

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA



**Avaliação dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para
bacia do rio Piabanha**

VITOR DOS SANTOS COSTA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DO CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (PPGM-IGEO-CCMN-UFRJ), COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM CIÊNCIAS (ÁREA: METEOROLOGIA).

Orientadora: Prof. Dr^a. Célia Maria Paiva
Orientador: Prof. Dr. Luiz Cláudio Gomes Pimentel

Rio de Janeiro

Agosto de 2019

Costa, Vitor dos Santos.

Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para bacia do rio Piabanha /Vitor dos Santos Costa. – Rio de Janeiro: UFRJ/PPGM/IGEO/CCMN, 2019.

xiv, 72 f.: il.; 29,7 cm.

Orientadora: Célia Maria Paiva

Orientador: Luiz Claudio Gomes Pimentel

Dissertação (mestrado) – UFRJ/PPGM/IGEO/CCMN
Programa de Pós-graduação Meteorologia, 2019.

Referências Bibliográficas: f. 57-72.

1. Evapotranspiração de Referência. 2. Avaliação de Métodos. 3. bacia do rio Piabanha. I. Paiva, Célia Maria. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, PPGM/IGEO/CCMN, Programa de Pós-graduação em Meteorologia. III. Título.

**AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO
DE REFERÊNCIA PARA BACIA DO RIO PIABANHA**

VITOR DOS SANTOS COSTA

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DO CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (PPGM-IGEO-CCMN-UFRJ) COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS (ÁREA: METEOROLOGIA).



Prof. Dr. Luiz Cláudio Gomes Pimentel (Orientador) - PPGM-IGEO-UFRJ



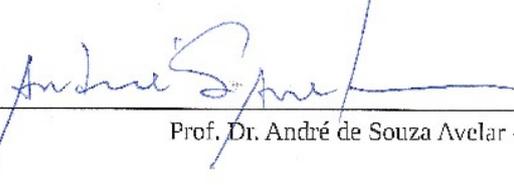
Profa. Dra. Célia Maria Paiva (Orientadora) - PPGM-IGEO-UFRJ



Prof. Dr. Luiz Francisco Pires Guimarães Maia - PPGM-IGEO-UFRJ



Prof. Dr. Wallace Figueiredo Menezes – PPGM-IGEO-UFRJ



Prof. Dr. André de Souza Avelar - UERJ

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

AGOSTO DE 2019

A arte da sabedoria é a iniciativa.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter me possibilitado concluir mais esta etapa.

A toda minha família, em especial a mãe e minha avó, Ilda e Eugênia, minha irmãs Tatiana e Maria Eugênia e também aos meus irmãos Tiago e Leandro que são um referencial de luta.

Um agradecimento especial, a minha professora e orientadora Célia exemplo de dedicação às atividades de pesquisa e ensino.

Ao professor e orientador Luiz Cláudio Gomes Pimentel, pela grande oportunidade e por depositar bastante confiança em mim.

A todos grandes amigos de jornada, pela ajuda e amizade em especial, ao Professor André de Souza Avelar, pelo direcionamento.

Ao saudoso padre Gilberto pela credibilidade, incentivo e ajuda.

Aos grandes amigos que fiz nesta jornada.

À secretaria da pós-graduação, por toda a atenção.

A todos gostaria de expressar minha gratidão e sincera admiração!

RESUMO

Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para bacia do rio Piabanha

Vitor dos Santos Costa

Orientadora: Prof. Dr^a. Célia Maria Paiva

Orientador: Prof. Dr. Luiz Cláudio Gomes Pimentel

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGM/IGEO/CCMN/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.).

Resumo

A evapotranspiração é uma grandeza que consiste na junção da evaporação e da transpiração das plantas, influenciada por variáveis meteorológicas. Tem relevância ímpar na hidrologia, planejamento hídrico e na agricultura.

Neste trabalho foi objetivado avaliar a sazonalidade de três métodos de estimativa de evapotranspiração de referência em relação do método padrão FAO Penman- Monteith-FAO56 na Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha, em Teresópolis-RJ. Com isso, pretende-se indicar o melhor método para estimativa da evapotranspiração na região, visando uma gestão racional da água na irrigação, no período compreendido entre janeiro de 2008 e fevereiro de 2011. As variáveis meteorológicas utilizadas foram temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%), intensidade do vento (m/s) e radiação solar global (w/m^2).

Palavras chave: (Agrometeorologia; Evapotranspiração de Referência; Avaliação de Métodos; Manejo da Irrigação).

Rio de Janeiro

Agosto/2019

ABSTRACT

Evaluation of reference evapotranspiration estimation methods for the Piabanha river basin

Vitor dos Santos Costa

Advisors: Prof. Dr^a. Célia Maria Paiva

Advisors: Prof. Dr. Luiz Cláudio Gomes Pimentel

Abstract da Dissertação apresentada ao PPGM/IGEO/CCMN/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.).

The evapotranspiration is a greatness that consists in the combination of evaporation and the transpiration of the plants, influenced by meteorological variables. It has an odd relevance in hydrology, water planning and agriculture.

This study aimed to evaluate the seasonality of three methods of estimation of reference evapotranspiration in relation to the standard FAO Penman-Monteith-FAO56 method in the Piabanha River Basin, in Teresópolis-RJ. With this, it is intended to indicate the best method for estimating evapotranspiration in the region, aiming at rational water management in irrigation in the period from January 2008 to February 2011. The meteorological variables used were air temperature ($^{\circ}$ C), relative air humidity (%), wind intensity (m / s) and global solar radiation (w / m^2).

Key words: (Agrometeorology; Reference Evapotranspiration; Irrigation Water Management).

Rio de Janeiro

Agosto/2019

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES.....	52
Referências Bibliográficas.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa com a localização do município de Teresópolis – RJ. Fonte: ARAÚJO, 2009.	12
Figura 2 – Localização da Plataforma de Coleta de Dados do CPTEC/INPE, em Teresópolis.	13
Figura 3 – Gráfico de dispersão linear entre a ET_o estimada pelo método Penman-Monteith e a variável Radiação Solar	23
Figura 4 – Gráfico de dispersão linear entre a ET_o estimada pelo método Penman-Monteith e a variável Umidade Relativa do Ar.	23
Figura 5 – Gráfico de dispersão linear entre a ET_o estimada pelo método Penman-Monteith e a variável Temperatura do Ar	24
Figura 6 – Gráfico de dispersão linear entre a ET_o estimada pelo método Penman-Monteith e a variável Temperatura Máxima do Ar.	24
Figura 7 – Gráfico de dispersão linear entre a ET_o estimada pelo método Penman-Monteith e a variável Temperatura Mínima do Ar.	25
Figura 8 – Gráfico de dispersão linear entre a ET_o estimada pelo método Penman-Monteith e a variável Intensidade do Vento.	25
Figura 9 – ET_o média estimada pelo método Penman-Monteith e a radiação solar global diária média mensal.	26
Figura 10 - ET_o média estimada pelo método Penman-Monteith e a temperatura do ar média mensal	27
Figura 11 - ET_o média estimada pelo método Penman-Monteith e a temperatura mínima do ar média mensal.	27
Figura 12 - ET_o média estimada pelo método Penman-Monteith e a temperatura máxima do ar média mensal	28
Figura 13 - ET_o média estimada pelo método Penman-Monteith e a intensidade do vento média mensal	28
Figura 14 - ET_o média estimada pelo método Penman-Monteith e a umidade relativa do ar média mensal	29
Figura 15 – Valores mínimos mensais de ET_o estimados pelos métodos de Penman-Monteith (PM), Hargreaves-Samani (HG), Blaney-Criddle (BC) e Hargreaves-modificado (HGM)	31
Figura 16 – Valores médios mensais de ET_o estimados pelos métodos de Penman-Monteith (PM), Hargreaves-Samani (HG), Blaney-Criddle (BC) e Hargreaves-modificado (HGM)	32
Figura 17 – Valores máximos mensais de ET_o estimados pelos métodos de Penman-Monteith (PM), Hargreaves-Samani (HG), Blaney-Criddle (BC) e Hargreaves-modificado (HGM)	32
Figura 18 – Valores do Desvio Padrão médios mensais das estimativas de ET_o .	

pelos métodos de Penman-Monteith (PM), Hargreaves-Samani (HG), Blaney-Criddle (BC) e Hargreaves-modificado (HGM)	34
Figura 19 – Valores do Desvio Médio Absoluto mensais das estimativas de ET_o pelos métodos de Hargreaves-Samani (HG), Blaney-Criddle (BC) e Hargreaves-modificado (HGM)	34
Figura 20 – Valores do Desvio Médio Relativo (DMR) mensais das estimativas de ET_o pelos métodos de Hargreaves-Samani (HG), Blaney-Criddle (BC) e Hargreaves-modificado (HGM)	35
Figura 21 – Coeficiente de correlação mensal entre a ET_o estimada pelo método Penman-Monteith e pelos métodos de Hargreaves-Samani (HG), Hargreaves-modificado (HGM) e Blaney-Criddle (BC).	36
Figura 22 – Coeficiente de correlação decendial da ET_o entre o método Penman-Monteith e os de Hargreaves-Samani (HG), Hargreaves-modificado (HGM) e Blaney-Criddle (BC)	37
Figura 23 – Desvio Médio (DM) e Desvio Médio Absoluto (DMA) dos métodos de estimativa da ET_o Hargreaves-Samani (HG), Blaney-Criddle (BC) e Hargreaves-modificado (HGM) em relação ao método de Penman-Monteith.	41
Figura 24 - Resultado dos ajustes aplicados às estimativas de ET_o para o método de Hargreaves-Samani para os meses de: (a) janeiro (verão); (b) abril (outono); (c) julho (inverno); (d) setembro (primavera)	42
Figura 25 - Resultado dos ajustes aplicados às estimativas de ET_o para o método de Blaney-Criddle para os meses de: (a) janeiro (verão); (b) abril (outono); (c) julho (inverno); (d) setembro (primavera)	43
Figura 26 - Resultado dos ajustes aplicados às estimativas de ET_o para o método de Hargreaves-modificado para os meses de: (a) janeiro (verão); (b) abril (outono); (c) julho (inverno); (d) setembro (primavera)	44
Figura 27 – Ajustes aplicados às estimativas dos totais mensais de ET_o obtidos pelos métodos de Hargreaves-Samani, Blaney-Criddle e Hargreaves-modificado para os meses de a) janeiro; b) abril; c) julho; d) setembro	47
Figura 28 - Comparação dos gráficos de dispersão sem ajuste e com ajuste para as estimativa de ET_o para o mês de janeiro de 2011: a) ET_o_{PM} e ET_o_{HG} ; b) ET_o_{PM} e $ET_o_{HG_Ajustado}$; (c) ET_o_{PM} e ET_o_{BC} ; d) ET_o_{PM} e $ET_o_{BC_Ajustado}$; e) ET_o_{PM} e ET_o_{HGM} ; f) ET_o_{PM} e $ET_o_{HGM_Ajustado}$	51

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Tabela 1 – Valores do coeficiente de confiança e sua classificação	18
Tabela 2 – Valores do coeficiente de correlação e sua classificação	19
Tabela 3 – Coeficientes de correlação (r) e coeficiente de determinação (r^2) entre a ET_o estimada pelo método Penman-Monteith e as variáveis meteorológicas utilizadas em cada método de estimativa	22
Tabela 4 – Índices estatísticos de desempenho dos métodos de estimativa da ET_o , onde, DMA - Desvio Médio Absoluto, DMR - Desvio Médio Relativo, d - Índice de Concordância, r - Coeficiente de Correlação, r^2 - Coeficiente de Determinação e c - Índice de Confiança	39
Tabela 5 – Ajustes mensais propostos para as estimativas de ET_o obtidas pelos métodos de Hargreaves-Samani (HG), Blaney-Criddle (BC) e Hargreaves- modificado (HGM) para a região de estudo	40
Tabela 6 – Desvios Médios Absolutos antes e após aos ajustes aplicados aos métodos de Hargreaves-Samani (DMA_{HG} e $DMA_{HG_Ajustado}$), Blaney- Criddle (DMA_{BC} e $DMA_{BC_Ajustado}$) e Hargreaves-modificado (DMA_{HGM} e $DMA_{HGM_Ajustado}$)	45
Tabela 7 – Desvios Médios Relativos antes e após aos ajustes aplicados aos métodos de Hargreaves-Samani (DMR_{HG} e $DMR_{HG_Ajustado}$), Blaney- Criddle (DMR_{BC} e $DMR_{BC_Ajustado}$) e Hargreaves-modificado (DMR_{HGM} e $DMR_{HGM_Ajustado}$) para a ET_o total mensal para os meses de janeiro, abril, julho e setembro	46
Tabela 8 – Coeficientes angular (b) e linear (a), de correlação (r) e de regressão (r^2) da reta de regressão entre cada método avaliado e o de Penman-Monteith, Desvio Médio Absoluto (DMA) e Desvio Médio Relativo (DMR) para o mês de janeiro	48
Tabela 10 – Coeficientes angular (b) e linear (a), de correlação (r) e de regressão (r^2) da reta de regressão entre cada método avaliado e o de Penman- Monteith, Desvio Médio Absoluto (DMA) e Desvio Médio Relativo (DMR) para o mês de julho	49
Tabela 11 – Coeficientes angular (b) e linear (a), de correlação (r) e de regressão (r^2) da reta de regressão entre cada método avaliado e o de Penman- Monteith, Desvio Médio Absoluto (DMA) e Desvio Médio Relativo (DMR) para o mês de setembro	49

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

c	Coeficiente de Confiança
d	Índice de Concordância ou Índice de Willmott
Δ	Tangente à Curva de Pressão de Vapor
DMA	Desvio Médio Absoluto
DMR	Desvio Médio Relativo
e_a	Pressão de Vapor Atual
ET	Evapotranspiração
ET_o	Evapotranspiração de uma Cultura de Referência
ET_o_{BC}	Evapotranspiração de Referência pelo Método de Blaney-Criddle
ET_o_{HG}	Evapotranspiração de Referência pelo Método de Hargreaves-Samani
ET_o_{HGM}	Evapotranspiração de Referência pelo Método de Hargreaves-modificado
ET_o_{PM}	Evapotranspiração de referência pelo Método FAO56 Penman-Monteith
e_s	Pressão de Vapor de Saturação
F	Fator de Ajuste do Método de Camargo
f	Função de
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (<i>Food and Agriculture Organization</i>)
γ	Constante Psicrométrica
K_c	Coeficiente da Cultura
K_s	Coeficiente de Água no Solo
L	Calor Latente de Evaporação
LE	Fluxo de Calor Latente
N	Número de Estimativas
O	Evapotranspiração Estimada pelo Método de FAO-56 Penman Monteith
PCD	Plataforma de Coleta de Dados
r	Coeficiente de Correlação
r^2	Coeficiente de Determinação
R_a	Radiação Solar no Topo da Atmosfera Total Diária
R_g	Radiação Solar Global
R_i	Saldo de Radiação
S	Fluxo de Calor Sensível para o Solo

T	Temperatura
T_{ar}	Temperatura do Ar
T_{max}	Temperatura do Ar Máxima Diária
T_{min}	Temperatura do Ar Mínima Diária
U	Intensidade do Vento
U_2	Intensidade do Vento Média Diária Medida a 2 Metros
UR	Umidade Relativa do Ar

Capítulo 1 – Introdução

1.1 Introdução

Evapotranspiração, segundo Borges e Mendiondo (2005), é a perda de água de uma superfície com qualquer tipo de vegetação e sob qualquer condição de umidade do solo. Essa é uma variável de extrema importância para a modelagem hidrológica e para a racionalização do uso da água na geração de energia e na agricultura. Entretanto, sua determinação não é uma tarefa das mais fáceis, uma vez que depende da umidade do solo, do tipo de vegetação e do clima local. Objetivando a simplificação de tais cálculos, definiu-se o conceito de evapotranspiração de referência (Allen et al., 1998), que necessita apenas de dados meteorológicos para sua quantificação, podendo ser ajustada posteriormente às condições específicas de vegetação e umidade do solo (Mantovani, 1993).

Para a quantificação da evapotranspiração de referência, utilizam-se modelos empíricos ou com embasamento físico (Soares et al., 2003, citados por Borges e Mendiondo, 2005). A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (Food and Agriculture Organization –FAO) recomenda o uso do método de Penman-Monteith para a estimativa de evapotranspiração de referência (Allen et al., 1998). Entretanto, esse modelo apresenta um nível de exigência de dados de entrada que dificulta sua aplicação, uma vez que tais elementos meteorológicos nem sempre se encontram disponíveis em algumas regiões (Carmo et al., 2005). Nesses casos, a alternativa, seria o uso de equações simplificadas ou empíricas, que, conseqüentemente, perdem muito da realidade física. Essas equações empíricas são razoavelmente boas para o local onde foram calibradas. No entanto, para fornecerem estimativas precisas fora das condições em que foram definidas, precisam ser avaliadas e calibradas regionalmente (Mantovani, 1993).

Por outro lado, o que se observa em âmbito nacional é o uso inadequado de equações empíricas. Vale ressaltar que tal prática é motivada, muitas vezes, pela falta de dados para avaliação e calibração local dessas equações, antes de sua utilização. Vepraskas et al. (2006) mencionam que os erros de estimativa da evapotranspiração são uma das maiores fontes de erros para os modelos hidrológicos. Nesse sentido, fazem-se necessários estudos que determinem os erros médios de tais equações empíricas para diferentes condições climáticas, tendo em vista que a evapotranspiração é uma variável crucial para a modelagem hidrológica

Segundo o World Resources Institute (WRI,2009) as disponibilidades de água doce no mundo é de um total de 2,5%. Somente 0,007% desse valor é acessível ao consumo, sendo que a agricultura utiliza 70% desses 0,007%para a produção de alimentos.

A produção agrícola é extremamente dependente da água doce e das condições meteorologias que muitas vezes podem limitar ou até mesmo inviabilizar o cultivo de uma determinada cultura em uma região.

A crescente demanda por água doce, devido à ampliação da atividade econômica e do crescimento populacional mundial, tanto na agricultura como para outros fins, assim como sua possibilidade de escassez, exigem um uso racional desse recurso. Sendo esse um recurso finito, pode ocorrer, em alguns locais, uma tendência à exaustão das reservas de água de boa qualidade, inviabilizando determinados usos essenciais, como o abastecimento humano e a produção de alimentos (Carmo *et al.*,2005).

Aperfeiçoar a gestão dos recursos hídricos é o primeiro passo para sua conservação. Nesse sentido, a evapotranspiração, como uma das componentes do balanço de água, é de grande utilidade em climatologia, para a quantificação das disponibilidades hídricas regionais (Cardoso e Marcelino, 2005). A estimativa das perdas por evaporação e transpiração é de grande importância para atividades como projetos de irrigação, gerenciamento de reservatórios e planejamento de uso e outorga de recursos hídricos, entre outras (Borges e Mendiondo,2005).

1.2) OBJETIVOS

1.2.1) Geral

Este estudo tem como objetivo avaliar a influência da sazonalidade em três métodos de estimativa de evapotranspiração de referência em relação ao método padrão FAO Penman- Monteith-FAO56 na Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha, em Teresópolis-RJ. Com isso, pretende-se indicar o melhor método para a estimativa da evapotranspiração na região, visando uma gestão racional da água na irrigação.

1.2.2) Específicos

- i) Avaliar a influência regional das variáveis meteorológicas que atuam no fenômeno da evapotranspiração de referência;
- ii) Quantificar a evapotranspiração de referência pelo método de referência Penman-Monteith-FAO-56;
- iii) Estimar a evapotranspiração de referência pelos métodos Blaney-Criddle, Hargreaves e Hargreaves-Modificado;
- iv) Analisar sazonalmente as estimativas dos métodos, considerando as escalas temporais iguais a 10 e 30 dias, frente aos resultados de Penman-Monteith-FAO-56.

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Considerações iniciais

A evapotranspiração é definida como a soma da perda de água pela evaporação do solo e pela transpiração da cobertura vegetal, sendo, portanto, uma grandeza que entra no cálculo da quantidade de água a ser aplicada em culturas irrigadas. Assim, a evapotranspiração das culturas é uma das principais informações necessárias para o manejo racional da irrigação e para fins de planejamento do uso da água.

2.2. Conceitos teóricos sobre evapotranspiração

A importância da evapotranspiração para planta está associada ao processo de controle de sua temperatura e à absorção de nutrientes do solo. Praticamente toda a água absorvida, depois de percorrer toda a planta levando nutrientes, chega à cavidade estomática onde transforma-se em vapor. O vapor na cavidade estomática é transferido para a atmosfera através dos estômatos abertos (Ferri, 1985; Larcher, 2000; Mavi e Tupper, 2004; Pereira *et al*, 1997; Rosenberg, 1983).

2.2.1. A física da evapotranspiração

Segundo Allen *et al.* (1998) os conceitos físicos de interesse neste estudo são definidos da seguinte forma:

Evaporação é o processo pelo qual a água líquida é transformada em vapor (vaporização) e removido da superfície evaporante. É um fenômeno que exige o suprimento de energia externa sendo, portanto, um processo de transformação de calor latente em calor sensível.

Transpiração é a evaporação da água que foi utilizada nos diversos processos metabólicos necessários ao crescimento e desenvolvimento das plantas. Essa evaporação se dá através dos estômatos que são estruturas de dimensões microscópicas ($< 50 \mu\text{m}$) que ocorrem nas folhas (de 5 a 200 estômatos mm^{-2}) por onde se efetuam as trocas gasosas - CO_2 , O_2 e vapor de água - entre a planta e a atmosfera e, que na maioria das plantas, permanecem abertos durante o dia e fechados durante a noite e nas condições de acentuado estresse hídrico. Fisicamente é um processo idêntico à evaporação.

Por sua vez, a evapotranspiração é o processo combinado de evaporação na superfície do solo e de transpiração da superfície da planta.

A mudança de estado das moléculas de água líquida para vapor requer uma quantidade de energia denominada de Calor Latente de Evaporação (L) ou a quantidade de energia necessária para evaporar a massa de 1 grama de água estando esta a temperatura T:

$$L = 2497 - 2,37 \times T(K) \quad [J.g^{-1}] \quad (2.1)$$

Essa energia é fornecida pela radiação solar direta e pela temperatura ambiente do ar. A força motriz que remove o vapor de água da superfície evaporante é a diferença de pressão de vapor entre essa superfície evaporante e a atmosfera. A medida que esse processo vai ocorrendo o ar torna-se gradualmente mais úmido e a velocidade com que o vapor de água é transferido para atmosfera diminui, podendo cessar, caso o ar fique saturado e não seja renovado. A substituição do ar saturado por ar seco depende fortemente da intensidade do vento. Portanto, a radiação solar, a temperatura do ar, umidade do ar e intensidade do vento são as variáveis meteorológicas que afetam o processo de evaporação.

Evaporação e transpiração ocorrem simultaneamente, não sendo fácil distinguir um processo do outro. Em um solo vegetado, a água evaporada de sua superfície é controlada principalmente pela porção de radiação solar que atinge essa superfície. Essa fração de radiação que atinge o solo diminui à medida que a vegetação cresce e cobre gradativamente todo o solo. Quando a vegetação é pequena a água é perdida principalmente por evaporação, mas quando a vegetação está na fase adulta cobrindo todo o solo, a transpiração torna-se predominante. A transpiração, assim como a evaporação, depende:

- i) De um suprimento de energia para ocorrer;
- ii) Da existência de um gradiente de vapor de água entre a superfície evaporante e a atmosfera;
- iii) Da quantidade de água no solo;
- iv) Das características, estágio de desenvolvimento e condições agronômicas da cultura.

