



Desenvolvimento e validação de estação meteorológica alternativa integrada a aplicações Web e *Android*

Leandro Avelino MAZUREK ¹, Rivanildo DALLACORT ^{1,2},
Vanessa Rakel de Moraes DIAS ^{*}, Marco Antonio Camillo de CARVALHO ³

¹ Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola, Universidade do Estado de Mato Grosso,
Tangará da Serra, MT, Brasil.

² Centro Tecnológico de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, Universidade do Estado de Mato Grosso,
Tangará da Serra, MT, Brasil.

³ Universidade do Estado de Mato Grosso, Alta Floresta, MT, Brasil.

*E-mail: vanessadias@unemat.br

Submetido em: 03/10/2024; Aceito em 21/11/2024; Publicado em: 13/12/2024.

RESUMO: Estações meteorológicas alternativas podem ser a solução para que agricultores possam ter acesso a dados micrometeorológicos, podendo monitorar suas atividades agrícolas. Assim, o objetivo deste trabalho foi desenvolver uma estação meteorológica alternativa, integrando-a a uma aplicação *Web* e *Android*. Esta foi desenvolvida utilizando Arduino e sensores de temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento e chuva. Foi montada ao lado de uma estação meteorológica de validação. O aplicativo *Android* foi desenvolvido com a plataforma *MIT App Inventor* integrado ao módulo *bluetooth* e a aplicação *Web* com linguagem de programação *PHP*, integrada ao módulo *SIM800L*, armazenando os dados em *MySql*. Na validação, os coeficientes de determinação variaram de 0,92 a 1,00, os de correlação de 0,98 a 1,00, os índices de concordância *Willmott* de 0,98 a 1,00 e os de confiança Camargo e Sentelhas de 0,94 a 0,99. As raízes do erro do quadrado médio variaram de 0,08 a 2,66, considerado baixo. O aplicativo *Android* foi programado para consultar os dados a cada minuto, conectando no aplicativo *Web* através da Internet, que foi integrado ao canal em Nuvem do *Thingspeak*, permitindo ao administrador importar arquivos de texto, visualizar históricos por minuto e por hora, baixar dados e enviar por e-mail. Estes resultados servem de base para projetos com Arduino e integração de aplicações.

Palavras-chave: Arduino; monitoramento agrícola; dados climáticos.

Development of an alternative meteorological station integrated with *Web* and *Android* applications

ABSTRACT: This work aimed to develop an alternative meteorological station using Arduino to integrate it with the *Web* application and an *Android*. The meteorological station was developed using Arduino and air temperature sensors, relative air humidity, wind speed and rain. It was built next to a validation weather station. The *Android* application was developed with the *MIT App Inventor* platform and integrated with the *Bluetooth* module. The *web* application was developed with *PHP* programming language, integrated into the *SIM800L* module, and stored the data in the *MySQL* database. In the validation process, the coefficients of determination ranged from 0.92 to 1.00, correlation coefficients from 0.98 to 1.00, Willmott's agreement indices from 0.98 to 1.00, and Camargo and Sentelhas confidence indices from 0.94 to 0.99. The root mean square error varied from 0.08 to 2.66, which is considered low. The *Android* application was programmed to query data every minute, connecting to the *web* application via the Internet. This *web* application was integrated with the *Thingspeak* cloud channel. It allowed the administrator to import text files, view minute-by-minute and hourly historical data, download data, and send it via email. The results will serve as a basis for projects with Arduino and application integration.

Keywords: Arduino; agricultural monitoring; weather data.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de produção agrícola no estado do Mato Grosso vêm se destacando com forte potencial de crescimento de produção de grãos, projetando um acréscimo de 68% de 2017 a 2028, sendo um aumento de 64,35 para 108,09 milhões de toneladas (LATIRRACA, 2018). A variabilidade meteorológica tem influência importante na produção agrícola (ANDREA et al., 2020), havendo a necessidade da medição e monitoramento ambiental.

Aplicações na *Web* ou *Android* auxiliam nesse monitoramento (MUANGPRATHIBH et al., 2019) e projetos com Arduino são utilizados na agricultura, como no desenvolvimento de estações meteorológicas (SILVA et al., 2016).

As oscilações na produção de safras de grãos são fortemente afetadas pela variabilidade climática (ANDREA et al., 2020). Essas variações em curto prazo representam desvios anuais das condições médias, e tem sido observadas mudanças climáticas relacionadas a eventos extremos, como

Desenvolvimento e validação de estação meteorológica alternativa integrada a aplicações Web e Android

secas, precipitação extrema e ondas de calor (IPCC, 2022). O não monitoramento pode reduzir a produtividade agrícola, aumentar a incidência de pragas/doenças e reduzir áreas propícias à produção agrícola (DA SILVA et al., 2021).

O uso da estação meteorológica é uma ferramenta importante para monitorar as condições meteorológicas nas lavouras e, assim, auxiliar agricultores a tomarem decisões a partir de variáveis meteorológicas que influenciam diretamente na produtividade da plantação (SILVA et al., 2016).

Atualmente, há vários modelos e marcas de sensores eletrônicos que podem ser escolhidos para equipar essas estações meteorológicas. Esses estão com maior resolução/precisão, menor tamanho e, especialmente, menor custo para aquisição, permitindo que o agricultor possa obter dados meteorológicos praticamente em tempo real para tomada de decisões (SOUSA et al., 2015).

Uma estação meteorológica baseada em Arduino é significativamente mais barata do que uma estação convencional. Seus componentes básicos (placa Arduino, sensores, módulos de comunicação), dependendo da complexidade e qualidade dos sensores, tem um custo/benefício interessante ao agricultor.

O Arduino é um microcontrolador de prototipagem de hardware livre que tem sido utilizado em diversos projetos devido a sua facilidade de desenvolver projetos interativos. Tem sido alternativa para desenvolvimento de estações meteorológicas com aplicabilidades na agricultura, pois os projetos podem ter um custo baixo em relação a algumas estações meteorológicas convencionais, podendo ter uma precisão igual e com a mesma eficiência (SILVA et al., 2016).

O armazenamento dos dados de estações meteorológicas desenvolvidas utilizando Arduino podem ser feito através do módulo para cartão de memória (TATOVIĆ et al., 2016). Os dados podem ser integrados e armazenados em bancos de dados ou em plataformas na nuvem, utilizando conceitos de Internet das Coisas (IoT).

