



COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA JUAZEIRO-BA

Clênia Rodrigues Alcântara

Universidade Federal de Campina Grande

Glauciene Justino Ferreira da Silva

Universidade Federal da Paraíba

Rosimary de Almeida Caldas

Universidade Federal da Paraíba

RESUMO

Devido ao aumento por demanda hídrica e da necessidade de múltipla utilização da água, o manejo inadequado deste recurso, pode acarretar consequências desastrosas para o meio ambiente, como assoreamento dos rios, mudanças na evapotranspiração, balanço hídrico e, também, causar danos à qualidade da água. As estimativas das necessidades hídricas de uma localidade são estudos importantes na aplicação de métodos de irrigação adequados para cada cultura. Diante do exposto, o objetivo principal deste trabalho foi comparar valores mensais de evapotranspiração de referência calculada pelo método de Penman-Monteith-FAO para a localidade de Juazeiro-BA, com os métodos do Tanque Classe A (TCA), Makkink, Radiação Solar, Linacre, Hargreaves e Samani. Tais comparações tornam-se importantes, a fim de analisar qual o método que oferece uma melhor resposta para uma determinada localidade e assim, entender um pouco mais da disponibilidade hídrica numa determinada região. Os resultados mostraram que os métodos estudados não apresentaram um bom desempenho para a região de Juazeiro-BA. A idealização dos mesmos para outras regiões do globo com características climáticas diferentes pode ter influência direta sobre os resultados obtidos.

Palavras-chave: Semiárido, Recursos naturais, Gestão hídrica.

ABSTRACT

Due to increased demand for water and the need for multiple use of water, inadequate management of this resource, can lead to disastrous consequences for the environment, as siltation of rivers, changes in evapotranspiration, water balance and also cause damage to water quality. The estimates of water needs of a locality are important in the study on the applications of the appropriated

irrigation methods for each culture. Given the above, the main objective of this study was to compare monthly values of evapotranspiration calculated by the method of Penman-Monteith-FAO to the city of Juazeiro – BA, with the method of class A Tank (CAT)), Makkink, Solar Radiation, Linacre, Heargreaves e Samani. Such comparisons are important in order to analyze which method offers a better answer to a particular locality and thus understand a little more of water availability in a particular region. The results showed that the studied methods did not show a good performance for the region of Juazeiro-BA. The idealization of the same for other world regions with different climatic conditions can have a direct influence on the results.

Keywords: Semiarid, Natural resources, Water management.

INTRODUÇÃO

Um dos principais problemas do semiárido brasileiro é a irregularidade espaço-temporal das chuvas (ALMEIDA E SILVA, 2008). Por isso, torna-se necessário o conhecimento sobre os elementos hidrológicos e como eles se comportam em cada região a fim de estabelecer políticas de gerenciamento adequadas ao uso e demanda da água, atendendo as devidas necessidades da população e da produção de alimentos. Devido ao aumento pela demanda hídrica, é importante a utilização múltipla da água. O manejo inadequado deste recurso, também pode acarretar consequências desastrosas para o meio ambiente, como o assoreamento dos rios, mudanças na evapotranspiração, balanço hídrico e, também, causar danos à qualidade das águas subterrâneas e superficiais (CHRISTOFOLETTI, 1999). As estimativas das necessidades hídricas de uma localidade são estudos importantes na aplicação de métodos de irrigação adequados para cada cultura e local.

O termo evapotranspiração foi introduzido por Thornthwaite em 1940 (CARVALHO *et al.*, 2011). A evapotranspiração é a perda de água para a atmosfera, através dos processos simultâneos de evaporação da água do solo e da transpiração pelas plantas (CAMARGO E CAMARGO, 2000). Já o termo evapotranspiração de referência (*ET_o*), é denominado como a perda de água pela superfície para atmosfera, sendo essa superfície gramada, cobrindo o solo sem ocasionar restrição de umidade (BORGES E MEDIONDO, 2007). Através de sua estimativa é possível identificar a quantidade de água que um determinado solo necessita. Porém, essa estimativa depende da disponibilidade de dados meteorológicos confiáveis, o que tem dificultado muitos estudos.

Igualmente, necessita-se de cuidados ao estabelecer essas estimativas, pois alguns métodos utilizados podem sub ou super estimar os resultados que representam a quantidade de água que deve ser reposta, trazendo resultados finais insatisfatórios, podendo conduzir ao inadequado manejo da água afetando a produtividade (VESCOVE E TURCO, 2005).

Dentre os muitos métodos desenvolvidos para se estimar a evapotranspiração de referência, destaca-se o método de Penman-Monteith-FAO (*PMFAO*). Este método foi escolhido pela *Food and Agriculture Organization* como método único padrão para a definição e cálculo da evapotranspiração de referência. Ele requer como variáveis meteorológicas de entrada a radiação, a temperatura do ar, a umidade do ar e os dados de velocidade do vento. Mas nem sempre todos estes dados estão disponíveis para uma dada localidade ou região. Assim, outros métodos que não necessitam de tantas variáveis para a obtenção da evapotranspiração de referência também são utilizados.

Dentre estes métodos destaca-se: Tanque Classe A (*TCA*), Makkink, Radiação Solar, Linacre, Hargreaves e Samani (*HeS*). O *TCA* estima a evapotranspiração a partir da evaporação ocorrida em uma superfície de água. É um dos métodos mais simples utilizados. Makkink e Radiação Solar levam em consideração a irradiância solar global, ou seja, tem como princípio a quantidade de energia que chega a superfície e é utilizada para os processos de evaporação e transpiração. O método Linacre também é bastante simples e amplamente utilizado, pois a temperatura é a única variável de entrada. Por fim, *HeS* é um método um pouco mais complexo, que utiliza a irradiância solar extraterrestre e a temperatura na estimativa da evapotranspiração de referência.

Assim, o objetivo principal deste trabalho foi entender a dinâmica hídrica de uma localidade no semiárido nordestino e comparar valores mensais de evapotranspiração de referência para a localidade de Juazeiro-BA, a partir dos métodos do Tanque Classe A, Makkink, Radiação Solar, Linacre, Hargreaves e Samani com Penman-Monteith-FAO. Tais comparações tornam-se importantes, a fim de analisar qual o método que oferece uma melhor resposta para uma determinada localidade, contribuindo para o planejamento e manejo de seus recursos hídricos.

MATERIAL E MÉTODOS

O Município de Juazeiro-BA (Figura 1) situa-se no vale do Rio São Francisco ao norte do estado da Bahia (09°25'00" S; 40°30'00" W). A região é destaque no cenário nacional devido à produção de frutas tropicais, porém o município está inserido no semiárido brasileiro, sujeito a períodos críticos de prolongadas estiagens. A área municipal é equivalente a 6.500,520 km² e a altitude média é de aproximadamente 370 m (IBGE, 2013).

A região do município de Juazeiro é caracterizada por um regime pluvial anual com chuvas entre os meses de dezembro e abril (Figura 2), com o máximo de precipitação ocorrendo no mês de março. Nos demais meses do ano, a precipitação é praticamente inexistente. Observando as temperaturas médias, mínimas e máximas mensais para a região de Juazeiro (Figura 3), pode-se perceber que os meses com maior temperatura média se encontram entre outubro e dezembro com valores em torno de 28,5°C.

Os meses com menores temperaturas médias são junho, julho e agosto, e ficam em torno de 24,3°C, o que dá uma amplitude térmica mensal de 4,2°C. A temperatura máxima atinge seu valor máximo de 34°C nos meses mais quentes e seu valor mínimo de 29,8°C. Por fim, a temperatura mínima tem uma variação entre 21,9°C e 18,4°C para os meses mais quentes e mais frios, respectivamente.

