



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Meteorologia



Instituto de Geociências

WILLIAN BRUNO DA COSTA MONTEIRO

**ESTIMATIVAS DA EVOPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA POR DIFERENTES  
MÉTODOS, EM POMAR DE MANGA ROSA NA REGIÃO NORDESTE DO  
ESTADO DO PARÁ.**

BELÉM-PARÁ  
DEZEMBRO – 2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará

Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

M772e Monteiro, Willian Bruno da Costa

Estimativas da evapotranspiração da cultura por diferentes métodos, em pomar de manga rosa na região nordeste do estado do Pará / Willian Bruno da Costa Monteiro. — 2019.

40 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. José de Paulo Rocha da Costa Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

1. Evapotranspiração. 2. Pomar de Manga Rosa. 3. Estimativa.  
I. Título.

CDD 551.572

---



Serviço Público Federal  
Universidade Federal do Pará

Faculdade de Meteorologia

Av. Augusto M. Teixeira, 100 - CEP: 66075-900 - Belém - PA

## FICHA DE AVALIAÇÃO DA BANCA EXAMINADORA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – TCC

ALUNO: WILIAN BRUNO DA COSTA MONTEIRO

\*TÍTULO: ESTIMATIVAS DA EVOPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA POR  
DIFERENTES MÉTODOS, EM POMAR DE MANGA ROSA NA  
REGIÃO NORDESTE DO ESTADO DO PARÁ.

BANCA EXAMINADORA

CONCEITO

RUBRICA

1- Prof. José de Paulo Rodha da Costa

BOM

J. Rodha

2- Prof. Hernani José Brazão Rodrigues

BOM

H. Rodrigues

3- Prof. José Carvalho de Mores

BOM

J. Carvalho

CONCEITO FINAL

BOM

Belém, 19 de dezembro de 2019

A minha querida família e amigos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por me proporcionar conhecimento e sabedoria, ter me dado a perseverança, força e paz de espírito necessárias para superar os obstáculos.

Aos meus amados pais, Robenilson e Benedita, e minha irmã Bruna por se fazerem presentes em todos os momentos da minha graduação, seja nos mais alegres aos mais confusos e estressantes, me transmitindo calma, fé, determinação e amor, incentivando sempre os meus estudos e nunca desistindo de mim.

Ao resto da minha família que sempre me incentivou, e demonstrou orgulho de mim.

A minha namorada Cibele, que nos momentos difíceis foi companheira, me incentivou e ajudou para que pudesse buscar meus objetivos.

Ao professor e orientador José de Paulo por todo o esforço e tempo dedicado a mim, e a este trabalho.

Aos demais professores do curso de Meteorologia da Universidade Federal do Pará, pelo conhecimento transmitido e empenho para que a nossa formação fosse a melhor possível.

Aos amigos que fiz ao longo do curso, em especial à Ignázio Bechis, Felipe Tiago, Lucas, Gabriel, Raiane, Elton, Rodrigo, Hully, Fabiany, Morena, por sua sincera amizade e apoio nas dificuldades que encontramos no decorrer dessa jornada.

Aos meus amigos de viagens, que me ajudaram a superar as dificuldades que é se deslocar todo dia de Barcarena para Belém, em especial à Claudiane.

## RESUMO

Sabendo da importância da Amazônia como detentora de grandes recursos hídricos, se faz necessários estudos para quantificar o quanto esta região perde de água para a atmosfera através da evapotranspiração, e para isso, é fundamental conhecer qual o melhor método que possa representar esta importante componente do ciclo hidrológico natural. O objetivo principal deste estudo foi avaliar o desempenho de diferentes métodos na estimativa da Evapotranspiração Real (ETR) em um pomar de manga rosa (cv Tommy Atkins), situado no Sítio Experimental de Estudos Costeiros “Modesto Rodrigues” (Lat. 0°39’55” S e Lon. 47°17’7” O), na localidade de Cuiarana, município de Salinópolis, região nordeste do estado do Pará. Os métodos analisados foram: Penman-Monteith (FAO), Hargreaves-Samani, Jensen-Haise, Priestley & Taylor, Camargo e Penman Original. Sendo que, o método Penman-Monteith (FAO) foi utilizado como referência das estimativas analisadas pelos demais métodos. Os dados meteorológicos referentes ao ano de 2012 utilizados neste estudo foram: temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar global e saldo de radiação foram medidos através de sensores conectados a um sistema de aquisição de dados datalogger (CR1000, Campbell Scientific, Inc.), instalados em uma torre micrometeorológica com altura de 15 metros. Foram realizadas análises mensal, semestral e sazonal (análises trimestrais). Os valores de ETR, foram comparados estatisticamente por meio de regressão linear simples. Na avaliação do desempenho dos modelos, foram empregados os indicadores de erro padrão da estimativa, coeficiente de correlação (R), coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), índice de concordância (d) e o índice de confiança ou de desempenho (c). No geral, os resultados mostraram que as melhores estimativas ocorreram no período semestral em comparação com os períodos sazonal e mensal, apesar de que: na análise sazonal o inverno e a primavera mostrou também bons resultados. Ressaltando que na comparação individual das estimativas com o método padrão, o método de Penman Original foi o que apresentou elevado coeficiente de desempenho e o método de Hargreaves-Samani foi o método que apresentou baixo desempenho. Todavia, apesar do método de Priestley & Taylor utilizar poucas variáveis meteorológicas na sua fórmula estimativa, obteve desempenho satisfatório.

Palavras-chave: Evapotranspiração. Pomar de Manga Rosa. Estimativa.

## ABSTRACT

Knowing the importance of the Amazon as a holder of large water resources, studies are needed to quantify how much this region loses water to the atmosphere through evapotranspiration and for this, it is essential to know what the best method that can represent this important component of the cycle. Natural hydrological. The main objective of this study was to evaluate the performance of different methods in estimating Real Evapotranspiration (ETR) in a pink mango orchard (cv Tommy Atkins), located at the "Modesto Rodrigues" Coastal Studies Experimental Site (Lat. 0 ° 39 ' 55 " S and Lon. 47 ° 17'7 " O), in Cuiarana, Salinópolis, northeastern Pará State. The methods analyzed were: Penman-Monteith (FAO), Hargreaves-Samani, Jensen - Haise, Priestley & Taylor, Camargo and Penman Original. The Penman-Monteith (FAO) method was used as a reference for the estimates analyzed by the other methods. Weather data for Temperature and Relative Humidity, Wind Speed, Global Solar Radiation, and Radiation Balance were measured using sensors connected to a datalogger data acquisition system (CR1000, Campbell Scientific, Inc.), installed in a micrometeorological tower. with height of 15 meters. ETR values were compared by linear regression analysis. To evaluate the performance of the models, the standard error estimation, correlation coefficient (R), determination coefficient (R<sup>2</sup>), agreement index (d) and confidence or performance index (c) were used. The semiannual, seasonal and annual analyzes refer to 2012. The results showed that the best estimates occurred in the semiannual period compared to the seasonal and annual periods, emphasizing that in the individual comparison of the estimates with the standard method, the Penman method Original was the one that presented high performance and the Hargreaves-Samani method, low performance. However, although Priestley & Taylor's method used few meteorological variables in the estimation formula, its performance was highly satisfactory.

Key words: Evapotranspiration. Pink Mango Orchard. Estimate.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização da área de estudo.....	16
Figura 2 – vista superior e do interior do pomar mangueira .....	16
Figura 3 – Variabilidade média mensal da precipitação (mm) .....	17
Figura 4 – Valores médios mensais da evapotranspiração de real (ETR) pelos métodos analisados .....	24
Figura 5 – Gráficos de dispersão dos valores médios diários de evapotranspiração Real (ETR), estimados através dos métodos de Hargreaves-Samani (A), Penman Original (B), Camargo (C), Priestley-Taylor (D) e Jensen-Haise (E), com o método padrão Penman-Monteith (FAO) .....	25
Figura 6 – Gráficos de dispersão dos valores médios diários de evapotranspiração Real (ETR), estimados através dos métodos de Hargreaves-Samani (A), Penman Original (B), Camargo (C), Priestley-Taylor (D) e Jensen-Haise (E) com o método padrão Penman-Monteith (FAO) .....	26
Figura 7 – Gráficos de dispersão dos valores médios diários de evapotranspiração Real (ETR), estimados através dos métodos de Hargreaves-Samani (A), Penman Original (B), Camargo (C), Priestley-Taylor (D) e Jensen-Haise (E), com o método padrão Penman-Monteith (FAO) .....	27
Figura 8 – Gráficos de dispersão dos valores médios diários de evapotranspiração Real (ETR), estimados através dos métodos de Hargreaves-Samani (A), Penman Original (B), Camargo (C), Priestley-Taylor (D) e Jensen-Haise (E), com o método padrão Penman-Monteith (FAO) .....	30
Figura 9 – Gráficos de dispersão dos valores médios diários de evapotranspiração Real (ETR), estimados através dos métodos de Hargreaves-Samani (A), Penman Original (B), Camargo (C), Priestley-Taylor (D) e Jensen-Haise (E), com o método padrão Penman-Monteith (FAO) .....	31

Figura 10 – Gráficos de dispersão dos valores médios diários de evapotranspiração Real (ETR), estimados através dos métodos de Hargreaves-Samani (A), Penman Original (B), Camargo (C), Priestley-Taylor (D) e Jensen-Haise (E), com o método padrão Penman-Monteith (FAO) ..... 32

Figura 11 – Gráficos de dispersão dos valores médios diários de evapotranspiração Real (ETR), estimados através dos métodos de Hargreaves-Samani (A), Penman Original (B), amargo (C), Priestley-Taylor (D) e Jensen-Haise (E), com o método padrão Penman-Monteith (FAO) ..... 34

## LISTA TABELAS

Tabela 1- Classificação do desempenho segundo o índice de confiança “c”.....	22
Tabela 2- Classificação das correlações de acordo com o coeficiente de correlação (R) .....	23
Tabela 3- Estimativa do erro padrão, do índice concordância (d), coeficiente de correlação (R) e o coeficiente de desempenho (c), além das classificações para os valores encontrados de (d) e (R), obtidos das correlações entre os valores de evapotranspiração real (ETR) pelo método de Penman-Monteith (FAO) com os métodos testados.....	29
Tabela 4- Estimativa do erro padrão, do índice concordância (d), coeficiente de correlação (R) e o coeficiente de desempenho (c), além das classificações para os valores encontrados de (d) e (R), obtidos das correlações entre os valores de evapotranspiração real (ETR) pelo método de Penman-Monteith (FAO) com os métodos testados.....	36