Essa abordagem permite o monitoramento remoto e em tempo real de informações, possibilitando tomadas de decisão mais rápidas e precisas, especialmente no setor agrícola. A integração de dispositivos e sensores a aplicações Web e Android potencializa a acessibilidade aos dados (SILVA et al., 2016; MUANGPRATHUB et al., 2019), otimizando

atividades como manejo de irrigação, controle de pragas e gestão climática. A IoT, assim, transforma dados brutos em soluções aplicáveis por meio de conectividade inteligente.

Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo desenvolver e validar uma estação meteorológica alternativa utilizando Arduino e sensores para monitorar dados de temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento e chuva, além de integrá-la a aplicação Web e um aplicativo Android para receber e disponibilizar esses dados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Sistema Embarcado

O sistema embarcado da estação meteorológica alternativa foi desenvolvido no Centro Tecnológico de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto (CETEGEO-SR) e instalado na área experimental da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Campus Universitário de Tangará da Serra - MT, localizado geograficamente a 14° 39' de latitude Sul e 57° 25' de longitude Oeste, com altitude média de 440 metros.

Foi desenvolvido o fluxograma do sistema embarcado para leitura/armazenamento das variáveis meteorológicas (Figura 1), para posteriormente serem validados os dados (código-fonte: <github.com/leandromazurek/WeatherStationArduino>).

Foi utilizado um Arduino Mega 2560 para gerenciar os componentes, como sensores para leitura dos dados meteorológicos e módulos para armazenamento e transmissão dos dados (Tabela 1).

O esquema de ligação do sistema embarcado, montado utilizando o software Fritzing, adaptado pelos autores (Figura 2), apresenta a conexão do Arduino com os sensores e módulos através de jumpers (cabos), resistores e protoboard (matriz de contato). Para proteção das intempéries do tempo, foi preciso colocar o Arduino Mega 2560, alguns sensores e módulos em uma caixa monofásica (Protoboard com fios de ligação; Módulo de Micro Sd Card - Gravar cartão de memória; RTC DS3231 - Leitura de Data/hora; SIM800L - Transmissor de dados pela Internet; HC-06 - Conexão Bluetooth; e LM2596 - Regulador de Tensão). Todo sistema é alimentado por uma bateria de 12 V / 7Ah, mantida por um painel solar.

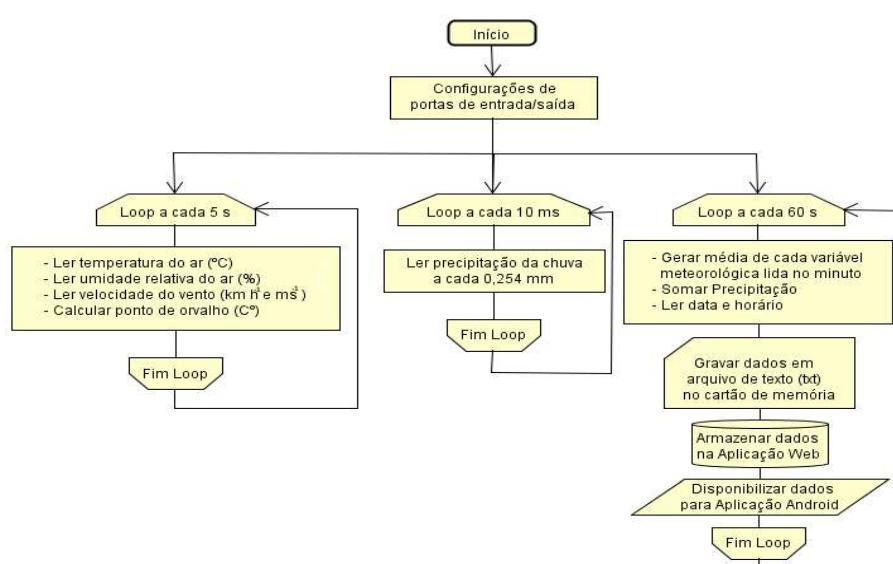


Figura 1. Fluxograma de funcionamento lógico do algoritmo. Fonte: Elaborada pelos autores em ferramenta do Astah (2024).
Figure 1. Flowchart of the algorithm's logical operation. Prepared by the authors using the Astah tool (2024).

2.2. Validação e calibração dos dados

Foi montada a estação meteorológica utilizando Arduino (EMArduino) ao lado de uma estação da *Campbell Scientific* (EMCampbell) (Figura 3), que foi utilizada como referência para a calibração dos sensores da EMArduino (Figura 2).

Ambas as estações coletaram os dados sincronizadamente e armazenaram em arquivo no formato de texto (txt). O período de validação dos dados foram de 14 a 20 de novembro de 2019.

A estação EMCampbell, assim como a EMArduino, fez leituras a cada 5 segundos e gerou a média do minuto. Para a umidade relativa do ar registraram dados máximos e mínimos, sendo realizada a média entre esses dados.

Para a validação dos dados, foram comparados os acumulados diários de chuvas dos pluviômetros seguindo metodologia de Sanches et al. (2017). Para as demais variáveis

foram calculadas as médias horárias de cada dia para ambas estações meteorológicas como na metodologia de Mota et al. (2018).

Os dados dos sensores da EMArduino foram coletados “sem calibração” (apenas calibração de fábrica) e após calibração com os sensores da marca *Campbell Scientific*. Para a calibragem destes dados foram aplicadas equações de ajuste, segundo a metodologia utilizada por Rocha et al. (2019), que aplicaram o Método de Mínimos Quadrados (MMQ) que determina a ordem apropriada de polinômio, sendo possível estabelecer uma sequência de pares ordenados para ajustes de curvas. Quando os valores de velocidade do vento e chuva resultavam em negativo, foram convertidos para zero.

Os detalhes de cada sensor utilizado da *Campbell Scientific* (Tabela 2) podem ser encontrados no Website da empresa (CAMPBELL SCIENTIFIC, 2024).

Tabela 1. Sensores e módulos utilizados.

Table 1. Sensors and modules used.

