

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**ANÁLISE DE DADOS METEOROLÓGICOS DE
ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS
UTILIZANDO METODOLOGIA COM CINCO TÉCNICAS**

Vinicius Ripamonte Borges

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Pitelli Turco

Coorientador: Tecnólogo Arthur Carrasqueira

Trabalho apresentado à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP,
Câmpus de Jaboticabal, para graduação
em Engenharia Agrônômica.

JABOTICABAL – SP

1º SEMESTRE DE 2025

B732a Borges, Vinícius Ripamonte

 Análise de dados meteorológicos de estações meteorológicas automáticas utilizando metodologia com cinco técnicas / Vinícius Ripamonte Borges. -- Jaboticabal, 2025

 33 p.

 Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Agrônoma) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

 Orientador: José Eduardo Pitelli Turco

 Coorientador: Arthur Carrasqueira

 1. Estações meteorológicas. 2. Instrumentos meteorológicos. 3. Evapotranspiração. I.

Título



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus Jaboticabal



NOME COMPLETO DO AUTOR

Vinicius Ripamonte Borges

TÍTULO DO TRABALHO ACADÊMICO:

Análise de dados meteorológicos de estações meteorológicas automáticas utilizando metodologia com cinco técnicas

Trabalho de Iniciação Científica apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Pitelli Turco

Coorientador: Tec. Arthur Carrasqueira

Área de Concentração: Instrumentação

Data da defesa: 28 / 05 / 2025

(X) Aprovado

() Reprovado

Banca Examinadora:

Prof. Dr. José Eduardo Pitelli Turco

UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Câmpus de Jaboticabal

Prof. Dr. Anderson Prates Coelho

UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Câmpus de Jaboticabal

Eng. Agron. Edson Mário Perussi

Mestrando em Agronomia (Ciência do Solo) pela FCAV/UNESP-Câmpus de Jaboticabal

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: 30 / 05 / 2025 * *aprovado ad referendum do Conselho do Departamento*

Prof. Dr. Luiz Fabiano Palaretti
Chefe do Departamento

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos ao meu orientador, Professor Dr. José Eduardo Pitelli Turco, e ao coorientador, Tecnólogo Arthur Carrasqueira, pela orientação e apoio.

Agradeço também à UNESP e à FCAV de Jaboticabal pela estrutura e oportunidade de me preparar para os desafios da vida.

Agradeço à minha família por todo apoio e dedicação, por me permitir fazer o que amo e sempre estar comigo nos momentos necessários.

Sumário

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Estações Meteorológicas automáticas	3
2.2. Verificação de dados meteorológicos	4
3. MATERIAL E MÉTODOS	8
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
5. CONCLUSÃO	21
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

RESUMO

Dados meteorológicos de qualidade duvidosa, obtidos em estações meteorológicas automáticas (EMAs) para estimativa da ETo, podem conduzir ao manejo inadequado da irrigação. Com este trabalho a finalidade foi avaliar os dados meteorológicos de duas EMAs: uma instalada na Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal e outra instalada no município de Monte Alto - SP. Os dados meteorológicos verificados foram os seguintes: radiação solar global, temperatura do ar, umidade do ar, velocidade do vento e precipitação pluviométrica. Para avaliação dos dados meteorológicos foi utilizada uma metodologia que utiliza as seguintes técnicas: estimativa da radiação solar global, dupla massa, comparabilidade operacional de medições meteorológicas, assimetria e curtose. A metodologia utilizada foi eficiente para verificar os dados meteorológicos. Os sensores das duas EMAs não precisam ser substituídos ou calibrados.

Palavras-chave: evapotranspiração, estações automatizadas, integridade de dados.

ABSTRACT

Meteorological data of questionable quality, obtained from automatic meteorological stations (EMAs) for estimating ETo, can lead to inadequate irrigation management. The purpose of this study was to evaluate the meteorological data from two EMAs: one installed at the São Paulo State University (UNESP), Faculty of Agricultural and Veterinary Sciences, Jaboticabal, and another installed in the city of Monte Alto - SP. The meteorological data verified were the following: global solar radiation, air temperature, air humidity, wind speed and rainfall. To evaluate the meteorological data, a methodology that uses the following techniques was used: estimation of global solar radiation, double mass, operational comparability of meteorological measurements, asymmetry and kurtosis. The methodology used was efficient to verify the meteorological data. The sensors of the two EMAs do not need to be replaced or calibrated.

Key words: evapotranspiration, automated weather station, integrity of the data.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil as estações meteorológicas automáticas (EMAs) são utilizadas em centros educativos, universidades, no setor agrícola, na indústria, em pesquisas, agências governamentais e por particulares em suas propriedades.