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ETR	Evapotranspiração real
(FAO)	Organizações das nações unidas e alimentação
MM	Milímetros
PM	Penman-Monteith
HS	Hargreaves-Samani
PT	Priestley-Taylor
JH	Jensen-Haise

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b> .....	14
<b>2</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	16
<b>2.1</b>	<b>A área de estudo</b> .....	16
<b>2.2</b>	<b>Os dados</b> .....	17
<b>2.3</b>	<b>Métodologia</b> .....	17
2.3.1	Métodos de estimativa analisados.....	18
2.3.1.1	Método de Penman-Monteith (FAO).....	18
2.3.1.2	Método de Hargreaves e Samani .....	19
2.3.1.3	Método Priestley e Taylor (PT) .....	20
2.3.1.4	Método de Jensen e Haise (JH) .....	20
2.3.1.5	Método de Camargo .....	20
2.3.1.6	Método de Penman Original .....	21
<b>3</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	24
<b>3.1</b>	<b>Análise mesnal</b> .....	24
<b>3.2</b>	<b>Análise semestral</b> .....	25
3.2.1	Primeiro Semestre.....	25
3.2.2	Segundo Semestre.....	26
3.2.3	Análise do Desempenho dos Métodos - Período Semestral .....	28
<b>3.3</b>	<b>Análise sazonal</b> .....	30
3.3.1	Verão (J-F-M) .....	30
3.3.2	Outono (A-M-J).....	31
3.3.3	Inverno (J-A-S) .....	32
3.3.4	Primavera (O-N-D) .....	33
3.3.5	Desempenho dos Métodos no Período Sazonal .....	34
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	37
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	39

## 1. INTRODUÇÃO

Tendo em vista que a Bacia Amazônica é fundamental como grande detentora de recursos hídricos no âmbito regional e global, uma vez que, aproximadamente 75% de energia solar disponível na Amazônia Central são utilizados para a evapotranspiração (SALATI, 1985; VILLA NOVA, 1976). Daí a relevância da Evapotranspiração Real para estudos hidroclimáticos, agrometeorológicos, aproveitamento de recursos hídricos e projetos de irrigação. A evapotranspiração é um dos fatores climáticos de maior importância na atividade agrícola pois, a quantificação precisa do volume de água evapotranspirado, sugere que igual quantidade de água deve ser reposta através da irrigação para a realização do ciclo produtivo da planta, pois influi diretamente no dimensionamento do projeto de irrigação e no manejo da cultura. Por conta da importância da evapotranspiração, surgiu a necessidade de desenvolver pesquisas para obter o conhecimento do consumo de água pelas plantas (evapotranspiração) para se realizar um melhor manejo na quantidade de água utilizada nas diversas etapas do desenvolvimento das culturas.

A evapotranspiração pode ser definida como um processo simultâneo e dinâmico de mudança do estado físico da água pela evaporação no solo e pela transpiração das plantas (ALENCAR *et al.*, 2011), e devido à dificuldade de medir diretamente a evapotranspiração da cultura, os pesquisadores optaram por estimá-la com base em elementos meteorológicos, como radiação solar, velocidade do vento, temperatura e umidade do ar. O método de Penman-Monteith (ALLEN *et al.*, 1998) é considerado pelas organizações das nações unidas e alimentação (FAO), como sendo o método padrão de estimativas de Evapotranspiração Real e também podendo ser utilizado para avaliar o desempenho de outros métodos estimativos. Portanto, para se utilizar um método para um determinado local ou região, primeiro é necessário verificar o desempenho do referido método. Uma forma de fazer isso é comparando-o com o método de Penman-Monteith (FAO), acima referido.

Desse modo, diversos pesquisadores em muitas partes do mundo propuseram métodos para estimar a Evapotranspiração Real, cada um com sua concepção de simplicidade o processo, número de variáveis atmosféricas e também,

limitações envolvidas. Tendo em vista que, os modelos mais simplificados (com número menor variável atmosférica) apresentam maior limitação na precisão dos resultados e os métodos que requerem mais variáveis do ambiente apresentam a dificuldade de não se dispor de todas as variáveis requeridas pelo modelo (SILVA *et al.*, 2005). Portanto, antes de eleger o modelo a ser utilizado para a estimativa da ETR, o pesquisador precisará saber quais os elementos climáticos disponíveis; daí em diante, verificar quais as que podem ser aplicadas, uma vez que a utilização dos diferentes métodos para certo local de interesse fica na dependência e disponibilidade dessas variáveis.

O método de Penman-Monteith (FAO) requer dados de elementos climáticos como saldo de radiação, velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar, porém, em muitos locais, essas variáveis não estão todas disponíveis, como falado anteriormente. Há estações meteorológicas em que as únicas informações climáticas medidas são, radiação global, temperatura do ar e a precipitação. Para esses locais, é necessário ajustar e avaliar a eficiência de métodos de estimativa da Evapotranspiração Real baseados no dado de temperatura do ar. Por esse motivo, este trabalho objetiva apresentar um estudo que avalia o desempenho dos métodos de Hargreaves-Samani, Penman Original, Camargo, Priestley-Taylor e Jensen-Haise, na estimativa de Evapotranspiração Real (ETR) tendo como referência o método Penman-Monteith (FAO), em um pomar de manga rosa (cv Tommy Atkins) situado na localidade de Cuiarana, município de Salinópolis, nordeste do estado do Pará.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo principal**

O principal objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho dos métodos de Hargreaves-Samani, Jensen-Haise e Priestley-Taylor Penman e Camargo, na estimativa da Evapotranspiração Real ao longo do ano de 2012, através de análises mensal, semestral e sazonal, tendo como referência o método Penman-Monteith (FAO).

### 1.1.2 Objetivo específico

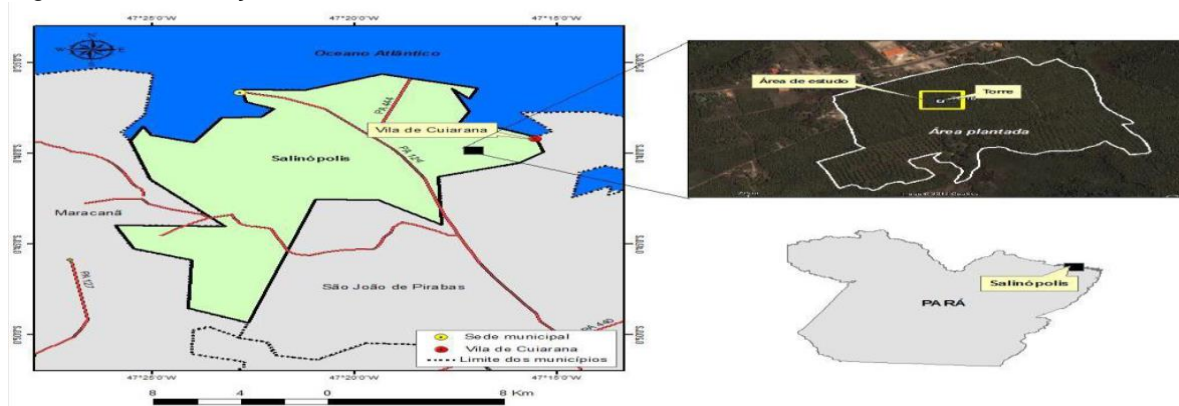
Apontar entre os métodos de estimativa da Evapotranspiração acima citados, qual o que melhor se adaptou às condições agronômicas do pomar de manga, destacando, a facilidade de aplicação e a precisão da estimativa.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 A área de estudo

O presente estudo foi desenvolvido no Sítio Experimental de Estudos Costeiros “Modesto Rodrigues” (Lat. 0°39'55” S e Lon. 47°17'7” O, localizado na vila de Cuiarana, município de Salinópolis, região nordeste do estado do Pará (Figura 1).

Figura 1 – Localização da área de estudo



Fonte: Lima e Sousa (2012).

A área experimental onde o estudo foi realizado é um pomar de mangueiras (*Mangifera indica* L) plantadas em fileiras no sentido Leste-Oeste com espaçamento de 10 metros entre fileiras e 10 metros entre plantas. Na Figura 2 são mostradas as visualizações do dossel e do interior do pomar mangueira.

Figura 2 – vista superior e no interior do pomar mangueira

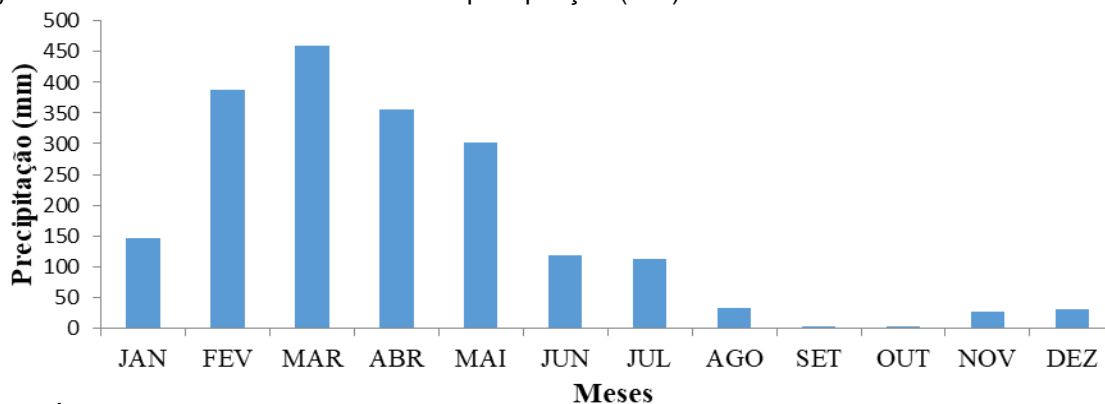


Fonte: Autor

## 2.2 Os Dados

Os dados de precipitação pluviométrica, radiação solar global, saldo de radiação, temperatura e umidade relativa do ar, intensidade do vento e perfil de temperatura e umidade no interior do solo, referentes ao período de 2012, foram medidos através de sensores conectados a um sistema de aquisição de dados, datalogger (CR1000, Campbell Scientific, Inc.), programado para fazer leituras a cada 10 segundos, processar e analisar médias a cada 30 minutos. No aspecto climático, Cuiarana apresenta clima tropical quente e úmido, segundo a classificação de Koeppen. A temperatura do ar média anual varia entre 26,8°C a 28,0°C e a umidade relativa média anual varia em torno de 80%. Os totais mensais máximos de precipitação ocorrem no período de fevereiro a maio e os totais mínimos ocorrem entre os meses de setembro a novembro (Figura 3). No aspecto econômico, as principais atividades econômicas desenvolvidas no município de Cuiarana são plantios de hortaliças, agricultura familiar, turismo e atividade de pesca.

Figura 3 – Variabilidade média mensal da precipitação (mm).



