

**INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CURSO SUPERIOR EM AGRONOMIA**

**RUDSON TONOLI FELISBERTO**

**ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA COM DADOS  
AUSENTES PARA OS MUNICÍPIOS DE ALEGRE, SANTA TERESA E SÃO  
MATEUS, ESPÍRITO SANTO**

Santa Teresa

2021

**RUDSON TONOLI FELISBERTO**

**ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA COM DADOS  
AUSENTES PARA OS MUNICÍPIOS DE ALEGRE, SANTA TERESA E SÃO  
MATEUS, ESPÍRITO SANTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso de Agronomia do Instituto  
Federal do Espírito Santo como requisito parcial para  
obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Haddad Souza Vieira

Santa Teresa

2021

## FICHA CATALOGRÁFICA

(Biblioteca Major Bley do Instituto Federal do Espírito Santo)

F315e Felisberto, Rudson Tonoli.

Estimativa de evapotranspiração de referência com dados ausentes para os municípios de Alegre, Santa Teresa e São Mateus, Espírito Santo / Rudson Tonoli Felisberto. – 2021.

34f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. D.Sc. Gustavo Haddad Souza Vieira

Monografia (graduação em Agronomia) – Instituto Federal do Espírito Santo, Coordenadoria do Curso de Agronomia. Santa Teresa, 2021.

Inclui bibliografias.

1. Evapotranspiração. 2. Penman-Monteith. 3. Hargreaves-Samani. 4. Estimativas de baixo custo. I. Vieira, Gustavo Haddad de Souza. II. Instituto Federal do Espírito Santo. III. Título.

CDD 23 – 631.587

**RUDSON TONOLI FELISBERTO**

**ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA COM DADOS  
AUSENTES PARA OS MUNICÍPIOS DE ALEGRE, SANTA TERESA E SÃO  
MATEUS, ESPÍRITO SANTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso de Agronomia do Instituto  
Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para  
obtenção de título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovado em 02 de junho de 2021

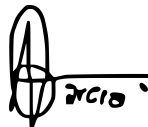
**COMISSÃO EXAMINADORA**



Prof. Dr. Gustavo Haddad Souza Vieira

Instituto Federal do Espírito Santo

Orientador



Me. André Dalla Bernardina Garcia

Universidade Estadual Norte Fluminense



Prof. Dr. Ednaldo Miranda de Oliveira

Instituto Federal do Espírito Santo

## **DEDICO**

Primeiramente a Deus, misericordioso. A meus pais Joaquim Felisberto e Maria Antonieta Tonoli Felisberto, que me devem vida e me ensinaram a vive-la. A Valquiria de Paula Soares, minha companheira, que sempre esteve ao meu lado nessa caminhada da graduação. A Robson Tonoli Felisberto, meu irmão que sempre me apoiou.

## **AGRADECIMENTOS**

A meus amigos e orientadores, Alberto Chambela Neto e Gustavo Haddad Souza Vieira, que me proporcionaram o contato com a experimentação agrícola e partir daí me despertaram a paixão pela mesma.

A meus companheiros de república Artur, Breno e Paulo, que sempre me apoiaram e contribuíram com meus experimentos tanto em mão-de-obra quanto em conselhos e dicas.

A meus colegas de grupo de pesquisa Pablo e Lucas que sempre estiveram presentes nessa cainhada árdua da pesquisa.

## RESUMO

O método Penman-Monteith é utilizado mundialmente como método padrão de estimativa da evapotranspiração de referência, porém, exige a utilização de uma estação meteorológica completa devido a quantidade de variáveis climatológicas exigidas, tornando assim a estimativa onerosa e inviabilizando seu uso em pequenas e médias propriedades. Neste sentido, objetivou-se com este estudo comparar a estimativa da evapotranspiração de referência pelos métodos Penman-Monteith com dados faltantes, Hargreaves-Samani e Penman-Monteith completo, nos municípios de Alegre, Santa Teresa e São Mateus, todos no Espírito Santo. A comparação se baseou nos parâmetros da regressão linear, coeficiente de determinação, índice de concordância de Willmott, coeficiente de correlação, coeficiente de confiança e raiz quadrada média do erro. A melhor alternativa ao método padrão, nos municípios de Alegre e São Mateus foi o método com dados faltantes de radiação solar e umidade relativa, sendo classificado como “Muito Bom” e “Bom” nos municípios, respectivamente. No município de Santa Teresa todos os métodos se classificaram como “Intermediário”, sendo o método Hargreaves-Samani mais adequado para estimativa da evapotranspiração de referência no município devido a facilidade de aquisição dos dados para uso da metodologia.

**Palavras-chave:** Evapotranspiração. Penman-Monteith. Hargreaves-Samani. Estimativa de baixo custo.

## ABSTRACT

The Penman-Monteith method is used worldwide as a standard method for estimating reference evapotranspiration, however, it requires the use of a complete weather station due to the number of climatological variables required, thus making the estimate costly and making its use unfeasible in small and medium farms. In this sense, this study aimed to compare the estimation of reference evapotranspiration by the Penman-Monteith methods with missing data, Hargreaves-Samani and complete Penman-Monteith, in the municipalities of Alegre, Santa Teresa and São Mateus, all in Espírito Santo. The comparison was based on the parameters of linear regression, determination coefficient, Willmott's concordance index, correlation coefficient, confidence coefficient and root mean square of the error. The best alternative to the standard method in the Alegre and São Mateus municipalities was the method with missing data for solar radiation and relative humidity, being classified as "Very Good" and "Good" in the municipalities, respectively. In the municipality of Santa Teresa all methods were classified as "Intermediate", being the Hargreaves-Samani method more suitable for estimating reference evapotranspiration in the municipality due to the ease of data acquisition for use of the methodology.

**Keywords:** Evapotranspiration. Penman-Monteith. Hargreaves-Samani. Low-cost estimation.



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>11</b>
2.1	OBJETIVOS .....	11
2.1.1	Objetivo Geral .....	11
2.1.2	Objetivos Específicos .....	11
2.2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	11
2.2.1	Evapotranspiração: aplicações e conceitos .....	11
2.2.2	Fatores que afetam a $ET_0$ .....	12
2.2.3	Estações meteorológicas.....	14
2.2.4	Métodos de estimativa de $ET_0$ .....	15
2.3	METODOLOGIA .....	16
2.3.1	Penman-Monteith FAO-56 com todos os dados meteorológicos (PM-FAO):.....	18
2.3.2	Penman-Monteith FAO-56 com dados faltantes de umidade relativa do ar e radiação solar (PM-URRa):.....	18
2.3.3	Penman-Monteith FAO-56 com dados faltantes de radiação solar, umidade relativa do ar e velocidade do vento. Neste caso fixando-se a velocidade do vento em $1 \text{ m s}^{-1}$ (PM-1):.....	20
2.3.4	Penman-Monteith FAO-56 com dados faltantes de radiação solar, umidade relativa do ar e velocidade do vento. Neste caso fixando-se a velocidade do vento em $2 \text{ m s}^{-1}$ (PM-2):.....	21
2.3.5	Penman-Monteith FAO-56 com dados faltantes de radiação solar, umidade relativa do ar e velocidade do vento. Neste caso fixando-se a velocidade do vento em $3 \text{ m s}^{-1}$ (PM-3):.....	21
2.3.6	Hargreaves-Samani (H-S): .....	21
2.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	23
<b>3</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>29</b>

<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>30</b>
--------------------------	-----------

## 1 INTRODUÇÃO

A irrigação é uma prática agrícola que emprega um conjunto de equipamentos e tecnologias que visam suprir a necessidade hídrica total ou parcial das culturas, sendo desenvolvida desde as antigas civilizações com destaque para aquelas localizadas no Egito e Mesopotâmia, regiões estas com características físico-climáticas desfavoráveis ao desenvolvimento das culturas (BRASIL, 2017).

