

COMPARATIVO ENTRE ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA BASEADA EM ARDUINO SMD E SENSORES DE REFERÊNCIA

Kleber Rodrigo Penteado ¹

André Luiz Pinto ²

Gislene Figueiredo Ortiz Porangaba ³

RESUMO

O objetivo do presente trabalho é discutir acerca dos testes, aplicação, limitações e uso de uma Estação Meteorológica Automática (EMA) de baixo custo, baseada em Arduino, para monitoramento de variáveis climáticas e meteorológicas em comparação com equipamentos de referência. Para isso, foram coletados dez dias de dados da EMA objeto de análise deste trabalho, de um sensor TESTO 175 T3 e da estação meteorológica A704 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As comparações foram realizadas a partir de tabelas e gráficos com valores médios diários de cada equipamento, cálculo do Coeficiente da Correlação de Pearson (r) e Coeficiente de Determinação (r^2) em planilhas de Excel 2019 para relacioná-las à acurácia dos sensores da EMA. É possível afirmar que a EMA construída no Laboratório de Pesquisas Ambientais (LAPA) do Instituto Federal de Mato Grosso do Sul (IFMS) teve boa eficiência nas medições de temperatura comparadas ao sensor TESTO, instalado no mesmo tripé e à estação do INMET ($r=0,9989$ e $r^2=0,9977$; $r=0,9744$ e $r^2=0,9494$, respectivamente) como também em relação à umidade relativa do ar, comparada à estação do INMET ($r=0,9907$ e $r^2=0,9815$). Houve pequenas divergências entre os dados de temperatura da EMA e da estação do INMET que podem estar relacionados ao local e condições de instalação dos equipamentos. O pluviômetro da EMA teve problemas físicos e de *software* durante os dias do recorte analisado e os dados não puderam ser comparados à estação do INMET.

Palavras-chave: Monitoramento, Instrumentação Ambiental, Climatologia.

ABSTRACT

The objective of this paper is to discuss about the tests, application, limitations and use of low-cost Arduino-based Automatic Weather Stations (AWS's) for monitoring weather and climate variables in comparison with reference equipment. To do this, ten days of data were collected from the AWS under analysis in this work, from a TESTO 175 T3 sensor, and from the A704 weather station of the Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Comparisons were made using tables and graphs with daily average values for each equipment, calculating Pearson's Correlation Coefficient (r) and Coefficient of Determination (r^2) in Excel 2019 spreadsheets to relate them to the accuracy of the AWS sensors. It is possible to state that the AWS built at the Laboratório de Pesquisas Ambientais (LAPA) of the Instituto Federal de Mato Grosso do Sul (IFMS) had a good track record in temperature measurements compared to the TESTO sensor installed on the same tripod and the INMET station ($r=0.9989$ and $r^2=0.9977$; $r=0.9744$ and $r^2=0,9494$, respectively) and also in relation to relative air humidity compared to the INMET station ($r=0.9907$ and $r^2=0.9815$). There were small differences between the temperature data from the AWS and the INMET station, which may be related to the location and installation conditions

¹ Doutorando do Curso de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS – Campus Três Lagoas (CPTL), kleber.penteado@ifms.edu.br;

² Doutor em Geografia – Professor Sênior da UFMS/CPTL, andrepintofontanetti@gmail.com;

³ Doutora em Geografia – Professora da UFMS/CPTL, gislene.ortiz@ufms.br.

of the equipment. The rain gauge at AWS had physical and *software* problems during the analyzed days and the data could not be compared to the INMET station.

Keywords: Monitoring, Environmental Instrumentation, Climatology.

INTRODUÇÃO

O planejamento e o processo de tomada de decisão acerca das questões climáticas e ambientais demandam acesso e disponibilidade de informações sobre os espaços-alvo das ações, sobretudo aquelas informações mensuradas em pequenos espaços temporais (horas e minutos). A existência de equipamentos capazes de gerar dados primários acessíveis a pesquisadores, produtores rurais, gestores, ao Estado e aos cidadãos é de suma importância para o desenvolvimento de ações assertivas e ambientalmente saudáveis.

Sobre isso, Monteiro (1990) destaca que é importante recorrer aos recursos técnicos que se têm à mão para dar início às investigações acerca do clima, sobretudo do urbano, mas não apenas dele. O autor ainda destaca que os esforços de pesquisa e investigação podem produzir resultados capazes de colaborar com o início de novas discussões, sobretudo de territórios que dispõe de limitadas fontes de informação.

Ross (1994) aponta para a necessidade de pensar e repensar mecanismos e formas para que o crescimento econômico aconteça de maneira sustentável com vistas à saúde ambiental coletiva e à manutenção das atividades econômicas. Menezes (2019) reforça ainda a importância do processo de monitoramento das condições do tempo como elemento de significativa relevância para a manutenção da produção agropecuária de forma sustentável.

Sanches *et al.* (2017, p.2025) elucidam que “entender o comportamento climático de um lugar fornece auxílio na tomada de decisões, nas gestões dos setores socioeconômico e ambiental, tais como planejamento agrícola, recursos hídricos, turismo, entre outras, visando o bem-estar social”.

Complementarmente, Alves (2018) destaca que o elevado custo de equipamentos de monitoramento meteorológico e a construção de sistemas com *softwares* fechados, que impedem a manutenção pelos usuários, são fatores limitantes à ampliação de redes de monitoramento, seja pelo alto custo, seja pela dificuldade de manutenção e, por isso, esses equipamentos (e os dados gerados) ficam limitados a algumas poucas instituições públicas e privadas que dispõe de recursos técnicos e financeiros para sua manutenção.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, é resultado da

demanda de dados de precipitação, temperatura e umidade do município de Três Lagoas – MS para o trabalho de pesquisa (tese) sobre perda de solos em estradas desenvolvido durante o curso de Doutorado (em andamento) no Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGGEO) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) campus Três Lagoas (CPTL) e tem por objetivo discutir acerca dos testes, aplicação, limitações e uso de Estações Meteorológicas Automáticas (EMA's) de baixo custo baseadas em Arduino para monitoramento de variáveis climáticas e meteorológicas.

A construção da Estação Meteorológica Automática (EMA) foi realizada de forma artesanal no Laboratório de Pesquisas Ambientais (LAPA) do Instituto Federal de Mato Grosso do Sul (IFMS) campus Três Lagoas e a programação dos parâmetros da estação foi feita no Ambiente de Desenvolvimento Integrado (*Integrated Development Environment – IDE*) do próprio Arduino. Os resultados dos registros de temperatura do ar da EMA testada foram comparados com os registros de um sensor da marca TESTO modelo 175 T3, com os dados registrados pela estação meteorológica A704 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e com a média histórica do portal Climate-Data.org (C-D) para o mês de outubro. Os registros de umidade relativa do ar da EMA foram comparados com os dados registrados pela estação A704 (INMET) e com a média histórica disponível no C-D.

