**ESTUDO COMPARATIVO DE DIFERENTES MÉTODOS DE ESTIMATIVA
DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA
A SUB-REGIÃO DO PANTANAL
DA NHECOLÂNDIA-MS**

BALBINA MARIA ARAUJO SORIANO
Meteorologista

Orientador: *Prof.Dr. KLAUS REICHARDT*

Dissertação apresentada à Escola Superior
de Agricultura "Luiz de Queiroz", da
Universidade de São Paulo, para obtenção do
Título de Mestre em Agronomia, Área de
Concentração: Agrometeorologia.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCAP/USP

S714e Soriano, Balbina Maria Araujo
Estudo comparativo de diferentes métodos de estimativa
da evapotranspiração de referência para a sub-região do
pantanal da Nhecolândia-MS. Piracicaba, 1991.
95p. ilustr.

Diss.(Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Evapotranspiração - Estimativa - Método 2. Evapo-
transpiração - Nhecolândia, MS 3. Meteorologia agrícola
I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Pira-
cicaba

CDD 551.572

**ESTUDO COMPARATIVO DE DIFERENTES MÉTODOS DE ESTIMATIVA
DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA
A SUB-REGIÃO DO PANTANAL
DA NHECOLÂNDIA-MS**

BALBINA MARIA ARAUJO SORIANO

Aprovado em : 04/10/1991

Comissão Julgadora:

Dr. Klaus Reichardt

ESALQ/USP

Dr. Antonio Roberto Pereira

ESALQ/USP

Dr. Osny Oliveira Santos Bacchi

CENA/USP

Dr. Klaus Reichardt
Orientador

DEDICO aos meus pais,

Antonio de A. Soriano e Vandette A. Soriano,

aos meus irmãos,

Antônio, Teotônio, Cristina, Rita e Fernando,

parentes e amigos...

AGRADECIMENTOS

- ao Prof. Dr. Klaus Reichardt, pela orientação durante a execução deste trabalho;
- ao Prof. Dr. Antonio Roberto Pereira, pela orientação e sugestões, as quais muito contribuíram para realização deste trabalho;
- aos demais professores do curso de Pós-Graduação em Agrometeorologia, pelos ensinamentos e amizade;
- aos colegas de curso e funcionários, do departamento de Física e Meteorologia, pelo convívio e amizade;
- à Dante M. M. Teixeira, Francisco N. de Assis, Aristides Ribeiro, M^a Del Pilar e M^a Izalina Alves, pelo apoio, estímulo e colaboração;
- à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), através do Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal (CPAP), pela oportunidade e apoio concedidos;
- a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o êxito deste trabalho.

S U M Á R I O

	Página
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO	xv
SUMMARY	xvii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	7
3. MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1. Dados climáticos	24
3.2. Métodos de estimativa da evapotranspira- ção de referência (ET _o)	30
3.2.1. Método do tanque Classe "A".....	30
3.2.2. Método de Penman	31
3.2.3. Método de Penman Simplificado ..	34
3.2.4. Método da Radiação Solar	35
3.2.5. Método de Thornthwaite	36
3.2.6. Método de Linacre	37
3.2.7. Método de Blaney-Criddle	38
3.2.8. Método de Makkink	38
3.2.9. Método de Hargreaves	39
3.2.10. Método de Hargreaves & Samani ..	39
3.2.11. Método de Camargo	40
3.3. Análise estatística	40

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5. CONCLUSÕES	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
APÊNDICE	70

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Localização aproximada do Pantanal mato-grossense.....	2
Figura 2 - Subdivisão do Pantanal mato-grossense, com suas respectivas áreas.....	4
Figura 3 - Precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar, referente ao período de 1986-1990, para a sub-região do Pantanal da Nhecolândia-MS.....	25
Figura 4 - Temperatura média, máxima e mínima do ar, referente ao período de 1986-1990, para a sub-região do Pantanal da Nhecolândia-MS.....	25

- Figura 5 - Ritmo anual dos valores médios mensais de ETo, em mm/dia, determinados pelos métodos do tanque Classe "A", Linacre, Makkink, Radiação Solar, Blaney-Criddle e Hargreaves & Samani, no período de 1986-1990, para a sub-região do Pantanal da Nhecolândia-MS..... 42
- Figura 6 - Ritmo anual dos valores médios mensais de ETo, em mm/dia, determinados pelos métodos do tanque Classe "A", Penman, Penman Simplificado, Hargreaves, Thornthwaite e Camargo, no período de 1986-1990, para a sub-região do Pantanal da Nhecolândia-MS 43
- Figura 7 - Correlação entre os valores médios mensais de ETo, estimada segundo os métodos de Hargreaves & Samani, Linacre, no período de 1986-1990, em relação ao método do tanque Classe "A", para a sub-região do Pantanal da Nhecolândia-MS..... 46

- Figura 8 - Correlação entre os valores médios mensais de ETo, estimada segundo os métodos de Blaney-Criddle, Makkink, no período de 1986-1990, em relação ao método do tanque Classe "A", para a sub-região do Pantanal da Nhecolândia-MS..... 47
- Figura 9 - Correlação entre os valores médios mensais de ETo, estimada segundo o método da Radiação Solar, no período de 1986-1990, em relação ao método do tanque Classe "A", para a sub-região do Pantanal da Nhecolândia-MS.. 48
- Figura 10 - Correlação entre os valores médios mensais de ETo, estimada segundo os métodos de Thornthwaite, Camargo, no período de 1986-1990, em relação ao método do tanque Classe "A", para a sub-região o Pantanal da Nhecolândia-MS..... 50

Figura 11 - Correlação entre os valores médios mensais de ETo, estimada segundo os métodos de Penman, Penman Simplificado, no período de 1986-1990, em relação ao método do tanque Classe "A", para a sub-região do Pantanal da Nhecolândia-MS.....	51
Figura 12 - Correlação entre os valores médios mensais de ETo, estimada segundo o métodos de Hargreaves, no período de 1986-1990, em relação ao método do tanque Classe "A", para a sub-região do Pantanal da Nhecolândia-MS.....	52
Figura 13 - Coeficiente angular da regressão ETo X WRs, determinado em função da umidade relativa do ar e velocidade do vento.....	94
Figura 14 - Fator de correção que depende da URmin, horas de brilho solar e estimativa de vento diária	95

LISTA DE TABELAS

	Página
<p>Tabela 1 - Valores médios mensais de ETo, em mm/dia, estimados pelos métodos do tanque Classe A"(EToCA), Linacre (EToLi), Radiação Solar(EToRS), Blaney-Criddle(EToBC), Penman(EToPe), Penman Simp(EToPS), Hargreaves(EToH), Hargreaves & Samani(EToHS), Makkink (EToM), Thornthwaite(EToT) e Camargo (EToC), durante o período de 1986-1990.....</p>	41
<p>Tabela 2 - Regressões EToCA X diferentes métodos de estimativa de ETo.....</p>	44
<p>Tabela 3 - Valores do coeficiente de conversão do tanque Classe "A" (Kp), para a estimativa da evapotranspiração de referência (ETo).....</p>	71

Tabela 4 - Valores de ETo estimados segundo o método do tanque Classe "A" (EToCA) e dados complementares necessários para os cálculos, no período de 1986-1990.....	72
Tabela 5 - Valores de ETo estimados segundo o método do Penman (EToPe) e dados complementares necessários para os cálculos, no período de 1986-1990...	74
Tabela 6 - Valores de ETo estimados segundo o método do Penman Simplificado(EToPS) e dados complementares necessários para os cálculos, no período de 1986-1990.....	76
Tabela 7 - Valores de ETo estimados segundo o método da Radiação Solar(EToRS) e dados complementares necessários para os cálculos, no período de 1986-1990.....	78

Tabela 8 - Valores de ETo estimados segundo o método de Linacre(EToL) e dados complementares necessários para os cálculos, no período de 1986-1990.....	80
Tabela 9 - Valores de ETo estimados segundo o método de Blaney-Criddle(EToBC) e dados complementares necessários para os cálculos, no período de 1986-1990.....	82
Tabela 10 - Valores de ETo estimados segundo o método de Thornthwaite(EToT) e dados complementares necessários para os cálculos, no período de 1986-1990...	84
Tabela 11 - Valores de ETo estimados segundo o método de Camargo(EToC) e dados complementares necessários para os cálculos, no período de 1986-1990.....	86
Tabela 12 - Valores de ETo estimados segundo o método de Hargreaves(EToH) e dados complementares necessários para os cálculos, no período de 1986-1990...	88

Tabela 13 - Valores de ETo estimados segundo o método de Hargreaves & Samani(EToHS) e dados complementares necessários para os cálculos, no período de 1986-1990.....	90
Tabela 14 - Valores de ETo estimados segundo o método de Makkink(EToM) e dados complementares necessários para os cálculos, no período de 1986-1990.....	92

ESTUDO COMPARATIVO DE DIFERENTES MÉTODOS DE ESTIMATIVA
DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA
A SUB-REGIÃO DO PANTANAL
DA NHECOLÂNDIA-MS

Autor: BALBINA MARIA ARAUJO SORIANO

Orientador: PROF. DR. KLAUS REICHARDT

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo fazer um estudo comparativo de alguns métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) para a sub-região do Pantanal da Nhecolândia, município de Corumbá-MS (Latitude 18°59" S, Longitude 56°39" W, Altitude de 98m).

Tomou-se como padrão o método do tanque Classe "A" (ET_oCA), por ser a única medida direta da evaporação potencial da região.

A análise de regressão entre ET_oCA e os métodos de Linacre, Radiação Solar, Blaney-Criddle, Hargreaves & Samani e Makkink mostrou que o coeficiente linear (a) da regressão não foi significativamente diferente de zero sendo, portanto, utilizado o modelo de regressão $\hat{Y} = b X$, onde $\hat{Y}$ representa a ET_oCA, e X é a ET_o segundo os métodos acima citados. Para os demais métodos (Penman, Penman Simplificado, Hargreaves, Thornthwaite e Camargo), o modelo mais adequado foi $\hat{Y} = a + b X$.

Dentre os métodos que se baseiam na temperatura do ar, para estimar a ETo, o método de Hargreaves e Samani foi o que apresentou resultados médios mensais mais próximos dos obtidos pelo EToCA, subestimando-a em média 2%. O método de Linacre subestimou a EToCA em 8%; os métodos de Thornthwaite e Camargo subestimaram a EToCA no inverno e superestimaram no verão.