Fonte: Autor.

## 2.3 Metodologia

A Partir dos valores médios diários das variáveis meteorológicas, foram calculados os valores da Evapotranspiração Real para intervalos mensal, semestral e sazonal e que posteriormente foram analisados por meio de gráficos em planilhas do Excel. Através da plotagem da dispersão entre os valores da ETR estimados pelo método Penman-Monteith (FAO), considerado o método padrão e pelos demais métodos analisados, a precisão dos resultados, foram avaliados estatisticamente através do coeficiente de correlação linear simples (R) e por meio do coeficiente de

determinação ( $R^2$ ), erro padrão da estimativa (EP) e índice concordância de Willmott (d). Para se avaliar desempenho dos métodos, utilizou-se o índice de confiança “c”, proposto por Camargo e Sentelhas (1997).

### 2.3.1 Métodos de estimativas analisados

Os métodos de estimativas analisados neste estudo foram: Penman-Monteith (FAO), Hargreaves-Samani, Jensen-Haise, Priestley-Taylor, Penman Original e Camargo, em cujas equações estimativas serão descritas a seguir:

#### 2.3.1.1 Método de Penman-Monteith (FAO) – PMFAO

O método Penman-Monteith (FAO), conforme Allen *et al.* (1998), utilizados em várias condições climáticas é descrito segundo a equação (1)

$$ETR = \frac{0,408.\Delta.(Rn-G) + \gamma \cdot \frac{900}{T+273} \cdot U_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot U_2)} \quad [1]$$

Em que: ETR- Evapotranspiração Real (mm dia-1); Rn - saldo de radiação na superfície (MJ m-2 dia-1); G -densidade de fluxo de calor no solo (MJ m-2 dia-1); T - Temperatura do ar (°C); U2 - velocidade do vento a 2 metros de altura (m s-1); es - Pressão de saturação de vapor (kPa); ea - Pressão atual de vapor (kPa); es – ea - Déficit de pressão de saturação de vapor (kPa);  $\Delta$  - inclinação da curva de pressão de vapor (kPa °C-1);  $\gamma$  - constante psicrométrica (kPa °C-1). O fluxo de calor para o interior do solo foi considerado nulo, por admitir-se que a quantidade de calor que entra no solo durante o dia é igual à quantidade perdida durante a noite.

A declividade da curva de pressão de vapor ( $\Delta$ ), em relação à temperatura do ar (kPa°C-1) é dada pela equação:

$$\Delta = \frac{4098 \cdot [0,6108 \cdot \exp(\frac{17,27 \cdot T}{T + 237,3})]}{(T + 237,3)^2} \quad [2]$$

Em que "exp" refere-se à base do logaritmo natural "e" (2,71828) elevada ao valor que está entre parêntesis.

A Constante Psicrométrica (KPa °C<sup>-1</sup>)

$$\gamma = \frac{C_p.P}{\varepsilon.\lambda} \quad [3]$$

Em que:  $\gamma$  é a constante psicrométrica, de acordo com Brunt (1952) citado por Smith (1991);  $\lambda$  é o calor latente de vaporização d'água = 2,45 Mj.kg<sup>-1</sup> a 20°C;  $C_p$  é o calor específico a pressão constante = 1, 013.10<sup>-3</sup> (Mj.kg<sup>-1</sup>.°C<sup>-1</sup>); e P é a pressão atmosférica (KPa), que foi determinadas pela equação:

$$P = 101,3. \left( \frac{293 - 0,0065.z}{293} \right)^{5,26} \quad [4]$$

Em que: z a altitude local (m);  $\varepsilon = 0,622$  a relação entre peso molecular do vapor d'água e ar seco

A diferença entre "es" e "ea" é denominado déficit de saturação. Esses valores podem ser calculados utilizando-se as expressões:

$$e_s = 0,6108. \exp\left(\frac{17,27T}{T+237,3}\right) \quad [5]$$

$$e_a = \frac{e_s.UR}{100} \quad [6]$$

Em que UR é a umidade relativa média do ar (%).

Em que (es – ea) é o déficit de pressão de vapor (kPa);

E finalmente, U2 é a velocidade média do vento medida a 2m (m.s<sup>-1</sup>).

### 2.3.1.2 Método de Hargreaves e Samani (HS)

O método de HS (1985) é um método simples e consiste em estimar a ETR a partir radiação extraterrestre e da temperatura máxima, mínima e média do ar. Descrita pela equação:

$$ETR(HS) = 0,0023. Q_o. (Tmax - Tmin)^{0,5}. (Tmed + 17,8) \quad [7]$$

Em que:  $T_{max}$  - temperatura máxima do ar (°C);  $T_{min}$  - temperatura mínima do ar (°C);  $Q_0$  - coeficiente da radiação solar extraterrestre médio do mês para cada mm de evaporação equivalente.

### 2.3.1.3 Método Priestley e Taylor (PT)

O método PT (1972) utilizado neste estudo é descrito pela a equação:

$$ETR(PT) = \frac{\alpha.W.(Rn-G)}{\lambda} \quad [8]$$

Em que ETR PT - Evapotranspiração Real ( $\text{mm.d}^{-1}$ );  $R_n$  - Saldo de radiação ( $\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ );  $G$  - Fluxo total diário de calor no solo ( $\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ );  $\lambda$  - Calor latente de vaporização ( $\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ );  $W$  - Fator de ponderação =  $\Delta/\Delta+\gamma$ , sendo  $\Delta$  a declividade da curva de pressão de vapor, dada pela equação (3) e  $\gamma$  é o coeficiente psicrométrico, dado peça equação (4)

### 2.3.1.4 Método de Jensen e Haise (JH)

A Evapotranspiração Real estimada pelo método de JH (1963) foi obtida através equação:

$$ETR(JH) = R_s(0,025.T_{med} + 0,008) \quad [9]$$

Em que:  $R_s$  - radiação solar global convertida em unidades de água evaporada ( $\text{mm dia}^{-1}$ ); A radiação solar global ( $R_s$ ), foi estimada a partir dos dados de insolação, por meio da equação de Angström-Prescott (ALLEN *et al.*, 1998), dada pela equação

$$R_s = Q_0.(a + b.n/N) \quad [10]$$

Em que:  $a$  e  $b$  - são constantes;  $n$  - insolação (horas);  $N$  - fotoperíodo (horas);  $Q_0$  - irradiância solar extraterrestre ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ).

### 3.3.1.5 Método de Camargo

Com base na equação de Thornthwaite Camargo (1971) propôs uma fórmula mais simplificada, porém com a mesma eficiência na estimativa de ETR em períodos

de 10 ou 30 dias (CAMARGO ; CAMARGO, 1983). Neste método a ETR (mm d') é dada pela equação:

$$ETR(CAMARGO) = F \cdot Q_o \cdot T \cdot ND \quad [11]$$

Em que  $Q_o$  (mm d') é a radiação solar extraterrestre diária expressa em equivalente de evaporação, no período considerado (Quadro A.2),  $T$  (°C) é a temperatura média do período;  $F$  é o fator de ajuste que varia com a temperatura média anual do local (para  $T_m$  até 23°C,  $F = 0,01$ ;  $T_m = 240C$ ,  $F = 0,0105$ ;  $T_m = 25^\circ C$ ,  $F = 0,011$ ;  $T_m = 26^\circ C$ ,  $F = 0,0115$ ;  $T_m > 260C$ ,  $F = 0,012$ ); e  $ND$  é o número de dias do período.

### 3.3.1.6 Método de Penman Original

O método proposto por Penman Original utiliza-se a seguinte equação para estimar a ETR:

$$ETR(Penman) = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot Rn + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{6,43 \cdot (1 + 0,526 \cdot U_2)}{\lambda} \cdot (e_s - e_a) \quad [12]$$

Em que todos os termos da Equação acima já foram definidos anteriormente.

Para fins de análises da significância estatística entre os valores de ETR estimados pelo método Penman-Monteith (FAO) e comparados com os obtidos, pelos demais modelos, utilizou-se a análise de regressão linear através do programa computacional, Excel, considerando a estimativa de ETR pelo método de Penman-Monteith (FAO) como variável dependente, e a estimativa de ETR pelos demais métodos como variável independente, isto é:

$$PM(FAO) = a X + b \quad [13]$$

As precisões das estimativas foram avaliadas por meio do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), coeficiente de correlação de Pearson ( $R$ ) equação 15; Erro padrão de estimativa (EP) equação 16 e o índice de concordância ( $d$ ) de Willmott *et al.* (1985) que quantifica matematicamente a dispersão dos dados em relação ao método considerado padrão. Segundo Willmott *et al.* (1985), o índice de concordância é determinado conforme a equação 14 abaixo:

$$d = 1 - \frac{\Sigma(Pi-Oi)^2}{\Sigma(|Pi-O|+|Oi-O|)} \quad [14]$$

$$R = \frac{[\Sigma_{i=1}^n Pi(Oi-\sigma)]}{[\Sigma_{i=1}^n (Oi-\sigma)^2 \Sigma_{i=1}^n (Pi-P)^2]^{\frac{1}{2}}} \quad [15]$$

$$EP = \left[ \frac{\Sigma_{i=1}^n (Pi-Oi)^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}} \quad [16]$$

Em que:  $O_i$  = valor estimado de ETR pelo método PM (FAO);  $P_i$  = valor de ETR estimado pelos demais métodos;  $O$  = média dos valores estimados de ETR pelo método PM (FAO);  $i$  = o número de eventos.

Na avaliação do desempenho dos métodos analisados, utilizou-se o índice de confiança “c”, proposta por Camargo e Sentelhas (1997) que é uma ferramenta estatística de comparação, que serve como indicador de desempenho dos métodos, reunindo os índices de precisão “r” e de exatidão “d”, sendo expresso pela equação:

$$C = R \cdot d \quad [17]$$

Os valores desse índice variam de 0.0 para nenhuma concordância, a 1.0 para concordância perfeita entre os dados. A Tabela 1 apresenta os critérios para essa classificação.

Tabela 1 - Classificação do desempenho segundo o índice de confiança “c”.

Valor de (c)	Desempenho
>0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Ruim
≤ 0.40	Péssimo

Fonte: Camargo e Sentelhas (1997).