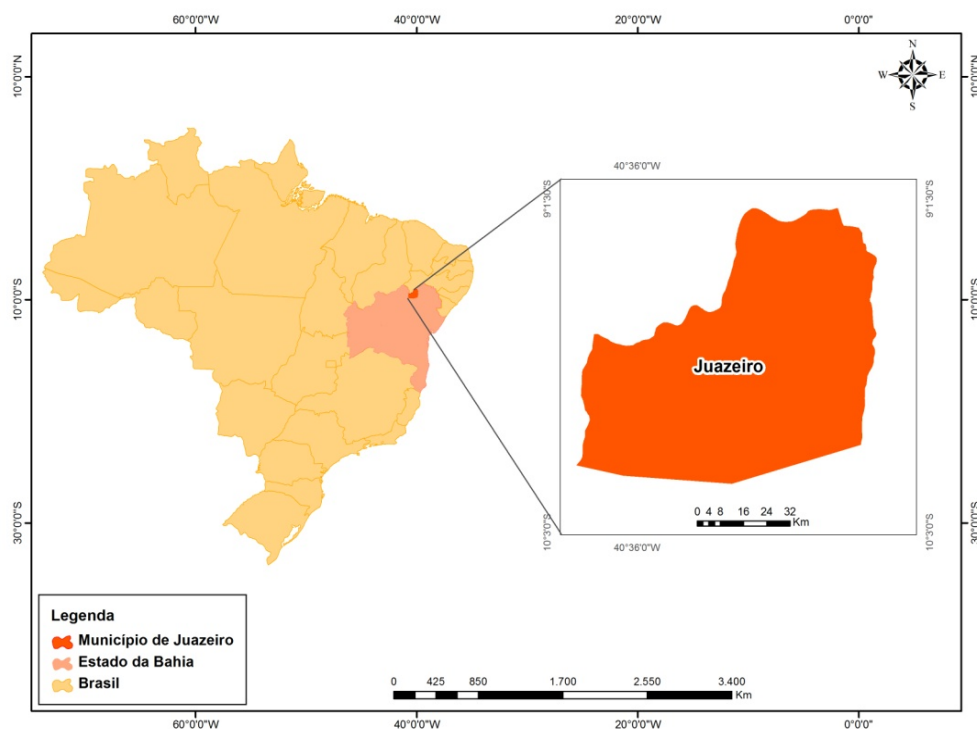


Figura 1. Localização do município de Juazeiro – BA.

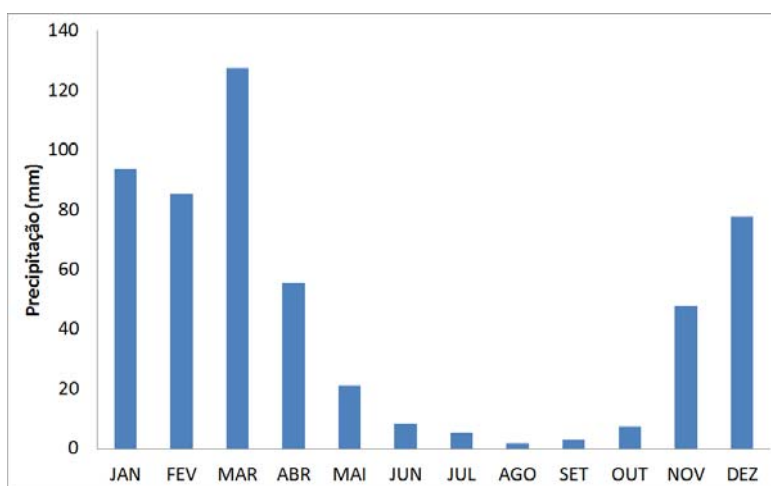


Figura 2. Precipitação média mensal para Juazeiro - BA entre 1975 e 2010.

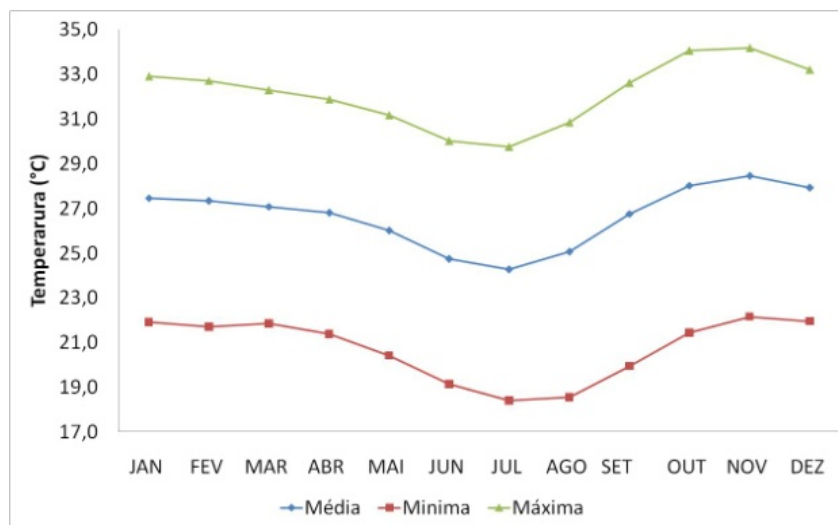


Figura 3. Temperaturas média, mínima e máxima mensais para Juazeiro – BA entre 1975 e 2010.

Para a realização deste trabalho, foram utilizados os dados de temperatura média (°C), temperatura mínima (°C), temperatura máxima (°C), umidade relativa (%), velocidade do vento (m.s^{-1}), evaporação (mm), radiação solar global (MJ m^{-2}) e insolação (h) para a cidade de Juazeiro, obtidos através da estação agrometeorológica, de Mandacaru (BA), localizada à 09°24'S e 40°26'W pertencente a Embrapa Semiárido (EMBRAPA, 2011).

Foi utilizada uma série entre os anos de 1975 e 2010 (Figura 4). A partir disso, foram selecionados os anos de 1998, 2004 e 2005, sendo estes os anos com precipitação abaixo da média, muito acima da média e próxima à média, respectivamente.

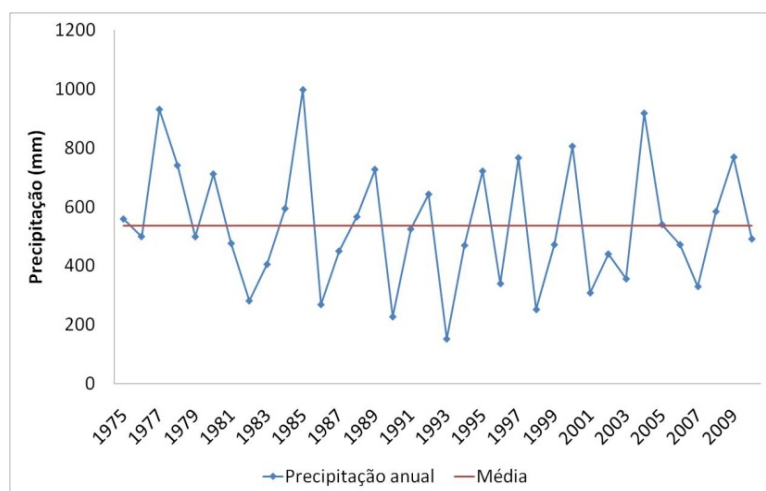


Figura 4. Precipitação anual em Juazeiro - BA desde 1975 a 2010.

Com isso, pretende-se analisar o desempenho dos métodos para obtenção de evapotranspiração de referência em diferentes condições de precipitação, ou regime hídrico. A partir destes dados foi calculada a evapotranspiração de referência através de seis métodos de estimativa, a seguir:

O método padrão Penman-Monteith-FAO foi obtido a partir da equação 1:

$$ET^0 = \frac{0,408(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

em que R_n é o saldo de radiação à superfície (MJ m^{-2}); G é o Fluxo de calor no solo (MJ m^{-2}); γ é a constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); T é a temperatura média ($^\circ\text{C}$); u_2 é a velocidade do vento a 2 m de altitude (m s^{-1}); e_s é a pressão de vapor de saturação (kPa); e_a é a pressão de vapor (kPa); Δ é declinação da curva de saturação do vapor de água ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$).

Para o cálculo da constante psicrométrica foi utilizada a equação 2:

$$\gamma = 0,0016286 \frac{P}{\lambda} \quad (2)$$

em que λ é o calor latente de vaporização (MJ Kg^{-1}).

Já a pressão atmosférica foi estimada pela equação 3:

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

em que z é altitude do local.

O saldo de radiação foi obtido a partir da equação 4:

$$R_n = Q_g (1 - 0,23) - \sigma \frac{(T_{\max}^4 - T_{\min}^4)}{2} * (0,34 - 0,14\sqrt{\epsilon_g}) * \left(0,1 + 0,9 * \frac{n}{12} \right) \quad (4)$$

em que Q_g é a radiação solar global (MJ m^{-2}), σ é a constante de Stefan-Boltzman ($0,49 \times 10^{-7} \text{ MJ. m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$) e n é o número de horas de brilho do sol ou insolação.