Os resultados obtidos podem ser considerados bastante satisfatórios em relação de custo-benefício e correlação dos dados da EMA com os demais equipamentos de referência testados. O equipamento desenvolvido demonstrou forte correlação e forte similaridade de variação dos dados de temperatura do ar com relação ao TESTO ($r=0,9989$ e $r^2=0,9977$) e à estação A704 ($r=0,9744$ e $r^2=0,9494$). O mesmo padrão foi notado em relação aos registros de umidade relativa do ar em comparação à estação do INMET ($r=0,9907$ e $r^2=0,9815$).

O pluviômetro instalado apresentou problemas no sensor *reedswitch* e no intervalo de leitura programado no código, porém, o problema só foi descoberto e sanado após o período analisado no trabalho.

Por fim, recomenda-se o uso desse tipo de equipamento para monitoramento das variáveis adotadas em curtos intervalos de tempo (horas, minutos, segundos), devido sua eficiência, fácil descolamento, poder de armazenamento e baixo custo. Recomenda-se ainda a realização de mais ensaios comparativos do modelo de equipamento construído com outros sensores e estações de referência, além da aplicação em diferentes ambientes e testes de outros sensores de baixo custo que possam ser viáveis técnica e economicamente.

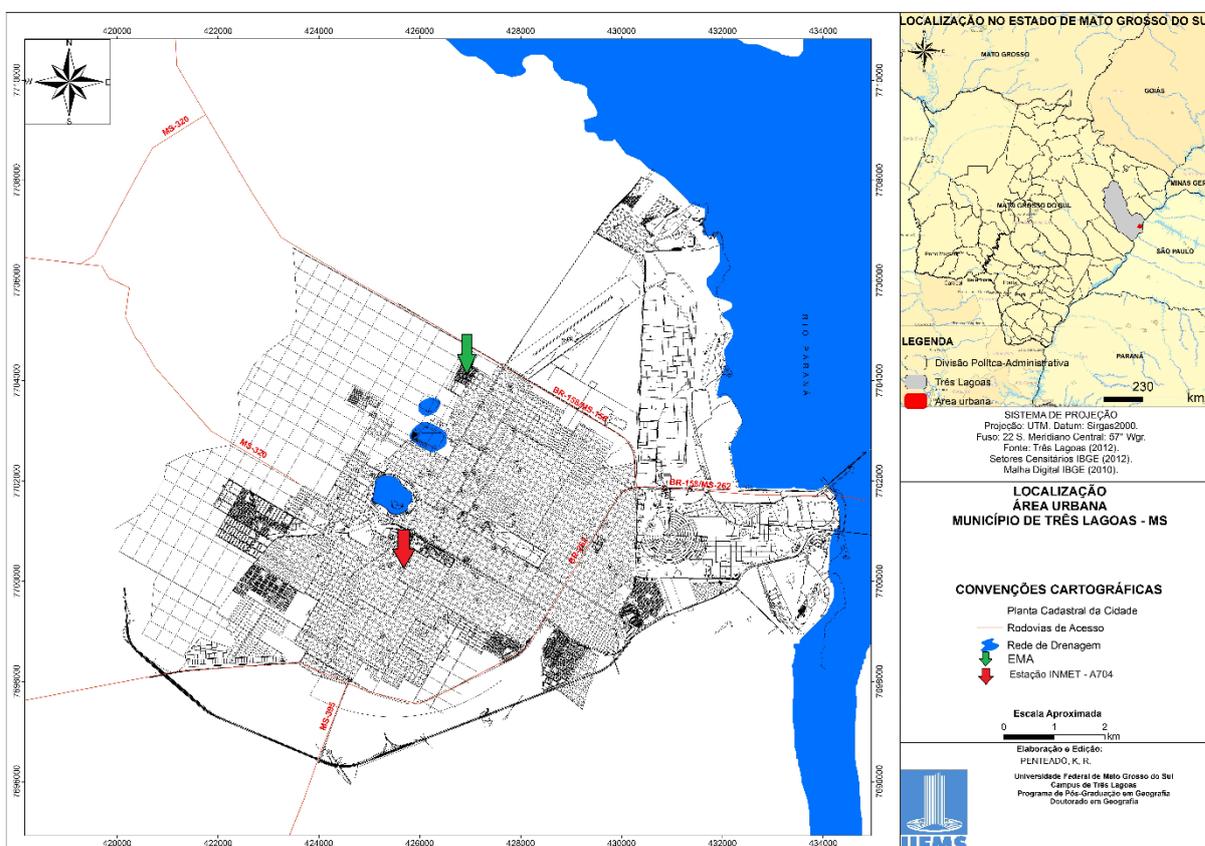
METODOLOGIA



Localização dos equipamentos utilizados

Os ensaios de montagem e testes da Estação Meteorológica Automática (EMA) foram realizados no município de Três Lagoas – MS na Zona Norte do município, sob as coordenadas $20^{\circ}45'39''\text{S}$ e $51^{\circ}42'06''\text{W}$. A estação meteorológica A704 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que serviu de base para os parâmetros de comparação, está localizada na porção Centro-Sul do município sob as coordenadas $20^{\circ}47'41''\text{S}$ e $51^{\circ}42'48''\text{W}$ (Figura 1).

Figura 1 – Localização do município de Três Lagoas – MS



Organização: Penteado (2023)

Estação Meteorológica Automática (EMA) baseada em Arduino UNO SMD

A construção desse equipamento baseou-se na placa de prototipagem Arduino UNO (Figura 2) que, segundo McRoberts (2011, p.22), “é um pequeno computador que você pode programar para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele”. Segundo Mota *et al.* (2018), plataformas de prototipagem como o Arduino são responsáveis por facilitar e ampliar o acesso às tecnologias eletrônicas e de automação devido ao seu custo relativamente baixo se comparadas com equipamentos comerciais.

**Figura 2 – Arduino UNO**

Fonte: TCJ eletrônica - Disponível em:

<<https://cdn.awsli.com.br/600x450/1833/1833608/produto/86661495/6d9ace7ba7.jpg>> Acesso: 30 mar 2023.

Conectado ao Arduino, estão: um pluviômetro de balsa em alumínio da marca WRF Comercial com precisão 0,25mm, um sensor de temperatura e umidade relativa do ar da marca AOSONG 2302 (DHT22), um módulo Real Time Clock (RTC) 1307, um módulo para cartão Micro SD que serve como datalogger e um display LCD 16x2 I2C para acompanhamento do funcionamento do equipamento sem necessidade do uso de um computador. A escolha desses sensores e equipamentos teve como base os trabalhos de Alves (2018); Finholdt *et al.* (2011); Freitas (2018); Menezes (2019); Mota *et al.* (2018); Sanches *et al.* (2017); Smith; Smith (2022)

A programação do Arduino e dos componentes da estação teve como base a organização das bibliotecas disponíveis no Ambiente de Desenvolvimento Integrado (*Integrated Development Environment - IDE*) do próprio Arduino⁴ de forma a tornar possível a utilização sistêmica dos sensores e componentes. As bibliotecas utilizadas para a construção do código do conjunto de sensores listados foram: “dht.h”, “SPI.h”, “SD.h”, “Wire.h”, “I2C_RTC.h” e “LiquidCrystal_I2c.h”.