Outra tabela utilizada foi proposta por Hopkins (2000) que classificou os valores encontrados pelo coeficiente de correlação (R)

Tabela 2- Classificação das correlações de acordo com o coeficiente de correlação (R)

<b>Coeficiente de correlação (R)</b>	<b>Classificação</b>
0,0-0,1	Muito Baixa
0,1-0,3	Baixa
0,3-0,5	Moderada
0,5-0,7	Alta
0,7-0,9	Muito Alta
0,9-1,0	Quase Perfeita

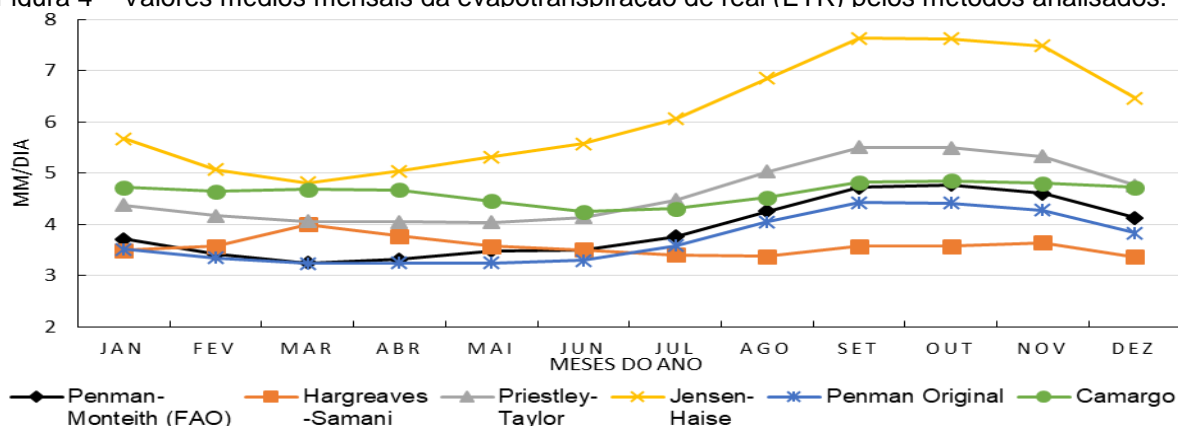
Fonte: Hopkins (2000).

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Análise Mensal

A Figura 4 mostra a variação média mensal entre os valores mensais da Evapotranspiração estimada através métodos analisados neste estudo. Podemos observar que, os métodos de Priestley-Taylor, Camargo e Jensen-Haise superestimaram a evapotranspiração obtida pelo método de Penman-Monteith FAO, em todos os meses do ano. Sanches, *et al.* (2015), encontrou resultado semelhante em estudo realizado em cultura para a região norte. Tendo o método de Jensen-Haise superestimado de uma forma bem acentuada, ficando com mais de 3 mm/dia de diferença no mês de setembro. O método de Hargreaves-Samani no primeiro semestre do ano superestimou a ETR e no segundo semestre o método passou a subestimar a evapotranspiração. Verificou-se também nessa figura que o método de Penman Original foi o que mais se aproximou do método de referência e no primeiro semestre os valores se mostraram mais próximos.

Figura 4 – Valores médios mensais da evapotranspiração de real (ETR) pelos métodos analisados.

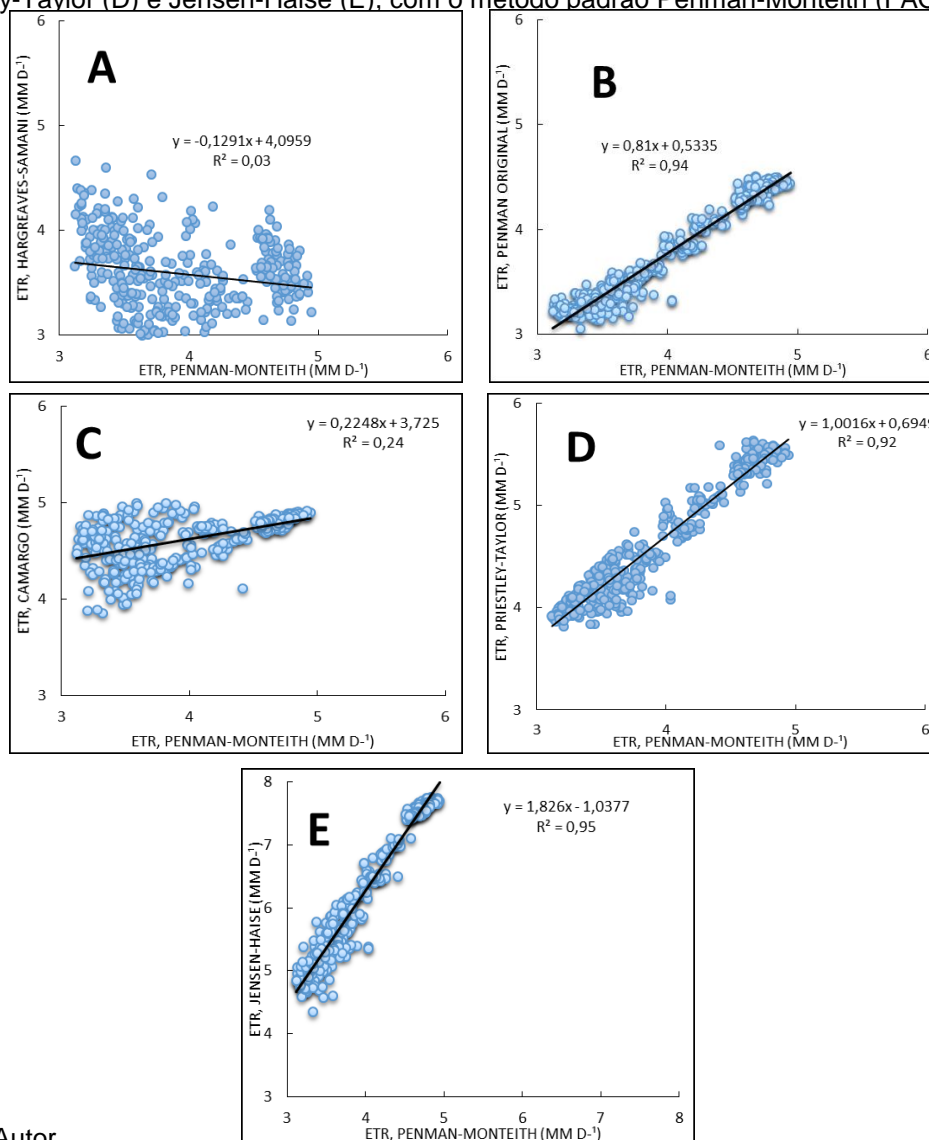


Fonte: Autor.

Na Figura 5 são mostrados os gráficos de dispersão dos valores médios mensais da Evapotranspiração Real, referente ao período mensal, onde pode ser percebido que os métodos Penman Original, Priestley-Taylor e Jensen-Haise apresentaram elevado índice de correlação, conforme visto na Figura 4, com valores de  $R^2$  acima de 0,9. Corroborando com a análise feita na Figura 4 onde foi observado que esses métodos foram os que mais se aproximaram das estimativas de Penman-Monteith (FAO). Também foi observado que os métodos de Camargo e Hargreaves-

Samani apresentaram significância estatística muito baixa, com valores de  $R^2$  de 0,24 e 0,03 respectivamente.

Figura 5 – Gráficos de dispersão dos valores médios diários de Rvapotranspiração Real (ETR) estimados através dos métodos de Hargreaves-Samani (A), Penman Original (B), Camargo (C), Priestley-Taylor (D) e Jensen-Haise (E), com o método padrão Penman-Monteith (FAO).



Fonte: Autor.

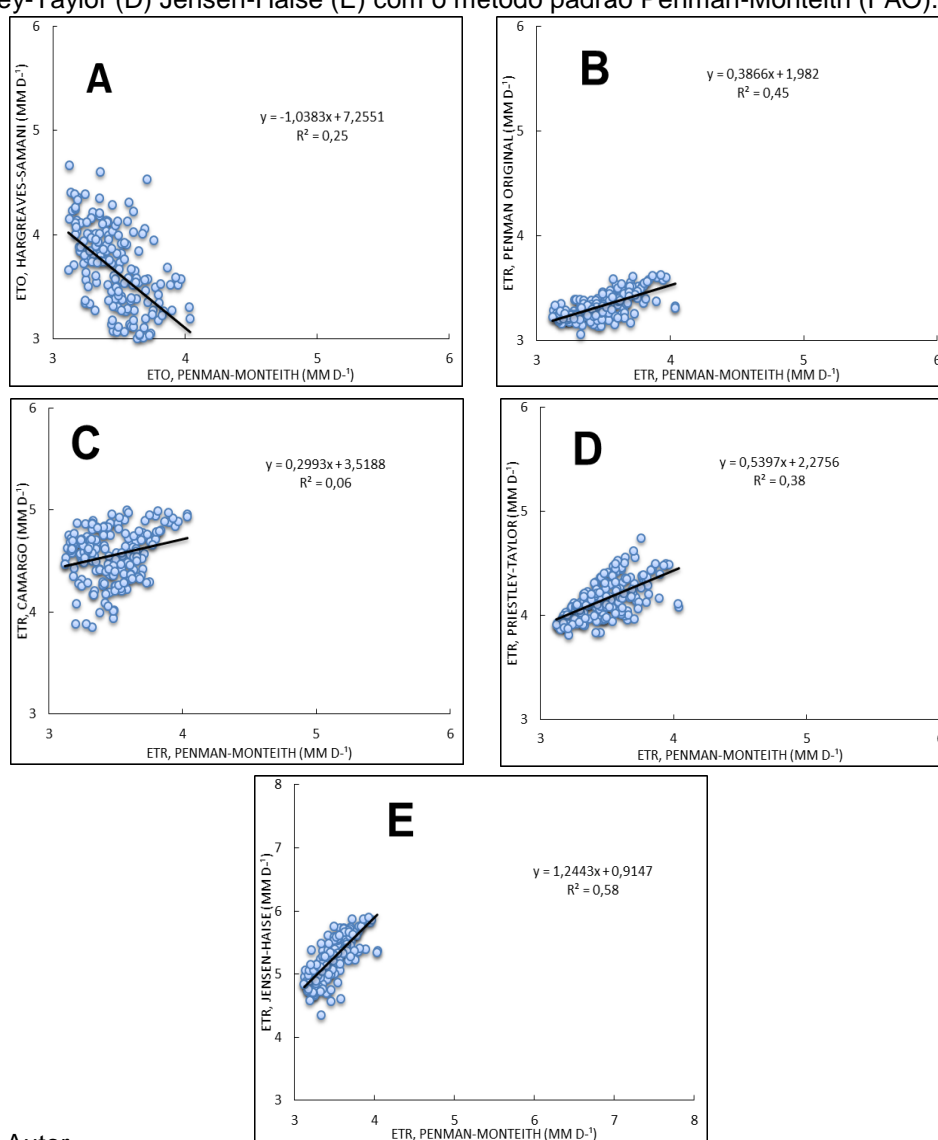
## 3.2 Análise semestral

### 3.2.1 Primeiro Semestre (janeiro-Julho)

Na Figura 6 são mostrados os gráficos de dispersão dos valores estimados, segundo os métodos acima citados, referente ao primeiro semestre do ano. Pode ser visto que nesse período os métodos de Camargo, Priestley-Taylor e Jensen-Haise superestimaram os valores de ETR e o método de Hargreaves-Samani inicialmente

superestimou a ETR e depois a subestimou. Na Figura os métodos de Penman Original e Jensen-Haise obtiveram correlação razoável ( $R^2= 0,45$  e  $0,58$  respectivamente), com Penman-Monteith (FAO). Já os outros métodos apresentaram valores muito baixos de  $R^2$ , ou seja, a equação de regressão não deve ser utilizada com precisão para fazer a correção do método estudado devido à grande dispersão dos dados.