Por fim, o fluxo de calor no solo foi estimado através da equação 5:

$$G = 0,30(T_i - T_{i-3}) \quad (5)$$

em que T_i é a temperatura média do mês em questão e T_{i-3} é a temperatura média de 3 meses antes.

Para o cálculo pelo método do Tanque Classe A (TCA), recomendado pela FAO-56 (ALLEN *et al.*, 1998) foi utilizada a seguinte equação 6:

$$ET_0 = k_p \cdot ECA \quad (6)$$

em que ECA é a evaporação do tanque classe A (mm); k_p é o coeficiente do tanque classe A que é calculado através da fórmula, proposta por Snyder (1992) conforme equação 7:

$$k_p = 0,482 + 0,024L_n - 0,000376U + 0,0045UR \quad (7)$$

em que L_n é a bordadura do tanque classe A (mm), U é a intensidade do vento em (km.d^{-1}) e UR é a umidade relativa em (%).

Para a estimativa da ET_0 , através do método de Makkink (Pereira *et al.*, 1997), foi utilizada equação 8:

$$ET_0 = 0,61 \cdot W \cdot RSG - 0,12 \quad (8)$$

sendo RSG é a irradiância solar global (mm de evaporação equivalente); W é o fator de ponderação dependente da temperatura bulbo úmido (tu) dado pela equações 9 e 10, propostas por Wilson e Rouse (1972), citado por Pereira (1997):

$$W = 0,407 + 0,0145 tu; \text{ se } 0^\circ\text{C} < tu < 16,0^\circ\text{C} \quad (9)$$

$$W = 0,483 + 0,01 tu; \text{ se } 16,1^\circ\text{C} < tu < 32,0^\circ\text{C} \quad (10)$$

O método da Radiação Solar (RS) é uma adaptação do Método de Makkink, proposta por Doorenbos e Pruitt (1977) e mais tarde por Doorenbos e Kassam (1994), citado por Pereira *et al.*, (1997). A equação 11 a seguir foi utilizada aqui para o cálculo de evapotranspiração (mm.dia^{-1}):

$$ET_0 = 0,61 \cdot W \cdot RSG - 0,12 \quad (11)$$

em que C é a constante, dependente da velocidade do vento (m.s^{-1}) e da umidade relativa (%).

De acordo com Soares *et al.*, (2008), o método Linacre é muito utilizado, pois a única variável considerada para o seu cálculo é a temperatura, como pode ser observado na seguinte equação 12:

$$ET_0 = \frac{\frac{1(T + 0,006h)}{100 - \phi} + 15(T - T_0)}{80 - T} \quad (12)$$

em que J é uma constante com valor igual a 500 para superfície com cobertura vegetal e 700 com água livre; T , a temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$); h , a altitude (m); T_o , a temperatura do ponto de orvalho; ϕ , a latitude do local ($^{\circ}$).

O método de Hargreaves e Samani (SAMANI, 2000) foi utilizado conforme a equação 13 que se segue:

$$ET_0 = 0,0023 * Q_0 * (T_{max} - T_{min})^{0,5} * (T_{med} + 17,8) \quad (13)$$

em que Q_0 é a irradiância solar extraterrestre (mm de evaporação equivalente) e dependente da latitude e meses do ano; T_{max} é a temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$); T_{min} é a temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$); T_{med} é a temperatura média ($^{\circ}\text{C}$).

Depois de calculada as estimativas através dos métodos citados, foram feitas comparações entre estes e o método padrão de Penman-Monteith-FAO. Para fazer esta comparação, foi realizada uma análise de regressão linear. Esta análise consiste na elaboração de uma regressão linear simples que resulta numa equação do tipo $y = ax + b$, em que “y” é Penman-Monteith-FAO, “x” é o outro método, “a” é o coeficiente angular da reta e “b” é o coeficiente linear da reta.

Além da análise de regressão linear, outros indicadores também foram utilizados. O coeficiente de determinação (R^2), que foi obtido pela equação 14:

$$R^2 = \frac{SQ_{regressão}}{SQ_{total}} \quad (14)$$

sendo $SQ_{regressão}$ é a soma dos quadrados total (variação da variável resposta - de cada um dos valores observados subtrai-se o valor da média aritmética, eleva-se o resultado ao quadrado e somam-se os resultados) e SQ_{total} é soma dos Quadrados dos Resíduos (variação da variável resposta que não é explicada pelo modelo).

Desta forma, se R^2 é igual a zero implica que os métodos não são comparáveis e seus valores estão muito distantes um do outro. Se R^2 é igual a 1 implica que os métodos fornecem valores idênticos, ou seja, são equivalentes. O coeficiente de correlação (r) dado por $r = \sqrt{R^2}$, varia entre -1 e 1 de forma que quando r estiver próximo a -1 a relação entre os métodos é inversamente proporcional, quando for 1 é diretamente proporcional e quando for próximo a 0 não há relação entre os métodos

O erro absoluto médio (EAM) é, basicamente, a diferença entre os métodos (BORGES JUNIOR et al., 2012). Aquele que obtiver menor EAM com relação à Penman-Monteith-FAO é o método mais ajustado para a região. Ele é dado pela equação 16:

$$BAM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P_i - O_i| \quad (16)$$

em que n é o número de pares de dados, P_i é o método avaliado e O_i é o método de Penman-Monteith-FAO. Outro indicador importante é o índice de concordância (d) de Willmott et al. (1985) pela equação 17:

$$d = 1 - \left\{ \frac{\sum [(P_t - O_t)^2]}{\sum [(P_t - O_m)^2 + (O_t - O_m)^2]} \right\} \quad (17)$$

onde O_m é a média da evapotranspiração obtida pelo método padrão. Por fim, o índice de confiança (C) dado por $C = d \cdot r$, pode classificar o desempenho dos métodos avaliados (BORGES JUNIOR et al., 2012), de acordo com a Tabela 1 abaixo.

Tabela 1. Classificação dos métodos avaliados para o índice de confiança.

Valor de C	Classificação
Acima de 0,85	Ótimo
Entre 0,85 e 0,76	Muito bom
Entre 0,75 e 0,66	Bom
Entre 0,65 e 0,61	Mediano
Entre 0,60 e 0,51	Sofrível
Entre 0,50 e 0,41	Mal
Abaixo de 0,40	Péssimo

Fonte: Camargo e Sentelhas (1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

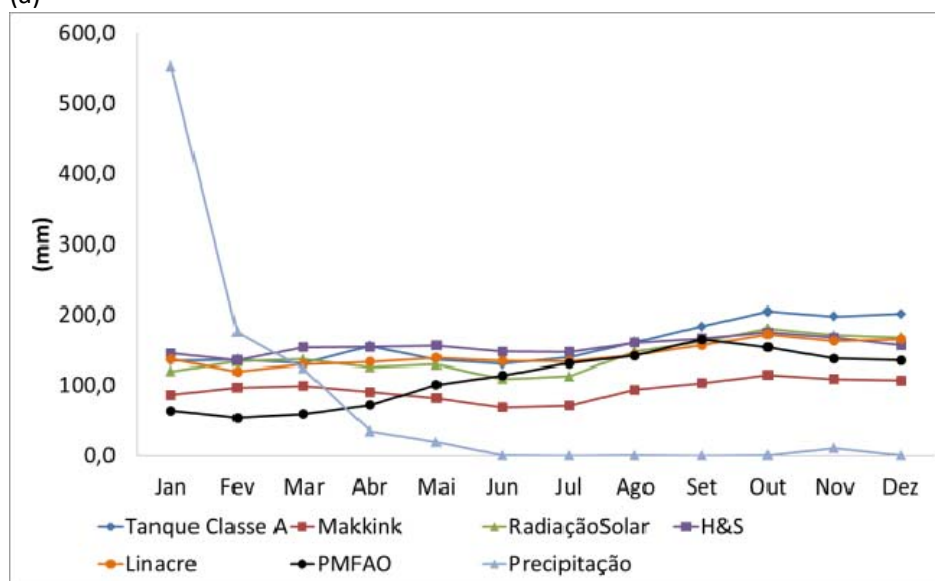
A Figura 5a apresenta os valores de precipitação e evapotranspiração de referência para o ano de 2004, que foi considerado chuvoso, esses valores foram obtidos por meio dos métodos Tanque Classe A, Radiação Solar, Makkink, Hargreaves e Samani, Linacre e PMFAO. Os meses mais chuvosos foram janeiro, fevereiro e março com 852 mm acumulados. Isto corresponde a, aproximadamente, 93% do total de precipitação deste ano. Nos demais meses a precipitação foi quase inexistente.