Os métodos de Blaney-Criddle e Makkink subestimaram a EToCA em torno de 16% e 20%, respectivamente. O método da Radiação Solar superestimou a EToCA em 13% .

Os métodos de Penman Simplificado e Hargreaves superestimaram a EToCA no período de verão e subestimaram no inverno, enquanto o método de Penman subestimou no inverno.

COMPARATIVE STUDY OF DIFFERENT METHODS FOR THE ESTIMATION
OF THE REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION FOR
THE PANTANAL SUB-REGION OF
NHECOLÂNDIA-MS.

Author: BALBINA MARIA ARAUJO SORIANO

Adviser: PROF. DR. KLAUS REICHARDT

SUMMARY

A comparative study was performed to evaluate several methods for the estimation of the reference evapotranspiration for the Pantanal subregion of Nhecolândia, Corumbá county (MS) (Latitude 18°59" S, Longitude 56°39" W, Altitude 98m).

The Class "A" tank method (ET_oCA) was taken as the standard for evaluation of the different methods, because it was the only direct potential evaporation measurements available in the region.

Regression analysis between ET_oCA and the Linacre, Solar Radiation, Blaney-Criddle, Hargreaves & Samani and Makkink methods showed that the linear coefficient (a) of the regression was not significantly different from zero; therefore, the model $\hat{Y} = b X$ was assumed, where $\hat{Y}$ was ET_oCA and X was the ET_o according to the methods above. For the other methods (Penman, Penman Simplificado, Hargreaves, Thornthwaite e Camargo), the best regression model was $\hat{Y} = a + b X$.

Among the methods based on air temperature, to estimate ETo, the Hargreaves & Samani method presented average monthly values similar to those of the EToCA, with average of only 2% subestimation . The Linacre method subestimated EToCA by 8%; the Thornthwaite and Camargo methods subestimated EToCA during the winter and superestimated during the summer.

The Blaney-Criddle and Makkink methods subestimated EToCA by 16% and 20%, respectively. The solar radiation method superestimated EToCA by 13%.

The simplified Penman and Hargreaves methods superestimated EToCA the during summer but subestimated it during the winter, while the Penman method subestimated during the winter.

1. INTRODUÇÃO

O Pantanal mato-grossense é um conjunto de grandes planícies deprimidas, situadas na alta bacia do rio Paraguai, assolada por inundações periódicas, com área de 139.111 Km² (ADÁMOLI, 1982), localizado entre os paralelos de 16° e 22° de latitude S e os meridianos de 55° a 58° de longitude W (fig. 1), com uma altitude média de 120m acima do nível do mar (ALFONSI & CAMARGO, 1986).

O Pantanal esta localizado nos Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, adentrando-se pequenas partes na Bolívia vinculando-se com o Chaco, em prolongamento natural. Geograficamente o Pantanal está situado, no lado brasileiro, no sudoeste de Mato Grosso e no noroeste de Mato Grosso do Sul, e limitado ao norte pelas formações mais meridionais da floresta amazônica, a leste pelos cerrados do planalto central brasileiro, a oeste pelas florestas das fronteiras boliviano-paraguaias e ao sul pelas florestas chaquenhãs, já na fronteira com o Paraguai. Desde o município de Cáceres, extremo norte, até o rio Apa, extremo sul, percorrem-se cerca de 680 Km e no sentido leste-oeste, partindo-se da fronteira boliviana e estendendo-se em direção ao planalto central, percorrem-se cerca de 300 Km (ALLEM & VALLS, 1987).

Figura 1 - Localização aproximada do Pantanal mato-grossense.

Fonte: ALLEM & VALLS (1987)

Vários autores, estudando as características fisiográficas do Pantanal Mato-grossense, chegaram à conclusão que o Pantanal poderia ser sub-dividido em áreas individualizadas, designando-as por "pantanais". Mesmo não existindo uma regra precisa que circunscreva geograficamente os distintos pantanais, ADÁMOLI (1982) propôs o reconhecimento dos seguintes pantanais: Cáceres, Poconé, Barão de Melgaço, Paiaguás, Nhecolândia, Paraguai, Abobral, Miranda, Aquidauana e Nabileque, que são apresentados na fig. 2, com suas respectivas áreas.

O clima do Pantanal Mato-grossense classifica-se segundo Koeppen como Aw ou clima tropical úmido, com verão chuvoso e inverno seco. A precipitação pluviométrica média anual é menor que 1.100mm praticamente em toda área do Pantanal, acentuando-se à leste da região, atingindo 1.500mm anuais, sendo que cerca de 80% das chuvas caem no período de verão (novembro a março), sendo dezembro e janeiro o pico máximo. A temperatura média anual, ao norte onde é mais quente, é superior a 25 °C, tendo o mês mais frio temperatura acima de 21 °C e o mais quente acima de 27 °C (ALFONSI & CAMARGO, 1986).

Figura 2 - Subdivisão do Pantanal mato-grossense, com suas respectivas áreas.

Fonte: ADAMOLI (1982)

O Pantanal mato-grossense apresenta áreas imensas totalmente destituídas de quaisquer formações rochosas em suas superfícies, como é encontrado nos pantanais da Nhecolândia, Paiaguás e Nabíleque. A declividade da região é quase nula, da ordem de 2-5 cm/Km no sentido norte-sul e de 10-20 cm/Km no sentido leste-oeste. Os solos do Pantanal são de origem sedimentar, recente ou sub-recente, ocorrendo em fases argilosa e arenosa, de forma alternada e descontínua (Silvestre Filho & Romeu¹, 1974), citado por ALLEM & VALLS (1987).

Na região do Pantanal, como em qualquer outro lugar, o clima exerce influência fundamental. O levantamento das condições climáticas fornece subsídios para estudos hidroológicos, agrometeorológicos, facilitando melhor entendimento de suas relações com os fatores biológicos, sendo assim, cada elemento climatológico tem sua importância decisiva na caracterização de uma região. Diante disso, este trabalho justifica-se pela carência de avaliação dos métodos mais adequados para a estimativa da evapotranspiração de referência, para a sub-região do Pantanal da Nhecolândia, devido a sua importância como elemento climatológico

¹ SILVESTRE FILHO, D.F. & ROMEU, N. Características e potencialidades do Pantanal mato-grossense. Brasília, IPEA, 1974. 218 p. il. (IPEA. Séries Estudos para o planejamento, 10).

(THORNTHWAITE, 1948), pois é indiscutível a necessidade do conhecimento da perda d'água por evapotranspiração de diferentes superfícies, em condições naturais.

Devido a falta de pesquisas sobre o assunto na região, o presente trabalho tem como objetivo fazer um estudo comparativo entre os métodos de estimativas da evapotranspiração de referência (ET_o), com base em elementos climatológicos coletados na estação meteorológica, localizada na Fazenda Nhumirim, situada na sub-região do pantanal da Nhecolândia. Os métodos de estimativa da ET_o utilizados, foram escolhidos de acordo com a disponibilidade desses dados na sub-região em estudo, tomando-se o método do tanque Classe "A" como padrão, por ser a única medida direta da evaporação potencial da região, sendo também recomendado por diversos autores.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A evapotranspiração (EP) corresponde à passagem da água do estado líquido para o gasoso num processo físico que consome energia. Como na natureza a energia disponível para a evapotranspiração é apenas de origem solar, o processo depende fundamentalmente da disponibilidade diária dessa energia.

Segundo BURMAN et alii (1983), a evapotranspiração pode ser definida como um processo combinado de transferência de água do solo para a atmosfera, incluindo a evaporação da água do solo e o processo de transpiração através dos tecidos vegetais. A evapotranspiração pode ser expressa como a quantidade equivalente de água evaporada por unidade de tempo, geralmente expressa como lâmina d'água por unidade de tempo (mm/dia).

THORNTHWAITE (1948), definiu evapotranspiração potencial (ETo), como a perda de água de uma superfície completamente coberta por vegetação, em fase de crescimento ativo, sem restrições de água do solo e com dimensões suficientemente grandes para que os transportes horizontais de vapor d'água sejam negligíveis. Se houver deficiência de água

no solo, a evapotranspiração será forçosamente restringida, verificando-se então a chamada evapotranspiração real (ETR), inferior à potencial.

A evapotranspiração potencial (Thornthwaite¹, 1946, citado por CAMARGO & PEREIRA 1990), é um elemento meteorológico fundamental correspondente ao processo oposto da precipitação pluvial, expresso na mesma unidade, permite estimar as condições ou disponibilidade de água no solo por meio do balanço hídrico climático, num sistema contábil onde a precipitação pluvial representa o suprimento de água ao solo pela atmosfera e a ETo, a perda teórica da água no processo conjunto da evaporação e transpiração vegetal.

PENMAN (1956) definiu ETo como sendo o processo de transferência de água para a atmosfera na unidade de tempo, de uma superfície totalmente coberta por vegetação verde, de porte baixo, em pleno desenvolvimento vegetativo e sem restrições de água no solo.

Entre os pesquisadores o conceito de ETo causa dúvidas, com relação ao tamanho da área cultivada. PENMAN (1956) definiu seus limites de variação entre duas condições extremas: meio-de-oceano e meio-de-deserto. No meio-de-oceano, a evapotranspiração é verdadeiramente potencial pois existem, nessas condições, apenas trocas verticais de energia

¹ THORNTWHAITE, C.W. The moisture factor in climate. Am. Geophys. Union Trans., 27: 41-8, 1944.

com ausência total de trocas horizontais, sendo a evapotranspiração restringida somente pela disponibilidade de energia solar local. No meio-do-deserto, a área úmida é circundada por área seca praticamente infinita; portanto, a transferência vertical de água é reforçada pela transferência horizontal de energia, resultando em evapotranspiração bem maior que a potencial e a evapotranspiração decorrente receberá o nome de evapotranspiração de oásis (ETO) (CAMARGO & CAMARGO, 1984; VILLA NOVA & REICHARDT, 1989; CAMARGO & PEREIRA, 1990).

DOORENBOS & PRUITT (1984) acrescentaram à definição de PENMAN (1956), que a superfície do solo deve estar completamente coberta com grama, com altura uniforme de 8 a 15cm de altura, e a denominam como evapotranspiração potencial ou de referência (ET_o). A ET_o é tomada como um elemento meteorológico de referência para estudos comparativos de perda de água pela vegetação, em diferentes situações e locais (REICHARDT, 1987).