As EMAs fornecem dados meteorológicos de modo prático e funcional. Porém, devido ao estado de conservação da malha de estações em operação atualmente no País, os dados fornecidos por elas podem não ser de boa qualidade. Para isso, deve ser feita a manutenção das estações e investimento para seu fortalecimento e expansão. Portanto, é essencial verificar os dados das EMAs para garantir a confiabilidade das informações climatológicas.

Informações da evapotranspiração de referência (ET_o) são fundamentais tanto para o planejamento quanto para o manejo da irrigação. Assim, a não verificação dos dados meteorológicos para estimativa da ET_o, podem conduzir ao manejo inadequado da irrigação. Aplicações de lâminas d'água insuficientes ou em excesso resultam em perdas e prejuízos consideráveis às plantas e ao solo, diminuindo, dessa forma, a eficiência do uso de irrigação.

As EMAs são utilizadas na determinação da ET_o, com o intuito de diminuir os erros na lâmina de água a ser aplicada na cultura. As EMAs têm

proporcionado precisão e rapidez na coleta de dados, facilitando o seu uso nas estimativas da ETo, principalmente pelo método Penman-Monteith.

Com este trabalho o objetivo foi verificar os dados meteorológicos de duas EMAs utilizando metodologia com cinco técnicas, para estimativa da ETo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Estações Meteorológicas Automáticas

As estações meteorológicas automáticas (EMAs) são instrumentos de medidas práticos e funcionais que fornecem dados meteorológicos de forma automática. Os dados meteorológicos são medidos, transmitidos e registrados em um sistema de aquisição de dados, podendo ser disponibilizados e utilizados em inúmeras aplicações.

As informações meteorológicas são informações importantes para a maioria das pessoas e diretamente relacionadas à economia e segurança nacional. Considerando a segurança das informações meteorológicas, informações sobre o clima de forma imprecisa pode ser uma enorme ameaça à segurança nacional e à economia (SOARES et al., 2019).

A coleta de dados meteorológicos ocorre por meio de EMAs equipadas por sensores específicos para cada variável desejada. Entre as variáveis mais utilizadas estão a temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, pluviosidade e radiação solar. Dessa forma é necessário instalar e operar estações para coleta de dados meteorológicos, incluindo sensores que atendam

padrões técnicos mínimos para reduzir as incertezas associadas com a aquisição de dados de campo (TOLMASQUIM et al., 2007).

Vários processos econômicos estão diretamente ligados às condições meteorológicas, entre eles estão a agricultura, a pecuária, a geração de bioenergia, entre outros. A energia solar, em específico, é limpa e utiliza uma fonte inesgotável de matéria prima, o Sol. Assim, o levantamento e planejamento do recurso solar em determinada localidade é de alto valor estratégico para fornecedores de energia e investidores (LIMA et al., 2016).

2.2. Verificação de dados meteorológicos

Além da qualidade e a instalação correta dos equipamentos utilizados nas EMAs, é fundamental manter um controle de qualidade dos dados observados com o intuito de garantir a representatividade dos dados em relação às condições meteorológicas locais e possibilitar a análise de comparação com diferentes bases de dados para a mesma localidade. (SOARES et al., 2019).

Devido a importância e aplicabilidade dos dados medidos em EMAs é necessário que eles sejam analisados quanto à integridade antes mesmo de serem disponibilizados para os usuários para garantir a confiabilidade das informações (WMO, 2008; CARLETO, 2016).

Um funcionamento correto dos sensores reflete na confiabilidade das avaliações realizadas por eles, o que pode auxiliar até mesmo na proteção da sociedade tendo em vista um monitoramento real das mudanças climáticas e desastres naturais cada vez mais frequentes no mundo (JAMIL et al., 2013). Falhas ao longo do histórico de dados climáticos podem levar a resultados

errôneos ou tendenciosos, o que compromete a análise climática (VIEIRA et al., 2018; DIAZ et al., 2018).

Jamil et al. (2013) destacam a importância do conhecer tecnicamente os sensores meteorológicos para garantir a correta operação da estação meteorológica automática e, conseqüentemente, auxiliar na prevenção de enchentes. Como resultado, os autores verificaram que o bom funcionamento dos sensores auxilia na confiabilidade dos dados como forma de proteção à sociedade; já que os desastres naturais vêm aumentando

A confiabilidade dos dados, por sua vez, é testada quanto à calibração dos sensores e norteia a sua checagem, manutenção ou troca. Ao se detectar diferenças significativas pela análise de integridade de dados, comparando sensores de estação meteorológica próximas, significa que existe algum tipo de problema nos sensores (ALLEN, 1996).

Sharan (2014) desenvolveu um protótipo de estação metrológica automática para medir dados meteorológicos de forma remota (wireless). Os resultados mostram que os dados medidos são aceitáveis, quando comparados com dados de EMAs existentes no mercado.