Figura 6 – Gráficos de dispersão dos valores médios diários de Evapotranspiração Real (ETR) estimados através dos métodos de Hargreaves-Samani (A), Penman Original (B), Camargo (C) e Priestley-Taylor (D) Jensen-Haise (E) com o método padrão Penman-Monteith (FAO).



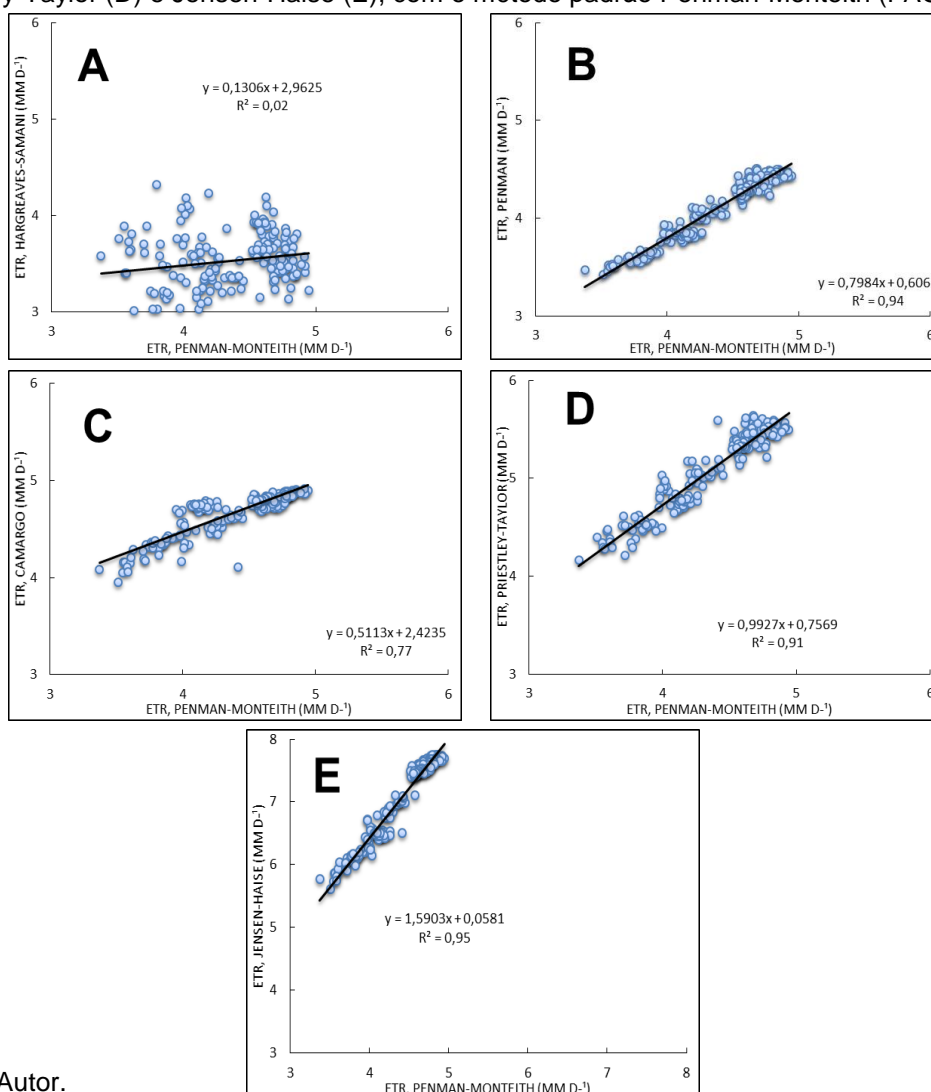
Fonte: Autor.

### 3.2.2 Segundo Semestre (Agosto-Dezembro)

Na Figura 7 são observados os gráficos de dispersão dos valores estimados, para o segundo semestre do ano. Podemos observar que, os métodos mostraram

melhor correlação, com os métodos de Penman Original, Camargo, Priestley-Taylor e Jensen-Haise apresentando ótima correlação com a ETR de Penman-Monteith (FAO), com valores de  $R^2$  de 0,94; 0,77, 0,91 e 0,95 respectivamente; porém, com exceção de Penman Original, que apresentou valores bem próximos, os outros métodos superestimaram a ETR estimada pelo método de padrão. Assim como no período anterior o método de Hargreaves-Samani continuou expressando baixa correlação ( $R^2 = 0,03$ ). Resultados semelhantes foram obtidos por Carvalho *et al.* (2006) e Araújo *et al.* (2007). Segundo Souza e Yoder (1994) e Back (2008), isso ocorre possivelmente, pelo fato do modelo ter sido desenvolvido para condições semiáridas. Portanto, os resultados obtidos indicam que esse método não deve ser usado diretamente nas condições do local em estudo.

Figura 7 – Gráficos de dispersão dos valores médios diários de Evapotranspiração Real (ETR) estimados através dos métodos de Hargreaves-Samani (A), Penman Original (B), Camargo (C), Priestley-Taylor (D) e Jensen-Haise (E), com o método padrão Penman-Monteith (FAO).



Fonte: Autor.

### 3.2.3 Análise do desempenho dos Métodos – Período semestral

#### a) Primeiro semestre

Analisando o desempenho dos métodos (Tabela 3), podemos perceber que apesar do método de Jensen-Haise apresentar correlação razoável ( $R^2 = 0,58$ ), ele foi classificado como ruim devido o coeficiente de confiança (c) ter apresentado valor de 0,49. Os demais métodos de estimativas, também, apresentaram baixo desempenho com exceção do método de Penman Original, que em seu desempenho obteve classificação Bom, indicando que o método pode ser aplicado para a região em estudo.

O baixo desempenho dos métodos de Hargreaves-Samani Camargo, Priestley-Taylor e Jensen-Haise ocorreram possivelmente devido ao fato do primeiro semestre ser um período que apresenta elevado volume de precipitação, como observados na Figura 4; onde também é percebido haver diminuição nos valores de evapotranspiração, pois como constatado e comprovado por (COLLISCHONN; TUCCI, 2014), nesse período a evapotranspiração é menor. Possivelmente, o que ocasiona o mau desempenho nos métodos, todavia, é que eles possuem características para aplicação em climas áridos e semiáridos, porque leva em conta principalmente a radiação solar como variável principal. Estudo desenvolvido por (MEDEIROS, 2008) corrobora a afirmação para o método de Jensen-Haise, mostrando que o desempenho ruim deste método se dá pelo fato dele ter sido desenvolvido para a aplicação nas áreas irrigadas de regiões áridas e semiáridas, diferente das condições climáticas encontradas na área onde este estudo foi desenvolvido.

#### b) Segundo semestre

Conforme demonstrado na Tabela 3; verificamos que apesar do método de Jensen-Haise expressar ótima correlação, o índice d (0,38), indica que não houve uma boa exatidão, apresentando desempenho (c) classificado como Péssimo, assim como o método de Hargreaves-Samani. Já os métodos de Penman Original, Camargo e Priestley-Taylor mostraram desempenho satisfatórios com o índice (d) acima de 0,9, favorecendo para que eles tivessem índice de confiança (c) ótimo.

Nota-se que para esse período ao contrário do semestre anterior, o desempenho mostrou-se mais satisfatório, fato esse que possivelmente ocorreu devido ao semestre ser o menos chuvoso na região e encontraram-se neles os valores mais elevados de evapotranspiração, como visto por Moraes *et al.* (2005) e mostrado também na Figura 4. Ocasionalmente uma condição climática mais favorável às características dos métodos, que possuem como variável meteorológica principal a temperatura.

Tabela 3- Estimativa do erro padrão, do índice concordância (d), coeficiente de correlação (R) e o coeficiente de desempenho (c), além das classificações para os valores encontrados de (d) e (R), obtidos das correlações entre os valores de evapotranspiração real (ETR) pelo método de Penman-Monteith (FAO) com os métodos testados.

Período	Método de Estimativa	Erro padrão	d	R	R <sup>2</sup>	Classificação R	c	Desempenho c
Primeiro semestre	Hargreaves-Samani	0,37	0,97	-0,50	0,25	0	-0,48	Ruim
	Priestley-Taylor	0,14	0,93	0,61	0,38	Alta	0,57	Sofrível
	Jensen-Haise	0,22	0,64	0,76	0,58	Muito Alta	0,49	Ruim
	Penman Original	0,09	1,00	0,67	0,45	Alta	0,67	Bom
	Camargo	0,25	0,87	0,24	0,06	Baixa	0,21	Péssimo
Segundo semestre	Hargreaves-Samani	0,29	0,90	-0,17	0,03	0	-0,15	Péssimo
	Priestley-Taylor	0,12	0,95	0,96	0,91	Quase Perfeita	0,90	Ótimo
	Jensen-Haise	0,14	0,38	0,98	0,95	Quase perfeita	0,37	Péssimo
	Penman Original	0,08	0,99	0,97	0,94	Quase perfeita	0,96	Ótimo
	Camargo	0,11	0,99	0,88	0,77	Muito Alta	0,87	Ótimo