Segundo PMFAO, estes são os meses com menor evapotranspiração de referência (50 – 60 mm). O mês com maior evapotranspiração foi setembro com quase 165 mm. Logo, a região em estudo passou 9 meses do ano com déficit

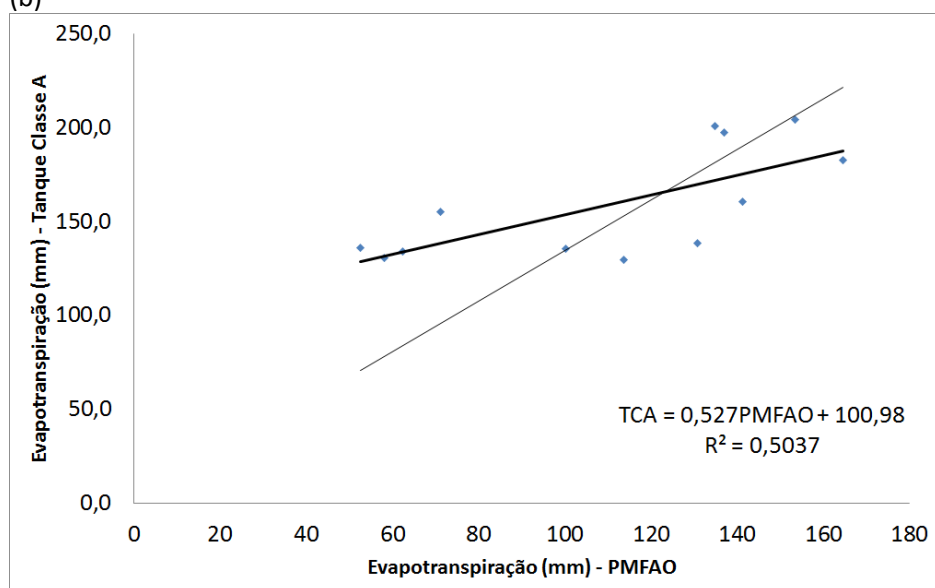
hídrico, ou seja, a evapotranspiração foi maior que a precipitação na maior parte do ano.

Comparando PMFAO com os demais métodos, percebe-se que nos meses chuvosos todos eles superestimaram a evapotranspiração de referência, sendo Radiação Solar e HeS, os métodos que demonstraram maiores diferenças. Nos meses sem chuva, Makkink subestimou a evapotranspiração e os demais métodos superestimaram.

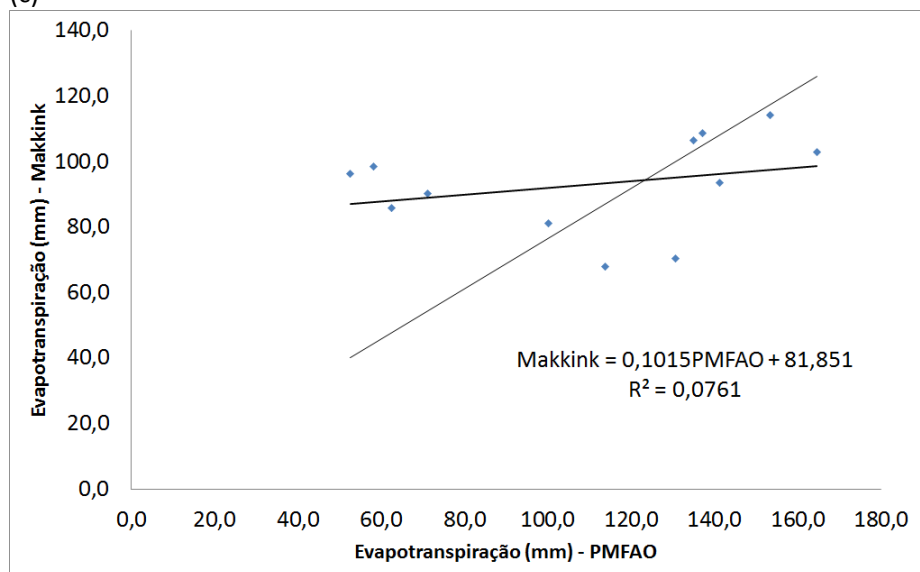
(a)



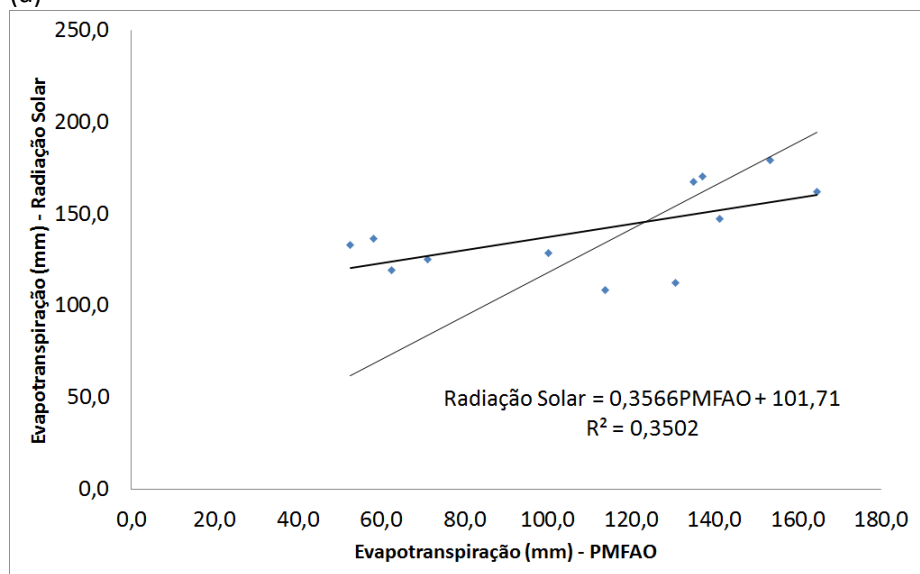
(b)



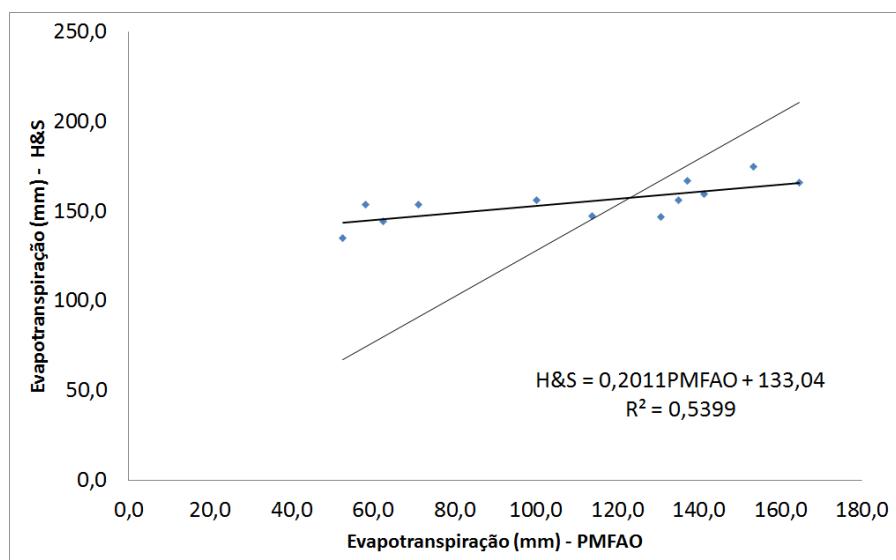
(c)



(d)



(e)



(f)