Várias técnicas para avaliação da qualidade dos dados medidos em EMAs foram desenvolvidas pelo CIMIS 2014 (Califórnia Irrigation Management Information System).

Turco e Barbosa (2008) avaliaram a integridade de dados meteorológicos de duas EMAs, uma do fabricante Davis Instruments e outra do fabricante Campbell Scientific, para detectar possíveis erros nas medidas dos sensores.

Como resultado, os autores identificaram que os dados da radiação solar e da temperatura do ar foram satisfatórios. Porém, os dados da umidade relativa do ar das duas EMAs não foram aceitáveis. Com relação a velocidade do vento, ambas EMAs não apresentaram boa correlação

Estévez et al. (2011a) apresentam algumas diretrizes para aplicação de técnicas que verificam a integridade de dados meteorológicos encontradas na literatura, para garantia da qualidade de dados meteorológicos da Rede de Informação Agroclimático da Andaluzia (sul da Espanha). Os autores concluíram que as diretrizes propostas são capazes de identificar os vários tipos de erros e são utilizadas 16 como uma ferramenta que permite tomar decisões, tais como a substituição do sensor e para remover os dados antes da sua aplicação. Estévez et al. (2011b) desenvolveram um sistema de controle de qualidade para quantificar a Evapotranspiração de Referência (ET_o) e auxiliar no processo de irrigação. Os autores concluíram que é necessário analisar cada estação meteorológica para detectar erros de medida, bem como estabelecer melhorias na análise de dados para validar a sua confiabilidade.

Oliveira et al. (2010, 2015) comparando dados de duas EMAs concluíram que uma boa concordância das variáveis de temperatura e precipitação, o que indicou bom funcionamento dos sensores. Scarpate et al. (2006) também encontraram uniformidade de umidade relativa do ar entre estações meteorológicas convencional e automática.

Soares et al. (2019), desenvolveram uma ferramenta numérica para qualificação de dados coletados em estações automáticas de superfície.

Nishimura et al. (2023) desenvolveram um método de controle de qualidade de dados meteorológicos de duas EMAs instaladas no noroeste da Groenlândia. Foram analisadas a série temporal resultante de 2012–2020 de temperatura do ar, graus-dia positivos, altura da neve, albedo de superfície e histogramas de radiação de ondas longas (um proxy da frequência de formação de nuvens).

3. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida na área experimental do Laboratório de Instrumentação Automação e processamento (LIAP) do Departamento de Engenharia da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, situada a 21°15'22" de latitude sul, 48°18'58" de longitude oeste e altitude de 575 m.

Os dados meteorológicos foram coletados em três EMAs: uma da marca Campbell Scientific (EMA-R), de referência e outra da marca da Davis Instruments (EMA-DI) instaladas em área experimental do LIAP; a distância entre as duas estações é de aproximadamente 5 m), uma da marca Campbell Scientific localizada no município de Monte Alto – SP (EMA-MA). Os dados meteorológicos foram obtidos em um período de um ano (2024).

A EMA-R (Figura 1) é composta por sistema de aquisição de dados da marca *Campbell Scientific* (CR10X); sensores: temperatura e umidade relativa do ar, modelo HMP45C Vaisala; velocidade do vento, modelo 03001 RM Young Co; radiação solar global, modelo CM3 Kipp & Zonen; saldo de radiação, modelo NR LITE Kipp & Zonen e precipitação pluviométrica, modelo TRP525M Texas Electronics INC. Periodicamente, os dados da EMAR são aferidos em relação a

uma estação meteorológica automática da marca Campbell Scientific calibrada (EMA-C).



Figura 1. Estação Meteorológica Automática da marca Campbell Scientific (EMA-R)

A EMA-DI (Figura 2) tem um Sistema de Aquisição de Dados Vantage Pro Plus Wireless e possui os seguintes sensores: temperatura e umidade relativa do ar, modelo 7859; velocidade do vento, modelo 7911; radiação solar global,

modelo 6450; precipitação pluviométrica, modelo 7852; todos da marca Davis Instruments.



Figura 2. Estação meteorológica automatizada da Davis Instruments (EMA – DI)

A EMA-MA (Figura 3) está instalada no sítio Santo Antônio, município Monte Alto, nordeste do estado de São Paulo, Brasil, tendo como referência as seguintes coordenadas geográficas: latitude 21°15'40"S, longitude 48°29'47"W e altitude média de 735 m. É composta por sistema de aquisição de dados da marca *Campbell Scientific* (CR10X); sensores: temperatura e umidade relativa do ar, psicrômetro de termopares do tipo T desenvolvido por Turco e Fernandes (2003); velocidade do vento, modelo 03001 RM Young Co; radiação solar global, modelo CM3 Kipp & Zonen e precipitação pluviométrica, modelo TRP525M Texas Electronics INC.



