ser controlados, o monitoramento de variáveis ambientais é uma importante ferramenta para o planejamento de ações no pomar, sejam elas preventivas ou corretivas. Na cultura da maçã, por exemplo, os produtores têm adotado alternativas para prevenção de danos causados por intempéries climáticas, como a cobertura dos pomares com telas antigranizo. Essa ação vem se mostrando a alternativa mais eficaz para evitar danos em plantas e frutos e perdas econômicas causadas pelo granizo, com previsão de evolução para cobertura de 80% da área de produção nos próximos anos. No entanto, o uso deste sistema altera as condições de microclima em comparação com o manejo utilizado em plantas cultivadas a pleno sol, portanto exige manejo diferenciado. Além disso, os dados meteorológicos tradicionais são obtidos em condições a céu aberto, em condições climáticas diferentes do modo que os pomares estão sendo conduzidos sob tela. Para atender a essa crescente demanda por informações e tecnologias na área de fruticultura, o presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um protótipo de uma microestação meteorológica, de baixo custo, a ser acoplada diretamente à planta, que possa ser instalada em plantas com e sem cobertura de tela, coletando dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar, umidade do solo e molhamento foliar. A construção do protótipo se deu a partir do padrão Arduino, referência em projetos *DIY* (Faça você mesmo). Além dos sensores, a estação possui também um módulo de armazenamento de dados para serem tratados e interpretados pelo usuário final. Como resultado, o dispositivo construído se mostrou capaz de coletar dados tão eficientes quanto estações meteorológicas comercial e oficial do INMET, através de testes de validação em laboratório e campo. Vale destacar seu baixo custo de fabricação (R\$ 456,80), a facilidade de replicação e adaptação para demais atividades agrícolas por meio da adição de mais ou menos sensores ou até mesmo a possibilidade de integrar, a partir de trabalhos futuros, sistemas de transmissão de dados sem fio.

**Palavras-chaves:** Arduino. Fruticultura de Precisão. Instrumentação. Microclima.



## **ABSTRACT**

### **PROTOTYPE OF A LOW-COST MICRO-METEOROLOGICAL STATION FOR MONITORING MICROCLIMATIC VARIABLES**

**AUTHOR:** Mirabor José Leite Júnior

**ADVISOR:** Luciano Gebler

Fruit farming has been standing out as one of the main agricultural activities in the country, exerting great influence on the social and economic sector. This is linked to some important factors, such as the generation of employment and income in small areas and the high added value in its product. Still because it is an activity performed, most of the time, in a manual and conventional way, fruit farming has a great potential for technological growth, especially when adopting the concepts applied by Precision Agriculture (PA) on the cultures of grains, fibers and energy, creating a new segment: the Precision Fruticulture. For being it is an activity that depends on climatic factors that in most cases cannot be controlled, the monitoring of environmental variables is an important tool for planning actions in the orchard, whether preventive or corrective. In the apple culture, for example, producers have adopted alternatives to prevent damage caused by bad weather, such as covering orchards with anti-hail screens. This action has been proving to be the most effective alternative to avoid damage to plants and fruits, and economic losses caused by hail, with an expected evolution to cover 80% of the production area in the next few years. However, the use of this system alters the microclimate conditions in comparison with the management used in plants grown in full sun, and therefore requires different management. In addition, traditional meteorological data are obtained under open-air conditions, under different climatic conditions than the way orchards are being conducted under canvas. To meet this growing demand for information and technology in the area of fruit growing, this work aims to develop a prototype of a micro meteorological station, of low cost, to be attached directly to the plant, which can be installed in plants with and without canvas cover, collecting data of air temperature, relative humidity, solar radiation, soil moisture and leaf wetting. The prototype was built using the Arduino standard, a reference in DIY projects. Besides the sensors, the station also has a data storage module to be processed and interpreted by the end user. As a result, the built device proved to be able to collect data as efficiently as commercial and official INMET weather stations, through validation tests in the lab and in the field. It is worth mentioning its low manufacturing cost (R\$ 456.80), the ease of replication and adaptation to other agricultural activities by adding more or less sensors, or even the possibility of integrating, from future work, wireless data transmission systems.

**Keywords:** Arduino. Precision Agriculture. Instrumentation. Microclimate.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Vista geral da estação meteorológica INMET (A880), localizada na Estação Experimental de Fruticultura de Clima Temperado EFCT/Embrapa Uva e Vinho, em Vacaria/RS....	22
FIGURA 2 – Esquematização da estrutura e componentes de um microcontrolador.....	24
FIGURA 3 – Placa Arduino UNO.....	25
FIGURA 4 – Sensor de umidade e temperatura DHT22.....	27
FIGURA 5 – Sensor de luminosidade (BM1750).....	28
FIGURA 6 – Sensor de molhamento foliar.....	29
FIGURA 7 – Sensor de umidade do solo.....	30
FIGURA 8 – Protoboard de 830 furos utilizada no projeto.....	31
FIGURA 9 – Jumpers utilizados no desenvolvimento do protótipo.....	32
FIGURA 10 – Módulo Datalogger com Cartão SD Card e relógio em tempo real (RTC).....	33
FIGURA 11 – Localização das áreas onde o trabalho foi realizado, nos municípios de Vacaria e Bom Jesus, RS.....	34
FIGURA 12 – Cúpula transparente de acrílico para abrigar o sensor de luminosidade.....	36
FIGURA 13 – Piranômetro utilizado em estações comerciais para aferição de radiação solar...	36
FIGURA 14 – Posicionamento e instalação dos sensores de luminosidade (A), temperatura e umidade do ar (B), molhamento foliar (B) e umidade do solo (C).....	38
FIGURA 15 – Caixa de passagem utilizada para a acomodação dos componentes do protótipo...	40
FIGURA 16 – Visão geral do protótipo instalado em planta de macieira em pomar coberto com tela antigranizo.....	41
FIGURA 17 – Local de instalação dos protótipos em pomar de macieiras sob condições de cultivo a pleno sol e sob tela antigranizo, na AGROSPE, em Bom Jesus, RS.....	42
FIGURA 18 – Distância entre o local de instalação dos protótipos e a estação meteorológica oficial do INMET (A880) no município de Vacaria, RS.....	42
FIGURA 19 – Layout de funcionamento do dispositivo.....	45
FIGURA 20 – Dados brutos obtidos pelo protótipo.....	46
FIGURA 21 – Resultados das comparações entre o PROTÓTIPO, estações meteorológicas CAMPBELL, SOLAR e padrão INMET para as variáveis de temperatura (A), umidade relativa do ar (B) e radiação solar (C).....	48
FIGURA 22 – Temperatura do ar em pomar de macieira cultivado sob tela antigranizo (A) e a	

pleno sol (B) registrada por duas estações meteorológicas, sendo uma comercial (Campbell) e o protótipo desenvolvido no presente estudo..... 50

FIGURA 23 – Umidade relativa do ar (A), radiação solar (B) e umidade do solo (C) registrados pelo protótipo em pomar de macieira cultivado sob tela antigranizo e a pleno sol...51

FIGURA 24 – Molhamento foliar registrados pelo protótipo em pomar de macieira cultivado sob tela antigranizo (A) e a pleno sol (B).....52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Desempenho das fontes de energia com relação aos tempos e intervalos de aferição.....	47
Tabela 2 – Análises de variância para temperatura do ar, umidade relativa do ar e radiação solar em diferentes estações meteorológicas.....	49
Tabela 3 – Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para temperatura do ar, umidade relativa do ar e radiação solar coletados em diferentes estações meteorológicas.....	49
Tabela 4 – Resumo da análise de variância para temperatura do ar, umidade relativa do ar e radiação solar em diferentes estações meteorológicas testadas sob a condição em tela e pleno sol.....	53
Tabela 5 – Valores médios para as variáveis analisadas nas estações meteorológicas protótipo a pleno sol (PPS) e sob tela antigranizo (PTAG) e estação meteorológica comercial da fabricante Solar a pleno sol (SPS) e da fabricante Campbell sob tela antigranizo (CTAG).....	53
Tabela 6 – Relação de materiais e componentes necessários para construção de protótipos.....	54
Tabela 7 – Análise comparativa de preços das diferentes estações meteorológicas utilizadas.....	55

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	Agricultura de Precisão
CC	<i>Creative Commons</i>
IDE	Ambiente de programação ( <i>Interface Development Environment</i> )
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
FP	Fruticultura de Precisão
UV	Ultravioleta
RTC	<i>Real Time Clock</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>17</b>
2.1	OBJETIVO GERAL.....	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>18</b>
3.1	FRUTICULTURA DE PRECISÃO.....	18
3.2	VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS.....	19
3.3	ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS.....	21
3.4	INSTRUMENTAÇÃO.....	23
<b>3.4.1</b>	<b>Microcontroladores.....</b>	<b>24</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Arduino e sua tecnologia.....</b>	<b>25</b>
<b>3.4.3</b>	<b>Módulos e Sensores.....</b>	<b>26</b>
3.4.3.1	<i>Sensor de temperatura do ar e umidade relativa do ar (DHT22).....</i>	<i>27</i>
3.4.3.2	<i>Sensor de luminosidade (BH1750).....</i>	<i>27</i>
3.4.3.3	<i>Sensor de molhamento foliar.....</i>	<i>28</i>
3.4.3.4	<i>Sensor de umidade do solo.....</i>	<i>29</i>
3.4.3.5	<i>Matriz de contato (Protoboard).....</i>	<i>30</i>
3.4.3.6	<i>Fios conectores (Jumpers).....</i>	<i>31</i>
3.4.3.7	<i>Módulo Datalogger com SD Card e Relógio de Tempo Real (DS1307).....</i>	<i>32</i>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>34</b>
4.1	MONTAGEM DO PROTÓTIPO.....	35
4.2	PROGRAMAÇÃO DO PROTÓTIPO.....	37
4.3	TESTES DE VALIDAÇÃO.....	38
<b>4.3.1</b>	<b>Testes de funcionamento em laboratório.....</b>	<b>38</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Testes de validação do protótipo.....</b>	<b>39</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Testes em campo.....</b>	<b>40</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>44</b>
5.1	APRENDIZAGEM, PREPARO, CONSTRUÇÃO E MANEJO DO PROTÓTIPO.....	44
5.2	TESTES DE AUTONOMIA DE BATERIA.....	46
5.3	VALIDAÇÃO DO PROTÓTIPO COM AS ESTAÇÕES PADRÃO INMET E COMERCIAL.....	47

5.4	FUNCIONAMENTO DO PROTÓTIPO COM E SEM COBERTURA ANTIGRANIZO....	50
6	CONCLUSÃO.....	56
7	TRABALHOS FUTUROS.....	57
	REFERÊNCIAS.....	58
	ANEXO A.....	61

## 1 INTRODUÇÃO

A produção de frutas no Brasil vem se destacando como uma das principais atividades agrícolas do país, onde exerce grande influência social e econômica, especialmente na agricultura familiar. O crescente destaque está ligado a alguns fatores importantes do cenário frutícola, como a geração de emprego e renda em pequenas áreas e o alto valor agregado em seu produto. Além disso, o Brasil possui uma grande variedade de cultivos que se adaptam às mais diversas regiões do território nacional.

Por se tratar de uma atividade realizada na maioria das vezes de forma manual – principalmente na etapa de colheita, a fruticultura possui um grande potencial de crescimento tecnológico, sobretudo ao adotar os conceitos aplicados pela Agricultura de Precisão (AP) usados nas culturas de grãos, fibras e energia, criando, assim, um novo conceito: a Fruticultura de Precisão (FP). Com isso, recursos antes inacessíveis na fruticultura convencional como sistemas de automação, monitoramento e sensoriamento remoto vêm alcançando os pomares a partir da aplicação de técnicas na FP. O emprego de algumas dessas técnicas pode auxiliar na identificação de diferentes zonas de manejo e, conseqüentemente, áreas com potencial para produção de frutos com melhor qualidade, bem como reduzir o uso de mão de obra, uma vez que este é um dos maiores custos na produção de frutas.

A ocorrência de granizo é um dos grandes problemas na fruticultura, pois sua ocorrência pode inviabilizar a safra de um ano, seja pela quebra de produção, danos às plantas ou dano à qualidade de frutos.. Os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul são os que mais sofrem com tais eventos, e apresentam uma frequência de ocorrência do fenômeno mais alta do que os demais estados do país (KLANOVICZ, J. 2013; BEREZUK, A. G. 2017). Diante das perdas expressivas causadas pela ocorrência de granizo, os produtores têm adotado algumas alternativas para prevenção dos danos ao pomar, das quais tem se destacado a cobertura dos pomares com telas antigranizo (HAWERROTH, 2017).

A utilização de tela antigranizo é considerada a alternativa mais eficaz para evitar as perdas econômicas causadas por este fenômeno. Entretanto, o uso deste sistema exige um manejo diferenciado, visto que as condições de microclima, sombreamento, crescimento e desenvolvimento das plantas são diferentes do manejo utilizado em plantas cultivadas a pleno sol (HAWERROTH, 2017).

Portanto, o monitoramento de variáveis ambientais seguindo não só as características de manejo de cada parte da produção, mas também sua variabilidade espacial, pode se tornar uma



ferramenta auxiliar no planejamento ações no pomar, sejam elas preventivas ou corretivas. No entanto, dados disponibilizados por órgãos públicos, como o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), geralmente são aferidos em escala macro ou mesmo regional, na maioria dos casos, a dezenas ou centenas de quilômetros da área de interesse de aplicação dos dados, sendo insuficientes para prever fenômenos microclimáticos ocorrendo de maneira pontual dentro de uma lavoura ou pomar.

Uma alternativa a esta carência por informações precisas numa área produtiva seria a utilização de uma estação meteorológica comercial, que devido a seu custo elevado para aquisição e manutenção, muitas vezes é inviável para o produtor. Ainda assim, permanece a necessidade de trazer esta informação a um nível mais próximo do trabalho em pomares, respeitando sua variabilidade espacial e temporal, conforme recomenda a Agricultura de Precisão.

Para atender a essa crescente demanda por informações e tecnologias na fruticultura, o presente trabalho tem como objetivo criar um protótipo de microestação meteorológica de baixo custo para uso em pomares, possível de ser replicada de maneira simplificada por qualquer interessado, que atenda os quesitos de funcionalidade de operação e respeito à variabilidade espacial do local conforme recomendado pela Agricultura de Precisão. O sistema inclui sensores acoplados diretamente à planta – reduzindo custos com estruturas metálicas, evitando a criação de obstáculos nas entrelinhas do pomar, com facilidade de transporte e manutenção do equipamento; e usados para coletar informações microclimáticas de interesse agrícola.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver protótipo com sistema de sensores para coleta de dados micrometeorológicos para determinar e armazenar dados das principais variáveis climáticas de interesse agrônomo.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Criar um equipamento com sensores micrometeorológicos estrategicamente alocados na planta para coleta e armazenamento dos dados a partir de uma placa microcontroladora *Arduino*;
- Validar o protótipo construído através da comparação com estações meteorológicas comerciais e com a estação meteorológica oficial do INMET;
- Verificar seu funcionamento em dois sistemas de produção de maçã dominantes, com e sem cobertura de tela antigranizo;
- Realizar um comparativo da viabilidade econômica do protótipo em relação a soluções já presentes no mercado, focando em Agricultura de Precisão/Fruticultura de Precisão.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 FRUTICULTURA DE PRECISÃO

A fruticultura brasileira representa um potencial econômico de grande importância para os agricultores, já que proporciona boa rentabilidade em áreas consideradas pequenas. Ainda assim, nota-se que há uma lacuna tecnológica a ser preenchida para que seja possível oferecer e aprimorar o suporte à produção e comercialização tecnificada no setor, gerando demandas que possibilitem a produção econômica de frutas saudáveis e seguras para a alimentação humana e, assim, favorecendo o desenvolvimento da Agricultura de Precisão (AP) (BRUCKNER, PICANÇO; 2001; BURRELL, 2004).

