



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
FACULDADE DE METEOROLOGIA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**



**ANALISE DA INFLUENCIA DE FATORES AMBIENTAIS NA ESTIMATIVA DA  
EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM ÁREA DE FLORESTA NA AMAZÓNIA**



**BELÉM-PARÁ**

2011

**313**

WELDE MORAES GALVÃO

**ANALISE DA INFLUENCIA DE FATORES AMBIENTAIS NA ESTIMATIVA DA  
EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM ÁREA DE FLORESTA NA AMAZÓNIA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado a Faculdade de  
Meteorologia do Instituto de Geociências  
da Universidade Federal do Pará –  
UFPA, em cumprimento às exigências  
para a obtenção do grau superior de  
Bacharel em Meteorologia.

Orientador: Prof<sup>o</sup>. José de Paulo Rocha  
da Costa

BELÉM – PA

2011

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

---

G182a Galvão, Welde Moraes

Análise da influência de fatores ambientais na estimativa da evapotranspiração em área de floresta na Amazônia / Welde Moraes Galvão; Orientador: José de Paulo Rocha da Costa – 2012

38 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em meteorologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Meteorologia, Belém, 2012.

1. Evapotranspiração. 2. Temperatura do ar. 3. Radiação solar. 4. Floresta tropical. I. Costa, José de Paulo Rocha da, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. IV. Título.

CDD 20ª ed.: 551.57209811

---

WELDE MORAES GALVÃO

**ANALISE DA INFLUENCIA DE FATORES AMBIENTAIS NA ESTIMATIVA DA  
EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM ÁREA DE FLORESTA NA AMAZÓNIA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado a Faculdade de Meteorologia  
do Instituto de Geociências da Universidade  
Federal do Pará – UFPA, como requisito  
para a obtenção do título de Bacharel em  
Meteorologia.

Aprovado em

Banca examinadora:

---

Profº José de Paulo Rocha da Costa - Orientador

Doutor em Meteorologia  
Universidade Federal do Pará

---

Profº Hernani José Brazão Rodrigues- Membro

Doutor em Meteorologia  
Universidade Federal do Pará

---

Profº Jose Danilo da costa Souza Filho - Membro

Mestre em Meteorologia Agrícola  
Universidade Federal do Pará

Dedico esta obra á minha mãe,  
Osmarina Moraes Galvão.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço á meus pais, por toda dedicação e paciência com relação a minha vida acadêmica.

A meus professores, que fizeram de tudo para me passar o Maximo de seus conhecimentos.

Ao professor José de Paulo, que me orientou neste TCC.

Aos professores Danilo e Hernani, que participaram da banca de defesa do TCC.

A professora Maria do Carmo, que muito me ajudou nas minhas pesquisas,

Aos amigos, que sorriram nas horas de felicidade e choraram comigo nas tristezas.

Aos meus sobrinhos, que me fizeram voltar a ser criança em momentos muito especiais.

A universidade federal do Pará, que me abriu as portas do conhecimento.

E dedico principalmente esse grande passo na minha vida á essa força que me motiva em todos os momentos a seguir em frente e não desistir, por mais que seja difícil o caminho.

Muito obrigado!

“A natureza tem para tudo o seu objetivo”  
Aristóteles

## RESUMO

O desempenho de métodos estimativos da evapotranspiração que utilizam apenas a temperatura do ar como única forçante ambiental (Thorntwaite, Silva e Linacre) e os que utilizam temperatura do ar e radiação solar (Camargo, Hargreaves-Samani e Jensen-Haise) em relação ao método de Penman em área de floresta tropical foram analisados neste estudo, com a finalidade de avaliar a real influência dos fatores ambientais, temperatura do ar e radiação solar na complexa e dinâmica transferência de vapor na interface solo-atmosfera. O estudo foi desenvolvido na Estação Científica Ferreira Pena (ECFPn), localizado na reserva florestal de Caxiuanã (01° 44' 35'' S; 051° 27' 22'' W), região oeste do estado do Pará. Os dados meteorológicos utilizados foram: temperatura média, máxima e mínima do ar, radiação solar, Umidades relativa do ar, evaporação do piche e déficit de pressão de vapor do ar, referente a um período de quatro anos (1996-1999). Os valores estimados pelo método de Penman foram confrontados com aqueles métodos que baseiam suas estimativas somente na influência da temperatura do ar, juntamente, com os que têm base na influência simultânea da radiação solar e temperatura do ar. O confronto das estimativas foram validadas através de teste estatísticos simples como, coeficiente de determinação, coeficientes angular (a) e linear (b) da reta de regressão linear, teste de erros estimativos (erro médio e erro médio relativo) e índice de precisão (r). Os resultados mostraram que os métodos Hargreaves-Samani e Jansen-Haise (que combinam a influência da radiação solar e temperatura do ar nas estimativas da evapotranspiração) foram os que mostraram melhor correlação com método de Penman, apresentando ( $R^2 = 0,965$  e  $R^2 = 0,956$ ) respectivamente. Outra constatação é que a temperatura do ar e a radiação solar são fatores climáticos muito importantes para a realização do processo evapotranspiratório, mas não os únicos.

Palavras chave: Evapotranspiração. Temperatura do ar. Radiação solar. Floresta tropical.

## ABSTRACT

The performance of methods estimates of evapotranspiration using only air temperature as the only environmental forcing (Thorntwaite, Silva and Linacre), and those that use air temperature and solar radiation (Camargo, Hargreaves-Samani and Jensen-Haise) in relation to the method Penman in the area of tropical forest were analyzed in this study, in order to evaluate the real influence of environmental factors, air temperature and solar radiation in the complex and dynamic transfer of vapor in the soil-atmosphere interface. The study was conducted in the Research Station Ferreira Pena (ECFPn), located in the forest reserve Caxiuanã (01° 44' 35'' S; 051° 27' 22'' W), west of the State of Pará. The meteorological data used were: average temperature, maximum and minimum air, solar radiation, relative humidity, evaporation of water and vapor pressure deficit of air, referring to a period of four years (1996-1999). The values estimated by the method of Penman methods were compared with those who base their estimates only on the influence of air temperature, along with those that are based on the simultaneous influence of solar radiation and air temperature. The comparison of the estimates were validated using simple statistical test such as coefficient of determination, slope (a) and linear (b) of the linear regression test error estimates (mean and mean relative error) and accuracy rate (r). The results showed that the Hargreaves-Samani methods and Jensen-Haise (which combine the influence of solar radiation and air temperature in the estimates of evapotranspiration) showed the best correlation with Penman, with ( $R^2 = 0.96$  and  $R^2 = 0.96$ ) respectively. Another finding is that the air temperature and solar radiation are very important climatic factors for the realization of the process evapotranspiratório, but not the only ones.

Keywords: Evapotranspiration. Air temperature. Solar radiation. Tropical forest.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Vista da estação meteorológica, instalada na Estação Científica Ferreira Penna.....	18
Figura 2- Distribuição mensal da precipitação.....	26
Figura 3- Variação quadrimestral da precipitação.....	27
Figura 4- Variação média mensal das temperaturas máxima ( $T_{max}$ ), média ( $T_m$ ) e mínima ( $T_{min}$ ).....	28
Figura 5- Umidade relativa ( $U_m$ ) e temperatura média ( $T_m$ ) do ar.....	29
Figura 6- Evaporação do piche (piche) e déficit de pressão de vapor (DPV) dor ar..	30
Figura 7- Correlação entre o método de Penman e os métodos que estimam a evapotranspiração em função da temperatura do ar e os métodos que estimam a evapotranspiração em função da radiação e temperatura do ar.....	35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Valores de Q0 em mm/dia para a America do sul.....	20
Tabela 2- Avaliação dos métodos através do índice de precisão.....	24
Tabela 3- Valores mensais da evapotranspiração na base diária estimada em função da temperatura do ar (Thorntwaite, Silva e Linacre), radiação solar e temperatura do ar (Camargo, Hargreaves-Samani e Jansenh-Haise), método de Penman, média, erro médio e erro médio relativo.....	31
Tabela 4- Valores dos coeficientes de regressão linear (a e b), coeficiente de determinação ( $R^2$ ), índice de precisão e classificação do índice "r".....	33
Tabela 5- Valores mensais na base diária do método de Penman e suas componentes energética e aerodinâmica.....	34