Diante da importância da irrigação para a agricultura e dos recentes estudos acerca do uso racional dos recursos hídricos, o manejo dos sistemas de irrigação torna-se necessário para que o suprimento da necessidade hídrica das culturas seja feito de maneira adequada.

Neste sentido, para um bom manejo da irrigação, o conhecimento da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), é necessário para que se tenha uma estimativa da quantidade de água transferida da planta para atmosfera e, dessa forma, conhecer o volume a ser aplicado via irrigação. No entanto, a maioria dos métodos empíricos de estimativa de  $ET_0$  demanda de dados climáticos provenientes de estações meteorológicas, o que torna o processo oneroso e pouco acessível à maioria dos produtores.

Dentre os métodos de estimativa de  $ET_0$ , o método Penman-Monteith FAO-56 (ALLEN et al., 1998) é indicado como método padrão podendo ser utilizado mundialmente sem necessidade de calibrações devido seu embasamento físico. Além deste, outros métodos apresentam bom desempenho como por exemplo, o método Makkink, quando utilizado em condições de clima úmido (HALLAL et al., 2017).

Na ausência de dados de radiação ou de outros dados requeridos pelo método padrão, o uso da equação de Hargreaves e Samani (1985) é uma alternativa para se estimar a  $ET_0$  (ALLEN et al., 1998). Este método necessita somente das temperaturas média, máxima, mínima do ar e radiação do topo da atmosfera e vem sendo amplamente utilizado devido a sua simplicidade e potencialidade de calibração (BAUTISTA et al., 2009).

Porém, segundo Allen et al. (1998), os métodos empíricos utilizados para estimativa de  $ET_0$  somente apresentam resultados satisfatórios nas condições de clima no qual foram

desenvolvidos e, quando utilizados em condições diferentes destas, podem gerar erros de estimativa, ocasionando perdas produtivas e/ou desperdício de recursos hídricos.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 OBJETIVOS**

#### **2.1.1 Objetivo Geral**

Comparar a evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) estimada pelos métodos Hargreaves-Samani e Penman-Monteith FAO-56 com dados faltantes de radiação solar, umidade relativa do ar e velocidade do vento com a estimativa padrão determinada pelo método Penman-Monteith FAO-56.

#### **2.1.2 Objetivos Específicos**

- Estimar a  $ET_0$  pelos métodos padrão Penman-Monteith FAO-56, Penman-Monteith FAO-56 com dados faltantes e Hargreaves-Samani;
- Classificar o desempenho dos diferentes métodos de estimativa de  $ET_0$ ;
- Avaliar o desempenho dos métodos com variáveis meteorológicas ausentes em relação ao método padrão;
- Determinar o erro de estimativa e a confiabilidade resultantes da falta de dados meteorológicos completos na determinação de  $ET_0$ ; e
- Definir o método que, na ausência de dados meteorológicos completos, satisfaça às exigências de estimativa de  $ET_0$ .

### **2.2 REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **2.2.1 Evapotranspiração: aplicações e conceitos**

A agricultura demanda de elevados volumes de água, o que torna sua escassez cada vez mais preocupante, o que tem gerado um grande empenho, em todo o planeta, no desenvolvimento de pesquisas que permitam sua economia e/ou uso racional. Assim, a estimativa da evapotranspiração das culturas assume importância fundamental tanto para projetos de irrigação quanto para o manejo da mesma (CARVALHO et al., 2011).

O conhecimento das necessidades hídricas das culturas se torna cada vez mais importante uma vez que o mesmo permite o gerenciamento do volume de água a ser aplicado via irrigação (SANTIAGO et al., 2016). Além disso, segundo Andrade et al. (2016), a estimativa da evapotranspiração da cultura se caracteriza como um parâmetro que auxilia no manejo adequado dos recursos hídricos.

A evapotranspiração (ET) é definida como a soma da evaporação da água da superfície do solo e a água que é transpirada pelas plantas (RODRIGUES e SOUSA, 2018). Já a  $ET_0$  é aquela que ocorre numa cultura hipotética, com altura de 0,12 m, albedo de 0,23 e uma resistência superficial ao transporte de vapor d'água de  $70 \text{ s m}^{-1}$  e representa o poder de evaporação da atmosfera (ALLEN et al., 1998). Ainda segundo os autores, nestas condições, o gramado possui um índice de área foliar (IAF) de aproximadamente  $3 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ , assemelhando-se a uma superfície verde cobrindo totalmente o solo, com um bom suprimento de umidade e em crescimento ativo.

### **2.2.2 Fatores que afetam a $ET_0$**

Existem diversos fatores que afetam a taxa de evapotranspiração das culturas, dentre eles podemos destacar os climáticos, os característicos da cultura e seu manejo, além dos ambientais. Os fatores ligados intimamente a culturas estão relacionados principalmente ao tipo de cultura, estágio de desenvolvimento, nível de cobertura do solo e resistência à evapotranspiração. Já os fatores ligados ao manejo podem ser resumidos em nível de fertilidade do solo, aplicação limitada de fertilizantes e teor de água no solo (FISHER et al., 2017; ALLEN et al., 1998). Dentre os fatores climáticos que afetam a evapotranspiração podem-se destacar a radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento.

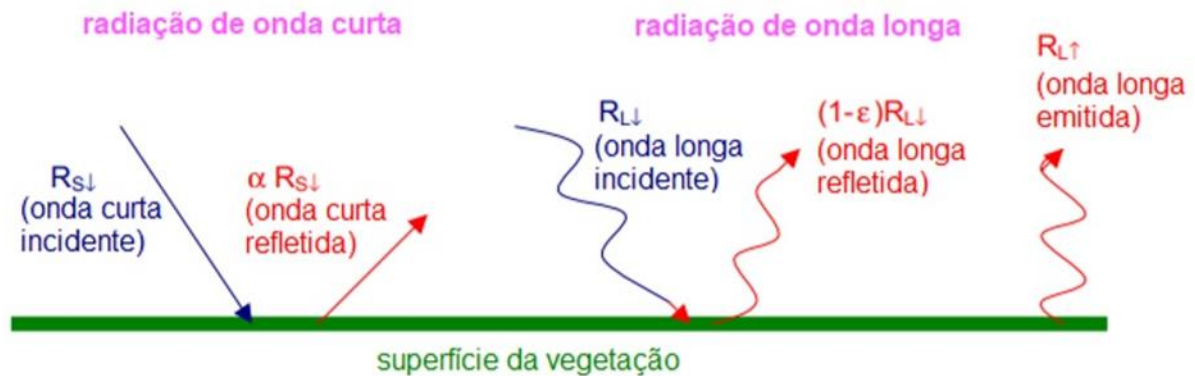
O processo de evapotranspiração é determinado pela quantidade de energia disponível para que ocorra a vaporização da água disponível, sendo a radiação solar a principal fonte de energia capaz de transformar a água líquida em vapor (ALLEN et al., 1998). Porém, ao se analisar tal parâmetro é necessário ressaltar que a radiação solar não é utilizada em sua totalidade para vaporizar a água, parte desta radiação, antes mesmo de chegar a superfície passa por processos de reflexão, difusão, absorção e também é utilizada para aquecer o perfil do solo e a atmosfera (ALLEN et al., 1998; TUBELIS e NASCIMENTO, 1992).

