

Microestação meteorológica de baixo custo para monitoramento de variáveis microclimáticas na planta

Dispositivo construído se mostrou capaz de coletar dados tão eficientes quanto meteorológicas comerciais e oficial do INMET através testes de validação em laboratório e campo

Jornal da Fruta Terça-feira , 06 de Setembro de 2022

Resumo - Por ser uma atividade de risco, já que depende de fatores climáticos que na maioria das vezes não podem ser controlados, uma das importantes ferramentas inerentes à produção nos mais diversos setores agrícolas existentes no Brasil é o monitoramento de variáveis ambientais. **Para atender a essa crescente demanda por informações e tecnologias no agronegócio brasileiro, desde os pequenos produtores familiares até o médio produtor, o presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um protótipo de uma microestação meteorológica de baixo custo acoplado em uma planta de macieira em duas situações diferentes: com e sem cobertura antigranizo.** O dispositivo construído se mostrou capaz de coletar dados tão eficientes quanto meteorológicas comerciais e oficial do INMET através testes de validação em laboratório e campo e, mas com sua construção orçada em uma fração do valor de estações disponíveis no mercado.

1.Introdução - A agricultura brasileira possui grande destaque no cenário nacional e internacional, alavancando a nossa economia através da produção de grãos, fibras e energia, além de frutas e hortaliças. Ainda assim, grande parte de suas atividades são consideradas de risco, já que dependem de fatores climáticos que na maioria das vezes não podem ser controlados, sendo o acompanhamento de variáveis ambientais um importante parâmetro para o planejamento adequado da produção.

No Brasil, o Instituto Nacional de Meteorologia (**INMET**) administra mais de **400 estações, convencionais ou automáticas, espalhadas por todo o território nacional e que monitoram condições climáticas relevantes não apenas para o agronegócio brasileiro, como também para os diversos setores da economia.** Sua missão é prover informações meteorológicas à sociedade brasileira e influir construtivamente no processo de tomada de decisão, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do País. Ainda assim, o volume de estações meteorológicas instaladas em nosso extenso território ainda é considerado baixo devido a sua importância para os diversos setores da economia, especialmente a agricultura (INMET, 2015).

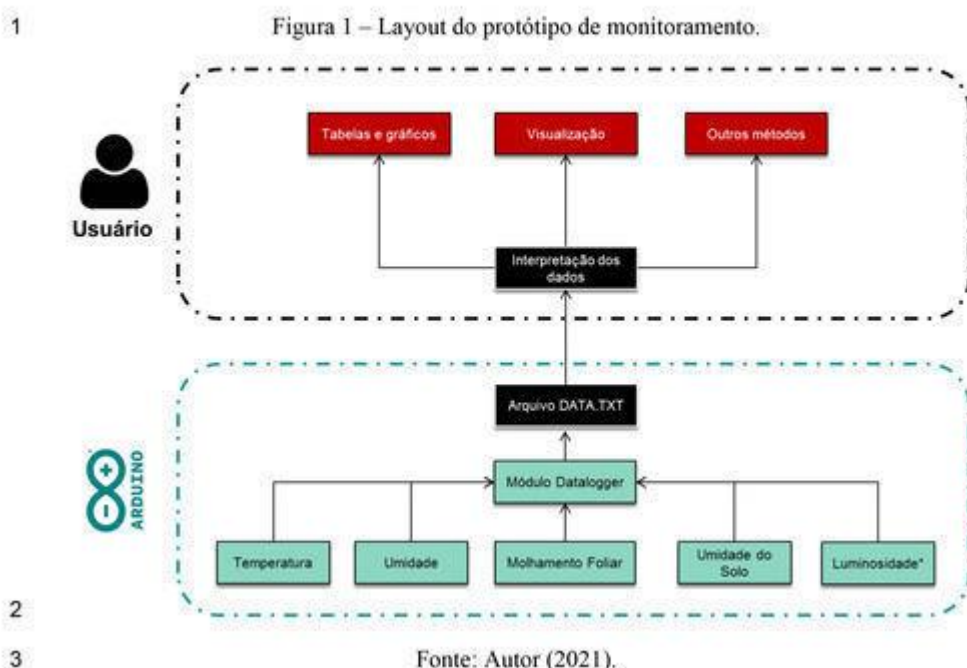
Uma alternativa a falta de informações provenientes dessas estações, principalmente em áreas remotas ou de difícil acesso, é a aquisição de unidades comerciais. No entanto, o alto custo de aquisição, instalação e manutenção de uma estação meteorológica automática reforça a necessidade do desenvolvimento de uma solução mais barata, robusta, confiável e com potencialidades de formação de redes.