Basso et al. (2014) ressaltam que o avanço da AP convencional, praticada nas culturas de grãos, fibras e energia, que alavanca cada dia mais o desenvolvimento do agronegócio brasileiro, têm motivado o uso maior de tecnologias para atender as crescentes demandas de uma Fruticultura de Precisão (FP) ainda incipiente.

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2016), o emprego de algumas ferramentas da AP convencional na produção de frutas pode auxiliar na identificação de áreas com potencial para produção de melhor qualidade e até mesmo no entendimento de fatores inerentes à mesma, bem como reduzir o uso de mão de obra, que impacta em média 50% nos custos de produção em pomares de macieira.

A partir dos primeiros estudos em tecnologias de Agricultura de Precisão em viticultura, iniciado na Austrália por Bramley e Proffitt (1999), houve um crescimento expressivo na busca de melhorias na produtividade e qualidade. Com isso, surgiram várias tecnologias para aperfeiçoar a produção de frutas, passando de processos manuais ou mecânicos para uma fase de instrumentação, que só foi possível devido ao desenvolvimento progressivo e barateamento da eletrônica e microeletrônica.

Dentro da dinâmica de instrumentação surge o monitoramento de variáveis ambientais utilizando dados provenientes de estações meteorológicas de baixo custo. Com o uso de dispositivos capazes de obter informações climáticas em tempo real, por exemplo, é possível antecipar tomadas de decisões relacionadas ao planejamento e otimização dos processos produtivos – realizando o monitorando das condições climáticas no pomar, acompanhamento de métricas de trabalho, estimativas de perdas, etc., já que a grande parte das culturas depende de condições ambientais favoráveis para se desenvolverem (PAULA, 2017).

### 3.2 VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS

Utilizar-se dos conhecimentos da meteorologia em todas as suas formas pode melhorar consideravelmente o uso dos recursos agrícolas, principalmente água e solo, com objetivo de produzir o máximo possível com o mínimo de recursos (SMITH, 1975). Conhecer as relações entre as condições físicas do ambiente e as diversas culturas agrícolas permite identificar a influência climatológica e do tempo no desenvolvimento e produtividade das culturas (MONTEIRO, 2009).

O monitoramento das variáveis microclimáticas serve como subsídio para a execução das mais diversas atividades agrícolas, pois através do conhecimento do comportamento dessas variáveis é possível planejar atividades a fim de diminuir as perdas causadas por intempéries climáticas e aumentar a qualidade da produção (FIORAVANÇO, 2013).

De acordo com Carbonneau (1984), o microclima corresponde às condições climáticas de uma pequena superfície. Neste sentido, podemos considerar dois tipos de microclima. O microclima natural corresponde à superfície com área de 10 a 100 m<sup>2</sup>. Já o microclima da planta é caracterizado por variáveis climáticas, como temperatura e umidade relativa do ar, radiação visível, nebulosidade, precipitações pluviométricas, pressão atmosférica e os ventos, que, por sua vez, são consideradas variáveis climáticas de interesse agrícola. Na cultura da macieira, por exemplo, todas essas variáveis exercem alguma influência de modo direto ou indireto sobre o crescimento, a produção e a qualidade dos frutos.

A temperatura exerce grande influência sobre vários aspectos do metabolismo das plantas. Na macieira as temperaturas podem interferir diretamente na forma e na coloração dos frutos. Sendo a região Sul do Brasil onde mais se cultiva macieiras e suas exigências, a temperatura é uma das variáveis climáticas mais importantes. Por exemplo, a maçã da variedade Gala, no Brasil, que responde por mais de 60% da área plantada, necessita de, no mínimo, 600 horas de frio abaixo de 7,2° C por ano para uma correta brotação após a dormência, sendo que outras variedades podem ser ainda mais exigentes em frio. Em condições de temperatura baixa, por exemplo, ocorre o favorecimento do alongamento dos frutos. Em contrapartida, temperaturas altas nessa mesma fase favorece a produção de frutos achatados (FIORAVANÇO, 2013).

Outro exemplo importante do impacto dos fatores climáticos na produção de frutas é no momento da aplicação de agroquímicos, onde temperatura, umidade relativa do ar, velocidade e direção dos ventos impactam diretamente no sucesso da atividade. No caso da temperatura do ar, ela atua diretamente no metabolismo de patógenos, acelerando ou diminuindo sua ação na

planta. Já em relação à umidade, realizar pulverizações em condições de umidade relativa do ar muito baixas faz com que a gota que sai do bico do pulverizador tenha uma tendência maior para evaporar. Para contornar isso, é necessário aumentar o tamanho da gota de pulverização. Já a velocidade dos ventos está vinculada diretamente com as perdas de produto por deriva, sendo importante o seu monitoramento para que a aplicação dos produtos tenha o efeito desejado sem prejuízos ao ambiente (KIMATI et al., 2005). Em relação à direção dos ventos, juntamente com a deriva de produtos aplicados, tem-se a questão de atingir áreas vizinhas suscetíveis aos produtos aplicados (ver uma fonte).

Segundo Gomes e Neto (2015), a macieira é uma fruteira típica de clima temperado, que exige um período de inverno frio e uma estação vegetativa quente e com boa luminosidade, o que torna este fator, assim como a temperatura, um importante parâmetro na fase de crescimento vegetativo da planta, logo após a quebra de dormência.

No caso das chuvas, Fioravanço (2013) afirma que a chuva é outro fator importante para o desenvolvimento da macieira, especialmente no período de crescimento dos frutos, pois restrições hídricas podem promover diminuição de tamanho e, conseqüentemente, redução da produtividade do pomar, da qualidade dos frutos e do preço dos produtos.

Além disso, a partir do momento em que a planta está molhada, uma vez que o esporo de um patógeno esteja presente, há a tendência do aparecimento de doenças. No caso da sarna da macieira (colocar o nome científico dos microrganismos relacionados), por exemplo, o fungo, na forma de pseudotécios, permanece em folhas secas caídas no solo. Quando ocorre a precipitação, os pseudotécios do fungo liberam esporos que são levados por meio de correntes do ar para a planta, infectando-a. Dessa forma, é essencial identificar o momento e o nível do molhamento foliar para antecipar ações de controle desse tipo de situação (KIMATI et al., 2005).

O teor de umidade do solo é outro parâmetro que permite avaliar se a planta dispõe de água para os processos de evapotranspiração, sendo um dos parâmetros climáticos críticos para o sucesso da fruticultura, uma vez que a fruta normalmente é composta quase inteiramente de água. Além disso, o consumo de água pela macieira também é influenciado pela temperatura, radiação solar global, déficit de pressão de vapor e umidade relativa do ar, sendo a velocidade do vento pouco relevante (SENTELHAS, 2004).

Outro fator relacionado ao clima, inerente da variabilidade espacial, é dado pelas condições de relevo, que influencia na incidência de radiação solar recebida pelo terreno, na temperatura do ar e circulação de ventos, precipitações e condições de solo. Em áreas mais altas

ocorre a redução da temperatura, já que o ar é mais rarefeito. Geralmente a cada 100 m de altitude há uma diminuição de aproximadamente 0,6 °C na temperatura. Além disso, dependendo da área, o relevo influencia no fluxo de massas de ar, o que repercute diretamente sobre a frequência de precipitações, aumentando a incidência de chuvas. Também nas depressões do solo ou baixadas, há a concentração do ar frio noturno, aumentando a probabilidade da ocorrência de geadas, o que afeta o planejamento do plantio das áreas agrícolas. Por conta desse conjunto de fatores, a correlação entre a variabilidade espacial e o microclima das áreas agrícolas, deve ser tratada no âmbito da Fruticultura de Precisão, pois demanda intensa coleta e interpretação de dados, avaliação das informações e tomada de decisão no planejamento do pomar (FIORAVANÇO, 2013).

Portanto, os sistemas de suporte à decisão, inseridos no contexto da Meteorologia Agrícola, promovem acesso às informações relativas ao tempo e condições climáticas, contribuindo para o planejamento da produção.

Assim, a demanda pelo monitoramento dessas variáveis na agricultura tem se tornado cada vez mais intensa, feito normalmente a partir dos dados públicos obtidos pelas estações meteorológicas automáticas e disponibilizados na internet através do site do INMET (INMET, 2015). Por outro lado, na maioria das vezes esses dados são originados de distâncias consideráveis em relação à região de interesse, o que pode resultar em informações imprecisas, justificando o interesse pela geração de monitoramento meteorológico local.

### 3.3 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS

As estações meteorológicas (Figura 1) podem ser definidas como um sistema composto por sensores e instrumentos que fazem a leitura de variáveis ambientais para análise do clima e monitoramento ambiental. Elas podem ser classificadas como manuais, quando operada por humanos, ou automáticas, sem a presença de um operador, onde é possível observar uma estação contendo equipamentos que atendem as duas condições. As estações automáticas ainda são capazes de armazenar e transmitir os dados de maneira autônoma, o que agiliza e diminui o tempo para que essa informação fique disponível para consulta, além de diminuir também a probabilidade de erros durante o processo (SILVA, 2016).

Figura 1 – Vista geral da estação meteorológica INMET (A880), localizada na Estação Experimental de Fruticultura de Clima Temperado EFCT/Embrapa Uva e Vinho, em Vacaria/RS.



Fonte: Autor (2022).

Os sensores mais comumente utilizados nas estações meteorológicas são os que medem a pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, índice ultravioleta, velocidade e direção do vento, entre outras, que diferem dependendo da finalidade das observações (BISCARO, 2007).

Segundo o INMET (2015), o volume de dados meteorológicos coletados no Brasil ainda é considerado baixo. Uma alternativa à falta das informações provenientes dessas estações, principalmente em áreas remotas ou de difícil acesso, é a aquisição das unidades comerciais. No entanto, o alto custo de aquisição, instalação e manutenção de uma estação meteorológica automática tradicional (algumas dezenas de milhares de reais, entre aquisição e manutenção durante sua vida útil) também reforça a necessidade do desenvolvimento de uma solução mais barata, robusta, confiável e com potencialidades de formação de redes. Uma estação meteorológica comercial dispõe de diferentes opções de sensores. Ela pode ser adquirida na forma modular com a inclusão de pluviômetros, piranômetros, anemômetros, entre outros instrumentos, dependendo da demanda do comprador.

Por outro lado, a utilização de sensores de baixo custo, aliado à facilidade de integração com sistemas informatizados, possibilita a coleta massiva de dados e auxilia no planejamento da produção com uma melhor relação custo-benefício (MONTEIRO, 2009), segundo os princípios da Agricultura de Precisão.

O conhecimento de variáveis climáticas permite planejar de forma mais assertivas as atividades ligadas, principalmente, ao meio agrícola. Existem trabalhos publicados com o objetivo de criar uma estação meteorológica de baixo custo, mas até o desenvolvimento do presente trabalho nenhum utilizou a planta como suporte para a instalação de sensores para as variáveis climáticas, sendo esta condição um importante aspecto desta pesquisa.

Armani e Galvani (2006) desenvolveram um abrigo meteorológico de baixo custo para coleta dados de temperatura e umidade do ar. Os autores utilizaram materiais de fácil aquisição, como chapas de ferro galvanizado. O custo de montagem do abrigo foi cerca de 20 vezes inferior ao abrigo meteorológico disponibilizado pela fabricante Campbell.

Krishnamurthi et al. (2015) desenvolveram uma estação meteorológica automática para monitorar dados de umidade e temperatura, capaz de fornecer informações que representavam o clima em uma área experimental em tempo real e consequentemente ajudar os agricultores a obterem melhores colheitas.

Rockenbach (2019) propôs uma estação modular de baixo custo baseada no sistema *Raspberry Pi*, obtendo sucesso na comprovação que é possível a transição de sistemas comerciais para sistemas baseados na filosofia “Faça você mesmo” (do inglês “*Do It Yourself*” - *DIY*).

### 3.4 INSTRUMENTAÇÃO

Segundo Santos et al. (2015), a Instrumentação pode ser definida como a ciência que aplica e desenvolve técnicas para adequação de instrumentos de medição, transmissão, indicação, registro e controle de variáveis físicas em equipamentos nos processos industriais. A Instrumentação pesquisa, estabelece métodos e procedimentos, como dispositivos elétricos e sensores para criar instrumentos capazes de mensurar variáveis de interesse, como temperatura e umidade, por exemplo.

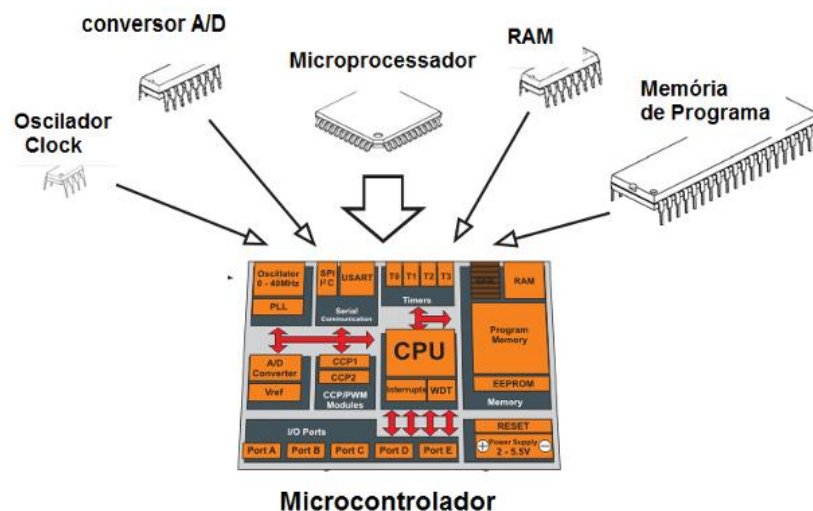
Na agricultura, a instrumentação é muito recente, sendo derivada da necessidade de coletar dados e monitorar situações segundo demanda da Agricultura de Precisão. Na Fruticultura, ela ainda é incipiente, sendo muitas vezes necessária a criação de instrumentos inexistentes com base em demandas para a solução de problemas. Ela depende de instrumentos eletrônicos variados, como microcontroladores, sensores, módulos, dentre outros (NAIME, 2014).



### 3.4.1 Microcontroladores

Segundo Monk (2013), um microcontrolador (Figura 2) é um pequeno computador dentro de um *chip* que contém um processador, memória *RAM*, memória *flash* e ainda pinos de entrada e saída. O microcontrolador é o cérebro da plataforma, ele é responsável pelo recebimento e processamento dos dados de sensores e botões (comandos e/ou inserção de dados de fontes externas ao sistema).

Figura 2 – Esquematização da estrutura e componentes de um microcontrolador.



Fonte: Monk (2013).

Os pinos de entrada e saída fazem a conexão do microcontrolador com componentes externos. Dessa forma, as entradas podem ler dados digitais e analógicos. Isso permite a conexão de diferentes sensores ao microcontrolador (luz, temperatura, umidade, entre outros). As saídas também podem ser analógicas ou digitais, sendo possível controlar dispositivos de tensão ou potência, permitindo controlar a velocidade de um motor ou o brilho de uma lâmpada, ao invés de simplesmente ligá-los ou desligá-los (MONK, 2013).

O barateamento desses equipamentos culminou com sua popularização, que aliado à facilidade de uso, tem impulsionado o desenvolvimento de ferramentas melhores e mais simples, proporcionando mais flexibilidade para o desenvolvimento de projetos nas mais diversas áreas, seja ela residencial, industrial ou agrícola (MARTINS, 2005).