Assim, o Saldo de Radiação ( $R_n$ ), utilizado na equação de Penman-Monteith FAO-56, é definido como a energia real disponível na superfície podendo ser calculado através da subtração dos fluxos de saída de radiação de todos os fluxos de entrada conforme Equação 1 e ilustrado na Figura 1 (WATERS et al., 2002).

$$R_n = R_{s\downarrow} - \alpha R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_0) R_{L\downarrow} \quad (1)$$

Em que:  $R_n$  – Saldo de radiação, em  $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ;  $R_{s\downarrow}$  - Radiação de ondas curtas de entrada, em  $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ;  $\alpha$  – albedo da superfície, adimensional;  $R_{L\downarrow}$  - Radiação de ondas longas de entrada, em  $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ;  $R_{L\uparrow}$  - Radiação de ondas longas de saída, em  $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ; e o  $\varepsilon_0$  – emissividade térmica da superfície, adimensional.

Figura 1 – Balanço de radiação de ondas curtas e longas, refletidas e incidentes e ondas longas emitidas pela superfície terrestre.



Fonte: Adaptado de Waters et al. (2002)

A parte da energia que é utilizada para aquecer a atmosfera, juntamente com o calor emitido pela superfície terrestre, elevam a temperatura do ar, e esta por sua vez transfere energia para a cultura exercendo assim influencia na evapotranspiração, de modo que, em dias quentes e ensolarados, a evapotranspiração é maior se comparada a dias frios e nublados (ALLEN et al., 1998).

Além disso, a temperatura do ar se torna importante na determinação da  $ET_0$  por ser o dado climático com maior disponibilidade nas estações meteorológicas e, na ausência de dados de

radiação, a temperatura do ar pode ser utilizada como indicativo da energia disponível no sistema (MEDEIROS, 2002).

A umidade do ar tem interferência na taxa de evapotranspiração, pois na fase de vapor o movimento da água se dá principalmente por difusão, de um meio mais concentrado para um menos concentrado. Dessa forma, quando a umidade relativa do ar é elevada, este se encontra saturado de vapor, diminuindo assim, a taxa de evapotranspiração, o contrário é observado quando se tem uma baixa umidade do ar, o que eleva a taxa de evapotranspiração. Deste modo, campos bem supridos hidricamente em regiões áridas e secas consomem grandes quantidades de água devido ao poder dessecante da atmosfera (TAIZ e ZEIGER, 2013; ALLEN et al., 1998).

A camada limítrofe, massa de ar parada junta a superfície das folhas, tem sua espessura definida principalmente pelo tamanho das mesmas e a velocidade do vento, de modo que, quando a velocidade do vento que circunda a folha é baixa, esta camada pode ser tão espessa que se torna o principal impedimento à perda de vapor de água pelas folhas. No entanto, quando a velocidade do vento é alta, a espessura desta camada diminui reduzindo, assim, sua resistência, condições estas que resultam em maior perda de água pelas folhas (TAIZ e ZEIGER, 2013).

O vapor d'água também tende a saturar o ar acima da superfície de evaporação de modo que o aumento da saturação diminui a taxa de evapotranspiração, desse modo o vento atua substituindo este ar saturado de vapor por ar seco, mantendo desta forma a força motriz de remoção de vapor d'água (ALLEN et al., 1998).

### **2.2.3 Estações meteorológicas**

Uma estação meteorológica é um local onde o observador faz a coleta e registro dos dados meteorológicos que ocorrem no momento da observação, sendo de fundamental importância no auxílio da tomada de decisão dos agricultores. A estação meteorológica é composta por um conjunto de instrumentos/sensores capazes de registrar temperatura do ar, velocidade e direção do vento, umidade do ar, radiação solar, precipitação, dentre outras variáveis.

Existem dois tipos de estações meteorológicas, nas estações convencionais os equipamentos que a compõe são, geralmente, de leitura direta como termômetros ou com sistema mecânico



de registro com o termohigrógrafo, necessitando-se assim que uma pessoa, diariamente, faça a coleta dos dados medidos. Já nas estações automáticas há sensores que emitem sinais elétricos, capacitados por um sistema de aquisição de dados, que possibilitam o armazenamento e o processamento de dados automaticamente. Segundo Turco e Barbosa (2008), o uso de estações automáticas fornece um sistema de informações meteorológicas prático e funcional, porém, é necessário observar periodicamente o funcionamento dos equipamentos eletrônicos de modo a avaliar a integridade, qualidade e confiabilidade dos dados antes de serem utilizados na estimativa de  $ET_0$ .

#### 2.2.4 Métodos de estimativa de $ET_0$

No momento da escolha de um método para a estimativa da evapotranspiração é necessário levar em consideração sua praticidade de uso e precisão, pois apesar de os métodos serem baseados em princípios físicos, os mesmos também apresentam limitações, principalmente quanto a sua precisão, o que restringe sua utilização (SILVA et al., 2015b).

A evapotranspiração pode ser determinada de forma direta por meio da lisimetria, na qual Mendonça et al. (2003), relatam ser o procedimento mais preciso para a determinação, porém devido ao elevado custo, seu uso se restringe a instituições de pesquisas ou para a calibração regional de métodos indiretos.

Além do método direto, a  $ET_0$  pode ser estimada através de equações empíricas e/ou baseadas em princípios físicos (CARVALHO et al., 2011) que consideram o conhecimento de diversas variáveis climáticas conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Métodos empíricos de estimativa de  $ET_0$  bem como as variáveis meteorológicas necessárias para estimativa.

Método	Equação	Variáveis
Penman-Monteith (Allen et al., 1998) <sup>1</sup>	$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)}$	$T_{\max}; T_{\min};$ $T_{\text{med}}; R_n;$ $UR; U_2$
Priestley e Taylor (1972)	$ET_0 = A \times \left( \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) \times \left( \frac{R_n - G}{2,45} \right)$	$T_{\text{med}}; R_n$

Tanner-Pelton, (1960)	$ET_0 = \frac{A - R_n}{2,45 - B}$	$T_{med}; R_n$
Turc (1955)	$ET_0 = A \times \frac{T_{max}}{T_{max} + B} \times (C + R_g + 23,88)$	$T_{max}; R_g$
Jensen-Haise (1963)	$ET_0 = A \times \left( \frac{R_g}{2,45} \right) \times (A \times T_{med} + B)$	$T_{med}; R_g$
Makkink (1957)	$ET_0 = A \times \left( \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) \times \left( \frac{R_g}{2,45} \right) - B$	$R_g$
Camargo (1971)	$ET_0 = A \times \frac{R_g}{2,45} \times T_{med}$	$T_{med}$
Hargreaves e Samani (1985)	$ET_0 = 0,0023R_a \sqrt{T_{max} - T_{min}} (T_{med} + 17,8)$	$T_{max}; T_{min}; T_{med}$
Linacre (1977)	$ET_0 = \frac{A \times \frac{T_{med}}{100 - Lat} + B \times (T_{med} - T_{ov})}{C - T_{med}}$	$T_{med}; UR$

<sup>1</sup>Método padrão de estimativa de  $ET_0$

$ET_0$ : evapotranspiração de referência, em  $mm \text{ dia}^{-1}$ ;  $T_{max}$ ,  $T_{med}$ ,  $T_{min}$  e  $T_{ov}$ : respectivamente temperatura máxima, média, mínima e do ponto de orvalho, todas em  $^{\circ}C$ ;  $R_g$ : radiação global, em  $MJ \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ;  $R_n$ : saldo de radiação, em  $MJ \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ;  $U$ : velocidade do vento, em  $m \text{ s}^{-1}$ ;  $U_2$ : velocidade do vento a 2 metros, em  $m \text{ s}^{-1}$ ;  $UR$  é a umidade relativa (%);  $\Delta$  é a tangente à curva de pressão de saturação do vapor d'água ( $kPa \text{ }^{\circ}C^{-1}$ );  $\gamma$  a constante psicrométrica ( $0,0662 \text{ kPa }^{\circ}C^{-1}$ );  $e_a$  é a pressão de vapor do ar ( $kPa \text{ }^{\circ}C^{-1}$ );  $e_s$  que é a pressão de saturação à temperatura da superfície ( $kPa \text{ }^{\circ}C^{-1}$ );  $R_a$  é a radiação solar na ausência de atmosfera ( $MJ \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ );  $Lat$ : a latitude, em graus; e  $G$  a densidade de fluxo de calor no solo ( $MJ \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ), considerada zero para estimar de  $ET_0$  diária.