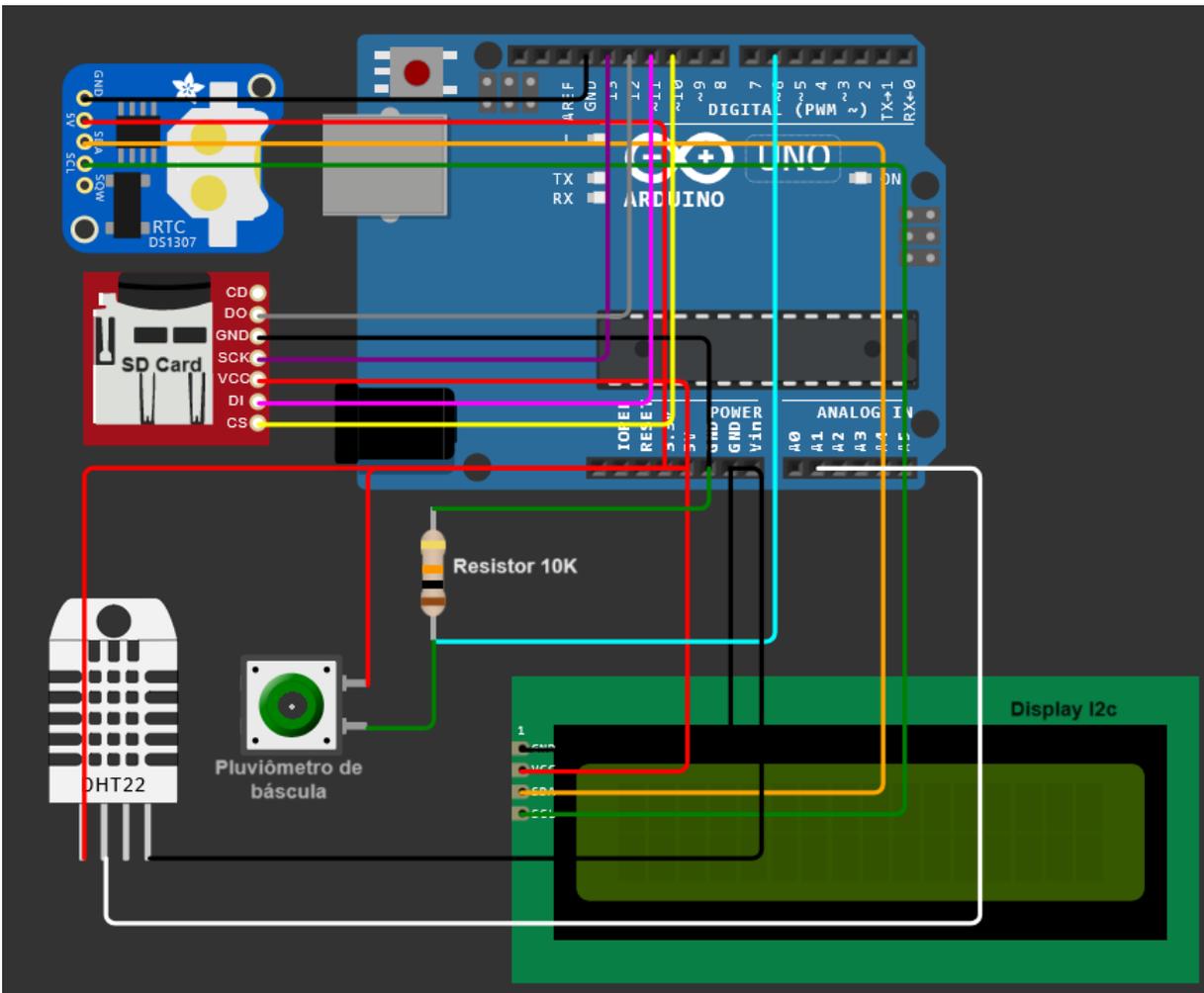
A montagem do circuito está estruturada, basicamente, conforme mostra a Figura 3⁵.

⁴ Disponível para download gratuito em: <<https://www.arduino.cc/en/software>>

⁵ A construção da ilustração esquemática foi feita, de forma gratuita, sem necessidade de cadastro ou login no site <<https://wokwi.com/projects/new/arduino-uno>> e depois editada para fins de identificação dos componentes.



Figura 3 – Ilustração esquemática - Montagem do circuito da EMA



Organização: Penteadó (2023)

O sistema de energia⁶ da EMA testada é composto por um painel solar de 30w de potência da marca SINOSOLA, uma bateria de 12v e 7Ah e um controlador de carga de 10A PWM. A Figura 4 ilustra a disposição da EMA em seu local de testes.

Os abrigos utilizados para os sensores de temperatura e umidade foram posicionados a 1,5 metro da superfície (ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL, 2017), foram cedidos pelo Laboratório de Biogeografia e Climatologia Geográfica (LABICGEO) da UFMS/CPTL e são os mesmos utilizados pelos sensores Hobo.

⁶ O uso de um sistema de alimentação solar é uma opção para lugares que não dispõe de energia elétrica. Caso haja disponibilidade de rede elétrica, a alimentação do sistema pode ser feita com uma fonte chaveada de 9V 1Ah.

**Figura 4 – EMA em seu local de testes**

Fonte: Penteado (2022)

Sensor de temperatura TESTO 175 t3

O segundo abrigo instalado no tripé demonstrado na Figura 3 foi dotado de um Sensor de temperatura da marca TESTO, modelo 175 T3. Este sensor foi cedido pelo LABICGEO da UFMS/CPTL para que fossem realizados os comparativos dos valores de temperatura registrados entre ele e o DHT22 que equipa a EMA.

Dados da Estação meteorológica do INMET

A obtenção dos dados da estação meteorológica do INMET foi realizada a partir do Banco de Dados Meteorológicos disponível no site da instituição (<https://bdmep.inmet.gov.br/>). As variáveis selecionadas foram as mesmas do equipamento em testes (Temperatura – Umidade – Precipitação). O recorte temporal selecionado corresponde ao período de 17 a 26 de outubro de 2022. A periodicidade de medição e registros deste equipamento é horária.

Parâmetros utilizados para os comparativos entre os equipamentos

Mota *et al.* (2018) e Freitas (2018) destacam que a acurácia do DHT22 é de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ para temperatura e de $\pm 5\%$ para umidade relativa. A exatidão desses dados, sobretudo referente à temperatura, é reforçada em sua grande parte por Smith; Smith (2022).

Os valores de acurácia do TESTO 175 são próximos aos do DHT, segundo o site do fabricante (www.testo.com). Já os valores referentes à estação do INMET são desconhecidos. Tanto o DHT22 da EMA, quanto o TESTO e a estação do INMET possuem resolução de temperatura de $0,1^{\circ}\text{C}$. Os valores de umidade relativa são registrados apenas pelo DHT22 e pela estação do INMET. A resolução do DHT22 é de $0,1\%$, entretanto, os dados da estação do INMET são disponibilizados com resolução de 1% . Portanto, para efeito de comparação, a resolução trabalhada nos comparativos dos registros é de 1% .