Pode-se expressar o processo físico da evapotranspiração como uma função dos fatores que influenciam sua intensidade, a saber, segundo Allen *et al.* (1998), Burman e Pochop (1994), Jessen *et al.* (1990), Pereira *et al.* (1997):

ET = f (ATMOSFERA, PLANTA, CONDIÇÕES AGRONÔMICAS, TEOR DE ÁGUA NO SOLO)

onde,

ET: evapotranspiração [mm.dia⁻¹];

ATMOSFERA: representa o conjunto de condições atmosféricas que influenciam a ocorrência da evapotranspiração, ou seja, a radiação solar global (R_g) e a temperatura do ar (T_{ar}) que cumprem o papel de suprimento de energia para o processo; a umidade relativa do ar (UR) e a intensidade do vento (U) que expressam a capacidade da atmosfera em receber vapor de água e de remover o ar úmido sobre a superfície evaporante para que o ar não sature e dessa forma o processo possa ter continuidade. Em síntese, esse fator representa a demanda atmosférica ou a capacidade da atmosfera em absorver vapor d'água.

PLANTA: representa o porte (PC) e o estágio fenológico (EF) da cultura. Esses aspectos influenciam o processo na medida em que uma planta de pequeno porte transpira menos que uma planta de médio porte, que por sua vez transpira menos que uma de grande porte. Assim, nas mesmas condições ambientais, por exemplo, uma planta de alface consome menos água que uma planta de milho que consome menos que uma árvore. Para uma mesma planta, o seu estágio fenológico irá contribuir no consumo de água na medida em que uma planta jovem e pequena, em crescimento, irá transpirar menos que uma planta da mesma espécie na fase adulta, quando alcançou seu tamanho definitivo.

CONDIÇÕES AGRONÔMICAS (CA): representa as condições de sanidade da cultura e de nutrientes no solo. Nesse sentido, uma planta acometida por praga ou doença, em geral tem suas folhas danificadas e sua capacidade de transpirar reduzida, uma vez que as folhas são o aparato por onde as plantas transferem, através dos estômatos, vapor d'água para a atmosfera. Da mesma forma, a deficiência de determinados nutrientes no solo pode levar a uma alteração prejudicial da transpiração, fazendo com que a planta transpire menos ou mais que suas reais necessidades na tentativa de compensar tal condição desfavorável.

TEOR DE ÁGUA NO SOLO (TAS): representa a quantidade de água disponível para a

evapotranspiração. Se o solo estiver seco ou com um teor insuficiente de água, mesmo que as condições atmosféricas e da cultura estejam favoráveis ao processo, a evapotranspiração se anula ou se reduz drasticamente.

Portanto, a taxa em que o processo da evapotranspiração ocorrerá no campo será uma combinação das intensidades dos fatores que a governam. Entretanto, pode-se analisar a influência isolada de cada fator para um melhor entendimento do fenômeno. Nesse sentido, será apresentado a seguir um quadro em que a tendência de cada fator que influencia a intensidade (taxa) da evapotranspiração é analisada isoladamente. Por esse quadro observa-se que entre os fatores atmosféricos, o aumento em magnitude da radiação solar global (R_g), da temperatura do ar (T_{ar}) e do vento (U) tendem a aumentar a demanda atmosférica e, portanto, taxa de evapotranspiração, sendo que a sua diminuição tende a reduzi-la. Por outro lado, a taxa de ET tem um comportamento inverso ao da umidade relativa do ar (UR). Em relação à planta, uma cultura de pequeno porte ou ainda jovem transpira menos e vice-versa. Boas condições agronômicas serão favoráveis a uma adequada taxa da ET para a cultura, o contrário não. Um solo úmido permite que a evapotranspiração responda à tendência favorável dos demais fatores à ET, já um solo seco não. Isso significa que se os fatores atmosféricos, da planta e agronômicos tenderem a aumentar a ET, isso só ocorrerá se houver um teor suficiente de água no solo.

Quadro 2.1 - Tendência da ET em função dos fatores que a influenciam.

Fator	R _g	T _{ar}	U R	U	P C	EF	C A	TA S	Interpretação
Tendência do fator	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↓↑	↓↑	↑↓	↑↓	<p>↑: aumento na magnitude do fator ou condição ótima do mesmo.</p> <p>↓: diminuição na magnitude do fator ou condição limitante do mesmo.</p>
Tendência da ET	↑↓	↑↓	↓↑	↑↓	↓↑	↓↑	↑↓	↑↓	<p>↑: aumento na intensidade da ET.</p> <p>↓: diminuição na intensidade da ET.</p>

2.2.3. Medida da evapotranspiração

De acordo com Pereira *et al.* (1997), a taxa de evapotranspiração é normalmente expressa em milímetros (mm) por unidade de tempo. Essa taxa expressa a quantidade de água perdida por uma superfície vegetada em unidade de altura de água. A unidade de tempo pode ser em hora, dia, decênio, mês ou todo o período de crescimento da cultura ou ano. As unidades utilizadas são descritas a seguir:

$$1 \text{ hectare (ha)} = 10.000 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ mm} = 0,001 \text{ m}$$

$$1 \text{ mm} = 10 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$$

$$1 \text{ mm.dia}^{-1} = 10 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{dia}^{-1}$$

A altura de água pode ser expressa também em termos de energia recebida por unidade de área. Essa energia refere-se à quantidade necessária de energia ou calor requerida para evaporar a água, denominada de calor latente de vaporização (L), que é função da temperatura da água. Para evaporar 1,0 mm de água é necessário uma

quantidade de energia igual a $2,45 \text{ MJ.m}^{-2}$. A taxa de evapotranspiração expressa em unidades de $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ é representada pelo fluxo de calor latente (LE).

$$1 \text{ mm} = 2,45 \text{ MJ.m}^{-2}$$

A determinação da evapotranspiração no campo pode ser efetuada por métodos de medida direta como a utilização de lísimetro que computa o balanço de água no solo ou por medida indireta com a aplicação de métodos micrometeorológicos tais como o da correlação turbulenta/balanço de massa e razão Bowen/balanço de energia (Allen *et al.*, 1998; Burman e Pochop, 1994; Jessen *et al.*, 1990; Pereira *et al.*, 1997; Salassier *et al.*, 2006). No entanto, tais medidas não são de fácil realização, sendo necessário operadores treinados para sua exatidão. Esses métodos são bastante onerosos e impróprios para medidas rotineiras, sendo, portanto, interessante a estimativa da ET por meios mais práticos. Para atender a essa necessidade, a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (*Food and Agriculture Organization – FAO*), vem promovendo durante décadas pesquisas direcionadas à elaboração de métodos de estimativa da evapotranspiração para fins de manejo de irrigação que sejam práticos e de fácil aplicação por parte dos agricultores. Nesse processo, diferentes métodos foram desenvolvidos e serão comentados a seguir.

2.2.4. Estimativa da evapotranspiração

Os métodos desenvolvidos pela FAO estimam a taxa de evapotranspiração de uma cultura de referência (ET_0). Ou seja, a ET_0 é definida como a evapotranspiração de uma superfície com grama batatais adulta saudável, cobrindo totalmente o solo, sem limitações de água e nutrientes no solo, isto é, em ótimas condições hídricas e agronômicas. Nesse caso, só falta a informação sobre as condições da atmosfera para se calcular a evapotranspiração da grama. Como a ET_0 só depende das condições atmosféricas para ser calculada, isso significa que ela representa a demanda evaporativa da atmosfera, ou seja, a quantidade máxima de água que a grama adulta em ótimas condições hídricas e agronômicas poderia perder para a Atmosfera. Dessa forma, segundo Allen *et al.*, (1998), Burman e Pochop (1994), Doorenbos e Kassam (1979), Jessen *et al.* (1990):

$$ET_o = f(\text{ATMOSFERA})$$

Porque nas equações já estão embutidas as demais informações, a saber:

- * A Planta (espécie, variedade e estágio fenológico): grama batatais adulta.
- * Condições Hídricas do solo: solo com ótimas condições hídricas para a cultura.
- * Condições Agronômicas: solo fértil e planta saudável sem pragas ou doenças.

Para se ter a evapotranspiração da cultura real no campo, é necessário ajustar a ET_o . Esse ajuste se faz embutindo no cálculo as informações sobre a cultura real e as condições hídricas e agronômicas reinantes no campo, ou seja, de acordo com Allen *et al.* (1998), Burman e Pochop (1994), Doorenbos e Kassam (1979), Jessen *et al.* (1990):

$$ET_r = ET_o \times K_c \times K_s \quad (2.2)$$

onde,

ET_r : é a evapotranspiração real, representando a evapotranspiração da cultura no campo [mm.dia^{-1}].

ET_o : é a evapotranspiração de referência, representando a demanda atmosférica [mm.dia^{-1}].

K_c : é o coeficiente da cultura, representando a espécie, variedade, estágio fenológico e as condições agronômicas (Allen *et al.*, 1998; Doorenbos e Kassam, 1979; Jessen *et al.*, 1990; Ramos *et al.*, 2000).

K_s : é o coeficiente de água no solo que pode variar de zero a 1,0 para condição de solo seco até solo saturado, respectivamente (Allen *et al.*, 1998; Jessen *et al.*, 1990).

Entre os métodos de estimativa de ET_o , encontram-se os denominados físicos matemáticos que representam com mais fidelidade a física envolvida na evapotranspiração e aqueles intitulados empíricos que não possuem uma significação física, representando uma relação puramente matemática ou estatística entre a ET_o e as variáveis atmosféricas medidas localmente (Allen *et al.*, 1998; Burman e Pochop, 1994; Doorenbos e Kassam, 1979; Jessen *et al.*, 1990; Salassier *et al.*, 2006). Assim, os métodos com embasamento físico representam bem o processo da ET_o em qualquer região e condições climáticas. Já os métodos empíricos, desenvolvidos especificamente

para uma determinada condição climática, podem não funcionar bem para regiões distintas daquela para a qual foi desenvolvido. Diante desse fato, faz-se necessário avaliar o desempenho dos diferentes métodos empíricos antes de utilizá-los em uma determinada região para fins de manejo de irrigação. Assim, pode-se estabelecer os erros associados a cada método e ter-se a definição do mais indicado para a região de interesse em função da magnitude de seus erros.

A FAO recomenda o uso do método de FAO56 Penman-Monteith, um método físico matemático, para a estimativa da ET_0 (Allen *et al.*, 1998). Entretanto, esse método apresenta um nível de exigência de dados de entrada que dificulta sua aplicação, uma vez que tais elementos meteorológicos nem sempre se encontram disponíveis em algumas regiões. Nesses casos, a alternativa seria utilizar métodos empíricos com uma menor exigência em termos de dados meteorológicos e que tenham sido avaliados regionalmente. Para proceder tal avaliação, a FAO indica como método padrão o FAO56 Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998) utilizado amplamente para esse fim.

Capítulo 3 – Materiais e Métodos

3.1 Área de estudo e dados utilizados

A área do presente estudo está localizada na Região Serrana do estado do Rio de Janeiro, inserida na bacia do rio Piabanha, com uma extensão de aproximadamente 2000 km², no município de Teresópolis (Figura 1). Nesta bacia há elevado uso da água para a irrigação da produção olerícola (verduras e legumes).

O clima da região é caracterizado como tropical quente e úmido, com temperatura média mensal acima de 18°C em todos os meses, apresentando de um a dois meses secos por ano (IBGE, 2002).

Os dados foram obtidos na estação meteorológica automática do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos CPTEC/INPE, de nome Teresópolis e número de identificação 31954, situada nas seguintes coordenadas de 22°41' Sul de latitude, 42°79' Oeste de longitude e altitude de 871m (Figura 2). O estudo foi realizado com dados do período compreendido entre janeiro de 2008 a fevereiro de 2011. As variáveis meteorológicas utilizadas foram temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%), intensidade do vento (m/s) e radiação solar global (w/m²). A série de dados continha falhas em doze registros somente, que foram completadas pela média dos valores anterior e posterior ao horário do dado que faltava.

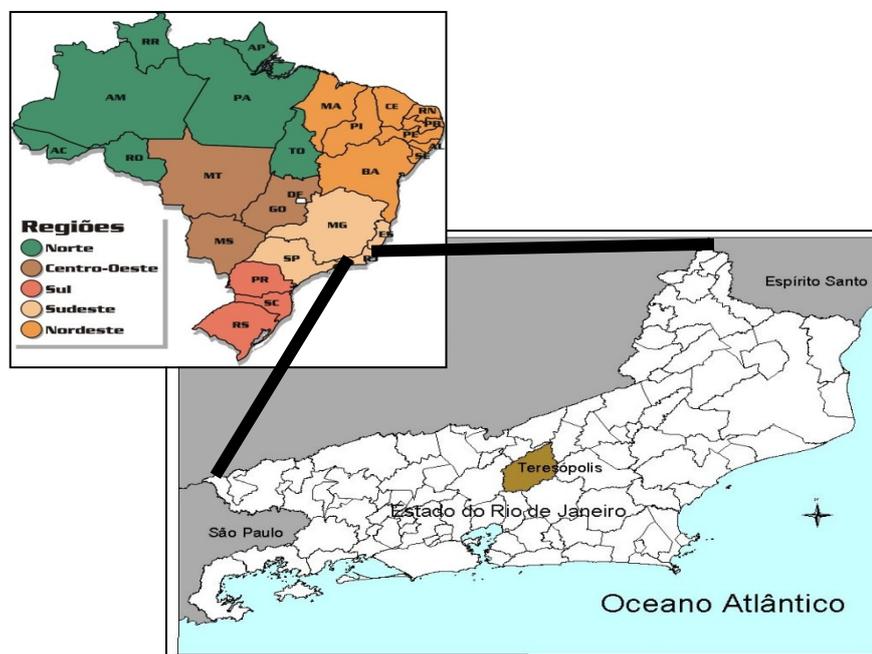


Figura 1- Mapa com a localização do município de Teresópolis – RJ. Fonte: ARAÚJO, 2009.

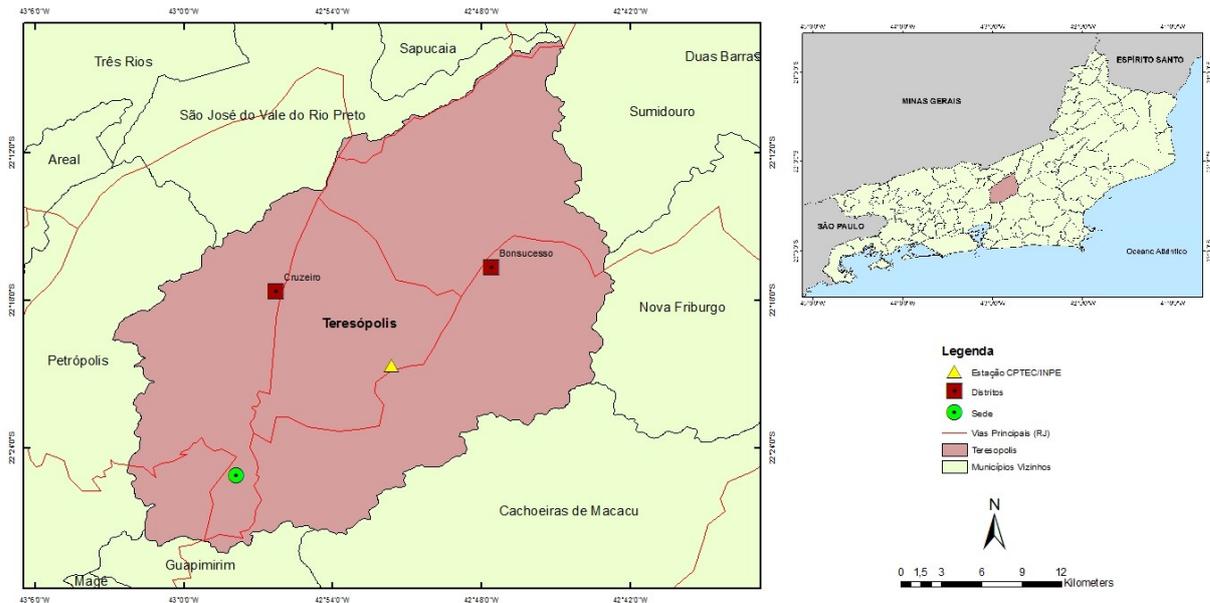


Figura 2 – Localização da Plataforma de Coleta de Dados do CPTEC/INPE, em Teresópolis.

3.2 Métodos

Neste item serão apresentados os três métodos avaliados, bem como o método padrão FAO56 Penman-Montheith (Allen *et al.*, 1998) expresso como apresentado na Equação 1,

$$ET_o = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_l - S) + \gamma \cdot \frac{900}{T_{med} + 273} \cdot U_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 \cdot U_2)} \quad (1)$$

onde:

ET_o: evapotranspiração de referência total diária (mm dia⁻¹);

Δ: reta tangente à curva de pressão de vapor (kPa °C⁻¹);

R_l: radiação líquida total diária à superfície da cultura (MJ m⁻² dia⁻¹);

S: densidade do fluxo total diário de calor do solo (MJ m⁻² dia⁻¹);

γ: constante psicrométrica (kPa °C⁻¹);

T_{med}: temperatura do ar média diária, medida entre 1,0 e 1,2 m, (°C);

U_2 : velocidade do vento média diária a uma altura de 2 m (m s^{-1});

$(e_s - e_a)$: déficit da pressão de vapor (kPa);

A reta tangente à curva de pressão de vapor foi obtida pela equação 1.1,

$$\frac{4098 \cdot e_s}{(T_{med} + 237,3)^2} \quad (1.1)$$

A pressão de vapor de saturação (e_s) foi calculada pela Equação 1.2,

$$e_s = 0,6108 \cdot \exp \left[\frac{(17,27 \cdot T_{med})}{(T_{med} + 237,3)} \right] \quad (1.2)$$

A constante psicrométrica foi determinada pela equação 1.3,

$$\Delta = 0,665 \cdot 10^{-3} \cdot P_a \quad (1.3)$$

Onde: P_a é a pressão atmosférica em [kPa].

Os valores da velocidade do vento foram transformados de 10 m para 2 m, que é a altura padrão, como segue (Equação 1.4),

$$U_2 = U_z \cdot \left[\frac{2}{10} \right] \quad (1.4)$$

Onde: U_z é a velocidade obtida na estação meteorológica e Z a altura em que foi coletado o dado.

A pressão atual de vapor (e_a) foi calculada pela Equação 1.5,

$$e_a = e_s \cdot \left(\frac{UR}{100} \right) \quad (1.5)$$

A equação de Hargreaves-Samani (1985) na sua forma convencional leva em consideração as variáveis de temperatura do ar média, máxima e mínima diárias e radiação solar diária no topo da atmosfera, conforme a Equação 2,

$$ET_o = 0,0023 \cdot (T_{med} + 17,8) \cdot (T_{max} - T_{min})^{0,5} \cdot (0,408 \cdot R_a) \quad (2)$$

Onde:

ET_o : evapotranspiração de referência total diária (mm dia⁻¹);

T_{med} : temperatura do ar média diária (°C);

T_{max} : temperatura do ar máxima diária (°C);

T_{min} : temperatura do ar mínima diária (°C);

R_a : radiação solar total diária no topo da atmosfera (Mj.m⁻².dia⁻¹);

0,408: fator de conversão da radiação solar de equivalente MJ.m⁻².dia⁻¹ para mm.dia⁻¹ (equivalente de evaporação).

As Equações 2.1 a 2.4 ilustram a obtenção dos valores da radiação solar extra-terrestre (R_a), da distancia relativa Sol-Terra (d_r), declinação solar (δ , em radianos) e ângulo solar (ω_s , em radianos),

$$R_a = 37,6 \cdot d_r \cdot (w_s \cdot \text{sen}(\theta) \cdot \text{sen}(\delta) + \cos(\theta) \cdot \cos(\delta) \cdot \text{sen}(w_s)) \quad (2.1)$$

$$d_r = 1 + 0,033 \cdot \cos(0,0172 \cdot j) \quad (2.2)$$

$$\delta = 0,409 \cdot \text{sen}[(0,0172 \cdot j) \cdot 1,39] \quad (2.3)$$

$$w_s = \text{acos} \left[-\tan \left(\theta \cdot \frac{\pi}{180} \right) \cdot \tan(\delta) \right] \quad (2.4)$$

Onde: j é o dia Juliano e (θ) a latitude da estação meteorológica.

Neste trabalho foi usada adicionalmente uma modificação da equação convencional de Hargreaves-Samani (1985) através da inserção da radiação solar global diária mensurada na estação meteorológica, de acordo com a Equação 3,

$$ET_o = 0,0023 \cdot (T_{med} + 17,8) \cdot (T_{max} - T_{min})^{0,5} \cdot (0,408 \cdot R_g) \quad (3)$$

onde:

ET_o : evapotranspiração de referência total diária (mm dia⁻¹);

T_{med} : temperatura do ar média diária (°C);

T_{max} : temperatura do ar máxima diária (°C);

T_{min} : temperatura do ar mínima diária (°C);

R_g : radiação solar global total diária medida *in situ* (Mj.m⁻².dia⁻¹);

0,408: fator de conversão da radiação solar de equivalente Mj.m⁻².dia⁻¹ para mm.dia⁻¹ (equivalente de evaporação).

O método de Blaney-Criddle é expresso pela equação 4,

$$ET_o = k_p \cdot (0,46 \cdot T_{med} + 8,13) \quad (4)$$

Onde:

ET_o : evapotranspiração de referência total diária (mm dia⁻¹);

T_{med} : temperatura do ar média diária (°C);

K_p : porcentagem mensal de horas-luz do dia durante o ano (" k_p " é o valor médio mensal);

Lat.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
20° N	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,30	0,29	0,28	0,26	0,25	0,25
15° N	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,25
10° N	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26
5° N	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27
0	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
5° S	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28
10° S	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,29
15° S	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29
20° S	0,30	0,29	0,28	0,26	0,25	0,25	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30
25° S	0,31	0,29	0,28	0,26	0,25	0,24	0,24	0,26	0,27	0,29	0,30	0,31
30° S	0,31	0,30	0,28	0,26	0,24	0,23	0,24	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32
35° S	0,32	0,30	0,28	0,25	0,23	0,22	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32

Figura 3 – Média da porcentagem diária (k_p) do fotoperíodo anual para a fórmula de BlaneyCriddle, em função da latitude. (Fonte: Doorenbos e Pruit, 1975).

3.3 Avaliação da influência das variáveis meteorológicas na evapotranspiração

As variáveis meteorológicas que influenciam o fenômeno da evapotranspiração são: radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa e intensidade do vento. Dessa forma, a influência de cada uma dessas grandezas no processo da evapotranspiração foi avaliada pelos coeficientes de correlação (r) e determinação (r^2).

3.4 Avaliação dos métodos de estimativa da evapotranspiração

Os métodos de estimativa da evapotranspiração considerados neste trabalho foram avaliados estatisticamente em comparação ao método de referência da FAO, ou seja, o método de Penman-Monteith – FAO 56. Os índices estatísticos utilizados serão descritos a seguir.