Fonte: Adaptado de Sales et al. (2018).

## 2.3 METODOLOGIA

A estimativa da evapotranspiração de referência foi realizada utilizando dados meteorológicos extraídos de estações meteorológicas automáticas pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) fornecidos em base horária. Foram utilizadas as seguintes variáveis: temperatura máxima ( $^{\circ}C$ ) a partir do maior valor observado no dia, temperatura mínima ( $^{\circ}C$ ) a partir do menor valor observado no dia, umidade relativa do ar (%) a partir da média da umidade registrada durante o dia, velocidade média do vento ( $m \text{ s}^{-1}$ ) a partir da média da velocidade do vento registrada durante o dia e radiação solar global ( $MJ \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ).

O estudo foi realizado utilizando variáveis extraídas das estações A617, A613, A616, localizadas municípios de Alegre, Santa Teresa e São Mateus, respectivamente, regiões Sul, Central e Norte do Estado, respectivamente. A escolha dos municípios se baseou principalmente

pela divergência de clima das diferentes regiões em estudo, podendo assim analisar o comportamento dos métodos em cada uma delas.

O município de Alegre se localiza sob as coordenadas 20° 45' S, 41° 29' W e altitude de 150 m. O clima predominante no município é quente e úmido no verão com inverno seco, com uma precipitação anual média de 1200mm e temperatura média anual de 23,0 °C, com máximas diárias de 29,0 °C e mínimas de 20,0 °C (LOPES et al., 2002).

O município de Santa Teresa está localizado sob as coordenadas 19° 56' 12" S e 40° 35' 28" W, com altitude de 976 m. O clima da região é classificado como Cwa com estação seca no inverno e elevada pluviosidade no verão com precipitação anual média de 1.249,6 mm, temperatura média anual de 19,9 °C com máximas médias de 32,8 °C e mínimas de 10,6 °C (INCAPER, 2011).

O município de São Mateus se localiza sob as coordenadas 18° 57' S e 39° 50' O, a uma altitude de 39 metros do nível do mar (SALES et al., 2018). O clima do município é classificado como Aw segundo Köppen, caracterizado como tropical úmido de inverno seco e com precipitações máximas concentradas no verão. A temperatura média anual é de 23,8 °C e precipitação média anual de 1.212 mm (PEZZOPANE et al., 2010).

Foram utilizados dados do período de janeiro de 2015 a dezembro de 2019, não sendo utilizados dados com inconsistência de leitura ou registros incompletos (GARCIA et al., 2017). Após a triagem das variáveis meteorológicas a evapotranspiração de referência foi estimada através dos métodos apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Métodos de estimativa de  $ET_0$  utilizados no presente estudo, variáveis necessárias à estimativa e equipamentos necessários à coleta dos dados meteorológicos.

Método de estudo	Variáveis meteorológicas	Equipamentos
Penman-Monteith FAO-56	$T_{max}$ ; $T_{min}$ ; $T_{med}$ ; $R_n$ ; UR; $U_2$	Termômetro, piranômetro, higrômetro e anemômetro
Penman-Monteith FAO-56 com dados faltantes de radiação e umidade e com velocidade do vento medida	$T_{max}$ ; $T_{min}$ ; $T_{med}$ ; $U_2$	Termômetro e anemômetro
Penman-Monteith FAO-56 com dados faltantes de	$T_{max}$ ; $T_{min}$ ; $T_{med}$ ;	Termômetro

radiação, umidade e  
velocidade do vento

Hargreaves-Samani

$T_{\max}$ ;  $T_{\min}$ ;  $T_{\text{med}}$ ;

Termômetro

$T_{\max}$ ,  $T_{\text{med}}$  e  $T_{\min}$ : respectivamente temperatura máxima, média, mínima do ar, todas em °C;  $R_n$ : saldo de radiação, em  $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ;  $U_2$ : velocidade do vento a 2 metros, em  $\text{m s}^{-1}$ ; UR é a umidade relativa do ar (%).

Fonte: Próprio autor.

### 2.3.1 Penman-Monteith FAO-56 com todos os dados meteorológicos (PM-FAO):

Foi utilizado o modelo proposto por Penman-Monteith disponibilizado no Boletim FAO-56 (ALLEN et al., 1998), conforme Equação 2. Sendo que para uso desta metodologia é necessário uso de estação meteorológica completa.

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (2)$$

Em que:  $R_n$  – Radiação solar líquida, em  $\text{MJ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ;  $G$  – Densidade do fluxo de calor no solo, em  $\text{MJ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ;  $T$  – Temperatura média diária do ar, em °C;  $\gamma$  – Constante psicrométrica, em  $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ;  $\Delta$  – Tangente à curva de pressão de saturação de vapor em função da temperatura do ar, em  $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ;  $U_2$  – Velocidade média diária do vento a 2 metros de altura, em  $\text{m s}^{-1}$ ;  $e_a$  – Pressão de vapor de saturação, média diária, em kPa;  $e_s$  – Pressão de vapor de saturação, média diária, à temperatura do ponto de orvalho, em kPa.

### 2.3.2 Penman-Monteith FAO-56 com dados faltantes de umidade relativa do ar e radiação solar (PM-URRa):

Na ausência, ou quando os dados de umidade relativa são duvidosos, a pressão real de vapor pode ser obtida adotando a temperatura mínima como a temperatura do ponto de orvalho, de acordo com a Equação 3, isso devido ao fato de que ao nascer do sol, quando a temperatura do ar se encontra próxima da mínima, o ar esteja saturado com vapor d'água e a umidade quase em 100% (ALLEN et al., 1998).

$$e_a = e^o(T_{\min}) = 0,611 \exp \left[ \frac{17,27T_{\min}}{T_{\min} + 237,3} \right] \quad (3)$$

Em que:  $e_a$  – Pressão de vapor de saturação, em kPa;  $T_{\min}$  – Temperatura mínima do ar, em °C.

Na ausência dos dados de radiação solar, os mesmos serão estimados seguindo recomendações do Boletim FAO-56 através da Equação 4 proposta por Hargreaves e Samani (1985), que estima a radiação solar global por meio da diferença das temperaturas máximas e mínimas do ar. Segundo Allen et al. (1998), isso é possível pois as diferenças de temperatura máxima e mínima se relacionam com o grau de cobertura por nuvens do local, onde sob condições de céu claro as temperaturas máximas tendem a ser maiores e em dias nublados menor devido ao fato de que uma parte da radiação extraterrestre não chega a superfície da terra por ser absorvida e/ou refletida pelas nuvens.

$$R_s = k_{RS} = \sqrt{(T_{\max} - T_{\min})} R_a \quad (4)$$

Em que:  $R_a$  – Radiação extraterrestre, em  $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ;  $T_{\max}$  – Máxima temperatura do ar, em °C;  $T_{\min}$  – Mínima temperatura do ar, em °C;  $k_{RS}$  – coeficiente de ajuste adimensional que varia de 0,16 para regiões de “interior” e 0,19 para regiões “litorâneas”.