Deste modo, levando em consideração os altos preços de instrumentos de análise e medição climáticas, a utilização de sensores de baixo custo aliado à facilidade de integração com sistemas informatizados põem em prática alternativas a fim de desenvolver soluções capazes de suprir essa demanda levando em uma conta relação custo-benefício.

Para atender a essa crescente demanda por informações e tecnologias no monitoramento de variáveis ambientais, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver dois protótipos para coleta de dados micrometeorológicos, utilizados em agricultura de precisão, para monitorar as principais variáveis microclimáticas de interesse agrônomo para plantas de macieira, com e sem cobertura de tela antigranizo.

2. Metodologia - A construção e calibração dos protótipos foram conduzidas 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). Nesta fase, foi estabelecida uma revisão teórica sobre a influência das condições microclimáticas na cultura da macieira para estabelecer o tipo de monitoramento viável e necessário ao local de estudo, incluindo a previsão e compra dos materiais necessários para sua construção.

Em seguida foi proposto o layout dos dispositivos a serem construídos, que dispõem de um sistema de módulos e sensores que realizam o monitoramento de informações climáticas num intervalo de tempo predefinido (Figura 1). **Figura 1 - Layout do protótipo de monitoramento.**



Fonte:

Autor (2021).

Durante a etapa de testes em campo, os dispositivos foram instalados e em um pomar comercial da agroindustrial São Pedro de Vacaria LTDA - AGROSPE,

localizado no município de Bom Jesus, RS (latitude 28°36'1.79"S, longitude 50°29'46.35"O e 1030 m de altitude).

A construção dos protótipos deu-se a partir da plataforma Arduino, uma vez que essa tecnologia proveu o controle dos sensores, a organização dos dados coletados e seu armazenamento, gravando-os em um cartão de memória, no qual registrou o horário da aferição e seus respectivos valores para temperatura, umidade do ar, molhamento foliar, umidade do solo e luminosidade - essa, por sua vez, convertida em radiação por meio de um cálculo matemático a partir do valor aferido pela estação construída (em lux) para a unidade de medida aferida na estação oficial do INMET (KJ/m²). **Para isso, utilizou-se a seguinte equação: $Rad = Lum/116 \times 3,6$**

***Lum* = luminosidade (lux)**

***Rad* = radiação visível (KJ/m²)**

A plataforma com padrão Arduino foi escolhida por apresentar baixo custo de aquisição, possuir hardware livre e documentação aberta, facilitando sua programação e utilização. Para validar os protótipos foram realizados testes visando comparar os dispositivos construídos com uma estação oficial do INMET e duas estações meteorológicas agrícolas de marcas comerciais. Antes de incorporar os componentes necessários na placa de prototipagem (*protoboard*), foram realizados testes individuais em cada sensor para a construção do protótipo. Com isso, foi possível entender melhor a funcionalidade dos componentes para, então, integrá-los à *protoboard* de forma unificada.

Em seguida, de posse do *hardware* necessário para a sua construção, foi realizada a montagem inicial dos módulos e sensores na *protoboard* com o sistema energizado em uma bateria de 9V não recarregável. Uma vez que a bateria de 9V utilizada na montagem inicial possui uma autonomia de bateria curta (cerca de 4 horas de duração), decidiu-se utilizar sistemas de energia mais robustos, porém compactos e leves - facilitando o manejo do dispositivo.

Foram realizados testes de bancada de laboratório para verificar a fonte de energia com o melhor custo-benefício para o projeto. Dentre as possibilidades, excluiu-se a utilização de energia proveniente de bateria de sistema fotovoltaico devido seu pelo seu alto custo - contrastando com a premissa de o dispositivo ser acessível financeiramente.

Após a montagem e o devida energização dos dispositivos foi realizada a programação dos módulos e sensores no ambiente de programação (IDE) do Arduino. 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 ao próprio ambiente de programação, como a biblioteca *Arduino* e a *Wire*. Exceto as bibliotecas incorporadas ao Arduino na sua instalação padrão, todas as demais foram adquiridas no site do fabricante Adafruit (<https://www.adafruit.com/>).