Há outras plataformas construídas a partir de microcontroladores, mas o *Arduino*, por ter sido o pioneiro no sistema “Faça você Mesmo” (*DIY*), tem se destacado pela sua facilidade de programação, versatilidade e baixo custo. É importante salientar também que o padrão *Arduino* tem atendido bem às expectativas até para os que desejam interações de alto nível (SPOCK, 2009).

### 3.4.2 *Arduino* e sua tecnologia

O microcontrolador *Arduino* (Figura 3) é uma plataforma de *hardware* livre para a criação de objetos independentes ou vinculados a *softwares* de computador, que acabou por definir um padrão a ser seguido. A plataforma foi desenvolvida no ano de 2005, em Ivrea, na Itália, com o intuito de ajudar artistas, designers, estudantes e entusiastas de eletrônica e microeletrônica em seus projetos sem que para isso precisem se especializar na área (ARDUINO, 2005).

Figura 3 – Placa *Arduino UNO*.



Fonte: Autor (2022).

De forma geral, Renna (2013) descreve o *Arduino*, ou demais controladores que seguem o mesmo padrão, como um *kit* de desenvolvimento que pode ser visto como uma unidade de processamento capaz de manipular variáveis do ambiente externo, transformadas em um sinal elétrico correspondente, através de sensores ligados aos seus terminais de entrada. Quando recebida à informação a mesma poderá ser manipulada computacionalmente. Além disso, o padrão *Arduino* é uma plataforma que possui licença da *Creative Commons*<sup>1</sup>. Sob essa licença,

<sup>1</sup> *Creative Commons* é uma organização internacional sem fins lucrativos que permite o compartilhamento e uso da criatividade e do conhecimento através de instrumentos jurídicos gratuitos – as licenças CC.

todos os usuários são autorizados a fabricar cópias da placa, redesenhá-la, ou mesmo vendê-la copiando seu projeto sem a necessidade do pagamento de licença ou solicitação de permissão à equipe *Arduino* (SABO, 2013).

Por ser uma plataforma de código aberto, diversos usuários em todo mundo criam suas próprias bibliotecas e programas que podem ser compartilhados sem restrição, o que facilita o desenvolvimento de projetos e aperfeiçoamento de sistemas que utilizem este padrão (BANZI, 2011). A placa possui conectores que facilitam o acesso aos pinos de entrada/saída do microcontrolador, sobre o qual são desenvolvidas as bibliotecas de funções que simplificam sua programação, por meio de uma sintaxe similar a das linguagens *C* e *C++*. Com isso, ela pode controlar diversos componentes que emitem dados ou podem ser controlados, como bombas, relés acionadores, *LED's*, *displays*, sensores, motores, módulos de navegação e posicionamento global por satélites artificiais *GNSS* e até mesmo enviar dados à *internet*. O *software* do padrão *Arduino*, conhecido como *IDE (Integrated Development Environment)*, é baseado na linguagem de programação *Processing* (MCROBERTS, 2011).

Uma das principais limitações dos projetos construídos a partir da plataforma *Arduino* é a fonte de energia. Por se tratar de projetos que visam o baixo custo, a mobilidade muitas vezes fica comprometida. Além disso, o custo de baterias pode se tornar um problema na hora de baratear o sistema (MCROBERTS, 2011).

### 3.4.3 Módulos e sensores

Os sensores são dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente, sendo essa uma grandeza física que pode ser mensurada (medida), como temperatura, pressão, velocidade, corrente, aceleração, posição, etc. Eles podem ser divididos em duas classes: digitais e analógicos (JESUS, 2017).

Os sensores analógicos possuem uma amplitude de valores maiores e podem assumir qualquer valor no seu sinal de saída ao longo do tempo, desde que esteja dentro da sua faixa de operação. Alguns exemplos de variáveis que possuem sensores analógicos associados a elas são: temperatura, velocidade, pressão e luminosidade. Já os sensores digitais operam em dois estados de valores: *HIGH* (alto) e *LOW* (baixo), ou simplesmente 0 e 1. Saber utilizar essas diferenças entre eles é essencial para o desenvolvimento de um projeto. É utilizado, por exemplo, na detecção de passagem de objetos ou determinação de distância, velocidade, etc (JESUS, 2017).

#### 3.4.3.1 Sensor de temperatura do ar e umidade relativa do ar (DHT22)

O sensor DHT22 (Figura 4), fabricado pela *Aosong Eletronics Co.*, é um componente eletrônico de baixo custo e alta precisão que permite fazer leituras de temperaturas entre -40 a +80 °C, com uma acurácia de 0,5 °C (máximo: 1,0 °C), e umidade na faixa de 0 a 100%, com uma acurácia de 2,0%, sendo muito fácil de usar com as plataformas *Arduino*, *Raspberry* e outros microcontroladores, pois possui apenas um pino com saída digital.

Figura 4 – Sensor de umidade relativa e temperatura do ar *DHT22*.



Fonte: Autor (2022).

Demais características:

- Modelo: AM2302;
- Tensão de operação: 3 a 5 v (5,5 v no máximo);
- Tempo mínimo de resposta: 2 segundos;
- Dimensões: 25x 15 x 7 mm (sem terminais).

#### 3.4.3.2 Sensor de luminosidade (BH1750)

O módulo sensor de luz BH1750 (Figura 5), fabricado pela *ROHM Semiconductors*, atende bem a necessidade de monitoramento da luminosidade, tendo como base o circuito integrado BH1750 (Figura 5), que é um sensor de luminosidade digital com *interface* I2C. O sensor mede o iluminamento em lux, cuja unidade de medida tem a capacidade de dizer o fluxo luminoso em uma determinada área.

Figura 5 – Sensor de luminosidade BH1750.



Fonte: Autor (2022).

Demais características:

- Modelo: GY-302;
- Tensão de alimentação: 3,3 a 5 v;
- *Interface: Serial I2C*;
- Resposta de espectro próxima à do olho humano;
- Resolução: 1 lux;
- Faixa de medição: 1 até 65535 lux;
- Dimensões: 19 x 14 x 3 mm.

#### 3.4.3.3 Sensor de molhamento foliar

O sensor de molhamento foliar (Figura 6), da fabricante *Aexit*, responde ao ambiente da seguinte forma: quando o clima está seco a saída do sensor fica em estado alto (*high* = 1) e quando há o molhamento, por exemplo, por uma gota de chuva, ele muda para o estado baixo (*Low* = 0), permitindo criar uma variação de estado de molhamento. Tais placas são revestidas em ambos os lados com um tratamento de níquel contra oxidação, melhorando assim a condutividade, desempenho e duração.

Figura 6 – Sensor de molhamento foliar.



Fonte: Autor (2022).

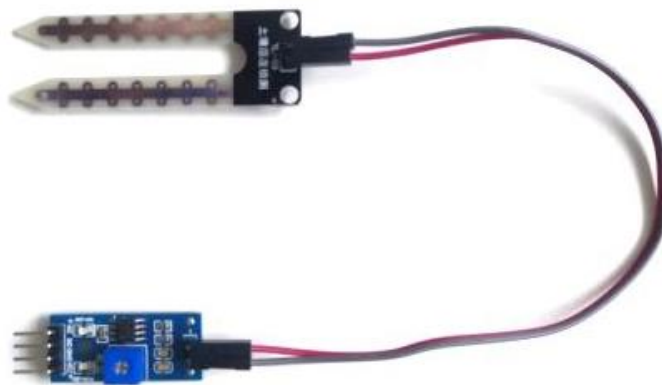
Demais características:

- Modelo: YL-83;
- Tensão de Operação: 3,3 a 5 v;
- Corrente de Saída: 100 mA;
- Sensibilidade ajustável via potenciômetro;
- *Led* indicador para tensão;
- *Led* indicador para saída digital;
- Dimensões do sensor: 5 x 4 cm;
- Dimensões placa de controle: 2,1 x 1,4 cm.

#### 3.4.3.4 Sensor de umidade do solo

O sensor de umidade do solo (Figura 7), da fabricante Chipsce, é de fácil manuseio e leitura, mas necessita de calibração para avaliar corretamente a disponibilidade hídrica do sistema. O limite entre seco e úmido pode ser ajustado para uma escala percentual através do potenciômetro presente no sensor, através da regulagem do valor analógico que varia de 1 a 1024, nativo do sensor, para um valor entre 0 e 100%.

Figura 7 – Sensor de umidade do solo.



Fonte: Autor (2022).

Demais características:

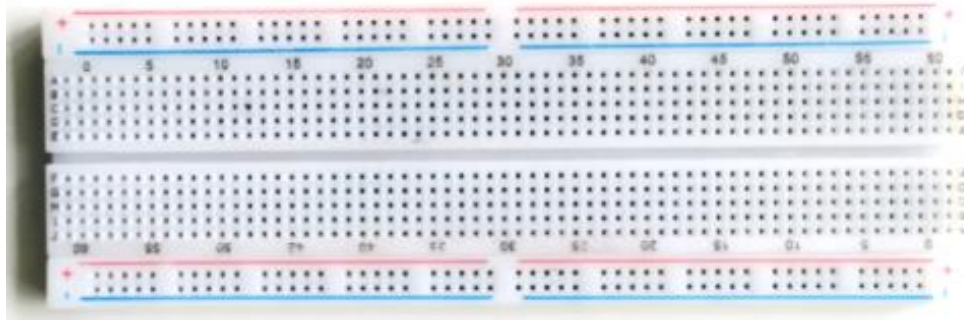
- Tensão de Operação: 3,3 a 5 v;
- Sensibilidade ajustável via potenciômetro;
- Saída Digital e Analógica;
- Fácil instalação;
- Led indicador para tensão (vermelho);
- Led indicador para saída digital (verde);
- Comparador LM393;
- Dimensões PCB: 3 x 1,5 cm;
- Dimensões Sonda: 6 x 2 cm;
- Comprimento Cabo: 21 cm.

#### 3.4.3.5 Matriz de contato (*Protoboard*)

A matriz de contato, comumente chamada de *protoboard* (Figura 8), da fabricante *MINIPA*, é útil na etapa de testes da configuração da arquitetura do dispositivo, sendo utilizada como base para a criação de circuitos eletrônicos. Ela contém furos ligados tanto no eixo vertical como no horizontal, permitindo sua conexão através de placas metálicas para cada eixo, localizada logo abaixo da superfície.

Seu uso permite dispensar momentaneamente o uso de solda durante a fase de prototipagem de circuitos, efetuando-se as ligações provisórias por meio de fios conectores, também popularmente chamados de *jumper*s.

Figura 8 – *Protoboard* de 830 furos utilizada no projeto.



Fonte: Autor (2022).

Demais características:

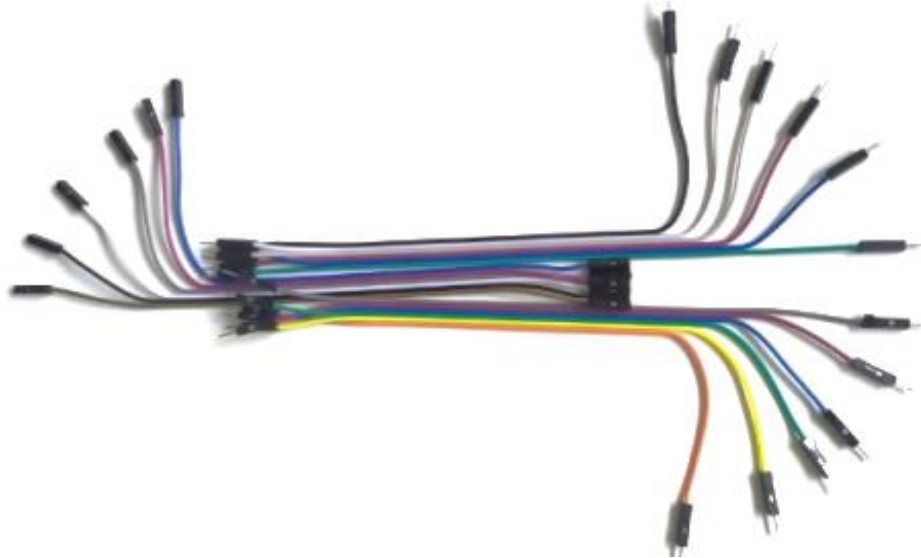
- Número de Furos: 830;
- Material do Corpo: ABS (resistente até 90°C);
- Material da Base: Alumínio;
- Material do Contato: Bronze Fósforo;
- Acabamento do Contato: Banho de Níquel;
- Bitola do Fio: 0,41 ~ 0,81mm (20-29 AWG);
- Tensão Máxima: 300 v;
- Corrente Máxima: 3A.

#### 3.4.3.6 Fios conectores (*Jumpers*)

Os fios conectores, popularmente conhecidos como *jumper*s (Figura 9), fabricados pela *Chipsce*, são pequenos condutores metálicos, cuja finalidade é conectar dois pontos distintos de um circuito eletrônico, principalmente utilizado na fase de prototipagem. Sua estrutura é composta normalmente por um fio condutor metálico encapsulado por material isolante.



Figura 9 – Jumpers utilizados no desenvolvimento do protótipo.



Fonte: Autor (2022).

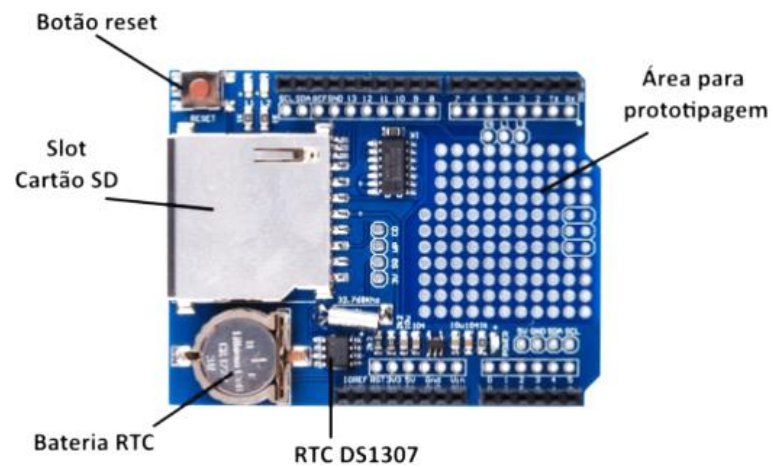
Demais características:

- Conexão macho-macho;
- Conexão fêmea-fêmea;
- Secção do fio condutor: 24 AWG;
- Comprimento do cabo: 20 cm;
- Largura do conector: 2,54 mm.

#### 3.4.3.7 Módulo *Datalogger* com *SD Card* e Relógio de Tempo Real (*RTC*) (DS1307)

O Módulo *Datalogger* com Cartão *SD Card* e o relógio em tempo real (*RTC*) (Figura 10), de permitem a coleta obtida pelos sensores e o armazenamento de informações em um cartão de memória *SD*, coordenados pela microcontroladora e sua programação. Além disso, o *RTC* tem por função fornecer informações de data e hora, fundamentais para a organização do banco de dados no cartão de memória. Isso permite também que a microcontroladora controle os intervalos de tempo para a coleta dos dados, feitas em intervalos de tempo programados.

Figura 10 – Módulo Datalogger com Cartão *SD Card* e relógio em tempo real (*RTC*).



Fonte: Autor (2022).