Função	Componente	Escala	Precisão
Temperatura do ar	BME280	-40°C a 85°C	± 1,0 °C
Umidade relativa do ar	BME280	0 a 100%	± 3%
Velocidade do vento	AN1M	0 a 33,33 m/s	0,9 Km/h
Precipitação pluviométrica	PLAB1	0,25 mm	—
Gravar cartão de memória	Micro Sd Card	—	—
Data/hora	RTC DS3231	—	—
Transmitir pela Internet (GSM)	SIM800L	850/900/1800/1900 mhz	—
Coneção Bluetooth	HC-06	10m	—
Regulador de Tensão	LM2596	E: 3,2-40v/ S: 1,5-35v	—

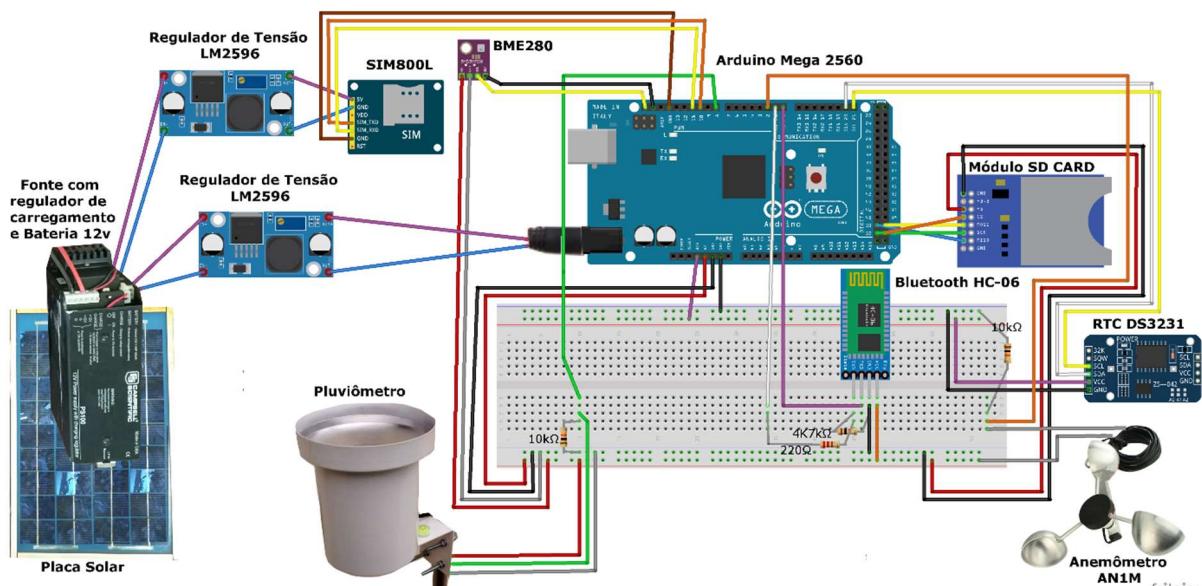


Figura 2. Esquema de ligação do sistema embarcado.

Figure 2. Binding scheme of the shipped system.

Tabela 2. Sensores da *Campbell Scientific* utilizados para validação dos dados.

Table 2. Campbell Scientific sensors were used for data validation.

Função	Componente
Data logger para coleta de dados e controle	CR1000
Temperatura do ar e umidade relativa do ar	CS-215
Anemômetro para velocidade dos ventos	03002 R. M. Young Wind Sentry
Pluviômetro para medição das chuvas	TB4



Figura 3. Estações meteorológicas instaladas próximas para coleta e validação dos dados.
Figure 3. Weather stations installed nearby for data collection and validation.

2.3. Análise estatística

Para a comparação entre os dados obtidos pela EMARduino e EMCampbell, utilizou-se o coeficiente de determinação (R^2) gerado pelo método dos Mínimos Quadrados a partir das equações de ajuste, o coeficiente de correlação de Pearson (r), o índice de concordância de Willmott (d), o índice de confiança (c) de Camargo e Sentelhas e a raiz do erro do quadrado médio (REQM).

O coeficiente de correlação de Pearson (r) foi calculado conforme Equação 1:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{EMArduino},i - \bar{\text{EMArduino}})(\text{EMCampbell},i - \bar{\text{EMCampbell}})}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n (\text{EMArduino},i - \bar{\text{EMArduino}})^2)} \sqrt{(\sum_{i=1}^n (\text{EMCampbell},i - \bar{\text{EMCampbell}})^2)}} \quad (01)$$

O r é o coeficiente de correlação de Pearson, EMARduino e EMCampbell se referem aos dados das estações meteorológicas, n é o número de valores e a barra de sobretensão é a média. Sua classificação foi baseada na proposta de Hopkins (2016), em que 0,0 a 0,1 é considerada uma correlação “Muito baixa”, 0,1 a 0,3 “Baixa”, 0,3 a 0,5 “Moderada”, 0,5 a 0,7 “Alta”, 0,7 a 0,9 “Muito alta” e 0,9 a 1,0 “Quase perfeita”.

A acurácia também foi avaliada pelo índice de concordância de Willmott (d), que mede a proximidade dos dados entre EMARduino e EMCampbell, que quantifica matematicamente a dispersão dos dados em relação ao método considerado padrão, conforme Equação 2:

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\text{EMCampbell},i - \text{EMArduino},i)^2}{\sum_{i=1}^n ((\text{EMCampbell},i - \bar{\text{EMArduino}}) + |\text{EMArduino},i - \bar{\text{EMArduino}}|)^2} \quad (02)$$

O índice de Willmott (d) indica o nível de concordância entre os valores estimados em relação aos dados observados. O coeficiente (d) varia entre 0 e 1, quanto mais próximo o valor de 1, maior o acordo (WILLMOTT et al., 1981).

Foi determinado o índice de desempenho (c), que é o resultado do produto entre o coeficiente de correlação de Pearson (r) e o índice de concordância de Willmott (d) (Equação 2) (CAMARGO; SENTELHAS, 1997), segundo Equação 3:

$$c = d * r \quad (03)$$

Os critérios de interpretação do índice de confiança (c) de Camargo e Sentelhas tem classificações de “Ótima” a “Péssima”, sendo que $\leq 0,40$ é considerado “Péssima”, de 0,41 a 0,50 “Mal”, 0,51 a 0,60 “Sofrível”, 0,61 a 0,65 “Mediana”, 0,66 a 0,75 “Boa”, 0,76 a 0,85 “Muito boa” e $> 0,85$ “Ótima” (CAMARGO; SENTELHAS, 1997).

A raiz do erro do quadrado médio (REQM) mede a diferença entre EMARduino e EMCampbell para avaliar a precisão dos dados observados, segundo a Equação 4:

$$\text{REQM} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{EMCampbell},i - \text{EMArduino},i)^2}{n}} \quad (04)$$

A REQM determina a média do quadrado do erro, com o erro sendo o montante pelo qual o estimador difere da quantidade a ser estimada, sendo uma forma de avaliar a diferença entre um estimador e o verdadeiro valor da quantidade estimada, então quanto mais próximo de zero significa que o estimador prevê observações com precisão (SOUZA; CAMPELO JÚNIOR, 2017).

2.4. Aplicação Web

Para receber/disponibilizar os dados online, foi desenvolvida a aplicação *Web* integrada ao *Website* GeoClimaMT, com páginas exclusivas para a EMARduino <pesquisa.unemat.br/geoclimamt/estacaobc.php>. Foi utilizada a linguagem de programação *PHP*, banco de dados MySQL e integração ao canal *ThingSpeak* <thingspeak.com/channels/598507> que armazena os dados em Nuvem.