Figura 3. Estação Meteorológica Automática da marca Campbell Scientific (EMA-MA)

Foram verificados os dados da EMA-DI e EMA-MA por meio da metodologia de Turco (2024) que utiliza as seguintes técnicas: estimativa da radiação solar global, dupla massa, comparabilidade operacional de medições meteorológicas, assimetria e curtose. Os dados coletados nas EMAs foram comparados aos dados coletados no mesmo período, obtidos na EMA-R.

Para verificação da radiação solar global das EMAs em relação a EMA-R foi utilizada a técnica de estimativa da radiação solar global descrita por Allen (1996).

Para verificação dos dados meteorológicos das EMAs em relação a EMA-R foi utilizada a técnica de dupla massa; desenvolvido pela United States Geological Survey (USGS) (TUCCI, 2007).

As variáveis meteorológicas das EMAs foram verificadas, em relação a EMA-R, por meio da norma ASTM D4430 - Standard Practice for Determining

the Operational Comparability of Meteorological Measurements (ASTM, 2023) descrita resumidamente a seguir.

Diferença sistemática (d) - a média das diferenças na medição pelos dois sistemas:

$$d = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_{ai} - X_{bi}) \quad (1)$$

Comparabilidade operacional (C) - a raiz quadrada média (rms) da diferença entre leituras simultâneas de dois sistemas medindo a mesma quantidade no mesmo ambiente:

$$C = \pm \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_{ai} - X_{bi})^2} \quad (2)$$

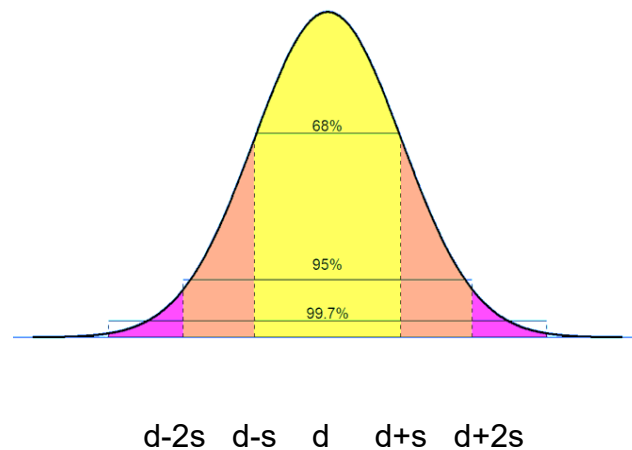
onde: X_{ai} - i-ésima medição feita por um sistema, X_{bi} - i-ésima medição simultânea feita por outro sistema, e N - número de amostras usadas.

Desvio padrão estimado da diferença (s) - a medida da dispersão de uma série de diferenças em torno de d.

$$s = \pm \sqrt{C^2 - d^2} \quad (3)$$

Neste trabalho será adotado que a distribuição normal (Gaussiana) as medidas das diferenças caem dentro de $\pm 2s$ (95 % de confiança), ou seja, 95 por cento das medidas das diferenças caem dentro $\pm 2s$ de d (EA, 2022).

Distribuição Normal (Gaussiana)



O cálculo da assimetria e curtose será realizado por meio coeficiente de assimetria e curtose de Fisher (FÁVERO e BELFIORE, 2017).

O coeficiente de assimetria de Fisher pode ser escrito como:

$$g_1 = \frac{n^2 \cdot M_3}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot S^3} \quad (4)$$

Sendo que o terceiro momento é:

$$M_3 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{n} \quad (5)$$

A interpretação, será: $g_1 = 0$, a distribuição é simétrica; $g_1 > 0$, a distribuição é assimétrica positiva (à direita) e $g_1 < 0$, a distribuição é assimétrica negativa (à esquerda);

O coeficiente de curtose de Fisher pode ser escrito como:

$$g_2 = \frac{n^2 \cdot (n+1) \cdot M_4}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot (n-3) \cdot S^4} - 3 \cdot \frac{(n-1)^2}{(n-1) \cdot (n-3)} \quad (6)$$

Em que o quarto momento é dado por:

$$M_4 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{n} \quad (7)$$

A interpretação, será: $g_2 = 0$, a curva é normal padrão, isto é, mesocúrtica; $g_2 > 0$, grau de achatamento baixo, a curva é leptocúrtica e $g_2 < 0$, grau de achatamento alto, a curva é platicúrtica.

De acordo com Allen (1996), os registros de dados produzidos por estações meteorológicas podem ser comparados aos registros de estações vizinhas (próximas) para verificar se houve alteração no funcionamento dos sensores.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da meteorologia de Turco (2024) foi realizada a verificação dos dados meteorológicos da EMA-DI e EMA-MA. Os resultados seguintes referem-se ao ano de 2024.