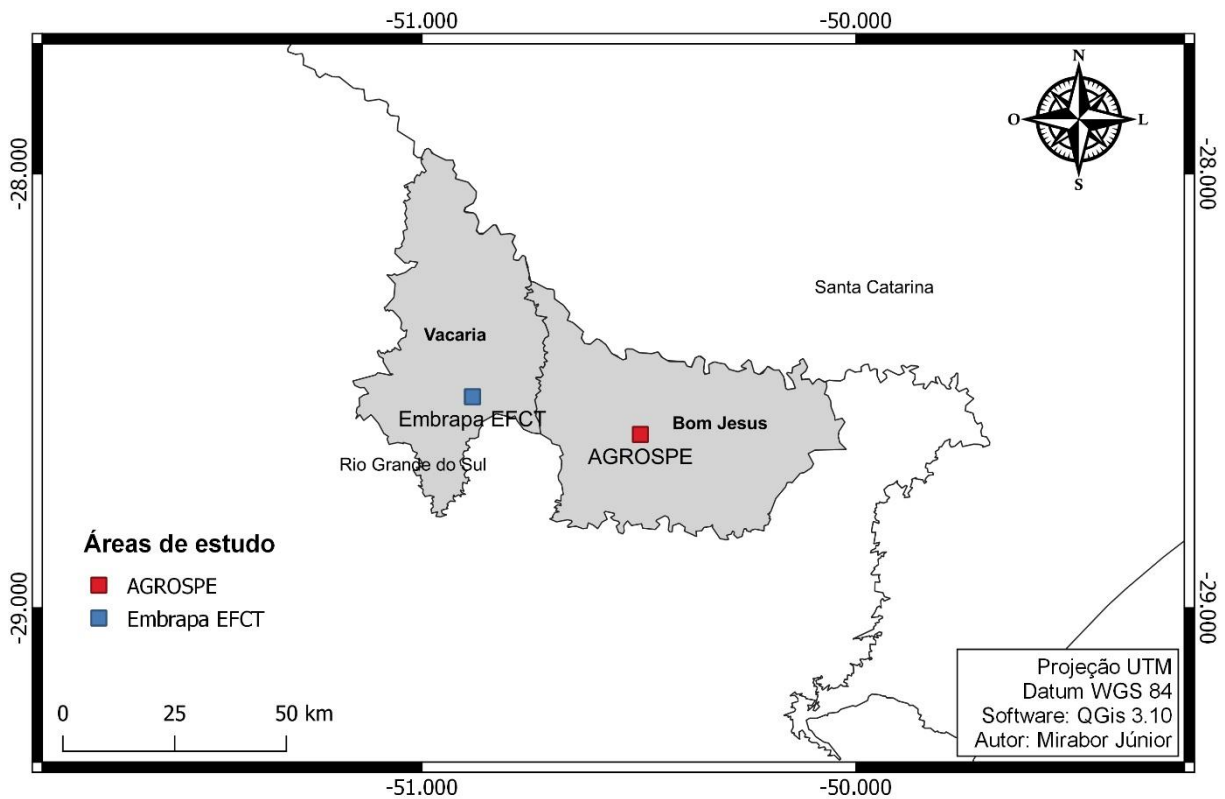
Demais características:

- Formatação: FAT16 ou FAT32;
- Tensão de 3.3V para prevenir danos ao cartão SD;
- Relógio em tempo real (RTC), com a bateria CR1220 3V plugada;
- Área de prototipagem para circuitos, sensores e projetos agregados;
- Homologado para os microcontroladores *Arduino UNO*, *Duemilanove*, *Diecimila*, *Leonardo* ou *ADK/Mega R3* ou posteriores.

#### 4 METODOLOGIA

A primeira etapa do trabalho, em condições de laboratório, compreendeu a construção e a validação do protótipo foi conduzida na Estação Experimental de Fruticultura de Clima Temperado (EFCT), da Embrapa Uva e Vinho, situada em Vacaria, RS (latitude 28°30'49"S, longitude 50°52'57"O e 971 m de altitude). Na segunda fase, etapa de testagem em campo, utilizou-se a cultura da macieira como referência. Esse teste ocorreu em pomar comercial da Agroindustrial São Pedro de Vacaria LTDA – AGROSPE, em área experimental com duas condições de cultivo, pomar a pleno sol e coberto com tela antigranizo, localizado no município de Bom Jesus, RS (latitude 28°36'1.79"S, longitude 50°29'46.35"O e 1030 m de altitude). Para atender a demanda da segunda fase, foi construída uma segunda unidade do protótipo. Os dois locais onde o trabalho foi desenvolvido estão representados na Figura 11.

Figura 11 – Localização das áreas onde o trabalho foi realizado, nos municípios de Vacaria e Bom Jesus, RS.



Fonte: Autor (2022).

Os municípios de Vacaria e Bom Jesus, onde os trabalhos foram desenvolvidos, localizam-se na região nordeste do estado do RS, pertencendo à região dos Campos de Cima da

Serra. A altitude da região varia entre 900 e 1.200 m, sendo o relevo predominantemente suave (BARBOSA, 1978). O clima de ambos os municípios, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfb (clima temperado). A temperatura média mensal varia de 11,4°C a 20,6°C, sendo a pluviosidade média anual de aproximadamente 1800 mm (PEREIRA; FONTANA; BERGAMASCHI, 2009). Os solos da região são solos derivados de basalto, da formação Serra Geral, do período Cretáceo médio a inferior. Os solos predominantes são os Latossolos Brunos, que, devido ao clima da região anteriormente descrito, sofrem elevada taxa de intemperismo, sendo caracterizados como naturalmente ácidos, argilosos e de alto teores de óxidos de ferro.

A construção dos protótipos deu-se a partir da plataforma *Arduino*, escolhida pelo seu baixo custo, disponibilidade de peças e sensores variados no mercado varejista e dispor de autorização *Creative Commons* tanto para *hardware* como *software*, facilitando sua programação e montagem, sem oposição de obrigações legais e comerciais e seguindo os critérios da filosofia *DIY* (Faça você mesmo).

#### 4.1 MONTAGEM DO PROTÓTIPO

Antes de incorporar os componentes na *proto board*, foram realizados testes individuais em cada sensor diretamente no *hardware* (microcontroladora) para a construção do primeiro protótipo, e assim foi possível entender melhor a funcionalidade dos componentes para realizar a montagem inicial dos módulos e sensores na *proto board*.

Para a energização do protótipo foi realizado um teste de autonomia de baterias disponíveis no mercado usando como critério de escolha a relação custo-benefício e capacidade de carga. Foram testadas as seguintes configurações: bateria de 9V (600 mAh), *powerbank* de 5V e 4.000 mAh, além de duas baterias de 5V e 10.000 mAh, mas de marcas diferentes. As baterias foram testadas no protótipo até sua total descarga, sendo, então, anotados os valores em horas decimais para cada uma delas. Não foi considerada a etapa de recarga das baterias de maneira automática para este trabalho, dado as opções disponíveis no mercado atualmente e de cada local existentes em fruticultura como fornecimento de energia elétrica direto da rede de luz em áreas de pequenas propriedades, fornecimento de energia através de placas solares ou micro usinas (eólicas ou hidráulicas), dentre outros.

Antes da montagem do dispositivo para uso em campo, notou-se a necessidade de adaptar algumas situações de abrigo para sensores, como no caso do sensor de luminosidade *BH1750* que para seu pleno funcionamento não pode sofrer contato direto com a água. Dessa forma, ele precisou ser protegido por uma cúpula de acrílico (Figura 12).

Figura 12 – Cúpula transparente de acrílico para abrigar o sensor de luminosidade.



Fonte: Autor (2022).

A cúpula de acrílico foi construída utilizando materiais de baixo custo, como esferas transparentes de acrílico e caixas de acrílico, além de cola a base de resina (cola quente) para fixação dos materiais. Nesse caso, metade da esfera de acrílico foi fixada com cola quente na tampa da caixa de acrílico. Assim, procurou-se imitar a estrutura utilizada em piranômetros comerciais (Figura 13). Dessa forma, a vedação da cúpula de acrílico tem como objetivo evitar a entrada de água e umidade, o que pode danificar o sensor.

Figura 13 – Piranômetro modelo SPN1, da fabricante de estações meteorológicas comerciais *Delta-T Devices*, utilizado para medição de radiação solar.



Fonte: Delta T-Devices (2021).

## 4.2 PROGRAMAÇÃO DO PROTÓTIPO

Após a montagem e devida energização dos dispositivos foi realizada a programação dos módulos e sensores (ANEXO A). A programação do sistema foi criada através do ambiente de programação (também conhecido pela sigla *IDE* ou *Integrated Development Environment*) do próprio do *Arduino*, que utiliza a linguagem de programação *C++*.

Foram utilizadas as bibliotecas dos sensores *DHT22*, armazenamento *SD*, *RTC* e de luminosidade, as quais são respectivamente, *DHT*, *SPI* e *SD*, *DS1302* e *BH1750*, além de outras bibliotecas que por padrão já são incorporadas na própria *IDE*, como a biblioteca *Arduino* e a *Wire*. Exceto as bibliotecas incorporadas ao *Arduino* na sua instalação padrão, todas as demais foram obtidas no site do fabricante *Adafruit*. Uma biblioteca é um trecho de *software* que fornece funcionalidade específica a um programa, como por exemplo, a capacidade de escrever em um *display* de *LCD* ou coletar uma informação por meio de um sensor.

Os sensores foram programados para realizar a coleta dos dados a cada 15 minutos a partir da compilação realizada no *IDE* do *Arduino*. Com isso, foi feita a coleta e organização dos dados, armazenando-os em um cartão de memória em um arquivo de texto (.TXT), no qual registrou-se o horário da aferição e os respectivos valores para temperatura do ar, umidade relativa do ar, molhamento foliar, umidade do solo e luminosidade. Por questões de barateamento do protótipo, optou-se por utilizar o sensor de luminosidade ao invés de radiação. Dessa forma, os dados de luminosidade foram convertidos em radiação solar por meio de um cálculo matemático a partir do valor aferido pela estação construída (em lux) para a unidade de medida aferida na estação meteorológica oficial do INMET (KJ/m<sup>2</sup>), seguindo estudo realizado por Michael et al. (2020).

O estudo afirma ainda, se tratando de converter valores de lux em índices de irradiância, a literatura científica não apresenta nenhum método padronizado e que ainda são encontrados em trabalhos publicados valores conflitantes. Porém, em seu estudo, os autores estabelecem um guia teórico e laboratorial de conversão, no qual é apresentado um fator de conversão na formula a seguir (Michael et al., 20120):

$$Rad = \frac{Lum}{116} \times 3,6$$

*Lum* = luminosidade (lux)

*Rad* = radiação visível (KJ/m<sup>2</sup>)

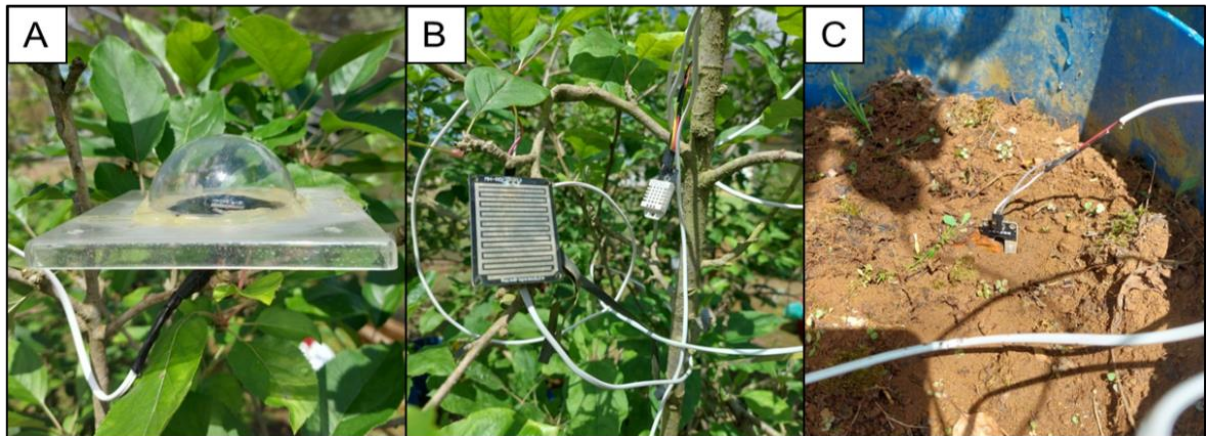
### 4.3 TESTES DE VALIDAÇÃO

Para validar os protótipos foram realizados testes de funcionamento em laboratório visando comparar os dispositivos construídos com uma estação oficial do INMET e duas estações meteorológicas comerciais de diferentes fabricantes (*Campbell* e *Solar*). Em seguida, foram realizados testes de campo utilizando duas unidades do protótipo.

#### 4.3.1 Testes de funcionamento em laboratório

Os testes em laboratório foram realizados com o intuito de corrigir falhas e aprimorar o dispositivo antecipando eventuais problemas que pudessem ocorrer na fase de validação em campo. Na ocasião, optou-se pela montagem dos sensores acoplados a uma planta de macieira cultivada em vaso em casa de vegetação. Cada sensor foi estrategicamente posicionado de forma individual de modo a aferir os dados em diferentes posições na planta (Figura 14).

Figura 14 – Posicionamento e instalação dos sensores de luminosidade BH1750 (A), temperatura do ar e umidade relativa do ar DHT22 (B), molhamento foliar (B) e umidade do solo (C).



Fonte: Autor (2022).

O sensor *DHT22* realizou leitura de temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) no meio da planta; o sensor *BH1750* coletou dados de luminosidade, posteriormente transformados em radiação solar, presente na copa exterior da planta, local onde recebe maior



incidência solar; já o sensor de molhamento foliar foi posicionado em um ângulo de 45° na parte lateral da planta, posição em que fica mais exposto para a identificação da condição seca ou molhado através das gotas de chuva; o sensor de umidade do solo, por sua vez, foi utilizado para detectar as variações de umidade no solo, sendo posicionado ao lado do tronco do planta a profundidade de 5 cm a partir do nível do solo.

#### **4.3.2 Testes de validação do protótipo**

Para a validação do protótipo construído, foram realizados testes comparativos com duas estações meteorológicas comerciais, sendo uma da fabricante britânica *CAMPBELL* modelo CR10X e outra da fabricante brasileira *SOLAR* modelo SL2000 E8C, além da estação meteorológica oficial do INMET (código A880), localizada nas dependências da Embrapa Uva e Vinho – EFCT (coordenadas latitude 28°30'49.23"S, longitude 50°52'57.94"O e 972 m de altitude).

Os sensores do protótipo foram fixados na estrutura de sustentação da estação meteorológica da fabricante *Campbell*. As duas estações meteorológicas comerciais foram colocadas a uma distância de 2 m da estação meteorológica oficial do INMET, coletando dados a cada 15 min do dia 28/08/2021 até 01/09/2021. Os dados foram armazenados em formato TXT e, em seguida, trabalhados em uma planilha eletrônica do Microsoft Excel 2010, onde foram realizadas as comparações das informações obtidas. Os dados da estação meteorológica do INMET foram obtidos a partir do site oficial do INMET (<https://portal.inmet.gov.br>).

É importante salientar que, dentre as três estações meteorológicas (além do protótipo), apenas a oficial do INMET coleta dados relacionados a radiação solar. Assim, com o protótipo também foi possível obter dados de radiação solar a partir de um sensor de luminosidade de baixo custo, convertidos em radiação, como mencionado anteriormente.

Os dados de umidade do solo e molhamento foliar, coletados com o protótipo, não puderam ser validados neste experimento por não se dispor de padrão de comparação, uma vez que nenhuma das estações meteorológicas testadas (oficial do INMET ou comerciais), possuem sensores para coleta destes dados.

As informações coletadas durante a etapa de validação foram essenciais para prosseguir na etapa posterior (testes em campo), avaliando sua eficiência e constância do funcionamento do protótipo na coleta de dados climáticos em comparação com as estações meteorológicas comerciais e oficial padrão INMET.