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

DPV	Deficit de pressão de vapor (hPa)
$e$	Pressão real de vapor (hPa)
$E_a$	Poder evaporante do ar (mm/dia)
EM	Erro médio (mm)
EMR	Erro médio relativo (mm)
$e_s$	Pressão de vapor saturado (hPa)
FAO	Food and Agriculture Organizations
$Q_0$	Radiação extraterrestre (mm)
$R_g$	Radiação global (mm/dia)
$R_n$	Saldo de radiação (mm/dia)
T	Temperatura média diária (°C)
$T_d$	Temperatura do ponto de orvalho (°C)
$T_m$	Temperatura média mensal (°C)
$T_{max}$	Temperatura máxima (°C)
$T_{min}$	Temperatura mínima (°C)
$U_m$	Umidade relativa mensal (%)
UR	Umidade relativa diária (%)
Z	Altitude (metros)
$\gamma$	Constante psicrométrica, em Kpa/ °C
$\Delta$	Curva de saturação, em Kpa/ °C
$\phi$	Latitude (graus)

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
2	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	15
3	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	18
3.1	DADOS E CARACTERÍSTICAS DO MICROCLIMA DA ÁREA DE ESTUDO.....	18
3.2	METODOLOGIA.....	19
3.2.1	<b>Método de Penman ou método combinado</b> .....	19
3.2.2	<b>Métodos baseados na temperatura do ar</b> .....	21
3.2.2.1	Método de Thorntwaite (ETTh).....	21
3.2.2.2	Método de Silva (ETSi).....	22
3.2.2.3	Método de Linacre (ETLn).....	22
3.2.3	<b>Métodos baseados na radiação solar e temperatura do ar</b> .....	23
3.2.3.1	Método de Camargo (ETCm).....	23
3.2.3.2	Método de Hargreaves-Samani (ETH-S).....	23
3.2.3.3	Método de Jansen-Haise (ETJ-H).....	24
3.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	24
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	26
4.1	CARACTERÍSTICAS MICROCLIMÁTICAS DA ÁREA DE ESTUDO.....	26
4.1.1	<b>Precipitação pluviométrica</b> .....	26
4.1.2	<b>Temperatura do ar</b> .....	27
4.1.3	<b>Umidade relativa e temperatura média do ar</b> .....	28
4.1.4	<b>Poder evaporante e déficit de pressão de vapor do ar</b> .....	29
4.2	ANÁLISE DOS MÉTODOS ESTIMATIVOS DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO...30	
5	<b>CONCLUSÃO</b> .....	35
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	36

## 1 INTRODUÇÃO

A Região Amazônica, com cerca de 6,3 milhões de km<sup>2</sup> de área distribuídos no Brasil, Guianas, Colômbia, Equador e Venezuela, é caracterizada pela existência de grandes rios, imensas áreas de florestas, clima tropical chuvoso e considerada a região mais rica do mundo em termos de biodiversidade e informações genéticas. De acordo com Santiago (2005) essas características revelam a dimensão e a importância fundamental da floresta amazônica nos processos que regem o equilíbrio climático da região e do planeta e, por conseguinte, base de sustentabilidade ambiental.

O equilíbrio e a sustentabilidade do ecossistema amazônico em relação ao clima predominante decorrem principalmente, do movimento cíclico da umidade emitida pelo conjunto solo-vegetação, através da evapotranspiração e do respectivo retorno na forma de precipitação. Segundo Dias (2004) é dessa maneira que floresta e clima se mantêm em equilíbrio. Porém, esse frágil equilíbrio pode ser alterado por fatores naturais e também, pela ação humana no meio físico.

A evapotranspiração é uma importante componente do ciclo hidrológico natural, que representa os processos de perda de água para a atmosfera, através da evaporação do solo e transpiração das plantas e, apesar de serem processos independentes, ocorrem simultaneamente na natureza. Por ser um processo complexo e extremamente dinâmico, os fatores condicionantes da evapotranspiração, acham-se relacionados com as condições do clima (disponibilidade de energia à superfície), ligados a planta (características fitossanitárias e manejo) e condição hídrica do solo. Entre as variáveis meteorológicas que interferem nos processos evaporação/evapotranspiração, a mais importante é a radiação solar. As outras variáveis também importantes são: temperatura do ar, vento e déficit de pressão de vapor do ar.

Como não existe medida direta da evapotranspiração em condições de campo e a medida através de lisímetros é muito trabalhosa e onerosa, servindo apenas para fins experimentais. Por isso, para fins práticos o mais comum é utilizar métodos estimativos, resultantes da relação entre a evapotranspiração e elementos meteorológicos facilmente medidos na rotina operacional das estações meteorológicas.

Existem na literatura diversos métodos disponíveis para a estimativa da evapotranspiração, entre eles há métodos que utilizam a temperatura do ar como única forçante ambiental como: Thorntwaite, Silva e Linacre, por serem métodos bem simples e práticos, porém, muitas das vezes são também pouco precisos. Há os que utilizam temperatura do ar e radiação solar, por exemplo: Camargo, Hergreaves-Samani e Jensen-haise, que normalmente mostram limitação quando são utilizados fora da região para a qual foram desenvolvidos. E, finalmente, os métodos físicos, como o de Penman, que admite ser a evapotranspiração proveniente dos termos energético e aerodinâmico, sendo por isso mundialmente aplicado em diversas condições do clima. Em virtude do papel que tem a evapotranspiração em diversas atividades humanas que tratam do uso e aproveitamento da água, o objetivo desse estudo foi analisar o desempenho de métodos estimativos da evapotranspiração que utilizam na rotina de cálculo somente temperatura do ar e daqueles que utilizam radiação solar e temperatura do ar, em relação às estimativas através do método de Penman, em uma área de floresta tropical e assim, avaliar a real influencia dos principais elementos do clima no processo de evapotranspiração.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Inúmeras são as publicações que abordam aspectos ligados a Evapotranspiração Penman (1948, 1956), Thornthwaite (1948), Fontana (1992), Bouchet (1963), Matzenauer (1992), Doorenbos e Kassam (1994) e outros.

Segundo Hurschke (1970), evaporação é o processo físico pelo qual um líquido ou sólido é transformado ao estado gasoso. Em meteorologia o termo evaporação é restrito para designar a mudança do estado físico da água. Para Gangopadhyaya (1968), transpiração é a perda de água para a atmosfera na forma de vapor através dos estômatos e cutícula das plantas. Evapotranspiração é a perda combinada de água para a atmosfera, em forma de vapor, através dos processos de evaporação de superfícies e transpiração das plantas.

Segundo Berlato e Molion (1981), o processo de evapotranspiração é fundamentalmente um processo dependente da energia disponível, sendo a radiação solar o fator isolado mais importante. Já se tem conhecimento que do balanço de energia na superfície, em condições de suprimento de água, boa parte do saldo de radiação é utilizado no processo de evapotranspiração. A temperatura do ar está grandemente associada à radiação solar, e, portanto, também se correlaciona positivamente com a evapotranspiração, pois quanto maior a temperatura maior se torna o poder evaporante do ar. Outro fator determinante é o vento, que efetua a remoção e renovação do ar logo acima da superfície evaporante, retirando da camada acima da superfície o ar saturado ou próximo da saturação, ficando sobre a mesma superfície, ar mais seco, o que determina o aumento do processo de evapotranspiração.

Segundo Dantas (1995), a evapotranspiração é uma das preocupações na medição dos parâmetros agrometeorológicos, tendo em vista que a perda de água da superfície terrestre tem muita influência no desenvolvimento das culturas, principalmente nas regiões áridas e semi áridas onde o déficit de água é bem caracterizado, e a irrigação desempenha papel importante na suplementação de água exigida por cada cultura. Informações quantitativas de evapotranspiração são necessárias no tratamento dos inúmeros problemas do manejo da água. Para Stone, et. al. (1995), dados confiáveis de evapotranspiração são exigidos para o

planejamento, construção e operação de reservatórios e sistemas de irrigação e drenagem.