Os métodos avaliados serão classificados em relação aos seus respectivos desempenhos a partir dos seguintes índices: desvio médio absoluto (DMA), Desvio médio relativo (DMR), índice de concordância ou índice de Willmott (d), coeficiente de confiança (c), coeficiente de correlação (r) e de determinação (r^2), como segue:

$$DMA = \sqrt{\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{N}} \quad (5.1)$$

$$DMR = \sqrt{\frac{\sum \frac{(P_i - O_i)^2}{O_i}}{N}} \times 100 \quad (5.2)$$

$$d = 1 - \quad (5.3)$$

$$c = r \times d \quad (5.4)$$

P: evapotranspiração estimada pelo método em avaliação [mm.dia⁻¹];

O: evapotranspiração estimada pelo método de FAO-56 Penman Monteith [mm.dia⁻¹];

N: número de estimativas.

O coeficiente de confiança (c), apresentado por Camargo e Sentelhas (1997), avalia o desempenho dos diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência. Este índice reúne os índices de precisão, dado pelo coeficiente de correlação (r) que indica o grau de dispersão dos dados obtidos em relação à média, ou seja, o erro aleatório e o de concordância d.

O coeficiente c, proposto por Camargo e Sentelhas (1997), é interpretado de acordo com os referidos autores, da seguinte forma:

Tabela 1 – Valores do coeficiente de confiança e sua classificação.

Valores do coeficiente (c)	Classificação
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 e 0,65	Mediano
< 0,60	Ruim

O coeficiente de correlação pode variar de -1 a +1. Silva e Barros Silva (2003) sugerem o critério apresentado na tabela abaixo para classificação das correlações.

Tabela 2 – Valores do coeficiente de correlação e sua classificação.

Valores do coeficiente (r)	Classificação da correlação
1	Perfeita Positiva
0,70 a 0,99	Muito Forte Positiva
0,30 a 0,69	Moderada Positiva
0,01 a 0,29	Fraca Positiva
0	Nenhuma
-0,01 a -0,29	Fraca Negativa
-0,30 a -0,69	Moderada Negativa
-0,70 a -0,99	Muito Forte Negativa
-1	Perfeita Negativa

O índice de concordância, proposto por Willmott *et al.* (1985), pode variar entre 0 e 1, sendo o valor zero para nenhuma concordância e o valor um para uma concordância perfeita.

3.5 Proposta de ajuste em escala mensal para os métodos de Hargreaves-Samani, Blaney-Criddle e Hargreaves-modificado

Os ajustes propostos são os Desvios Médios Absolutos (DMA) mensais, obtidos pela equação 5.1, gerados para cada método considerando os anos de 2008 a 2010 da série de dados. O ano de 2011 foi excluído desse cálculo, tendo em vista que ele foi utilizado como validação desses ajustes. Assim, o ajuste mensal é o DMA mensal de cada método com sinal contrário.

Dessa forma, por exemplo, se o DMA para o método de Hargreaves-Samani em janeiro for igual a $9,8 \text{ mm.dia}^{-1}$ e a ET_0 , por esse método, para um determinado dia desse mês for igual a $14,0 \text{ mm.dia}^{-1}$, o ajuste ou correção aplicada deve ser o valor da ET_0 adicionada ao DMA de janeiro com o sinal contrário. Portanto, $AJUSTE = ET_0 + \text{DMA (mensal) com sinal trocado} = 14,0 + (-9,8) = 4,2 \text{ mm.dia}^{-1}$. Como o DMA mensal representa quanto um dos métodos se afasta dos valores de ET_0 calculados pelo método de referência (FAO 56 Penmann-Monteith), em média para um determinado mês, a princípio ele seria a própria correção.

No entanto, esse ajuste será mais exato quanto menor for o desvio padrão mensal do método a ser corrigido. O desempenho dessa correção será avaliado pela sua

aplicação durante o ano de 2011, que como já mencionado não foi incluído na base de dados para o cálculo do DMA mensal.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1) Influência das variáveis meteorológicas na evapotranspiração

A taxa em que o processo da evapotranspiração ocorrerá no campo será uma combinação das intensidades dos fatores que a governam. Entretanto, pode-se analisar a influência isolada de cada fator para um melhor entendimento do fenômeno. Nesse sentido, será apresentada a seguir uma análise em que o comportamento de cada fator que influencia a intensidade (taxa) da evapotranspiração é considerado isoladamente.

Inicialmente serão apresentados os resultados da comparação das estimativas da evapotranspiração de referência (ET_0) obtidas pelo método FAO56 Penman-Monteith com as variáveis meteorológicas que governam o fenômeno da ET_0 (radiação solar global, temperatura e umidade do ar e intensidade do vento), na tentativa de se apontar a participação de cada uma delas no fenômeno investigado. Em seguida, o desempenho de cada método avaliado será analisado em relação aos valores de ET_0 obtidos pelo método FAO56 Penman-Monteith, de agora em diante denominado apenas de Penman-Monteith neste documento, considerado uma referência pela FAO (Allen *et al.*, 1998).

Dessa forma, os primeiros resultados auxiliarão a análise de desempenho de cada método, tendo em vista que é possível correlacionar o conjunto das variáveis meteorológicas utilizadas por cada um deles, e seu papel nos mecanismos de evapotranspiração, com seus respectivos desempenhos. Vale ressaltar, que sob diferentes condições climáticas a evapotranspiração pode ser relevantemente governada por distintas variáveis meteorológicas (tabela 3 e figuras de 3 a 8).

Pode-se observar na tabela 3 os coeficientes de correlação (r) entre a ET_0 estimada pelo método Penman-Monteith e as variáveis meteorológicas que influenciam essa grandeza. Em ordem decrescente de valores de r , observa-se que: a radiação solar é a variável meteorológica mais correlacionada com o fenômeno da ET_0 , com valor de r igual a 0,93 com correlação muito forte; em seguida, tem-se a umidade relativa do ar com r igual a -0,70 ou correlação muito forte negativa; depois a temperatura média do ar e temperatura máxima do ar com r respectivamente iguais a 0,59 e 0,58 ou correlações moderadas; por fim, as duas variáveis menos correlacionadas são a temperatura mínima do ar e a intensidade do vento, com correlações fracas e coeficientes de correlação respectivamente iguais a 0,24 e 0,09.

O coeficiente de determinação r^2 indica o quanto cada variável meteorológica pode influenciar ou explicar o fenômeno da ET_0 nas condições atmosféricas reinantes. Por esses valores, observa-se que a radiação solar explica 87% do comportamento da ET_0 ; a umidade relativa do ar 48%; a temperatura média do ar 35%, a temperatura máxima do ar 34%, a temperatura mínima do ar e a intensidade do vento menos de 6%.

Dessa forma, na região de estudo de acordo com o Coeficiente de Correlação, a ET_o acompanha de forma muito forte a tendência de comportamento da Radiação Solar e da Umidade Relativa do Ar e acompanha moderadamente a Temperatura Média e Máxima do Ar. A Temperatura Mínima do Ar e a Intensidade do Vento não têm uma concordância significativa com o comportamento da ET_o . No entanto, o fenômeno é governado principalmente pela Radiação Solar, que explica praticamente 90% do comportamento da ET_o , segundo o Coeficiente de Determinação.

Tabela 3 – Coeficientes de correlação (r) e coeficiente de determinação (r^2) entre a ET_o estimada pelo método Penman-Monteith e as variáveis meteorológicas utilizadas em cada método de estimativa.

Método_Variável	r	Classificação de r	r^2
$ET_o_PM_R_g$	0,93	Muito Forte Positiva	0,8713
$ET_o_PM_UR$	0,70	Muito Forte Negativa	0,4844
$ET_o_PM_T_{ar}$	0,59	Moderada Positiva	0,3531
$ET_o_PM_T_{max}$	0,58	Moderada Positiva	0,3361
$ET_o_PM_T_{min}$	0,24	Fraca	0,0580
$ET_o_PM_U$	0,09	Fraca	0,0086

R_g - radiação solar global; UR - umidade relativa do ar; T_{ar} - temperatura média do ar; T_{max} - temperatura máxima do ar; T_{min} - temperatura mínima do ar; U - intensidade do vento.

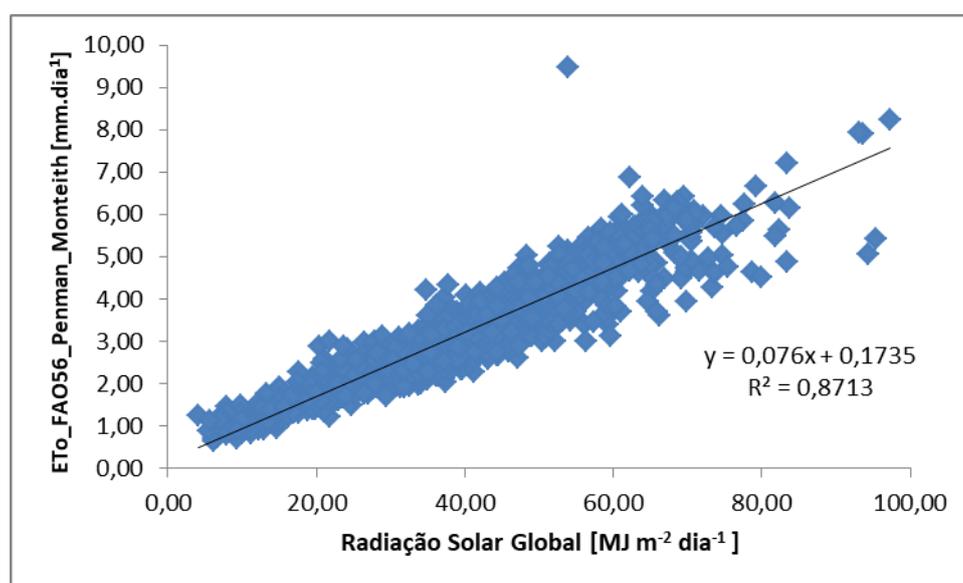


Figura 3 – Gráfico de dispersão linear entre a ET_o estimada pelo método Penman-Monteith e a variável Radiação Solar.

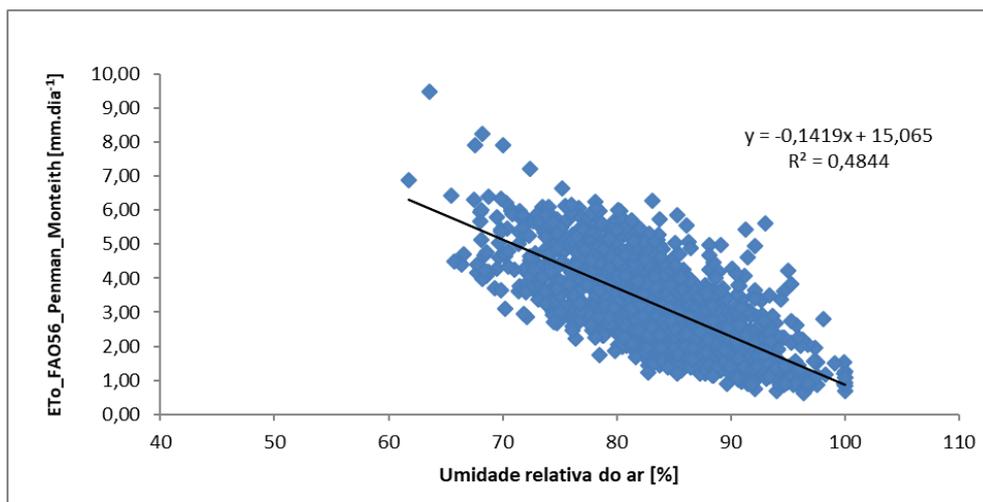


Figura 4 – Gráfico de dispersão linear entre a ET_0 estimada pelo método Penman-Monteith e a variável Umidade Relativa do Ar.

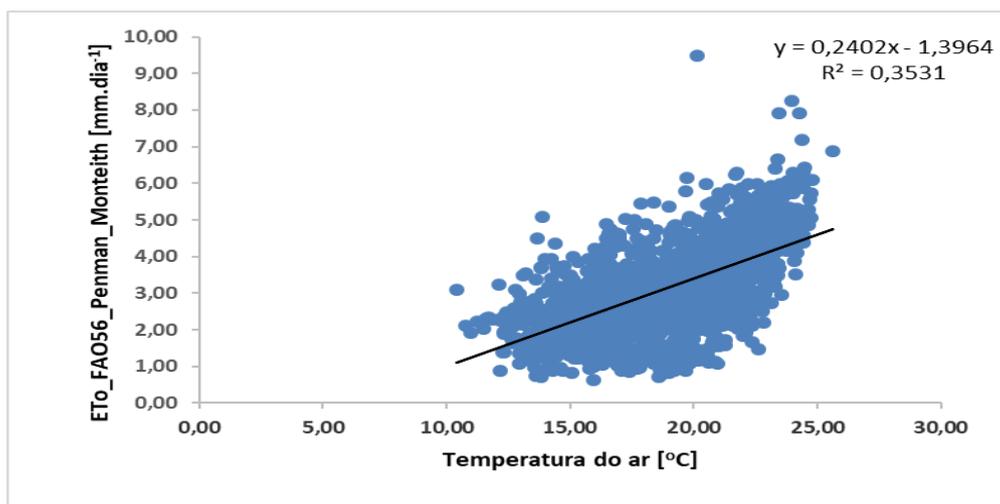


Figura 5 – Gráfico de dispersão linear entre a ET_0 estimada pelo método Penman-Monteith e a variável Temperatura do Ar.

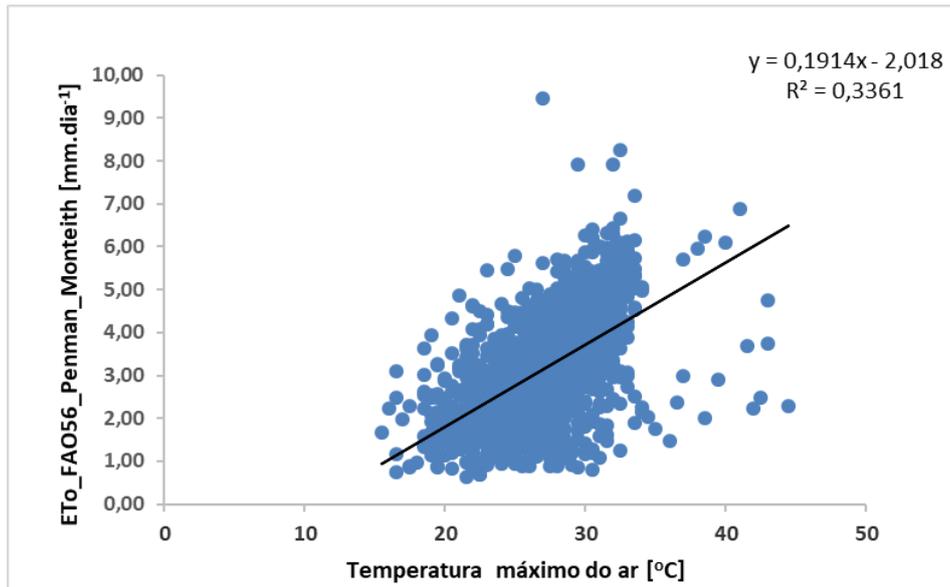


Figura 6 – Gráfico de dispersão linear entre a ET₀ estimada pelo método Penman-Monteith e a variável Temperatura Máxima do Ar.

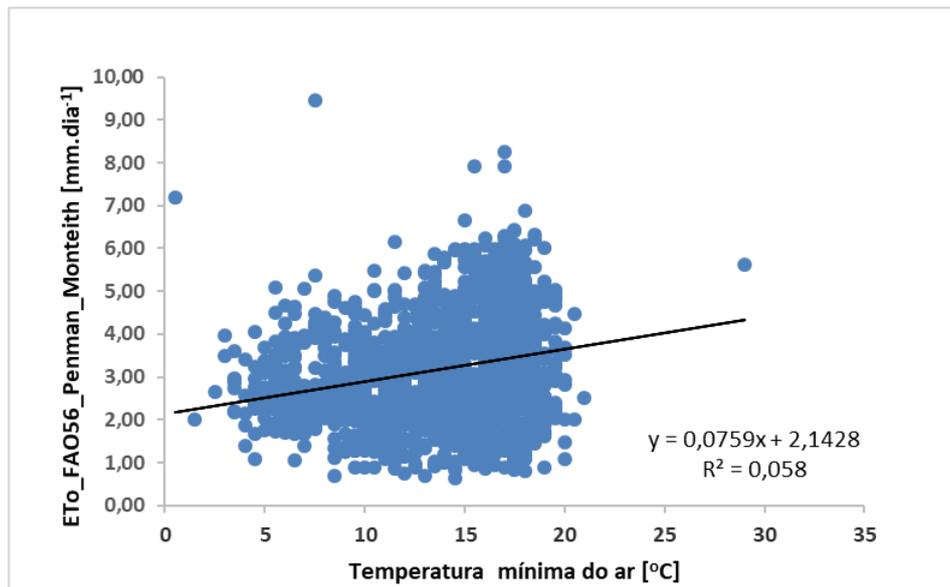


Figura 7 – Gráfico de dispersão linear entre a ET₀ estimada pelo método Penman-Monteith e a variável Temperatura Mínima do Ar.

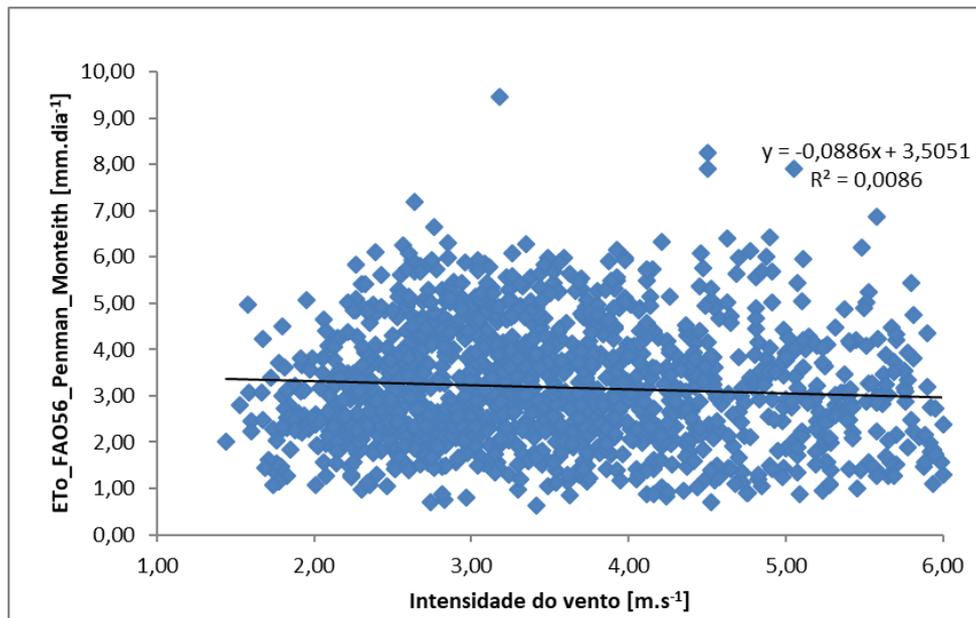


Figura 8 – Gráfico de dispersão linear entre a ET_0 estimada pelo método Penman-Monteith e a variável Intensidade do Vento.

Nas figuras de 9 a 14 estão apresentadas a curva média de evapotranspiração de referência estimada pelo método Penman-Monteith para o período de janeiro de 2008 a dezembro de 2011, juntamente com as de radiação solar global (figura 9), temperatura média do ar (figura 10), temperatura mínima do ar (figura 11), temperatura máxima do ar (figura 12), intensidade do vento (figura 13) e umidade relativa do ar (figura 14).

Os valores de evapotranspiração de referência variaram entre $1,9 \text{ mm.dia}^{-1}$ (junho de 2008) e $5,1 \text{ mm.dia}^{-1}$ (fevereiro de 2010). Os de radiação solar global variaram entre $27,9 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ (junho de 2008) e $56,3 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ (janeiro de 2010). Os de temperatura média do ar entre $13,9^\circ\text{C}$ (julho de 2008) e $23,3^\circ\text{C}$ (janeiro de 2010). As temperaturas extremas do ar, mínima e máxima, variaram entre $6,4^\circ\text{C}$ (julho de 2008) e $32,0^\circ\text{C}$ (janeiro de 2010), respectivamente. A umidade relativa do ar é praticamente constante ao longo do ano, com uma variação máxima em torno de 10% (entre aproximadamente 80 e 90%). A intensidade do vento apresentou valores máximos em torno de $4,5 \text{ m.s}^{-1}$ (entre os meses de setembro e novembro).

Observa-se uma similaridade no ciclo anual, com valores mínimos no inverno e máximos no verão, para a ET_0 , R_g , T_{ar} , T_{mim} e T_{max} . Tanto a umidade relativa do ar quanto a intensidade do vento não apresentaram uma sazonalidade evidente. Mas, percebe-se uma inversão de comportamento entre a ET_0 e a UR, ou seja, nos pontos em que a UR é máxima observa-se um mínimo na curva da ET_0 e vice-versa.

Os resultados apresentam coerência quanto à sazonalidade da radiação solar global e da temperatura do ar e conseqüentemente da ET_o , com valores mínimos no inverno e máximos no verão, tendo em vista que fisicamente a ET_o deve responder de forma diretamente proporcional a essas grandezas. A resposta da ET_o à umidade relativa do ar, também é fisicamente coerente, uma vez que apresentou comportamento inversamente proporcional. A resposta da ET_o à intensidade do vento não é evidente, já que a correlação dessas duas grandezas é fraca na região de estudo.

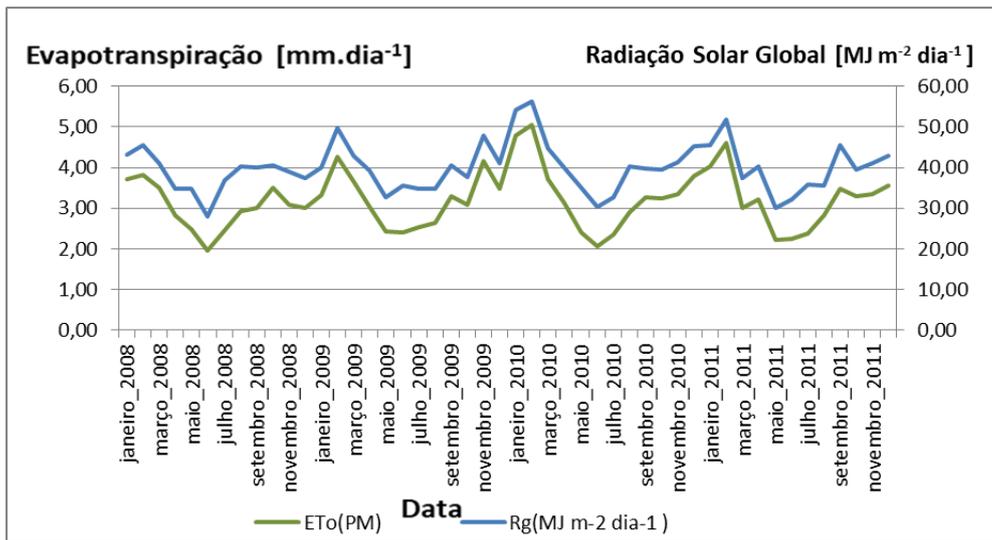


Figura 9 – ET_o média estimada pelo método Penman-Monteith e a radiação solar global diária média mensal.