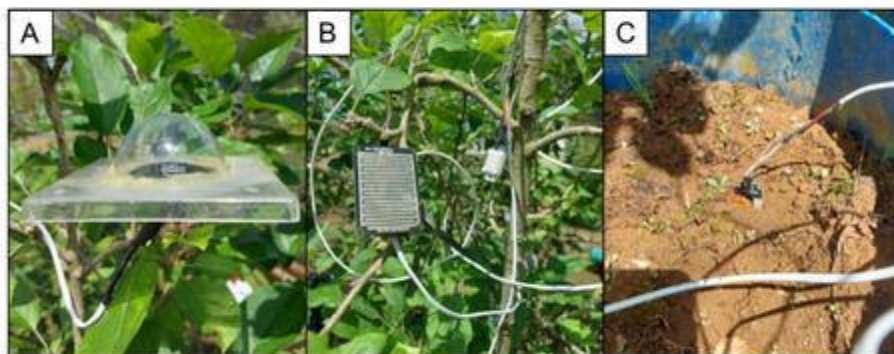
Os testes em laboratório foram realizados com o intuito de corrigir falhas e aprimorar o dispositivo para a fase de experimentação em campo. Na ocasião, optou-se pela montagem dos sensores acoplados a uma planta de macieira cultivada em vaso. Nesta etapa, o protótipo foi programado para realizar as aferições em um intervalo predefinido de 15 minutos para aquisição dos dados meteorológicos de interesse, além da compilação das informações obtidas dos

sensores em um arquivo de texto (.TXT). Cada sensor foi estrategicamente posicionado de forma individual de modo a aferir os dados em diferentes posições (Figura 2).

Figura 2 - Posicionamento e instalação dos sensores de luminosidade¹ (A), temperatura e umidade (B), molhamento foliar (B) e umidade do solo (C).



2



4

5

Fonte: Autor (2021).

Dessa forma, o sensor DHT22 realizou aferições de temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) no meio da planta; o sensor BH1750 aferiu luminosidade (posteriormente transformada em radiação)² 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 ou orvalho; o sensor de

umidade do solo, por sua vez, foi utilizado para detectar as variações de umidade no solo.

Para determinar a validação da estação construída a partir da plataforma ARDUINO, foram realizados testes comparativos com duas estações comerciais, sendo uma da fabricante britânica CAMPBELL modelo CR10X e outra da fabricante brasileira SOLAR modelo SL2000 E8C, além da estação 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), sendo esta última o modelo padrão para as comparações. Para análise estatística foi realizada a comparação das médias por meio do Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Foram realizadas tomadas de campo para entender a variação microclimática de plantas para a condição de pleno sol (controle) e com cobertura antigranizo (tratamento) em pomares de macieira. Os testes de campo foram executados entre os dias 18/10/2021 e 26/10/2021 utilizando os protótipos de forma simultânea.

Os dispositivos foram instalados em um pomar comercial com plantas com aproximadamente de 4 m de altura, com espaçamento de 1 m entre plantas e 4 m entre fileiras, sendo que a distancia de um protótipo para outro foi de aproximadamente 215 m e a distancia do pomar comercial em relação à estação oficial do INMET, localizada em Vacaria - RS, foi de 38,8 km.

3.Resultados e Discussão - Para a energização do dispositivo foram executados testes de bateria com intervalos de aferição de 5, 10 e 15 minutos (Tabela 1). De posse dos resultados foi possível notar que não existe uma relação entre o tempo de intervalo de aferição e a autonomia da bateria, sendo assim optou-se por utilizar o intervalo de 15 minutos como padrão na aferição dos parâmetros, sendo este o padrão das estações comerciais e que dispõe de uma menor massa de dados se comparada aos demais intervalos.

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

| Intervalo | Bateria A (4,000 mAh) | Bateria B (10,000 mAh) | Bateria C (10,000 mAh) | Bateria D (9V) |
|------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| 5 min | 38,73 | 90,3 | 92,8 | 4,18 |
| 10 min | 38,68 | 90,5 | 92,45 | 4,32 |
| 15 min | 34,8 | 90,65 | 92,28 | 4,2 |
| MÉDIA | 37,4 | 90,5 | 92,5 | 4,2 |