Tratamento e comparação dos dados coletados

Os dados coletados na EMA foram armazenados em um cartão de memória e tomados com a frequência de um minuto, pois, conforme Alves (2018) e Menezes (2019) dessa forma é possível acompanhar desde as mudanças mais sutis dos parâmetros meteorológicos até um acompanhamento mais eficiente de eventuais falhas no sistema. Para efeito de facilitar a comparação imediata dos dados e eventuais flutuações finas nas diferenças de temperatura, o Sensor Testo 175 T3 (instalado no mesmo tripé da EMA) também foi ajustado para realizar tomadas de medida a cada 1 minuto.

Como a estação meteorológica do INMET realiza medições instantâneas no início de cada hora, foi necessário realizar algumas operações no conjunto de dados registrados pela EMA e pelo TESTO a fim de selecionar apenas as medidas do começo de cada hora para temperatura e umidade relativa do ar e dos acumulados de precipitação.

Para realização da análise foram coletados 10 dias de dados de medidas ininterruptas da EMA, do Testo e da estação do INMET. É importante ressaltar que durante o período de testes e ajustes da EMA (agosto a outubro de 2022) houve mais registros, entretanto, foram selecionados apenas os registros contíguos e ininterruptos.

O *software* utilizado para análise dos dados foi o Microsoft Excel 2019.

A análise dos dados coletados está pautada na comparação do valor médio das medidas de cada um dos equipamentos (ALVES, 2018; FREITAS, 2018; MENEZES, 2019; MOTA *et al.*, 2018). As comparações ocorreram a partir da construção de tabelas para organização dos dados e elaboração de gráficos representativos das médias diárias, gráficos de dispersão com regressão linear e apresentação dos valores de Correlação de Pearson (r) e do Coeficiente de Determinação (r^2) e a comparação com a média histórica para o mês de outubro disponível no portal Climate-Data.org.

Durante o processo de tratamento dos dados percebeu-se uma diferença significativa entre os dados de precipitação registrados pela EMA e pela estação do INMET. Essa diferença foi atribuída a alguns problemas relacionados ao sensor *reedswitch* do pluviômetro e ao *delay* utilizado na programação do conjunto entre um registro e outro do sensor. Esses problemas só foram descobertos e sanados no final do mês de novembro de 2022, portanto, os dados de precipitação gerados durante o período de comparação deste ensaio apresentam grande comprometimento e não serão discutidos no contexto deste trabalho.

REFERENCIAL TEÓRICO

A obtenção de dados climatológicos e meteorológicos primários sobre áreas de estudo, sobretudo em âmbito local ou regional é uma grande dificuldade e um dos principais limitantes ao desenvolvimento de pesquisas considerando-se essas escalas de abordagem (ALVES, 2018; GALVANI, 2019). Mesmo diante de limitações, quando dispõe de dados primários sobre sua área de estudo, o pesquisador consegue avançar na leitura e em abertura de possibilidades às novas investigações e novas discussões, sobretudo quando se trata de territórios que dispõe de pouca ou nenhuma informação (MONTEIRO, 1990).

A construção de equipamentos de monitoramento climático-meteorológico a partir de sistemas embarcados de baixo custo e de plataforma aberta, como o Arduino, constituem uma alternativa que tem se mostrado viável para sanar as necessidades de dados primários em diferentes setores que vão desde a pesquisa científica à agropecuária, indústria, construção civil, entre outras atividades. A viabilidade do emprego de sistemas embarcados como o Arduino se dá tanto pelo custo reduzido frente aos sistemas convencionais comerciais quanto pela resposta eficiente ao levantamento de dados em escala local e regional com sensores compatíveis a essas plataformas (ALVES, 2018; MOTA *et al.*, 2018).

Para realizar a avaliação da eficiência de um instrumento de coleta de dados é importante realizar a aplicação de técnicas estatísticas a fim de relacionar os dados coletados à equipamentos e fontes de referência consolidadas.

Dessa forma, assim como Alves (2018); Finholdt *et al.* (2011); Menezes (2019); Mota *et al.* (2018); Smith; Smith (2022); Sugawara (2003), buscou-se realizar a comparação dos dados registrados pela EMA com equipamentos de referência a partir da técnica estatística de correlação linear a partir do Coeficiente de Correlação de Pearson (r) que, segundo Andriotti (2003) e Rogerson (2012), consiste em avaliar a intensidade da relação linear entre os dados

emparelhados de X e Y numa amostra e pode variar de -1 (correlação inversa) a +1 (correlação direta) na qual o valor zero indica ausência de correlação.

A consistência dos registros entre EMA e equipamentos de referência pode ser verificada a partir da reta de tendência e do Coeficiente de Determinação (r^2) que, segundo Andriotti (2003, p.69) “é a proporção da variação total em Y, explicada pelo ajuste da regressão”, ou seja, qual percentual a variável Y varia de acordo com a variável X. Esse resultado tende a indicar o quanto as variações dos registros da EMA se assemelham aos equipamentos de referência.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado do processo de testes da Estação Meteorológica Automática (EMA) baseada em Arduino foi dividido em 2 etapas: Informações sobre custos e o processo de construção/installação da EMA; e, análise dos dados médios de temperatura e umidade diários e horários da EMA e dos equipamentos de referência (TESTO e INMET).

Custos e construção da EMA baseada em Arduino.

Como Alves (2018); Monteiro (1990); Mota *et al.* (2018); Sanches *et al.* (2017) reforçam, é importante pensar em alternativas viáveis para que o monitoramento meteorológico e climático ocorra de forma mais ampla. Devido à necessidade de obtenção de dados primários de áreas de pesquisa e à preocupação em construir formas de colaborar com a ampliação da rede de monitoramento dessas variáveis no estado de Mato Grosso do Sul é que se optou pela construção de uma estação meteorológica baseada em Arduino UNO.

Os custos de aquisição e montagem de uma EMA igual a utilizada nesse ensaio estão listados na Tabela 1, abaixo.

Tabela 1 – Custo das peças e equipamentos para construção de uma EMA

Item	Quantidade	Unidade	Preço total (R\$)
Arduino Uno	1	Unidade	75,00
DHT 22	1	Unidade	45,00
RTC 1307	1	Unidade	15,00
Adaptador SD	1	Unidade	15,00
Display 16x2 I2C	1	Unidade	45,00
Pluviômetro	1	Unidade	340,00
Kit painel solar 30w	1	Unidade	460,00
Cabos energia	10	Metros	15,00
Cabos Jumper	5	Metros	10,00
Porta Fusível	3	Unidade	45,00



Caixa patola	2	Unidade	200,00
Bateria	1	Unidade	150,00
Cartão de memória	2	Unidade	120,00
Tubo metalon 40x30	1	Barra	150,00
Dobradiças	4	Unidade	12,00
Parafusos	50	Unidade	5,00
Presilhas	10	Unidade	3,00
Total			1705,00

Organização: Penteado (2023)

A listagem de equipamentos da tabela 1 corresponde a uma instalação que pode ser realizada em lugares que não dispõe de energia elétrica, mas se o ponto de instalação tiver disponibilidade de energia é possível substituir o kit de painel solar, a bateria e alguns acessórios de instalação desses equipamentos por uma fonte chaveada de 9V e 1Ah. Isso reduziria o custo de uma EMA para cerca de R\$1000,00⁷.