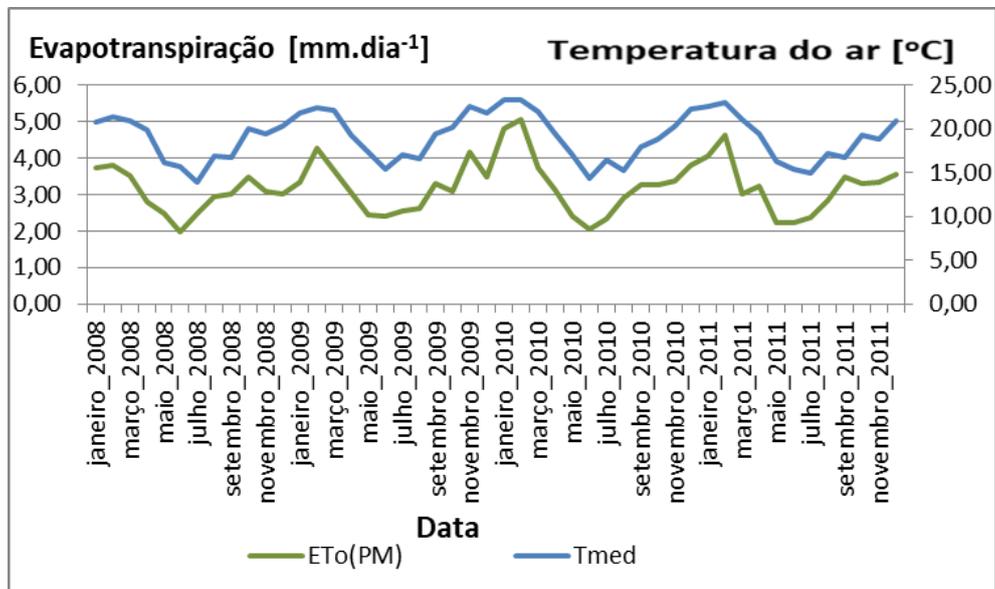


Figura 10 - ET_o média estimada pelo método Penman-Monteith e a temperatura do ar média mensal.

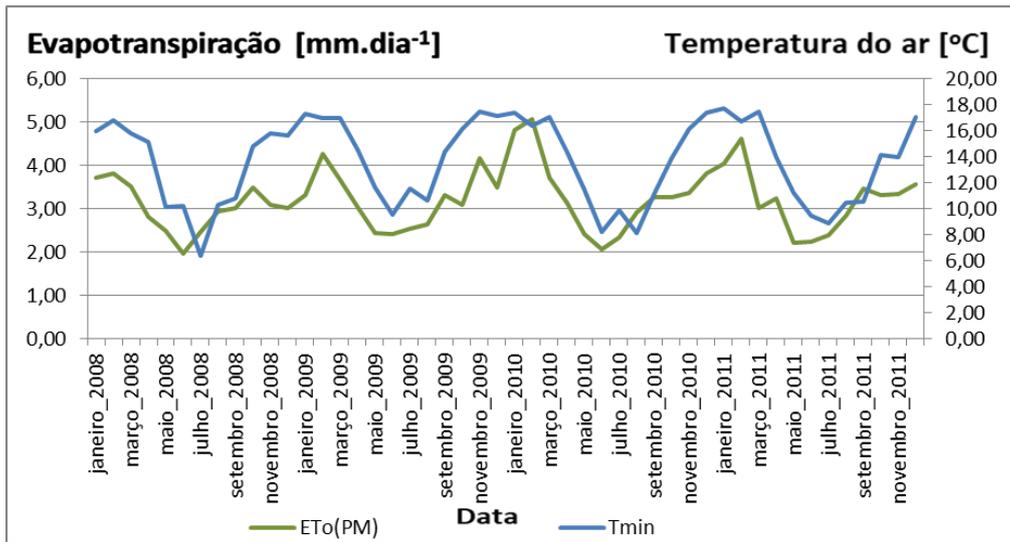


Figura 11 - ET₀ média estimada pelo método Penman-Monteith e a temperatura mínima do ar média mensal.

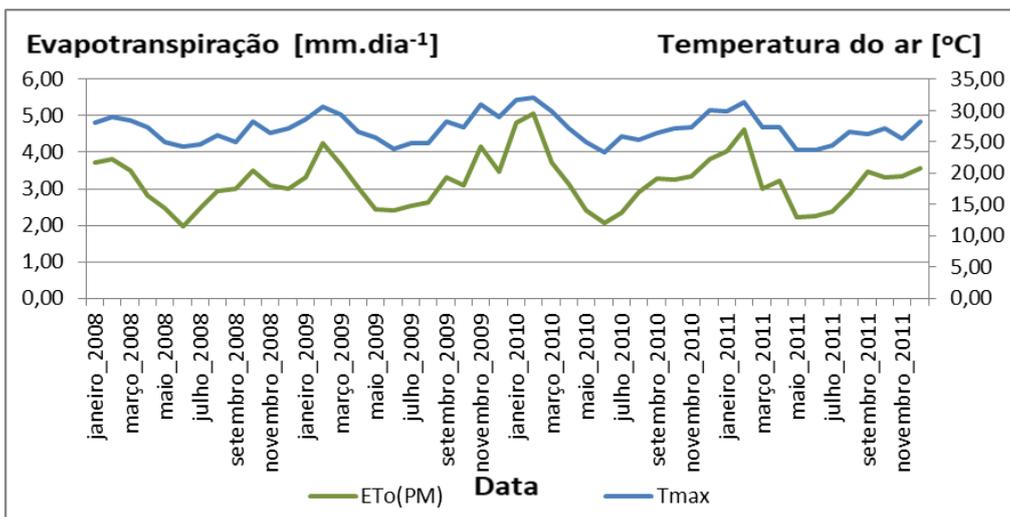


Figura 12 - ET₀ média estimada pelo método Penman-Monteith e a temperatura máxima do ar média mensal.

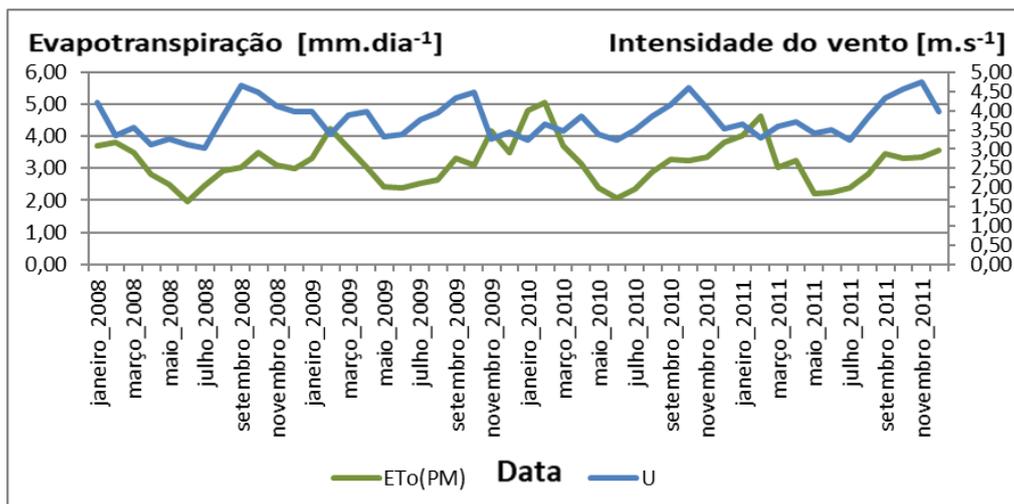


Figura 13 - ET₀ média estimada pelo método Penman-Monteith e a intensidade do vento média mensal.

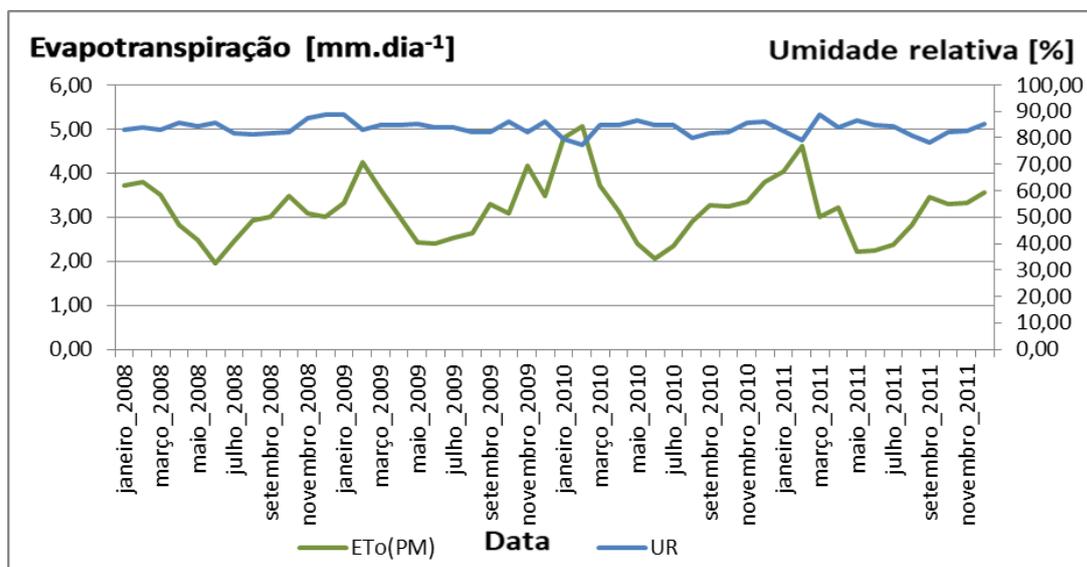


Figura 14 - ET₀ média estimada pelo método Penman-Monteith e a umidade relativa do ar média mensal.

4.2) Avaliação mensal das estimativas da ET₀.

A avaliação mensal da estimativa da ET₀ foi baseada nos valores mensais mínimos, médios, máximos obtidos por cada método considerado e pelos seus respectivos desvio médio absoluto, desvio médio relativo e coeficiente de correlação.

De acordo com a figura 15, os valores mínimos mensais da ET₀ foram melhor estimados pelo método de Hargreaves-modificado, com magnitudes muito próximas as

de Penman-Monteith ao longo do ano e em torno de 1 mm.dia^{-1} . Os métodos de Blaney-Criddle e Hargreaves-Samani obtiveram valores iguais ou superiores a 3 mm.dia^{-1} .

Já os valores médios mensais de ET_o , figura 16, foram melhor estimados pelo método de Blaney-Criddle, seguido por Hargreaves-modificado. A ET_o média mensal, segundo o método de Penman-Monteith, oscilou ente 2 e 4 mm. Hargreaves-Samani estimou valores sempre acima de 6 mm.dia^{-1} .

Por sua vez, os valores máximos mensais tiveram suas melhores estimativas pelo método de Blaney-Criddle (figura 17), com magnitudes variando entre 5 e 10 mm de acordo com as estimativas de Penman-Monteith. Os métodos de Hargreaves-Samani e Hargreaves-modificado obtiveram estimativas iguais ou superiores a 10 mm.dia^{-1} .

Houve uma defasagem em relação às estimativas de ET_o obtidas pelo método de Penman-Monteith com o método de: Blaney-Criddle para os valores mínimos mensais de ET_o ; Hargreaves-modificado para os valores máximos mensais de ET_o ; e Hargreaves-Samani para os valores mensais mínimos, médios e máximos da ET_o .

Em geral, nenhum dos três métodos avaliados apresentou uma performance constante de estimativa da ET_o em todo a escala de valores assumidos por essa grandeza, ou seja, se afastaram ou se aproximaram dos valores estimados por Penman-Monteith dependendo da magnitude que essas estimativas assumiram (valores mínimos, médios ou máximos).

O comportamento de métodos empíricos de estimativa da ET_o tem uma natureza estatística e pode guardar pouco do aspecto físico. Tanto que os coeficientes de suas parametrizações devem ser atualizados periodicamente, tendo em vista que são representativos de condições locais e, devido à variabilidade natural do clima, tendem a variar temporalmente também. Os métodos aqui avaliados são dessa natureza, enquanto o de Penman-Monteith (PM), referência segundo a FAO, é um método físico-matemático com muito pouco de empirismo.

Dessa forma, é possível relacionar o comportamento das estimativas da ET_o obtidos por PM com as variáveis meteorológicas. Para os demais métodos considerados neste estudo as relações entre as variáveis meteorológicas e as estimativas da ET_o não são puramente físicas, podendo ser somente matemática-estatística, dependendo do método. Adicionalmente, devido ao fato dos coeficientes dos ajustes estatísticos serem anuais e não mensais, sua representatividade sazonal pode não ser exata, com a possibilidade de ser melhor em certas épocas do ano e em outras não.

No entanto, a tentativa de explicar o comportamento das estimativas da ET_o pelos métodos aqui avaliados em relação às variáveis meteorológica é um exercício interessante. Mas, é preciso considerar a possibilidade da natureza empírica envolvida mascarar tais relações.

O mecanismo da ET_o na região de estudo é fortemente dirigido pelas magnitudes da R_g e da UR; moderadamente influenciados pela T_{ar} e T_{max} ; e fracamente comandados pela T_{min} e U, tendo em vista os valores do coeficiente de correlação já mencionados na Tabela 3. No entanto, a UR apresentou valores médios praticamente constantes ao longo do período estudado, entre 80 e 90%, o que a exclui como explicação da variabilidade dos valores de ET_o . Nesse sentido, o comportamento da demanda atmosférica, na região de estudo, pode ser caracterizado somente pelos valores de R_g , T_{med} e T_{max} . Dessa forma, o desempenho dos métodos deve ser avaliado considerando-se apenas essas três grandezas físicas. Neste estudo, pode-se fazer as considerações a seguir.

O método de Hargreaves-Samani modificado (HSM) utiliza como dados de entrada a R_g , T_{med} e T_{max} . Por sua vez, o método de Penman-Monteith (PM) utiliza R_g e T_{med} , mas não a T_{max} . Os melhores desempenhos de HS para a estimativa da ET_o em condições de baixa e média demanda evaporativa pode estar relacionado ao fato da T_{ar} e T_{max} serem mais próximas nessas condições consideradas, influenciando a magnitude da ET_o de forma semelhante para os dois métodos. Já para a condição de elevada demanda evaporativa, a T_{max} pode ser significativamente maior que a T_{ar} , elevando as estimativas da ET_o pelo método de HSM, mas não pelo método de PM que não a utiliza em sua parametrização.

O método de Blaney-Criddle utiliza como dados de entrada a T_{med} e a duração de horas diárias de luz. Nesse caso, a variável simultaneamente utilizada por BC e PM é a T_{med} . O pior desempenho do método de Blaney-Criddle (BC) em condição de baixa demanda evaporativa não poderia ser explicado por essa variável de entrada por ela não ser um fator de diferenciação entre este método e o de PM. Por outro lado, durante o inverno os valores de R_g diminuem consideravelmente, reduzindo os valores da estimativa da ET_o pelo método de PM, mas não em relação ao de BC que não utiliza essa variável em sua parametrização. A duração de horas diárias de luz não varia significativamente durante o ano em latitudes tropicais, não sendo um fator de redução da ET_o estimada por BC.

O pior desempenho geral do método de Hargreaves-Samani (HS), provavelmente, é devido a utilização da radiação solar no topo da atmosfera que não é

representativa da radiação solar global incidente na superfície onde o fenômeno da ET_o se dá.

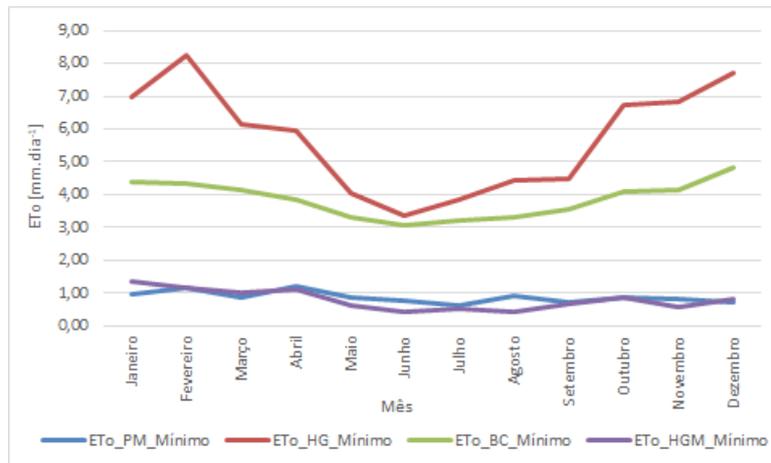


Figura 15 – Valores mínimos mensais de ET_o estimados pelos métodos de Penman-Monteith (PM), Hargreaves-Samani (HG), Blaney-Criddle (BC) e Hargreaves-modificado (HGM).

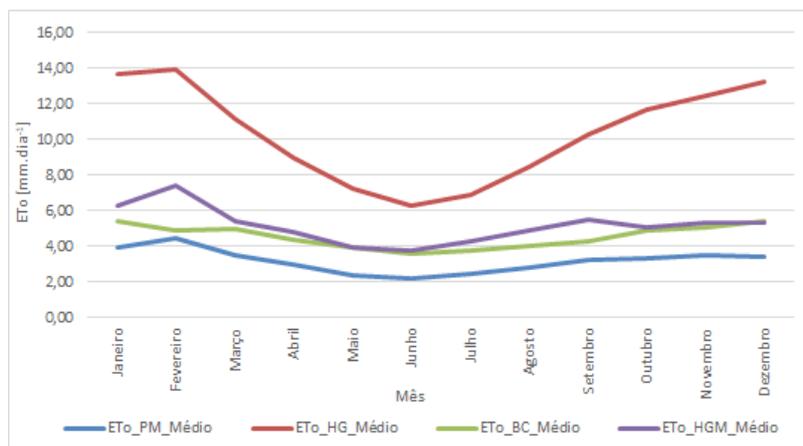


Figura 16 – Valores médios mensais de ET_o estimados pelos métodos de Penman-Monteith (PM), Hargreaves-Samani (HG), Blaney-Criddle (BC) e Hargreaves-modificado (HGM).

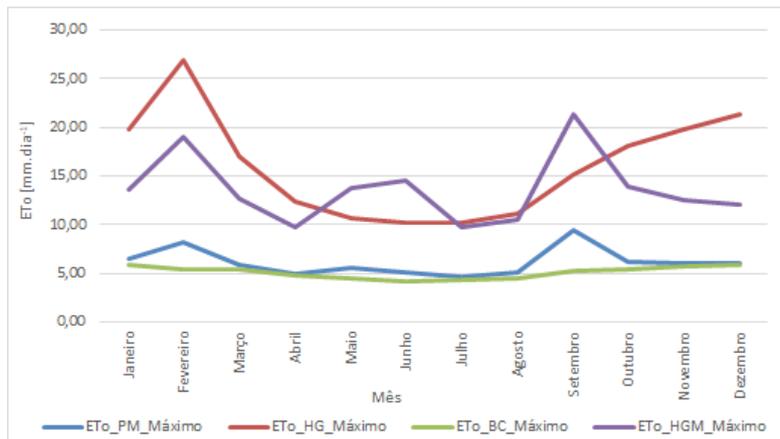


Figura 17 – Valores máximos mensais de ET_o estimados pelos métodos de Penman-Monteith (PM), Hargreaves-Samani (HG), Blaney-Criddle (BC) e Hargreaves-modificado (HGM).

A figura 18 contém os valores médios mensais do desvio padrão (DP) das estimativas da ET_o obtidas pelos métodos de Penman-Monteith, Blaney-Criddle, Hargreaves-Samani e Hargreaves-modificado. A menor dispersão dos resultados ocorreu para o método de Blaney-Criddle, com DPs mensais inferiores a 0,5 mm. Em seguida tem-se o método de Penman-Monteith com valores entre 0,5 e 1,5 mm para os DPs. Depois vem Hargreaves-Samani com uma oscilação dos DPs entre 1,0 e 2,5 mm. Por fim, está o método de Hargreaves-modificado, que apresentou a maior dispersão em relação as estimativas da ET_o com DPs variando entre 1,5 e 3,0 mm aproximadamente.

Quanto menor o DP, menor a dispersão dos valores diários de ET_o em torno de seu valor médio mensal. Assim, o método de Blaney-Criddle tem uma menor dispersão de suas estimativas de ET_o . Os demais métodos têm uma maior dispersão, que se acentuou entre os meses de setembro e março.

A maior variação dos valores dos DPs para os métodos de HG, PM e HGM em relação ao método de BC podem ser explicados pelas variáveis utilizadas em cada um deles que conferem maior ou menor sensibilidade às oscilações das magnitudes da ET_o .

Os métodos de HGM e HG foram os que apresentaram maiores variações dos DPs e são os únicos que utilizam a T_{max} e T_{min} em suas equações. Além disso, utilizam também variáveis relacionadas à radiação solar. A oscilação anual dos DPs acompanha o ciclo anual dessas três grandezas (T_{max} , T_{min} e R_g).

O método de PM também utiliza variáveis relacionadas à radiação solar e seu DP, da mesma forma, acompanha o comportamento anual dessa grandeza. Mas, sua oscilação é menor do que as de HGM e HG.

Já o método de BC utiliza a T_{med} e as horas de duração de luz como dados de entrada. A primeira tem uma oscilação sazonal menor que a T_{max} e a T_{min} e a segunda varia pouco sazonalmente nas latitudes tropicais. Dessa forma, o método de BC utiliza variáveis que suavizam às oscilações sazonais de suas estimativas.

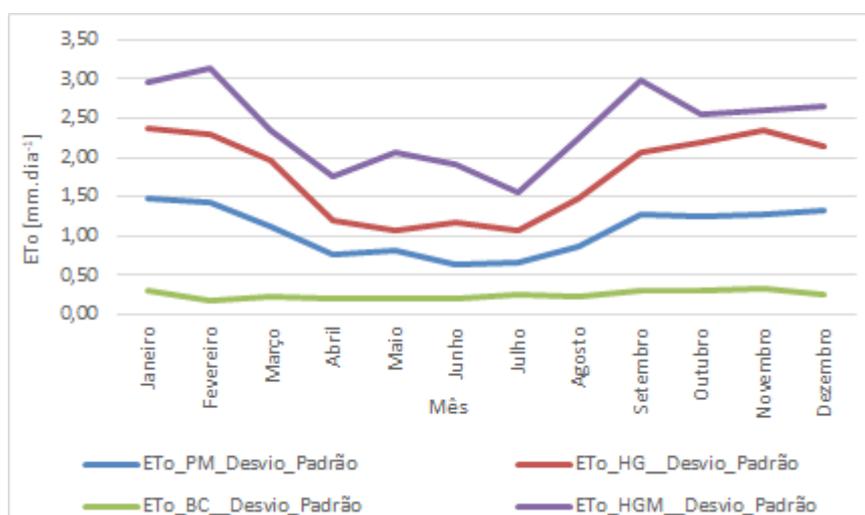


Figura 18 – Valores do Desvio Padrão médios mensais das estimativas de ET_o pelos métodos de Penman-Monteith (PM), Hargreaves-Samani (HG), Blaney-Cridley (BC) e Hargreaves-modificado (HGM).

Os menores valores para o Desvio Médio Absoluto (DMA) e para o Desvio Médio Relativo (DMR) em escala mensal, figuras 19 e 20, foram obtidos pelo método de Blaney-Cridley, com magnitudes entre 0,5 e 1,5 mm (DMR entre 32 e 66%, exceto em fevereiro que foi igual a 11%). Em seguida vem o método de Hargreaves-modificado com DMA variando entre 1,5 e 3,0 mm (DMR entre 51 e 78%). Por último, tem-se Hargreaves-Samani com uma oscilação entre 4,0 e 10,0 mm (DMR entre 186 e 285%).