Segundo Thornthwaite (1948), evapotranspiração potencial corresponde à água utilizada por uma extensa superfície vegetada, em crescimento ativo e cobrindo totalmente o terreno, estando bem suprida de umidade, ou seja, em nenhum instante a demanda atmosférica é restringida por falta d'água no solo. Já a evapotranspiração de referencia é aquela que ocorre em extensa superfície de grama com altura de 0,8 a 0,15 m, em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo e sem deficiência de água, Doorenbos e Pruitt (1977).

Segundo Tavares (2008), depois de estudos feitos na floresta nacional de Caxuianá verificou-se que a evapotranspiração apresenta grande sazonalidade, sendo menor durante a época chuvosa (dezembro a maio) e maior durante a época menos chuvosa (junho a novembro).

Como não existe medida direta da evapotranspiração em condições de campo e a medida através de lisímetro é muito trabalhosa e onerosa, servindo apenas para fins experimentais. Por isso, para fins práticos o mais comum é utilizar métodos estimativos, resultantes da relação entre a evapotranspiração e elementos meteorológicos facilmente medidos na rotina operacional das estações meteorológicas.

Segundo Pereira, et. al. (2002) a escolha do uso de métodos para a estimativa da evapotranspiração depende de uma série de fatores, o primeiro fator é a disponibilidade de dados meteorológicos no local e o segundo fator é a escala de tempo requerida. Na escolha de um método para a determinação da evapotranspiração devem ser levados em consideração praticidade e precisão.

O método de Penman (1948) foi o primeiro método indireto que combinou os efeitos do balanço de energia com o poder evaporante do ar e, é denominado por essa razão de método combinado. Este método é baseado em princípios físicos corretos. Apesar de não ser operacionalmente perfeito, ele é considerado, por muitos, como modelo padrão, ou seja, é a melhor opção para estimar a evapotranspiração, Pereira, et. al. (1997).

Souza (2009) comparou oito métodos de estimativa de evapotranspiração para as condições climáticas do município de Rio Branco no estado do Acre e concluiu que apenas o modelo de Turc, estimou satisfatoriamente a evapotranspiração para a região. O baixo desempenho obtido por diversos métodos

de estimativa da evapotranspiração se dá pelo fato destes terem sido desenvolvidos em regiões climáticas diferentes da região de estudo. Outro aspecto que certamente influencia na taxa evapotranspirativa é o fato da evapotranspiração em região de floresta tropical não ter na temperatura do ar o fator preponderante na realização plena do fenômeno.

Segundo Araujo et. al. (2011), a radiação e a temperatura do ar são as variáveis de maior influência sobre a estimativa da evapotranspiração, sendo a radiação a variável de maior efeito direto. Métodos que incorporam a radiação solar e a temperatura do ar em suas estruturas possuem uma melhor estimativa da evapotranspiração do que métodos que utilizam somente a temperatura do ar.

Embora exista uma boa quantidade de estudos sobre a evapotranspiração, o desenvolvimento de novos métodos modificados genericamente, ou por técnicas clássicas, tem grande importância para a ciência, que requer a atualização contínua desse importante tema na área ambiental.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 DADOS E CARACTERÍSTICAS DO MICROCLIMA DA ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado em uma região de floresta primária, situada na floresta nacional de Caxiuanã, distante cerca de 400 km de Belém, e que apresenta pouca ação antrópica. O local da pesquisa possui uma área de 33.000 ha, a qual 80% de floresta de terra firme e 20% de floresta de várzea e igapós, além de uma abundante vegetação aquática, segundo (Lisboa et al. 1997) e a vegetação de floresta apresenta um dossel de 35 metros de altura em média.

Os valores médios diários da temperatura média, temperatura máxima e temperatura mínima do ar, umidade relativa, evaporação do piche (poder evaporante do ar) foram coletados no período de 1996 á 1999, em uma estação meteorológica convencionanal (Figura 1), instalada na estação científica Ferreira Penna (ECFPn), com localização geográfica de  $01^{\circ} 44' 35''$  S;  $051^{\circ} 27' 22''$  W e altitude de 60 metros, região oeste do estado do Pará. No aspecto do clima, a região de Caxiuanã apresenta o tipo climático **Am**, segundo a classificação de Köeppen, ou seja, clima tropical quente e úmido, com curto período de estiagem. E é o tipo B'1 W'A'a'( clima megatermico com moderada deficiência de precipitação na primavera), segundo a classificação de Thornthwaite.

**Figura 1- Vista da estação meteorológica, instalada na Estação Científica Ferreira Penna (ECFPn)**



## 3.2 METODOLOGIA

O método de Penman, juntamente com os métodos de Thornthwaite, Silva e Linacre, que utilizam somente a temperatura do ar como forçante ambiental e os métodos de Camargo, Hargreaves-Samani e Jansen-Haise, que utilizam temperatura do ar e radiação solar na obtenção da evapotranspiração serão descritos a seguir.

### 3.2.1 Método de Penman ou método combinado (ETPm)

O método de Penman que combina o termo energético e aerodinâmico na estimativa da evapotranspiração (mm/dia) foi utilizado como referência na comparação das estimativas realizadas através dos outros métodos é descrito pela expressão abaixo:

$$ETPm = \frac{\Delta Rn}{(\Delta + \gamma)} + \frac{\gamma Ea}{(\Delta + \gamma)} \quad (1)$$

Onde,  $Ea$  é o poder evaporante do ar em (mm/dia),  $Rn$  é o saldo de radiação transformado em milímetro por dia (mm/dia),  $\Delta$  é a inclinação da curva de saturação da pressão de vapor (hPa) e  $\gamma$  é a constante psicrométrica (hPa).

A inclinação da curva de saturação do vapor d'água ( $\Delta$ ) em função da temperatura média do ar ( $T$ ) foi obtida por:

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

O saldo de radiação à superfície foi estimado segundo a expressão abaixo:

$$Rn = Rg(1 - \alpha) - [9,5035 \times 10^{-5} T(0,09\sqrt{e} - 0,56) - 0,456] \quad (3)$$

Onde  $\alpha$  é o albedo da vegetação (%) e  $e$  é a pressão real de vapor (hPa).

A Radiação global ( $R_g$  em mm/dia) recebida na superfície foi obtida por:

$$R_g = 0,19Q_0\sqrt{T_{max} - T_{min}} \quad (4)$$

Onde  $Q_0$  é a radiação extraterrestre (Tabela 1) e  $T_{max}$  e  $T_{min}$  ( $^{\circ}C$ ) são as temperaturas máximas e mínimas, respectivamente.

**Tabela 1- Valores de  $Q_0$  em mm/dia para a America do sul**

Lat	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0	14,5	15,0	15,2	14,7	13,9	13,4	13,5	14,2	14,9	14,9	14,6	14,3
10	15,9	15,7	15,0	13,8	12,4	11,6	11,9	13,0	14,4	15,3	15,7	15,7
20	16,7	16,0	14,5	12,4	10,6	9,6	10,0	11,5	13,5	15,3	16,2	16,8
30	17,2	15,7	13,5	10,8	8,5	7,4	7,8	9,6	12,2	14,7	16,7	17,6

Fonte: Pereira et. al. (1997)

A pressão real de vapor em função da temperatura e umidade relativa do ar (UR) foi estimada por:

$$e = \frac{es \times UR}{100} \quad (5)$$

Onde  $es$  é a pressão de saturação do vapor (hPa).

A pressão de saturação do vapor foi calculada por:

$$es = 6,11 \times 10^{\frac{17,27T}{T+2,37,3}} \quad (6)$$

A constante psicrométrica ( $\gamma$ ) é dada por:

$$\gamma = 0,665 \times 10^{-3} P \quad (7)$$

Onde P é a pressão atmosférica (hPa).