Os dados meteorológicos permitiram gerar cálculos como Ponto de Orvalho ($^{\circ}\text{C}$), indicação de pulverização sugeridos por Da Silva et al. (2021) com o tamanho de gotas e a Duração do Período de Molhamento (DPM) baseado em Pereira, Angelocci e Sentelhas (2002).

A comunicação entre a Aplicação *Web* e o sistema embarcado foi através do módulo SIM800L (com plano da operadora Oi), usando solicitações *HTTP* (Protocolo de Transferência de Hipertexto) representado pelo método *GET* com parâmetros. Esses parâmetros são os valores enviados de cada variável.

A aplicação *Web* tem um painel administrativo, com opção para importar o arquivo de texto da estação

meteorológica, que armazena no banco de dados e possibilita obter informações mais completas. Somente usuários com perfil de administrador tem acesso para exportar os dados.

Para outros usuários, foi desenvolvido menu para consulta de todos os dados, incluindo os últimos enviados, armazenados na nuvem do *ThingSpeak*, podendo filtrar por minuto ou por hora, possibilitando exportar os dados consultados ou enviá-los por e-mail.

2.5. Aplicação Android

Para receber/disponibilizar os dados a cada minuto via *bluetooth*, foi desenvolvido um aplicativo para dispositivos *Android*, utilizando a plataforma *AppInventor* (APP INVENTOR, 2024).

A principal opção do aplicativo é o acesso aos dados enviados a cada minuto pelo sistema embarcado, via conexão *bluetooth* com o módulo HC-06. Além dos dados meteorológicos, apresentava a data e o horário da última leitura, se esses dados foram gravados no cartão de memória e se foram enviados para o canal do *ThingSpeak* e ao *Website GeoClimaMT*. A outra opção é o acesso aos dados através da Internet, acessando as páginas da Aplicação *Web*.

3. RESULTADOS

As médias horárias de temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento e o acumulado de chuva registrados pela EMARduino apresentaram o mesmo comportamento ao longo do dia em relação aos dados da EMCampbell, antes da calibração (Figura 4).

As médias da temperatura do ar sem calibração desta estação meteorológica alternativa ficaram próximas à estação EMCampbell na ausência da radiação solar, entre 0h às 5h e 17h às 23h, mas todos valores estiveram dentro ou próximo à precisão do sensor BME280 em relação ao CS-215, sendo a maior diferença às 7h com 1,35°C e a menor às 19h com 0,61°C (Figura 4a).

Os valores médios da umidade relativa do ar sem calibração para EMARduino foram mais próximos da estação EMCampbell na ausência da radiação solar, assim como a temperatura do ar, mas a maior diferença foi de 10,45% às 9h e a menor 4,58% às 4h (Figura 4b).

Sem a calibração para EMARduino, a velocidade do vento teve valores médios mais próximos durante a presença de raios solares, das 7h às 19h (Figura 4c), resultado oposto em relação à temperatura do ar e umidade relativa do ar. A menor diferença ocorreu às 8h com 0,02 $m.s^{-1}$ e a maior ocorreu às 1h e 4h com 0,39 $m.s^{-1}$.

Houve três dias de chuva com acumulado maior que 0 mm, sendo dia 14/11 com 0,51 mm para EMARduino e 0,25 mm para EMCampbell; no dia 17/11 foram registrados 1,52 mm e 1,27mm, respectivamente; já em 20/11 registrou-se 1,27 mm para ambas as estações (Figura 4d). A oscilação do pluviômetro da EMARduino pode ter ocorrido devido ao acúmulo de água na gangorra, provocando novos pulsos.

A calibração utilizando o MMQ para EMARduino reduziu consideravelmente as diferenças e aproximou os valores da EMCampbell (Figura 5). Para as quatro variáveis meteorológicas, os pontos ficaram próximos à reta linear com inclinação crescente positiva.

Os valores de correlação das médias por hora não tiveram diferenças sem ou com calibração, já o acumulado diário de chuva teve maior significância com o ajuste. As correlações foram significativas para todas variáveis meteorológicas entre EMARduino e EMCampbell, mas temperatura do ar teve maior significância em relação as outras variáveis avaliadas por média horária.

Por meio do teste t verificou-se que as diferenças médias foram estatisticamente iguais a zero ($p>0,05$) quando aplicado o MMQ para o EMARduino (Figuras 5a, 5b e 5c), mas apenas o acumulado de chuva (Figura 5d) teve esse resultado sem e com ajuste ($t=0,172$ e $t=0,111$).

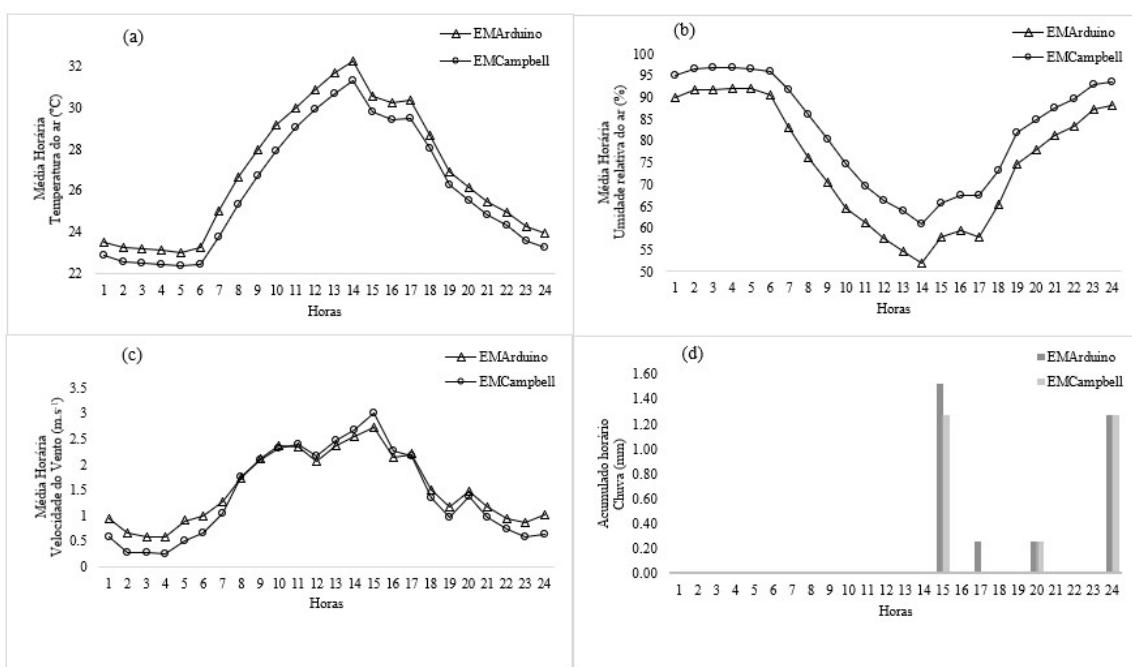


Figura 4. Médias horárias de temperatura do ar (a), umidade relativa do ar (b), velocidade do vento (c) e acumulado horário de chuva (d) das estações meteorológicas EMARduino e EMCampbell.