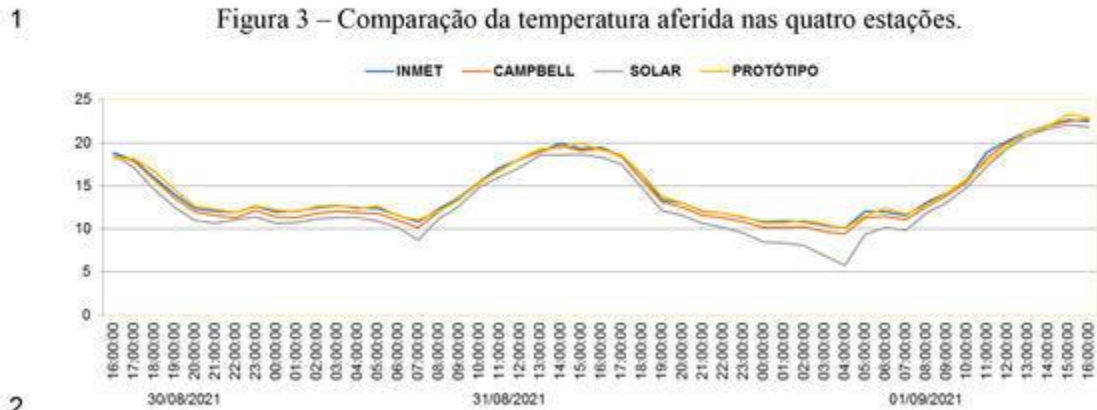
***Os valores estão em horas decimais. Fonte: Autor (2021).**

Com isso, observou-se que a autonomia da bateria portátil B e C (powerbank com 10.000 mAh) foram, em média, de 91,5 horas, mostrando-se o melhor custo-benefício energético para o dispositivo. Ao realizar os testes na bateria A, 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. A bateria D (9V), além de não ser recarregável, alimentou o dispositivo por pouco mais de 4 horas, se mostrando inviável para trabalhos em campo.

Durante os testes de validação dos protótipos construídos com Arduino, estações comerciais previamente existentes e estação oficial do INMET, notaram-se

semelhanças na resposta de três variáveis climáticas importantes: temperatura (Figura 3), umidade relativa do ar (Figura 4) e radiação. **Figura 3 - Comparação da temperatura aferida nas quatro estações.**

1



1

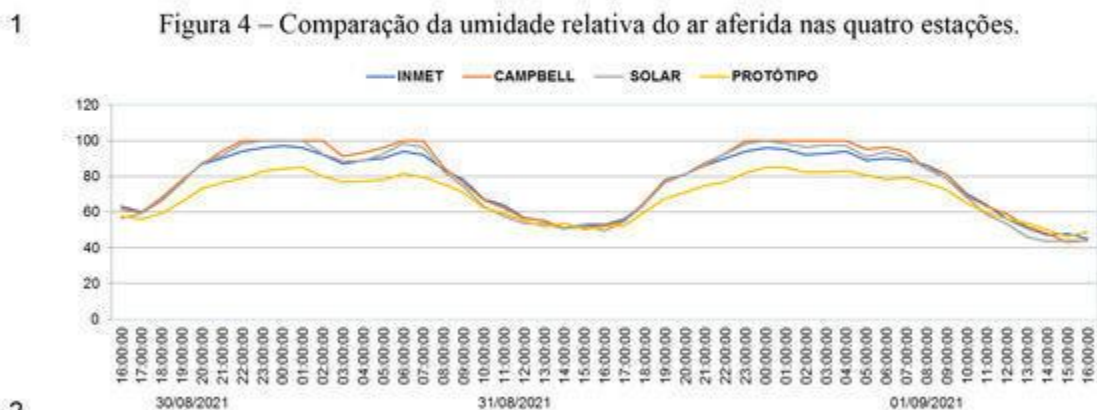


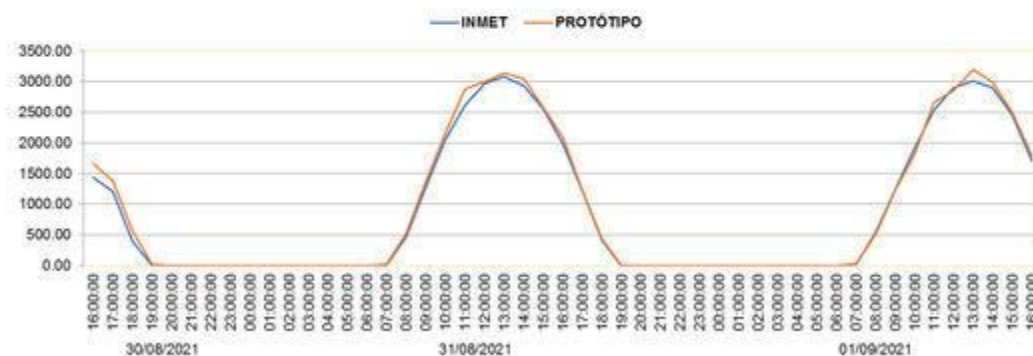
Figura 4 - Comparação da umidade relativa do ar aferida nas quatro estações