### 3.2.2 Métodos baseados na temperatura do ar

Os métodos analisados que utilizam apenas a temperatura do ar como forçante ambiental foram:

#### 3.2.2.1 Método de Thornthwaite (ETTh)

A equação de Thornthwaite expressa a evapotranspiração (mm/mês) como função da temperatura média mensal ( $T_m$ ). Foi baseada em dados de precipitação e escoamento superficial de várias bacias hidrográficas dos Estados Unidos. Sua equação é:

$$ETTh = 16 \left( \frac{10T_m}{I} \right)^a \quad (8)$$

O índice anual de calor  $I$  é estimado por:

$$I = \sum_1^{12} i \quad (9)$$

O índice mensal de calor é estimado pela expressão:

$$i = \left( \frac{T_m}{5} \right)^{1,514} \quad (10)$$

E  $a$  é a função cúbica de  $I$ , calculada por:

$$a = 0,675 \times 10^{-6} I^3 - 0,771 \times 10^{-4} I^2 + 1,792 \times 10^{-2} I + 0,49239 \quad (11)$$

### 3.2.2.2 Método de Silva (ETSi)

O método de Silva (1989) foi desenvolvido para determinar a evapotranspiração (mm/dia) nas condições climáticas de Parnaíba-Piauí, a partir de correlações entre a evapotranspiração estimada pelo método de Penman modificado pela FAO e os valores médios de temperatura, umidade relativa e déficit de saturação do ar. A equação que representa esse método é:

$$ETSi = 40 + 1,145T - 63,991UR - 3,441DPV + 0,123DPV^2 \quad (12)$$

Onde DPV é o déficit de saturação de vapor d'água (hPa).

O déficit de pressão de vapor pode ser calculado por:

$$DPV = es - e \quad (13)$$

### 3.2.2.3 Método de Linacre (ETLn)

Linacre em 1977 propôs uma simplificação do método de Penman para estimar a evapotranspiração (mm/dia), relacionando a temperatura média do ar e a temperatura do ponto de orvalho, altitude e latitude do local. Tem como equação:

$$ETLn = \frac{500(T+0,006Z) + 15(T+Td)(100-\phi)}{(80-T)(100-\phi)} \quad (14)$$

Onde, Td é a temperatura do ponto de orvalho (°C), Z é a altitude do local em relação ao nível médio do mar (metros),  $\phi$  é a latitude do local (graus).

A temperatura do ponto de orvalho foi calculada pela equação:

$$T_d = \frac{186,4905 - 237,3 \log e}{\log e - 8,2859} \quad (15)$$

### 3.2.3 Métodos baseados na radiação solar e temperatura do ar

Os métodos analisados que utilizam a temperatura do ar e a radiação foram:

#### 3.2.3.1 Método de Camargo (ETC<sub>m</sub>)

O método proposto por Camargo para estimar a evapotranspiração (mm/dia), leva em consideração somente a temperatura média do ar e a radiação solar recebida no topo da atmosfera. Tem como equação:

$$ETC_m = 0,012T \times Q_0 \quad (16)$$

#### 3.2.3.2 Método de Hergreaves-Samani (ETH-S)

Usando dados obtidos no lisímetro de Davis, California, Hergreaves-Samani (1985) propuseram uma equação para estimativa da evapotranspiração (mm/dia) que leva em consideração os valores das temperaturas máxima, mínima e média, além da radiação extraterrestre. Sua equação é da seguinte forma:

$$ETH - S = 0,023Q_0(T + 17,8)\sqrt{(T_{max} - T_{min})} \quad (17)$$

### 3.2.3.3 Método de Jansen-Haise (ETJ-H)

Trabalhando em regiões semi-áridas americanas Jansen-Haise (1963) propuseram um método para estimar a evapotranspiração (mm/dia) a partir dos valores da radiação global e da temperatura média do ar, conforme a equação:

$$ETJ - H = Rg(0,0252T + 0,078) \quad (18)$$

## 3.3 ANALISE ESTATÍSTICA

Para validar os resultados dos métodos estimativos em relação ao método de Penman, os seguintes testes estatísticos foram utilizados: erro médio (EM), erro médio relativo (EMR), coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), coeficientes angular (a) e linear (b) da reta de regressão linear e ainda, através do índice de precisão (r), por meio do qual avaliou-se o grau de dispersão das estimativas dos outros métodos em relação ao método de referência (Tabela 1).o índice de precisão varia de 0 (zero) a 1 (um). O zero indica ausência de correlação e um que há correlação perfeita.

Tabela 2- Avaliação dos métodos através do índice de precisão (r)

Valor de "r"	Desempenho
> 0,90	Quase perfeita
0,7 a 0,89	Muito alta
0,5 a 0,69	Alta
0,3 a 0,49	Moderada
0,1 a 0,29	Baixa
0,0 a 0,09	Muito baixa

Fonte: Hopkins (2007)

O erro médio e erro médio relativo foram calculados da seguinte forma:

$$EM = \frac{\sum(Pi-Oi)}{N} \quad (19)$$

$$EMR = \left[ \sum \frac{100(Pi-Oi)}{Oi} \right] N^{-1} \quad (20)$$

Onde  $P_i$  é a evapotranspiração medida pelos métodos avaliados,  $O_i$  é a evapotranspiração estimada pelo método Padrão e  $N$  é o número de eventos.

Na reta de regressão linear, foi considerada a estimativa pelo método padrão como variável independente ( $x$ ) e a estimativa pelos outros métodos como variável dependente ( $y$ ).

$$y = ax + b$$

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

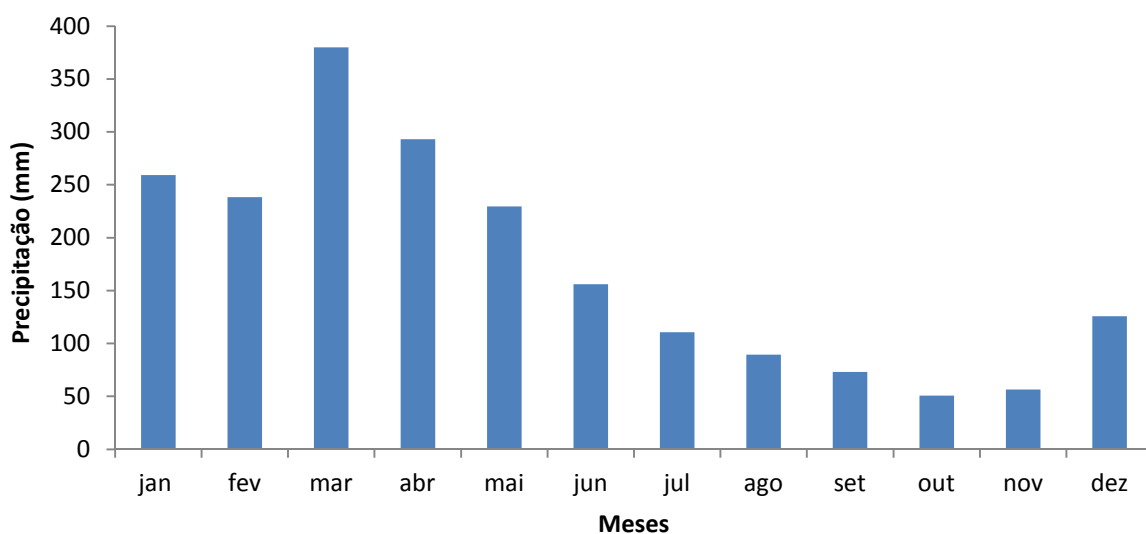
### 4.1 CARACTERÍSTICAS MICROCLIMÁTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

As características do microclima da área de estudo através da precipitação pluviométrica, temperatura do ar, umidade relativa e poder evaporante do ar são apresentadas neste item.