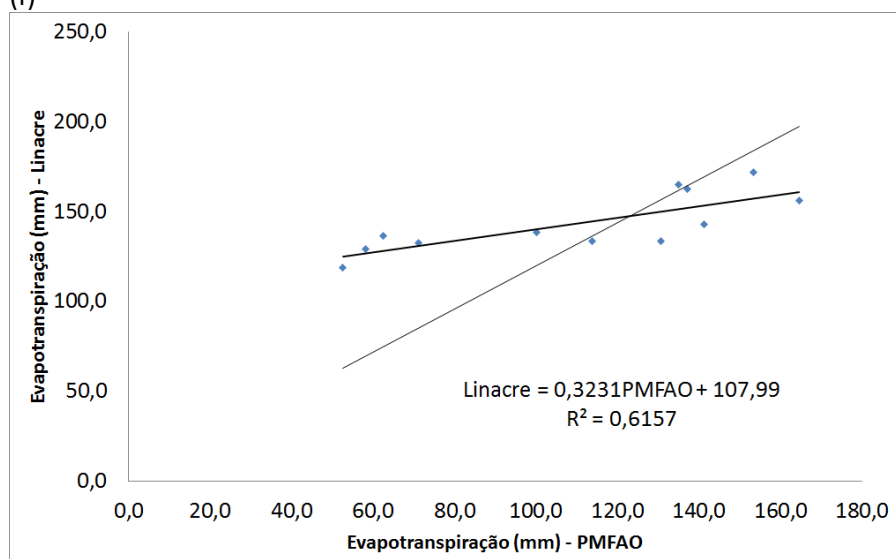


Figura 5. (a) Precipitação (mm) e Evapotranspiração (mm) para 2004 (chuvoso) calculada através dos métodos do Tanque Classe A, Makkink, Radiação Solar, HeS, Linacre e PMFAO, (b) Correlação entre os métodos PMFAOX TCA, (c) PMFAO X Makkink, (d) PMFAOX Radiação Solar, (e) PMFAO X HeS e (f) PMFAO X Linacre.

A Tabela 2 mostra o coeficiente de determinação (R^2), correlação (r), erro absoluto médio (EAM), índice de concordância (d) e índice de confiança (C) para 2004, que foi considerado um ano com chuva acima da média, calculados através dos métodos TCA, Makkink, Radiação Solar, HeS, Linacre e PMFAO. Neste caso, o maior coeficiente de determinação foi para o método TCA, assim como também foi observado a maior correlação (0,71). Logo, o melhor ajuste para a análise de regressão linear foi para este método e o menor foi observado para Linacre.

Tabela 2. Comparação entre os métodos TCA, Makkink, Radiação Solar, HeS e Linacre com PMFAO através do coeficiente de determinação (R^2), correlação (r), erro absoluto médio (EAM), índice de concordância (d) e índice de confiança (C) para 2004 considerado chuvoso.

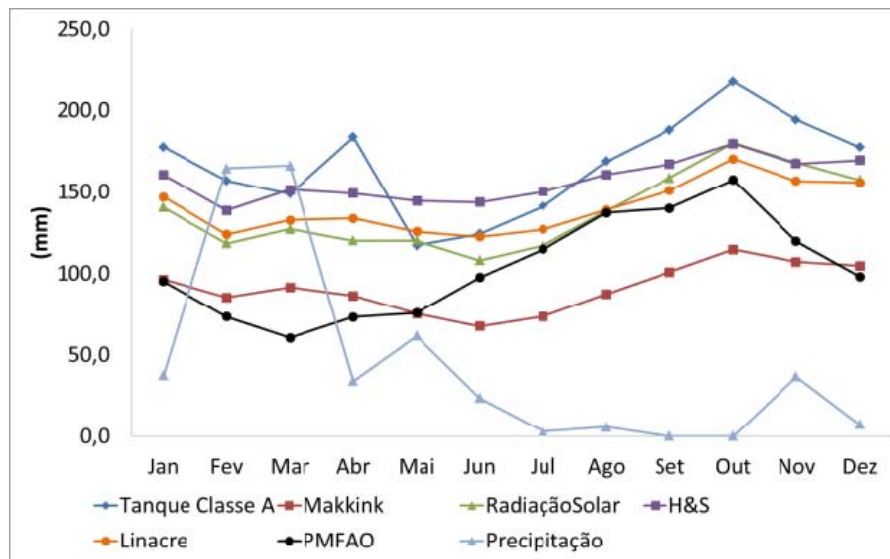
Método	R^2	r	EAM	d	C
TCA	0,50	0,71	48,92	0,68	0,48
Makkink	0,08	0,28	-17,03	0,94	0,26
Rad.Solar	0,04	0,19	30,89	0,86	0,16
HeS	0,05	0,23	45,11	0,72	0,17
Linacre	0,06	0,25	33,49	0,86	0,21

Todos os métodos obtiveram altos índices de concordância, mas Makkink foi o maior de todos com 0,94. Quanto ao índice de confiança, o maior valor encontrado foi para TCA com 0,48, o que implica que nenhum dos métodos foi considerado confiável.

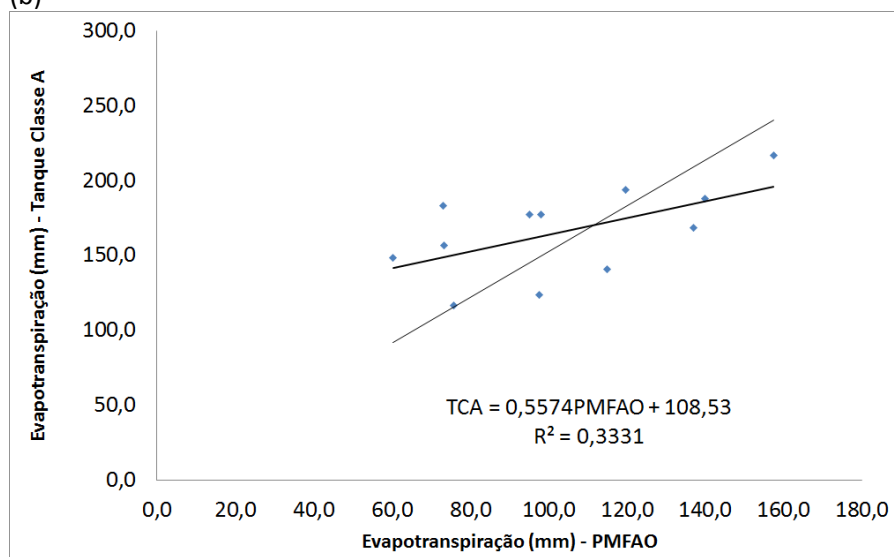
Para o período considerado com pluviosidade próxima à média, também foi realizada a comparação entre os métodos como pode ser observado na Figura 6 em que são apresentados os valores da evapotranspiração de referência e precipitação para o ano de 2005. As chuvas foram melhor distribuídas ao longo do ano, sendo os meses com maiores precipitação: fevereiro, março e maio. O método PMFAO indicou este período como sendo o de menor evapotranspiração com valores entre 60 e 70 mm. Seu valor máximo foi observado em outubro com 157,4 mm. Assim, o déficit hídrico foi observado por um período maior que em 2004 equivalente a 10 dos 12 meses do ano. Apenas fevereiro e março demonstraram excesso de água.

Mais uma vez todos os métodos superestimaram a evapotranspiração nos meses mais chuvosos. Os métodos TCA e HeS são os que obtiveram maiores diferenças neste período e Makkink foi o método que possuiu melhor desempenho. Nos meses secos, Makkink subestimou a evapotranspiração de referência e os demais métodos superestimaram sendo TCA o que apresentou pior desempenho.