↓ A evapotranspiração é uma função dos fatores meteorológicos, do solo e da planta (LEMON et alii, 1957). PENMAN (1956) argumenta que quando a cobertura do solo é completa, a ET_o é determinada principalmente pelos elementos meteorológicos. A radiação líquida é o principal fator meteorológico, que influencia a evapotranspiração (PELTON et alii, 1960; TANNER & LEMON, 1962; VILLA NOVA et alii, 1976), quando disponível a uma dada superfície vegetada é dividida em três componentes básicos: aquecimento do ar, do solo e

evapotranspiração (OMETTO, 1981).

A importância relativa da radiação líquida, umidade relativa do ar e velocidade do vento na ETo é da ordem de 80:6:14 respectivamente (Mukammal & Bruce¹, citado em BERLATO & MOLION, 1981). VILLA NOVA (1987) ressalta que é difícil separar a ação de cada um destes elementos, pois os mesmos agem simultaneamente, podendo dizer, de uma maneira geral, que em dada região, quanto maior for a disponibilidade de energia solar, temperatura do ar, velocidade do vento, e quanto menor for umidade relativa, maior deverá ser a taxa de evaporação/evapotranspiração. Entretanto, em regiões onde ocorrem advecções fortes, condição que comumente ocorre quando uma área úmida é circundada por uma área seca, a importância relativa da radiação líquida (R_L) decresce, e em adição a R_L , a advecção ou transferência de calor sensível das áreas secas circunvizinhas, poderá contribuir no processo evapotranspirativo com energia até maior que aquela disponível a área úmida, aumentando desta forma a importância da velocidade do vento e umidade relativa do ar na evapotranspiração.

¹ MUKAMMAL, E.I. & BRUCE, J.P. Evaporation measurements by pan and atmometer. International Union of Geodesy and Geophysics. Association of Scientific Hydrology, 53: 408-20 apud CHANG, JEN-HU. 1968. Climate and Agriculture: an ecological survey. Chicago, Aldine.

A terminologia advecção foi sugerida por Tanner¹ (1957), citado em ROSENBERG et alii (1968), sendo até hoje estudada pela sua importância, em cada região (HANKS et alii, 1971; ROSENBERG, 1974; VERMA et alii, 1978; MALEK, 1987). A maioria dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) não é sensível à advecção de modo que ET_o pode ser subestimada em até 40% em comparação com medidas em lisímetros durante o mesmo período (HANKS et alii, 1971).

A taxa da perda d'água de superfícies naturais vegetadas, constitui um dado de determinação imprescindível em estudos hidrológicos e zoneamento agroclimático. TANNER (1968) descreve alguns métodos para determinação deste processo de transferência de vapor d'água, dividindo-os em três classes: a) métodos de balanço de água; b) métodos micrometeorológicos; c) métodos empíricos.

Os métodos micrometeorológicos são eficazes e precisos, proporcionam medidas de evapotranspiração em períodos curtos, mas são de alta complexidade, pois requerem instrumental ultra-sensível e capaz de detectar as flutuações instantâneas das propriedades atmosféricas estimando suas correlações, variâncias e covariâncias, justificando-se apenas em projetos de pesquisas, onde funcionam como padrão

¹ TANNER, C.B. Factors affecting evaporation from plants and soil. J. Soil and Water Cons. 12: 221-7. 1957.

de aferição de outros métodos (ROSENBERG, 1974; PEREIRA, 1990). Entre os principais métodos micrometeorológicos BERLATO & MOLION (1981) citam os seguintes: a) método do balanço de energia; b) método da correlação turbulenta; c) método do transporte de massa; d) métodos aerodinâmicos; e) método combinado (Penman).

Os métodos de balanço hídrico são divididos basicamente em dois tipos principais: os que utilizam os lisímetros e aqueles em que a estimativa da evapotranspiração é feita diretamente em volume qualquer de solo, como o modelo utilizado por LUCHIARI JUNIOR (1985), o qual tem sido recomendado por BARRADA (1972), REICHARDT (1975), sendo que as variáveis do modelo (precipitação, irrigação, run off, percolação profunda, variação da armazenagem de água no solo e a evapotranspiração) são apresentadas de forma integral em uma equação geral de balanço de massa. O método do lisímetro é recomendado por BLACK et alii (1968), TANNER (1968), VILLA NOVA (1973), para avaliar a precisão dos métodos micrometeorológicos e calibrar as fórmulas empíricas empregadas na estimativa da evapotranspiração. TANNER (1968), define lisímetro como dispositivo constituído de um volume de solo contido, de tal modo a medir todos (ou suprimir alguns) termos da equação geral do balanço d'água. Todavia, o custo elevado, os mecanismos sensíveis e os critérios rigorosos de instalação, limitam muito a lisimetria em condições de campo (SCALOPPI, 1972).

Existem outros métodos mais simples de medida da evapotranspiração, como aqueles baseados nos dados de tanques de evaporação que variam em tamanho, cor e exposição, cada um resultando numa taxa de evaporação diferente para uma dada condição meteorológica (Pruitt¹, 1960, citado por PEREIRA, 1990). O tanque mais comum é o tanque Classe "A" (VILLA NOVA et alii, 1977).

As interrelações dos fenômenos envolvidos no processo evaporativo de superfícies naturais parecem ter natureza complexa, sendo assim, a determinação da evapotranspiração é um problema compartilhado por várias ciências que estudam o sistema solo-planta-atmosfera. Devido à necessidade de conhecer a perda d'água de superfícies vegetadas, vários pesquisadores desenvolveram métodos empíricos e semi-empíricos de estimativa da evapotranspiração, dada as dificuldades instrumentais envolvidas nas determinações diretas. A experiência revela que alguns desses métodos são complexos demais para serem utilizados na prática, outros sendo de fácil aplicação, não chegam a produzir resultados aceitáveis, existindo sempre a busca de métodos que reunam tanto precisão como facilidade operacional.

¹ PRUITT, W.O. Relation of consumptive use of water to climate. Tras. Am. Soc. Agric. Engrs., St. Joseph, 3: 9-13, 1960.

THORNTHWAITE (1948), desenvolveu uma fórmula empírica para estimativa da ETo mensal, em função apenas de dados de temperatura média do ar além da latitude do lugar. Pode, por isso, ter aplicação muito mais generalizada que as fórmulas que exigem outros elementos somente disponíveis nas poucas estações meteorológicas de primeira classe, como acontece com a fórmula de Penman e outras recomendadas frequentemente (VILLA NOVA et alii, 1980).

PENMAN (1948) propôs uma equação para estimar a evaporação de uma superfície d'água livre baseada na combinação dos métodos do balanço de energia e aerodinâmico, utilizando o saldo de radiação, a velocidade do vento e o déficit de saturação. A partir de medidas da ETo em lisímetros, e usando para estimativa da radiação solar global (R_s), o albedo de uma superfície vegetada com grama, bem como, dados de temperatura e umidade relativa do ar e velocidade do vento a 2m de altura desta superfície, apresentou uma nova versão do seu modelo para estimativa da ETo.

Pruitt¹ (1966), citado por SILVA (1989), estabeleceu um método de estimativa da ETo, a partir de correlações entre a evaporação medida no tanque Classe "A" e medidas

¹ PRUITT, W.D. Empirical methods of estimating evapotranspiration using pans. In: CONFERENCE EVAPOTRANSPIRATION, American Society Agricultural Eng., St. Joseph, 1966. p.57-61.

da evapotranspiração de uma superfície de grama irrigada. Nesse estudo o autor mostra, que a evaporação do tanque Classe "A" decresce com o logarítimo da distância entre a superfície sem vegetação e seca circunvizinha. Demonstra ainda, que a razão da ETo com a evaporação do tanque Classe "A" (ECA) é influenciada pela advecção, e estabelece os coeficientes de tanque (K_p) para várias combinações de umidade relativa do ar, velocidade do vento e condições de bordadura da área onde localiza-se o tanque.

A fórmula empírica desenvolvida por BLANEY & CRIDDLE (1950) foi baseada na correlação entre dados de temperatura do ar e evapotranspiração, com ajuste de um coeficiente determinado para diferentes culturas. A modificação introduzida por DOORENBOS & PRUITT (1984) a este método, consiste na estimativa da evapotranspiração de referência levando em consideração níveis de umidade relativa, insolação e velocidade do vento.

O método da radiação solar proposto por DOORENBOS & PRUITT (1984) estima a ETo em função do total de energia solar diária, corrigido por coeficientes que dependem da temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento e altitude. MAKKINK (1957) baseia-se, principalmente, na radiação solar para estimativa de ETo.

LINACRE (1977), com base em correlações encontradas entre evapotranspiração e vários fatores meteorológicos, propõe uma equação que estima a ETo apenas com base em

coordenadas geográficas (latitude e longitude) e temperatura do ar.

HARGREAVES (1976), desenvolveu um método para estimativa da ETo, a partir de correlações entre a evapotranspiração medida, dados de radiação solar global e temperatura do ar. Da mesma forma, HARGREAVES & SAMANI & (1985), propuseram um método em função apenas de dados de temperatura máxima e mínima.

Os resultados de estimativa da ETo por vários métodos, mostram que nem sempre é encontrado um método empírico que apresente bom desempenho em todos os locais, isto é, um método pode ser adequado para um determinado local e pode não apresentar bons resultados em outra região. Diante disso, cada vez mais são desenvolvidos estudos visando a possível adequação destes métodos à determinadas regiões, e ajustar as relações já existentes.

Uma alternativa para estimar a ETo é o uso de tanques de evaporação. Vários tanques foram propostos, que entre outros citamos o tanque Classe "A", GGI-3000 e o "Young Screen Pan". A W.M.O. (1966), recomenda o tanque Classe "A", devido o seu baixo custo de fabricação e instalação, facilidade de manutenção e limpeza. Sendo corretamente operado obtem-se valores de evaporação que corrigidos com coeficiente adequado, pré-determinado, pode proporcionar estimativas da ETo bem próximos da realidade (FUCHS & STANHILL, 1963; FRITSCHEN & SHAW, 1966; VILLA NOVA , 1967; DOORENBOS &

PRUITT, 1984).