De acordo com o DMR os métodos superestimaram a ET_o em pelo menos 32%, com exceção somente para Blaney-Cridley que superestimou em 11% no mês de fevereiro.

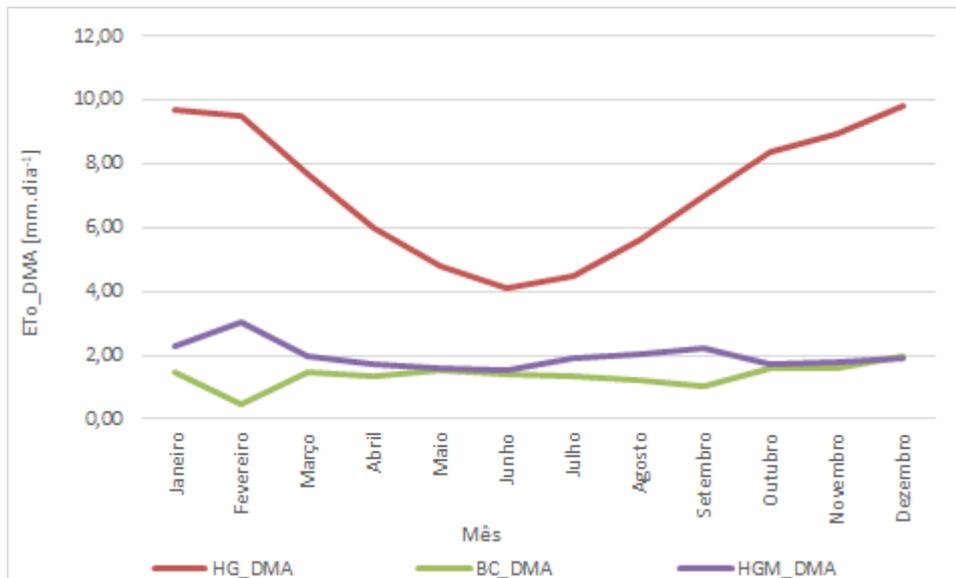


Figura 19 – Valores do Desvio Médio Absoluto mensais das estimativas de ET_0 pelos métodos de Hargreaves-Samani (HG), Blaney-Cridley (BC) e Hargreaves-modificado (HGM).

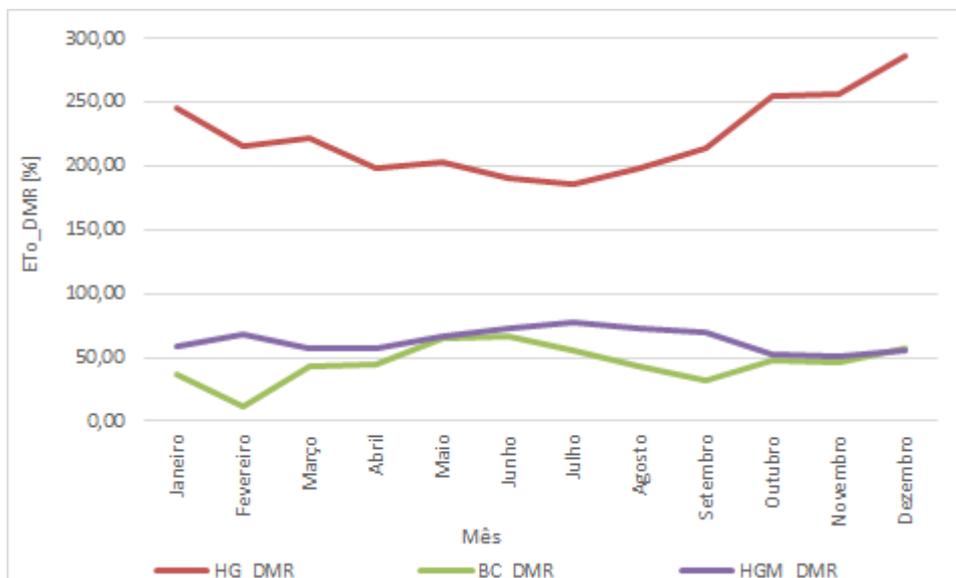


Figura 20 – Valores do Desvio Médio Relativo (DMR) mensais das estimativas de ET_0 pelos métodos de Hargreaves-Samani (HG), Blaney-Cridley (BC) e Hargreaves-modificado (HGM).

Na figura 21 são apresentados graficamente os coeficientes de correlação mensal entre a ET_0 estimada pelo método Penman-Monteith e pelos métodos Hargreaves-Samani, Hargreaves-modificado e Blaney-Cridley.

A melhor concordância foi exibida por Hargreaves-modificado com correlação Muito Forte em todos os meses do ano, com valores entre 0,78 (julho) e 0,94 (novembro).

Para o método de Hargreaves-Samani, os valores do coeficiente de correlação mensal variaram entre 0,07 (julho) e 0,60 (janeiro), o que representam correlações Fraca e Moderada, respectivamente.

Por fim, o método de Blaney-Criddle teve as menores correlações, com valores entre 0,02 (junho) e 0,36 (março) para o coeficiente de correlação mensal, ou seja, correlações Fraca e Moderada, respectivamente.

De acordo com o coeficiente de correlação o método Hargreaves-modificado teve uma concordância Muito Forte em termos de tendência em relação às estimativas mensais da ET_o , na região de estudo, quando comparado ao método Penman-Monteith em todos os meses do ano. Para os métodos de Hargreaves-Samani e Blaney-Criddle as concordâncias oscilaram entre Fraca e Moderada, dependendo do mês analisado.

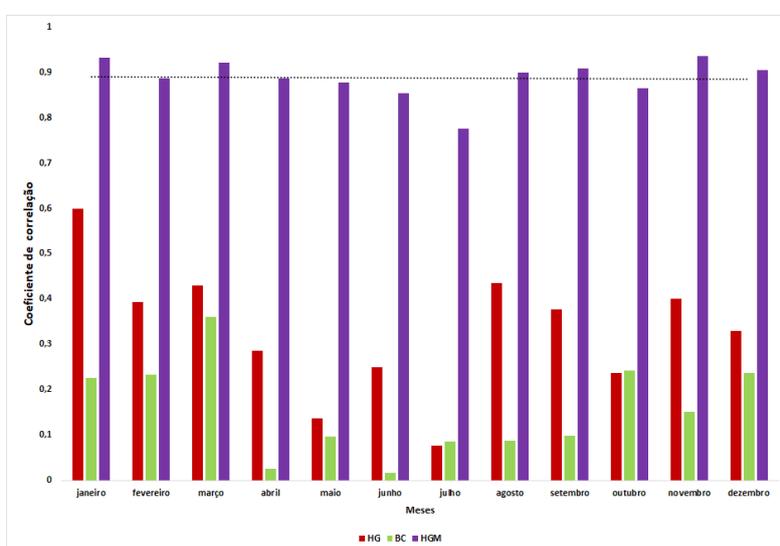


Figura 21 – Coeficiente de correlação mensal entre a ET_o estimada pelo método Penman-Monteith e pelos métodos de Hargreaves-Samani (HG), Hargreaves-modificado (HGM) e Blaney-Criddle (BC).

4.3) Avaliação decendial das estimativas da ET_o

A seguir serão analisados os resultados da avaliação em escala decendial do coeficiente de correlação. Na figura 22 são apresentados graficamente os coeficientes de

correlação decendial entre a ET_0 estimada pelo método Penman-Monteith e pelos métodos Hargreaves-Samani, Hargreaves-modificado e Blaney-Criddle.

Novamente, a melhor concordância foi exibida por Hargreaves-modificado durante todo o período de estudo. O menor valor do coeficiente de correlação decendial ocorreu no primeiro decêndio de julho (0,77) e o maior no terceiro decêndio de janeiro e fevereiro (0,98). As correlações foram Muito Fortes em todos os decêndios do ano. O método de Hargreaves-modificado não apresentou mudança de desempenho da escala mensal para a decendial, permanecendo com correlações Muito Forte.

Para o método de Hargreaves-Samani, os valores do coeficiente de correlação decendial variaram entre 0,11 (segundo decêndio de julho) e 0,86 (terceiro decêndio de janeiro). As correlações foram Muito Fortes em janeiro (para os três decêndios), fevereiro (1º decêndio), março (1º decêndio), agosto (3º decêndio), setembro (2º decêndio). Foi Fraca apenas no 2º decêndio de julho. Nos demais decêndios foram Moderadas. Nos decêndios em que as correlações foram Muito Forte, em sete decêndios, houve uma melhora significativa de desempenho da estimativa da ET_0 em relação à escala mensal, passando de Moderada para Muito Forte.

Já o método de Blaney-Criddle teve valores entre 0,02 (no primeiro decêndio de abril) e 0,90 (no primeiro decêndio de março) para o coeficiente de correlação decendial. As correlações foram Muito Fortes no 1º decêndio de janeiro e março e no 2º decêndio de dezembro. Foram Fracas em abril (1º e 2º decêndios), maio (1º e 2º decêndios), junho (2º e 3º decêndio), julho (2º decêndio), setembro (3º decêndio), outubro (2º decêndio) e em novembro (1º decêndio). Nos demais decêndios as correlações foram Moderadas. Também neste caso, nos decêndios em que as correlações foram Muito Forte, em três decêndios, houve uma melhora significativa de desempenho da estimativa da ET_0 em relação à escala mensal, passando de Moderada a Muito Forte.

A mudança da escala mensal para a decendial surtiu efeito positivo no desempenho para os métodos de Hargreaves-Samani (em sete decêndios) e para o método de Blaney-Criddle (para três decêndios).

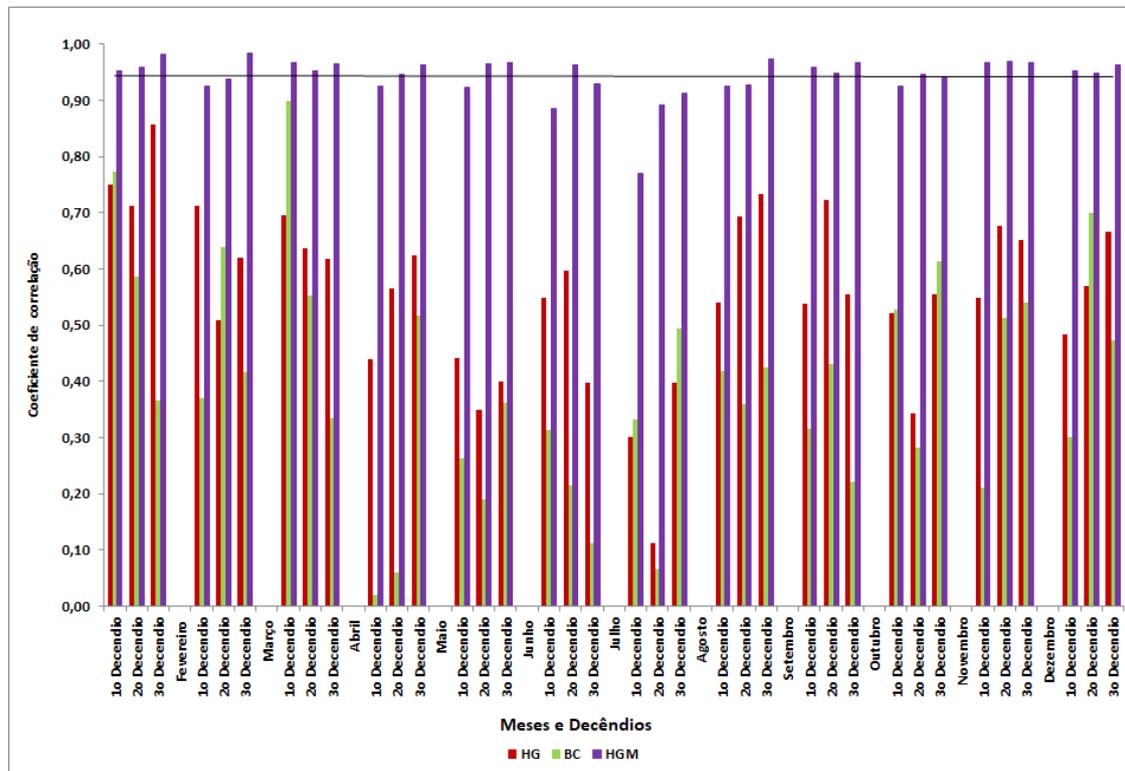


Figura 22 – Coeficiente de correlação decendial da ET_0 entre o método Penman-Monteith e os de Hargreaves-Samani (HG), Hargreaves-modificado (HGM) e método de Blaney-Criddle (BC).

4.4) Avaliação das estimativas da ET_0 para todo o período de estudo

Na tabela 4, encontram-se os índices estatísticos de desempenho para as estimativas da ET_0 pelos métodos de Hargreaves-modificado (HGM), Hargreaves-Samani (HG) e Blaney-Criddle (BC) para todo o período de estudo (2008 a 2011).

O método Hargreaves-modificado obteve bom desempenho para o índice de concordância ($d = 0,71$), para o coeficiente de correlação ($r = 0,94$, ou seja, correlação Muito Forte) e para o índice de confiança ($c = 0,67$, classificado como bom).

O método de Blaney-Criddle teve bom desempenho somente para o índice de concordância ($d = 0,85$), um desempenho moderado para o coeficiente de correlação ($r = 0,52$) e desempenho ruim para o índice de confiança ($c = 0,44$).

Por sua vez, o método de Hargreaves-Samani apresentou desempenhos moderado e ruim para o coeficiente de correlação ($r = 0,68$) e para o índice de confiança ($c = 0,35$), respectivamente.

Portanto, o método de Hargreaves-modificado teve o melhor desempenho para região de estudo, em termos de estimativas da ET_0 , tendo em vista que foi bem avaliado

por todos os índices estatísticos considerados. Esses diferentes índices estatísticos foram utilizados, tendo em vista que não há um consenso em termos de qual seria o melhor para uma avaliação de estimativa como a realizada neste estudo. Portanto, a redundância de índices torna a análise dos resultados mais robusta e confiável.

A explicação para o melhor desempenho do método de Hargreaves-modificado, pode estar no fato de ele considerar a variável mais bem correlacionada, correlação Muito Forte, com a ET_0 durante o período e para o local estudado, que foi a radiação solar global ($r = 0,93$ e $r^2 = 0,87$).

Os métodos de Hargreaves-Samani e Blaney-Criddle utilizam variáveis com correlações Moderada e Fraca com a ET_0 nas condições estudadas ($r < 60$ e $r^2 < 0,40$), o que explica o menor desempenho desses métodos nas estimativas dessa grandeza.

No entanto, os três métodos avaliados tiveram Desvio Médio Relativo elevados ($DMR > 58\%$), indicando que todos eles superestimaram consideravelmente as estimativas de ET_0 em comparação ao método de Penman-Monteith. Esse resultado indica que o método de Hargreaves-modificado acompanha muito bem a tendência do comportamento da ET_0 estimada por Penman-Monteith. Mas, por outro lado, tem um afastamento significativo em termos de magnitude da ET_0 em relação a Penman-Monteith. Os métodos de Blaney-Criddle e Hargreaves-Samani, além de uma correlação Moderada com Penman-Monteith, também apresentaram DMR elevado e muito elevado, respectivamente.

Tabela 4 – Índices estatísticos de desempenho dos métodos de estimativa da ET_0 , onde, *DMA* - Desvio Médio Absoluto, *DMR* - Desvio Médio Relativo, *d* - Índice de Concordância, *r* - Coeficiente de Correlação, r^2 - Coeficiente de Determinação e *c* - Índice de Confiança.

Método	DMA (mm)	DMR (%)	d	r	r^2	C	Variáveis Meteorológicas
HGM	2,0	58,3	0,71	0,94 (Muito Forte Positiva)	0,88	0,67 (bom)	$T_{ar}, T_{mim}, T_{max}, R_g$
BC	1,5	69,8	0,85	0,52 (Moderada Positiva)	0,27	0,44 (Ruim)	T_{ar}
HG	7,2	260,4	0,51	0,68 (Moderada Positiva)	0,47	0,35 (Ruim)	$T_{ar}, T_{mim}, T_{max}, R_a$

4.5) Proposta de ajuste em escala mensal para os métodos de Hargreaves-Samani, Blaney-Criddle e Hargreaves-modificado

Os ajustes mensais propostos na tabela 5 são os DMA gerados para cada método considerando os anos de 2008 a 2010 da série de dados. O ano de 2011 foi excluído desse cálculo, tendo em vista que ele foi utilizado como validação desses ajustes. Portanto, os valores da tabela 5 foram diminuídos das estimativas mensais de ET_o de cada método avaliado, tendo em vista que todos eles superestimaram a ET_o em relação ao método de Penman-Monteith. Assim, o ajuste mensal é o DMA mensal com sinal contrário.

Pela figura 23, tem-se que os Desvio Médio Absoluto (DMA) e o Desvio Médio (DM) mensais foram iguais para cada método, em todos os meses. Dessa forma, o ajuste proposto poderia ter sido baseado no DM ou no DMA sem alteração significativa dos resultados. No entanto, tendo em vista a exceção ocorrida em fevereiro, em que o DMA (1,3) foi superior ao DM (0,6), optou-se pelo ajuste com base no DMA para que nesse mês não houvesse um desperdício de água devido a um menor ajuste.

Observa-se que o método de Hargreaves-Samani teve os maiores ajustes com valores entre $-4,2 \text{ mm.dia}^{-1}$ (junho) e $-9,8 \text{ mm.dia}^{-1}$ (janeiro). Os maiores ajustes ocorreram de agosto a abril e os menores entre maio e julho.

Para o método de Blaney-Criddle os ajustes variaram entre $-1,2 \text{ mm.dia}^{-1}$ (agosto) e $-1,7 \text{ mm.dia}^{-1}$ (outubro, novembro e dezembro). Os menores ajustes foram nos meses de fevereiro, agosto e setembro e os maiores nos demais meses.

Já para o método de Hargreaves-modificado os ajustes tiveram valores entre $-1,6 \text{ mm.dia}^{-1}$ (maio e junho) e $-3,0 \text{ mm.dia}^{-1}$ (fevereiro). Com exceção do mês de fevereiro, todos os ajustes foram inferiores ou igual a $2,3 \text{ mm.dia}^{-1}$.

Tabela 5 – Ajustes mensais propostos para as estimativas de ET_o obtidas pelos métodos de Hargreaves-Samani (HG), Blaney-Criddle (BC) e Hargreaves-modificado (HGM) para a região de estudo.

Mês	DMA_HG (mm.dia ⁻¹)	DMA_BC (mm.dia ⁻¹)	DMA_HGM (mm.dia ⁻¹)
Janeiro	-9,8	-1,6	-2,3
Fevereiro	-9,4	-1,3	-3,0

Março	-7,9	-1,4	-2,0
Abril	-6,0	-1,4	-1,7
Mai	-4,9	-1,6	-1,6
Junho	-4,2	-1,5	-1,6
Julho	-4,5	-1,4	-1,9
Agosto	-5,5	-1,2	-2,1
Setembro	-7,0	-1,3	-2,2
Outubro	-8,4	-1,7	-1,7
Novembro	-9,1	-1,7	-1,8
Dezembro	-9,1	-1,7	-1,9

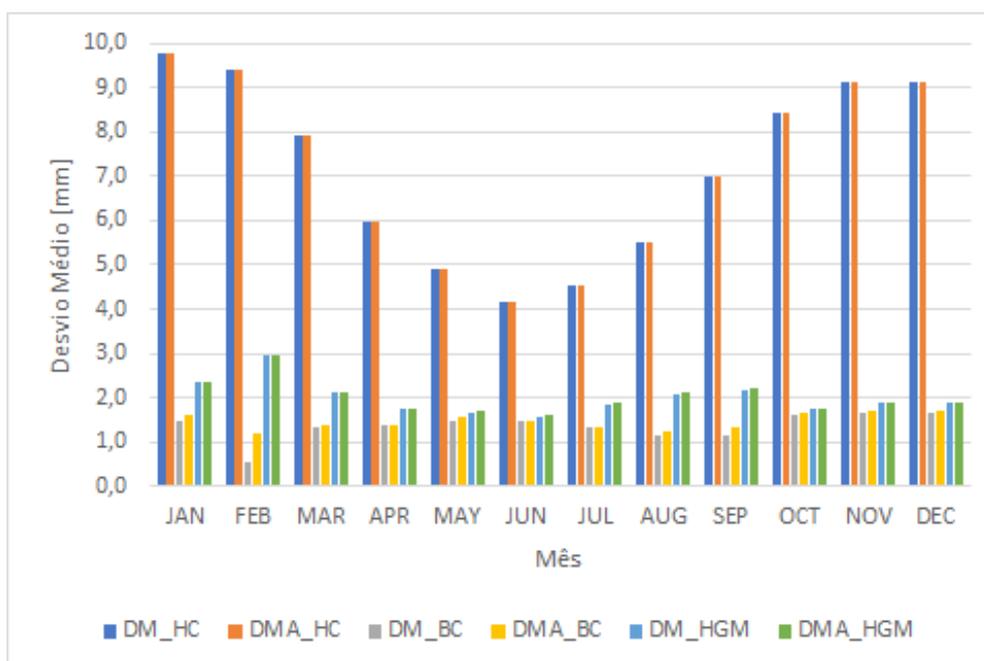


Figura 23 – Desvio Médio (DM) e Desvio Médio Absoluto (DMA) dos métodos de estimativa da ET, Hargreaves-Samani (HG), Blaney-Criddle (BC) e Hargreaves-modificado (HGM) em relação ao método de Penman-Monteith.

Na figura 24 são mostrados os resultados dos ajustes aplicados às estimativas de ET_o para o método de Hargreaves-Samani para os meses de janeiro (figura 24a: verão), abril (figura 24b: outono), julho (figura 24c: inverno) e setembro (figura 24d: primavera). Os ajustes aproximaram significativamente as curvas das estimativas de ET_o obtidas por Hargreaves-Samani das obtidas por Penman-Monteith nas quatro situações avaliadas.