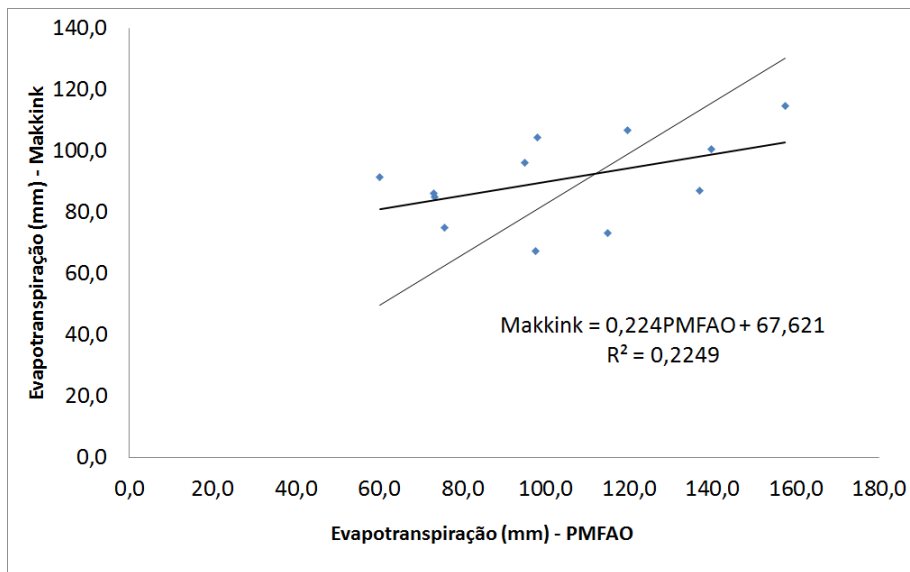
(a)



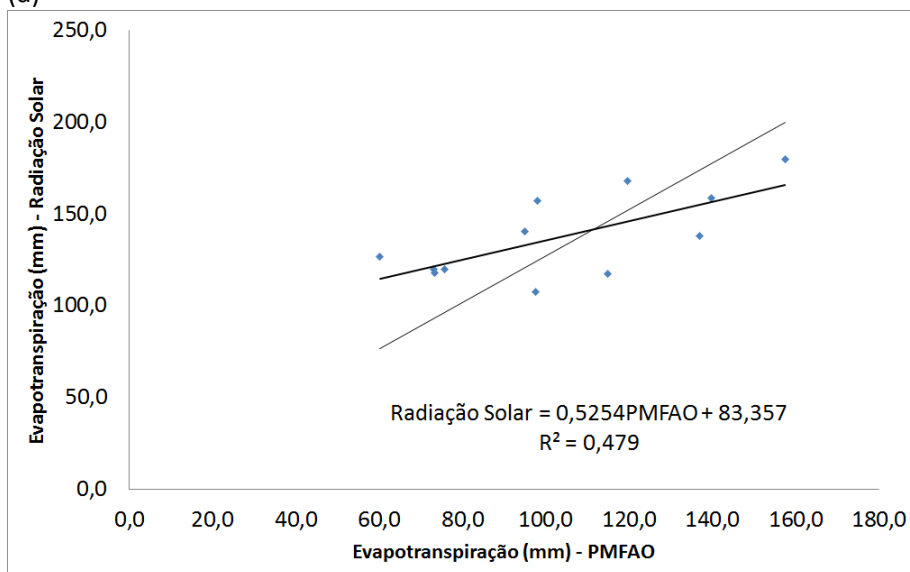
(b)



(c)



(d)



(e)

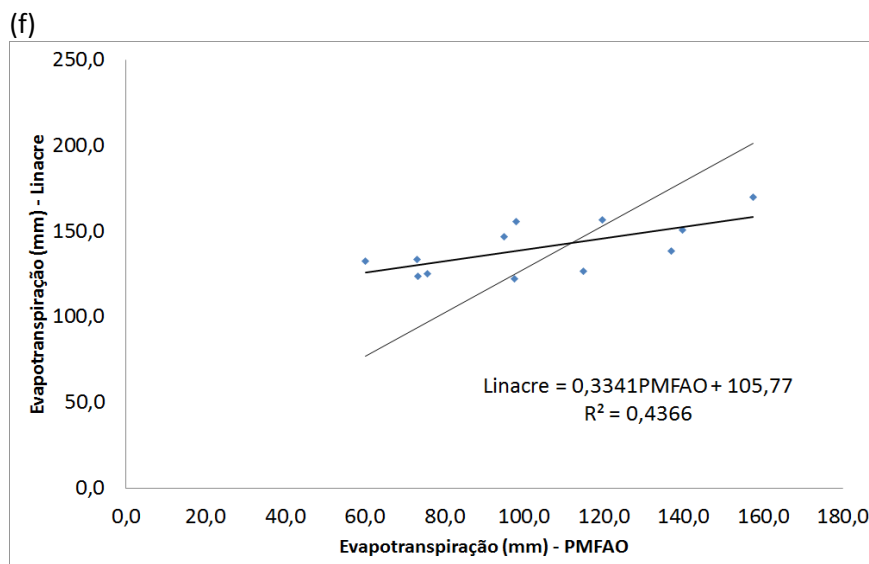
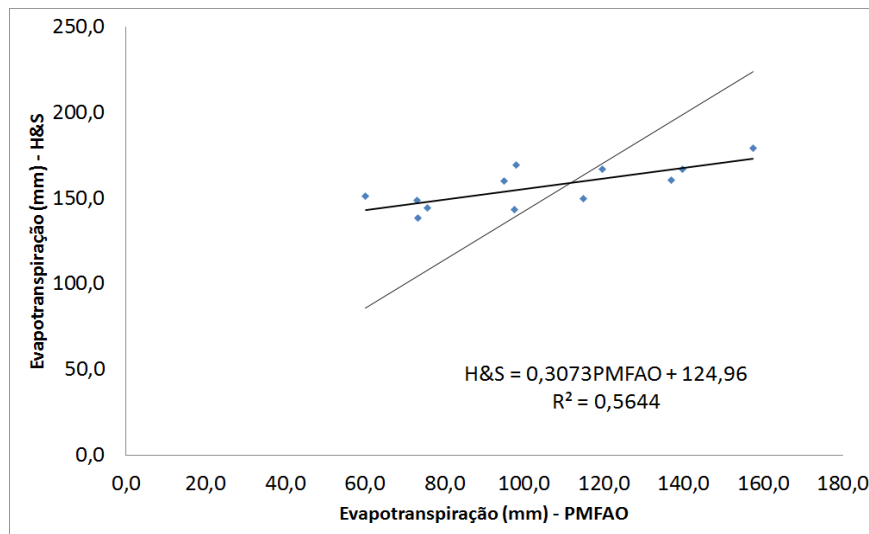


Figura 6. (a) Precipitação (mm) e Evapotranspiração (mm) para 2005 (média) calculada através dos métodos do Tanque Classe A, Makkink, Radiação Solar, HeS, Linacre e PMFAO, (b) Correlação entre os métodos PMFAO X TCA, (c) PMFAO X Makkink, (d) PMFAO X Radiação Solar, (e) PMFAO X HeS, (f) PMFAO X Linacre.

Para o ano de 2005 (Tabela 3), o maior coeficiente de determinação encontrado foi 0,56. Observando estes valores e os painéis da Figura 6 para análise de regressão linear, entende-se que os métodos não estão bem ajustados e há muitas discrepâncias entre estes e PMFAO. Porém, estes valores de R^2 ainda se apresentam melhor que para o ano de 2004. A correlação foi observada entre PMFAO e HeS com 0,75. O menor erro médio absoluto foi observado para Makkink. Para o índice de concordância, todos os métodos obtiveram valores maiores que 0,52 quando comparados com PMFAO, sendo que Makkink teve

$d=0,97$. E o índice de confiança mostrou valores entre 0,3 e 0,61. Assim, Radiação Solar foi o método que mostrou confiabilidade mediana $C=0,61$ e HeS e Linacre sofrível.

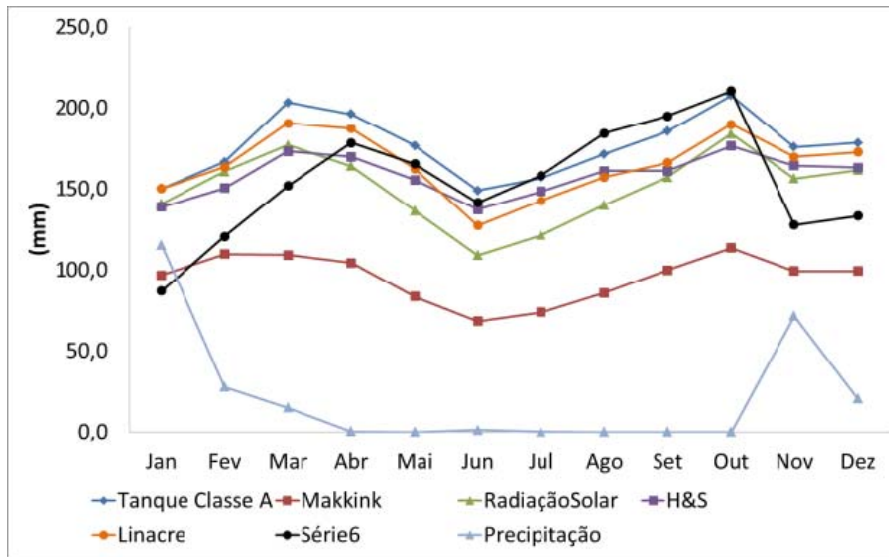
Tabela 3. Comparação entre os métodos TCA, Makkink, Radiação Solar, HeS e Linacre com PMFAO através do coeficiente de determinação (R^2), correlação (r), erro absoluto médio (EAM), índice de concordância (d) e índice de confiança (C) para 2005 considerado dentro da média.