É importante salientar que, dentre as quatro estações (INMET, CAMPBELL, SOLAR, PROTÓTIPO), apenas a oficial do INMET e a PROTÓTIPO aferem dados relacionados à radiação (Figura 5), com a ressalva de que, como mencionado anteriormente, o dado de radiação da estação protótipo foi obtido a partir da conversão da luminosidade aferida.

Figura 5 - Comparação da radiação visível aferida entre as estações oficial (INMET) e Protótipo.

1
2
3
4

Figura 5 – Comparação da radiação visível aferida entre as estações oficial (INMET) e Protótipo.



Fonte: Autor (2021).

Para atestar a validade do dispositivo construído a partir do padrão Arduino foi realizada a análise de variância (ANOVA) das variáveis de temperatura, umidade relativa do ar e radiação (Tabela 2) e o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade entre os tratamentos PROTÓTIPO e CAMPBELL (Tabela 3).

Tabela 2 - Resumo da análise de variância para (TEMP), umidade relativa do ar (UMID) e radiação (RAD) em diferentes estações meteorológicas.

| Variáveis | F | CV (%) | MG |
|-----------|-------|--------|--------|
| TEMP | 1,41 | 27,17 | 14,30 |
| UMID | 3,07* | 22,84 | 75,54 |
| RAD | 0,02 | 127,61 | 913,14 |

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F

Tabela 3 - Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

| Tratamentos | TEMP | UMID | RAD |
|-------------|----------|----------|-------|
| INMET | 14,743 A | 76,96 AB | 932 A |
| ARDUINO | 14,763 A | 69,23 B | 895 A |
| CAMPBELL | 14,333 A | 79,03 A | - |
| SOLAR | 13,353 A | 76,95 AB | - |

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

A análise estatística concluiu que não houve diferença entre as médias para a variável TEMPERATURA e RADIAÇÃO. Neste caso, rejeitou-se a hipótese, já que a probabilidade é maior do que 5%. Já para a variável UMIDADE houve diferença significativa entre os tratamentos ARDUINO e CAMPBELL, sendo que CAMPBELL apresentou a maior média. A variável RADIAÇÃO também não foi observada diferença significativa.

Embora tenha sido encontrada diferença entre os quatro tratamentos para a variável UMIDADE, nenhum deles diferiu significativamente do padrão INMET, padrão dos testes de validação.

Um dos grandes problemas da cultura da macieira na região Sul do Brasil é a ocorrência do granizo. Diante disso, parte dos pomares é cultivado sob tela antigranizo. **Portanto, durante o trabalho buscou-se também realizar tomadas de campo com e sem cobertura antigranizo a fim de verificar se há diferenças microclimáticas nestas situações.** Os resultados mostraram que durante o dia a temperatura é aproximadamente 1,5 °C mais quente na planta com cobertura antigranizo em relação à planta cultivada a pleno sol, mas que durante a noite essa diferença cai para 1°C.

Diante disso, entender o comportamento das temperaturas em um pomar é fundamental definir o melhor momento para quebra da dormência da cultura, por exemplo - já que as plantas de macieira necessitam de uma quantidade mínima de horas de frio acumuladas durante o ano.

A umidade relativa do ar apresentou comportamento semelhante em nas duas situações (com cobertura antigranizo e pleno sol). Diferentemente das outras variáveis até aqui analisadas, o uso da tela antigranizo influenciou em uma redução de 30 a 40% da incidência direta do sol se comparado ao pomar a pleno sol. A umidade do solo, assim como o índice de molhamento foliar foi influenciada possivelmente por rápidas precipitações no local.