#### 4.1.1 Precipitação pluviométrica

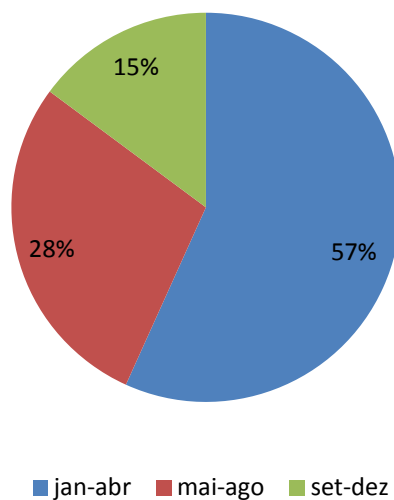
A Figura 2 mostra a distribuição média mensal dos totais da chuva durante o ano. Pode ser observado que o mês com maior volume de chuva na região foi março com 379,8 mm e o mês menos chuvoso foi outubro com 50,7 mm. Pode ser visto também que os maiores valores de precipitação ocorrem no primeiro semestre do ano, portanto, o período mais chuvoso da região, e os menores valores de precipitação ocorrem no segundo semestre, período menos chuvoso.

**Figura 2- Distribuição mensal da precipitação**



A análise quadrimestral da precipitação (Figura 3) mostra que o período de janeiro a abril é o quadrimestre mais chuvoso do ano, apresentando cerca de 57 % do total pluviométrico anual, conforme ilustrado na Figura 1. Por outro lado, a menor quantidade anual de precipitação ocorre no período de setembro a dezembro, representando 15 % do total anual.

**Figura 3- Variação quadrimestral da precipitação**

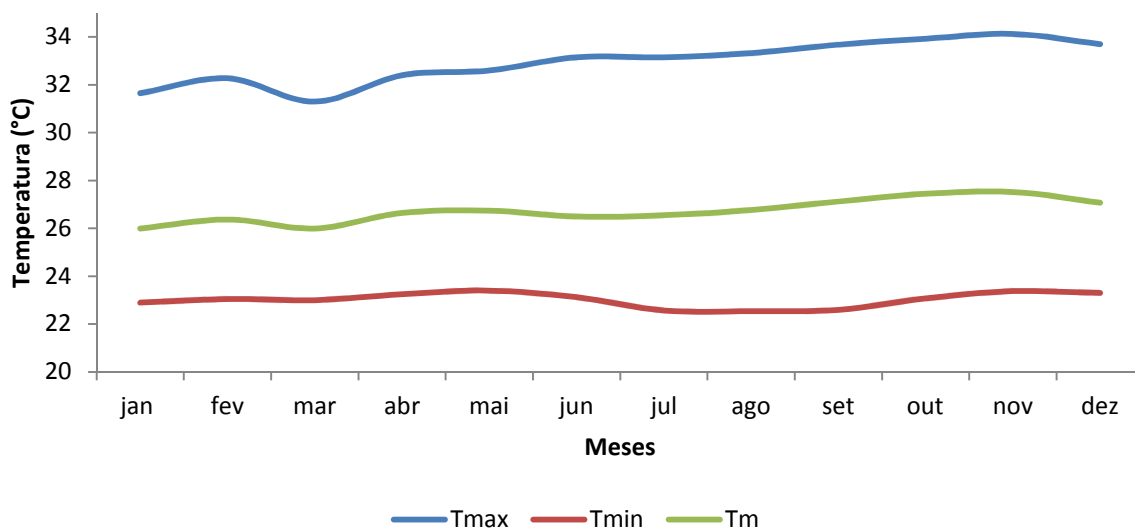


#### 4.1.2 Temperatura do ar

A Figura 4 nos mostra a variação média mensal das temperaturas máxima, mínima e média que, para a área estudada, não se observa variação acentuada ao longo do ano, padrão esse bem característico das localidades situadas nas latitudes tropicais, onde a amplitude térmica diária é maior do que a amplitude anual, conforme pode ser observado nas amplitudes das temperaturas máxima, mínima e média que foram de 2.8 °C; 0,9 °C; 1,5 °C, respectivamente. As menores

temperaturas ocorreram entre os meses de janeiro e abril que é o período mais chuvoso na região. As maiores temperaturas ocorreram entre os meses de julho e novembro que é o período menos chuvoso.

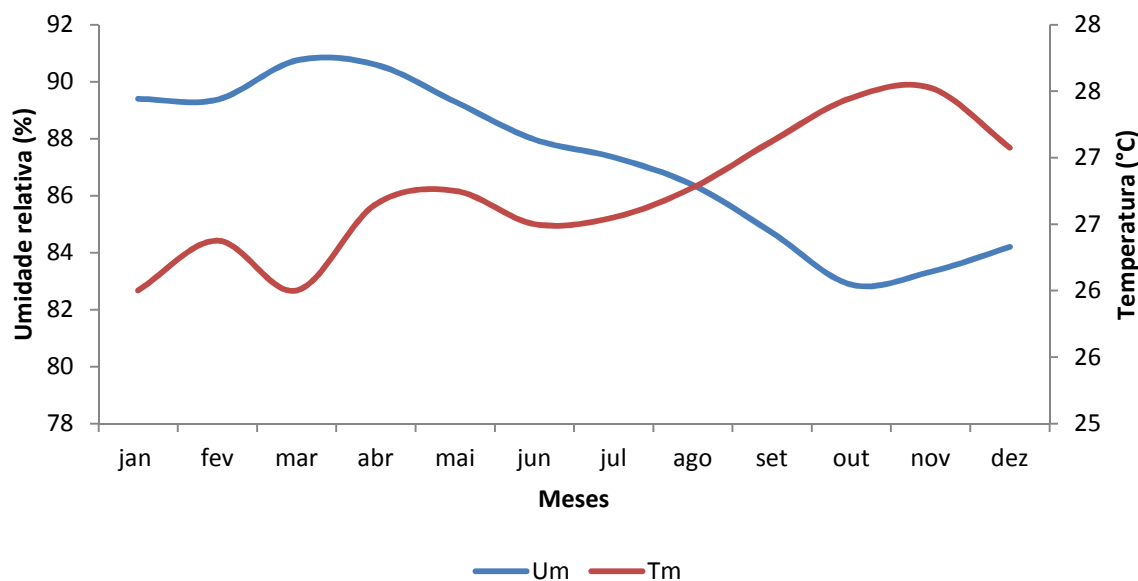
**Figura 4- Variação média mensal das Temperaturas máxima (Tmax), média (Tm) e mínima (Tmin) do ar**



#### 4.1.3 Umidade relativa e temperatura média do ar

A figura 5 mostra a variação média mensal da umidade relativa e a temperatura média do ar. Pode ser visto que nos primeiros meses do ano a umidade relativa é maior, período em que a temperatura apresenta menores valores, o oposto pode ser observado nos últimos meses do ano em que a temperatura apresenta os maiores valores e a umidade valores menores. Isto ocorre por conta de que esse período é o mais chuvoso da região, fazendo assim as temperaturas diminuírem e a umidade aumentar, e nos últimos meses do ano, período menos chuvoso, as temperaturas são maiores e a umidade é baixa.