A Radiação Extraterrestre ( $R_a$ ) será estimada segundo metodologia apresentada no Boletim FAO-56 (ALLEN et al., 1998), por meio da Equação 5.

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \text{sen}(\phi) \text{sen}(\delta) + \cos(\phi) \cos(\delta) \text{sen}(\omega_s)] \quad (5)$$

Em que:  $G_{sc}$  = Constante solar =  $0,08020 \text{ MJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$ ;  $d_r$  = distância relativa inversa Terra-Sol [Eq. 6];  $\omega_s$  = ângulo na hora do pôr-do-sol, em rad [Eq. 7];  $\phi$  = latitude, em rad [Eq. 8];  $\delta$  = declinação solar, em rad [Eq. 9].

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \quad (6)$$

Em que:  $J$  = dia juliano [Eq. 10].

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\phi) \tan(\delta)] \quad (7)$$

Em que:  $\varphi$  = latitude (rad) [Eq. 8];  $\delta$  = declinação solar (rad) [Eq. 9]

$$\phi(\text{rad}) = \frac{\pi}{180} \text{ decimal} \quad (8)$$

Em que: decimal = valor da latitude convertido para decimal; Obs.: A latitude, expressa em radianos, é positiva para hemisfério Norte e negativa para hemisfério Sul.

$$\delta = 0,409 \text{sen} \left( \frac{2\pi}{365} J - 1,39 \right) \quad (9)$$

$$J = \text{Se}(M < 3; J_{\text{prev}}; J_{\text{prev}} + 2) \quad (10)$$

Em que:  $J_{\text{prev}}$  = dia juliano, sem correção [Eq. 11];  $M$  = Mês;  $\text{Se}$  = função condicional da planilha eletrônica.

$$J_{\text{prev}} = \text{INT} \left( 275 \frac{M}{9} - 30 + D \right) - 2 \quad (11)$$

Em que:  $\text{INT}$  = inteiro;  $M$  = Mês;  $D$  = Dia.

Portanto, para emprego de tal metodologia é necessário uso de estação meteorológica, sem a necessidade da presença de um sensor de radiação e higrômetro.

### **2.3.3 Penman-Monteith FAO-56 com dados faltantes de radiação solar, umidade relativa do ar e velocidade do vento. Neste caso fixando-se a velocidade do vento em 1 m s<sup>-1</sup> (PM-1):**

Os valores de radiação e umidade relativa serão estimados conforme Equações 3 a 10, e a velocidade do vento adotada será fixada em 1 m s<sup>-1</sup>. Portanto, para o emprego de tal metodologia é necessário uso de estação meteorológica, sem a necessidade da presença de um sensor de radiação, higrômetro e anemômetro.

### **2.3.4 Penman-Monteith FAO-56 com dados faltantes de radiação solar, umidade relativa do ar e velocidade do vento. Neste caso fixando-se a velocidade do vento em 2 m s<sup>-1</sup> (PM-2):**

Os valores de radiação e umidade relativa serão estimados conforme Equações 3 a 10, e a velocidade do vento adotada será fixada em 2 m s<sup>-1</sup>. Portanto, para o emprego de tal metodologia é necessário uso de estação meteorológica, sem a necessidade da presença de um sensor de radiação, higrômetro e anemômetro.

### **2.3.5 Penman-Monteith FAO-56 com dados faltantes de radiação solar, umidade relativa do ar e velocidade do vento. Neste caso fixando-se a velocidade do vento em 3 m s<sup>-1</sup> (PM-3):**

Os valores de radiação e umidade relativa foram estimados conforme Equações 3 a 10, e a velocidade do vento adotada será fixada em 3 m s<sup>-1</sup>. Portanto, para o emprego de tal metodologia é necessário uso de estação meteorológica, sem a necessidade da presença de um sensor de radiação, higrômetro e anemômetro.

### **2.3.6 Hargreaves-Samani (H-S):**

Na ausência de dados meteorológicos suficientes para o uso de PM FAO-56, o método proposto por Hargreaves e Samani (1985) (Equação 12) é uma alternativa para a estimativa da evapotranspiração de referência por necessitar somente de dados de temperatura máxima e mínima do ar, a temperatura média do ar e a radiação no topo da atmosfera. Portanto, para uso de tal metodologia é necessário somente uso de termômetro de máximas e mínimas temperatura do ar.

$$ET_0 = 0,0023R_a \sqrt{T_{\max} - T_{\min}} (T + 17,8) \quad (12)$$

Em que:  $R_a$  – Radiação extraterrestre, em MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>;  $T_{\max}$  – Temperatura máxima do ar, em °C;  $T_{\min}$  – Temperatura mínima do ar, em °C;  $T$  – Temperatura média do ar, em °C.

Dentre os modelos utilizados, PM-FAO-56 será definido como padrão e utilizado como referência para as comparações das demais metodologias. A comparação dos modelos analisados se deu por meio da análise dos parâmetros  $\beta_0$  e  $\beta_1$  da regressão linear, coeficiente de determinação  $R^2$ , índice de concordância de Willmott (d) (WILLMOTT et al., 1985), coeficiente de correlação (r) e confiança (c) (CAMARGO e SENTELHAS, 1997) e raiz quadrada média do erro (RMSE), conforme as equações 13, 14, 15 e 16.

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_1^n (P_i - O_i)^2}{\sum_1^n (|P_i - O| + |O_i - O|)} \right] \quad (13)$$

$$r = \frac{\sum_1^n (P_i - P)(O_i - O)}{\sqrt{\left[ \sum_1^n (P_i - P)^2 \right] \left[ \sum_1^n (O_i - O)^2 \right]}} \quad (14)$$

$$c = r \cdot d \quad (15)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_1^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (16)$$

Em que:  $O_i$  – Evapotranspiração estimada pelo método padrão Penman-Monteith FAO-56, em  $\text{mm dia}^{-1}$ ;  $O$  – média dos valores observados, em  $\text{mm dia}^{-1}$ ;  $P_i$  – Evapotranspiração estimada pelo método a ser comparado, em  $\text{mm dia}^{-1}$ ;  $P$  – Média dos valores observados, em  $\text{mm dia}^{-1}$ ;  $n$  – número de observações.

Para classificação do desempenho do método será utilizada a Tabela 3, segundo Camargo e Sentelhas (1997).

Tabela 3 – Critérios para interpretação do índice de desempenho (c).

Índice de desempenho “c”	Classificação
>0,85	Excelente
0,76 – 0,85	Muito Bom
0,66 – 0,75	Bom
0,61 – 0,65	Intermediário
0,51 – 0,60	Tolerável
0,41 – 0,50	Ruim



$\leq 0,4$ 

Muito Ruim

Fonte: Camargo e Sentelhas (1997).

Para escolha do método mais indicado para cada região foram utilizados os critérios de maior valor de coeficiente de determinação ( $R^2$ ), maior coeficiente de confiança ( $c$ ) e menor raiz quadrada média do erro (RMSE).