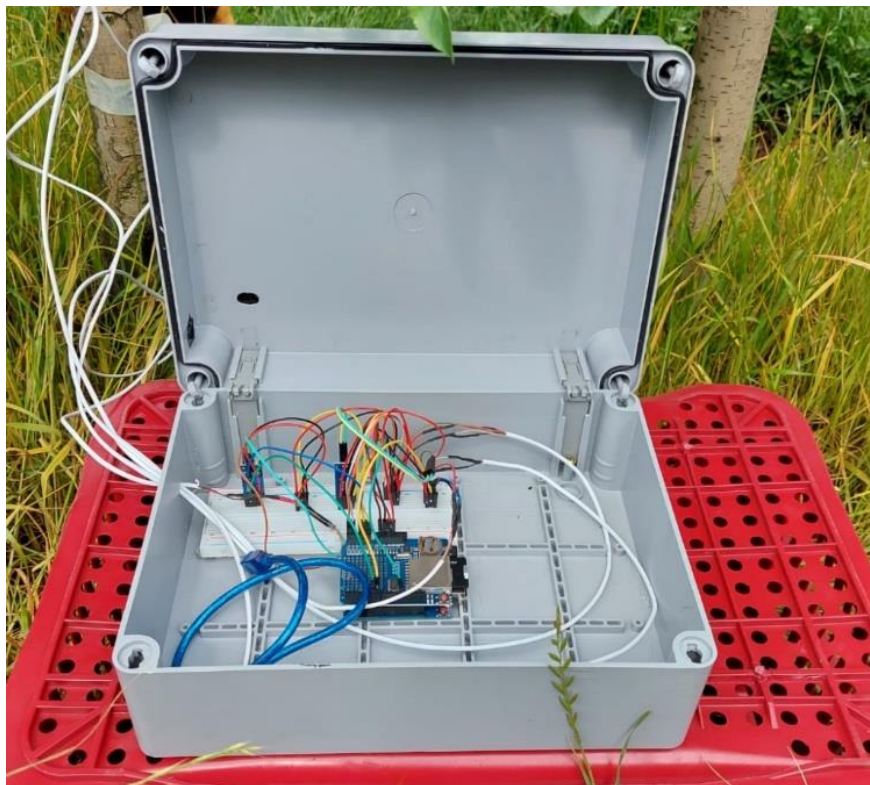
O delineamento experimental partiu de uma configuração de 4 tratamentos (as diferentes estações meteorológicas), com as variáveis de temperatura do ar, umidade relativa do ar e radiação, sendo que cada uma delas dispunha de uma série temporal de 49 dados. A comparação das médias foi realizada por ANOVA e Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

#### 4.3.3 Testes em campo

Antes de iniciar os testes de campo, o protótipo foi replicado para permitir a avaliação das variáveis climáticas em duas condições distintas de cultivo: planta de macieira cultivada em pomar a pleno sol e planta de macieira cultivada em pomar sob tela antigranizo. Os testes de campo foram executados entre os dias 18/10/2021 e 25/10/2021 utilizando ambos os protótipos simultaneamente.

O microcontrolador e a bateria utilizada de cada protótipo foram acomodados em uma caixa de passagem para evitar umidade e qualquer intercorrência causada por intempéries climáticas (Figura 15).

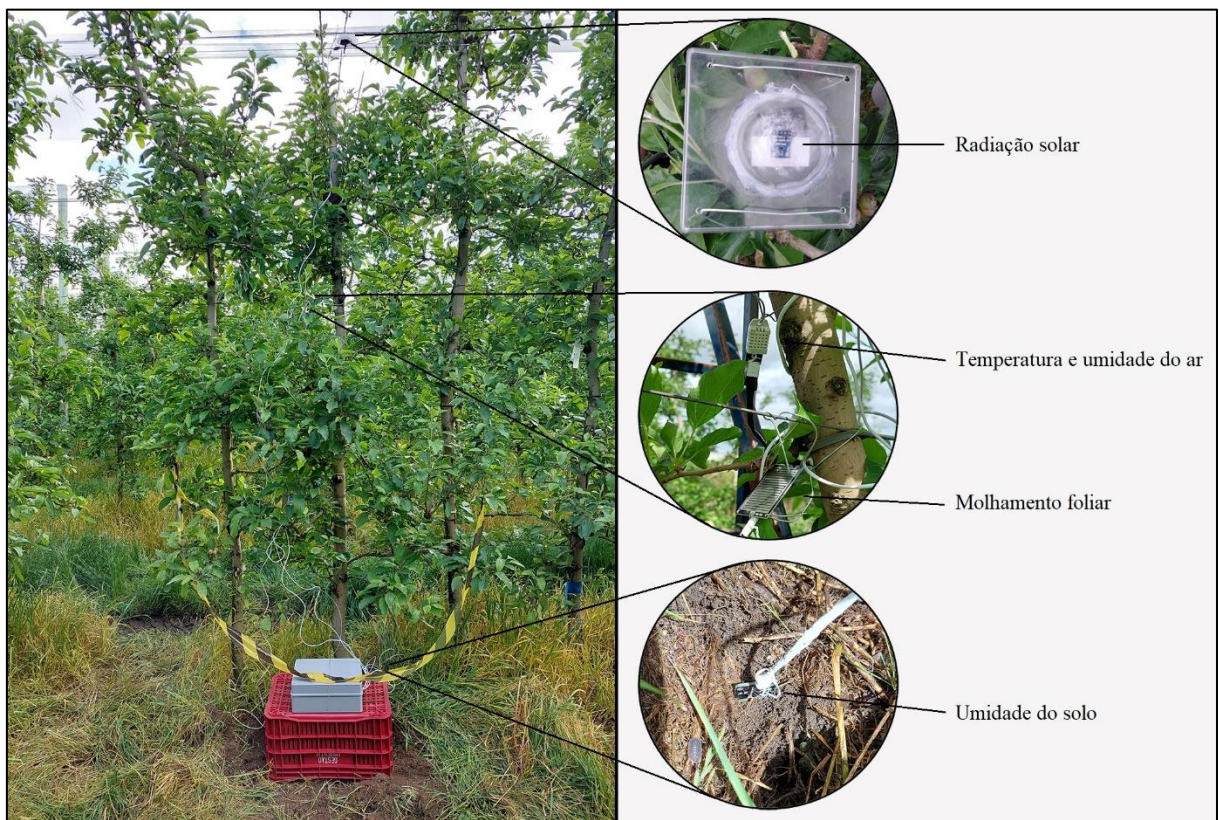
Figura 15 - Caixa de passagem utilizada para a acomodação dos componentes do protótipo.



Fonte: Autor (2022).

Assim como na etapa de testes em laboratório, na etapa de campo os sensores foram posicionados na planta de forma estratégica (Figura 16). Com isso, o sensor de luminosidade foi posicionado na copa externa da planta e fixado com arame no último fio da espaldeira. O sensor de molhamento foliar e o de temperatura do ar e umidade relativa do ar foram instalados próximos, no terço médio da planta, a altura de 2 m a partir do nível do solo. Já o sensor de umidade do solo foi instalado ao lado do tronco da planta, a uma profundidade de 5 cm.

Figura 16 – Visão geral do protótipo instalado em planta de macieira em pomar coberto com tela antigranizo.



Fonte: Autor (2022).

Ambos os protótipos foram fixados em macieiras com aproximadamente 4 m de altura, com espaçamento de 1 m entre plantas e 4 m entre fileiras, sendo que a distância de um para outro foi de aproximadamente 215 m (Figura 17) e a distância em linha reta do pomar comercial em relação à estação meteorológica oficial do INMET, localizada em Vacaria – RS, foi de 38,8 km (Figura 18).



Figura 17 – Local de instalação dos protótipos em pomar de macieiras sob condições de cultivo a pleno sol e sob tela antigranizo, na AGROSPE, em Bom Jesus, RS.



Fonte: Adaptado do Google Earth (2022).

Figura 18 – Distância em linha reta entre o local de instalação dos protótipos no município de Bom Jesus, RS e estação meteorológica oficial do INMET (A880) no município de Vacaria, RS.



Fonte: Adaptado do Google Earth (2022).

O delineamento experimental partiu de uma configuração de 4 tratamentos (as diferentes estações meteorológicas), com as variáveis de temperatura do ar, umidade relativa do ar e radiação solar, sendo que cada uma delas dispunha de uma série temporal de 96 dados. Utilizou-se o *software* Minitab (versão 19) para a análise estatística, onde foi realizado o Teste de Dunnett a 5%. O teste serve para realizar comparações múltiplas, onde apenas um tratamento serve de referência.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 APRENDIZAGEM, PREPARO, CONSTRUÇÃO E MANEJO DO PROTÓTIPO

Uma das dificuldades detectadas para a proposta do projeto foi a falta de formação na área de eletrônica e *software*, resultado da estrutura curricular do curso de Agronomia. Após um período preparatório (um mês de estudos), utilizando material de apoio disponível na internet, como apostilas e vídeo aulas, constatou-se que mesmo que alguém não tenha formação específica na área de microeletrônica pode adquirir embasamento teórico suficiente para dar início ao processo de construção de um protótipo.

Durante o planejamento para a construção do protótipo, um dos diferenciais foi a confirmação de que os trabalhos publicados até o momento nunca utilizaram a planta como estrutura de suporte dos sensores, mesmo aqueles que visavam a redução de custos, a exemplo de Armani e Galvani (2006) ou Fossa (2020). O fato de o protótipo ser construído utilizando sensores acoplados diretamente à planta faz com que seja dispensado o uso de estruturas metálicas para sua sustentação, ajudando a diminuir ainda mais os custos de fabricação e evitando a criação de barreiras físicas que dificultem o trânsito de máquinas e implementos no pomar.

Dando início ao processo de construção, foi realizada a montagem e programação do dispositivo a partir da aquisição dos materiais (módulos e sensores), facilmente encontrados à venda em sites especializados. Durante a programação, uma das dificuldades encontradas foi incorporar todos os sensores juntos na *protoboard*, já que a programação de cada sensor está disponível apenas de forma individual na internet. Sendo assim, foi necessário integrar a programação de todos os sensores em um único programa (ANEXO A), ajustando o código fonte de maneira que a programação de um sensor não interferisse na programação de outro sensor. Isso exigiu conhecimento básico em linguagem C++ para entender como a plataforma *Arduino* gerencia o seu ambiente de programação.

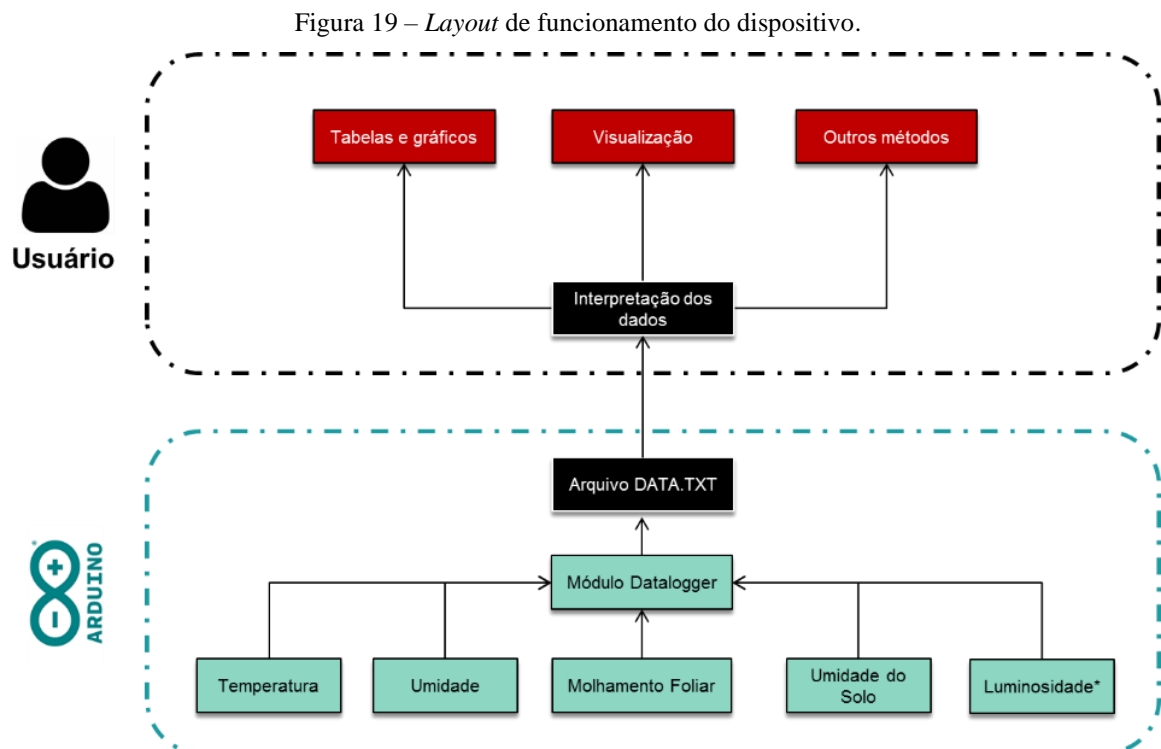
Após o processo de montagem e programação dos sensores, a energização do dispositivo pode ser feita de diversas formas, desde *kits* fotovoltaicos facilmente encontrados à venda na internet (custando em média R\$ 560), baterias automotivas ou até mesmo ligadas diretamente na rede elétrica, já que em alguns casos há eletricidade disponível em pontos próximos no pomar. Para o desenvolvimento da pesquisa descrita nessa dissertação, optou-se pela utilização de baterias portáteis (*powerbanks*) por conta da praticidade e redução de custos.

Com o dispositivo devidamente energizado, foram realizados testes de validação para demonstrar sua funcionalidade e eficiência, comparando-o com estações meteorológicas comerciais e padrão INMET.

Vale ressaltar que para a instalação dos protótipos em campo é sugerido que este processo seja realizado com o auxílio de pelo menos duas pessoas, em função do porte das plantas, em alguns casos chegando a 4 metros de altura e necessitando, ainda, do uso de escadas de colheita. Foi necessário auxílio também na instalação dos sensores em diferentes posições na planta (cada posicionamento foi validado durante a fase de montagem). Após a instalação dos sensores na planta foi realizado um *checklist* para verificação do funcionamento em cada um deles, sem terem sido observados indícios de falha.

Concluída a instalação do dispositivo no campo, foi realizada a coleta dos dados. Uma vez que a fruticultura é uma atividade que demanda um volume de mão de obra constante no campo, exclui-se a obrigação de contratar um funcionário especialmente treinado para coletar estas informações. Esse procedimento pode ser facilmente realizado a partir de um treinamento básico para capacitar qualquer colaborador que já atue no campo na realização da tarefa.

Em virtude de o dispositivo estar programado para tabular os dados por ponto e vírgula e disponibilizá-los em formato TXT, houve maior facilidade na integração com *softwares* de edição de planilhas eletrônicas. Desse modo, os dados ficam disponíveis para o usuário aptos para serem analisados de diversas maneiras, podendo gerar informações em forma de gráficos e tabelas ou simplesmente visualizar as informações na tela do computador. A Figura 19 ilustra o funcionamento do dispositivo. Já a Figura 20 ilustra o arquivo com os dados brutos (sem tratamento) extraídos a partir do módulo Datalogger.



Fonte: Autor (2022).



Figura 20 – Dados brutos obtidos pelo protótipo.