**Figura 5- Umidade relativa (Um) e temperatura média (Tm) do ar**

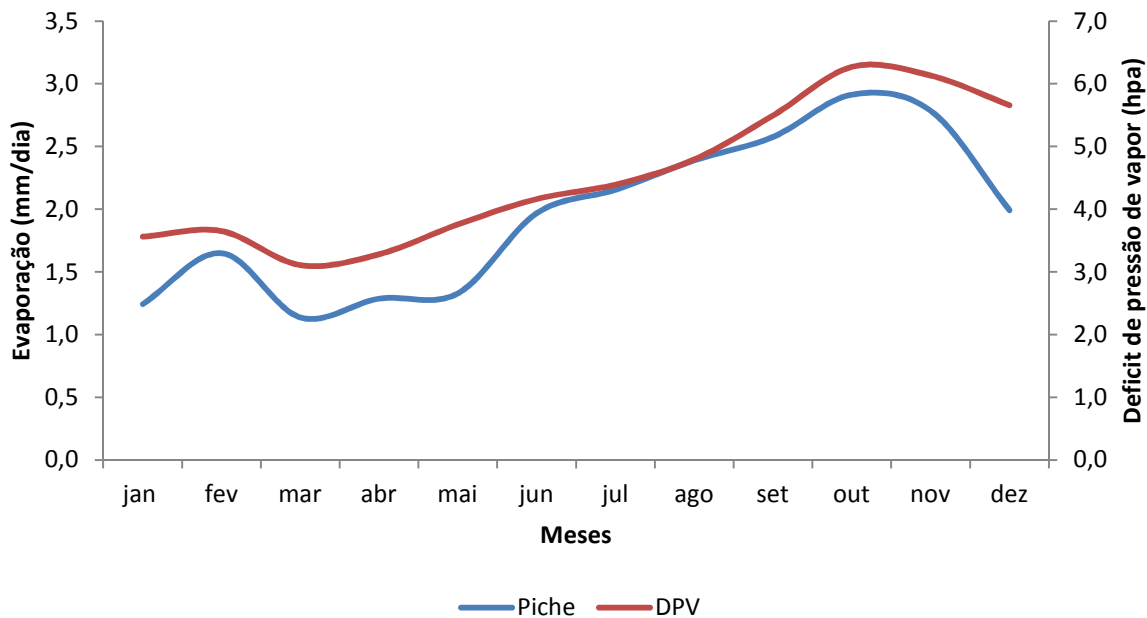


#### 4.1.4 Poder evaporante e déficit de pressão de vapor do ar

A Figura 6 mostra a variação média mensal da evaporação medida no evaporímetro de piche (piche) e do déficit de pressão de vapor (DPV) estimado através da equação (13). Pode ser visto que, os menores valores dessas grandezas ocorreram no período mais chuvoso do ano, pois neste período o ar está mais saturado, inibindo a evapotranspiração, e os valores mais elevados, no período do ano com menores totais de chuva, pois neste período o ar está menos saturado, ou seja, com maior poder evaporante (Figura 2). Isto certamente ocorre, porque tanto o piche, quanto DPV correspondem ao poder evaporante do ar, ou seja, a capacidade do ar atmosférico absorver vapor d'água, que por sua vez, depende do gradiente vertical de umidade do ar. Verificando a temperatura do ar (Figura 4) podemos ver que no período chuvoso, a umidade relativa é alta e a temperatura do ar é baixa. Já no período de menor quantidade de chuva, o oposto ocorre. Dessa forma explica-se também o porquê das curvas de piche e DPV apresentarem padrão de variação semelhante. Pelo fato de que quanto maior a temperatura maior será o déficit de pressão, aumentando assim a demanda atmosférica. Ainda na análise da Figura 6

podemos inferir que, na ausência de medida do evaporímetro de piche, o poder evaporante do ar poderá ser avaliado através da estimativa do DPV.

**Figura 6- Evaporação do piche (piche) e déficit de pressão de vapor (DPV) do ar**



#### 4.2 ANÁLISE DOS MÉTODOS ESTIMATIVOS DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A Tabela 2 mostra as médias diárias da evapotranspiração estimadas através do método de Penman, juntamente com as estimativas dos métodos que utilizam somente a temperatura do ar e dos que empregam temperatura do ar e radiação solar. Em termos de valores médios diários, o método de Silva foi o que mais se aproximou do método de Penman e o método de Linacre foi o que ficou mais distante, entre os métodos que utilizam somente a temperatura como variável ambiental. Já entre os métodos que utilizam temperatura do ar e radiação solar em suas equações, os métodos de Camargo e Hargreaves-Samani foram os que tiveram médias mais próximas da obtida pelo método de Penman.

Observando os valores encontrados para o erro médio e erro médio relativo, pode-se perceber, que o método de Silva mostra os menores valores entre os métodos que utilizam a temperatura do ar e, entre os métodos que utilizam

temperatura do ar e radiação solar, os métodos de Camargo e Hergreaves-Samani mostraram os menores erros.

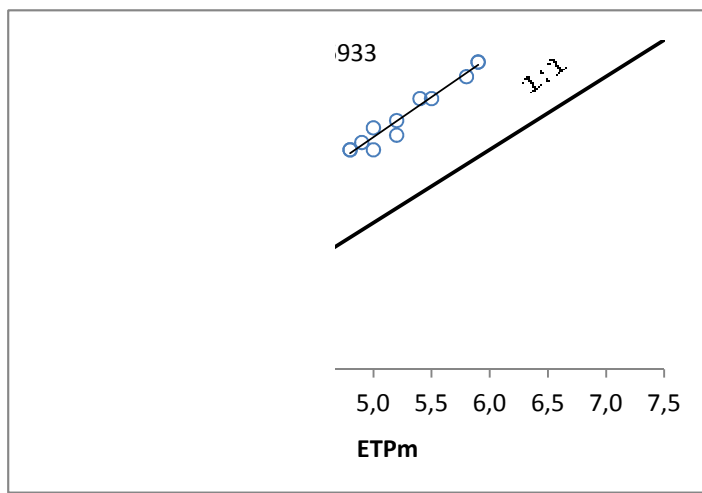
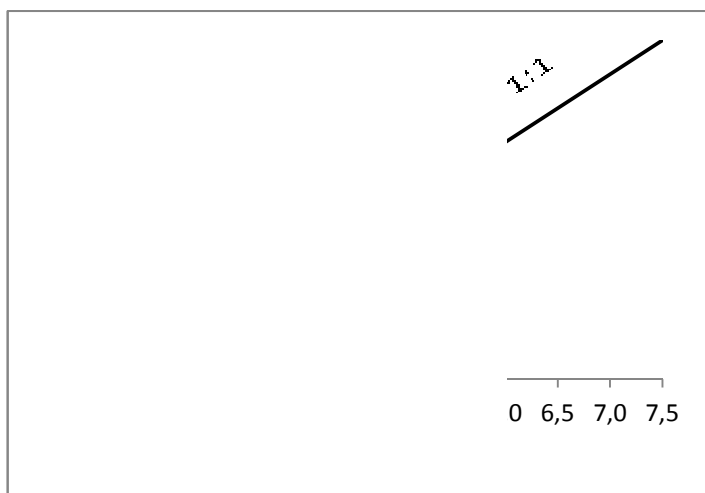
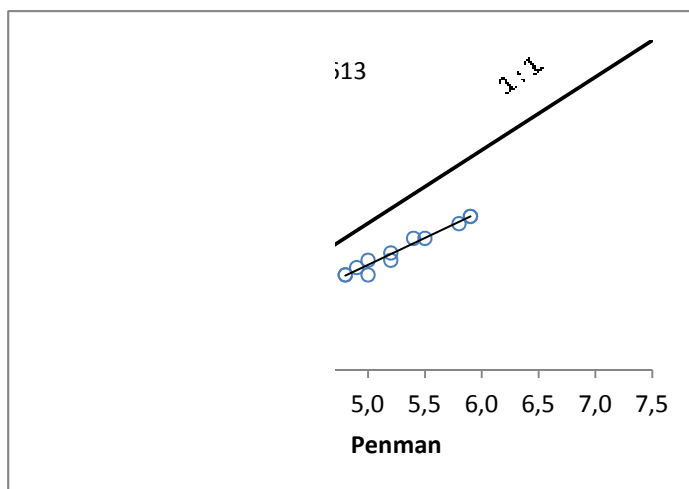
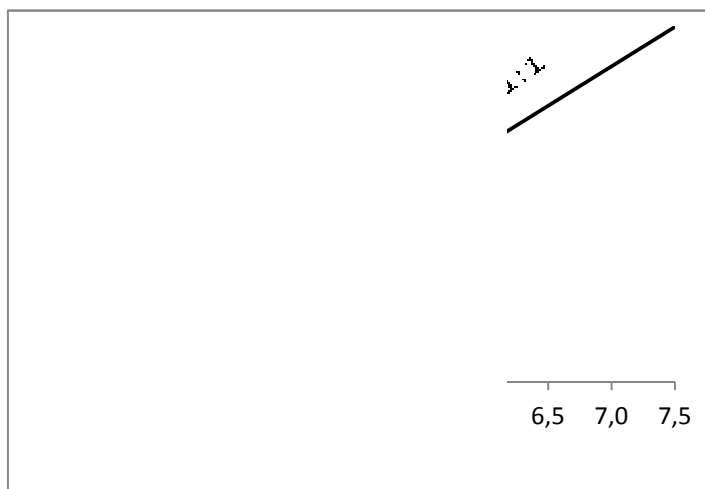
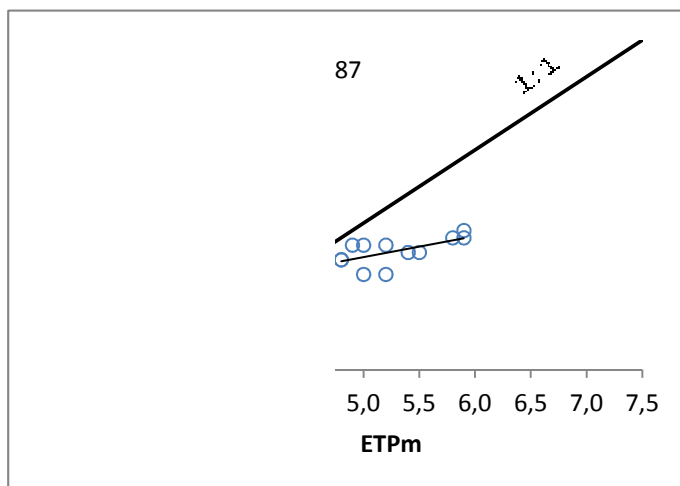
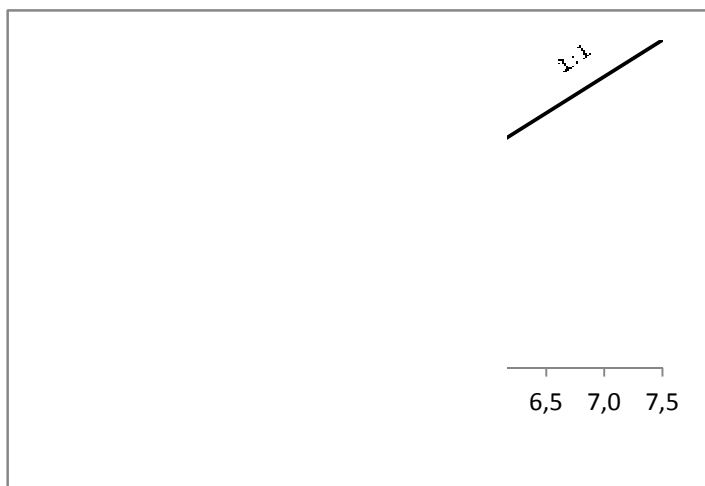
**Tabela 3- Valores mensais da evapotranspiração na base diária estimada em função da temperatura do ar (Thorntwaite, Silva e Linacre), radiação solar e temperatura do ar (Camargo, Hargreaves-Samani e Jensen-Haise), método de Penman, média, erro médio e erro médio relativo**