Usualmente, para prototipagem, são usadas conexões com cabos tipo *jumper* conectados entre os componentes utilizados e a placa do Arduino, ou ainda, entre os componentes, uma *protoboard* e a placa do Arduino. Entretanto, antes mesmo da obtenção dos dados apresentados nesse trabalho, foi notado grande número de falhas, erros e problemas nas conexões entre os *jumpers*, *protoboard*, sensores e placa. Devido a isso, para minimizar as falhas e aumentar a robustez do equipamento optou-se por realizar a solda dos cabos conectores nos sensores e na placa do arduino. Essa medida resolveu em grande parte os problemas de mau-contato e erros de leitura dos sensores.

Durante todo o processo de construção e testes, no local indicado nesse trabalho, ocorreram ajustes tanto de *software* quanto de *hardware* da EMA para diminuir, minimizar e tentar eliminar o máximo de erros e falhas.

Como já relatado em sessão anterior, não foi possível tratar/comparar os dados de precipitação do equipamento devido a problemas percebidos no sensor do pluviômetro de balsa e no intervalo de leitura (*delay*) que foi programado para este sensor.

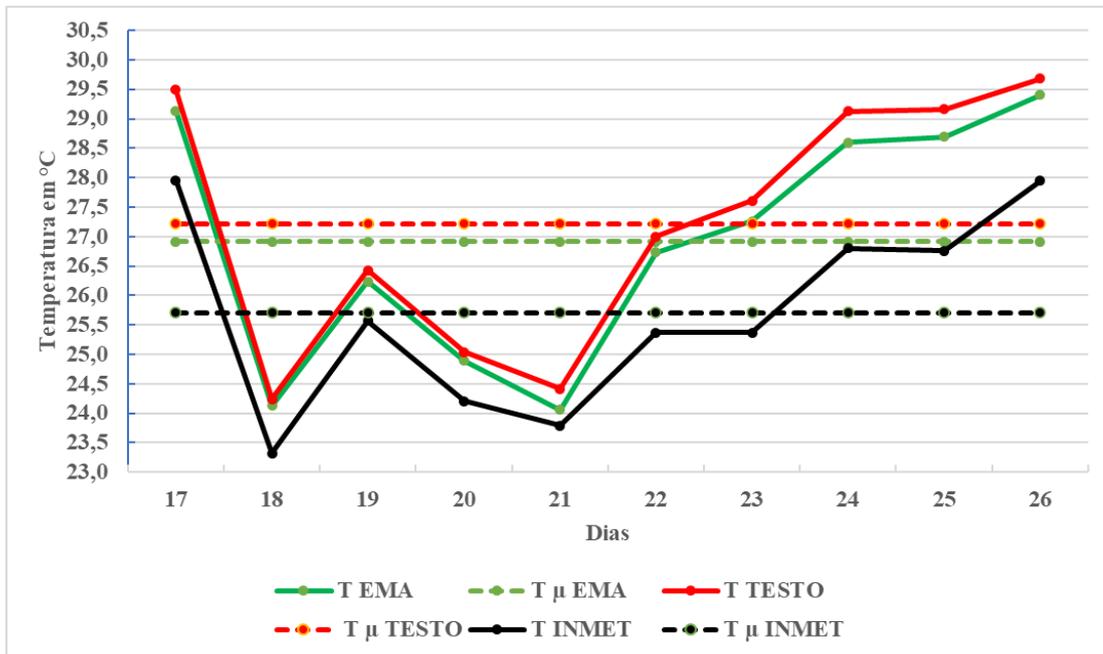
Análise dos dados de Temperatura e Umidade – EMA, TESTO, INMET A704

⁷ Todos os custos apresentados correspondem a compras em pequena quantidade e em fornecedores brasileiros. É possível conseguir reduzir os custos de construção de uma estação como a desse ensaio caso a aquisição de equipamentos seja feita em maior escala e/ou a partir da importação direta de componentes.



A partir dos valores médios diários de temperatura do ar registrados pela EMA, pelo TESTO e pela estação do INMET no período proposto para análise foi elaborado o gráfico representado pela Figura 5 a seguir.

Figura 5 – Médias diárias temperatura do ar e média do período – EMA x TESTO x INMET



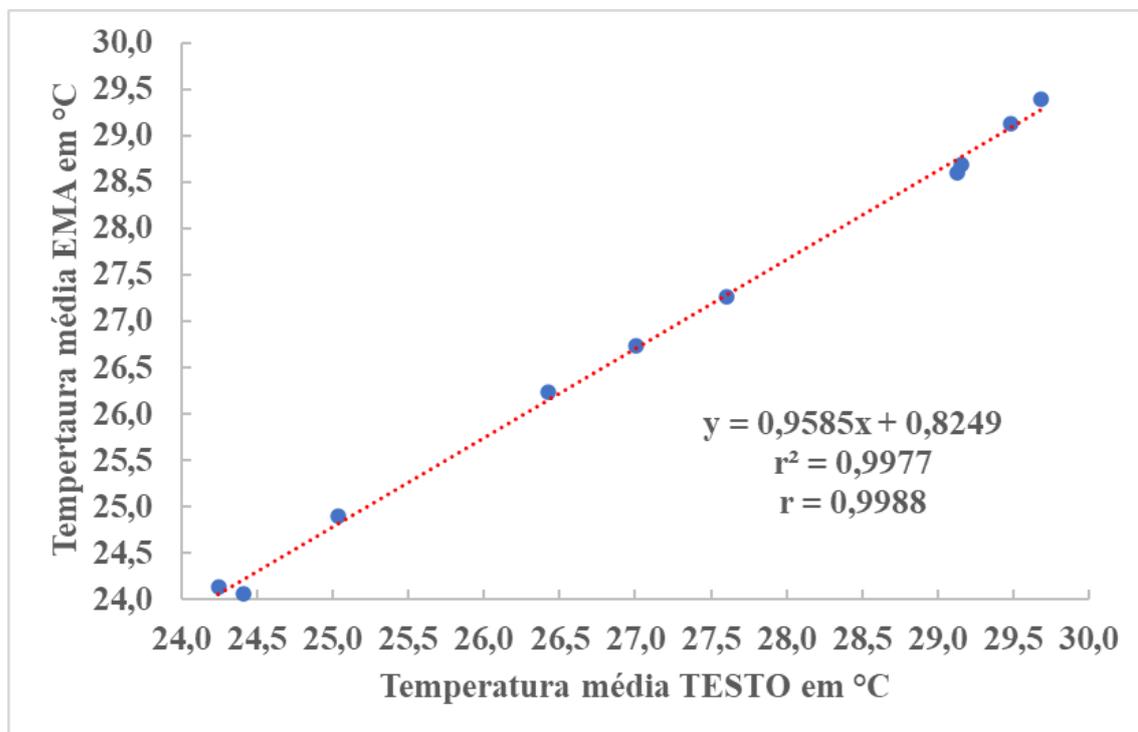
Organização: Penteadó (2023)

A análise do gráfico permite evidenciar que as maiores diferenças entre os dados registrados concentram-se nos dias em que ocorreram registros de maior temperatura média. Esse tipo de variação também foi registrado pelos trabalhos de Alves (2018); Freitas (2018); Mota *et al.* (2018); Smith; Smith (2022) quando compararam os dados obtidos com o DHT22 com outros sensores de referência os autores também notaram ligeira variação dos registros em situação de temperaturas mais elevadas.