Data;Hora;Temperatura;Umidade;Umidade_do_Solo;Luminosidade;Molhamento
18/10/2021;10:00:04;18.55;65.53;19708;Planta seca
18/10/2021;10:15:05;18.84;67.66;53;8708;Planta seca
18/10/2021;10:30:06;19.08;63.63;53;59735.18;Planta seca
18/10/2021;10:45:08;19.02;69.96;53;14051.85;Planta seca
18/10/2021;11:00:09;19.42;69.69;53;86403.71;Planta seca
18/10/2021;11:15:10;19.81;63.05;54;75972.23;Planta seca
18/10/2021;11:30:11;20.14;59.02;53;19353.7;Planta seca
18/10/2021;11:45:12;20.38;68.3;54;21040.74;Planta seca
18/10/2021;12:00:14;21.04;57.23;53;98392.59;Planta seca
18/10/2021;12:15:15;20.31;64.21;52;92179.64;Planta seca
18/10/2021;12:30:16;19.64;61.7;52;19833.33;Planta molhada
18/10/2021;12:45:17;19.97;64.21;53;22285.19;Planta molhada
18/10/2021;13:00:19;19.34;61.46;52;31562.96;Planta molhada
18/10/2021;13:15:19;19.91;60.89;52.42307692;18466.67;Planta moderadamente molhada
18/10/2021;13:30:20;19.85;55.3;52.35164835;68507.41;Planta seca
18/10/2021;13:45:20;20.32;58.79;52.28021978;23959.26;Planta seca
18/10/2021;14:00:21;20.39;51.71;52.20879121;71107.41;Planta seca
18/10/2021;14:15:22;20.74;53.2;52.13736264;70837.04;Planta seca
18/10/2021;15:30:22;19.67;47.75;52.06593407;15042.59;Planta seca
18/10/2021;14:45:23;20.74;53.54;51.99450549;53620.37;Planta seca
18/10/2021;15:00:24;20.07;48.59;51.92307692;41718.51;Planta seca
18/10/2021;15:15:25;20.88;47.44;51.85164835;55657.41;Planta seca
18/10/2021;15:30:26;20.32;59.43;51.78021978;20803.7;Planta seca
18/10/2021;15:45:27;20.64;65.41;51.70879121;45275.92;Planta molhada
18/10/2021;16:00:28;18.32;61.99;51.63736264;11762.96;Planta moderadamente molhada
18/10/2021;16:15:28;18.06;65.89;51.56593407;17422.22;Planta seca
18/10/2021;16:30:29;17.79;66.1;51.49450549;11090.74;Planta seca
18/10/2021;16:45:30;17.56;68.34;51.42307692;22224.08;Planta seca
18/10/2021;17:00:30;16.64;70.9;51.35164835;19288.89;Planta seca
18/10/2021;17:15:30;15.41;73.4;51.28021978;15998.15;Planta seca
18/10/2021;17:30:59;15.02;76.1;51.20879121;7590.74;Planta seca
18/10/2021;17:45:01;13.35;79.5;51.13736264;3435.18;Planta seca
18/10/2021;18:00:02;12.58;81.5;51.06593407;1992.59;Planta seca
18/10/2021;18:15:03;11.77;84;50.99450549;774.07;Planta seca
18/10/2021;18:30:04;12.27;84.8;50.92307692;196.3;Planta seca
18/10/2021;18:45:05;11.63;85.9;50.85164835;11.11;Planta seca
18/10/2021;19:00:07;11.31;86.5;50.78021978;0;Planta seca
18/10/2021;19:15:08;11.18;85.8;50.70879121;0;Planta seca
18/10/2021;19:30:09;11.07;88;50.63736264;0;Planta seca

Ln 23, Col 65

Fonte: Autor (2022).

## 5.2 TESTES DE AUTONOMIA DE BATERIA

Dada a escolha pela utilização de baterias portáteis na energização do dispositivo, os resultados dos testes de autonomia de bateria *versus* intervalos de coleta de dados de 5, 10 e 15 minutos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Desempenho das fontes de energia do protótipo com relação aos tempos e intervalos de aferição.

<b>Intervalo de coleta de dados</b>	<b>Duração da bateria (horas decimais)</b>			
	Bateria A (5V e 4.000 mAh)	Bateria B (5V e 10.000 mAh)	Bateria C (5V e 10.000 mAh)	Bateria D (9V e 600 mAh)
<b>5 min</b>	38,7	90,3	92,8	4,2
<b>10 min</b>	38,7	90,5	92,4	4,3
<b>15 min</b>	34,8	90,6	92,3	4,2
<b>MÉDIA</b>	37,4	90,5	92,5	4,2

Fonte: Autor (2022).

De posse dos resultados, foi possível observar que existe uma relação semelhante entre o tempo de intervalo de aferição e a autonomia da bateria, mas não há diferença significativa entre eles. Com isso, optou-se por utilizar o intervalo de 15 minutos como padrão na coleta dos dados, sendo este o mesmo intervalo utilizado nas estações meteorológicas comerciais, mantendo um volume de dados suficiente para aplicação da estatística nas etapas de testagem em campo e conferindo usabilidade real aos dados.

Observou-se que a autonomia das baterias testadas em laboratório foi de pouco mais de 37 horas em média para a bateria com capacidade de 4.000 mAh (bateria A), 90,5 horas em média para a bateria B (com 10.000 mAh) e 92,5 horas para a bateria C (também de 10.000 mAh), sendo as duas últimas o melhor custo-benefício energético para o dispositivo e sendo selecionadas como bateria padrão para os trabalhos a campo. Entretanto, não se exclui o uso de baterias de maior amperagem, o que conferiria ao sistema, tempo de duração ainda maior para coleta de dados, necessitando-se somente o equilíbrio de custos. A bateria D (com 600 mAh e 9V) manteve a alimentação do dispositivo por pouco mais de 4 horas, além de não ser recarregável, mostrando-se inviável para trabalhos em campo.

Ao realizar os testes na bateria A, mesmo sendo de maior carga testada, notou-se algumas falhas na compilação dos dados a partir do módulo Datalogger. É possível inferir que a principal causa deste tipo de intercorrência seja a ocorrência de picos de energia. Ao realizar os testes na bateria B também foi possível notar algumas dessas falhas, fato que não ocorreu durante a utilização da bateria C e D.

### 5.3 VALIDAÇÃO DO PROTÓTIPO COM AS ESTAÇÕES PADRÃO INMET E COMERCIAL

Com relação a temperatura do ar, observou-se que praticamente não há diferença nos dados coletados entre o protótipo e as estações meteorológicas comerciais e padrão INMET. No entanto, foram registrados, em alguns momentos, dados discrepantes para a estação meteorológica Solar em

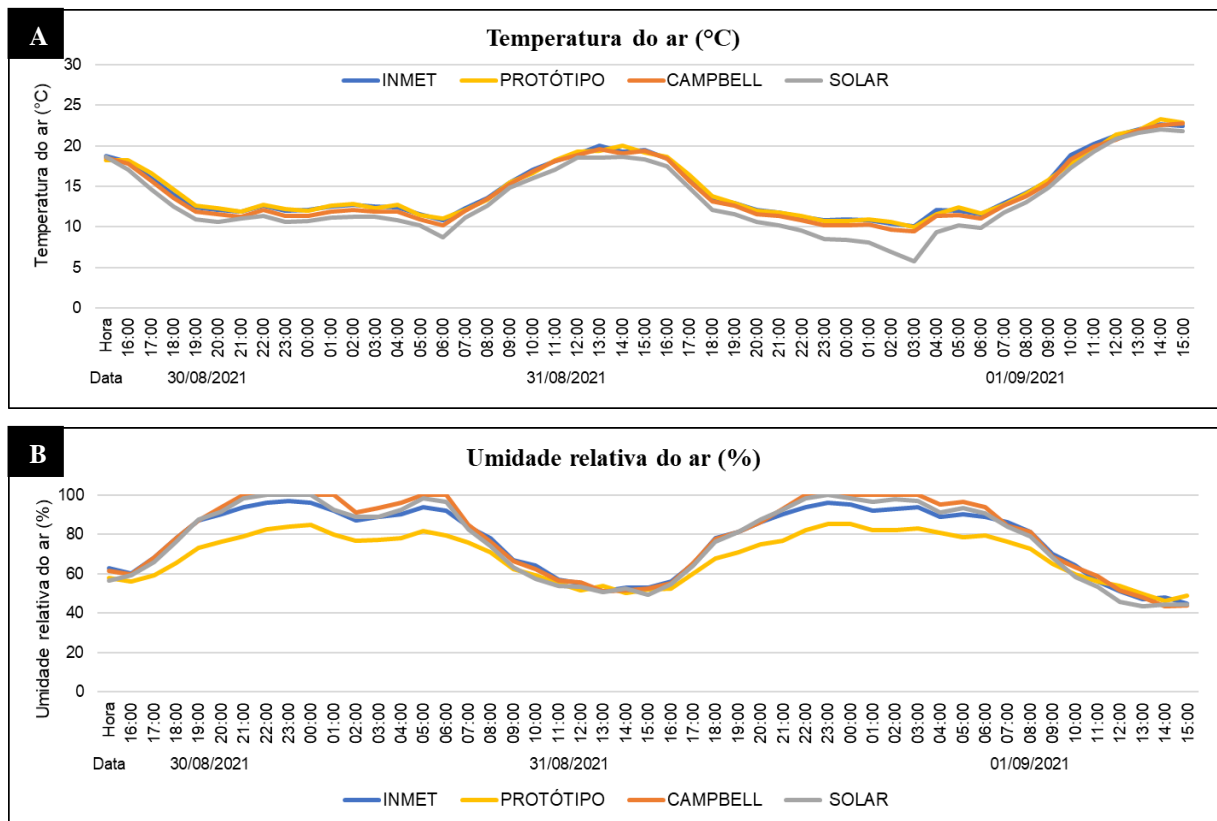


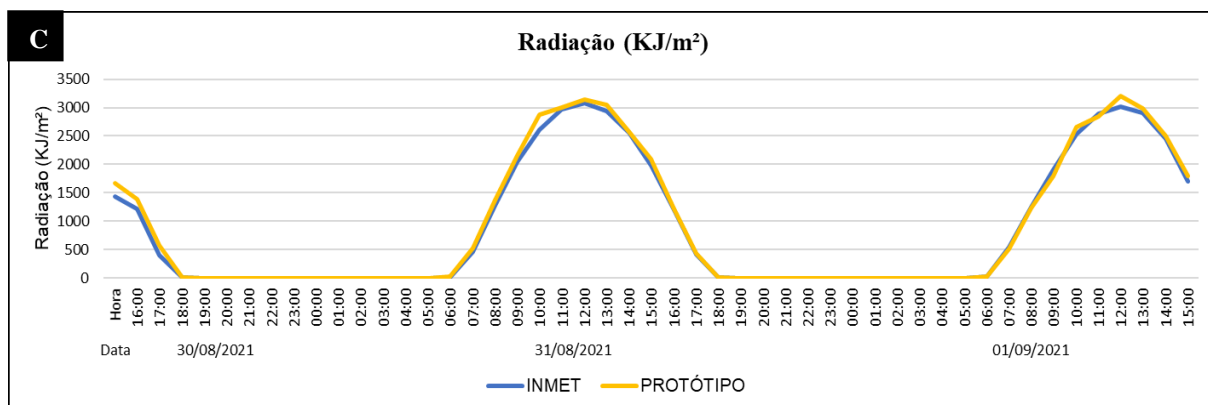
relação as demais estações meteorológicas, o que pode estar associado a falta de calibração do sensor de temperatura do ar e umidade do ar da referida estação (Figura 21A).

Para a variável de umidade relativa do ar, foi observado uma diferença média de 10 a 20% do protótipo em relação às outras estações meteorológicas comerciais e padrão oficial INMET. Observou-se que as maiores diferenças de aferição da umidade relativa do ar entre o protótipo e as demais estações meteorológicas ocorreu quando a umidade relativa do ar estava mais elevada (entre 60 e 70%). Essa diferença pode estar relacionada a acurácia do sensor de umidade relativa e temperatura do ar ou até mesmo alguma intercorrência na coleta dos dados daquele intervalo de tempo (Figura 21B).

Em função de que as duas estações meteorológicas comerciais não possuem sensores de radiação solar, foram comparados apenas os dados do protótipo com a estação meteorológica do INMET, sendo que não foram observadas diferenças significativas durante o período avaliado (Figura 21C).

Figura 21 – Resultados das comparações entre o PROTÓTIPO, estações meteorológicas *CAMPBELL*, *SOLAR* e padrão INMET para as variáveis de temperatura (A), umidade relativa do ar (B) e radiação solar (C).





Fonte: Autor (2022).

Para atestar a confiabilidade e acurácia do protótipo, foi feita a Análise de Variância (ANOVA) das variáveis de temperatura do ar, umidade relativa do ar e radiação solar (Tabela 2). Em seguida, foi realizado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro entre os tratamentos INMET, PROTÓTIPO, *CAMPBELL* e SOLAR (Tabela 3).

Tabela 2 – Análises de variância para temperatura do ar, umidade relativa do ar e radiação solar em diferentes estações meteorológicas.

Variáveis	F	CV (%)	MG
<b>Temperatura</b>	1,41	27,17	14,30
<b>Umidade</b>	3,07*	22,84	75,54
<b>Radiação</b>	0,02	127,61	913,14

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Fonte: Autor (2022).

Tabela 3 – Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para temperatura do ar, umidade relativa do ar e radiação solar coletados em diferentes estações meteorológicas.

Estações meteorológicas	Temperatura do ar	Umidade relativa do ar	Radiação solar
<b>INMET</b>	14,74 A	76,96 AB	932 A
<b>PROTÓTIPO</b>	14,76 A	69,23 B	895 A
<b>CAMPBELL</b>	14,33 A	79,03 A	-
<b>SOLAR</b>	13,35 A	76,95 AB	-

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

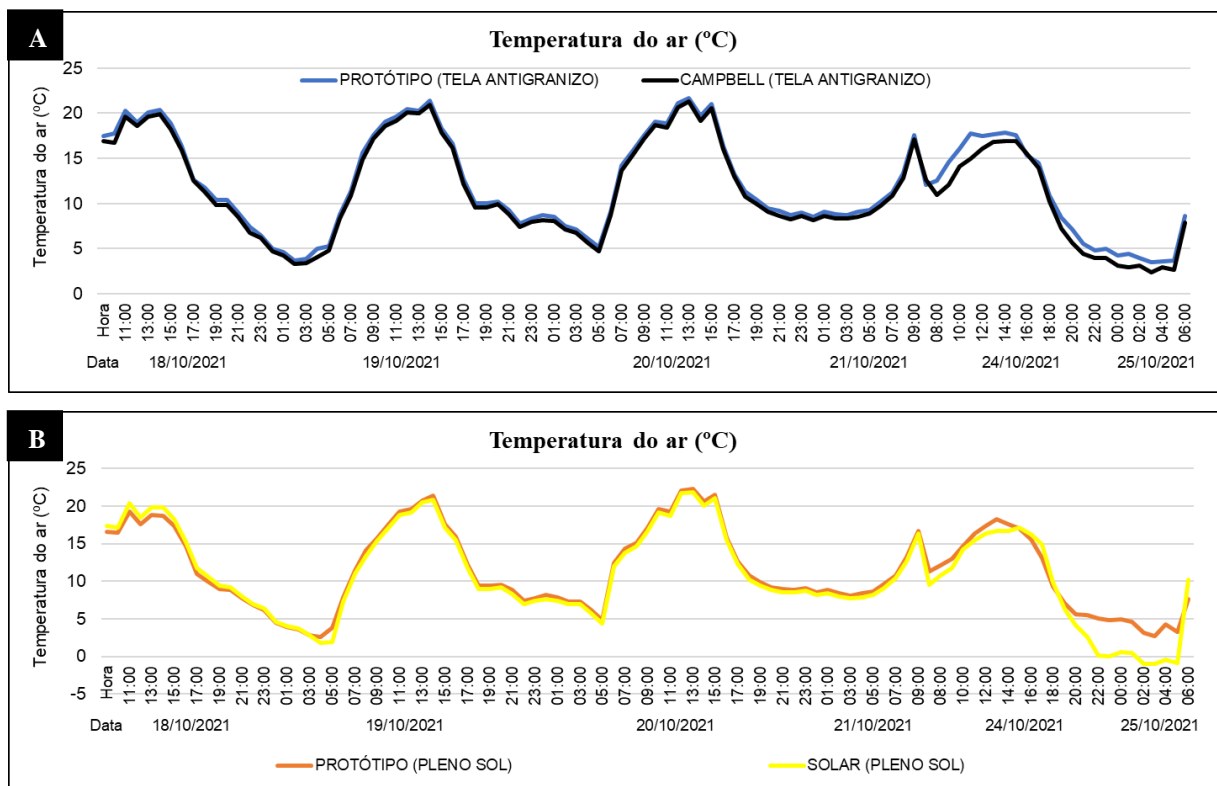
Fonte: Autor (2022).