A radiação solar global medidas pela EMR, EMA-DI e EMA-MA apresentam valores iguais ou inferiores a radiação solar global estimada pela técnica de estimativa da radiação solar global (Figura 4, 5 e 6). Os resultados obtidos corroboram com os de Turco e Carleto (2017), que avaliaram os dados EMA-DI por meio das técnicas descritas por Allen (1996).

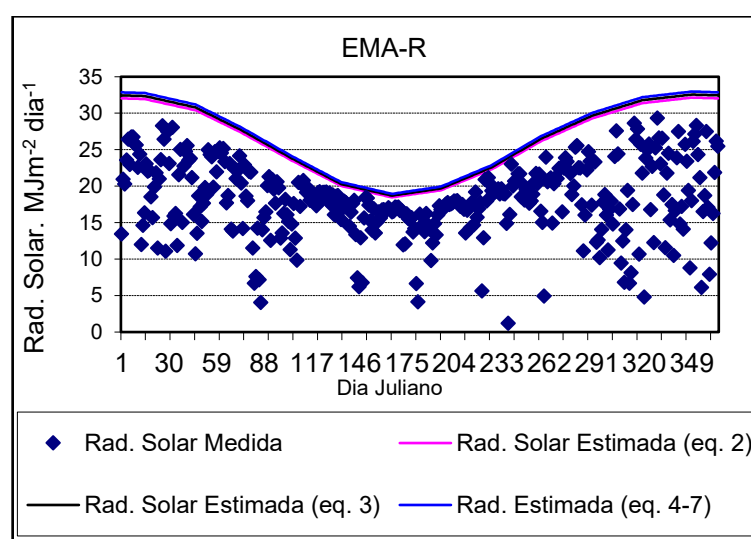


Figura 4. Radiação solar medida na EMA-R e estimada por três equações. Ano: 2024.

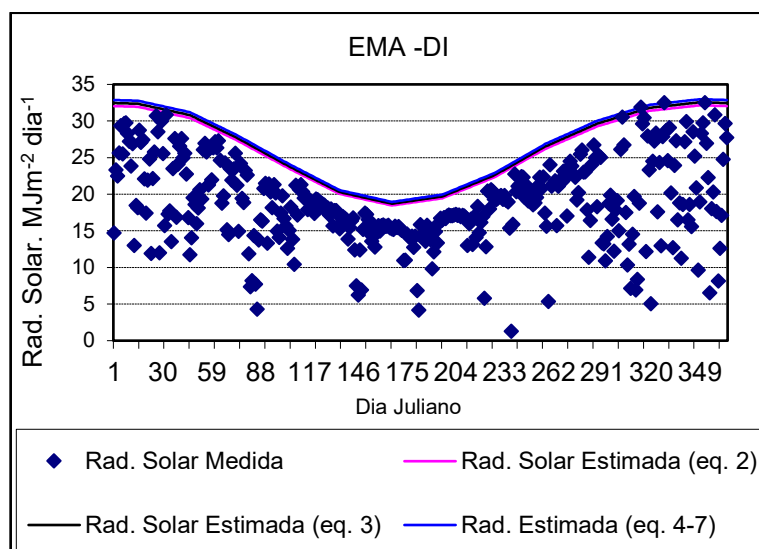


Figura 5. Radiação solar medida na EMA-DI e estimada por três equações. Ano: 2024.

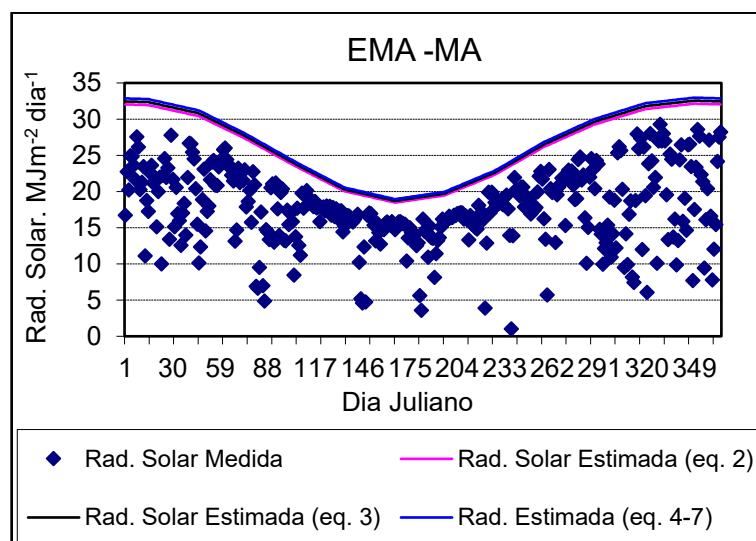


Figura 6. Radiação solar medida na EMA-MA e estimada por três equações. Ano: 2024.