Os resultados obtidos a campo corroboram com trabalho publicado por Middleton e Mcwaters (2002), que constataram uma redução da radiação incidente proporcionada pelo uso da tela diminui danos causados por golpes de sol, além de melhorar a eficiência dos produtos fitossanitários aplicados e interferir no desenvolvimento de pragas. No entanto, pode trazer alguns problemas como a redução da atividade das abelhas no período de polinização e, por sua vez, a queda no volume de frutos efetivamente frutificados.

Para a análise estatística foi calculado a análise de variância (ANOVA) das variáveis de temperatura, umidade relativa do ar e radiação (Tabela 4).

Tabela 4 - Resumo da análise de variância para (TEMP), umidade relativa do ar (UMID) e radiação (RAD) em difere estações meteorológicas testadas sob a condição em tela e pleno sol.

| Variáveis | F | CV (%) | MG |
|------------------|----------|---------------|-----------|
| TEMP | 0,69 | 10.04 | 2250.55 |
| UMID | 1,02 | 9.99 | 2063.89 |
| RAD | 0,84 | 10.29 | 2143.88 |

Também foi realizado o Teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade entre as estações construídas através do padrão arduino a pleno sol (ARDPS) com tela antigranizo (ARDTAG) e estação comercial da marca e Campbell a pleno sol (CAMPPS) e com tela antigranizo (CAMPTAG), utilizando o tratamento ARDPS como controle (Tabela 5).

Tabela 5 - Valores médios para as variáveis analisadas nas estações meteorológicas construídas com arduino a pleno sol (ARDPS) e sob tela antigranizo (ARDTAG) e estação meteorológica comercial Campbell a pleno sol (CAMPPS) e sob tela antigranizo (CAMPTAG).

| Tratamentos | TEMP | UMID | RAD |
|--------------------|-------------|-------------|------------|
|--------------------|-------------|-------------|------------|

| | | | |
|------------------|----------|---------|---------|
| ARDPS (C) | 11,463 A | 78,92 A | 851 A |
| ARDTAG | 12,019 A | 81,04 A | 690 A |
| CAMPPS | 10,855 A | 75,81 A | 742 A |
| CAMPTAG | 11,402 A | 79,93 A | 617,6 A |

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

A análise estatística concluiu 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%.

4 Conclusão: O trabalho alcançou suas pretensões ao criar um protótipo de estação meteorológica utilizando o padrão Arduino para a coleta e armazenamento de dados microclimáticos relevantes (temperatura, umidade relativa do ar, luminosidade, umidade do solo e molhamento foliar) por meio de sensores estrategicamente posicionados em plantas de macieira. O dispositivo construído obteve sucesso em sua validação, pois após testes em campo, segundo a análise estatística, não apresentou diferenças significativas em relação às estações comerciais e ao padrão oficial do INMET, demonstrando que é viável para uso em zonas de produção.

Levando em consideração valor gasto em seu desenvolvimento (R\$ 456,00 em dez/2021), o protótipo apresentou-se como uma solução de baixo custo se comparado a estações meteorológicas comerciais já presentes no mercado que apresentam valores em ordem de vinte a quarenta vezes mais do que o equipamento construído.

*Mirabor José Leite Júnior 1, Luciano Gebler 2 - ¹Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil, mirabor@outlook.com. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa EFCT, Vacaria, Rio Grande do Sul, Brasil, luciano.gebler@embrapa.br

Referências: ALMEIDA NETO, E. L.; CORIOLANO, D. L. Estação Meteorológica WiFi de Baixo Custo Baseado em ThingSpeak. **Anais...** In: VII Congresso Brasileiro de Energia Solar (CBENS), Gramado 2018. BISCARO, G. A. **Meteorologia Agrícola Básica**, UNIGRAF, 2007. 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: 08 ago. 2021. GOMES, L. C.; NETO, R. S.. A CONTRIBUIÇÃO DA CADEIA PRODUTIVA DA MAÇÃ NA ORGANIZAÇÃO ESPACIAL DE SÃO JOAQUIM/-SC. **Anais?** Seminário de Estudos Urbanos e Regionais, 2015. HUBER, L.; GILLESPIE, T. J. Modeling leaf wetness in relation to plant disease epidemiology. **Annual review of phytopathology**, v. 30, n. 1, p. 553-577, 1992. INMET. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/css/content/topo_iframe/pdf/Nota_TecnicaRede_estacoes_INMET.pdf. 2015. MONTEIRO, J. E. B. **Agrometeorologia dos Cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**, Brasília: INMET, 2009. SENTELHAS, P. C. 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.