Figure 4. Average Air temperature (a), relative humidity (b), wind speed (c) and accumulated rainfall (d) of the EMARduino and EMCampbell meteorological stations.

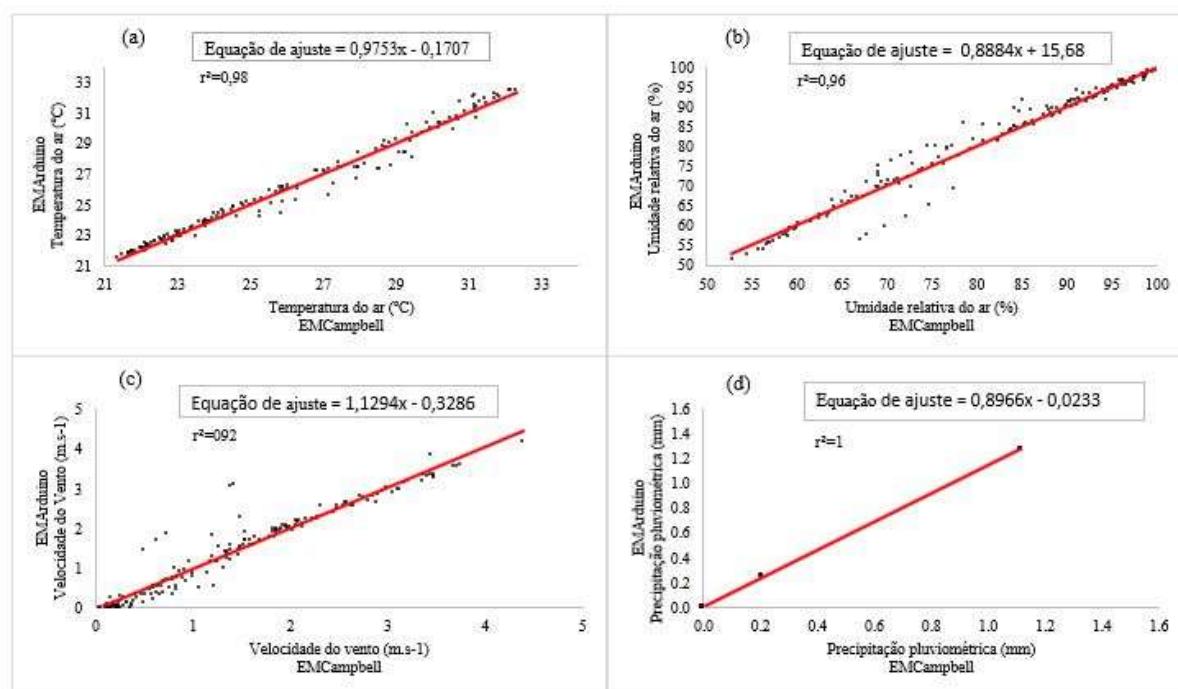


Figura 5. Calibração da EMARduino: médias por hora de temperatura do ar (a), umidade relativa do ar (b) e velocidade do vento (c) e acumulado diário de chuva (d).

Figure 5. EMARduino Station Calibration: Average Air Temperature Hour (a), Relative Air Humidity (b) and Wind Speed (c) and Rain Diary Accumulated (d).

Em relação aos índices de avaliação da variação dos dados observados: o coeficiente de correlação de Pearson (r), o índice de concordância *Willmott* (d), o índice de confiança Camargo e Sentelhas (c) e a raiz do erro do quadrado médio

(REQM), obteve-se resultados satisfatórios, ou seja, para os índices r , d e c , quanto mais próximo de 1, melhor; e para o REQM, quanto mais próximo de 0, melhor (Tabela 3).

Tabela 3. Índices de avaliação: EMARduino x EMCampbell.
Table 3. Performance Indexes: EMARduino x EMCampbell.

Variáveis meteorológicas	Sem calibração			Com calibração			REQM	
	r	d	c	REQM	r	d	c	
Temperatura do ar (°C)	0,99	0,98	0,97	0,94	0,99	1,00	0,99	0,44
Umidade relativa do ar (%)	0,98	0,93	0,91	7,97	0,98	0,99	0,97	2,66
Velocidade do vento (m.s⁻¹)	0,96	0,97	0,93	0,35	0,96	0,98	0,94	0,30
Chuva (mm)	0,98	0,99	0,97	0,13	1,00	0,99	0,99	0,08

O coeficiente de correlação (r) foi definido como “Quase Perfeito” para todas variáveis meteorológicas. O índice de concordância de *Willmott* “ d ” indicou a proximidade entre os dados para todas variáveis.

Os valores REQM indicaram que a temperatura do ar, velocidade do vento e chuva tiveram uma precisão quase perfeita, principalmente com o ajuste MMQ para EMARduino, chegando a valor próximo de zero.

O índice de desempenho “ c ” foi considerado “Ótimo” para todas variáveis meteorológicas, indicando que os sensores para Arduino podem ser aplicados em outros projetos. As Figuras 6 e 7 representam, respectivamente, o Aplicativo *Android* e a página principal da Aplicação *Web*, para consultar os dados da EMARduino.

O aplicativo *Android* permitiu que os dados fossem monitorados a cada minuto através da conexão *bluetooth*, realizada com o pareamento do aplicativo instalado no *smartphone* e o módulo da EMARduino. Outra opção, com consulta através da Internet, é a aplicação *Web* que permitiu também a consulta de históricos. A aplicação *Android*

permitiu acessar os dados com alcance aproximado de 10 metros via *bluetooth*, e a qualquer distância através da Internet.

O sistema da EMARduino também enviou os dados para a aplicação *Web*, onde o último valor de cada variável e cálculos como Ponto de orvalho e sugestão para pulverizar, podem ser consultados na página principal <<http://pesquisa.unemat.br/geoclimamt/estacaobc.php>> ou acessando o menu lateral “Dados Atuais”.