Por meio da técnica da dupla massa os dados meteorológicos da estação EMA-DI e EMA-MA foram verificados comparando com os da EMA-R (Tabela 1).

Com base no coeficiente de determinação (r^2) e angular é possível verificar que os sensores (temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar global e precipitação pluviométrica) da EMA-DI estão

operando de forma satisfatória (Tabela 1). A diferença do sensor de velocidade do vento da EMA-DI em relação a EMA-R é devido ao offset utilizado na programação do datalogger das estações. Por exemplo, o sensor da EMA-R utiliza um offset de $0,2 \text{ m s}^{-1}$ e a EMA-DI de $0,0 \text{ m s}^{-1}$.

Os resultados obtidos de precipitação pluviométrica corroboram com os de Turco e Carleto (2017), os quais avaliaram EMAs dos mesmos fabricantes (Davis e Campbell). Já Seibert e Móren (1999) testaram seis tipos de pluviômetros de báscula e concluíram que, para precipitações acima de 100 mm, há uma tendência de o sensor não registrar na mesma velocidade em que a precipitação ocorre, uma vez que uma parte da água não é computada pelo sensor.

Por meio do coeficiente de determinação (r^2) e angular pode ser observado que os sensores (temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar global e precipitação pluviométrica) da EMA-MA operam de modo satisfatório (Tabela 1).

Uma das técnicas utilizadas por Allen (1996) na sua metodologia que verifica a integridade dos dados meteorológicos para estimativa da ETo foi a da dupla massa. Menciona que todos os dados meteorológicos devem ser periodicamente comparados a dados de estações vizinhas para verifica se houve a mudança no funcionamento e calibração dos sensores.

Tabela 1. Verificação da temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar global e precipitação pluviométrica das EMAs, em relação a EMA-R, por meio da técnica de dupla massa - coeficiente de determinação (r^2) e equação ($y = a x$). Ano: 2024

EMAs	Ano	TEMPERATURA DO AR		UMIDADE RELATIVA DO AR		VELOCIDADE DO VENTO		RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL		PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA	
		Equação	r^2	Equação	r^2	Equação	r^2	Equação	r^2	Equação	r^2
EMA-DI	2024	$y = 0,97 x$	1	$y = 1,07 x$	0,99	$y = 1,21 x$	0,99	$y = 0,96 x$	0,99	$y = 0,88 x$	0,99
EMA-MA	2024	$y = 0,95 x$	1	$y = 1,04 x$	0,99	$y = 1,08 x$	0,99	$y = 1,02 x$	1	$y = 0,81 x$	0,98

Foram avaliados dos dados meteorológicos (temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar global) da EMA-DI, em relação a EMA-R, por meio da diferença sistemática (d), desvio padrão estimado da diferença (s) e Confiança (c) (Tabela 2) e por meio do coeficiente de assimetria e curtose (Tabela 3). Os dados apresentaram d e s aceitáveis, ou seja, valores próximos e 95 por cento das medidas das diferenças caíram dentro $\pm 2s$. Os dados de umidade relativa do ar e velocidade do vento apresentaram coeficiente de assimetria (g1) maior que zero, ou seja, distribuição assimétrica positiva (à direita). Já os dados de temperatura do ar e radiação solar global tiveram coeficiente de assimetria (g1) menor que zero, ou seja, distribuição assimétrica negativa (à esquerda). Os dados de temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar global apresentaram coeficiente de curtose (g2) maior que zero, ou seja, grau de achatamento baixo, curva leptocúrtica.

Foram verificados os dados da EMA-MA por meio da diferença sistemática (d), desvio padrão estimado da diferença (s), Confiança (c), coeficiente de assimetria e curtose (Tabelas 2 e 3). Os dados apresentaram d e s aceitáveis, ou seja, valores próximos e 95 por cento das medidas das diferenças. caíram dentro $\pm 2s$. Os dados tiveram variações nos valores do coeficiente assimetria (g1) e curtose (g2). Os dados de temperatura do ar umidade relativa do ar e velocidade do vento apresentaram coeficiente de assimetria (g1) maior que zero, ou seja, distribuição assimétrica positiva (à direita). Já os dados de radiação solar global tiveram coeficiente de assimetria (g1) menor que zero, ou seja, distribuição assimétrica negativa (à esquerda). Os dados de temperatura do ar apresentaram coeficiente de curtose (g2) menor que

zero, ou seja, grau de achatamento alto, curva platicúrtica. Já os dados de umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar apresentaram coeficiente de curtose (g_2) maior que zero, ou seja, grau de achatamento baixo, curva leptocúrtica.

Tabela 2. Verificação da temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e Radiação solar global das EMAs, em relação a EMA-R, por meio da diferença sistemática (d), desvio padrão estimado da diferença (s) e Confiança (c). Ano: 2024.