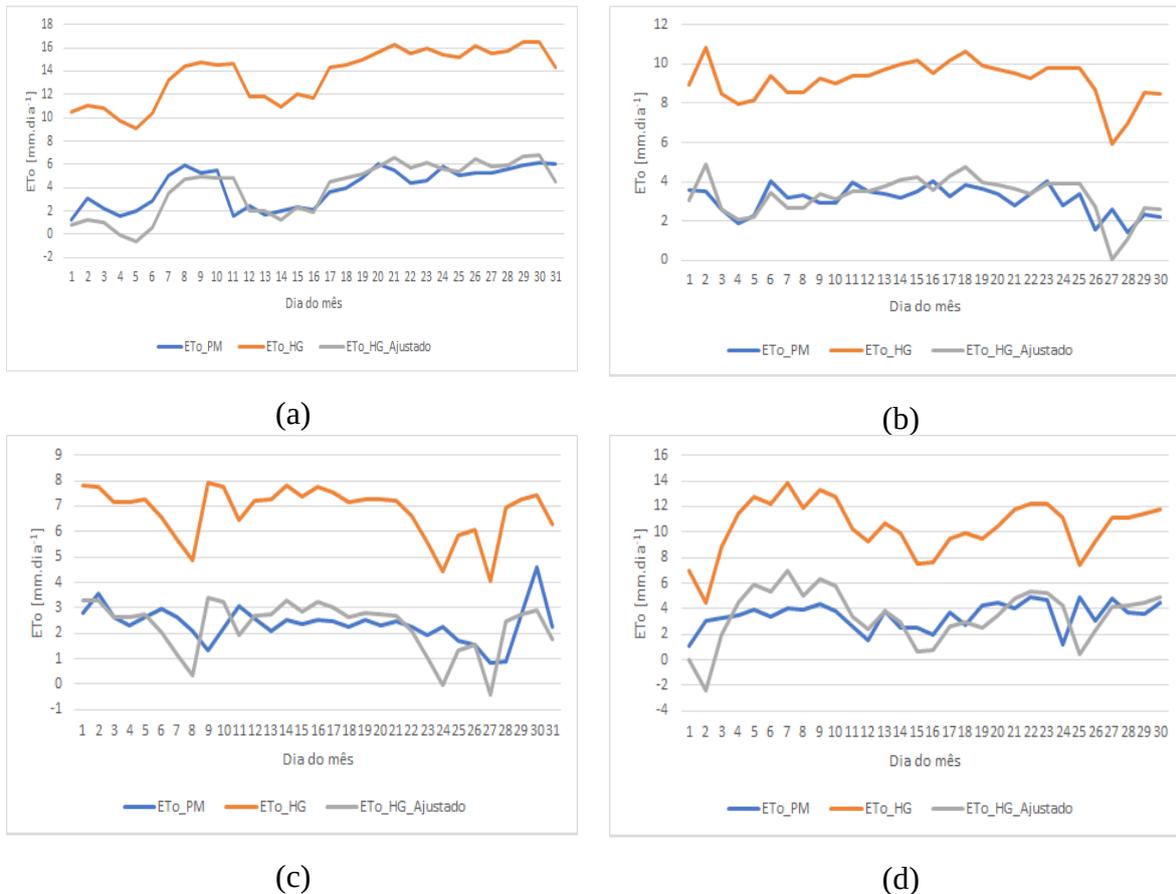


Figura 24 - Resultado dos ajustes aplicados às estimativas de ET_o para o método de Hargreaves-Samani para os meses de: (a) janeiro (verão); (b) abril (outono); (c) julho (inverno); (d) setembro (primavera).

Na figura 25 são mostrados os resultados dos ajustes aplicados às estimativas de ET_o para o método de Blaney-Criddle para os meses de janeiro (figura 25a: verão), abril (figura 25b: outono), julho (figura 25c: inverno) e setembro (figura 25d: primavera). Os ajustes deslocaram as curvas das estimativas de ET_o obtidas por Hargreaves-Samani, nas quatro situações avaliadas, dos valores máximos para os valores médios da curva de Penman-Monteith.

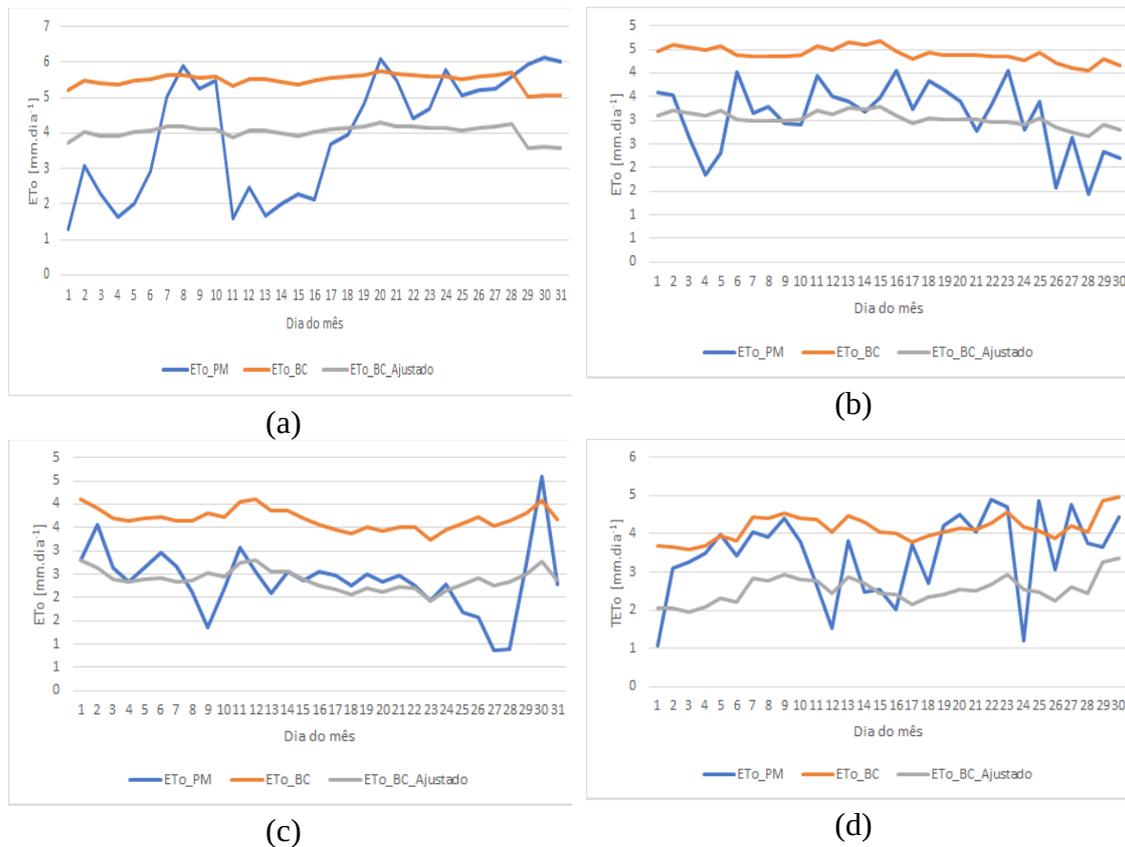


Figura 25 - Resultado dos ajustes aplicados às estimativas de ET_o para o método de Blaney-Criddle para os meses de: (a) janeiro (verão); (b) abril (outono); (c) julho (inverno); (d) setembro (primavera).

Na figura 26 são mostrados os resultados dos ajustes aplicados às estimativas de ET_o para o método de Hargreaves-modificado para os meses de janeiro (figura 26a: verão), abril (figura 26b: outono), julho (figura 26c: inverno) e setembro (figura 26d: primavera). Os ajustes aproximaram significativamente as curvas das estimativas de ET_o obtidas por Hargreaves-modificado das obtidas por Penman-Monteith nas quatro situações avaliadas.

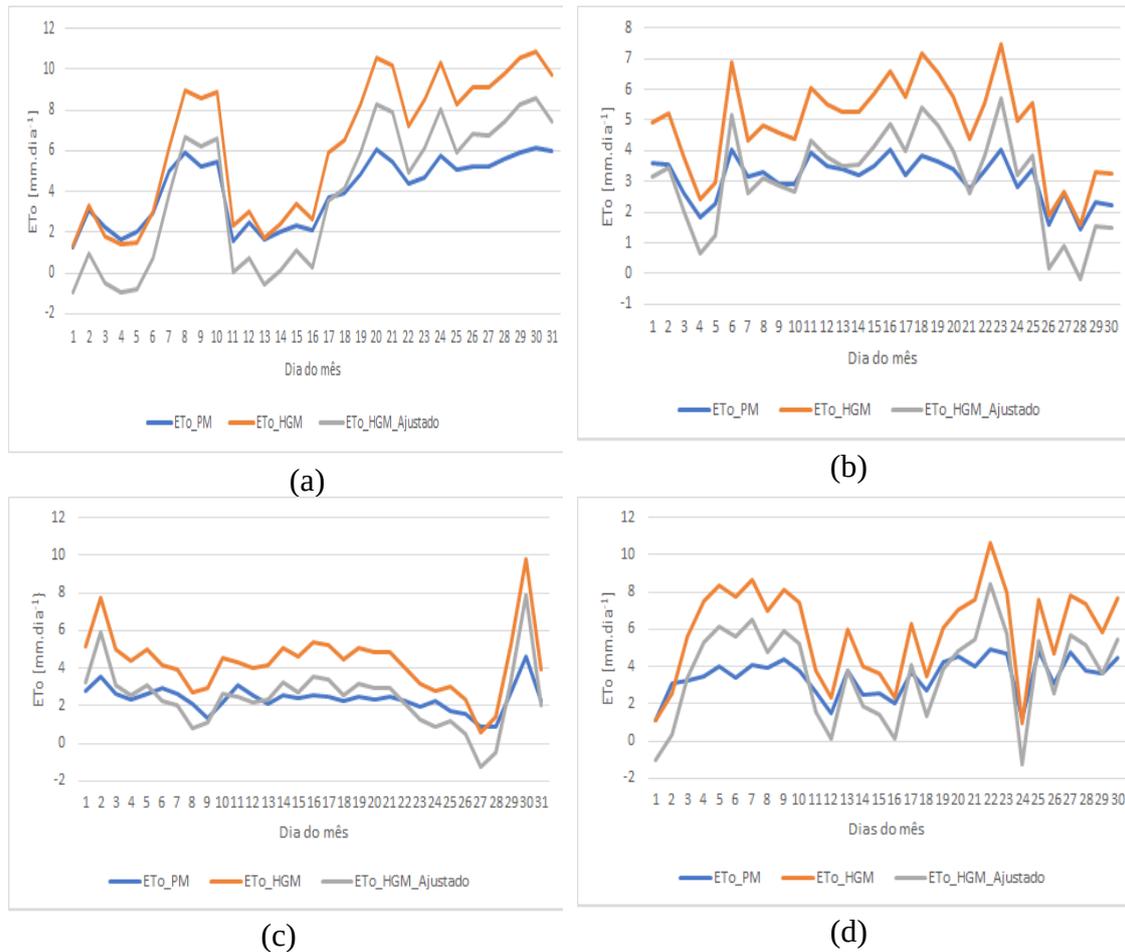


Figura 26 - Resultado dos ajustes aplicados às estimativas de ET_o para o método de Hargreaves-modificado para os meses de: (a) janeiro (verão); (b) abril (outono); (c) julho (inverno); (d) setembro (primavera).

Pela tabela 6, observa-se que o novo DMA calculado, para Hargreaves-Samani, após a aplicação dos ajustes (DMA_HG_Ajustado) diminuiu de valores entre 4,4 e 9,6 mm.dia⁻¹ (julho e janeiro) para valores entre 0,6 e 1,4 mm.dia⁻¹ (abril e setembro). Em média o DMA reduziu de 6,8 mm.dia⁻¹ para 0,9 mm.dia⁻¹. Para o caso de Blaney-Criddle, o novo DMA calculado após a aplicação dos ajustes (DMA_BC_Ajustado) diminuiu de valores entre 0,9 e 1,7 mm.dia⁻¹ (setembro e janeiro) para valores entre 0,4 e 1,5 mm.dia⁻¹ (julho e janeiro). Em média o DMA reduziu de 1,3 mm.dia⁻¹ para 0,9 mm.dia⁻¹. Já para Hargreaves-modificado, o novo DMA calculado após a aplicação dos ajustes (DMA_HGM_Ajustado) diminuiu de valores entre 1,7 e 5,9 mm.dia⁻¹ (abril e setembro) para valores entre 0,7 e 1,7 mm.dia⁻¹ (abril e janeiro). Em média o DMA reduziu de 3,0 mm.dia⁻¹ para 1,1 mm.dia⁻¹.

Tabela 6 – Desvios Médios Absolutos antes e após aos ajustes aplicados aos métodos de Hargreaves-Samani (DMA_HG e DMA_HG_Ajustado), Blaney-Criddle (DMA_BC e DMA_BC_Ajustado) e Hargreaves-modificado (DMA_HGM e DMA_HGM_Ajustado).

	DMA_H G (mm.dia ⁻¹)	DMA_H G Ajustado (mm.dia ⁻¹)	DMA_B C (mm.dia ⁻¹)	DMA_B C Ajustado (mm.dia ⁻¹)	DMA_HG M (mm.dia ⁻¹)	DMA_HG M Ajustado (mm.dia ⁻¹)
Janeiro	9,6	1,0	1,7	1,5	2,3	1,7
Abril	6,1	0,6	1,3	0,5	1,7	0,7
Julho	4,4	0,7	1,3	0,4	2,0	0,8
Setembro	6,9	1,4	0,9	1,2	5,9	1,3
Média	6,8	0,9	1,3	0,9	3,0	1,1

Na figura 27 e na tabela 7 são apresentados os valores totais mensais de ET_o estimados pelo método de Penman-Monteith (PM) e pelos métodos de Hargreaves-Samani (HG), Blaney-Criddle (BC) e Hargreaves-modificado (HGM), antes e após a aplicação dos ajustes, para os meses de: (a) janeiro; (b) abril; (c) julho; (d) setembro.

O método de Hargreaves-Samani superestimou o total mensal de ET_o em 298,7 mm (238,8%) antes do ajuste e subestimou em 3,6 mm (-2,9%) após o ajuste, no mês de janeiro, em relação a Penman-Monteith (figura 27a). No mês de abril, esse método superestimou em 182,1 (197,1%) mm antes do ajuste e em 5,1 mm (5,5%) após o ajuste (figura 27b). Já em julho superestimou em 137,1 mm (186,5%) antes do ajuste e

subestimou em 2,4 mm (-3,3%) após o ajuste (figura 27c). Em setembro superestimou em 208,2 mm (200,2%) e em 1,2 mm (1,2%) antes e após o ajuste, respectivamente (figura 27d). Em média o DMR passou de 205,7% para 0,1%, após o ajuste.

O método de Blaney-Criddle em janeiro superestimou em 45,1 mm (36,1%) antes do ajuste e subestimou em 0,1 mm (-0,1%) após o ajuste (figura 27a). Em abril superestimou em 39,6 mm (42,9%) antes do ajuste e subestimou em 1,5 mm (-1,6%) após o ajuste (figura 27b). Em julho superestimou em 40,8 mm (55,5%) e em 0,5 mm (0,7%) antes e após o ajuste, respectivamente (figura 27c). Em setembro superestimou em 20,5 mm (19,7%) antes do ajuste e subestimou em 27,8 mm (-26,7%) após o ajuste (figura 27d). Em média o DMR passou de 38,6% para -6,9%, após o ajuste.

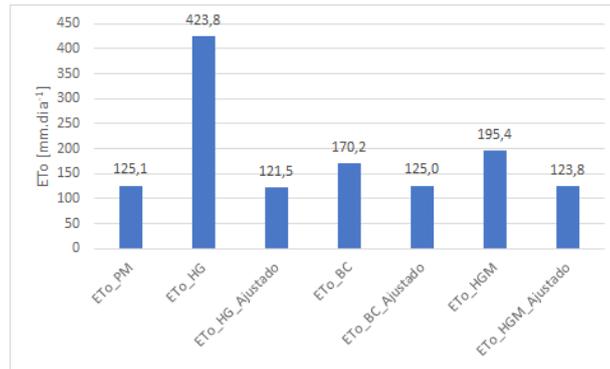
O método de Hargreaves-modificado em janeiro superestimou em 70,3 mm (56,2%) antes do ajuste e subestimou em 1,3 mm (-1,0%) após o ajuste (figura 27a). Em abril superestimou em 52,2 mm (56,5%) antes do ajuste e subestimou em 0,1 mm (-0,05%) após o ajuste (figura 27b). Em julho superestimou em 60,3 mm (82,0%) antes do ajuste e em 2,3 mm (3,1%) após o ajuste (figura 27c). Por fim, em setembro o método superestimou em 73,1 mm (70,3%) antes do ajuste e em 7,4 mm (7,1%) após o ajuste (figura 27d). Em média o DMR passou de 66,3% para 2,3%, após o ajuste.

O ajuste proposto proporcionou uma melhora muito significativa do desempenho das estimativas da ET_0 por todos os métodos, com exceção para o método de Blaney-Criddle no mês de setembro, quando o DMR aumentou de 19,7% para -26,7%. Para os demais casos, o DMR foi no máximo 7,1%, o que é considerado muito bom.

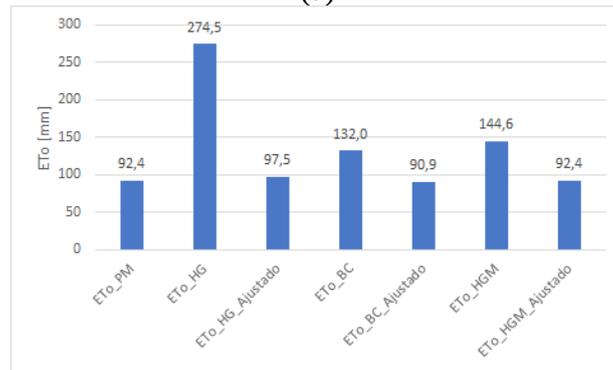
Tabela 7 – Desvios Médios Relativos antes e após aos ajustes aplicados aos métodos de Hargreaves-Samani (DMR_HG e DMR_HG_Ajustado), Blaney-Criddle (DMR_BC e DMR_BC_Ajustado) e Hargreaves-modificado (DMR_HGM e DMR_HGM_Ajustado) para a ET_0 total mensal para os meses de janeiro, abril, julho e setembro.

	DMR_H G (%)	DMR_H G Ajustado (%)	DMR_B C (%)	DMR_B C Ajustado (%)	DMR_HG M (%)	DMR_HG M Ajustado (%)
Janeiro	238,8	-2,9	36,1	-0,1	56,2	-1,0
Abril	197,1	5,5	42,9	-1,6	56,5	-0,05
Julho	186,5	-3,3	55,5	0,7	82,0	3,1
Setembro	200,2	1,2	19,7	-26,7	70,3	7,1

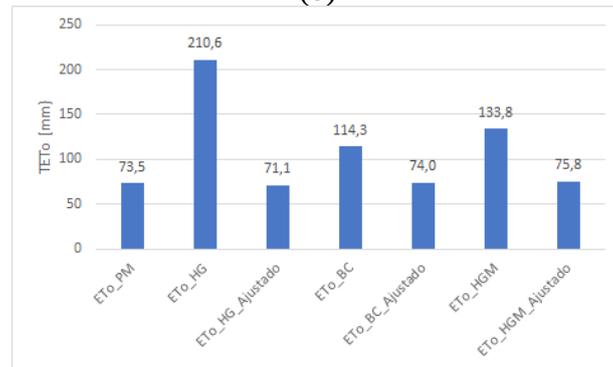
Média	205,7	0,1	38,6	-6,9	66,3	2,3
-------	-------	-----	------	------	------	-----



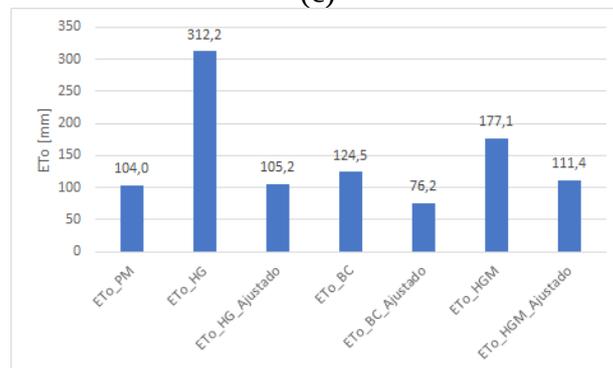
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 27 – Ajustes aplicados às estimativas dos totais mensais de ET_o obtidos pelos métodos de Hargreaves-Samani, Blaney-Criddle e Hargreaves-modificado para os meses de a) janeiro; b) abril; c) julho; d) setembro.

As tabelas de 8 a 11 contêm os coeficientes angular (b) e linear (a), de correlação (r) e de regressão (r²) das retas de regressão entre cada método avaliado e o de Penman-Monteith, além do Desvio Médio Absoluto (DMA) e do Desvio Médio Relativo (DMR) para os meses de janeiro, abril, julho e setembro, respectivamente. Por esses resultados, pode-se observar que os ajustes propostos somente aproximam os valores estimados por cada método daqueles estimados por Penman-Monteith. Portanto, só promovem uma melhora efetiva para os métodos que têm um coeficiente de correlação alto com o método de Penman-Monteith, uma vez que tais ajustes apenas modificam os coeficientes lineares das retas de regressão, mantendo o coeficiente angular e o coeficiente de regressão inalterados (figura 28).

Tabela 8 – Coeficientes angular (b) e linear (a), de correlação (r) e de regressão (r²) da reta de regressão entre cada método avaliado e o de Penman-Monteith, Desvio Médio Absoluto (DMA) e Desvio Médio Relativo (DMR) para o mês de janeiro.

Verão (Janeiro)	b	a	r ²	r	DMA	DMR
HG	1,13	9,1	0,6986	0,8358	9,6	238,8
HG_Ajustado	1,13	-0,64	0,6986	0,8358	1,0	-2,9
BC	0,02	5,41	0,0300	0,1732	1,7	36,1
BC_Ajustado	0,02	3,95	0,0300	0,1732	1,5	-0,1
HGM	2,02	-1,83	0,9591	0,9793	2,3	56,2
HGM_Ajustado	2,02	-4,14	0,9591	0,9793	1,7	-1,0

Tabela 9 – Coeficientes angular (b) e linear (a), de correlação (r) e de regressão (r²) da reta de regressão entre cada método avaliado e o de Penman-Monteith, Desvio Médio Absoluto (DMA) e Desvio Médio Relativo (DMR) para o mês de abril.

Outono (Abril)	b	a	r ²	r	DMA	DMR
HG	0,93	6,26	0,4258	0,6525	6,1	197,1
HG_Ajustado	0,93	0,36	0,4258	0,6525	0,6	5,5
BC	0,10	4,09	0,2292	0,4787	1,3	42,9
BC_Ajustado	0,10	2,72	0,2292	0,4787	0,5	-1,6
HGM	2,07	-1,54	0,9066	0,9522	1,7	56,5
HGM_Ajustado	2,07	-3,28	0,9066	0,9522	0,7	-0,05

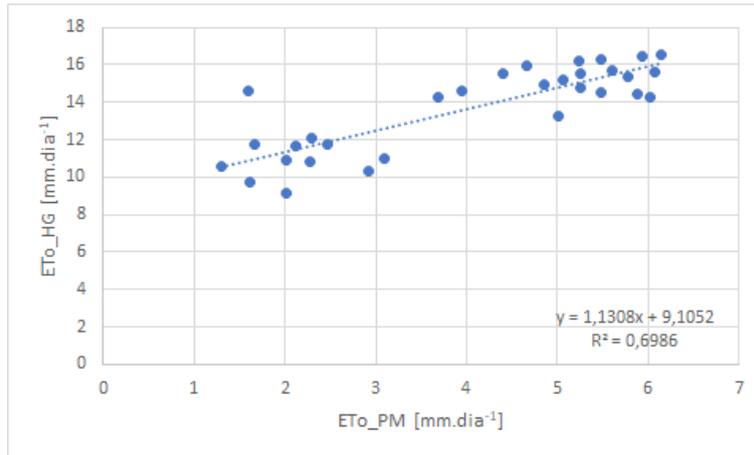
0						
---	--	--	--	--	--	--

Tabela 10 – Coeficientes angular (b) e linear (a), de correlação (r) e de regressão (r^2) da reta de regressão entre cada método avaliado e o de Penman-Monteith, Desvio Médio Absoluto (DMA) e Desvio Médio Relativo (DMR) para o mês de julho.