Método	R^2	r	EAM	d	C
TCA	0,33	0,58	62,73	0,52	0,30
Makkink	0,22	0,47	-12,70	0,97	0,46
Rad.Solar	0,48	0,69	34,24	0,88	0,61
HeS	0,56	0,75	53,25	0,69	0,52
Linacre	0,44	0,66	36,85	0,86	0,57

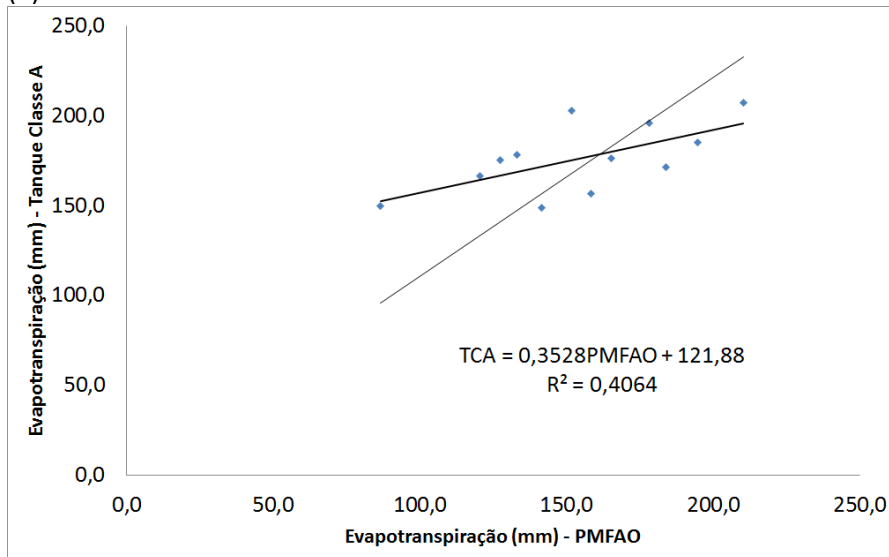
A Figura 7 apresenta os valores de precipitação e da evapotranspiração de referência obtidos com cada método empregado no estudo para o ano de 1998, considerado muito abaixo da média de pluviosidade. Novembro, dezembro, janeiro e fevereiro foram os meses mais chuvosos com 234,5 mm acumulados dos 251,1 mm total anual. Foi o ano em que a evapotranspiração de referência se mostrou com maiores valores, dos três aqui estudados, chegando a 210,3 mm em outubro. Apenas em janeiro não foi observado déficit hídrico.

Neste caso, Makkink subestimou em muito a evapotranspiração. Os demais métodos subestimaram-na nos meses sem ocorrência de precipitação e nos meses em que se observou alguma chuva, a evapotranspiração foi superestimada.

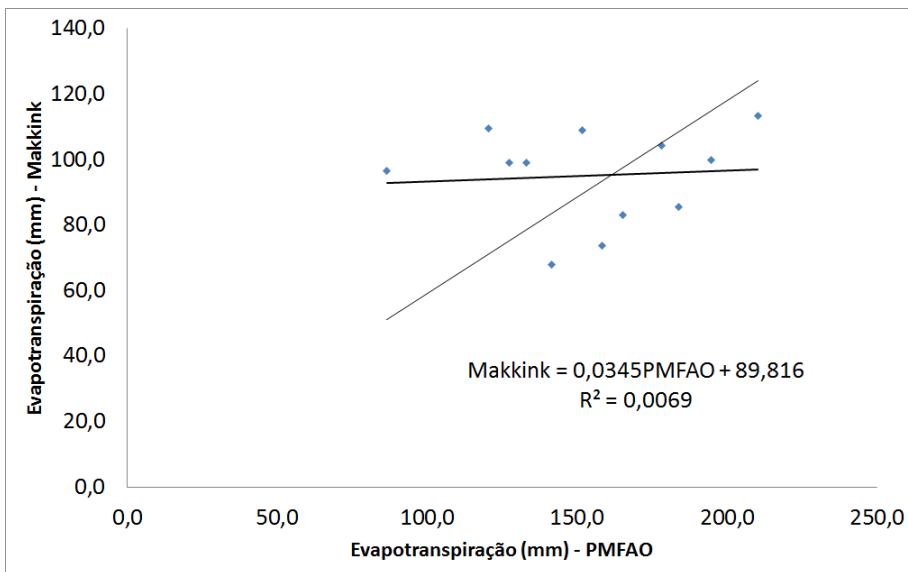
(a)



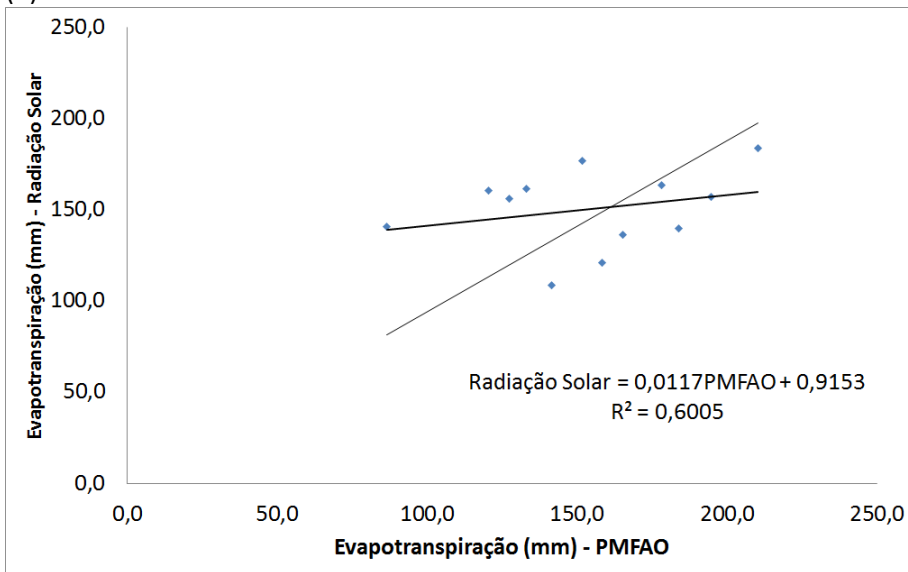
(b)



(c)



(d)



(e)