## 2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 4 apresentam-se os valores médios das temperaturas, umidade relativa, velocidade do vento e radiação nos três municípios em estudo. O município de Alegre apresentou temperatura média, no período em estudo, superior à aquela da classificação de Köppen, cujo valor é 23,1 °C, diferentemente do município de Santa Teresa que apresentou temperatura média de 19,6 °C no período, sendo inferior àquela descrita pela classificação Köppen que é de 21,0 °C (FERRARI et al., 2013; LOSS et al., 2014).

A média da velocidade do vento no período em estudo apresenta os maiores valores no município de São Mateus (Tabela 4), tais valores podem ser explicados devido à proximidade do município com o oceano onde as brisas marítimas apresentam elevada contribuição no incremento da intensidade dos ventos, além disso, a rugosidade do terreno observada nas regiões onde se localizam os municípios de Santa Teresa e Alegre contribuem para diminuição da média da velocidade do vento (LIRA et al., 2017; MARTINS et al., 2008).

Tabela 4 – Média da temperatura máxima (TMáx), média (TMéd) e mínima (TMín); umidade relativa (UR); velocidade do vento (Vel. Vento) e radiação solar (RAD) nos municípios em estudo no período de 2015 a 2019.

Município	TMáx	TMéd	TMín	UR	Vel. Vento	RAD
		°C		%	m s <sup>-1</sup>	MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>
Alegre	31,5	25,3	19,2	70,9	1,4	19,3
Santa Teresa	23,5	19,6	15,7	86,9	1,8	16,3
São Mateus	29,4	24,9	20,5	82,6	2,5	18,5

Fonte: Próprio Autor

Na Tabela 5 estão apresentados os valores médios de  $ET_0$  estimados pelo método padrão e os valores estimados com dados faltantes de umidade relativa e radiação solar, nas diferentes velocidades do vento fixadas e pelo método Hargreaves-Samani, bem como os indicadores da

regressão linear de comparação das diferentes metodologias utilizadas em relação ao padrão Penman-Monteith FAO-56.

Tabela 5 - Evapotranspiração média diária do período ( $ET_0$ ),  $\text{mm d}^{-1}$ ; percentagem em relação ao método-padrão (PM); Raiz quadrada média do erro (RMSE),  $\text{mm d}^{-1}$ ; coeficiente de determinação para a regressão ajustada ( $r^2$ ) e parâmetros de ajuste da equação de regressão (a e b), para as cidades em estudo.

Método	$ET_0$ ( $\text{mm dia}^{-1}$ )	PM (%)	RSME ( $\text{mm dia}^{-1}$ )	$R^2$	A	B
Alegre						
PM-FAO	4,2	-	-	-	-	-
URRa	4,4	103	0,6	0,894	0,811	0,931
PM-1	4,1	97	0,7	0,861	0,717	1,055
PM-2	4,7	110	0,7	0,881	0,796	1,306
PM-3	5,2	122	1,1	0,876	0,867	1,507
H-S	4,9	115	0,9	0,870	0,878	1,149
Santa Teresa						
PM-FAO	2,9	-	-	-	-	-
URRa	3,2	108	0,7	0,763	0,695	1,141
PM-1	3,0	101	0,7	0,747	0,627	1,141
PM-2	3,3	110	0,7	0,779	0,686	1,231
PM-3	3,5	118	0,8	0,797	0,738	1,301
H-S	3,4	114	0,8	0,768	0,763	1,121
São Mateus						
PM-FAO	3,8	-	-	-	-	-
URRa	4,1	105	0,6	0,824	0,697	1,371
PM-1	3,5	91	0,8	0,777	0,566	1,309
PM-2	3,9	101	0,7	0,783	0,598	1,594
PM-3	4,2	110	0,8	0,772	0,627	1,830
H-S	4,1	106	0,7	0,782	0,686	1,454

Fonte: Próprio Autor

Observa-se pela Tabela 5 que os maiores valores de  $R^2$  foram observados na metodologia URRa nos municípios de Alegre e São Mateus com valores de 0,894 e 0,824 respectivamente, já no município de Santa Teresa o maior valor de  $R^2$  foi observado na metodologia PM-3 com valor de 0,797. Porém, somente a utilização de  $R^2$  como critério para se definir a qualidade de um método não é adequado, pois não estabelece a magnitude da diferença entre um valor padrão e um valor previsto por métodos empíricos (BARROS et al., 2009).

No município de Alegre, as metodologias de estimativa apresentaram, em média, um erro de 10,6% em relação ao método padrão de Penman-Monteith, sendo que URRa e PM-1

apresentaram os menores erros de estimativa, 3% em ambos, e PM-3 e H-S apresentaram as maiores diferenças, 22 e 15%, respectivamente.

No município de Santa Teresa, o erro médio de estimativa foi de 10,2% com os menores valores de erro para as metodologias URRa e PM-1, 8 e 1% respectivamente, e os maiores valores para PM-3 e H-S, 18 e 14% respectivamente. Em contrapartida, para o município de São Mateus, o erro médio de estimativa foi de 6,2% com os menores valores (5 e 1%) observados pelas equações URRa e PM-2, respectivamente, e os maiores valores (10 e 6%) nas metodologias PM-3 e H-S, respectivamente.

Em todos os municípios observa-se que o método H-S apresentou tendência em superestimar a  $ET_0$  em relação ao método padrão com valores de 15, 14 e 6% nos municípios de Alegre, Santa Teresa e São Mateus, respectivamente. Tal resultado se deve ao fato de que a equação de H-S apresenta bons resultados em relação ao método padrão quando utilizado em condições de clima árido e subúmido, condições na qual o método foi desenvolvido, já em regiões úmidas tal metodologia tende a superestimar  $ET_0$  em relação ao método padrão (COSTA, MANTOVANI e SEDIYAMA, 2015).

É observado que com o aumento da velocidade fixada do vento em  $2 \text{ m s}^{-1}$  para  $3 \text{ m s}^{-1}$  houve uma superestimativa da  $ET_0$  em todas as regiões, enquanto a redução da velocidade fixada para  $1 \text{ m s}^{-1}$  apresentou uma tendência em subestimar os valores de  $ET_0$ . Este resultado está em acordo com o descrito por Alencar et al. (2015), que indica que quando os dados de vento na região não estão disponíveis, um valor de  $2 \text{ m s}^{-1}$  pode ser utilizado como uma estimativa provisória, pois este valor é uma média de mais de 2.000 estações meteorológicas ao redor do mundo.

Na Tabela 6 são apresentados os resultados de desempenho, concordância e correlação dos métodos utilização em comparação ao padrão. A partir destes resultados é possível verificar quais equações têm melhor desempenho para as regiões em estudo.

Tabela 6 - Índice de desempenho (c), índice de concordância (d), coeficiente correlação (r) e a classificação baseada no índice de desempenho

<b>Método</b>	<b>D</b>	<b>r</b>	<b>C</b>	<b>Classificação “c”</b>
---------------	----------	----------	----------	--------------------------

Alegre				
URRa	0,95	0,88	0,83	Muito Bom
PM-1	0,82	0,93	0,76	Muito Bom
PM-2	0,79	0,94	0,74	Bom
PM-3	0,54	0,94	0,50	Ruim
H-S	0,73	0,93	0,68	Bom
Santa Teresa				
URRa	0,75	0,87	0,65	Intermediário
PM-1	0,74	0,86	0,64	Intermediário
PM-2	0,74	0,88	0,65	Intermediário
PM-3	0,68	0,89	0,61	Intermediário
H-S	0,71	0,88	0,62	Intermediário
São Mateus				
URRa	0,80	0,91	0,73	Bom
PM-1	0,66	0,88	0,58	Tolerável
PM-2	0,75	0,88	0,66	Bom
PM-3	0,68	0,88	0,60	Tolerável
H-S	0,76	0,88	0,67	Bom

Fonte: Próprio Autor

Pela análise da Tabela 6, nota-se que para os municípios de Alegre e São Mateus o método URRa apresenta bom desempenho sendo classificado como “Muito Bom” e “Bom”, respectivamente, enquanto os demais métodos apresentam uma classificação inferior.