ENCARNAÇÃO (1987), considerando como método padrão o do tanque Classe "A", revelou não existir, para as condições climáticas de Piracicaba-SP, diferenças significativas entre estimativas da ETo obtidos pelos métodos de Penman, Penman simplificado, Thornthwaite e Radiação Solar, diferindo, entretanto, das estimativas obtidas com o emprego do método de Linacre, cujos valores foram superiores aos demais métodos. Ainda para Piracicaba-SP, ASSIS (1978), estudando relações entre evapotranspiração medida e estimada pelos métodos de Penman e tanque Classe "A", para valores diários e médios de pântadas encontrou que o método de Penman subestimou a ETo em torno de 20%. Melhores estimativas foram obtidas através da evaporação do tanque Classe "A".

ORTOLANI et alii (1966), correlacionaram valores decendiais da evapotranspiração medida com os estimados pelas fórmulas de Penman e de Thornthwaite, para a região de Ribeirão Preto-SP, verificaram que a primeira superestimou em 20% e a segunda superestimou em 9% tais valores. Os mesmos autores observaram também que a correlação mais aproximada com os valores medidos foi a estimada a partir do método do tanque Classe "A".

VILLA NOVA et alii (1977) utilizaram o tanque Classe "A" na estimativa da ETo para frequência de irrigação e afirmam que o método proposto pela FAO (1984), testado

contra as medidas realizadas por SOUZA (1976), parece bastante aceitável, não só em face dos resultados obtidos, como pela simplicidade operacional do mesmo.

DILLEY & SHEPHERD (1972), em Aspendale, Austrália, encontraram boa correlação entre a evaporação do tanque Classe "A" e dados de lisímetros com graminea, com um coeficiente de determinação de 0,97.

SCALOPPI (1972) comparando vários métodos para estimar a ETo verificou que a fórmula de Penman forneceu estimativas mais próximas dos valores medidos, enquanto que o método de Thornthwaite subestimou a evapotranspiração no mesmo período, para a região de Botucatu-SP. Para Jaboticabal-SP, BENINCASA (1972), estudando os efeitos hídricos no feijoeiro, verificou que a ETo estimada pelo método de Penman apresentou valores inferiores aos do tanque Classe "A" e GGI-3000. BEIRSDORF & MOTA (1976); MOTA & BEIRSDORF (1976), estudando estimativas da ETo em Pelotas-RS, com a fórmula de Penman e com o tanque Classe "A" encontraram resultados satisfatórios, entretanto, ambos requerem o uso do anemômetro e do psicrômetro (DOORENBOS & PRUITT, 1984) e a fórmula de Penman requer ainda o uso do heliógrafo e estes três instrumentos são de uso complexo e o heliógrafo e anemômetro são dispendiosos.

A fórmula de Penman, além de depender de elementos meteorológicos menos frequentemente observados, é trabalhosa, daí a razão da proposição de várias simplifica-

ções, como as sugeridas por MOTA & BEIRSDORF (1976), VILLA NOVA & OMETTO (1981).

STANHILL¹ (1961a) citado por PEREIRA (1990), propôs que o poder evaporante do ar seja estimado através do evaporímetro de Piche exposto à sombra em abrigo meteorológico, simplificando a utilização do modelo de Penman. Os autores MOTA & BEIRSDORF (1976) e VAREJÃO (1977) acham viável substituir, na fórmula de Penman, o uso do psicrômetro e do anemômetro pelo evaporímetro de Piche.

MOTA (1984) propôs um método de estimativa da ETo baseado no método de Penman, para Pelotas-RS, a partir de medidas do tanque Classe "A", do evaporímetro de Piche e dos termômetros de máxima e mínima com apenas uma observação diária, obtendo bons resultados. CURY (1985) introduziu modificações no método de Penman e Thornthwaite para estimar a ETo, usando valores medidos com tanque Classe "A" e Piche, obtendo boa correlação desses métodos modificados quando comparados com o tanque Classe "A" para a região de Botucatu-SP, melhorando a sua precisão de estimativa.

Frequentemente, a equação de THORNTHWAITE (1948) é criticada por dar valores subestimados da ETo. As críticas em geral estão ligadas à confusão nos conceitos de

¹ STANHILL, G. The use of the Piche evaporimeter in the calculation of evaporation. Quart. J. Royal Met. Soc., London, 88: 80-2, 1961a.

ET_o e de Oásis. Como os valores da forma potencial são normalmente bem inferiores aos de oásis, alguns autores admitem que a equação de Thornthwaite subestima a ET_o, quando comparam seus dados com os medidos em evapotranspirômetros expostos numa condição próxima da de oásis. Pruitt¹(1964), citado por CAMARGO & PEREIRA (1981), considera que a equação de Thornthwaite subestima a ET_o, portanto propõe um fator de correção. Os mesmos autores aplicaram tal fator na estimativa da ET_o de Thornthwaite para balanços hídricos climáticos de diversas localidades do Brasil e exterior com climas úmidos, obtiveram deficiências hídricas elevadíssimas, só encontradas em clima seco e árido. Sendo assim, PEREIRA & CAMARGO (1989) sugerem que o método de Thornthwaite não deve ser evitado por subestimar a ET_o, como tem sido sugerido, pois não se encontra nenhuma evidência experimental, nem teórica, que apóie tal sugestão.

A aplicação da equação de Thornthwaite em mapeamentos do balanço hídrico climático vem dando resultados altamente satisfatórios (CAMARGO, 1971).

CAMARGO (1962), obteve valores mensais estimados muito próximos dos valores medidos em evapotranspirômetro tipo "Thornthwaite modificado" para uma superfície

¹ PRUITT, W.O. Cyclic relation between evapotranspiration and radiation. Transactions of the ASAE 7: 271-5. 1964.

com grama e estimada segundo os métodos empíricos de Thornthwaite, Penman-Bavel, Blaney-Criddle, em três localidades do Estado de São Paulo. MEDINA & GONDIM (1980), com trabalho semelhante, verificaram que a fórmula de Makkink apresentava resultados satisfatórios, seguida em ordem decrescente pelas fórmulas de Penman e Thornthwaite.

Para as condições do Planalto Central brasileiro, Lobato¹ (1979), citado por CAMARGO & PEREIRA (1981), comparou, durante dois anos, dados de evapotranspiração mensal medidos em evapotranspirômetro, instalado no interior do posto agrometeorológico, com dados calculados pelas fórmulas de Thornthwaite, Camargo (1978), Holdridge (1959), Blaney-Criddle (1950) e outras, os resultados foram semelhantes aos de CAMARGO (1962). As melhores correlações e concordância com os dados medidos foram as obtidas com os dados de Thornthwaite. O método de Blaney-Criddle, superestimou consideravelmente a evapotranspiração nos meses de inverno, exatamente no período que ocorrem as deficiências hídricas e as necessidades de irrigação no Sudeste e Centro Oeste Brasileiro.

¹ LOBATO, O.J.S. Consideração sobre a evapotranspiração potencial medida e calculada, no município de Goiânia e circunvizinhos. Goiânia, Go, E.A.V./U.F.G., 1979. 20 fls.

IGREJA (1987) comparou valores de ETo diária medida em evapotranspirômetros gramados com valores estimados, para Belém-Pa, não encontrando diferenças estatísticas entre os métodos de Thornthwaite, Benavidez-Lopez, Penman, Hargreaves, Tanque Classe "A" e de Turc. Sendo que os métodos de Thornthwaite e Benavidez-Lopez deram resultados mais próximos aos valores medidos, Penman e Turc tenderam a fornecer subestimativas, enquanto o tanque Classe "A" e Hargreaves tenderam a fornecer superestimativas, em relação aos valores medidos.

AMORIM NETO & OLIVEIRA (1985), avaliando diferentes métodos de estimativa da ETo, em região semi-árida, através de comparações com ETo medida em evapotranspirômetros de lençol freático constante, constatou que os métodos do tanque Classe "A", Radiação Solar, Benavidez-Lopez e Linacre foram os que apresentaram resultados mais precisos, apresentando coeficientes de determinação em torno de 0,83.

ENCARNAÇÃO (1980) observou que os métodos de Penman e tanque Classe "A" forneceram valores médios de pântadas estatisticamente semelhantes, diferindo daqueles de Radiação Solar e Linacre, que não diferiram entre si. SOUZA & SILVA (1985) desenvolveram trabalhos semelhantes com evapotranspirômetros de lençol freático a nível constante, em Campina Grande-Pb, e obtiveram resultados concordantes com os obtidos por ENCARNAÇÃO (1980) em Piracicaba-SP. SILVA (1989) estimando a ETo para a região de Parnaíba-Pi, verificou que

os valores estimados pelo método de Penman modificado pela FAO, em base diária e por pântadas, não diferiram das estimadas a partir do método do tanque Classe "A".

CAMPELO & CASEIRO (1989) avaliou a eficiência de doze métodos empíricos para estimar a ETo, para cinco localidades do Estado do Mato Grosso, chegando a uma análise global da comparação dos métodos que os resultados foram heterogêneos, não encontrando um método empírico que apresentasse bom desempenho em todos os locais. Para Cuiabá-MT, o método do tanque Classe "A" foi tomado como padrão e comparando os métodos de Linacre, Thornthwaite e C5 (método que foi elaborado na UFMT) em relação ao padrão, constatou que não houve diferença significativa entre os métodos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Dados climáticos

No presente trabalho, os dados climáticos foram obtidos da estação meteorológica da Fazenda Nhumirim (Latitude $18^{\circ}59'S$, Longitude $56^{\circ}39'W$ e Altitude 98m), situada no Pantanal da Nhecolândia, município de Corumbá, estado do Mato Grosso do Sul, a qual pertence a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, no Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal (EMBRAPA/CPAP) na região.

As figuras 3 e 4, apresentam as características da Precipitação Pluviométrica, Umidade Relativa e Temperatura do Ar, no período de 1986-1990. Observa-se na figura 3, que a precipitação pluviométrica é caracterizada por dois períodos distintos, um com intensa precipitação, no período de novembro a março, com total de 931,4mm, e outro de menor precipitação de abril a outubro, com 349,3mm; na mesma figura, a umidade relativa do ar, média anual, foi de 82%. A temperatura média anual do ar está em torno de $25^{\circ}C$, tendo o mês mais frio com temperatura de $20^{\circ}C$ (julho) e o mais quente com $27^{\circ}C$ (novembro).