Variáveis	Temperatura			Temperatura e Radiação			Método Padrão
Métodos	ETTh	ETSi	ETLn	ETCm	ETH-S	ETJ-H	ETPm
Meses	mm/dia			mm/dia			mm/dia
Jan	4,3	4,2	3,0	4,5	4,3	6,0	4,8
Fev	4,5	4,5	3,1	4,7	4,6	6,4	5,2
Mar	4,3	4,3	2,9	4,7	4,4	6,1	4,9
Abr	4,6	4,8	3,0	4,7	4,5	6,3	5,0
Mai	4,6	4,8	3,1	4,5	4,3	6,0	4,8
Jun	4,5	4,5	3,2	4,3	4,3	6,0	5,0
Jul	4,5	4,5	3,2	4,3	4,5	6,2	5,2
Ago	4,6	4,6	3,3	4,6	4,8	6,7	5,5
Set	4,6	4,8	3,4	4,8	5,1	7,2	5,9
Out	4,8	4,9	3,6	4,9	5,1	7,2	5,9
Nov	4,8	5,0	3,6	4,8	5,0	7,0	5,8
Dez	4,6	4,7	3,5	4,6	4,8	6,7	5,4
<b>Médias</b>	<b>4,56</b>	<b>4,63</b>	<b>3,24</b>	<b>4,62</b>	<b>4,64</b>	<b>6,48</b>	<b>5,28</b>
<b>EM (mm)</b>	<b>-0,73</b>	<b>-0,65</b>	<b>-2,04</b>	<b>-0,67</b>	<b>-0,64</b>	<b>1,20</b>	
<b>EMR (%)</b>	<b>-13,4</b>	<b>-12,0</b>	<b>-38,6</b>	<b>-12,3</b>	<b>-12,1</b>	<b>22,8</b>	

A Figura 7 se refere a comparação entre os métodos estudados e o método de Penman. Entre os métodos que utilizam apenas a temperatura do ar verificou-se que o método de Linacre (Fig. 7a3) foi o que apresentou melhor correlação ( $R^2=0,77$ ), bem superior a correlação apresentada por Silva ( $R^2=0,43$ ) e Thorntwaite ( $R^2=0,56$ ). Entre os métodos que utilizam em suas formulas estimativas a temperatura do ar e a radiação, os métodos de Hargreaves-Samani (Fig. 7b2) e Jansen-Haise (Fig. 7b3) mostraram alta correlação e bem próximas. Apresentando

$R^2$  de 0,965 e 0,956 respectivamente. Por outro lado, o método de Camargo (Fig. 7ba) apesar de mostrar valor médio diário mais próximo do método padrão e menores erros estimativos (Tabela 2) apresentou baixa correlação ( $R^2=0,40$ ).

**1 a evapotranspiração em  
ão em função da radiação**



A Tabela 3 mostra além dos coeficientes de regressão linear (a e b) e o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), o índice de precisão (r) e a avaliação dos métodos segundo a classificação de Hopkins em 2007.

Com relação ao resultado dos coeficientes **a** e **b**, entre os métodos que utilizam apenas a temperatura do ar em suas formulas, se comparados a reta perfeita (a=1 e b=0) o método de Linacre foi o que apresentou melhores resultados, enquanto que os métodos de Thorntwaite e Silva não apresentaram coeficientes **a** e **b** muito bons. Já entre os métodos que utilizam a temperatura do ar e a radiação, os melhores coeficientes apresentados foram do método de Jansen-Haise que teve um coeficiente angular (a) muito bom (a=1,09). Já o método de Camargo obteve resultados não muito bons (a=0,29 e b=3,08), resultados semelhantes ao obtido pelo método de Thorntwaite.

Os métodos que utilizam apenas a temperatura do ar em suas formulas apresentaram bons índices de precisão, sendo bem avaliados segundo a classificação proposta por Hopkins. O método de Linacre obteve um valor r de 0,88 enquanto que os métodos de Thorntwaite e Silva apresentaram valores de r um pouco inferiores. Já entre os métodos que utilizam a temperatura do ar e a radiação solar, os métodos de Hargreaves-Samani e Jansen-Haise obtiveram os melhores índices de precisão, índices “Quase perfeitos” pela classificação proposta por Hopkins. O método de Camargo apresentou r de 0,63 que é um índice “alto”.

Tabela 4- Valores dos coeficientes de regressão linear (a e b), coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), índices de precisão (r) e classificação do índice “r” segundo Hopkins de 2007

Métodos	Temperatura			Temperatura e Radiação		
	ETTh	ETSi	ETLn	ETCm	ETH-S	ETJ-H
<b>a</b>	0,2833	0,3872	0,5107	0,2895	0,7345	1,0959
<b>b</b>	3,0615	2,5876	0,5437	3,0870	0,7613	0,6933
<b>r<sup>2</sup></b>	0,5596	0,4351	0,7778	0,3966	0,9649	0,9564
<b>r</b>	0,7481	0,6596	0,8819	0,6298	0,9823	0,9780
<b>Classificação</b>	Muito alto	Alto	Muito alto	Alto	Quase perfeito	Quase perfeito

Diante da possibilidade de detalhar a partição dos termos energético e aerodinâmico nas estimativas da evapotranspiração através do método de Penman, na Tabela 4 mostra-se em termos de porcentagem, a contribuição desses termos no processo da evapotranspiração onde podemos perceber que a componente energética contribui em 91 % do total da evapotranspiração para a região, enquanto que a componente aerodinâmica, apenas contribui com 9 % do total evapotranspirado. Essa grande diferença entre as componentes pode ser explicada pelo fato de que a radiação tem grande influencia para a evapotranspiração na região, enquanto que o poder evaporante do ar não tem muita influencia, pois é função do vento que não é tão intenso em latitudes baixas.