EMAs	Ano	TEMPERATURA DO AR			UMIDADE RELATIVA DO AR			VELOCIDADE DO VENTO			RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL		
		d	s	c (%)	d	s	c (%)	d	s	c (%)	d	s	c (%)
EMA-DI	2024	-0,43	0,36	95,05	5,38	6,93	97,26	0,19	0,23	96,99	-0,65	1,22	96,71
EMA-MA	2024	-1,05	0,94	97,26	3,5	5,89	96,44	0,12	0,45	95,52	0,4	1,7	95,02

Tabela 3. Verificação da temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e Radiação solar global das EMAs, em relação a EMA-R, por meio do coeficiente de assimetria e curtose de Fisher. Ano: 2024.

EMAs	Ano	TEMPERATURA DO AR		UMIDADE RELATIVA DO AR		VELOCIDADE DO VENTO		RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL	
		g1	g2	g1	g2	g1	g2	g1	g2
EMA-DI	2024	-1,5	1,61	0,91	2,23	0,3	0,36	-0,69	0,99
EMA-MA	2024	0,17	-0,19	0,72	3,91	0,57	1,59	-0,11	2,78

Foram avaliados os dados meteorológicos (precipitação pluviométrica) da EMA-DI, em relação a EMA-R, por meio da diferença sistemática (d), desvio padrão estimado da diferença (s) e Confiança (c), coeficiente de assimetria e curtose. Os dados apresentaram d e s aceitáveis, ou seja, valores próximos e 95 por cento das medidas das diferenças caíram dentro $\pm 2s$. Os dados apresentaram coeficiente de assimetria (g_1) menor que zero, distribuição assimétrica negativa (à esquerda). Os dados apresentaram coeficiente de curtose (g_2) maior que zero, ou seja, grau de achatamento baixo, curva leptocúrtica (Tabela 4).

Tabela 4. Verificação da Precipitação Pluviométrica da EMAs, em relação a EMA-R, por meio da norma ASTM D4430, diferença sistemática (d), desvio padrão estimado da diferença (s), Confiança (c), coeficiente de assimetria e curtose de Fisher. Ano: 2024.

EMA	Ano	Precipitação Pluviométrica				
		d	s	c (%)	g1	g2
EMA-DI	2024	-1,28	2,26	95,64	-1,79	3,94

Após avaliação dos sensores da EMA-DI e EMA-MA por meio da metodologia de Turco (2024) verifica-se que eles estão operando dentro das especificações técnicas, fornecendo dados confiáveis para estimativa da Evapotranspiração de Referência (ET_o).

5. CONCLUSÃO

A metodologia utilizada foi eficiente para verificar os dados meteorológicos e pode ser utilizada periodicamente para verificar os sensores de estações meteorológicas automáticas no mesmo local ou afastadas. Os sensores das estações verificadas estão dentro das especificações técnicas fornecendo dados confiáveis e não precisam ser substituídos ou calibrados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G. Assessing integrity of weather data for reference evapotranspiration estimation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 122, n. 2, p.97-106, 1996.

ASTM - SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D4430 – 00 (Reapproved 2023). **Standard Practice for Determining the Operational Comparability of Meteorological Measurements**. <https://www.astm.org/d4430-00r15.html>

CALIFÓRNIA IRRIGATION MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM (CIMIS). **Publicações**. Disponível em: < <http://www.cimis.water.ca.gov/Resources.aspx> >. Acesso em: 25 mar. 2014.

CARLETO, N. **Integridade de dados meteorológicos para uso em modelo hidrológico**. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal-SP, 2016.

DIAZ, C. C. F; PEREIRA, J. A. S.; NÓBREGA, R. S. Comparação de dados estimados por dois diferentes métodos para o preenchimento de falhas de precipitação pluvial na bacia do rio Pajeú, Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 324-339, 2018.

EA-EUROPEAN ACCREDITATION. EA-4/02 M: 2022. **Evaluation of the Uncertainty of Measurement in calibration**. EA, p.1-78, 2022. Disponível em: < <https://european-accreditation.org/> >. Acesso em: 16 outubro. 2023.

ESTÉVES, J., GAVILÁN, P., GIRÁLDEZ, J.V. Guidelines on validation procedures for meteorological data from automatic weather stations. **Journal of Hydrology**, v. 402, p. 144-154, 2011a.

ESTÉVEZ, J.; GAVILÁN, P.; GARCÍA-MARÍN, A. P. Data validation procedures in agricultural meteorology – a prerequisite for their use. **Advanced in Science and Research**, v. 6, p. 141-146, 2011b.