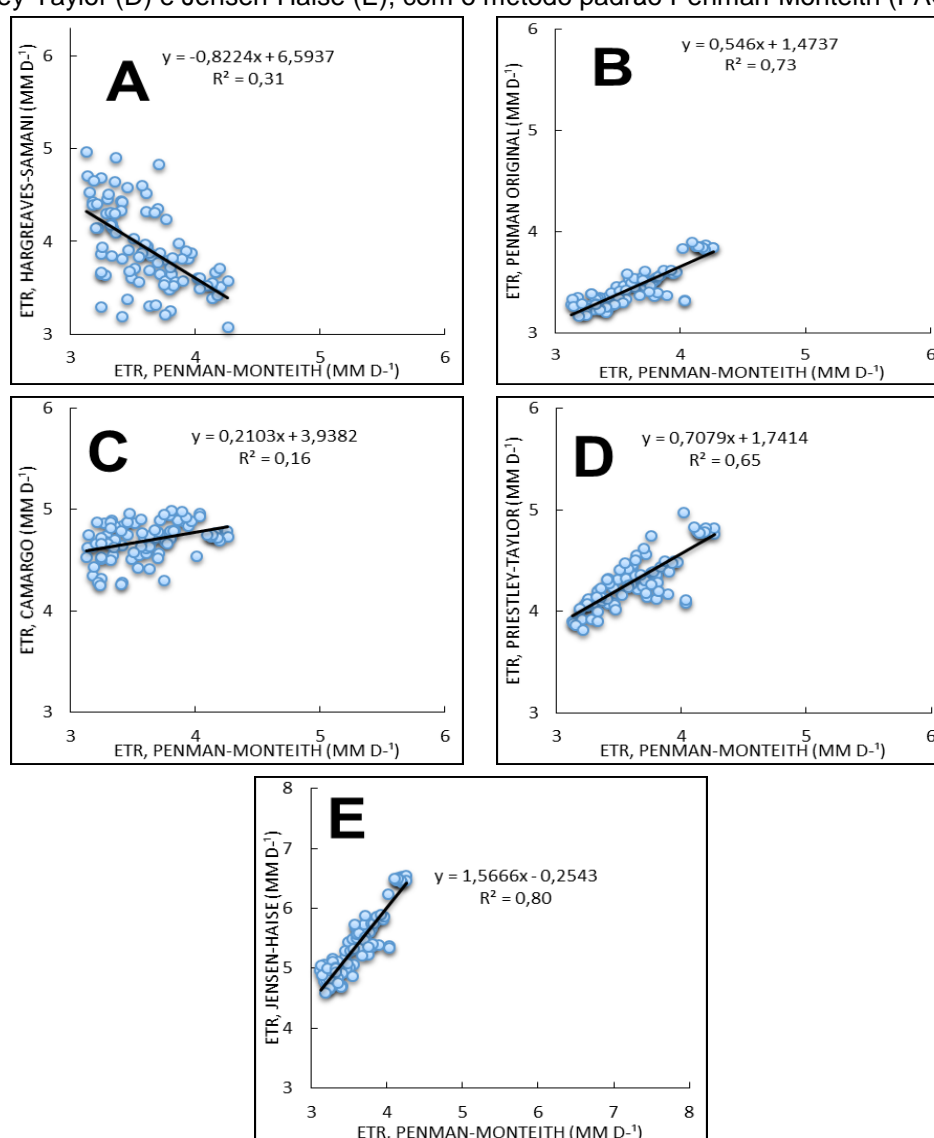
Fonte: Autor.

### 3.3 Análise Sazonal

#### 3.3.1 Verão (Jan – Fev - Mar)

A Figura 8 mostra os gráficos de dispersão dos valores diários de Evapotranspiração Real, onde nesse período foi observado que os métodos de Camargo, Priestley-Taylor e Jensen-Haise superestimaram o método padrão, e o método de Penman Original subestimou. Analisando o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), verifica-se que o método de Penman Original apresentou ( $R^2 = 0,73$ ), Priestley-Taylor ( $R^2 = 0,65$ ) e Jensen-Haise ( $R^2 = 0,80$ ), onde obtiveram uma boa correlação com o método de Penman-Monteith (FAO), em contrapartida o método de Camargo obteve ( $R^2 = 0,16$ ) indicou baixa correlação entre os métodos.

Figura 8 – Gráficos de dispersão dos valores médios diários de Evapotranspiração Real (ETR) estimados através dos métodos de Hargreaves-Samani (A), Penman Original (B), Camargo (C), Priestley-Taylor (D) e Jensen-Haise (E), com o método padrão Penman-Monteith (FAO).

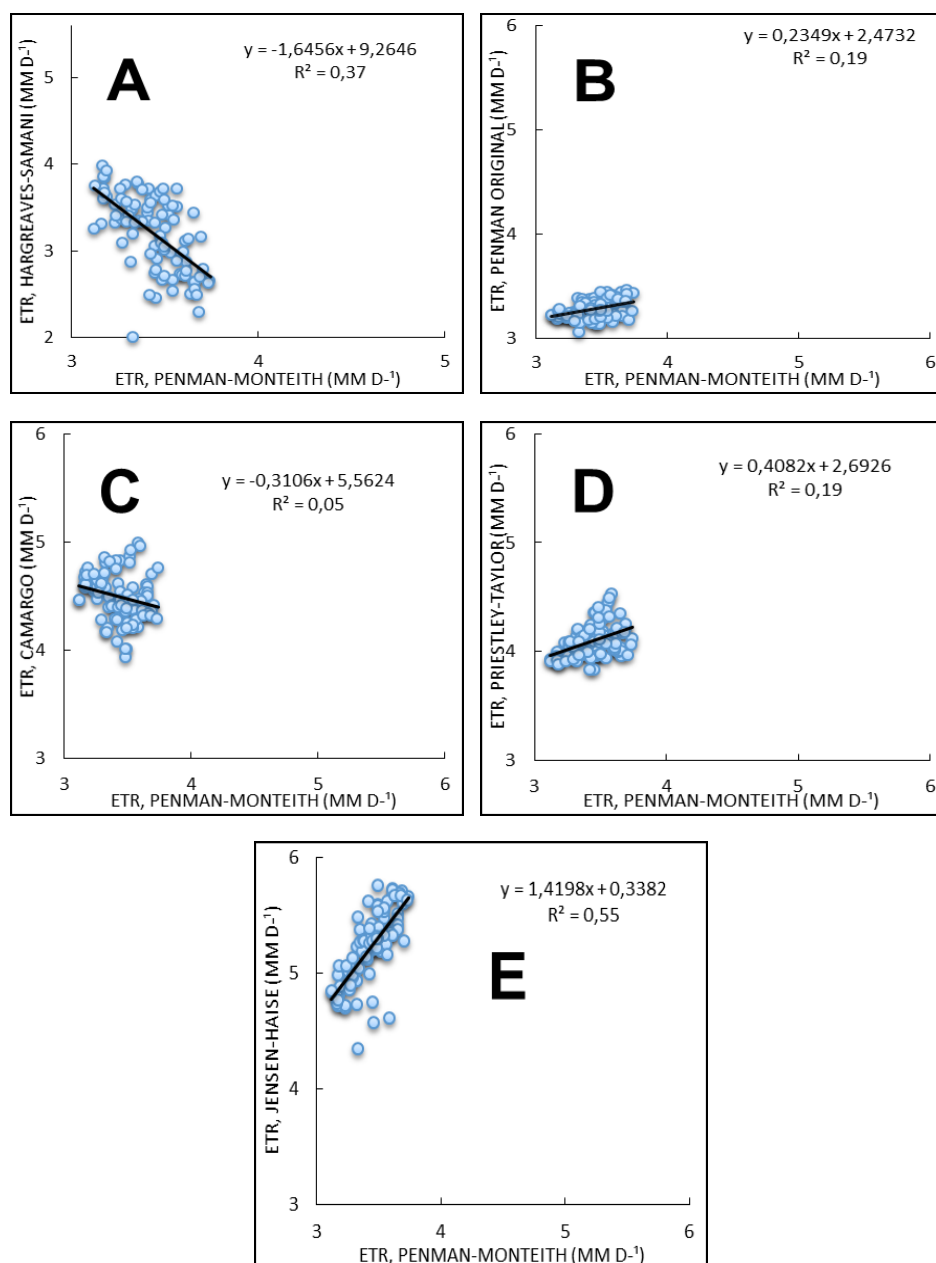


Fonte: Autor.

### 3.3.2 Outono (Abr - Mai - Jun)

Na Figura 9 são mostrados os gráficos de dispersão dos valores estimados através dos métodos estudados. Foi observado valores de  $R^2$  muito baixos, isto é, com valores respectivos de: Hargreaves-Samani ( $R^2 = 0,37$ ), Penman Original ( $R^2 = 0,19$ ), Camargo ( $R^2 = 0,05$ ) e Priestley-Taylor ( $R^2 = 0,19$ ). O método de Jensen-Haise ( $R^2 = 0,55$ ), foi o único que obteve correlação satisfatória nesse período.

Figura 9 – Gráficos de dispersão dos valores médios diários de Evapotranspiração Real (ETR) estimados através dos métodos de Hargreaves-Samani (A), Penman Original (B), Camargo (C), Priestley-Taylor (D) e Jensen-Haise (E), com o método padrão Penman-Monteith (FAO).

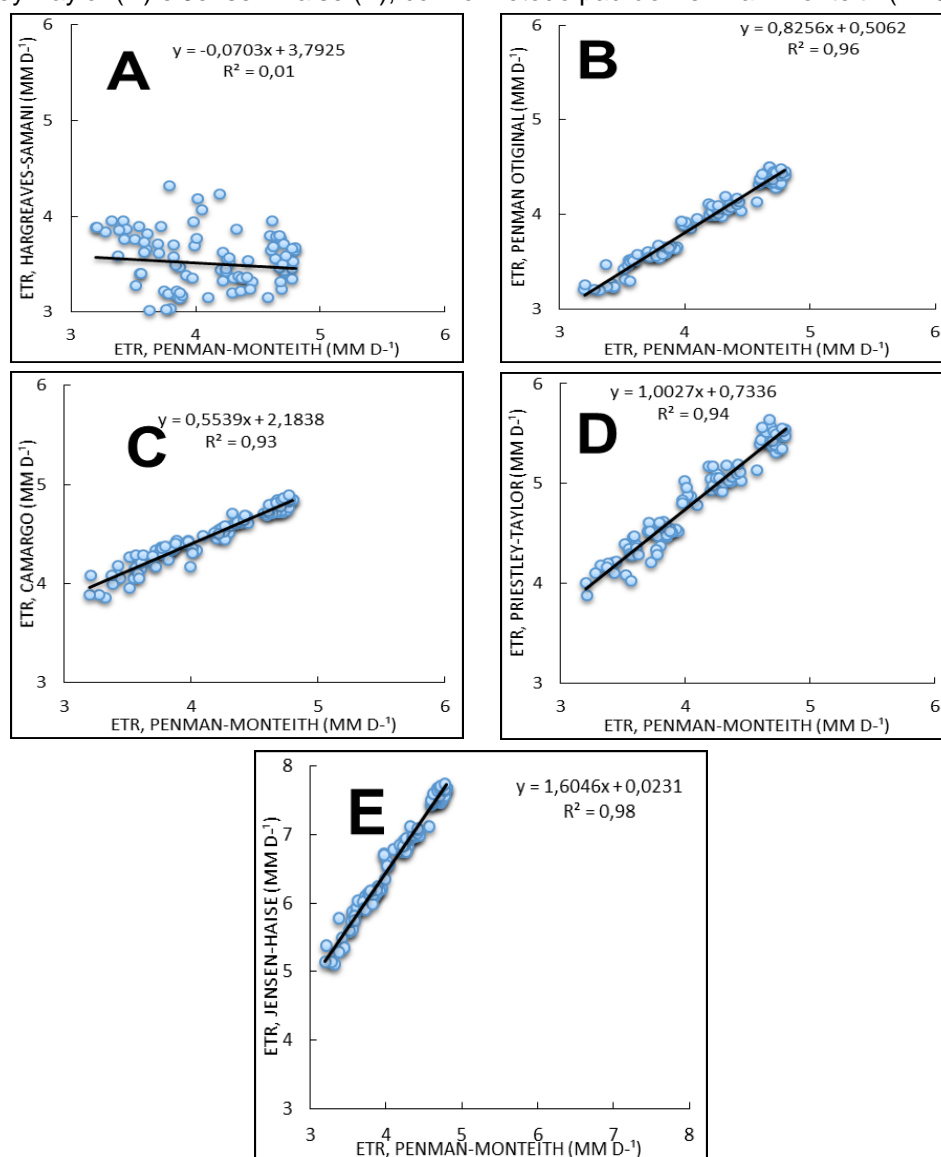


Fonte: Autor.