Foi possível observar para as variáveis de temperatura do ar e radiação solar que não houve diferença entre as médias. Já para a variável de umidade relativa do ar houve diferença significativa entre os tratamentos PROTÓTIPO e CAMPBELL, sendo que CAMPBELL apresentou a maior média. Embora tenha sido encontrada diferença significativa entre a estação meteorológica da Campbell e o protótipo para a umidade relativa do ar, nenhuma das estações meteorológicas diferiu significativamente da estação do INMET, padrão dos testes de validação.

#### 5.4 FUNCIONAMENTO DO PROTÓTIPO COM E SEM COBERTURA ANTIGRANIZO

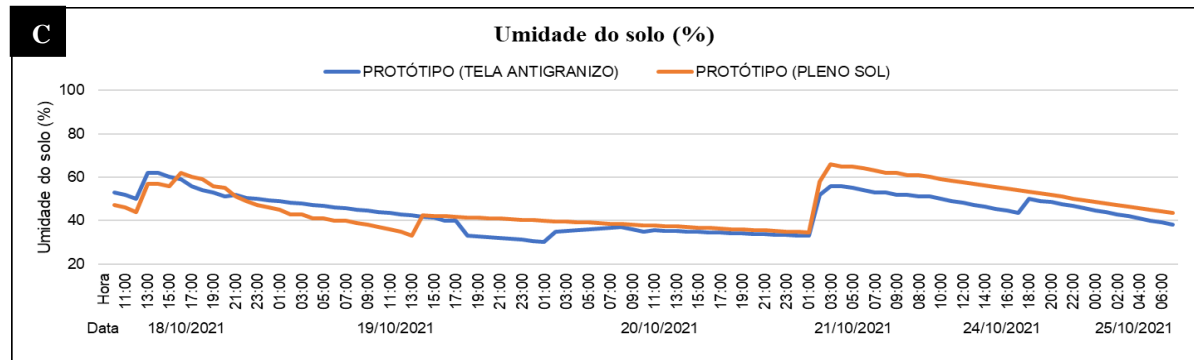
Apesar da pouca diferença de temperatura do ar causada pelo uso da cobertura de tela antigranizo (Figura 22A) em comparação com a planta cultivada a pleno sol (22B), foi observado um ambiente microclimático diferente para as ambas as condições.

Figura 22 – Temperatura do ar em pomar de macieira cultivado sob tela antigranizo (A) e a pleno sol (B) registrada por duas meteorológicas, sendo uma comercial (*Campbell*) e o protótipo desenvolvido no presente estudo.



Fonte: Autor (2022).

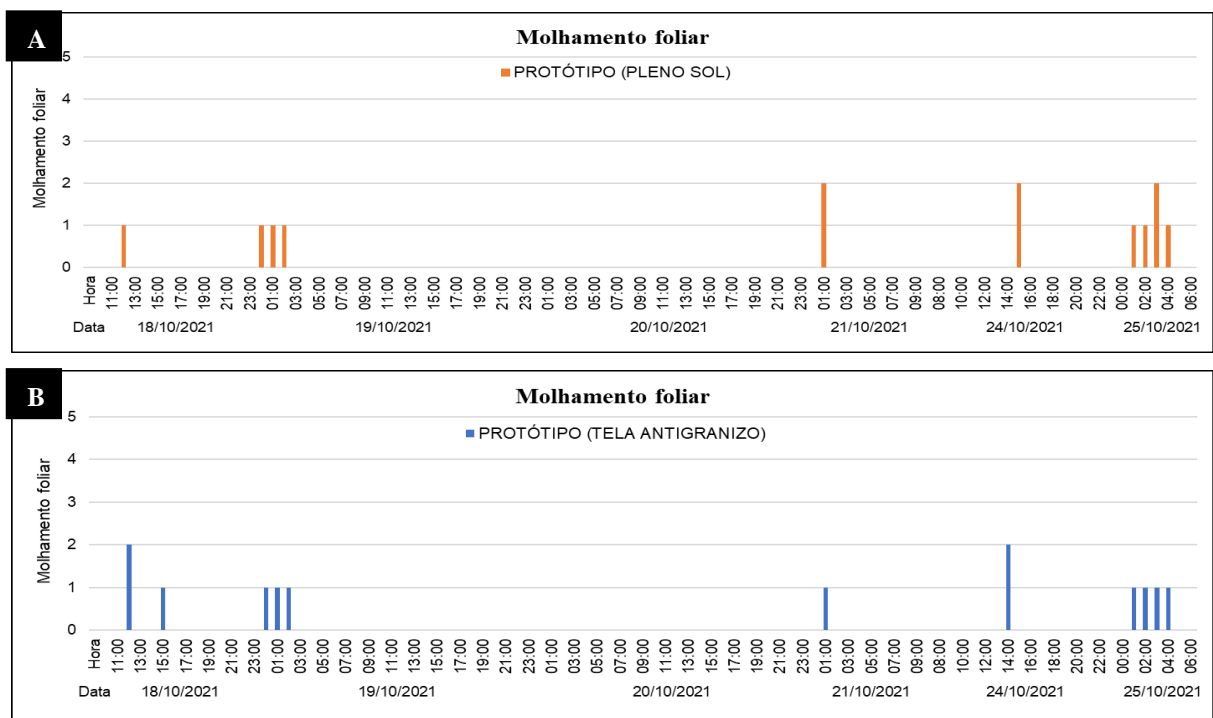




Fonte: Autor (2022).

É importante citar que para a variável de molhamento foliar (Figura 24) foram utilizados números para expressar os níveis de molhamento foliar, sendo “0” para planta seca, “1” para planta moderadamente molhada e “2” planta molhada. O sensor foi capaz de registrar as diferenças em termos de molhamento foliar entre os dois ambientes de cultivo. Observou-se que em plantas cultivadas a pleno sol (Figura 24A) o molhamento foliar se dissipou mais rapidamente do que em plantas cultivadas sob tela antigranizo (Figura 24B).

Figura 24 – Molhamento foliar registrados pelo protótipo em pomar de macieira cultivado sob tela antigranizo (A) e a pleno sol (B).



Fonte: Autor (2022).

Para a análise estatística dos dados obtidos em campo foram calculados a análise de variância (ANOVA) das variáveis de temperatura do ar, umidade relativa do ar e radiação solar (Tabela 4) e realizado o Teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade entre as estações protótipo a pleno sol (PPS) e sob tela antigranizo (PAG) e estação meteorológica comercial da marca Solar a pleno sol (SPS) e outra estação meteorológica da marca *Campbell* sob tela antigranizo (CAG), utilizando o tratamento PPS como controle (Tabela 5).

Tabela 4 – Resumo da análise de variância para temperatura do ar, umidade relativa do ar e radiação solar em diferentes estações meteorológicas testadas sob a condição em tela e pleno sol.

Variáveis	F	CV (%)	MG
<b>Temperatura</b>	0,69	10.04	2250.55
<b>Umidade</b>	1,02	9.99	2063.89
<b>Radiação</b>	0,84	10.29	2143.88

Fonte: Autor (2022).

Tabela 5 – Valores médios para as variáveis analisadas nas estações meteorológicas protótipo a pleno sol (PPS) e sob tela antigranizo (PTAG) e estação meteorológica comercial da fabricante Solar a pleno sol (SPS) e da fabricante Campbell sob tela antigranizo (CTAG)

Tratamentos	Temperatura do ar	Umidade relativa do ar	Radiação solar
<b>PPS (Controle)</b>	11,46 A	78,92 A	851 A
<b>PTAG</b>	12,01 A	81,04 A	690 A
<b>SPS</b>	10,86 A	75,81 A	742 A
<b>CTAG</b>	11,40 A	79,93 A	618 A

Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes pelo Teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor (2022).

Através da análise estatística foi possível observar que não houve diferença entre as médias para a variável TEMPERATURA, UMIDADE e RADIAÇÃO entre as quatro estações instaladas em campo. Neste caso, rejeitou-se a hipótese, já que a probabilidade é maior do que 5%.

## 5.5 CUSTO DO PROTÓTIPO EM COMPARAÇÃO COM OUTRAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS

Os materiais utilizados para a construção do protótipo estão listados na Tabela 6. Na tabela, foram detalhados os valores médios dos sensores, baterias, microcontroladores e outros

materiais, como *jumpers*, *protoboard*, entre outros. Não foram computados na referida tabela os valores de mão de obra. O valor do protótipo poderá variar de acordo com a fonte de energia utilizada, os tipos de sensores e o modo de aquisição dos dados.

Tabela 6 – Relação de materiais e componentes necessários para construção de protótipos.

Item	Preço
Arduino Uno	R\$ 88,90
Bateria externa 10.000 mAh	R\$ 79,90
Baterias CR1220	R\$ 7,90
Caixa de passagem elétrica	R\$ 68,90
Cartão de memória 32 GB	R\$ 41,00
<b>Jumpers</b>	R\$ 7,90
Módulo <i>datalogger</i> com relógio	R\$ 29,90
<b>Protoboard</b>	R\$ 19,90
Sensor de luminosidade ( <b>BH-1750</b> )	R\$ 20,90
Sensor de molhamento foliar	R\$ 6,90
Sensor de umidade do solo	R\$ 9,90
Sensor de umidade e temperatura ( <b>DHT22</b> )	R\$ 44,90
Cabos de 4 vias	R\$ 29,90
<b>TOTAL</b>	R\$ 456,80

Fonte: Autor (2022).

De posse dos custos de construção do protótipo, foi elaborada a análise comparativa de preço entre as diferentes estações meteorológicas utilizadas no estudo (Tabela 7). Cabe destacar que as estações meteorológicas das fabricantes Solar e *Campbell* eram compostas pelos sensores de temperatura do ar e umidade relativa do ar. É importante salientar que, mesmo com um custo de construção muito inferior aos valores de aquisição de estações meteorológicas comerciais (Solar e *Campbell*), o protótipo dispõe de mais sensores do que aqueles presentes nas estações mais caras, como sensores de molhamento foliar, luminosidade (convertida em radiação solar) e umidade do solo.

É possível afirmar que o valor médio de aquisição de uma unidade comercial de estação meteorológica (média de R\$ 18.300,00) seria suficiente para arcar com os custos de construção de pelo menos 40 unidades da microestação meteorológica de baixo custo construída com padrão Arduino (Tabela 7). Dessa forma, além do baixo custo de aquisição, as vantagens da utilização do sistema construído são a fácil replicabilidade, permitindo distribuir mais dispositivos numa área; e adaptabilidade, agregando módulos e sensores de acordo com a

necessidade do produtor. Além disso, outra vantagem é a escolha da fonte de energia mais acessível ou conveniente para cada situação.

Tabela 7 – Análise comparativa de preços das diferentes estações meteorológicas utilizadas.

<b>Estação</b>	<b>Custo (R\$)</b>
<b>SOLAR</b>	11.300,00
<b>CAMPBELL</b>	25.200,00*
<b>PROTÓTIPO</b>	456,00

\* O valor comercial da estação meteorológica Campbell é ofertado em dólar (\$4500). Na data de consulta do preço (10/11/2021) o dólar estava cotado em R\$5,60.

Fonte: Autor (2022).



## 6 CONCLUSÃO

O trabalho foi bem-sucedido ao criar um protótipo de estação meteorológica de baixo custo utilizando o padrão *Arduino* para a coleta e armazenamento de dados microclimáticos relevantes para a agricultura, como temperatura do ar, umidade relativa do ar, luminosidade (posteriormente convertida em radiação solar), umidade do solo e molhamento foliar, por meio de sensores estrategicamente posicionados em plantas de macieira.

O protótipo é viável para uso em áreas de produção de macieira, independentemente das condições de cultivo ou do tipo de cobertura das plantas utilizado no pomar.

O protótipo apresentou-se como uma solução de baixo custo (R\$ 456,80), apresentando valor médio na ordem de 40 vezes menos do que estações meteorológicas comerciais.

## 7 TRABALHOS FUTUROS

Diante do pressuposto de que a evolução tecnológica na agricultura brasileira é extremamente dinâmica, alcançando a todas as categorias de produtores rurais de forma diferenciada, o maior benefício deste trabalho foi apresentar uma solução de baixo custo aos produtores rurais que não têm acesso aos pacotes tecnológicos restritos a Agricultura de Precisão fortemente desenvolvida tecnologicamente.

Muitas melhorias e novas funcionalidades podem ser ainda empregadas nesta estação. Como sugestão para trabalhos futuros há a possibilidade de utilizar sistemas fotovoltaicos, eólicos ou micro-hidráulicos para alimentação energética e aplicação de sistemas microcontrolados de menor consumo de energia, bem como a possibilidade do envio de dados para monitoramento em tempo real, mesmo que em distância maiores, utilizando protocolos de comunicação como 5G, *ZigBee* ou *LoRa*.

Para pequenos produtores pode ser uma solução prática para monitorar seu ambiente produtivo e de certa forma nortear sua rotina de trabalho e planejamento da cultura, como na aplicação de defensivos agrícolas, por exemplo. De posse de algumas unidades do protótipo de monitoramento o produtor não estará somente aferindo condições microclimáticas em diferentes zonas de manejo.

Além disso, vislumbram-se ampliações futuras das funcionalidades do protótipo, já que se trata de projeto modular, permitindo, assim, que se agreguem outros componentes ao conjunto para coleta e leitura de outros dados meteorológicos que se julgue necessário para determinada cultura ou situação particular.