No menu lateral, “Dados na Nuvem”, apresenta o último valor e o histórico dos dados em gráficos, pois foi integrado ao canal do *ThingSpeak* <<https://thingspeak.com/channels/598507>> que armazena os dados em nuvem (Figura 8).

Para cada variável o aplicativo gera um gráfico com o último valor e outro com o histórico dos últimos 30 dias, assim como a possibilidade de baixar os dados em formato CSV. Em aplicação integrada com *Thingspeak* os gráficos podem ser definidos com o MATLAB. Usuários com perfil administrador conseguem importar os dados do arquivo de texto com sucesso para a aplicação *Web*.

Foi criada a opção para que administradores do Website realizem a importação do arquivo de texto que é armazenado no cartão de memória da EMARduino.

O histórico dos dados de cada variável pode ser consultado nas páginas de históricos por minuto ou por hora, além dos dados importados do cartão de memória, filtrando o período desejado.

As páginas de histórico por minuto consultam os dados de cada variável climática. As páginas de histórico por hora

filtram os dados médios, máximos e mínimos da temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%), ponto de orvalho ($^{\circ}\text{C}$), além da velocidade do vento (km h^{-1} e m.s^{-1}) e chuva (mm), além de indicativos como a média horária está em DPM, se é viável pulverizar e qual tamanho de gotas utilizar na aplicação de defensivos agrícolas. Após as consultas dos históricos, esses podem ser baixados em formato XLS ou enviados por e-mail.

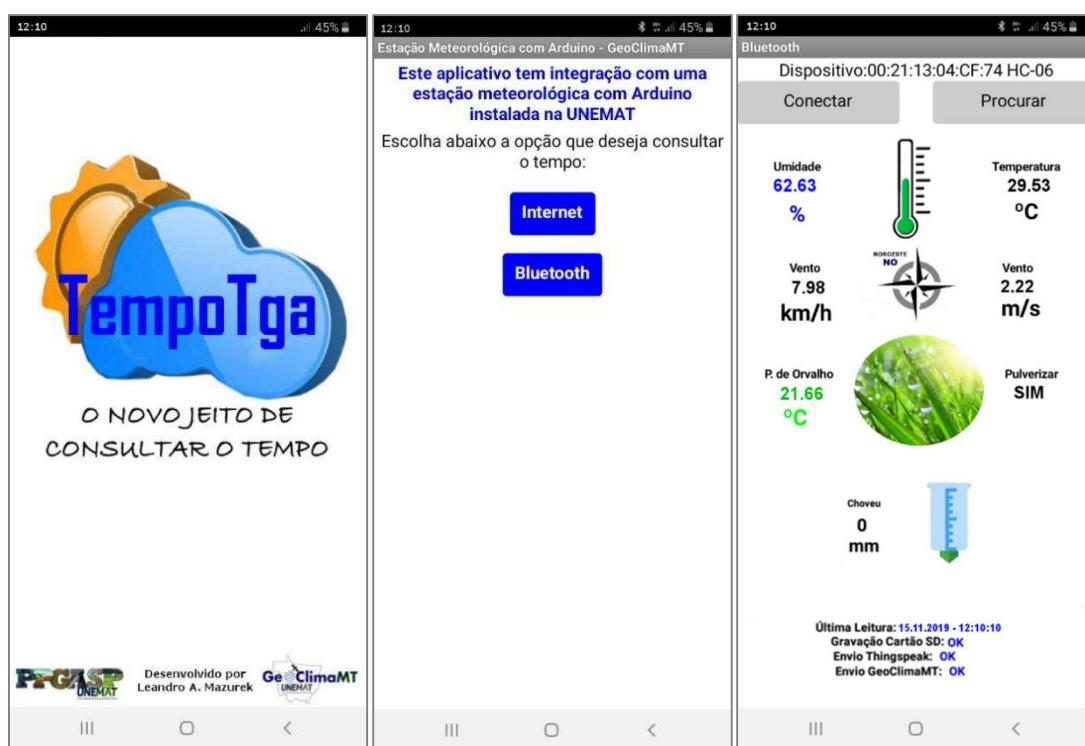


Figura 6. Aplicação *Android* para consulta dos dados da EMARduino.
Figure 6. Android application to consult the data from EMARduino.

Figura 7. Página principal da Aplicação *Web* para consultar os dados recebidos da EMARduino.
Figure 7. Main page of the Web application to consult the data received from EMARduino.

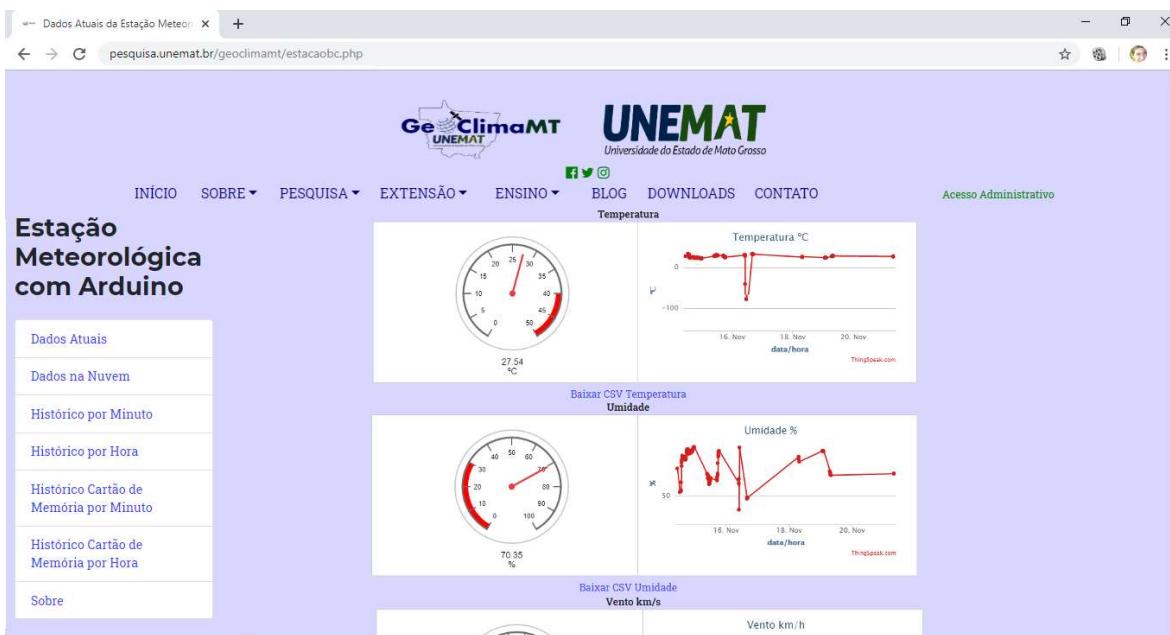


Figura 8. Página dos dados em Nuvem, integração entre Aplicação Web e ThingSpeak.
Figure 8. Cloud data page, integration between Web Application and ThingSpeak.