Tabela 5- Valores mensais na base diária do método de Penman e suas componentes energética e aerodinâmica

	ETPm	C <sub>e</sub>	C <sub>a</sub>
Meses	mm/dia		
Jan	4,8	4,5	0,3
Fev	5,2	4,8	0,4
Mar	4,9	4,6	0,3
Abr	5,0	4,7	0,3
Mai	4,8	4,5	0,3
Jun	5,0	4,5	0,5
Jul	5,2	4,6	0,5
Ago	5,5	4,9	0,6
Set	5,9	5,3	0,6
Out	5,9	5,3	0,7
Nov	5,8	5,1	0,7
Dez	5,4	4,9	0,5
<b>Médias</b>	<b>5,28</b>	<b>4,80</b>	<b>0,48</b>
<b>Contribuição</b>		<b>91%</b>	<b>9%</b>

## 5 CONCLUSÃO

- Tanto os métodos que utilizam apenas a temperatura do ar em suas formulas estimativas quanto os métodos que utilizam a temperatura e a radiação em suas formulas estimativas obtiveram uma boa avaliação segundo a classificação de Hopkins (2007). Destacando os métodos de Hargreaves-Samani e Jansen-Haise que obtiveram as melhores avaliações.

- A radiação e a temperatura do ar se mostraram fatores climáticos muito importantes para a realização do processo evapotranspirativo, mas não sendo os únicos fatores que influenciam esse processo.

- Como conclusão adicional verificou-se que a componente energética do método de Penman tem uma contribuição de 91 % do total do processo da evapotranspiração, enquanto que a componente aerodinâmica apenas 9 %.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G. **Crop evapotranspiration** – guidelines for computing crop water requirements – FAO irrigation and drainage paper 56. FAO – Food and agriculture organization of the united nations. 1998.
- ARAUJO, G. L.; REIS, E. F.; MOREIRA, G. R. Correlações entre variáveis climatológicas e seus efeitos sobre a evapotranspiração de referencia. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 5, n. 2, p. 96-104. 2011.
- BACK, Á. J. Desempenho de métodos empíricos baseados na temperatura do ar para estimativa da evapotranspiração de referencia em Urussanga-SC. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 4, p. 449-466. Out./dez. 2008.
- BERLATO, M. A.; MOLION, L. C. B. **Evaporação e evapotranspiração**. Instituto de pesquisas agronômicas. 1977. (Boletim técnico).
- BOTELHO, C. B.; FREITAS, R. A. P.; Assis, S. V. **Influencia de variáveis meteorológicas no calculo da evapotranspiração**. Universidade Federal de Pelotás-UFPEL. 1999.
- BOUCHET, R. J. Evapotranspiration reele evapotranspiration potentiele etproduction agricole. **Annales agronomiques**, v.14, n. 5, p. 744-824. 1963.
- CAMARGO, Â. P.; CAMARGO, M. B. P.. **Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial**. Centro de ecofisiologia e biofísica, instituto agronômico, Campinas. Julho, 2000.
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, p. 89-97. 1997.
- CUARTAS, L. A.; RENNÓ, C. D.; BORMA, L. S. **Processos hidrológicos: evaporação e transpiração**. <<http://www.dpi.inpe.br/~camilo/cst318>>. Acesso em 20/10/2011.
- CUNHA, G. R.; BERGAMASCHI, H. Avaliação de métodos de evapotranspiração máxima em cultura de alfafa. Boletim de Pesquisa online nº 3. **Publicações Embrapa Trigo**. Agosto 2000. Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p\\_bo03.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_bo03.htm)>. Acesso em 20/10/2011.

DANTAS, R. T. Determinação da constante térmica (R) na estimativa da evapotranspiração máxima do arroz (*Oryza Satitiva* L.). In: IX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 9., 1995, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1995. p. 102-105.

DOOREMBOS, J.; KASSAN, A. H. **Efeito de água no rendimento das culturas.** Campina Grande-PB. UFPB. 1994.

DOOREMBOS, J.; PRUIT, W. O. **Guidline for predicting crop water requirements.** FAO Irrigation and dranag paper. N. 24, 2º ed. Rome, 1977.

FONTANA, D. C. Determinação da evapotranspiração. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.), **Agrometeorologia aplicada a irrigação.** Porto Alegre: UFRGS, 1992. Cap. 4.

GANGOPADHYAYA, M. **Measurements and estimation of evaporation and evapotranspiration.** Genova, W. M. O. 1968.

HENRIQUE, F. A. N. **Estimativa da evapotranspiração de referencia em Campo Grande-PB.** 2006. 102f. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, UFCG. 2006.

HERGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. **Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature.** Chicago: Amer. Soc. Agric. Eng. Meeting., 1985. (paper 85-2517).

HOPKINS, W. G. **Correlation coefficient.** 04 Nov. 2007. Disponível em: <<http://www.spotsci.org/resource/stats/correl.html>>. Acesso em 20/10/2011.

HUSCHKE, R. E. **Glossary of meteorology.** Boston: American meteorological society, 1970. p. 638.

LEE, T. S.; AMINUI, M.H. Estimating evapotranspiration of irrigated rice at the west coast of the Peninsular of Malaysia. **Journal of Apllied Irrigation Science**, v. 39, n. 01, p. 103-117. 2004.

LEITE, M. L. **Determinação da evapotranspiração de equilíbrio numa superfície cultivada com feijão (*Phaseolus Vulgaris* L.) em duas densidades de plantio.** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Visoça, Curso de Meteorologia Agrícola, 1989.

LEITÃO, M. M. V. B. R.; OLIVEIRA, G. M.; LEITÃO, T. J. V. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa de evaporação para duas regiões da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Junho de 2007.

MATZENAUER, R. Evapotranspiração de plantas cultivadas e coeficiente de cultura. In: BERGAMASCHI, H (Coord.). **Agrometeorologia aplicada a irrigação.** Porto Alegre: Ed. da universidade/UFRGS, 1992. Cap. 3, p. 31-39.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Royal Society**. A- Series, London, v. 193, p. 120-145. 1948.

PEREIRA, L. S. **Padronização do cálculo da evapotranspiração de referência e cultural**. Centro de Estudo de Engenharia Rural, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa. Novembro de 2005.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002.

PEREIRA, A. R.; NOVA, N. A. V.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(trans)piração**. Piracicaba: Ed. FEALQ. 1997.

SANTIAGO, A.V. **Simulações dos efeitos da cobertura vegetal no balanço hídrico da bacia do rio Ji-Paraná, RO**. 2005. 70 f. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade do Estado de São Paulo, Piracicaba: ESALQ-USP, 2005.

SOUZA, L. P.; FARIAS, O. S.; MOREIRA, J. G. V.; GOMES, F. A.; JÚNIOR, E. F. F. Comparação de métodos da estimativa da evapotranspiração de referência para o município de cruzeiro do sul-Acre. **Enciclopédia Biosfera**. Centro científico conhecer – Goiânia, v. 7, n. 12, p.01-08. 2011.

SOUZA, M. L. A. **Comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência em Rio Branco-Acre**. 2009. 75f. Dissertação (mestrado em agronomia- produção vegetal) - Universidade Federal do Acre, 2009.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. **Determinação da evapotranspiração para fins de irrigação**. Goiania: EMBRAPA-CNPAP. 1995.

THORNTWAITE, C. W. Na approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v. 38, n. 1, p. 54-94. 1948.

VAREJÃO, M. A. S. **Meteorologia e climatologia**. Recife: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 2006. Versão digital 2.

VESCOVE, H. V.; TURCO, J. E. P. Comparação de três métodos da evapotranspiração de referência para a região de Araraquara-SP. **Eng. Agric.**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 713-721. Set./dez. 2005.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, v. 2, p. 184-194. 1981.