### 3.3.3 Inverno (Jul – Ago - Set)

A Figura 10 apresenta os gráficos de dispersão dos valores estimados de ETR, onde observamos que neste trimestre ocorreram os maiores valores do coeficiente de correlação, ou seja: Penman Original ( $R^2 = 0,96$ ), Camargo ( $R^2 = 0,93$ ), Priestley-Taylor ( $R^2 = 0,94$ ) e Jensen-Haise ( $R^2 = 0,98$ ). Isto mostrou que houve ótimo ajustamento entre os métodos analisados. Entretanto, o método de Hargreaves-Samani ( $R^2 = 0,01$ ) foi aquele que mostrou baixíssima correlação, em contraste com os demais métodos.

Figura 10 – Gráficos de dispersão dos valores médios diários de Evapotranspiração Real (ETR) estimados através dos métodos de Hargreaves-Samani (A), Penman Original (B), Camargo (C), Priestley-Taylor (D) e Jensen-Haise (E), com o método padrão Penman-Monteith (FAO).

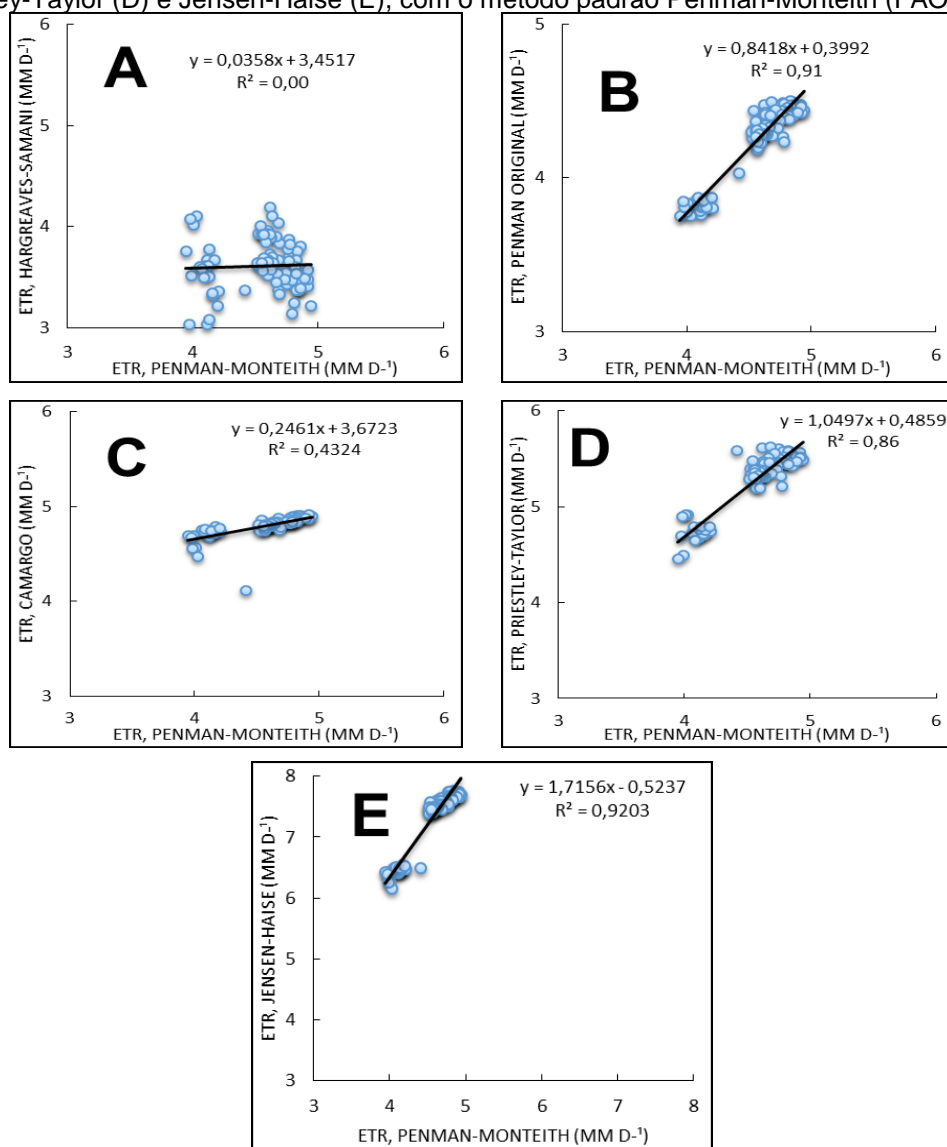


Fonte: Autor.

### 3.3.4 Primavera (Out – Nov - Dez)

Na Figura 11 são mostrados os gráficos de dispersão dos valores estimados de ETR, referentes ao último trimestre do ano. Observou-se que o ajustamento dos valores se mostraram altamente satisfatórios, principalmente em relação aos métodos, Penman Original ( $R^2 = 0,91$ ), Priestley-Taylor ( $R^2 = 0,86$ ) e Jensen-Haise ( $R^2 = 0,92$ ). Finalmente, observou-se, que método de Camargo ( $R^2 = 0,43$ ), mostrou baixa correlação e o método de Hargreaves-Samani ( $R^2 = 00$ ), mostrou correlação nula.

Figura 11 – Gráficos de dispersão dos valores médios diários de Evapotranspiração Real (ETR) estimados através dos métodos de Hargreaves-Samani (A), Penman Original (B), Camargo (C), Priestley-Taylor (D) e Jensen-Haise (E), com o método padrão Penman-Monteith (FAO).



Fonte: Autor.

### 3.3.5 Desempenho dos Métodos no Período Sazonal

#### a) Verão - Trimestre (Jan – Fev - Mar)

Analisando o desempenho dos métodos, observa-se que na Tabela 4, o método de Hargreaves-Samani apresentou coeficiente de correlação negativo  $r = -0,56$ , e o índice de exatidão (d) igual a 0,10 o que não indica uma boa exatidão das estimativas em relação ao método de Penman-Monteith (FAO), mostrando desempenho (c), péssimo. Assim como Hargreaves-Samani, os métodos Priestley-Taylor, Jensen-Haise e Camargo obtiveram desempenho (c) péssimo pois os seus valores do índice (d) foram baixos (0,49, 0,27 e 0,32 respectivamente), diferente do método de Penman Original que mostrou valor de 0,80 no índice (d) e conseqüentemente o seu desempenho foi considerado bom para o período de verão. Segundo Moraes *et al.* (2005), o Verão para a região norte representa a época mais chuvosa do ano e ocasiona os menores valores de evapotranspiração. Conforme apresentado anteriormente na análise do primeiro semestre (Tabela 3), os métodos para o período chuvoso não apresentaram bom ajustamento.

#### b) Outono - Trimestre (Mar – Abr - Mai)

O desempenho dos métodos analisados na Tabela 4, mostram que o método de Hargreaves-Samani acompanhou o mesmo padrão verificado no verão, com (r) negativo e índice (d) próximo de 0 (zero), indicando novamente uma má exatidão e conseqüentemente mostrando péssimo desempenho. Para esse período o método de Camargo obteve resultado semelhante, com (R) negativo e com o índice de exatidão (d) baixo, igual a 0,19, e, por conseguinte, tendo um desempenho (c) péssimo.

Apesar dos métodos de Penman Original, Priestley-Taylor e Jensen-Haise terem obtido desempenho variando de moderado a muito alto pela classificação (R), o índice de exatidão (d) foi baixo para todos os métodos 0,55; 0,30 e 0,15 respectivamente; o que proporcionou para esse período do ano desempenho péssimo em todos os métodos analisados.

c) Inverno - Trimestre (Jun – Jul - Ago)

Na Tabela 4, o desempenho do método Jensen-Haise obteve índice (d) baixo ocasionando desempenho péssimo, e na análise de erro padrão (2,52), notou-se que o resultado corrobora com o que foi mostrado na Figura 10, que mostrou o gráfico de dispersão onde o método superestima de forma acentuada o PM FAO. Já para os métodos de Penman Original, Camargo e Priestley-Taylor, os valores do índice (d) foram de 0,93; 0,75 e 0,64 respectivamente. Com base nesses números os três métodos apresentaram desempenho (c) positivo, sendo que, Penman Original teve desempenho ótimo, Camargo bom e Priestley-Taylor mediano.

Nota-se que para a região Norte o inverno é a época do ano onde há pouca incidência de chuva, causando possivelmente boa estimativa para os métodos que utilizam a temperatura como variável principal, como visto também na análise do segundo semestre (Tabela 3).

d) Primavera - Trimestre (Out – Nov– Dez)

Na Tabela 4 percebemos que todos os métodos tiveram índice (d) acima de 0,95, apresentando concordância quase perfeita e alcançaram valor igual a unidade (1), fora Penman Original e Camargo, o que indicou muita exatidão. Os métodos de Penman Original, Priestley-Taylor e HJ apresentaram valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) elevados, indicando e boa correlação com PM FAO e também com os demais métodos. Proporcionando um coeficiente de desempenho (c) alto, classificando os métodos como ótimos, porém, mesmo o método de Camargo não ter apresentado valor de ( $R^2$ ) tão elevado, conseguiu ter um desempenho bom. Vale ressaltar que apesar dos ótimos desempenhos, todos os métodos superestimaram os valores de ETR obtidos pelo método padrão, exceto Penman Original que subestimou o mesmo.