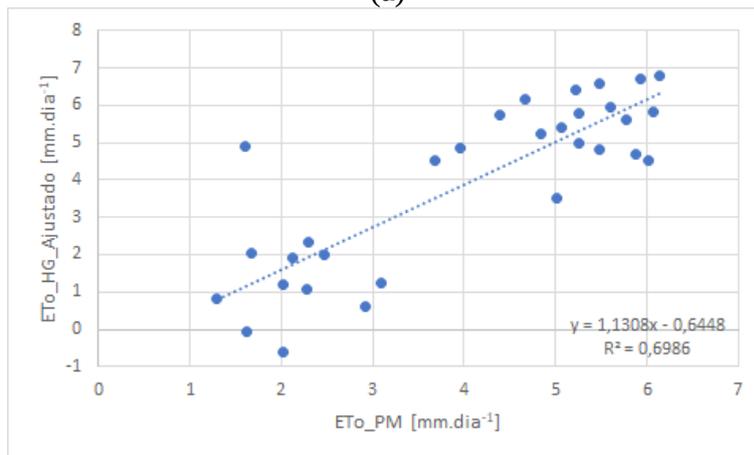
Inverno (Julho)	b	a	r^2	r	DMA	DMR
HG	0,55	5,48	0,1491	0,3861	4,4	186,5
HG_Ajustado	0,55	0,98	0,1491	0,3861	0,7	-3,3
BC	0,14	3,36	0,2056	0,4534	1,3	55,5
BC_Ajustado	0,14	2,06	0,2056	0,4534	0,4	0,7
HGM	2,17	-0,83	0,8356	0,9141	2,0	82,0
HGM_Ajustado	2,17	-2,70	0,8356	0,9141	0,8	3,1

Tabela 11 – Coeficientes angular (b) e linear (a), de correlação (r) e de regressão (r^2) da reta de regressão entre cada método avaliado e o de Penman-Monteith, Desvio Médio Absoluto (DMA) e Desvio Médio Relativo (DMR) para o mês de setembro.

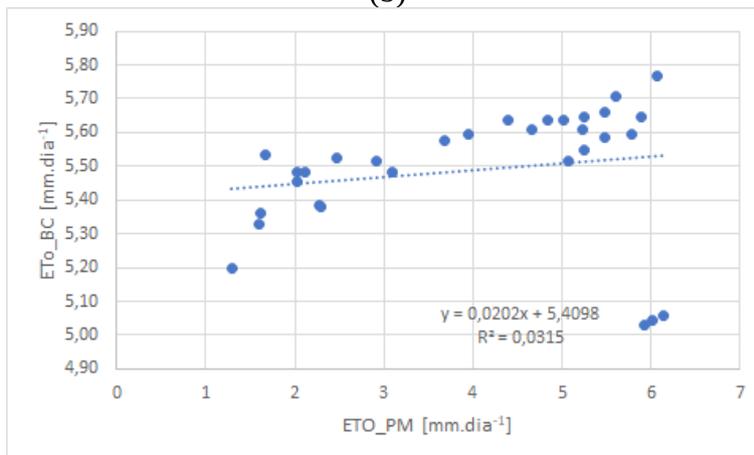
Primavera (Setembro)	b	a	r^2	r	DMA	DMR
HG	0,92	7,22	0,2118	0,4602	6,9	200,2
HG_Ajustado	0,92	0,32	0,2118	0,4602	1,4	1,2
BC	0,12	3,72	0,1442	0,3797	0,9	19,7
BC_Ajustado	0,12	2,11	0,1442	0,3797	1,2	-26,7
HGM	2,11	-1,43	0,8279	0,9099	5,9	70,3
HGM_Ajustado	2,11	-3,62	0,8279	0,9099	1,3	7,1



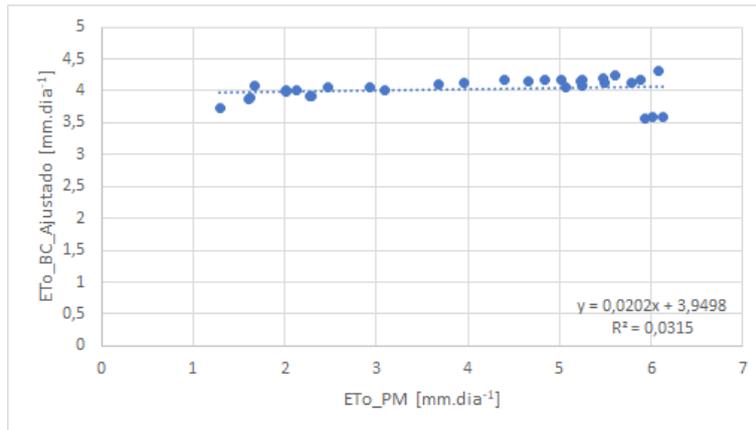
(a)



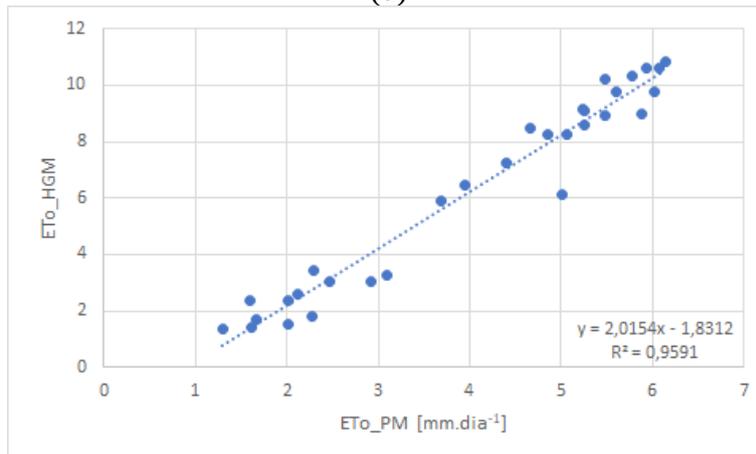
(b)



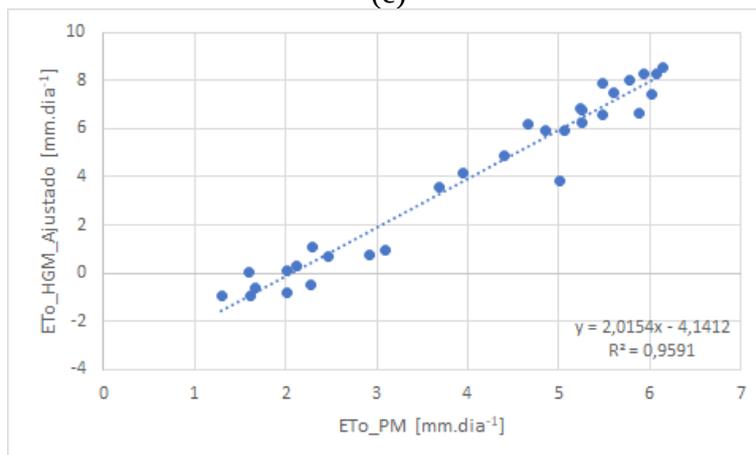
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 28 - Comparação dos gráficos de dispersão sem ajuste e com ajuste para as estimativa de ET_0 para o mês de janeiro de 2011: a) ET_{0_PM} e ET_{0_HG} ; b) ET_{0_PM} e $ET_{0_HG_Ajustado}$; (c) ET_{0_PM} e ET_{0_BC} ; d) ET_{0_PM} e $ET_{0_BC_Ajustado}$; e) ET_{0_PM} e ET_{0_HGM} ; f) ET_{0_PM} e $ET_{0_HGM_Ajustado}$.

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES

A seguir serão apresentadas as conclusões deste trabalho agrupadas por tipo de análise realizada, a saber:

i. Influência das variáveis meteorológicas na ET_0 :

- a) Na região de estudo a ET_0 acompanha de forma muito forte a tendência de comportamento da Radiação Solar e da Umidade Relativa do Ar e acompanha moderadamente a Temperatura Média e Máxima do Ar;
- b) A Temperatura Mínima do Ar e a Intensidade do Vento não têm uma correlação significativa com o comportamento da ET_0 ;
- c) O mecanismo de evapotranspiração é governado principalmente pela Radiação Solar, que explica praticamente 90% do comportamento da ET_0 ;
- d) Os resultados apresentam coerência quanto à sazonalidade da radiação solar global e da temperatura do ar e conseqüentemente da ET_0 , com valores mínimos no inverno e máximos no verão, tendo em vista que fisicamente a ET_0 deve responder de forma diretamente proporcional a essas grandezas;
- e) A resposta da ET_0 à umidade relativa do ar, também é fisicamente coerente, uma vez que apresentou comportamento inversamente proporcional;
- f) A resposta da ET_0 à intensidade do vento não é expressiva na região de estudo;
- g) A umidade relativa do ar e a intensidade do vento não apresentaram uma sazonalidade evidente.

ii. Avaliação das estimativas de ET_0 em escala mensal:

- a) O desempenho de cada método variou dependendo da magnitude que as estimativas da ET_0 assumiram (valores mínimos, médios ou máximos). Os valores mínimos mensais foram melhor estimados pelo método de Hargreaves-modificado; os valores médios mensais foram melhor estimados pelo método de Blaney-Cridley, seguido por Hargreaves-modificado; os valores máximos mensais tiveram suas melhores estimativas pelo método de Blaney-Cridley.
- b) O método Hargreaves-modificado teve uma correlação Muito Forte em termos de tendência em relação às estimativas mensais da ET_0 , quando comparado ao

método FAO 56 Penman-Monteith para a região de estudo, em todos os meses do ano;

- c) Para os métodos de Hargreaves-Samani e Blaney-Criddle as concordâncias oscilaram entre Fraca e Moderada, dependendo do mês analisado;
- d) Os três métodos avaliados tiveram Desvio Médio Relativo elevados (DMR), indicando que todos eles superestimaram consideravelmente as estimativas de ET_0 em comparação ao método de Penman-Monteith;
- e) O método de Hargreaves-modificado acompanha muito bem a tendência do comportamento da ET_0 estimada por Penman-Monteith. Mas, por outro lado, tem um afastamento significativo em termos de magnitude da ET_0 em relação a Penman-Monteith;
- f) A mudança da escala mensal para a decenal surtiu efeito positivo no desempenho para os métodos de Hargreaves-Samani (em sete decênios: janeiro para os três decênios, fevereiro e março para o 1º decênio, agosto para o 3º decênio, setembro para o 2º decênio) e para o método de Blaney-Criddle (em três decênios: janeiro e março para o 1º decênio, dezembro para o 2º decênio de dezembro).

iii. Avaliação dos índices estatísticos de desempenho para as estimativas da ET_0 pelos métodos de Hargreaves-modificado, Hargreaves-Samani e Blaney-Criddle para todo o período de estudo (2008 a 2011):

- a) O método de Hargreaves-modificado é o mais confiável, para ser utilizado na região de estudo, em termos de desempenho nas estimativas da ET_0 , tendo em vista que foi bem avaliado por todos os índices estatísticos considerados. No entanto, seu DMR é elevado. Isso indica que, se por um lado esse método acompanha bem de perto o comportamento em termos de tendência do método de Penman-Monteith, por outro lado ele tem um desvio considerável em suas estimativas em relação ao método de referência;
- b) O melhor desempenho do método de Hargreaves-modificado, pode estar no fato de ele considerar a variável mais bem correlacionada, correlação muito forte, com a ET_0 durante o período e local estudado, que é a radiação solar global;

- c) Os métodos de Hargreaves-Samani e Blaney-Criddle utilizam variáveis com correlações moderada e fraca com a ET_0 nas condições estudadas, o que explica o desempenho pouco satisfatório desses métodos nas estimativas dessa grandeza.
- iv. Avaliação das modificações e ajustes propostos por este trabalho em relação aos métodos de Hargreaves-Samani, Blaney-Criddle e Hargreaves-modificado:**
- a) A proposta de substituição da radiação solar no topo da atmosfera pela radiação solar em superfície proporcionou uma melhora significativa do coeficiente de correlação com Penman-Monteith, do método Hargreaves-modificado em relação a sua versão original Hargreaves-Samani. Mas o seu DMR permaneceu considerável, o que justificou a aplicação do ajuste para este método também;
- b) O ajuste mensal proposto aos métodos Hargreaves-Samani, Blaney-Criddle e Hargreaves-modificado obtiveram bons resultados para as quatro estações do ano, exceto para a primavera pelo método de Blaney-Criddle;
- v. Classificação de desempenho dos métodos para a região de estudo, indicando em ordem decrescente de desempenho aqueles que podem ser utilizados para o manejo de irrigação na região, a saber:**

INDICAÇÃO PRIORITÁRIA DO USO DOS MÉTODOS PARA A REGIÃO DE ESTUDO				
Estação do ano	Classificação (desempenho)	Método	r	DMR
Verão (janeiro)	1º	HGM_Ajustado	0,9793	-1,0
	2º	HG_Ajustado	0,8358	-2,9
Outono (abril)	1º	HGM_Ajustado	0,9522	0,0
Inverno (julho)	1º	HGM_Ajustado	0,9141	3,5
Primavera (setembro)	1º	HGM_Ajustado	0,9099	7,1

INDICAÇÃO GERAL DO USO DOS MÉTODOS PARA A REGIÃO DE ESTUDO			
VERÃO (janeiro)	r	DMR	Ordem de classificação do método
HGM_Ajustado	0,9793	-1,0	1° (Recomendado)
HG_Ajustado	0,8358	-2,9	2° (Recomendado)
HGM	0,9793	56,2	3° (Recomendado)
HG	0,8358	238,8	4° (Não recomendado)
BC_Ajustado	0,1732	-0,1	5° (Não recomendado)
BC	0,1732	36,1	6° (Não recomendado)
OUTONO (abril)	r	DMR	Ordem de classificação do método
HGM_Ajustado	0,9522	0,0	1° (Recomendado)
HG_Ajustado	0,6525	5,5	2° (Recomendado)
HGM	0,9522	56,5	3° (Recomendado)
BC_Ajustado	0,4787	-1,6	4° (Recomendado)
BC	0,4787	42,9	5° (Não recomendado)
HG	0,6525	197,1	6° (Não recomendado)
INVERNO (julho)	r	DMR	Ordem de classificação do método
HGM_Ajustado	0,9141	3,1	1° (Recomendado)
HGM	0,9141	82,0	2° (Recomendado)
BC_Ajustado	0,4534	0,7	3° (Recomendado)
BC	0,4534	55,5	4° (Recomendado)
HG_Ajustado	0,3861	-3,3	5° (Recomendado)
HG	0,3861	186,5	6° (Não recomendado)
PRIMAVERA (setembro)	r	DMR	Ordem de classificação do método
HGM_Ajustado	0,9099	7,1	1° (Recomendado)
HGM	0,9099	70,3	2° (Recomendado)
HG_Ajustado	0,4602	1,2	3° (Recomendado)
BC	0,3797	19,7	4° (Recomendado)
BC_Ajustado	0,3797	-26,7	5° (Recomendado)
HG	0,4602	200,2	6° (Não recomendado)

vi. Considerações finais:

Sugere-se fortemente que futuros trabalhos de avaliação de estimativas da ETo considerem diferentes índices estatísticos, proponham ajustes, façam uma classificação por desempenho, avaliem sazonalmente e em diferentes escalas de tempo, tendo em vista que:

O uso de vários índices estatísticos proporcionou uma avaliação mais segura e robusta, devido à diferença de desempenho de um mesmo método em relação aos diferentes índices considerados. Ficou evidente que os índices que avaliaram a concordância de comportamento das estimativas (coeficiente de correlação, índice de concordância e índice de confiança) não garantiram a exatidão das mesmas (desvio médio absoluto e relativo) e vice-versa.

Adicionalmente, não há um consenso na literatura a respeito de quais índices seriam os melhores para a avaliação de estimativas como as feitas neste estudo, sendo esta mais uma razão para o uso de diferentes estatísticas de avaliação como garantia de um resultado mais seguro.

A forma proposta para os ajustes dos métodos, embora simples, melhorou significativamente as estimativas da ETo. Por sua vez, uma estimativa mais realista dessa grandeza promoverá uma prática racional da irrigação, com uma economia expressiva de água.

Nesse sentido, a classificação dos métodos avaliados no que se refere a sua concordância e exatidão em relação ao método de referência, teve como objetivo fornecer diferentes possibilidades para os agricultores. Dessa forma, pretende-se aumentar a chance de uso de um método que traga algum ganho, mesmo que não seja o maior, considerando-se que qualquer economia de água é melhor que nenhuma. Com isso, visa-se disponibilizar um leque de opções cujo o uso fica condicionado a sua viabilidade por parte do produtor, que escolherá o método a ser utilizado de acordo com suas possibilidades de uso efetivo, mas que sempre será mais vantajoso do que não utilizar nenhum desses métodos elencados para a sua região.

A avaliação sazonal dos métodos e em diferentes escalas de tempo mostrou-se vantajosa, uma vez que os resultados indicaram desempenhos díspares em diferentes épocas do ano e para período de tempo variável. Um método não indicado para uma estação do ano teve bom desempenho em outras estações. O mesmo ocorreu com as

escalas de tempo consideradas, em que o desempenho melhorou em alguns decênios em relação à escala mensal. Essas análises, permitirão o uso seletivo de cada método de acordo com a época do ano em que seu desempenho foi considerado o melhor ou vantajoso em termos de economia de água.

Por fim, vale ressaltar a necessidade de atualização dos ajustes propostos devido a sua natureza estatística (empírica) vulnerável às modificações de tendências do comportamento das grandezas físicas que governam o fenômeno da ET_0 , frente à ocorrência de uma variabilidade natural do clima ou mudança climática.

Referências Bibliográficas

Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D. & Smith, M. 1998. *Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. Rome, FAO. 301 p.

Allen, R. G.; Tasumi, M. & Trezza, R. 2002. *SEBAL: Surface Energy Balance Algorithms for Land*. Idaho. 98 p. (Manual de Treinamento Avançado, versão 1).

Amorim, C.A.; Sedyama, G.C.; Sobrinho, J.E. & Justino, F.B. 2007. Análise dos efeitos diretos e indiretos das variáveis meteorológicas no processo de evapotranspiração. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XV, Aracaju, 2007. Trabalho completo, Aracaju, SBA, CD-ROOM.*

Amorim, M.C.; Grossi, M.C.; Justino, F.; Sedyama, G.C.; Costa, L.C.; Júnior, J.L.C.S.; Alves, M.E.B. & Eleutério, M.M. 2007. Avaliação da REANÁLISE do ECMWF na estimativa da evapotranspiração de referência em Viçosa (MG). *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XV, Aracaju, 2007. Trabalho completo, Aracaju, SBA, CD-ROOM.*

Amorim, A.; Souza, J.L. & Lyra, G.B. 2011. Evapotranspiração de Referência Estimada por Métodos de Dados Mínimos Climáticos para o Estado de Alagoas. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XVII, Guarapari, 2011. Trabalho completo, Guarapari, SBA, CD-ROOM.*

Araújo, C.A.B.; Righetto, A.M.; Barbosa, J.K.F. & Mattos, A. 2005. Avaliação de desenvolvimento da agricultura irrigada na região de Cruzeta, RN. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XVI, João Pessoa, 2005. *Trabalho completo*, João Pessoa, SBRH, CD-ROOM.

Araújo, W.F.; Costa, S.A.A.; Rodrigues, T.G. & Maciel, F.C.S. 2007. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) para Boa Vista, RR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XV, Aracaju, 2007. *Trabalho completo*, Aracaju, SBA, CD-ROOM.

Araújo, J. E. M.; Silva, T. G. F.; Cruz Neto, J. F. & Silva, F. V. 2011. Consumo de Água do Feijão Caupi Usando Dados de Estações Meteorológicas Convencional e Automática em Arcoverde, PE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XVII, Guarapari, 2011. *Trabalho completo*, Guarapari, SBA, CD-ROOM.

Barros, V.R.; Souza, A.P.; Carvalho, D.F.; Silva, L.D.B. & Salvador, C.A. 2007. Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica-RJ, utilizando lisímetro de pesagem e modelos matemáticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XV, Aracaju, 2007. *Trabalho completo*, Aracaju, SBA, CD-ROOM.

Bastiaanssen, W.G.M. 1995. *Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain*. Wageningen Agricultural University, Ph.D. Thesis, 273 p.

Bastiaanssen, W. G.M.; Menenti, M.; Feddes, R. A. & Holtslag, A. A. M. 1998a. A Remote Sensing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) 1. Validation. *Journal of Hydrology*, 212 – 213: 198 – 212.

Bastiaanssen, W. G. M.; Pelgrum, H.; Wang, J.; Moreno, J. F.; Roenink, G. J. & Van der Wal T. 1998b. A Remote Sensing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) 2. Validation. *Journal of Hydrology*, 212-213: 213-229.

Bastiaanssen, W. G. M. 2000. SEBAL: Based Sensible and Latent Heat Fluxes in the Irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hidrology*, 229: 87-100.

Batista, W.R.M.; Faccioli, G.G.; Silva, A.A.G. & Aguiar Netto, A.O. 2007. Determinação da evapotranspiração de referência na região de Canindé do São Francisco-SE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XV, Aracaju, 2007. *Trabalho completo*, Aracaju, SBA, CD-ROOM.

Bezerra, F.M.L. & Oliveira, C.H.C. 1999. Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura nos estádios fenológicos da melancia irrigada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 3(2): 173-7.

Bezerra, B.G. 2006. *Balço de Energia e Evapotranspiração em Áreas com Diferentes Tipos de Cobertura de Solo no Cariri Cearense Através do Algoritmo SEBAL*. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande, Dissertação de Mestrado, 127 p.

Borges, A.C. & Mediondo, E.M. 2005. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na bacia do rio Jacupiranga, SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XVI, João Pessoa, 2005. *Trabalho completo*, João Pessoa, SBRH, CD-ROOM.

Burman, R. & Pochop, L.O. 1994. *Evaporation, Evapotranspiration and Climatic Data*. Amsterdam, ELSEVIER. 278 p.

Campeche, L.F.S.M. 2002. *Construção, calibração e análise de funcionamento de lisímetros de pesagem para determinação da cultura da lima ácida "Tahiti" (Citrus latifolia Tan)*. Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, Escola Superior "Luiz de Queiroz", Tese de Doutorado, 67 p.

Cardoso, M.A.G. & Marcelino, B.C. 2005. Estimativa sazonal da evapotranspiração regional para o Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XVI, João Pessoa, 2005. *Trabalho completo*, João Pessoa, SBRH, CD-ROOM.

Carmo, R.L.; Ojima, A.L.R.O; Ojima, R. & Nascimento, T.T. 2005. Água virtual: o Brasil como grande exportador de recursos hídricos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE

RECURSOS HÍDRICOS, XVI, João Pessoa, 2005. *Trabalho completo*, João Pessoa, SBRH, CD-ROOM.

Carvalho, D.F.; Silva, L.D.B.; Folegatti, M.V.; Costa, J.R. & Cruz, F.A. 2006. Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica-RJ, utilizando lisímetro de pesagem. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 14(2): 1-9.

Carvalho, D.F.; Silva, L.D.B.; Guerra, J.G.M.; Cruz, F.A. & Souza, A.P. 2007. Instalação, calibração e funcionamento de um lisímetro de pesagem. *Engenharia Agrícola*, 27(2): 363-372.

Carvalho, D.F. de; Neto, D.H.O; Ribeiro, R.L.D.; Guerra, J.G. M. & Rouws, J.R. C. 2011. Manejo da irrigação associada a coberturas mortas vegetais no cultivo orgânico da Beterraba. *Engenharia Agrícola*, 31(2): 269-277.

Castro, P.R.C. & Kluge, R.A. 1999. *Ecofisiologia de cultivos anuais*. São Paulo, NOBEL. 126 p.

Christofidis, D. 2001. Os recursos hídricos e a prática da irrigação no Brasil e no mundo. *Revista Item*, 49: 8-13.