No que diz respeito à comparação com os dados do TESTO, as variações ficaram dentro da faixa de acurácia dos equipamentos e o bom retrospecto pode ser confirmado ao conferir os resultados expostos no gráfico de dispersão com regressão linear da Figura 6.



Figura 6 – Gráfico de dispersão com regressão linear – Temperatura do ar - EMA x TESTO



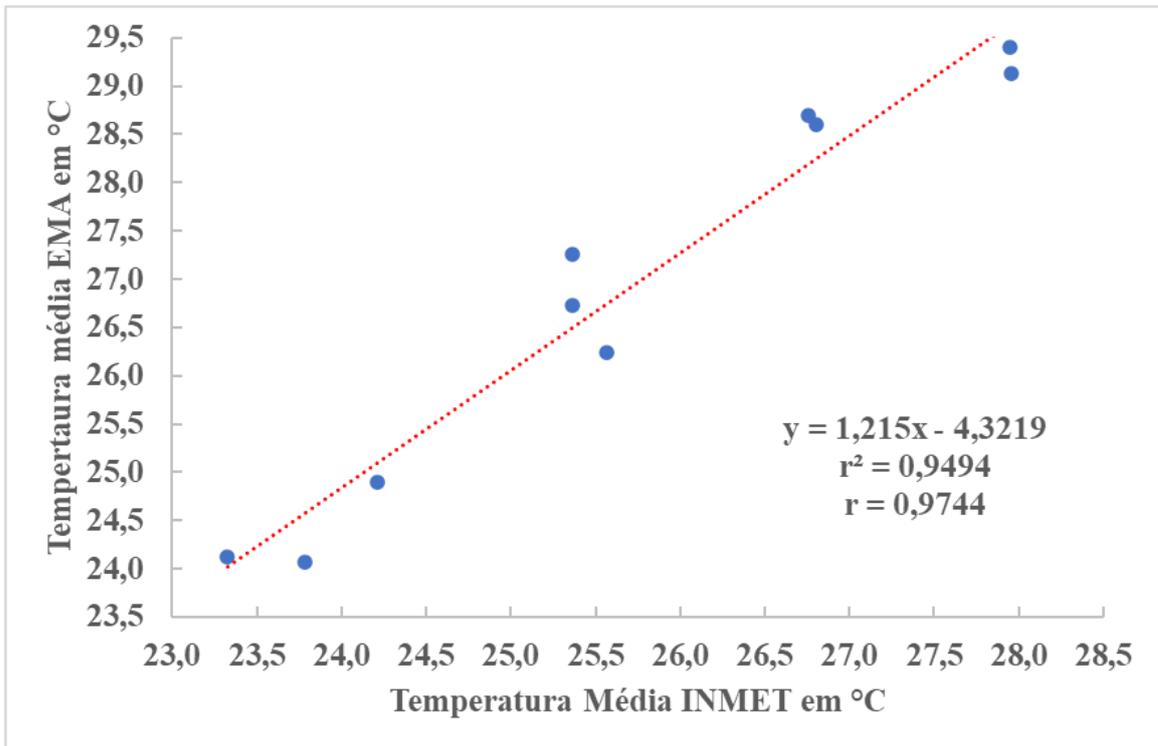
Organização: Penteado (2023)

O Coeficiente de Correlação de Pearson (r) calculado para os dados EMA x TESTO corresponde a 0,9988, ou seja, há forte correlação da variação dos dados, enquanto o Coeficiente de Determinação (r^2) é 0,9977, indicando que 99% das variações da EMA se correlacionam com o que foi apresentado pelos registros do TESTO. Portanto, é possível afirmar que o DHT22 da EMA teve bom desempenho comparado ao equipamento de referência.

Ainda no gráfico da Figura 5, é possível notar na comparação com a estação do INMET, que o equipamento da EMA superestimou os registros todos os dias, sobretudo nos dias de maiores médias de temperatura. Apesar disso, é possível afirmar que o retrospecto dos registros da EMA em comparação com a estação A704 foi bastante positivo. O gráfico de dispersão com regressão linear da Figura 7 ajuda a compreender melhor essa avaliação.



Figura 7 – Gráfico de dispersão com regressão linear – Temperatura do ar – EMA x INMET



Organização: Penteadó (2023)

Na comparação EMA x INMET o Coeficiente de Correlação de Pearson foi de 0,9744, indicando forte correlação da variação dos dados, enquanto o Coeficiente de Determinação foi 0,9494, mostrando que, mesmo havendo algumas divergências nos registros, as variações registradas pela EMA se aproximaram 94% das vezes ao que foi registrado pelo INMET indicando um bom retrospecto do equipamento.

Mesmo não sabendo qual o sensor utilizado na estação do INMET nem sua acurácia, é possível avaliar que as divergências entre registros EMA x INMET, mesmo oscilando fora da faixa de acurácia do DHT22, foram consideravelmente positivas, pois tomando as medidas isoladamente é notável que as oscilações superam a tolerância da acurácia, mas quando é calculada a correlação (r) e a determinação (r^2) é possível notar grande similaridade do comportamento entre os registros. É importante considerar ainda que o sensor de referência TESTO, instalado no mesmo tripé da EMA e com o mesmo tipo de abrigo, apresentou variação semelhante.

A diferença entre os dados EMA x INMET (ou TESTO x INMET) remetem à reflexão das razões que possam ter dado origem a essas divergências. Para tentar compreender e refletir sobre o assunto, faz-se necessário realizar mais estudos comparativos entre os equipamentos, conhecer os sensores utilizados pela estação A704 do INMET e buscar a realização de ensaios