Tal resultado indica que o componente aerodinâmico da  $ET_0$  apresenta grande importância, uma vez que os métodos que fixam ou não levam em consideração a variação da velocidade do vento apresentam desempenho abaixo do padrão. Silva et al. (2016a), em estudo realizado na região do Piauí, observaram que em regiões em que há grandes variações ou a velocidade do vento é muito alta, não se pode desprezar ou fixar esta variável, pois quanto mais se distancia o valor de velocidade do vento do valor médio registrado, há uma piora no desempenho do método em geral.

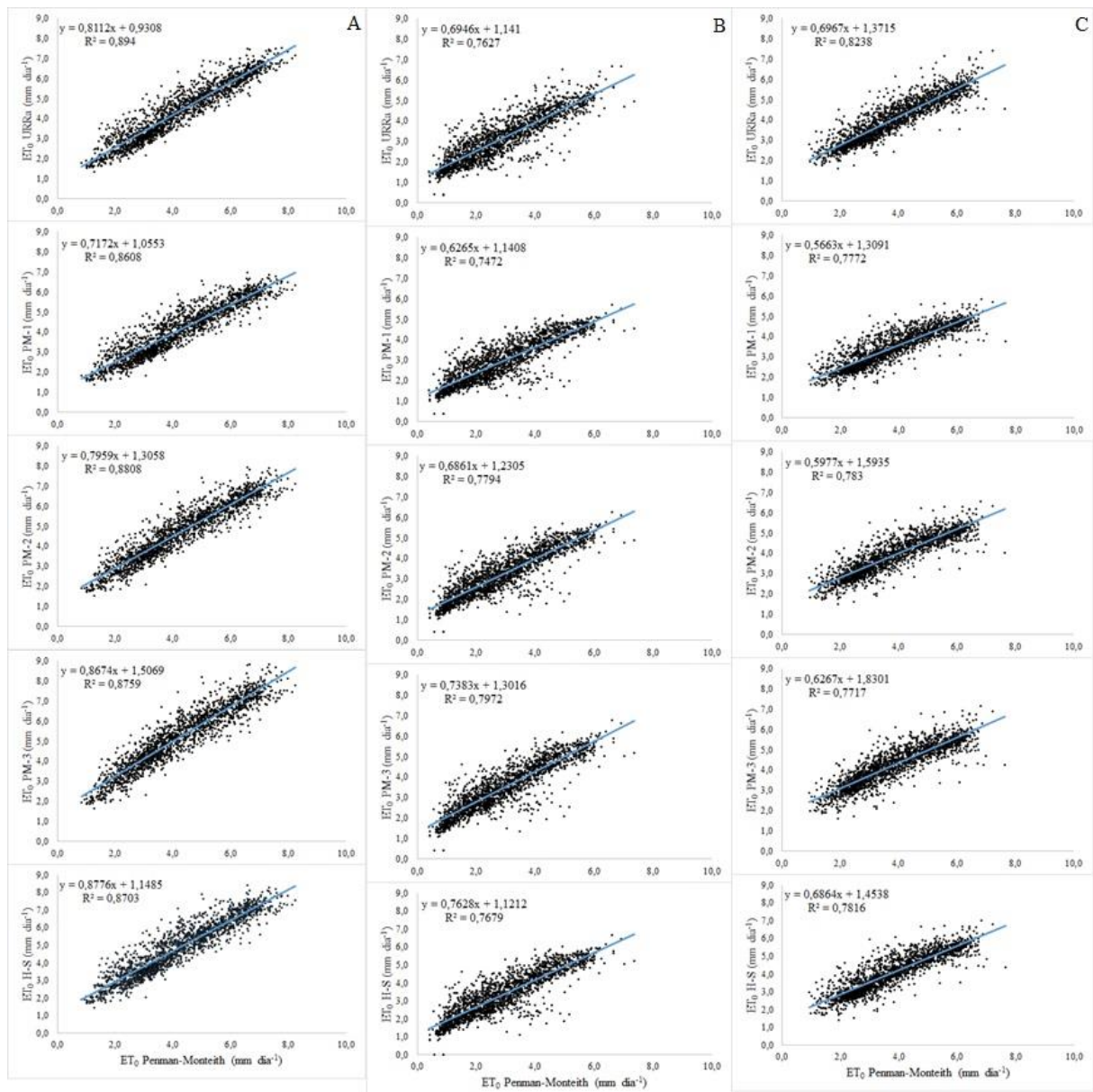
Em contrapartida, no município de Santa Teresa, todos os métodos apresentaram desempenho classificado como “Intermediário”, indicando que o componente aerodinâmico não tem grande relevância para a região, podendo-se então fixar seus valores.

Isso ocorre por que a região em estudo possui valores médios de velocidade do vento muito baixos ou com pouca variação entre os valores (MORAIS et al., 2015). Este fato pode ser comprovado ao observar a Tabela 5, no qual PM-1, ou seja, valores fixados em  $1 \text{ m s}^{-1}$ ,

apresentam  $ET_0$  mais próxima ao método padrão, superestimando levemente em 1%, enquanto valores fixados em 2 e 3  $m\ s^{-1}$  superestimam  $ET_0$  em 10 e 18%, respectivamente.

Na Figura 2 é apresentado a dispersão dos dados obtidos e as conformidades dos modelos em relação ao método padrão Penman-Monteith para os municípios de Alegre, Santa Teresa e São Mateus respectivamente.

Figura 2 - Regressões lineares pelos métodos URRA, PM-1, PM-2, PM-3 e H-S para os municípios de Alegre (A), Santa Teresa (B) e São Mateus (C) em relação ao método padrão Penman-Monteith.



Fonte: Próprio autor

É observado que nos três municípios o método URRa apresenta bom agrupamento de dados, de modo que estes se apresentam mais próximos da reta 1:1, enquanto o método H-S foi o que apresentou os menores valores de  $R^2$  nos três municípios e conseqüentemente maior dispersão dos dados. Em estudo realizado na região de Sergipe, Silva et al., (2016b), observaram baixos valores do coeficiente de determinação  $R^2$ , sendo estes valores reduzidos à medida que se aumentou a velocidade do vento, oposto ao que se é observado no presente estudo, onde um aumento da velocidade do vento até  $2 \text{ m s}^{-1}$  proporcionou uma elevação no valor do coeficiente.

### 3 CONCLUSÕES

O método com dados faltantes de radiação solar e umidade relativa do ar (URRa) apresenta-se como alternativa de estimativa da evapotranspiração de referência na ausência dos dados suficientes para uso do método padrão nos municípios de Alegre e São Mateus. Já o método proposto por Hargreaves-Samani apresenta-se como alternativa a estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Santa Teresa devido a facilidade ao acesso dos dados requeridos pelo mesmo e por apresentar classificação igual às demais metodologias.

## REFERÊNCIAS

ALENCAR, L. P.; SEDIYAMA, G. C.; MANTOVANI, E. C. Estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub> padrão FAO), para Minas Gerais, na ausência de alguns dados climáticos. **Engenharia Agrícola**, v.35, n. 1, p.39 - 50, 2015.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO Irrigation and Drainage Paper, 5), 1998. 300 p.