Foram utilizados dados médios mensais de Temperatura(T) e Umidade Relativa(UR) do Ar, Precipitação (P),

Figura 3 - Precipitação pluviométrica e umidade Relativa do ar, referente ao período de 1986-1990, para a sub-região do Pantanal da Nhecolândia-MS.

Figura 4 - Temperatura média, máxima e mínima do ar, referente ao período de 1986-1990, para a sub-região do Pantanal da Nhecolândia-MS.

Velocidade do Vento(U), Evaporação do Tanque Classe "A"(ECA), Evaporação de Piche(EPI), Insolação(n), referentes ao período de 1986 a 1990, obtidos com os seguintes instrumentos, instalados dentro da estação meteorológica:

- Tanque Classe "A": determina a quantidade de água evaporada em milímetros. É um recipiente cilíndrico, metálico, de 120cm de diâmetro e 25cm de altura, tendo como acessórios para as leituras um parafuso micrométrico, com precisão de medida do nível da água de até 0,02mm, sendo este assentado sobre um poço tranquilizador, nivelado por 03 parafusos, quando da realização das leituras que são feitas diariamente. Verificação diária do nível d'água, que deve ser mantido entre 3 e 8cm do bordo superior. Instalado sobre um estrado de madeira pintado de branco, com 15cm de altura, colocado sobre o gramado.

- Evaporímetro de Piche: determina a capacidade evaporativa do ar. É constituído por um tubo de vidro cilíndrico graduado em milímetro de lâmina d'água, fechado na extremidade superior, contendo um disco de papel na extremidade inferior. A evaporação da água através do disco de papel, constantemente umedecido será função do poder evaporativo do ar, sendo necessário completar o tubo com água quando o nível estiver em torno de um terço da altura do tubo; trocar o disco de papel quando estiver com impurezas; leituras diárias; instalado dependurado dentro do abrigo meteorológico.

- Termohigrógrafo: registro contínuo da variação da temperatura do ar($^{\circ}\text{C}$) e umidade do ar(%); de rotação semanal; nível de precisão de 1% para umidade relativa e $0,5^{\circ}\text{C}$ para temperatura; a troca do diagrama(termograma-higrograma) é feita semanalmente; verificação da tinta da pena, acerto da corda no mecanismo de relojoaria e horário; instalado dentro do abrigo meteorológico.

- Termômetro de Máxima: determina a temperatura máxima do ar($^{\circ}\text{C}$); do tipo líquido-em-vidro, tem como elemento sensível o mercúrio; com precisão de $0,2^{\circ}\text{C}$; leitura diária; instalado dentro do abrigo meteorológico em um suporte que mantém o termômetro com o bulbo levemente elevado.

- Termômetro de Mínima: determina a temperatura mínima do ar($^{\circ}\text{C}$); do tipo líquido em vidro, tem como elemento sensível o álcool; com precisão de $0,2^{\circ}\text{C}$; leitura diária; instalado dentro do abrigo meteorológico, em suporte que mantém o termômetro em posição horizontal.

- Catavento Tipo Wild: determina a direção e a velocidade do vento em m/s. A direção é indicada por uma seta que gira em torno de um eixo e aponta na direção de onde o vento sopra. A velocidade é indicada pela ação do vento sobre uma chapa metálica móvel e um conjunto de ponteiros fixos; instalado dentro da estação a 6m de altura.

- Heliógrafo Tipo Campbell-Stokes: registra o número de horas de insolação; constituído por uma esfera de vidro transparente, suspensa nas extremidades de um arco-metálico.

Os raios solares são convergidos pela esfera sobre o heliograma, queimando-o desde que não haja presença de nuvens; troca diária do heliograma; instalado dentro da estação em base sólida de alvenaria, evitando-se proximidade de obstáculos para não ocorrer sombreamento.

- Pluviômetro Tipo Ville de Paris: determina a quantidade de chuva em milímetros. É constituído de um coletor semelhante a um funil, capaz de fazer escoar a água da chuva para um reservatório. A quantidade de chuva é medida pelo escoamento da água, através de uma torneira, para uma proveta graduada; a área de captação fica instalada a 15cm do solo dentro da estação.

Os valores médios diários das variáveis climáticas citados acima, foram determinados segundo as normas do DNEMET:

- Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$):

$$\bar{T} = \frac{(T_{8,00} + 2 \times T_{20,00} + T_{max} + T_{min})}{5} \quad (1)$$

- Umidade relativa do ar ($\%$):

$$\bar{UR} = \frac{(UR_{8,00} + UR_{14,00} + 2 \times UR_{20,00})}{4} \quad (2)$$

- Insolação (horas e minutos) - a partir de leituras diretas nos heliogramas ;

- Velocidade do vento (m/s) - valores instantâneos observados do Catavento Tipo Wild nos horários das 03 observações (8:00, 14:00 e 20:00 horas), considerando a média do período dia-noite. A transformação dos dados de 6m para 2m de altura foi feita pela seguinte equação:

$$U_2 = U_6 \left(\frac{\ln(\frac{Z_2}{Z_0})}{\ln(\frac{Z_6}{Z_0})} \right) \quad (3)$$

onde: U_2 = Velocidade do Vento a 2m de altura, em m/s;

U_6 = Velocidade do Vento a 6m de altura, em m/s;

Z_2 = 2m;

Z_6 = 6m;

Z_0 = 0,01m (altura da rugosidade).

- Evaporação tanque Classe "A" (mm) - a partir de leituras diárias do nível da água no tanque às 8:00 horas da manhã;

- Evaporação Piche (mm) - a partir de leituras diretas diárias do nível de água no tubo às 8:00 da manhã.

3.2. Métodos de Estimativa da Evapotranspiração de Referência (ET_o)

Para as estimativas da Evapotranspiração de referência (ET_o), foram utilizados os métodos do Tanque Classe "A", Radiação Solar e Blaney-Criddle recomendado por Doorenbos & Pruitt (1984), Thornthwaite (1948), Penman (1948), Penman Simplificado (1974), Hargreaves (1976), Hargreaves & Samani (1985), Makkink (1957), Linacre (1977), Camargo (1971).

Para todos os métodos utilizados, a ET_o foi calculada para cada mês em todos os anos que constituiu o período em estudo. Os valores médios mensais para cada mês, foram determinados pela média aritmética.

A ET_o expressa em mm dia^{-1} , representa o valor médio diário do mês considerado. Para encontrar a ET_o mensal em mm, o valor em mm/dia deverá ser multiplicado pelo número de dias do mês.

O método do tanque Classe "A" foi tomado como padrão para avaliar a eficiência dos demais métodos, por ser a única medida direta da evaporação potencial da região.

3.2.1. Método do Tanque Classe "A"

Recomenda-se, de acordo com o trabalho de DOORENBOS & PRUITT (1984), que se multiplique o valor da altura de evaporação obtida no tanque Classe "A" por um fator de proporcionalidade, denominado de coeficiente de tanque

(Kp), que depende do valor da velocidade do vento e umidade relativa do ar observados no período, assim como das condições de exposição do tanque (tamanho da bordadura de solo nú ou vegetado).

$$ET_{OCA} = K_p \times ECA \quad (4)$$

onde:

ET_{OCA} = evapotranspiração de referência, em gramado, (mm/dia);

K_p = coeficiente de tanque, segundo a FAO (1984) (apêndice, tabela 3);

ECA = evaporação medida no tanque Classe "A" (mm/dia).

3.2.2. Método de Penman

O método de Penman para estimativa da ETo, dentre os modelos é o mais complexo, pois envolve basicamente os mecanismos aerodinâmicos de transferência de vapor com o balanço de energia. O balanço energético implica no conhecimento da energia líquida disponível na superfície e nos mecanismos aerodinâmicos (VILLA NOVA & REICHARDT, 1989).

Para estimativa da ETo, utilizou-se a equação geral de PENMAN (1948):

$$ET_{Ope} = \frac{\left(\frac{\Delta}{\gamma} \times R_L + E_a\right)}{\left(\frac{\Delta}{\gamma} + 1\right)} \quad (5)$$

onde:

ET_{oPe} = evapotranspiração de referência, em gramado, (mm/dia);

Δ/γ = determinado em função da temperatura média do ar,

sendo:

Δ = tangente a curva de pressão parcial de saturação do vapor d'água, em função da temperatura do ar (mm/K°), determinado analiticamente pela expressão (VILLA NOVA, 1967);

$$\Delta = e_s \times \left(6886/T_a^2 - 5,31/T_a^2 \right)$$

γ = constante psicrométrica: 0,6 mmHg/°C;

T_a = temperatura média do ar no período (°K);

e_s = pressão parcial de saturação de vapor d'água a temperatura média do ar (mmHg);

$$e_s = 4,58 \times 10^{7,5 \times t / 237,5 + t}$$

t = temperatura do ar (°C)

Os termos R_L e E_a significam :

a_1) a função E_a devido a maior rugosidade aerodinâmica da superfície vegetada, tem a forma :

$$E_a = 0,35 * (1 + U/160) * (e_s - e)$$

onde:

E_a = função da velocidade do vento e do déficit de saturação do ar, denominada de poder evaporante do ar a sombra (mm/dia);

U = velocidade do vento a 2,0m acima da superfície eva-

porante em Km/dia;

$e_s - e$ = déficit de saturação do ar (mmHg)

a_2) na estimativa do balanço de radiação líquida (R_L), adotar o poder refletor $r = 0,25$ (valor médio de plantas verdes em geral, segundo VILLA NOVA & REICHARDT, 1989).

$$R_L = Q_0/59 \times (a+b \times n/N) \times (1-r) - \sigma T_a^4 \times (0,56-0,09\sqrt{e}) \times (0,1 + 0,9 \times n/N)$$

onde:

R_L = radiação líquida, em mm de evaporação equivalente;

$Q_0/59$ = radiação solar extraterrestre, em mm de evaporação equivalente;

$$Q_0 = 1440/\pi \times I_0 \times (\bar{d}/d) \times (\sin\phi \sin\delta + \cos\phi \cos\delta \sin H)$$

Sendo: $\bar{d}/d$ = razão entre as distâncias média e instantânea entre a Terra e o Sol (NUNES et alii, 1979-p.8);

I_0 = constante solar ($1,94 \text{ cal.cm}^2.\text{min}^{-1}$);

ϕ = latitude do local (19° Sul);

δ = declinação solar (OMETTO, 1981 - p.17);

H = ângulo horário, função da latitude e da declinação solar, sendo:

$$H = \arccos(-\text{tg}\phi \text{ tg}\delta) \text{ (graus);}$$

σ = constante de Stefan-Boltzman ($\sigma = 11,91 \times 10^8$)/59 (mmHg/°K);

N = fotoperíodo, função do mês e latitude do local, sendo:

$$N = 0,133 \times H \text{ (horas);}$$

n = número de horas de insolação (Heliógrafo);

e = pressão parcial de vapor d'água , mmHg;

$$e = UR/100 \times e_s(t)$$

T_a = temperatura média do ar ($^{\circ}K$);

a , b = parâmetros da equação de regressão. Para as condições da região do Mato Grosso: $a = 0,30$ e $b = 0,41$ (RI-BEIRO, 1980).