Esses desempenhos satisfatórios ressalta a análise do segundo semestre e da análise para o inverno, todavia, que foi o período em que a evapotranspiração teve seus valores mais altos, devido a ser a época menos chuvosa da região. Sempre atentando ao fato de que quase todos os métodos utilizam a temperatura como principal variável e na primavera não há tanta incidência de chuva, e por isso os bons desempenhos foram observados nesses períodos do ano.

Tabela 4- Estimativa do erro padrão, do índice concordância (d), coeficiente de correlação (R) e o coeficiente de desempenho (c), além das classificações para os valores encontrados de (d) e (R), obtidos das correlações entre os valores de evapotranspiração real (ETR) pelo método de Penman-Monteith-FAO com os métodos testados.

Trimestre	Método de Estimativa	Erro padrão	d	R	R <sup>2</sup>	Classificação R	c	Desempenho c
Verão (J F M)	Hargreaves-Samani	0,66	0,10	-0,56	0,31	0	-0,06	Péssimo
	Priestley-Taylor	0,72	0,49	0,81	0,65	Muito alta	0,40	Péssimo
	Jensen-Haise	1,82	0,27	0,90	0,80	Muito alta	0,24	Péssimo
	Penman Original	0,24	0,80	0,85	0,73	Muito alta	0,68	Bom
	Camargo	1,15	0,32	0,40	0,16	Moderada	0,13	Péssimo
Outono (A M J)	Hargreaves-Samani	0,58	0,09	-0,61	0,37	0	-0,06	Péssimo
	Priestley-Taylor	0,68	0,30	0,43	0,19	Moderada	0,13	Péssimo
	Jensen-Haise	1,80	0,15	0,74	0,55	Muito alta	0,11	Péssimo
	Penman Original	0,21	0,55	0,44	0,19	Moderada	0,24	Péssimo
	Camargo	1,11	0,19	-0,23	0,05	0	-0,04	Péssimo
Inverno (J A S)	Hargreaves-Samani	0,83	0,37	-0,11	0,01	0	-0,04	Péssimo
	Priestley-Taylor	0,76	0,64	0,97	0,94	Quase perfeita	0,62	Mediano
	Jensen-Haise	2,52	0,29	0,99	0,98	Quase perfeita	0,29	Péssimo
	Penman Original	0,24	0,93	0,98	0,96	Quase perfeita	0,91	Ótimo
	Camargo	0,42	0,75	0,97	0,93	Quase perfeita	0,73	Bom
Primavera (O N D)	Hargreaves-Samani	1,02	0,98	0,04	0,00	Muito baixa	0,04	Péssimo
	Priestley-Taylor	0,73	0,99	0,93	0,86	Quase perfeita	0,92	Ótimo
	Jensen-Haise	2,76	0,95	0,96	0,92	Quase perfeita	0,91	Ótimo
	Penman Original	0,33	1,00	0,95	0,91	Quase perfeita	0,95	Ótimo
	Camargo	0,33	1,00	0,66	0,43	Alta	0,66	Bom

Fonte: Autor.

## 4 CONCLUSÕES

As análises dos resultados nos permitiram as seguintes conclusões:

Na escala de tempo mensal, em relação ao método padrão, o método de Jensen Haise superestimou, as estimativas em todos os meses do ano e essa diferença foi mais evidente no segundo período do ano. Os métodos Priestley-Taylor e Camargo, sobrestimaram também, em todos os meses, porém, de forma menos acentuada. O método de Penman Original, foi aquele que apresentou estimativas mais próximas, principalmente nos primeiros meses do ano; porém, no segundo período do ano, juntamente com o método de Hargreaves-Samani, foi quando ocorreram os valores menores, principalmente, com relação ao método de Hargreaves-Samani. Em termos de correlação estatística, os métodos que apresentaram boa correlação foram: Jensen Haise ( $R^2 = 0,95$ ), Penman Original ( $R^2 = 0,94$ ) e Priestley-Taylor ( $R^2 = 0,92$ ); e os métodos com baixa correlação foram: Hargreaves-Samani ( $R^2 = 0,03$ ) e Camargo ( $R^2 = 0,24$ ).

Com base na análise semestral o pior modelo foi o de Hargreaves-Samani que obteve os menores valores de correlação ( $R^2$ ), com o método Penman-Monteith (FAO), índice (d) baixo para todos os períodos indicando que quase não houve concordância entre os valores analisados, e por conta disso o seu desempenho (c) foi considerado ruim e péssimo. Outro método que não apresentou resultados satisfatórios, tanto para o período chuvoso quanto para o menos chuvoso, foi Jensen-Haise que apresentou resultado ruim para o primeiro semestre e péssimo para o segundo.

Os métodos de Priestley-Taylor, e Camargo obtiveram resultados ruins para o período chuvoso, porém ambos mostraram boa correlação ( $R^2$ ) e concordância (d) com o método padrão para o período menos chuvoso e apresentou resultado muito eficaz, com desempenho ótimo, pecando apenas por superestimar a evapotranspiração. O método de Penman Original foi o que melhor se aproximou do padrão, onde seu resultado de desempenho foi ótimo para ambos os semestres.

Na análise sazonal observou-se que o método de Hargreaves-Samani foi novamente o pior, mostrando apenas péssimos resultados em todas as estações. Como na análise semestral o método que apresentou melhores resultados, foi o de

Penman Original que obteve boa correlação com Penman-Monteith FAO, mostrando desempenho péssimo apenas no outono. Enquanto que os métodos de Priestley-Taylor e Camargo desempenharam resultados satisfatórios para o inverno e primavera, enquanto que Jensen-Haise apenas para a primavera.

Conclui-se que, para a região é melhor fazer a análise por período, onde que, os melhores resultados foram vistos no segundo período da análise semestral e no trimestre do inverno e primavera para o período sazonal nas estimativas de ETR. Apesar de que alguns períodos não mostram resultados satisfatórios no geral, o método de Penman Original apresentou bons resultados, sendo o melhor método para ser aplicado na região. E que o método de Hargreaves-Samani não é um bom estimador de evapotranspiração e não deve ser aplicado na região. Em ocasião de pouca disponibilidade de variáveis meteorológicas, recomendo utilizar o método de Priestley-Taylor, porem se faz necessário fazer calibrações principalmente para período chuvoso.

Evidenciando-se, portanto, que, para a adoção de um método, deve-se atentar para as condições climáticas em que ele foi desenvolvido. Sugiro pesquisas para calibrar os métodos localmente, para que seus desempenhos possam se adequar a região.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D. SMITH, M. **Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998, (FAO Irrigation and drainage paper 56).
- ALENCAR, L.P. de; SEDIYAMA, G.C.; WANDERLEY, H.S.; ALMEIDA, T.S.; DELGADO, R.C. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades no Norte de Minas Gerais. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.19, p.437-449, 2011. DOI: 10.13083/1414-3984.v19n05a05.
- ARAUJO, W. F.; COSTA, S. A.; SANTOS, A. E. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) para Boa Vista, RR. **Caatinga**, Mossoró, v.20, n.4, p.84-88, 2007.
- BACK, A. J. Desempenho de métodos empíricos baseados na temperatura do ar para a estimativa da evapotranspiração de referência em Urussanga, SC. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 4, p. 449-466, 2008.
- CAMARGO, A. P. **Balanço hídrico no Estado de São Paulo**. [S.l.]: IAC,1971. 24p. (Boletim Técnico n. 116).
- CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M.B.P. Teste de uma equação simples da evapotranspiração potencial baseado na radiação solar extraterrestre e na temperatura média do ar. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 3, 1983, Campinas, **Anais....** Campinas: SBA, 1983. p. 229-44.
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B.; FOLEGATTI, M. V.; COSTA, J. R.; CRUZ, F. A. A. Avaliação da evapotranspiração de referência na região Seropédica – RJ, utilizando lisímetro de pesagem. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.14, n.2, p.187-195, 2006.
- COLLISCHONN, B.; TUCCI, C. E. Relações regionais entre precipitação e evapotranspiração mensais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19 n.3 p. 205-214, 2014.
- HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z.A. Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature. Chicago, **Amer. Soc. Agric. Eng. Meeting**, Paper 85-2517, 1985.

HOPKINS, W. G. **Correlation coefficient**. 2000. Disponível em: <http://www.sportsci.org/resource/stats/correl.html>. Acesso: 10 mai. 2019.

LIMA, R.T.; SOUZA, Paulo Jorge de Oliveira Ponte de. **RELAÇÕES RADIOMÉTRICAS EM UM POMAR DE MANGUEIRAS**, cv. TOMMY ATKINS, NO NORDESTE PARAENSE. 2012. (Dissertação de Mestrado).

MEDEIROS, P. V. **Análise da evapotranspiração de referência a partir de medidas lisimétricas e ajuste estatístico de estimativas de nove equações empíricoteóricas com base na equação de Penman-Monteith**. 2008. 241 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

MORAES, B.C.; COSTA, J.M.N.; COSTA, A.C.L.; COSTA, M.H. 2005. Variação espacial e temporal da precipitação no Estado do Pará. **Acta Amazonica** **35**: 207-214

PRIESTLEY, C.H.B.; TAYLOR, R.J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. **Monthly Weather Review**, v.100, n.2, p.81-92, 1972.

SALATI, E. The climatology and hydrography of Amazonia. *In*: PRANCE, G. T. ; LOVEJOY, T. E. **Key environments**: Amazonia. Oxford: Pergamon, 1985. Cap.2, p. 18-48.

SANCHES, F. M.; XIMENES, A. R.; CORADI, P. C.; ROQUE, C. G.; CUNHA, F. F. Estimativa da evapotranspiração de referência na região norte do Brasil. **Revista de Ciências Agroambientais**, v.13, n.2, p.19-31, 2015.

SILVA, K.O. da; MIRANDA, J.H.; DUARTE, S.N.; FOLEGATTI, M.V. Análise de métodos de estimativa de evapotranspiração na otimização de sistemas de drenagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.2, p.161-165, 2005.

SMITH, M. **Reporto n the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediciom of crop water requirements**. Rome: FAO, 1991. 54 p.

SOUZA, F. de; YODER, R. **ET estimation in de northeast of Brazil**: Hargreaves or Penman-Monteith equation. St Joseph: ASAE, 1994. 6p.

STONE, L. F. ; SILVEIRA, P. M. **Determinação da evapotranspiração para fins de irrigação**. [S.l.]: CNPAF - Embrapa, 1995. 49p. (Documento, 55)

VILLA NOVA, N. A.; SALATI, E. ; MATSUI, E. Estimativa da evapotranspiração na Bacia Amazônica. **Acta Amazônica**, v. 6, n. 2, p. 215-228. 1976.

WILLMOTT, C.J. On the validation of model. **Phys. Geogr.**, v. 2, p.184-94, 1981.