## REFERÊNCIAS

- ARDUINO, U. N. O.; GENUINO, U. N. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>>. Acesso em: jan. 2021
- ARMANI, G.; GALVANI, E. Avaliação do desempenho de um abrigo meteorológico de baixo custo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba-SP, v. 14, n.1, p. 116-122, 2006.
- BANZI, M.; SHILOH, M. **Primeiros passos com o Arduino**. São Paulo: Novatec, p. p1, 2011.
- BARBOSA, F. D. **Vacaria dos Pinhais**. Porto Alegre: Escola Superior de Teologia São Lourenço de Brindes, Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul, 1978. 247p
- BASSOI, L. H.; MIELE, A.; REISSER JUNIOR, C.; GEBLER, L.; FLORES, C. A.; ALBA, J. M. F.; GREGO, C. R.; TERRA, V. S. S.; TIMM, L. C.; NASCIMENTO, P. S. **Agricultura de precisão em fruticultura**. In: Alberto C. C. BERNARDI; J. M., NAIME; A. V. R.; Lís H. B.; Ricardo Yassushi INAMASU. (Org.). Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. 1ed. Brasília: Embrapa, 2014, v. 1, p. 350-360.
- BEREZUK, A. G. **Eventos Extremos**: Estudo da Chuva de Granizo de 21 de Abril de 2008 na Cidade de Maringá-PR. *Revista Brasileira de Climatologia* 5, 153-164, 2017.
- BISCARO, G. A. **Meteorologia Agrícola Básica**, UNIGRAF, 2007.
- BRAMLEY, R. G. V.; PROFFITT, A. P. B. Managing variability in viticultural production. **The Australian Grapegrower and Winemaker**, v. 427, p. 11-16, 1999.
- BRUCKNER, C. H.; PICANÇO, M. C. Maracujá: tecnologia de produção pós-colheita agroindústria mercado. Porto Alegre: **Cinco Continentes**, p.472, 2001.
- BURRELL, J.; BROOKE, T.; BECKWITH, R. Vineyard Computing: Sensor Networks in Agricultural Production. **IEEE Pervasive computing**, v.3, n.1, p.38-45, mar. 2004.
- CARBONNEAU, A. Place du microclimat de la partie aérienne parmi les facteurs déterminant les productions viticoles. **Bulletin de l'OIV**, v.1, p.473-477, 1984.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Custos de produção**. Brasília: Conab, 2016. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1564&t=2>>. Acesso em: jan. 2021.
- FIORAVANÇO, J. C.; SANTOS, R. S. S. dos (Ed.). **Maçã: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. p. 15-20. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas). Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/122887/1/Maca-o-produtor-pergunta-a-Embraparesponde.pdf>>. Acesso em: 07 fev. 2021002E
- FOSSA, S. M.; DE CARLI, E. Potencialidades e desafios na construção de uma estação meteorológica de baixo custo. In: **4º Salão de Pesquisa, Extensão e Ensino do IFRS**, 2020.

GOMES, L. C., NETO, R. S. A CONTRIBUIÇÃO DA CADEIA PRODUTIVA DA MAÇÃ NA ORGANIZAÇÃO ESPACIAL DE SÃO JOAQUIM/-SC. **Anais do Seminário de Estudos Urbanos e Regionais**, 2015.

HAWERROTH, F. J.; MACEDO, C. K. B.; MAGRIN, F. P.; MAUTA, D. D. S.; COSER, G. D. A. Manejo de pomares sob telas antigranizo. In: **Embrapa Uva e Vinho-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE FRUTICULTURA DE CLIMA TEMPERADO, 15., 2017, Fraiburgo, SC. Anais... Vol I-Palestras: Levando conhecimento e tecnologia para a fruticultura. Fraiburgo, SC: Epagri, 25 a 27 de jul. 2017. p. 53., 2017.

**INMET**. Disponível em: [http://www.inmet.gov.br/portal/css/content/topo\\_iframe/pdf/Nota\\_TecnicaRede\\_estacoes\\_INMET.pdf](http://www.inmet.gov.br/portal/css/content/topo_iframe/pdf/Nota_TecnicaRede_estacoes_INMET.pdf). 2015.

JESUS, G. C. **Desenvolvimento de uma plataforma de monitoramento do ambiente via wireless para o biotério da UFOP**, 2017.

KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. Manual de fitopatologia. São Paulo: **Agronômica Ceres**, 2005.

KLANOVICZ, J. **Chuvas de granizo e desastre nos pomares de maçã catarinenses: produzindo uma agricultura de risco**. Esboços-Revista do Programa de PósGraduação em História 20, 67-89, 2013.

KRISHNAMURTHI, Karthik; THAPA, Suraj; KOTHARI, Lokesh; PRAKASH, Arun. Arduino Based Weather Monitoring System. **International Journal of Engineering Research and General Science**, v. 3, n. 2, p. 452-458, 2015.

MARTINS, N. A. **Sistemas Microcontrolados**, Novatec, 2005.

MCROBERTS, M. **Arduino básico**; São Paulo: Novatec Editora, 2011.

MICHAEL, P. A Conversion Guide: Solar Irradiance and Lux Illuminance. **IEEE Dataport**; 2019. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.21227/mxr7-p365>>. Acesso em: 09 de fevereiro de 2021.

MONK, S. **Programação com Arduino: começando com Sketches**. Bookman Editora, 2013.

MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos Cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: INMET, 2009.

NAIME, J. D. M.; MATTOSO, L. H. C.; SILVA, W. T. L.; CRUVINEL, P. E.; MARTIN- NETO, L.; CRESTANA, S. (2014). Conceitos e aplicações da instrumentação para o avanço da agricultura. **Embrapa Instrumentação-Livro científico (ALICE)**, 2014.

PAULA, R. C. M.; SILVA A. G.; COSTA E.; BINOTTI F. F. S. Monitoramento de variáveis micrometeorológicas em diferentes ambientes protegidos no período de inverno. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, supl., p. 103-109, 2017.

PEREIRA, T. P. ; FONTANA, D. C. ; BERGAMASCHI, H. O clima da Região dos Campos de Cima da Serra, Rio Grande do Sul: condições térmicas e hídricas. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.15, n.2. p.145-157, 2009. Disponível em: <[http://www.fepagro.rs.gov.br/upload/1398782922\\_art\\_07.pdf](http://www.fepagro.rs.gov.br/upload/1398782922_art_07.pdf)>. Acesso em: 22 de novembro de 2021.

RENNA, R. B. D., Brasil, R. D., Cunha, T. E., Beppu, M. M., & Fonseca, E. G. Introdução ao kit de desenvolvimento Arduino. **Niterói: Grupo PET-Tele**, 2013.

ROCKENBACH, F. R. Projeto e fabricação de uma estrutura modular para uso em estações meteorológicas de baixo custo. 69p. Dissertação – **Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Computacionais para Agronegócio**, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira-PR, 2019.

SABO, P. H., MARTINI, J. A., DE LARA, R. A. Rede de sensores sem fio para monitoramento frutícola. **Economia**, v. 10, p. 12, 2013.

SANTOS, E. N.; FERNANDES, L.V; GALDINO, L. Estudo Da Instalação De Transmissores De Pressão No Esterilizador De Um Sistema UHT (Temperatura Ultra Rápida). Augusto Guzzo **Revista Acadêmica**, v. 2, n. 16, p. 226-240, 2015.

SENTELHAS, Paulo Cesar. **Duração do período de molhamento foliar**: aspectos operacionais de sua medida, variabilidade espacial em diferentes culturas e estimativa a partir do modelo de Penman-Monteith, 2004.

SILVA, A. C. M., da Silva, M. A., de Miranda, J. P. L., Pinto, M. C., & Faceroli, S. T. (2016). Estação Meteorológica Automática de Baixo Custo-Low Cost Automatic Meteorological Station. Multiverso: **Revista Eletrônica do Campus Juiz de Fora - IF Sudeste/MG**, 1(1), 46-56.

SMITH, D. **Forage Management in the North**. Dubuque, Iowa, Kendall Hunt Pubs, p.56, 1975.

SPOCK. **Arduino**: Uma plataforma Open Source. Disponível em: <http://blog.spock.com.br/2009/07/arduino-uma-plataforma-open-source.html>, 2009. Acesso em: jun. 2021.

## ANEXO A

```

// --- Bibliotecas ---
#include <Arduino.h>
#include <Wire.h>
#include <BH1750.h>      // Luminosidade
#include <RTCLib.h>      // Relógio em Tempo Real (RTC)
#include <SPI.h>         // Módulo e Cartão SD
#include <SD.h>          // Módulo de Cartão SD
#include <DHT.h>         // DHT22
BH1750 lightMeter (0x5c); // Endereço I2C do Sensor de Luminisidade

// --- Variáveis do Sensor de Índice UV ---
int pino_sensor = A1;    // Pino referente ao Sensor UV
int valor_sensor = 0;    // Valor referente ao Sensor UV
String UV_index = "0";   // Armazena o valor do Índice UV

// --- Variáveis do Sensor de Molhamento ---
int pino_d = 6;          // Pino conectado ao Sensor de Molhamento
int pino_a = A2;          // Pino conectado ao Sensor de Molhamento
int val_d = 0;           // Armazena o valor lido do pino digital do Sensor de Molhamento
int val_a = 0;           // Armazena o valor lido do pino analogico do Sensor de Molhament
o

// --- Variáveis do Sensor de Umidade e Temperatura ---
#define DHTPIN 7          // Pino conectado ao sensor DHT
#define DHTTYPE DHT22     // Tipo de sensor DHT (DHTWW)
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

// --- Variáveis do Sensor de Umidade do Solo ---
#define L1      20 //
#define L2      40 //
#define L3      60 //
#define L4      80 //
#define L5     100 //
#define analogi A0 //
#define digital 11 //
#define gnd_pin 10 //
#define vcc_pin 9  //

void read_humidity(int level1, int level2, int level3, int level4, int level5);
int adc_value = 0x00;
const int chipSelect = 10;

// --- Variáveis do Módulo de Cartão SD e RTC ---
File myFile;          // Cria um arquivo para armazenar os dados
RTC_DS1307 rtc;       // RTC

```

```

void setup() {
  pinMode(pino_sensor, INPUT); // Chama o pino do sensor UV
  Serial.begin(9600);
  Serial.println(F("Iniciando os sensores..."));
  pinMode(analogi, INPUT);
  pinMode(digital, INPUT);
  pinMode(gnd_pin, OUTPUT);
  pinMode(vcc_pin, OUTPUT);
  digitalWrite(gnd_pin, LOW);
  digitalWrite(vcc_pin, HIGH);
  pinMode(pino_d, INPUT); // Referente ao sensor de molhamento
  pinMode(pino_a, INPUT); // Referente ao sensor de molhamento
  Wire.begin();
  lightMeter.begin();
  dht.begin();

  // --- Configuração do RTC ---
  if (!rtc.begin()) {
    Serial.println("Não foi possível encontrar o RTC");
    while (1);
  }
  else {
    rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__))); // Define a hora a partir da compilação do
    sketch
  }
  if (!rtc.isrunning()) {
    Serial.println("RTC não está funcionando!");
  }

  // --- ConfigurZção do Módulo de Cartão SD ---
  Serial.print("Inicializando cartão SD... ");
  if (!SD.begin(chipSelect)) {
    Serial.println("Falha na inicialização!");
    return;
  }
  Serial.println("Inicialização OK.");
  myFile = SD.open("DATA.txt", FILE_WRITE);
  if (myFile) {
    Serial.println("Arquivo 'DADOS.TXT' aberto com sucesso!");
    // myFile.println("Data;Hora;Temperatura;Umidade;Umidade_do_Solo;Indice_UV;Luminosidade");
  }
  myFile.close();
}

// --- Gravação dos dados do RTC no Cartão SD ---
void loggingTime() {
  DateTime now = rtc.now();
  myFile = SD.open("DATA.txt", FILE_WRITE);

```

```

if (myFile) {
  myFile.print(now.day(), DEC);
  myFile.print('/');
  myFile.print(now.month(), DEC);
  myFile.print('/');
  myFile.print(now.year(), DEC);
  myFile.print(';');
  myFile.print(now.hour(), DEC);
  myFile.print(':');
  myFile.print(now.minute(), DEC);
  myFile.print(':');
  myFile.print(now.second(), DEC);
  myFile.print(";");
}
Serial.print(now.day(), DEC);
Serial.print('/');
Serial.print(now.month(), DEC);
Serial.print('/');
Serial.print(now.year(), DEC);
Serial.print(" ");
Serial.print(now.hour(), DEC);
Serial.print(':');
Serial.print(now.minute(), DEC);
Serial.print(':');
Serial.print(now.second(), DEC);
Serial.print(" ");

myFile.close();

}

void loggingTemperature() {

  float t = dht.readTemperature();
  float h = dht.readHumidity();
  uint16_t lux = lightMeter.readLightLevel();

  if (isnan(h) || isnan(t) ) {
    Serial.println("Falha na leitura do sensor DHT!");
    return;
  }

  // --- Gravação dos dados dos sensores no Cartão SD ---
  myFile = SD.open("DATA.txt", FILE_WRITE);
  if (myFile) {
    myFile.print(t); // Temperatura
    myFile.print(";");
    myFile.print(h); // Umidade
    myFile.print(";");
  }
}

```



```

myFile.print(adc_value); // Umidade do solo
myFile.print(";");
myFile.print(UV_index); // Índice UV
myFile.print(";");
myFile.println(lux); // Luminosidade
}
myFile.close();
}
void loop() {
  loggingTime();
  loggingTemperature();
  // (2000);
  uint16_t lux = lightMeter.readLightLevel(); // Lê os valores do sensor de luminosidade

  read_humidity(L1, L2, L3, L4, L5); // Função que lê Sensor de Umidade do Solo

  // --- Configuração do Sensor de Radiação Ultravioleta (UV) ---
  valor_sensor = analogRead(pino_sensor);
  int tensao = (valor_sensor * (5.0 / 1023.0)) * 1000; // Calcula tensao em milivolts

  // Compara com valores tabela de Índice UV
  if (tensao > 0 && tensao < 50)
  {
    UV_index = "0";
  }
  else if (tensao > 50 && tensao <= 227)
  {
    UV_index = "0";
  }
  else if (tensao > 227 && tensao <= 318)
  {
    UV_index = "1";
  }
  else if (tensao > 318 && tensao <= 408)
  {
    UV_index = "2";
  }
  else if (tensao > 408 && tensao <= 503)
  {
    UV_index = "3";
  }
  else if (tensao > 503 && tensao <= 606)
  {
    UV_index = "4";
  }
  else if (tensao > 606 && tensao <= 696)
  {
    UV_index = "5";
  }

```

```

}
else if (tensao > 696 && tensao <= 795)
{
UV_index = "6";
}
else if (tensao > 795 && tensao <= 881)
{
UV_index = "7";
}
else if (tensao > 881 && tensao <= 976)
{
UV_index = "8";
}
else if (tensao > 976 && tensao <= 1079)
{
UV_index = "9";
}
else if (tensao > 1079 && tensao <= 1170)
{
UV_index = "10";
}
else if (tensao > 1170)
{
UV_index = "11";
}

// --- Configuração do Sensor de Temperatura e Umidade ---

delay(2000); // No mínimo 2000 milisegundos para iniciar o DHT22
float h = dht.readHumidity();
float t = dht.readTemperature();
float f = dht.readTemperature(true);
if (isnan(h) || isnan(t) || isnan(f)) {
Serial.println(F("Falha na leitura do sensor DHT"));
return;
}

// --- Informações apresentadas no Monitor Serial ---
Serial.print(F("Temperatura: "));
Serial.print(t);
Serial.print(F("°C "));
Serial.print(F("Umidade do ar: "));
Serial.print(h);
Serial.print(F("% "));P
Serial.print("Umidade do solo: ");
Serial.print(adc_value);
Serial.print("% ");
Serial.print("Índice UV: ");

```

```

Serial.print(UV_index);
Serial.print(" Luminosidade: ");
Serial.print(lux);
Serial.print(" Lux ");

// --- Configuração do Sensor de Molhamento ---
val_d = digitalRead(pino_d); // Lê e armazena o valor do pino digital do sensor de chuva
val_a = analogRead(pino_a); // Lê e armazena o valor do pino analógico do sensor de chuva
// Serial.print("Valor analogico: "); // Envia as informações do sensor de molhamento MS
// Serial.print(val_a); // Envia as informações do valor sensor de molhamento para o MS
if (val_a > 600 && val_a < 1024) {
Serial.println(" Planta seca");
}
if (val_a > 400 && val_a < 600) {
Serial.println(" Planta moderadamente molhada");
}
if (val_a > 0 && val_a < 400) {
Serial.println(" Planta molhada");
}
// delay(0000);
}
void read_humidity(int level1, int level2, int level3, int level4, int level5)
{
adc_value = map(analogRead(analogi), 1023, 0, 0, 100); // Lê valor do sinal analógico em %
}
// --- FIM DO CÓDIGO ---

```