3.2.3. Método de Penman Simplificado

OMETTO (1974), baseou-se na proposição de PENMAN (1948) que envolve termos energéticos e aerodinâmico, propondo a seguinte simplificação desta fórmula:

$$ETOPS = \frac{\Delta}{(\Delta + \gamma)} \times R_L + (0,28 \times P_1) \quad (6)$$

onde:

$ETOPS$ = evapotranspiração de referência, em gramado, (mm/dia);

R_L = radiação líquida disponível (mm de evaporação equivalente). Foi obtido para dois períodos no ano, usando dados da região em estudo.

Para o período de Primavera-Verão, que compreende os meses de Outubro a Março, o valor de R_L encontrado foi:

$$R_L = Q_0/59 \times (0,23 + 0,22 \times n/N)$$

Para o período de outono-Inverno, que compreende os meses de Abril a Setembro, o valor de R_L encontrado foi:

$$R_L = Q_0/59 \times (0,22 + 0,13 \times n/N)$$

P_1 = evaporação de Piche (mm).

11)

3.2.4. Método da Radiação Solar

Segundo VILLA NOVA & REICHARDT (1989), o método da radiação solar pode ser considerado como uma boa aproximação do método de Penman, em termos mais simplificados, sendo também recomendado como padrão pela FAO. As equações básicas são as seguintes:

$$ET_{oRS} = C \times W \times R_s \quad (7)$$

$$R_s = \frac{Q_0}{59} \times \left(a + b \times \frac{n}{N} \right) \quad (8)$$

onde:

ET_{oRS} = evapotranspiração de referência, em gramado, (mm/dia);

R_s = radiação solar estimada (mm/dia);

C = coeficiente angular da regressão ET_o com $W \times R_s$, determinado em função da umidade relativa do ar e velocidade do vento (apêndice, figura 13);

$W = \Delta / (\Delta + \gamma)$ (fator que representa a parte fracional de R_s que é utilizada na ET_o , para diferentes valores de temperatura e altitude;

Sendo que valores de Δ , γ , Q_0 , N , n , a e b , foram obtidos através das formas descritas para o método de Penman.

3.2.5. Método de Thornthwaite

Thornthwaite (1948) a partir da correlação entre dados de evapotranspiração medida e temperatura do ar, elaborou o seguinte método empírico. A equação básica é a seguinte:

$$ETOT = 16 \times b \times \left(\frac{10 \times T_m}{I} \right)^a \quad (9)$$

onde:

ETOT = evapotranspiração de referência, em gramado, (mm/dia);

T_m = temperatura média mensal do ar ($^{\circ}\text{C}$);

b = $N/12$ (fator de ajuste do comprimento do dia);

I = índice anual de calor, calculado como:

$$I = \sum_{i=1}^{12} (T_m/5)^{1,514}$$

a = uma função cúbica do índice anual de calor, calculada como:

$$a = 67,5 \times 10^{-8} I^3 - 77,1 \times 10^{-6} I^2 + 0,01791 I + 0,492$$

Os valores de N e H, são calculados de acordo com as fórmulas descritas para o método de Penman.

3.2.6. Método de Linacre

Linacre (1977) estimou a ETo com base em dados geográficos (latitude e longitude) e temperatura do ar. A equação básica é:

$$EToL = \frac{\left(\frac{500 \times T_m}{100 - A} \right) + 15 \times (T - T_0)}{(80 - T)} \quad (10)$$

onde:

$EToL$ = evapotranspiração de referência, em gramado, (mm/dia);

T_m = temperatura do ar reduzida ao nível do mar (°C), dada

por: $T_m = T + 0,006h$;

T = temperatura média do ar (°C);

h = altitude (m);

A = latitude do local em módulo (graus);

e_a = pressão parcial do vapor d'água (mmHg), valor obtido conforme a expressão demonstrada no método de Penman.

T_0 = temperatura do ponto de orvalho (°C),

calculada como:

$$T_0 = \{ \log(e_a / 4,58) \times 237,5 \} / \{ 7,5 - \log(e_a / 4,58) \}$$

3.2.7. Método de Blaney-Criddle

Este método é recomendado por DOORENBOS & PRUITT (1984) para áreas onde somente os dados de temperatura do ar são disponíveis, pois utiliza, a temperatura média mensal e um fator associado ao comprimento do dia.

$$ET_{oBC} = c [p (0,46 T + 8,13)] \quad (11)$$

onde:

ET_{oBC} = evapotranspiração de referência, em gramado, (mm/dia);

p = percentagem de horas de brilho solar diário em relação ao total anual, para um dado mês e latitude do local (DOORENBOS & PRUITT, 1984 - p.);

c = fator de correção que depende da UR_{min} , horas de brilho solar e estimativa de vento diária (apêndice, figura 14);

T = temperatura média mensal do ar ($^{\circ}C$).

3.2.8. Método de Makkink

A expressão geral é a seguinte:

$$ET_{oM} = (0,61 \times R_p \times W) - 0,12 \quad (12)$$

onde:

ET_{oM} = evapotranspiração de referência, em gramado, (mm/dia);

A forma de obter os demais parâmetros da equação de Makkink (1957), foi descrita no método da Radiação

Solar.

3.2.9. Método de Hargreaves

Para obtenção da estimativa da E_{To} , Hargreaves (1976) empregou a seguinte equação básica:

$$E_{ToH} = 0,0075 \times R_s \times t \quad (13)$$

onde:

E_{ToH} = evapotranspiração de referência, em gramado, (mm/dia);

t = temperatura média do ar ($^{\circ}F$) = $32 + 1,8 \times t(^{\circ}C)$.

Sendo o valor de R_s obtido através da forma descrita no método da Radiação Solar.

3.2.10. Método de Hargreaves & Samani

Hargreaves & Samani (1985), propuseram a seguinte equação, para estimar a E_{To} , baseados na temperatura máxima e mínima.

$$E_{ToHS} = 0,0023 \times (Q_0/59) \times TD^{0.5} \times (TC+17,8) \quad (14)$$

onde:

E_{ToHS} = evapotranspiração de referência, em gramado, (mm/dia);

TD = diferença entre a temperatura máxima e mínima média ($^{\circ}C$);

TC = temperatura média do ar ($^{\circ}C$);

$Q_0/59$ = radiação solar extraterrestre, em mm de evaporação

equivalente.

3.2.11. Método de Camargo

Camargo (1971), baseando-se na equação de THORNTHWAITTE (1948), propôs uma equação mais simples, porém com a mesma eficiência (CAMARGO & CAMARGO, 1984).

$$EToC = Q_0/59 \times t \times F \times D \quad (15)$$

onde:

EToC = evapotranspiração de referência, em gramado, (mm/dia);

$Q_0/59$ = radiação solar extraterrestre, em mm de evaporação equivalente;

t = temperatura média do ar do período (°C);

F = fator de ajuste da temperatura média anual do local
(Para t até 23 °C, F = 0,01; t = 24°C, F = 0,0105;
t = 25°C, F = 0,011 ; t = 26°C, F2 = 0,0115; t= 27°C,
F = 0,012);

D = número de dias do período.

Sendo Q_0 calculado de acordo com a equação descrita em Penman.

3.3. Análise estatística

Foram analisados os ajustes dos modelos de regressão para os métodos de estimativa, através do teste "t", ao nível de 1% e 5%.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 mostra os valores médios mensais de evapotranspiração de referência (ET_o), em mm/dia, estimados pelos métodos do tanque Classe "A" (ET_oCA), Penman (ET_oPe), Penman Simplificado (ET_oPS), Radiação Solar (ET_oRS), Linacre (ET_oL), Blaney-Criddle (ET_oBC), Thornthwaite (ET_oT), Camargo (ET_oC), Hargreaves (ET_oH), Hargreaves & Samani (ET_oHS) e Makkink (ET_oM), durante o período de 1986-1990, para a sub-região do Pantanal da Nhecolândia-MS.

Tabela 1 - Valores médios mensais de ET_o, em mm/dia, determinados pelos diferentes métodos de estimativa, durante o período de 1986-1990.

	ET _o CA	ET _o Li	ET _o RS	ET _o BC	ET _o Pe	ET _o PS	ET _o H	ET _o HS	ET _o M	ET _o T	ET _o C
JAN	4,35	3,99	5,52	4,07	3,62	4,91	5,17	4,37	3,90	5,15	5,43
FEV	4,33	3,96	5,32	3,60	4,54	5,25	5,04	3,99	3,81	5,31	5,07
MAR	3,97	4,02	4,93	3,60	4,13	4,58	4,65	3,88	3,50	4,82	4,66
ABR	4,00	3,98	4,65	3,50	3,63	3,91	4,23	3,75	3,19	4,45	3,95
MAI	3,06	3,18	3,61	2,58	2,54	3,25	3,19	3,84	2,48	2,51	2,95
JUN	2,99	2,96	3,29	2,68	2,03	3,10	2,95	2,98	2,32	2,03	2,40
JUL	3,49	2,94	3,51	2,90	2,14	3,76	3,06	3,25	2,44	1,65	2,41
AGO	3,72	3,42	3,71	2,88	2,72	3,92	3,46	3,96	2,70	2,45	2,95
SET	4,26	3,82	4,28	3,06	3,54	4,40	3,91	4,57	3,04	3,04	3,69
OUT	4,92	4,40	5,48	4,10	4,54	5,89	5,06	5,02	3,85	4,41	4,58
NOV	5,47	4,59	5,99	4,36	5,03	6,01	5,59	4,89	4,21	5,56	5,27
DEZ	4,72	4,20	5,43	4,10	4,74	5,44	5,10	4,19	3,84	5,34	5,34
MED	4,11	3,78	4,64	3,45	3,60	4,56	4,28	4,03	3,27	3,89	4,06

Nas figuras 5 e 6 observa-se o ritmo anual dos valores médios mensais de ETo, obtidos pelos diferentes métodos de estimativa, para a região em estudo.