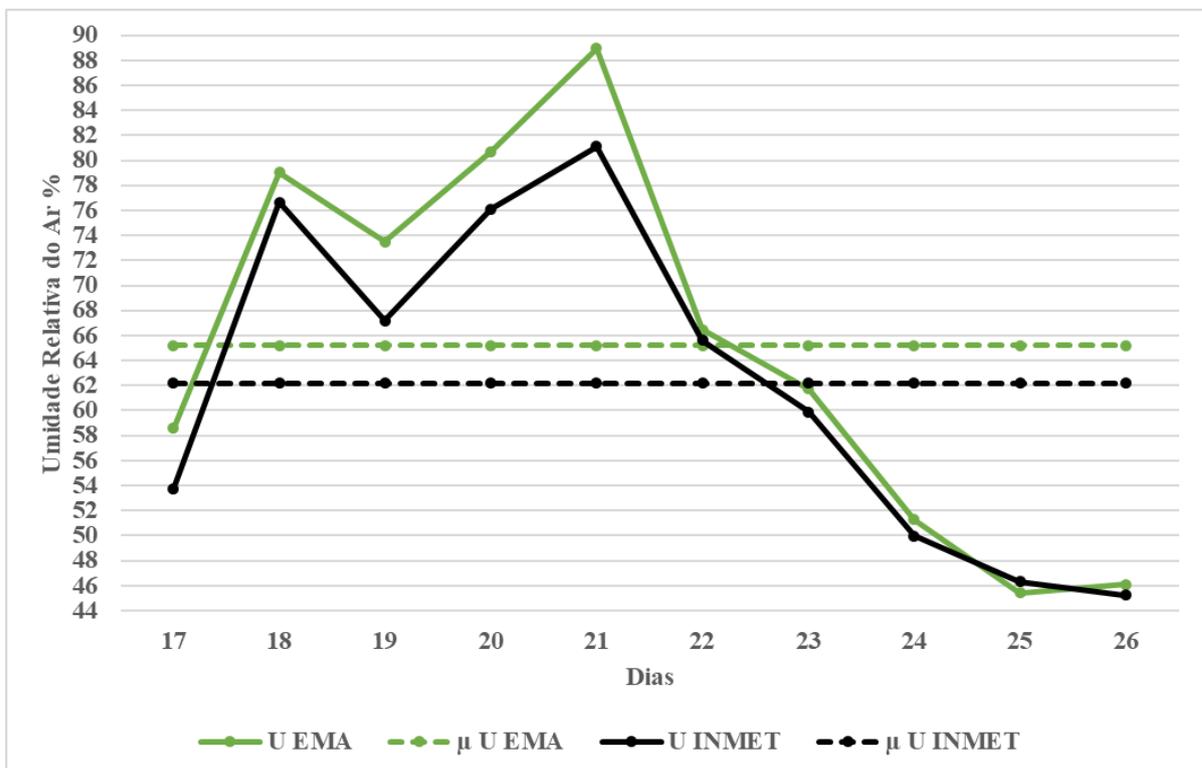


sob as mesmas condições. Como nada disso foi possível durante o ensaio aqui exposto, algumas questões apontadas pela Organização Meteorológica Mundial - OMM (2017) acerca dos estudos que envolvem medição de temperatura, auxiliam na reflexão e tentativa de compreensão, ainda que breve, das variações percebidas, como considerar o entorno em que estão inseridos os equipamentos (vegetação, edificações, uso e cobertura do solo e as diferenças entre os equipamentos) e as circunstâncias em que foram realizadas as medições.

A partir disso, é possível estabelecer algumas hipóteses para estimular a reflexão e o fomento a trabalhos futuros. A primeira delas diz respeito à localização de cada um dos equipamentos em relação à malha urbana do município (EMA – Zona Norte, INMET – Centro-Sul); a segunda diz respeito ao tipo de abrigo utilizado pelos sensores, pois tanto DHT22 quanto o TESTO usam um abrigo plástico da HOBO e a estação do INMET conta com um abrigo de madeira; a terceira hipótese diz respeito à superfície do ambiente em que cada equipamento está instalado – gramínea para estação do INMET e pedra brita para o ponto de testes da EMA.

Diferentemente dos registros de temperatura, as médias diárias registradas para umidade relativa do ar entre EMA e INMET se mostraram mais próximas. A Figura 8 traz o gráfico das médias diárias dos registros de umidade relativa do ar e a média do período da EMA e do INMET.

Figura 8 – Média diária umidade relativa do ar e média do período – EMA x INMET





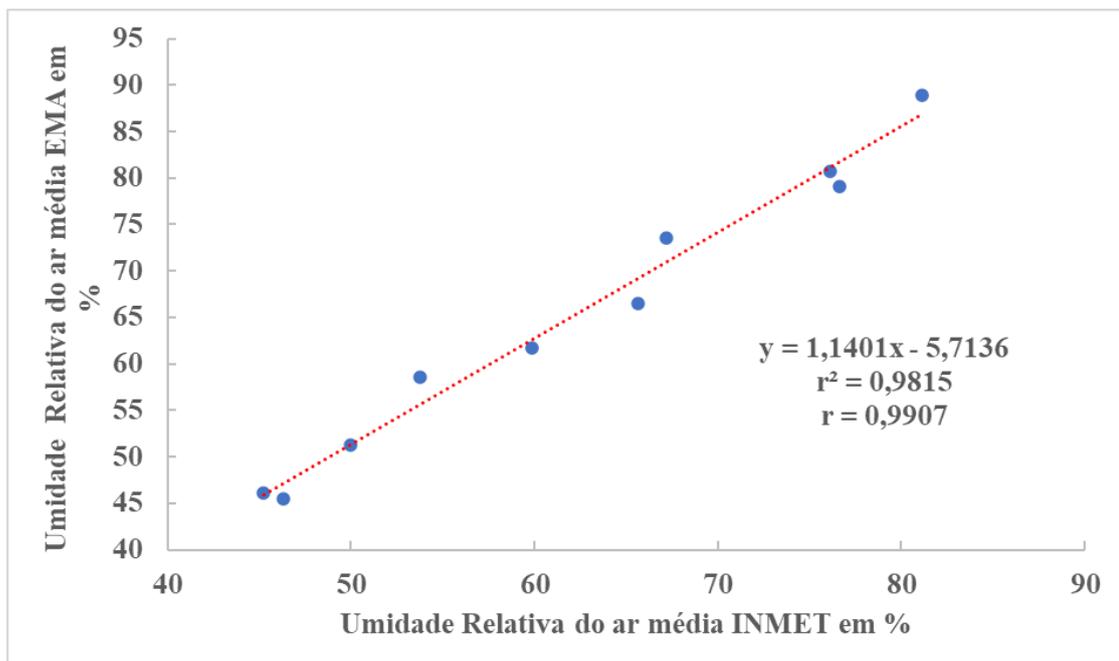
Apenas nos dias 19 e 21 do período analisado é que a diferença entre os valores registrados pela EMA e pela estação do INMET ficam fora da faixa de acurácia da EMA (6% e 8%, respectivamente), entretanto, como não é sabida a faixa de acurácia da estação A704, a avaliação direta, mais precisa, entre os equipamentos ficou um pouco comprometida.

Mesmo não tendo as informações sobre o equipamento do INMET, é válido considerar aquilo que é sabido sobre o DHT22. Sobre esse aspecto, Smith; Smith (2022) também apontam para divergências nos registros de umidade relativa do ar do DHT22 em situações de umidade acima dos 80%, como é o caso do dia 21.

No que diz respeito ao comportamento do equipamento da EMA durante o período analisado é válido considerar os resultados dos trabalhos de Alves (2018) e Freitas (2018), que realizaram a caracterização e uso do DHT22 para monitoramento de temperatura e umidade do ar. Os autores também notaram que o sensor superestimou as medidas durante os ensaios realizados em comparação com sensores de referência.