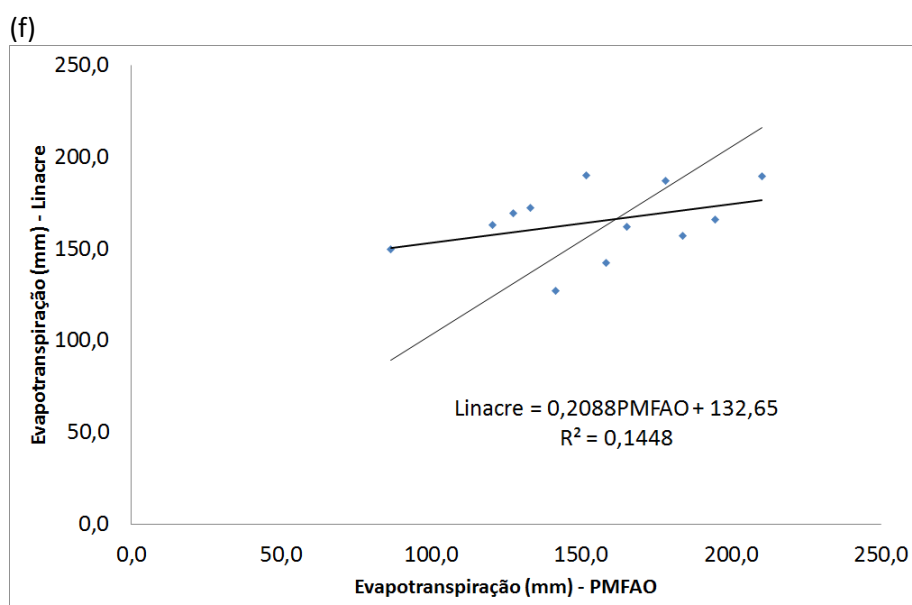
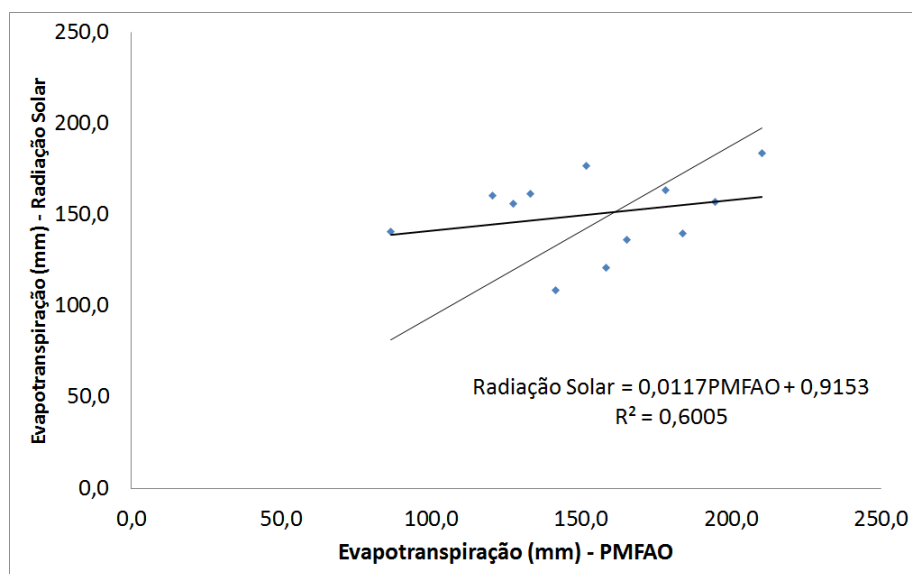


Figura 7. Precipitação (mm) e Evapotranspiração (mm) para 1998 (seco) calculada através dos métodos do Tanque Classe A, Makkink, Radiação Solar, HeS, Linacre e PMFAO (a) e Correlação entre os métodos PMFAO X TCA (b), PMFAO X Makkink (c), PMFAO X Radiação Solar (d), PMFAO X HeS (e) e PMFAO X Linacre (f).

Para 1998 (Tabela 4), todos os R^2 foram inferiores a 0,41. O método TCA foi o que obteve melhor ajuste com $R^2 = 0,41$. A correlação entre PMFAO e este método também foi a maior com 0,67.

Outra correlação expressiva foi com HeS com 0,61. De todos, o menor EAM foi de 24,48 para HeS. Quanto à concordância, todos os métodos obtiveram $d > 0,80$

sendo HeS o que teve maior concordância com $d = 0,92$. Linacre teve 0,92 e Radiação Solar obteve 0,91. Por fim, a confiabilidade dos métodos foi considerada sofrível para HeS e TCA. Os demais métodos obtiveram C muito baixos.

Comparando os métodos para os três anos com totais de precipitação distintos percebe-se que para a análise de regressão linear os métodos tendem a ser mais próximos quando o ano se mostra em torno da média e com distribuição temporal mais homogênea. A confiabilidade também foi maior para este ano. Porém, a concordância foi maior para os métodos quando calculados no ano seco.

Tabela 4. Comparação entre os métodos TCA, Makkink, Radiação Solar, HeS e Linacre com PMFAO através do coeficiente de determinação (R^2), correlação (r), erro absoluto médio (EAM), índice de concordância (d) e índice de confiança (C) para 1998 considerado seco.

Método	R^2	r	EAM	d	C
TCA	0,41	0,64	21,99	0,88	0,56
Makkink	0,01	0,08	-59,22	0,82	0,07
Radiação Solar	0,07	0,27	-3,75	0,91	0,25
HeS	0,37	0,61	3,83	0,93	0,57
Linacre	0,14	0,38	10,52	0,92	0,35

CONCLUSÃO

Os métodos de estimativa de evapotranspiração são de extrema importância para a agricultura, pois determinam o quanto de água um determinada cultura pode necessitar em um dado período. Alguns métodos para determinar a evapotranspiração em uma região podem ser utilizados por qualquer pessoa que necessite de tais informações. Como é o caso do método de Hargreaves&Samani, relativamente simples, e que pode ser empregado com facilidade pelos produtores rurais. Diferentemente do tanque Classe A que apresenta um custo maior de instalação e maior necessidade de manutenção. Já o método da Radiação Solar requer um número maior de variáveis meteorológicas, nem sempre disponíveis para a utilização por pessoas com poucas instruções e conhecimentos técnicos.

Diante da análise feita neste trabalho pode-se concluir que a rigor nenhum dos métodos estudados demonstraram um bom desempenho para a região de Juazeiro. Talvez por que estes métodos tenham sido idealizados para outras regiões do globo com características diferentes. Uma prova disto é que quando a precipitação se mostrou em torno da média e com distribuição temporal mais homogênea, os métodos apresentaram-se mais ajustados ao método padrão para o cálculo da evapotranspiração de referência.

Registra-se aqui a necessidade de um estudo mais aprofundado destes métodos e adaptação dos mesmos para a região semiárida do Brasil, que apresenta inúmeras particularidades geoambientais.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G; PEREIRA, S. L; RAES, D; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO - Irrigation and Drainage, n.56. p.300, 1998.

ALMEIDA, H. A. de; SILVA, L. Determinação das características hídricas da microbacia de drenagem da barragem Vaca Brava. In: Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 16, n. 1, p. 77-86, 2008.

BORGES, A. C.; MEDIONDO, E. M. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jucupiranga. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental, v. 11, n.3, p. 293-300, 2007.

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; ANJOS, R. J.; SILVA, T. J. A.; LIMA, J. R. S.; ANDRADE, C. L. T. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE. Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental, v.16, p.380–390, 2012

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. Bragantia, Campinas, v. 59, n.2, p, 125-137, 2000.

CAMARGO, A. P; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativas da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

CARVALHO, L. G; RIOS, G.F.R; MIRANDA, W.L; NETO CASTRO, P. Evapotranspiração de Referência: uma abordagem conceitual de diferentes

métodos de estimativa.: Pesquisa Agronômica Tropical. Goiânia, v. 41, n. 3, p. 456-465, 2011.

CHRISTOFOLETTI, A. Modelagem de Sistemas Ambientais. 1. Ed.São Paulo, SP: Blucher, 1999.

DOOS, J.; KASSAM, A.H. Efeito da água no rendimento das culturas. Tradução: GHEYI, H.R. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1994. 306 p. (Estudos da FAO, Irrigação e Drenagem, 33)

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO - Irrigation and Drainage Paper, n. 24, p.179,1977.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Disponível em <<http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/index.php?op=dadosmet>> Acesso em: 15 de janeiro de 2013.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Dados básicos dos municípios brasileiros. Disponível em <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=291840>>. Acesso em: 26 abril de 2013.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA. G. C. Evapo(transpi)ração. Piracicaba-SP: Fealq, 1997.

SAMANI, Z. Estimating solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological data. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Reston, v.126, n.4, p.265-267, 2000.

SNYDER, R. L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversion. Journal of Irrigation and Drainage Engineering of ASCE.v.118, n.6, p.977-980, 1992.

SOARES, W. A. Sensibilidade do método de Linacre na estimativa da evapotranspiração. VIII Encontro Regional de Matemática Aplicada e Computacional, Natal. Anais... 2008.

VESCOVE, H. V.; TURCO, J. E. P. Comparação de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Araraquara-SP. Revista de Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p.713-723, 2005.

Contato com o autor: clenia@gmail.com

Recebido em: 05/04/2014

Aprovado em: 03/06/2014