Verifica-se que há acentuada concordância entre os métodos no que diz respeito ao comportamento da ETo durante o ano. Nota-se também uma nítida tendência em obter valores máximos nos meses de outubro e novembro, numa faixa de

Figura 5 - Ritmo anual dos valores médios mensais de ETo, em mm/dia, determinados pelos métodos do tanque Classe "A", Linacre, Radiação Solar, Blaney-Criddle, Hargreaves & Samani e Makkink, no período de 1986-1990, para a sub-região do Pantanal da Nhecolândia-MS.

4,21 a 6,0 mm/dia e mínimos de maio a julho, entre 1,65 a 3,76 mm/dia, onde os referidos períodos coincide com a época chuvosa e seca da região. Resultado semelhante foi obtido por CAMPELLO & OLIVEIRA (1989), para vários locais do Mato-Grosso, onde as condições climáticas são parecidas.

Figura 6 - Ritmo anual dos valores médios mensais de ET_o, em mm/dia, determinados pelos métodos do tanque Classe "A", Penman, Penman Simplificado, Hargreaves, Camargo e Thornthwaite, no período de 1986-1990, para a sub-região do Pantanal da Nhecolândia-MS.

A tabela 2 apresenta, para todos os métodos de estimativa, os valores dos coeficientes das regressões e correlação, respectivamente. De acordo com resultado do teste "t", os casos onde o coeficiente linear não foi significativamente diferente de zero, eles foram desprezados e os coeficientes angulares das equações estimados novamente.

Tabela 2 - Regressões EToCA X diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração de referência.

REGRESSÃO $\hat{Y} = a + b X$	COEFICIENTE LINEAR (a)	COEFICIENTE ANGULAR (b)	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (r)
EToCA X EToPe	1,792 (**)	0,643	0,91
EToCA X EToPS	0,868 (*)	0,711	0,97
EToCA X EToH	1,077 (*)	0,707	0,91
EToCA x EToT	2,531 (**)	0,405	0,80
EToCA X EToC	1,970 (**)	0,527	0,83
$\hat{Y} = b X$			
EToCA X EToL		1,087	0,93
EToCA X EToRS		0,879	0,89
EToCA X EToBC		1,186	0,91
EToCA X EToHS		1,018	0,88
EToCA X EToM		1,246	0,89

* Significativo ao nível de 5%

** Significativo ao nível de 1%

Nas tabelas de 4 a 14, no apêndice, encontram-se os dados de (ETo), determinados pelos métodos citados acima, assim como os dados complementares necessários para os cálculos.

Os diagramas de dispersão contidos nas figuras de 7 a 12, representam os resultados médios mensais da ETo, em mm/dia, estimado pelo método do tanque Classe "A", o qual foi tomado como padrão para comparação com os demais métodos de estimativas já descritos. Nos diagramas são apresentados as equações, as respectivas linhas de regressão e os coeficientes de determinação (r^2).

A figura 7 mostra que as linhas de regressão obtidas pela equação de Hargreaves & Samani e Linacre em relação ao método do tanque Classe "A", estão bem próximas da linha de valores iguais (1:1), principalmente no que diz respeito ao primeiro método, que praticamente não diferiu do método tomado com padrão. Ambas as equações subestimaram em 2% e 8% os valores de ETo quando comparados com os dados do tanque Classe "A".

Na figura 8, nota-se que houve uma acentuada discordância dos dados observados pela equação de Makkink com relação ao tanque Classe "A", subestimando os valores de ETo cerca de 20%. Verifica-se que os valores observados pelo método de Blaney-Criddle estão mais próximos da linha 1:1, subestimando ETo em 16%.

Figura 7 - Correlação entre os valores médios mensais de ETo, estimada segundo os métodos de Hargreaves & Samani, Linacre, no período de 1986-1990, em relação ao método do tanque Classe "A", para a sub-região do Pantanal da Nhecolândia-MS.

Figura 8 - Correlação entre os valores médios mensais de ETo, estimada segundo os métodos de Makink, Blaney-Criddle, no período de 1986-1990, em relação ao método do tanque Classe "A", para a sub-região do Pantanal da Nhecolândia-MS.

O método da Radiação Solar apresenta dispersão dos pontos em torno da linha de regressão, superestimando a ETo em 13% em relação ao método padrão, como mostra a figura 9.

Figura 9 - Correlação entre os valores médios mensais de ETo, estimada segundo o método da Radiação Solar, no período de 1986-1990, em relação ao método do tanque Classe "A", para a sub-região do Pantanal da Nhecolândia-MS.

No caso dos valores calculados pelos métodos de Thorthwaite e Camargo, houve , em geral, subestimativa no período seco, que corresponde ao inverno na região em estudo e superestimativa no período chuvoso. O método de Thornthwaite foi o que mais subestimou a ETo na estação fria, apresentando também, uma maior dispersão dos pontos ao redor da linha de regressão. Os coeficientes lineares das equações de regressão, foram os maiores e os coeficientes angulares os que mais se afastaram da unidade. Foram os métodos cujos dados mostraram correlação menos estreita com relação ao tanque Classe "A", como indica os coeficientes de correlação, que foi baixo em relação aos outros. A figura 10 mostra, claramente, esse comportamento dos métodos de Thornthwaite e Camargo, com relação aos dados observados pelo método tomado como padrão.

O melhor desempenho do método de Hargreaves & Samani com relação aos métodos de Thornthwaite e Camargo parece ser devido ao fato dele utilizar as temperaturas máxima e mínima, enquanto que os dois últimos consideram apenas a temperatura média do ar.

Analisando a figura 11, observa-se que o método de Penman Simplificado, usando a evaporação de Piche, adaptou-se melhor a região do que o método de Penman, quando comparado com o tanque Classe "A". Como pode ser verificado, o método original apresenta grande dispersão dos pontos em torno da linha de regressão, enquanto o método simplificado

Figura 10 - Correlação entre os valores médios mensais de ETo, estimada segundo os métodos de Thornthwaite, Camargo, período de 1986-1990, em relação ao método do tanque Classe "A", para a sub-região do Pantanal da Nhecolândia-MS.

Figura 11 - Correlação entre os valores médios mensais de ETo, estimada segundo os métodos de Penman, Penman Simplificado, período de 1986-1990, em relação ao método do tanque Classe "A", para a sub-região do Pantanal da Nhecolândia-MS.

tem seus valores observados mais próximos da linha de 1:1. O método de Penman Simplificado superestima a ETo na estação, quente, ao passo que o método de Penman subestima, acentuadamente, nos meses de maio a setembro, que coincide com o período de inverno da região.

No método de Hargreaves, nota-se que há uma pequena dispersão dos pontos ao redor da linha de regressão, mas verifica-se que os valores observados estão próximos da linha 1:1. A figura 12 mostra que esse método subestima levemente os valores de ETo no inverno e superestima no verão.

Figura 12 - Correlação entre os valores médios mensais de ETo, estimada segundo o método de Hargreaves, no período de 1986-1990, em relação ao método do tanque Classe "A", para a sub-região do Pantanal da Nhecolândia-MS.

No presente trabalho, para estimativa da ETo, procurou-se utilizar métodos de eficiência comprovada, como o do tanque Classe "A", Penman, Radiação Solar, Blaney-Criddle, recomendado por DOORENBOS & PRUITT (1984) e outros de utilização mais simples, que estimam a ETo apenas com temperatura e elementos de clima habitualmente disponíveis. É fato reconhecido que, as prováveis fontes de erro ocorrentes nestes métodos, são devidas, ou pela ausência de uma função que avalie a influência do vento e do déficit de saturação do ar no processo de evapotranspiração, ou pelo uso de funções inadequadas para nossas condições climáticas.

Embora as leituras do tanque Classe "A", estejam sujeitas a erros que se originam desde as condições de sua instalação, a falta de qualificação dos observadores até suas próprias limitações, este equipamento propicia leituras diretas que englobam os diversos efeitos dos elementos meteorológicos e das transformações energéticas que atuam no processo da evaporação. Portanto, se bem instalado e operado corretamente, o tanque Classe "A", pode fornecer leituras de evaporação cujo emprego na estimativa da ETo proporciona valores bem próximos da realidade como verificaram alguns autores (FUCHS & STANHILL, 1963; FRITSCHEN & SHAW, 1966; VILLA NOVA et alii, 1977).

É possível que o método do tanque Classe "A" possa estar subestimando ou superestimando a ETo, porém, a quantificação precisa da percentagem da ETo superestimada ou

subestimada só será possível de ser determinada a partir de valores de ETo medidos em lisímetros. Esses, deverão ser usados para o ajuste deste modelo às condições climáticas da região em estudo.

5. CONCLUSÕES

Com relação aos métodos estudados, a análise de regressão mostra que para os métodos de Linacre, Radiação Solar, Blaney-Criddle, Hargreaves & Samani e Makkink, o coeficiente linear (a) da regressão não foi significativamente diferente de zero, sendo portanto, utilizado o modelo regressão $\hat{Y} = b X$, onde $\hat{Y}$ representa a evaporação do tanque Classe "A", e X é a estimativa da evapotranspiração segundo os métodos acima citados. Para os demais métodos (Penman, Penman Simplificado, Hargreaves, Thornthwaite e Camargo), o modelo mais adequado foi $\hat{Y} = a + b X$.

O método de Hargreaves & Samani, dentre os que se baseiam na temperatura do ar, para estimativa da ETo, demonstra, para as condições da sub-região do Pantanal da Nhecolândia-MS, resultados médios mensais próximos dos obtidos pelo método tomado como padrão, apresentando resultados com estreita correlação e concordância com os valores observados pelo método do tanque Classe "A", subestimando a EToCA em 2%. O método de Linacre obteve, também, valores de ETo próximos do tanque Classe "A", subestimando a EToCA em 8% e os métodos de Thornthwaite e Camargo subestimam a EToCA no inverno e superestimam no verão.

Os métodos de Blaney-Criddle e Makkink apresentam resultados com boa correlação em relação ao método padrão, mas tendem a fornecer subestimativas dos valores da EToCA, em torno de 16% e 20%, respectivamente.