ANDRADE, A. D.; MIRANDA, W. L.; CARVALHO, L. G. de; FIGUEIREDO, P. H. F.; SILVA, T. B. S. Desempenho de métodos de cálculo do coeficiente de tanque para estimativa da evapotranspiração de referência. **Irriga**, v. 21, n. 1, p. 119-130, 2016.

BARROS, V. R.; SOUZA, A. P.; FONSECA, D. C.; SILVA, L. B. D. Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica, Rio de Janeiro, utilizando lisímetro de pesagem e modelos matemáticos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 4, n. 2, 0. 198-203, 2009.

BAUTISTA, F; BAUTISTA, D.; DELGADO-CARRANZA, C. Calibration of the equations of Hargreaves and Thornthwaite to estimate the potential evapotranspiration in semi-arid and subhumid tropical climates for regional applications. **Atmósfera**, v. 22, n. 4, p. 331-348, 2009.

BRASIL. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2017.

CAMARGO, A. P. de; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, p.89-97, 1997.

CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; CASTRO NETO, P. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 456-465, 2011.



COSTA, M. S., MANTOVANI, E. C., SEDIYAMA, G. C. Comportamento dos diferentes métodos de determinação da evapotranspiração de referência nas cinco Regiões Brasileiras. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 9, n. 5, p. 310-319, 2015.

FERRARI, J. L.; SILVA, S. F.; SANTOS, A. R.; GARCIA, R. F. Análise morfométrica da sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, Alegre, ES. **Revista Brasileira de Ciência Agrárias**, v. 8, n. 2, p. 181-188, 2013.

FISHER, J. B., MELTON, F., MIDDLETON, E., HAIN, C., ANDERSON, M., ALLEN, R., MCCABE, M. F., HOOK, S., BALDOCCHI, D., TOWNSEND, P. A., KILIC, A., TU, K., MIRALLES, D. D., PERRET, J., LAGOUARDE, J. P., EALISER, D., PURDY, A. J., FRENCH, A., SCHIMEL, D., FAMIGLIETTI, J. S., STEPHENS, G., WOOD, E. F. "The future of evapotranspiration: Global requirements for ecosystem functioning, carbon and climate feedbacks, agricultural management, and water resources". **Advancing Earth and Space Science**. v.53, n.4, pp. 2618-2626, 2017.

GARCIA, A. D. B.; MENDONÇA, J. C.; ALMEIDA, C. M. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) no município de Santa Teresa, ES. **Irriga**, v. 22, n. 4, p. 701-714, outubro-dezembro, 2017.

HALLAL, M. O. C.; SCHÖFFEL, E. R.; BRIXNER, G. F.; CUNHA, A. R. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para Pelotas, Rio Grande do Sul. **Revista Ciências Agrárias**, v. 60, n. 1, p. 1-10, 2017.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 01, n. 02, p. 96-99, 1985.

INCAPER. **Planejamento e programação de ações para Santa Teresa**: programa de assistência técnica e extensão rural PROATER. Santa Teresa: Secretaria de Agricultura, 2011.

LIRA, M. A. T.; NETO, J. M. M.; LOIOLA, J. V. L.; SILVA, E. M.; ALVES, J. M. B. Caracterização do regime de ventos no Piauí para o aproveitamento de energia eólica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 1, p. 77-88, 2017.

LOPES, J. C.; MARTINS-FILHO, S. TAGLIAFERRE, C. RANGEL, O. J. P. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja produzidas em Alegre – ES. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 24, n. 1, p.51-58, 2002.

LOSS, A.; RIBEIRO, E. C.; PEREIRA, M. G.; COSTA, E. M. Atributos físicos e químicos do solo em sistemas de consórcio e sucessão de lavoura, pastagem e silvipastoril em Santa Teresa, ES. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 5, p. 1347-1357, 2014.

MARTINS, F. R.; GUARNIERI, R. A.; PEREIRA, E. B. O aproveitamento da energia eólica. **Reista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 1, 2008.

MEDEIROS, A. T. **Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraipaba, CE.** 2002. 103 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP, 2002.

MENDONÇA, J. C.; SOUSA, E. F.; BERNARDO, S.; DIAS, G. P.; GRIPPA, S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.2, p.275-279, 2003.

MORAIS, J. E. F. DE, DA SILVA, T. G. F., DE SOUZA, L. S. B., DE MOURA, M. S. B., DINIZ, W. D. S., DE SOUZA, C. A. A. Avaliação do método de Penman-Monteith FAO 56 com dados faltosos e de métodos alternativos na estimativa da evapotranspiração de referência no Submédio Vale do São Francisco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 6, p. 1644 – 1660, 2015.

PEZZOPANE, J. R. M.; MARSETTI, M. M. S.; SOUZA, J. M. de; PEZZOPANE, J. E. M. Condições microclimáticas em cultivo de café conilon a pleno sol e arborizado com nogueira macadâmia. **Ciência Rural**, v. 40, n.6, p.1257-1263, 2010.

RODRIGUES, Renato Augusto Soares; SOUSA, Patrícia Ferreira Cunha. **Irrigação e drenagem.** Londrina: Educacional S.A., 2018.

SALES, R. A. de; OLIVEIRA, E. C. de; LIMA, M. J. A.; GELCER, E. M.; SANTOS, R. A. dos; LIMA, C. F. Ajuste dos coeficientes das equações de estimativa da evapotranspiração de referência para São Mateus, ES. **Irriga**, v. 23, n. 1, p. 154-167, 2018.

SANTIAGO, E. J. P.; OLIVEIRA, V. E. A.; SILVA, R. R. da; GONÇALVES, I. S.; OLIVEIRA, G. M. Ajuste da equação de Hargreaves e Samani a partir de dados lisimétricos para o município de Juazeiro-BA. **Irriga**, Edição Especial, IRRIGA & INOVAGRI, p. 108-114, 2016.

SILVA, V. de P. R.; GARCÊZ, S. L. A.; SILVA, B. B. da; ALBUQUERQUE, M. F. de; ALMEIDA, R. S. R. Métodos de estimativa da evapotranspiração da cultura da cana-de-açúcar em condições de sequeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.5, p.411–417, 2015b.

SILVA, C. O., de ANDRADE JUNIOR, A. S., de SOUSA, V. F., RIBEIRO, V. Q., SENTELHA, P. C. Estimativa da evapotranspiração de referência com dados climáticos limitados no estado do Piauí. **Revista Espacios**, v. 37, n. 23, p. 12 – 27, 2016a.

SILVA, M. G.; BATISTA, L. D. S., GOMES FILHO, R. R.; de CARVALHO, C. M. Estimativa da evapotranspiração de referência por Penman-Monteith FAO 56 usando dados meteorológicos limitados em Aracaju, Sergipe. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 4, p. 830-840, 2016b.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 918p. 2013.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. do. **Meteorologia Descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. 7. ed. São Paulo: Nobel, 1992. 374 p.

TURCO, J. E. P.; BARBOSA, J. C. Avaliação de duas estações meteorológicas automatizadas, para estimativa da evapotranspiração de referência obtida pelo método de Penman Monteith. **Irriga**, v. 13, n. 3, p. 339-354, 2008.

WATERS, R.; ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; BASTIAANSEN, W. G. M.  
**Surface Energy Balance Algorithms for Land: Idahoimplementation - Advance  
Training and User's Manual.** 1<sup>a</sup> ed. Idaho: Department of Water Resources, 2002. 97 p.

WILLMOT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.;  
LEGATES, D. R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C. M. Statistics for the evaluation and  
comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v.90, p.8995-9005, 1985.