4. DISCUSSÃO

Os testes iniciais com os sensores da estação alternativa - EMARduino, apenas com a calibração de fábrica, revelaram desvios nas leituras, evidenciando a importância de uma calibração adicional utilizando uma segunda estação meteorológica, como apontado por Araújo et al. (2024). Após a calibração os resultados dos sensores da EMARduino foram satisfatórios. O mesmo foi observado por Netto e Arigony-Neto (2019), que compararam seus sensores com os da marca *Campbell Scientific*. Outros estudos também observaram desvios em sensores calibrados apenas com parâmetros de fábrica (TATOVIC et al., 2016).

O termohigrômetro, apenas com calibração de fábrica, teve melhor desempenho na ausência de radiação solar, no período noturno. O mesmo foi observado por Tatović et al. (2016) que encontraram divergências durante o período entre 11h e 15h. Quando exposto à luz solar intensa, o sensor pode sofrer um aumento de temperatura, o que compromete sua precisão.

Já o anemômetro, com a calibração de fábrica, teve valores médios mais próximos do sensor da marca *Campbell Scientific* durante a presença de raios solares, resultado oposto em relação a temperatura e umidade relativa do ar. De forma semelhante, Morón et al. (2018) registraram valores compatíveis ao utilizarem um anemômetro para medir a velocidade do vento, corroborando os achados deste estudo.

Com relação ao pluviômetro, o teste estatístico de correlação indicou a viabilidade do uso, pois teve um elevado grau de semelhança nos registros pluviométricos. O mesmo foi obtido por Sanches et al. (2017), registrando forte correlação para chuva quando calibrados com os sensores *Campbell Scientific*. A oscilação do pluviômetro da EMARduino pode ter ocorrido devido ao acúmulo de água na gangorra, provocando novos pulsos.

A calibração com sensores da marca *Campbell Scientific* gerou coeficientes de determinação próximos a um, como também constatado por Sanches et al. (2017). O sensor BME280, particularmente, apresentou as maiores correlações

sendo indicado para medições de temperatura e umidade relativa do ar quando utilizado com Arduino, conforme Rocha et al. (2019). Além disso, pesquisas de Netto e Arigony-Neto (2019) e Mota et al. (2018) confirmaram uma correlação quase perfeita para essas variáveis, com uma tendência linear de inclinação crescente, indicando precisão nas medições. Quanto à calibração do pluviômetro, o coeficiente de determinação R^2 foi igual a um devido ao número reduzido de chuvas e, consequentemente, de registros no intervalo do estudo.

De forma geral, os sensores utilizados em sistemas Arduino demonstraram correlações significativas para variáveis meteorológicas, o que os torna aplicáveis a diversos projetos, ampliando sua utilidade em medições em áreas agrícolas e ambientais.

Quanto aos aplicativos *Android* e *Web*, para acesso aos dados registrados pelos sensores, estes permitiram o monitoramento de maneira prática. O aplicativo *Android* fez atualizações via conexão *Bluetooth*, estabelecida entre o *smartphone* e o módulo EMARduino. Além disso, o sistema oferece a opção de acessar os dados remotamente por meio da aplicação *Web*, o que facilita a consulta de históricos e permite um acompanhamento mais completo das variáveis. Essa coleta de dados em tempo real por dispositivos IoT permite análises mais rápidas e precisas, auxiliando na tomada de decisões.

A conexão via *Bluetooth* tem um alcance aproximado de 10 metros, mas, quando integrada à Internet, os dados podem ser acessados de qualquer local. Essa flexibilidade é especialmente útil em projetos que utilizam a tecnologia Arduino, pois elimina a necessidade de proximidade constante com os sensores, tornando o processo de monitoramento mais conveniente (ASADULLAH; ULLAH, 2017).

Na aplicação *Web* é possível visualizar o último valor de cada variável, bem como cálculos auxiliares, como o ponto de orvalho e recomendações para pulverizações agrícolas. Esses dados podem ser acessados diretamente na página

principal ou por meio do menu lateral. A integração com o canal *ThingSpeak* permite o armazenamento dos dados, gerando gráficos em tempo real e históricos dos últimos 30 dias, o que facilita a análise de tendências. Além disso, a possibilidade de exportar os dados, assim como visualizar em forma de gráficos, auxilia na tomada de decisões agrícolas (BARAKI et al., 2018).

Usuários com perfil de administrador têm a possibilidade de importar arquivos de texto com dados diretamente pela aplicação *Web*. Essa funcionalidade foi pensada para cenários em que há oscilações na conexão à Internet, algo comum em áreas rurais. Para contornar a falta de Internet, foi criada uma opção que permite a importação de dados armazenados em cartões de memória dos módulos EMARduino, o que possibilita o processamento e análise *off-line* (ESTEVAM et al., 2018). Assim, mesmo em regiões sem conectividade, os dados podem ser coletados e acessados posteriormente (TATOVIC et al., 2016).

O histórico de cada variável meteorológica, como temperatura, umidade relativa do ar, ponto de orvalho, velocidade do vento e chuva, pode ser consultado de forma detalhada, seja por minuto ou por hora. Além disso, informações sobre a viabilidade de pulverizações agrícolas e o tamanho adequado das gotas a serem aplicadas também estão disponíveis, proporcionando uma ferramenta útil para o gerenciamento da produção agrícola.

5. CONCLUSÕES

A estação meteorológica alternativa desenvolvida com Arduino teve desempenho estatisticamente satisfatório de seus sensores em relação à estação de validação.

O Método dos Mínimos Quadrados foi viável para corrigir as diferenças dos sensores em relação ao padrão, reduzindo consideravelmente os resíduos observados entre as leituras dos sensores.

Os melhores resultados foram aqueles obtidos com o sensor BME280 (temperatura e umidade relativa do ar), com proximidade e precisão confiantes em relação ao sensor CS-215 da *Campbell*.

A integração das aplicações *Android* e *Web* a projetos com o Arduino demonstraram um resultado satisfatório e uma alternativa de aplicação por profissionais, pesquisadores e produtores agrícolas, podendo incluir novos sensores para maior aplicabilidade em outras pesquisas e projetos. Ambos os aplicativos, *Android* e *Web*, atuam como interfaces de usuário, oferecendo uma perspectiva prática e integrada do produto por meio das tecnologias da Internet das Coisas (IoT).