Costa, G.B; Santos, J.S.; Júnior, R.N.A.; Gomes, A.C.S.; Silva, R.G; Nunes, H.G.G.C.; Rabelo, F.D & Filho, M.R.T. 2011. Estimativas de Evapotranspiração por Métodos Meteorológicos em uma Cultura de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XVII, Guarapari, 2011. *Trabalho completo*, Guarapari, SBA, CD-ROOM.

Costa, V.S.; Paiva, C.M. & Souza, A.S. 2011. Comparação de Métodos para Estimativa da Evapotranspiração na Bacia do Córrego Sujo em Teresópolis Rio de Janeiro – Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XVII, Guarapari, 2011. *Trabalho completo*, Guarapari, SBA, CD-ROOM.

Dantas Neto, F.S. 1999. Avaliação de métodos para estimativa da evapotranspiração de referência para Mossoró - RN. *Engenharia na Agricultura*, 7(1): 46-55.

Doorenbos, J. & Kassam, A.H. 1979. *Efeito da água no rendimento das culturas*. Roma, FAO. 306 p. (tradução de H.R. Gheyi, A.A. de Sousa, F.A.V. Damasceno, J.F. de Medeiros. 1994. Campina Grande, UFPB. 306p. Irrigação e drenagem, FAO 33).

Doorenbos, J. & Pruitt, W.O. 1977. *Guidelines for predicting crop water requirements*. Rome: FAO. 179 p. (FAO 24).

Faccioli, G.G.; Batista, W.R.M.; Silva, A.A.G. & Aguiar Netto, A.O. 2007. Determinação da Evapotranspiração de Referência na Região de Frei Paulose. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XV, Aracaju, 2007. *Trabalho completo*, Aracaju, SBA, CD-ROOM.

Faria, R.A.; Carvalho, D.F; Ribeiro, A. & Oliveira, M.A.A. 2000. Influência do Método de Estimativa da Evapotranspiração de Referência na Demanda de Irrigação Suplementar para o Milho (*Zea mays* L.), na Bacia do Rio Verde Grande (MG). *Ciência Agrotécnica*, 24 (Edição Especial): 187-196.

Fernandes, C.; Corá, J.E. & Araújo, J.A.C. 2004. Utilização do Tanque Classe A para a estimativa da evapotranspiração de referência dentro de casa de vegetação. *Engenharia Agrícola*, 24(1): 46-50.

Fernandes, L.C. 2006. *Avaliação de diversas equações empíricas de evapotranspiração. Estudo de caso: Campos dos Goytacazes e Ilha do Fundão-RJ*. 2006. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/Recursos Hídricos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 142 p.

Fernandes, E.J. 2007. Determinação da evapotranspiração da cultura da soja por intermédio da Razão de Bowen comparado com os métodos de Penman Monteith e Tanque Classe A. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XV, Aracaju, 2007. *Trabalho completo*, Aracaju, SBA, CD-ROOM.

Fernandes, D.S.; Saraiva, I. & Michiles, E. 2011. Estimativa de Evapotranspiração de Referência pelo Método de Hargreaves para Condições Úmidas. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XVII, Guarapari, 2011. Trabalho completo, Guarapari, SBA, CD-ROOM.*

Ferreira, A.S. & Meirelles, M.S.P. 2011. Implementação preliminar do modelo SEBAL para estimativa da evapotranspiração na Mesorregião do Sul Goiano. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XV, Curitiba, 2011. Trabalho completo, Curitiba, INPE, CD-ROOM.*

Ferri, M.G. 1985. *Visiologia vegetal*. São Paulo, EPU. v.1. 362 p.

Ferronato, A.; Chig, L.A.; Goulart, D.B.; Junior, J.H.C.; Pereira, L.C.; Biudes, M.S.; Oliveira, A.L.F.; Souza, P.R.F; Arruda, R.M.; Toledo, C.L.B. & Miranda, A.N. 2007. Estimativa da Evapotranspiração de Referência para Santo Antônio do Levegermt. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XV, Aracaju, 2007. Trabalho completo, Aracaju, SBA, CD-ROOM.*

Fietz, C.R.; Silva, F.C. & Urchei, M.A. 2005. Estimativa da evapotranspiração de referência diária para a região de Dourados, MS. *Revista Brasileira de Agrometeorologia, 13(2): 250-255.*

Fietz, C.R.; Campeche, L.F. & Silva, M.P. 2011. Avaliação de Dois Lisímetros de Pesagem para Medida da Evapotranspiração de Culturas Anuais. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XVII, Guarapari, 2011. Trabalho completo, Guarapari, SBA, CD-ROOM.*

Fooladmand, H.R.; Zandilak, H. & Ravanan, M.H. 2008. Comparison of different types of Hargreaves equation for estimating monthly evapotranspiration in the south of Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science, 54: 321-330.*

França Neto, A.C.F.; Mantovani, E.C.; Sedyama, G.C.; Leal, B.; Simão, F.R. & Zinato, C.E. 2003. Comparação entre métodos simplificados de estimativa de ET_o nas regiões do Triângulo Mineior e do Oeste da Bahia. *In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE*

PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, Araguari, 2003. *Trabalho completo*, Araguari, Universidade Federal de Uberlandia, p. 102-106.

Galleguillos, M.; Jacob, F.; Prévot, L.; French, A. & Lagacherie, P. 2011. Comparison of two temperature differencing methods to estimate daily evapotranspiration over a Mediterranean vineyard watershed from ASTER data. *Remote Sensing of Environment*, 115: 1326–1340.

Giacomoni, M.H. & Mendes, C.A.B. 2008. Estimativa da Evapotranspiração Regional por meio de Técnicas de Sensoriamento Remoto Integradas a Modelo de Balanço de Energia. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 13(4): 33-42.

Hallal, M.O.C.; Radünz, A.L. & Shöffel, E.R. 2011. Comparação entre Métodos de Estimativa da Evapotranspiração de Referência para Pelotas-RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XVII, Guarapari, 2011. *Trabalho completo*, Guarapari, SBA, CD-ROOM.

Henrique, F.A.N. 2006. *Estimativa da evapotranspiração de referência em Campina Grande-PB*. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande, Dissertação de Mestrado, 107 p.

Hernandez, F.B.T.; Taghvaeian, C.N.S. & Teixeira, A.H.C. 2011. Avaliação preliminar do modelo SEBAL para a estimativa da distribuição espacial da evapotranspiração em áreas irrigadas no noroeste paulista. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XV, Curitiba, 2011. *Trabalho completo*, Curitiba, INPE, CD-ROOM.

Howell, T.A.; McCormick, R.L. & Phene, C.J. 1985. Design and instalation of large weighing lysimeters. *Transactions of the ASAE*, 28(117): 106-125.

Jessen, M.E.; Burman, R.D. & Allen, R.G. 1990. *Evapotranspiration and irrigation water requirements*. New York, ASCE. 332 p.

Jin, Y.; Randerson, J.T. & Goulden, M.L. 2011. Continental-scale net radiation and evapotranspiration estimated using MODIS: satellite observations. *Remote Sensing of Environment*, 115: 2302–2319.

Kobiyama, M. & Chaffe, P.L.B. 2008. Water balance in Cubatão-Sul river catchment, Santa Catarina, Brazil. *Revista Ambi-Água*, 3(1) 5-17.

Larcher, W. 2000. *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos, Ed. RiMa. 531 p.

Leivas, J.F.; Andrade, R.G.; Nogueira, S.F. & Bolfe, E.L. 2011. Estimativa da Evapotranspiração em Áreas com Diferentes Características Ambientais Utilizando o Algoritmo Sebal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XVII, Guarapari, 2011. *Trabalho completo*, Guarapari, SBA, CD-ROOM.

Lyra, G.B; Souza, J.L.; Medeiros, R.P.; Junior, R.A.F; Anjos, F.A.; Lima, R.A.S & Sá, L.A. 2011. Eficiência no Uso da Água para o Milho, em Quatro Épocas de Semeadura, no Agreste de Alagoas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XVII, Guarapari, 2011. *Trabalho completo*, Guarapari, SBA, CD-ROOM.

Maeda, E.E; Wiberg, D.A. & Pellikka, P.K.E. 2011. Estimating reference evapotranspiration using remote sensing and empirical models in a region with limited ground data availability in Kenya. *Applied Geography*, 31: 251-258.

Martins, C.S; Reis, E.F. & Araujo, G.L. 2011. Estimativa da Evapotranspiração de Referência no Município de Alegre – ES. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XVII, Guarapari, 2011. *Trabalho completo*, Guarapari, SBA, CD-ROOM.

Mavi, H.S. & Tupper, G.J. 2004. *Agrometeorology Principles and Applications of Climate Studies in Agriculture*. New York, The Haworth Press. 364 p.

Meireles, M. 2007. *Estimativa da Evapotranspiração Real pelo Emprego do Algoritmo SEBAL e Imagem Landsat 5 – TM na Bacia do Acaraú, CE*. 2007. Programa de Pós-

Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Ceará, Dissertação de Mestrado, 89 p.

Mendonça, E.A. 2008. *Estimativa da evapotranspiração de referência no município de Capim-PB*. 2008. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande, Dissertação de Mestrado, 114 p.

Menezes, S.J.M.C.; Andrade, R.G.; Sediyaama, G.C.; Soares, V.P. & Gleriani, J.M. 2011. Estimativa dos componentes do Balanço de Energia e da Evapotranspiração em Plantios de Eucalipto utilizando o algoritmo SEBAL e imagem Landsat 5 – TM. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XV, Curitiba, 2011. Trabalho completo, Curitiba, INPE, CD-ROOM.*

Miranda, K.R.; Diniz, W.J.S.; Silva, T.G.F.; Santos, J.E.O.; Pereira, P.C. & Queiroz, M.G. 2011. Métodos Alternativos para a Estimativa da Evapotranspiração de Referência no Sertão do Vale do Pajéu-PE. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XVII, Guarapari, 2011. Trabalho completo, Guarapari, SBA, CD-ROOM.*

Montovani, E.C. 1993. *Desarrollo y Evaluacion de Modelos para el Manejo del Riego: Estimacion de la Evapotranspiracion y Efectos de la Uniformidad de Aplicacion del Riego sobre la Produccion de los Cultivos*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade de Cordoba, Tese de Doutorado, 40 p.

Mu, Q.; Zhao, M. & Running, S.W. 2011. Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm. *Remote Sensing of Environment, 115*: 1781–1800.

Mudrik, A.S.; Faccioli, G.G.; Souza, L.O.C. & Mantovani, E.C. 2002. Comparação da evapotranspiração de referência (ET_0), estimada pelos modelos teóricos de Penman-Monteith e Hargreaves-Samani, com uso do software SISDA. *In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, Araguari, 2003. Trabalho completo, Araguari, Universidade Federal de Uberlandia, p.129-132.*

Neves, L.O.; Oliveira, E.C.; Araújo, J.C.; Silva, M.A.V.; Aguiar, L.J.G.; Gonçalves, P.H.; Freitas, R.A.P.; Rodrigues, M.P.; Catoni, J.M. & Silva, M.E. 2011. Estimativa da Evapotranspiração de Referência Diária para Região de Ituporanga-SC. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XVII, Guarapari, 2011. Trabalho completo, Guarapari, SBA, CD-ROOM.*

Nicácio, R.M. 2008. *Evapotranspiração real e umidade do solo usando dados de sensores orbitais e a metodologia SEBAL na bacia do rio São Francisco*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 320 p.

Nunes, R.G.; Silva, R.A.; Maciel, G.F.; Sousa, E.S.; Borges, F.W.L. & Brito, R.S. 2011. Estimativa da Evapotranspiração de Referência para o Município de Palmas - TO através do Método de Ivanov. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XVII, Guarapari, 2011. Trabalho completo, Guarapari, SBA, CD-ROOM.*

Oliveira, M.A.A. & Carvalho, D.F. 1998. Estimativa da evapotranspiração de referência e da demanda suplementar de irrigação para o milho (*Zea mays* L.) em Seropédica e Campos, Estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2(2): 132-135.*

Oliveira, G.M.; Bispo, R.C.; Leitão, M.M.V.B.R.; Santos, I.M.S. & Lima, C.B.A. 2011. Coeficientes de tanque classe a (kp) para estimativa da evapotranspiração de referência. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XVII, Guarapari, 2011. Trabalho completo, Guarapari, SBA, CD-ROOM.*

Paiva, C.M. 2005. *Estimativa do Balanço de Energia e da Temperatura da Superfície via Satélite NOAA-AVHRR*. 2005. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 218 p.

Paiva, C.M.; França, G.B.F; Liu, W.T.H & Filho, O.C.R. 2011a. A comparison of experimental energy balance components data and SEBAL model results in Dourados, Brazil. *International Journal of Remote Sensing, 32(6): 1731–1745.*

Paiva, C.M.; Tsukahara, R.Y.; França, G.B. & Nicacio, R.M. 2011b. Estimativa da evapotranspiração via sensoriamento remoto para fins de manejo de irrigação. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XV*, Curitiba, 2011. *Trabalho completo*, Curitiba, INPE, CD-ROOM.

Pereira, A.R.; Villa Nova, N.A. & Sedyama, G.C. 1997. *Evapotranspiração*. Piracicaba, FEALQ. 183 p.

Pereira, A.R.; Santiago, A.V.; Maggioto, S.R. & Folegatti, M.V. 2001. Problemas operacionais com lisímetros de pesagem durante a estação chuvosa e em dias secos com rajadas de vento. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 10(1): 51-6.

Peres, J.G. & Scardua, R. 1991. Estudo de métodos agroclimatológicos para estimativa da evapotranspiração potencial de referência (ET_o), segundo DOORENBOS & PRUITT. *Engenharia Rural*, 2(2): 48-63.

Peres, J.G.; Pereira, A.R. & Frizzone, J.A. 1995. Avaliação do modelo de Penman-Monteith para estimativa da evapotranspiração de referência padronizada pela FAO. *Engenharia Rural*, 6(1): 53-64.

Queiroz, M.G.; Pereira, P. DE C.; Silva, T.G.F.; Souza, L.S.B.; Diniz, W.J. DA S.L.; Miranda, K.R. & Moura, M.S.B. 2011. Desempenho do método de Penman-Monteith FAO56 na estimativa da evapotranspiração de referência usando dados de temperatura do ar no semiárido. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XVII*, Guarapari, 2011. *Trabalho completo*, Guarapari, SBA, CD-ROOM.

Rabelo, F.D; Leão, I.B.; Filho, M.R.T & Costa, G.B. 2011. Comparação entre três formas para o cálculo da evapotranspiração diária medida por lisímetro de pesagem. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XVII*, Guarapari, 2011. *Trabalho completo*, Guarapari, SBA, CD-ROOM.

Ramos, M.M.; Oliveira, R.A. & Lopes, J.D.S. 2000. Manejo de Irrigação: *quando e quanto irrigar*. Viçosa, CPT. 62 p.

Rosenberg, N.J. 1983. *Microclimate: the biological environment*. New York, John Wiley & Sons Inc. 495 p.

Ruhoff, A.L.; Saldanha, C.B. & Collischonn, W. 2009. Análise Multivariada do Processo de Evapotranspiração em Áreas de Cerrado e Cana-de-Açúcar. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 14(4): 137-146.

Salassier, B.; Soares, A.A. & Montovani, E.C. 2006. *Manual de irrigação*. Viçosa, Ed. UFV. 625 p.

Santana, M.J; Resende, B.P.M.C., Cruz, O.C. & Silveira, A.L. 2011. Coeficientes de cultura e evapotranspiração da cultura do alho irrigado. In: XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2011, Guarapari. **Anais...** Guarapari: SBA, 2011. CD-ROOM.

Santana, M.J; Campos, T.M.; Souza, S.S; Pereira, U.C.; Beirigo, J.D.C & Camargos, A.E.V. 2011. Coeficientes de cultura e evapotranspiração do tomateiro irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XVII, Guarapari, 2011. *Trabalho completo*, Guarapari, SBA, CD-ROOM.

Santos, W.O; Batista, B.D.O; Sobrinho, J.E; Pereira, V.C; Junior, E.G.C. & Almeida, B.M. 2007. Comparação entre três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0) com o método de Penman-Monteith-fao nas condições de Mossoró/RN de 1970 a 2007. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XVII, Guarapari, 2011. *Trabalho completo*, Guarapari, SBA, CD-ROOM.

Sediyama, G.C. 1996. Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 4(1): i-xii.

Sentelhas, P.C. 2001. Agrometeorologia aplicada à irrigação. *Irrigação*, 1: 63-120.

Sentelhas, P.C. & Folegatti, M.V. 2003. Classe A pan coefficients (Kp) to estimate daily reference evapotranspiration (ET_o). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 7(1): 111-115.

Silva, A.A.G.; Angelocci, L.R.; Nogueira, L.C. & Andrade, C.L.T. 1993. Avaliação da eficiência de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, Ilhéus, 1993, *Trabalho completo*, Ilhéus, SBEA, p. 2465-78.

Silva, F.C.; Folegatti, M.V. & Maggiotto, S.R. 1999b. Análise de funcionamento de um lisímetro de pesagem com célula de carga. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 7(1) 53-58.

Silva, L.D.B. 2003. *Evapotranspiração do capim Tanzânia (Panicum maximum Jacq) e gramabataçais (Paspalum notatum Flugge) utilizando o método do balanço de energia e lisímetro de pesagem*. Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, Escola Superior “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 93 p.

Silva, D. & Barros Filho, J. 2003. *Estatística*. São Paulo, USP. (Apostila).

Silva, M.T. & Amaral, J.A.B. 2008. Estimativa da evapotranspiração e coeficientes de cultivo do amendoim irrigado pelo método do balanço hídrico no solo. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 16(1) 67-76.

Silva, D.A.B; Ricce, W.S. & Caramori, P.H. 2011. Planilha eletrônica para o cálculo de evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XVII, Guarapari, 2011. *Trabalho completo*, Guarapari, SBA, CD-ROOM.

Silva, T.G.F.; Barbosa, M.L.; Morais, J.E.F. & Souza, L.S.B. 2011. Resposta da evapotranspiração da vegetação caatinga aos cenários regionalizados de mudanças climáticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XVII, Guarapari, 2011. *Trabalho completo*, Guarapari, SBA, CD-ROOM.

Silva, T.G.F.; Morais, J.E.F.; Cruz Neto; J.F. DA, Souza, L.S.B. & Moura, M.S.B. 2011. Evapotranspiração da videira de vinho do vale do Submédio São Francisco para o cenário b1 de mudanças climáticas. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XVII, Guarapari, 2011. Trabalho completo, Guarapari, SBA, CD-ROOM.*

Silva, V.J.; Carvalho, H.P.; Silva, C.R. & Pereira, W.J.S. 2011. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para Monte Alegre de Minas-MG. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XVII, Guarapari, 2011. Trabalho completo, Guarapari, SBA, CD-ROOM.*

Sousa, I.F.; Faccioli, G.; Netto, A.O.A; Silva, A.A.G. & Queiroz, M.G. 2011. Consumo Hídrico da Cultura do Coentro Mediante Utilização de Lisímetro de Lençol Freático Constante. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XVII, Guarapari, 2011. Trabalho completo, Guarapari, SBA, CD-ROOM.*

Souza, L.S.B.; Moura, M.S.B.; Silva, T.G.F. & Sedyama, G.C. 2011. Comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência em Petrolina-PE. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XVII, Guarapari, 2011. Trabalho completo, Guarapari, SBA, CD-ROOM.*

Tagliaferre, C.; Oliveira, R.A.; Sedyama, G.C.; Cecon, P.R.; Deniculi, W.; Martinez, M.A. & Materan, F.J.V. 2006. Estimativa da evapotranspiração de referência usando minievaporímetro operando com irrigâmetro modificado. *Engenharia na Agricultura, 14(3): 212- 223.*

Tagliaferre, C.; Neto, I.J.S.; Cotrim, C.E.; Costa, H.A.; Santos, L.C.; Barroso; Nilson I. S. & Guimarães, D.U. G. 2011. Uso do irrigâmetro na estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Guanambi-BA. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XVII, Guarapari, 2011. Trabalho completo, Guarapari, SBA, CD-ROOM.*

Tagliaferre, C.; Santos, L.C.; Silva, C.S.; Guimarães, D.U; Neto, I.J.S.; Rocha, F.A.; Paula, A. & Barros, F.M. 2011. Uso do irrigâmetro na estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0) para as condições climáticas do Planalto de Vitória da Conquista-BA. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XVII, Guarapari, 2011. Trabalho completo, Guarapari, SBA, CD-ROOM.*

Tasumi, M.; Trezza, R.; Allen, R.G. & Right, J.L. 2003. Validation Test on the SEBAL Model for Evapotranspiration via Satellite. ICID Workshop on Remote Sensing of ET for Large Regions.

Teixeira . A.H. de C.; Bastiaanssen, W.G.M.; Mobimuddin, A.; Bos, M.G.; Moura, M. S.B. & Soares, J.M. 2011. Acesso ao desempenho de irrigação na cultura da mangueira na região semi-árida do nordeste do Brasil. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XVII, Guarapari, 2011. Trabalho completo, Guarapari, SBA, CD-ROOM.*

Trezza, R. 2002. *Evapotranspiration using a satellite-based Surface energy balance with Standardized ground control*. Thesis (Doctor of Philosophy in Biological and Agricultural Engineering), Utah State University, 247 p.

Tundisi, J.G, & Tundisi, T.M. 2005. *A água*. São Paulo, Publifolha (Folha Explica). 120 p.

Turco, J.E.P. 2002. *Influência da acurácia de instrumentos de medidas na comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0)*. Livre-Docência em Eletrificação Rural, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 85 p.

Uliana, E.M.; Silva, J.G.F. & Martins, C.A.S. 2011. Estimativa da evapotranspiração potencial da interbacia do rio Piraquê-AÇU. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XVII, Guarapari, 2011. Trabalho completo, Guarapari, SBA, CD-ROOM.*

Vanzela, L.S.; Hernandez, F.B.T & Ferreira, E.J.S. 2007. Desempenho da estimativa da evapotranspiração de referência em Ilha Solteira – SP. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, XXXVI, Bonito, 2007. *Trabalho completo*, Bonito, SBEA, CD-ROOM.

Vepraskas, M.J.; Huffman, R.L. & Kreiser, G.S. 2006. Hydrologic models for altered landscapes. *Geoderma*, 131(3): 287-298.

Vescove, H.V. & Turco, J.E.P. 2005. Comparação de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Araraquara-SP. *Engenharia Agrícola*, 25(3): 713-721.

Vieira, J.P.G.; Souza, M.J.H.; Sousa, F.A. & Teixeira, J.M. 2007. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para Diamantina MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XV, Aracaju, 2007. *Trabalho completo*, Aracaju, SBA, CD-ROOM.

Vinukollu, R.K.; Wood, E.F.; Ferguson, C.R. & Fisher, J.B. 2011. Global estimates of evapotranspiration for climate studies using multi-sensor remote sensing data: Evaluation of three process-based approaches. *Remote Sensing of Environment*, 115: 801–823.

Volpe, C.A. & Cunha, A.R. 2007. Estimativa da evapotranspiração de referência pelo método de Penman Monteith (FAO56) com o saldo de radiação medido e estimado em Jaboticabal, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XV, Aracaju, 2007. *Trabalho completo*, Aracaju, SBA, CD-ROOM.

Willmott, C.J.; Rowe, C.M. & Mintz, Y. 1985. Climatology of the terrestrial seasonal water cycle. *Journal of Climatology*, 5: 589-606.