Apesar das divergências apresentadas, é preciso considerar ainda o comportamento dos coeficientes de Pearson (r) e de determinação (r^2) do comportamento dos registros de umidade relativa do ar da EMA em relação aos registros do INMET. O gráfico de dispersão com regressão linear para os registros de umidade relativa do ar (Figura 9) ajuda a compreender melhor esse desempenho.

Figura 9 – Gráfico de dispersão com regressão linear – Umidade relativa do ar – EMA x INMET



Organização: Penteadó (2023)

O valor de r obtido foi de 0,9907 indicando forte correlação entre os dados registrados pela EMA e pela estação do INMET, enquanto o r^2 foi de 0,9815, mostrando que 98% das variações da EMA se correlacionam com o que foi registrado pelo INMET para a variável umidade relativa do ar.

Para fins de extrapolação aos comparativos realizados com equipamentos de referência, buscou-se também realizar a comparação com a média histórica para o mês de outubro obtida a partir do portal Climate-data.org⁸ (C-D) exposto da Tabela 2.

Tabela 2 – Médias: Temperatura do ar e Umidade relativa do ar – EMA – TESTO – INMET - C-D

Equip/Variável	μ T °C	μ UR %
EMA	26,9	65
TESTO	27,2	N/D
INMET	25,7	62
C-D	26,7	61

Organização: Penteadó (2023)

É possível notar grande proximidade dos registros da EMA tanto no que diz respeito aos equipamentos de referência, quanto à média histórica para o mês de outubro apresentada pelo C-D se aproximando mais da média histórica para o mês na variável temperatura do que os demais equipamentos de referência e obtendo um bom retrospecto na variável Umidade relativa do ar.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O comportamento da EMA nos dias compreendidos pela análise desse trabalho pode ser considerado satisfatório se comparado aos equipamentos de referência e aos resultados encontrados na literatura.

O custo de construção e instalação do equipamento pode variar de acordo com o local de instalação e dos materiais que podem ser utilizados para montagem do suporte, abrigo dos sensores e do tipo de proteção que o equipamento pode demandar, mas independentemente desses fatores, uma EMA do modelo utilizado nesse trabalho tem um custo final que pode ser considerado acessível/exequível para diferentes setores que demandem os dados de

⁸ Os dados do portal Climate-Data.org (C-D) são baseados nas informações do Centro Europeu de Previsões Meteorológicas de Médio Prazo (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts – ECMWF) obtidos a partir do sistema Copernicus (via satélite), correspondem à média histórica de 1999 a 2019 e estão disponíveis para consulta em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/mato-grosso-do-sul/tres-lagoas-34651/#climate-graph>>

monitoramento recorrentes e com baixo investimento se comparado com estações comerciais profissionais.

Os resultados dos comparativos de temperatura com o sensor TESTO 175 T3 foram bastante satisfatórios, mantendo forte correlação ($r=0,9988$) e grande similaridade na variação dos dados ($r^2=0,9977$) durante todo período de testes.

O comparativo com a estação A704 do INMET também pode ser considerado muito bom, pois, tanto para a variável temperatura do ar quanto para umidade relativa do ar, os dados apresentaram forte correlação e boa similaridade na variação ($r=0,9744$ e $r^2=0,9494$, para temperatura do ar; e, $r=0,9907$ e $r^2=0,9815$ para umidade relativa do ar).

As divergências que foram notadas entre o sensor utilizado na EMA e a estação meteorológica do INMET, sobretudo para a variável temperatura, podem ser investigadas mais detalhadamente por trabalhos e aproximações futuras a partir das hipóteses levantadas e das orientações da OMM.

Em comparação com a média histórica apresentada pelo portal Climate-data.org é possível notar que os dados registrados pela EMA variaram muito próximos à média histórica para o mês de outubro.

Os problemas físicos e de *software* relacionados ao processo de instalação e funcionamento do pluviômetro de báscula foram corrigidos posteriormente ao período analisado por este trabalho e serão pauta de outras análises.

Em linhas gerais é possível afirmar que o modelo de EMA construído e utilizado para os testes apresentados neste trabalho pode ser utilizado por produtores rurais, pesquisadores, governos e quaisquer outros setores que demandem dados referentes às variáveis apresentadas por se constituir uma ferramenta relativamente barata e de boa confiabilidade. Obviamente, se houver demanda de dados mais precisos, é necessário realizar mais ensaios de calibração e validação dos sensores e ainda testar outros sensores de baixo custo disponíveis. Isso denota que ainda há muito que ser feito em termos de investigação voltada para instrumentação climático-meteorológica acessível para formar (ampliar) redes de monitoramento, sobretudo em espaços que dispõem de pouca ou nenhuma informação disponível.

REFERÊNCIAS

ALVES, L. S. Ciência cidadã por meio de estações modulares: construindo as condições para um monitoramento meteorológico colaborativo. – Porto Alegre: UFRGS, 27 fev. 2018.



ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2003.

FINHOLDT, G. *et al.* Desenvolvimento de uma Estação Meteorológica Automática para manejo de irrigação. **REVISTA ENGENHARIA NA AGRICULTURA - REVENG**, v. 19, n. 4, p. 313–328, 1 set. 2011.

FREITAS, M. DE. **Caracterização de sensores e abrigos meteorológicos de baixo custo**. Trabalho de Conclusão de Curso—Porto Alegre: UFRGS, 2018.

GALVANI, E. Produção de dados em climatologia geográfica: aplicação às escalas inferiores do clima. **Revista Brasileira de Climatologia**, p. 127–141, 27 nov. 2019.

MCROBERTS, M. **Arduino Básico**. São Paulo: Novatec, 2011.

MENEZES, A. C. DOS S. **Desenvolvimento e calibração de pluviômetros automáticos de baixo custo**. Dissertação de Mestrado—Juazeiro - BA - Brasil: UNIVASF, 18 out. 2019.

MONTEIRO, C. A. DE F. Por um suporte teórico e prático para estimular estudos geográficos de clima urbano no Brasil. **GEOSUL**, v. 5, n. 9, p. 7–19, 1990.

MOTA, W. N. *et al.* SMUT - Sistema De Baixo Custo Para Aquisição De Temperatura E Umidade Relativa Do Ar para manejo de irrigação. **REVISTA ENGENHARIA NA AGRICULTURA - REVENG**, v. 26, n. 1, p. 89–99, 23 fev. 2018.

ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. **Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos**. 2014. ed. Genève - Suiza: OMM, 2017. v. 8

ROGERSON, P. A. **Métodos estatísticos para Geografia: Um guia para o estudante**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. **Revista do Departamento de Geografia - USP**, p. 63–74, 1994.

SANCHES, R. G. *et al.* Proposta de pluviômetro de baixo custo utilizando a plataforma de prototipagem Arduino. Em: **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**. [s.l.] INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - UNICAMP, 2017. p. 2024–2035.

SMITH, K.; SMITH, R. **Test and Calibrate DHT22 Hygrometers**. Disponível em: <https://www.kandrsmith.org/RJS/Misc/Hygrometers/calib_dht22.html>. Acesso em: 27 mar. 2023.

SUGAWARA, M. T. Estudo de sensores de baixo custo para Estação Meteorológica Automática. **Dissertação de Mestrado** – Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 29 ago. 2003.