6. REFERÊNCIAS

- ANDREA, M. C. S.; DALLACORT, R.; TIEPPO, R. C.; BARBIERI, J. D. Assessment of climate change impact on double-cropping systems. *SN Applied Sciences*, v. 2, p. 1-13, 2020. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2325-z>
- APP INVENTOR. MIT App Inventor. 2024. <https://ai2.appinventor.mit.edu/>
- ARAÚJO, J. L. P.; RODRIGUES, C. C.; CHASE, O. A.; SILVA, K. P.; NUNES, H. G. G. C.; BEIRÃO, A. T. M. Desenvolvimento e implementação de uma estação meteorológica automática embarcada baseada em tecnologia IoT. *Nativa*, v. 12, n. 1, p. 80-89, 2024. <https://doi.org/10.31413/nativa.v12i1.16796>

- ASADULLAH, M.; ULLAH, K. Smart Home Automation System Using Bluetooth Technology. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATIONS IN ELECTRICAL ENGINEERING AND COMPUTATIONAL TECHNOLOGIES, 2017. Peshawar, Pakistan. *Anais* [...] Karachi, Pakistan, 2017. p. 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICIECT.2017.7916544>
- BARAKI, P.; SHASTRI, S.; MOHEMMED, A.; HEGDE, A. Real Time Weather Analysis Using ThingsSpeak. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, v. 120, n. 6, p. 661-682, 2018.
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativas da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- CAMPBELL SCIENTIFIC. Campbell Scientific - Produtos. 2024. <https://www.campbellsci.com.br>.
- DA SILVA, G. M.; DALLACORT, R.; DA SILVA ANDREA, M. C.; DE QUEIROZ, T. M. Suitable weather condition frequency for fungicide soybean application in Tangará da Serra, Mato Grosso, Brazil. *Revista Ceres*, v. 68, n. 4, p. 245-256, 2021. <https://doi.org/10.1590/0034-737X202168040001>
- ESTEVAM, D. O.; SALVARO, G. I. J.; SANTOS, V. J. D. Os desafios da inserção formal de produtos da agricultura familiar no mercado. *Redes. Revista do Desenvolvimento Regional*, v. 23, n. 1, 2018. <https://doi.org/10.17058/redes.v23i1.11176>
- HOPKINS, W. G. *A New View of Statistics*. Internet Society for Sport Science. Versão On-line. 2016. <https://www.sportsci.org/resource/stats/newview.html>
- IPCC_Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Genebra, Suíça, 2022. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>
- LATORRACA, D. *Guia do investidor 2018: as grandes oportunidades do agro de Mato Grosso*. Cuiabá: Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária – IMEA, 2018. 23p.
- MORÓN, C.; DIAZ, J. P.; FERRÁNDEZ, D.; SAIZ, P. Design, development and implementation of a weather station prototype for renewable energy systems. *Energies*, v. 11, e2234, 2018. <https://doi.org/10.3390/en11092234>
- MOTA, W. N.; ALVES JUNIOR, J. EVANGELISTA, A. W. P.; CASAROLI, D. SMUT - Sistema de Baixo Custo para Aquisição de Temperatura e Umidade Relativa do Ar para Manejo de Irrigação. *Engenharia na Agricultura*, v. 26, n. 1, p. 89-99, 2018. <https://doi.org/10.13083/reveng.v26i1.897>
- MUANGPRATHUB, J.; BOONNAM, N.; KAJORNKASIRAT, S.; LEKBANGPONG, N.; WANICHOMBAT, A.; NILLAOR, P. IoT and agriculture data analysis for smart farm. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 156, p. 467-474, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.011>
- NETTO, G. T.; ARIGONY-NETO, J. Open-source Automatic Weather Station and Electronic Ablation Station for measuring the impacts of climate change on glaciers. *HardwareX*, v. 5, e53, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.johx.2019.e00053>

- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas.** Guará: Ed. Agropecuária, 2002. 478p.
- ROCHA, L. A. G.; SILVA, B. A. R.; COSTA, D. I. Comparação de desempenho de sensores de baixo custo com sensores comerciais para a coleta de dados ambientais. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 15, n. 4, e2198, 2019. <https://doi.org/10.17271/1980082715420192198>
- SANCHES, R. G.; SILVA, M. S. D.; SANTOS, B. C.; PEREIRA, D. N. B. Proposta de Pluviômetro de Baixo Custo Utilizando a Plataforma de Prototipagem Arduino. In: ARCHIMEDES, P. F.; AMORIM, R. R. (Orgs.). **Os desafios da Geografia Física na fronteira do conhecimento.** Campinas, SP: Instituto de Geociências/Unicamp, e-book, v. 1, 2017. <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2416>
- SILVA, A. C. M.; SILVA, M. A.; MIRANDA, J. P. L.; SANTOS, M. C. P.; FACEROLI, S. T. Estação Meteorológica Automática de Baixo Custo. **Multiverso - Revista Eletrônica do Campus Juiz de Fora**, v. 1, n. 1, p. 46-56, 2016.
- SOUSA, R. R.; ANTUNES, J. P.; CABRAL, I. Estação metereológica experimental de baixo custo. **Geo UERJ**, n. 27, p. 80-97, 2015. <https://doi.org/10.12957/geouerj.2015.12335>
- SOUZA, A. F.; CAMPELO JÚNIOR, J. H. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para região da Baixada Cuiabana, MT. **Agrometeoros**, v. 25, n. 2, p. 393-405, 2017.
- TATOVIĆ, M.; MILOVANOVIĆ, A.; KARAPANDŽIĆ, I. Device for the Remote Measurement of Meteorological Data Based on Arduino Platform. **Serbian Journal of Electrical Engineering**, v. 13, n. 1, p. 133-144, 2016. <https://doi.org/10.2298/SJEE1601133T>
- WILLMOIT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, v. 2, p. 184-194, 1981.

Agradecimentos: Ao Centro Tecnológico de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto (CETEGEO-SR), da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT).

Contribuição dos autores: L.A.M.: conceitualização, metodologia, investigação ou coleta de dados, análise estatística, validação, redação (original); R.D.: administração ou supervisão, conceitualização, metodologia, redação (revisão e edição); V.R.M.D.: investigação ou coleta de dados, redação (revisão e edição); M.A.C.C.: análise estatística, redação (revisão e edição). Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Disponibilidade de dados: Os dados desta pesquisa poderão ser obtidos mediante solicitação ao autor correspondente via e-mail.

Conflito de interesses: Os autores declaram não haver conflito de interesses.



Copyright: © 2024 by the authors. This article is an Open-Access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons [Attribution-NonCommercial \(CC BY-NC\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).