FÁVERO, L. P., BELFIORI, P. **Manual de análise de dados**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

JAMIL, I.; JAMIL, R.; JINQUAN, Z.; MING, L.; ANSAR, A.; AHMED, R.; JAFAR, I.; HUSSIAN, R.; JAMIL, R. Application and composition observing system of automatic weather station (AWS) and power grid (PGMIS). **Electrical and Electronics Engineering: An International Journal (ELELIJ)**, v. 2, n. 4, p.31-44, 2013.

LIMA, J.C.O; BISPO, F.S; RIFFEL, D.B. Comparação entre dados de radiação solar medidas por estações meteorológicas automáticas no Estado de Sergipe com valores estimados a partir de imagens de satélite. In: SIMPÓSIO SERGIPANO DE ENERGIA SOLAR. 2016, Aracaju. **Anais....** Aracaju.

NISHIMURA, M.; AOKI, T.; NIWANO, M.; MATOBA, S.; TANIKAWA, T.; YAMASAKI, T.; YAMAGUCHI, S.; FUJITA, K. Quality-controlled meteorological datasets from SIGMA automatic weather stations in northwest Greenland, 2012–

2020, **Earth Syst. Sci. Data. Discuss.** [preprint], <https://doi.org/10.5194/essd-2023-116>, in review, 2023.

OLIVEIRA, A. D.; ALMEIDA, B. M.; CAVALCANTI JÚNIOR, E. G.; SOBRINHO, J. E.; VIEIRA, R. Y. M. Comparação de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática em Jaboticabal – SP. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 4, p. 108-114, 2010.

OLIVEIRA, P. J. D.; TURCO, J. E. P.; CARLETO, N. Integridade de dados meteorológicos obtidos por estação meteorológica automatizada. In: XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015. São Pedro. **Anais ...** São Pedro, 2015.

SCARPARE, F. V.; OLIVEIRA, G. X. S.; SIMON, J.; PIEDADE, S. M. S.; ANGELOCCI, L. R. Comparação da uniformidade de dados meteorológicos de estação convencional e automática – Piracicaba/SP. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia. 2006. Florianópolis. **Anais ...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2006.

SEIBERT, J.; MORÉN, A. Reducing systematic errors in rainfall measurements using a new type of gauge. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 98-99, p.341-348, 1999.

SHARAN, R. V. Development of a remote automatic weather station with a PC – based datalogger. **International Journal of Hybrid Information Technology**, v. 7, n. 1, 2014, p. 233- 240.

SOARES, T.G; MENDES, C.C; CLOSOSKI, G; SOUZA, G.T; PEREIRA, A.L.V; CONTI, W.R.P, MARTINS; F.R. Data-QS-Ferramenta numérica para

qualificação de dados coletados em estações automáticas de superfície.

Brazilian Journal of Development, v.5, n.7, p. 9641-9651, 2019.

STRASSBURGER, A. S.; MENEZES, A. J. E. A.; PERLEBERG, T. D.; EICHOLZ, E. D.; MENDEZ, M. E. G.; SCHÖFFEL, E. R. Comparação da temperatura do ar obtida por estação meteorológica convencional e automática. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 2, p. 273-278, 2011.

TOLMASQUIM, M; GUERREIRO, A; GORINI, R. Matriz Energética Brasileira: Uma Prospectiva. **Novos Estudos**, v.3, p. 46-69, 2007.

TUCCI, C. E. M. (2007). Hidrologia: ciência e aplicação. 2. Ed. Porto Alegre: ABRH, 2007.

TURCO, J.E.P. Metodologia para verificar dados meteorológicos para estimativa da evapotranspiração de referência. **CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES**, v. 17, p. n.1, 2455-2469, 2024.

TURCO, J. E. P.; BARBOSA, J. C. Avaliação de duas estações meteorológicas automatizadas, para estimativa diária da evapotranspiração de referência obtida pelo método de Penman-Monteith. **Irriga: Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**. Botucatu-SP, v. 13, n. 3, p.339-354, 2008.

TURCO, J.E.P.; CARLETO, N. Integridade de dados meteorológicos para uso em modelo hidrológico. **Revista brasileira de agricultura irrigada – RBAI**, Fortaleza-CE, v.11, n.8, p.2084- 2097, 2017.

TURCO, J.E.P.; FERNANDES, E.J. Construção e avaliação de um psicrômetro de termopares. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.23, n.3, p.468-477, 2003.

VIEIRA, S.; OSORIO, D. M. M.; QUEVEDO, D. M.; ADAM, K. N.; PEREIRA, M. A. F. Metodologia de imputação de dados hidrometeorológicos para análise de séries históricas – Bacia do Rio dos Sinos, RS, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, p. 189-204, 2018.

WMO. World Meteorological Organization. **Guide to meteorological instruments and methods of observation WMO-Nº. 8**. Geneva 2, Switzerland, p.161-173, 2008.