Os métodos de Penman Simplificado e Hargreaves superestimam os valores de EToCA no período de verão e subestimam no inverno, enquanto o método de Penman subestima no verão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADÁMOLI, J. O Pantanal e suas relações fitogeográficas com os cerrados; discussão sobre o conceito de complexo do pantanal. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE BOTÂNICA DO BRASIL, 32., Teresina, 1981. Anais. Teresina, Universidade Federal do Piauí, 1982. p.109-19.

ALFONSI, R.R. & CAMARGO, M.B.P. de. Condições climáticas para a região do Pantanal Mato-grossense. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 1., Corumbá, 1984. Anais. Brasília, EMBRAPA/Deptº de Difusão de Tecnologia, 1986. p.29-42.

ALLEM, A.C. & VALLS, J.F.M. Recursos forrageiros nativos do Pantanal Mato-grossense. Brasília, EMBRAPA/Deptº de Difusão de Tecnologia, 1987. 339p.

AMORIM NETO, M.S.; OLIVEIRA, C.A.V.; SILVA, D.D. da. Avaliação de diferentes métodos para estimativa da evapotranspiração potencial em regiões semi-áridas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 4., Londrina, 1985. Resumos. Campinas, Fundação Cargill, 1985. p.118.

ASSIS, F.N. de. O uso do evapotranspirômetro no estudo de algumas relações entre evapotranspiração medida e estimada. Piracicaba, 1978. 73p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

BARRADA, Y. Water balance studies. In: FAO/UNDP REGIONAL SEMINAR ON EFFECTIVE USE OF IRRIGATION WATER AT THE FARM LEVEL, Damascus, 1971. Water use seminar Damascus; report. Rome, FAO, 1972. p.9-96. (FAO.Irrigation and Drainage Paper, 13.)

BEIRSDORF, M.I.C. & MOTA, F.S. da. Evapotranspiração do arroz irrigado em Pelotas, Rio Grande do Sul. Ciência e Cultura, São Paulo, 28(11): 1329-34, 1976.

BENICASA, M.N.P. Contribuição ao estudo ecológico do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris*, L.); efeitos hídricos. Jaboticabal, 1972. 93p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

BERLATO, M.A. & MOLION, L.C.B. Evaporação e evapotranspiração. Porto Alegre, IPAGRO, 1981. 95p. (IPAGRO. Boletim Técnico, 7).

BLACK, T.A.; THURTELL, G.W.; TANNER, C.B. Hydraulic loadcell lysimeter, construction, calibration and tests. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 32(5): 623-9, 1968.

BLANEY, H.F. & CRIDDLE, W.D. Determining water requirements in irrigation areas from climatological and irrigation data. Washington, USDA/Soil Conservation Service, 1950. 48p.

BURMAN, R.D.; NIXON, P.R.; WRIGHT, J.L.; PRUITT, W.D. Water requirements. In: JENSEN, M.E., ed. Design and operation of farm irrigation systems. St. Joseph, ASAE, 1983. p.189-232. (ASAE Monograph, 3).

CAMARGO, A.P. de. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. Bragantia, Campinas, 21(12): 163-213, 1962.

CAMARGO, A.P. de. Balanco hidrico no Estado de São Paulo. Campinas, Inst. Agrônômico, 1971. 28p. (IAC. Boletim, 116).

CAMARGO, A.P. de & CAMARGO, M.B.P. de. Teste de uma equação simples para estimativa da evapotranspiração potencial baseado na radiação solar extraterrestre e na temperatura média do ar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 3., Campinas, 1983. Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1984. p.229-44.

CAMARGO, A.P. de & PEREIRA, A.R. A evapotranspiração potencial segundo Thornthwaite. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2., Pelotas, 1981. Resumos ampliados. Pelotas, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1981. p.110-8.

CAMARGO, A.P. de & PEREIRA, A.R. Prescrição de rega por modelo climatológico. Campinas, Fundação Cargill, 1990. 27p.

CAMPELO Jr., J.H. & CASEIRO, F.T. Métodos de estimativa da evapotranspiração potencial; relatório de pesquisa. Cuiabá, UFMT/SAGRI/PRONI, 1989. 160p.

CURY, D.M. Avaliação da demanda hídrica da cultura do repolho (*Brassica oleracea* VAR. *capitata* L.). Piracicaba, 1985. 79p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

- DILLEY, A.C. & SHEPHERD, W. Potencial evaporation from pasture and potatoes at Aspendale. Agricultural Meteorology, Amsterdam, 10: 283-300, 1972.
- DOORENBOS, J. & PRUITT, W.O. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome, FAO, 1984. 144p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 24).
- ENCARNAÇÃO, C.R.F. da. Estudo da demanda de água do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Piracicaba, 1980. 62p. (Mestrado - Escola Superior Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- ENCARNAÇÃO, C.R.F. da. Exigências hídricas e coeficientes culturais da batata (*Solanum tuberosum* L.). Piracicaba, 1987. 73p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- FRITSCHEN, L.J. & SHAW, R.H. Evapotranspiration for corn as related to pan evaporation. Agronomy Journal, Madison, 53(3): 149-50, 1966.
- FUCHS, M.E. & STANHILL, G. The use of classe "A" evaporation pan data to estimate the irrigation water requirements of the cotton crop. Israel Journal Agricultural Research, Rehovot, 13(2): 63-78, 1963.

HANKS, R.J.; ALLEN, L.H.; GARDER, H.B. Advection and evapotranspiration of widerow sorghum in the Central Great Plains. Agronomy Journal, Madison, 63(4): 520-7, 1971.

HARGREAVES, G.H. Climate and irrigation requirements for Brazil. Logan, Utah State University, 1976. 44p.

HARGREAVES, G.H. & SAMANI, Z.A. Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature. ASAE Pap. Nº 85-2517, ASAE, St. Joseph, MI. 1985.

IGREJA, S.M.S. da. Demanda hídrica do Caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp, cult. V-69) em área do Trópico Úmido Brasileiro. Piracicaba, 1987. 131p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

LEMON, E.R., GLASSER, A.H.; SATTERWHITE, L.E. Some aspects of the relationship of soil, plant and meteorological factors to evapotranspiration. Soil Science Society of American Proceedings, Madison, 21(5): 464-8, 1957.

LINACRE, E.T. A simple formula for estimating evaporation in various climates using temperature alone. Agricultural Meteorology, Amsterdam, 18: 409-24, 1977.

LUCHIARI Jr., A. Balanço de radiação em milho (*Zea mays* L.) cultivado em área de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2., Pelotas, 1981. Anais. Pelotas, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1985. p.168-9.

MAKKINK, G.H. Ekzamenen de la formula de Penman. Netherlands Journal Agricultural Science, Wageningen, 5: 290-305, 1957.

MALEK, E. Comparison of alternative methods for estimating potencial evapotranspiration and evaluation of advection, in the Bajgah Area, Iran. Agricultural and Forest Meteorology, Amsterdam, 39(2/3): 185-92, 1987.

MEDINA, B.F. & GONDIM, A.W. da. Estimativa da evapotranspiração potencial em Areia-PB. Agropecuária Técnica, Areia, 1(1): 68-9, 1980.

MOTA, F.S. da. Estimativa da evapotranspiração de referência de Penman com instrumentos simples de baixo custo para agricultores. Pelotas, EMBRAPA; UFPel, 1984. 26p.

MOTA, F.S. da & BEIRSDORF, M.I.C. Medidas e estimativas da evapotranspiração potencial em pelotas, Rio Grande do Sul. Ciência e Cultura, São Paulo, 28(6): 666-72, 1976.

NUNES, G.S.; ANDRÉ, R.G.B.; VIANELLO, R.L.; MARQUES, V.S.

Estudo da distribuição de radiação solar incidente sobre o Brasil. Revista Brasileira de Armazenamento, Viçosa, 4(2): 5-30, 1979.

OMETTO, J.C. Uma equação para a estimativa de evapotranspiração potencial. Sua aplicação no cálculo das necessidades hídricas e no rendimento agro-industrial da cana-de-açúcar na região de Piracicaba-SP. Piracicaba, 1974. 129p. (Livre docência - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

OMETTO, J.C. Bioclimatologia vegetal. São Paulo, Agronômica Ceres, 1981. 440p.

ORTOLANI, A.A.; CAMARGO, A.P.; VILLA NOVA, N.A. Correlação entre evapotranspiração potencial calculada segundo os métodos de Penman, Thorthwaite e dados de evapotranspirômetros na região de Ribeirão Preto. Bragantia, Campinas, 25(15): 65-8, 1966.

PELTON, W.L.; KING, K.M.; TANNER, C.B. An evaluation of the Thorthwaite and mean temperature methods for determining potencial evapotranspiration. Agronomy Journal, Madison, 52(5): 387-95, 1960.

PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceedings of the Royal Society of London. Sér. A, London, 193: 120-45, 1948.

PENMAN, H.L. Evaporation: an introductory survey. Netherlands Journal of Agricultural Science, Wageningen, 4(1): 9-29, 1956.

PEREIRA, A.R. Análise do modelo de Priestley-Taylor para as estimativas da evapotranspiração potencial. Piracicaba, 1990. 68p. (Livre docência - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

PEREIRA, A.R. & CAMARGO, A.P. An analysis of the criticism of Thornthwaite equation for estimating potencial evapotranspiration. Agricultural and Forest Meteorology, Amsterdam, 46(1/2): 149-59, 1989.

REICHARDT, K. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. Campinas, Fundação Cargill, 1975. 286p.

REICHARDT, K. A água nos sistemas agrícolas. São Paulo, Manole, 1987. 188p.

RIBEIRO, A.M.A. Estudos das relações entre radiação solar global(Q_g) e razão de insolação (n/N), em algumas regiões do Brasil. Piracicaba, 1980. 89p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)

ROSENBERG, N.J. Microclimate; the biological enviroment. New York, John Willey & Sons, 1974. 305p.

ROSENBERG, N.J.; HART, H.E.; BROWN, K.W. Evapotranspiration; review of research. Nebraska, University of Nebraska/ Nebraska Water Resources Inst., 1968. 78p. (MP, 20).

SCALOPPI, J.E. Métodos climatológicos para avaliar a evapotranspiração. Piracicaba, 1972. 80p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

SILVA, A.A.G. da. Avaliação da eficiência de métodos de estimativa de evapotranspiração de referência para o município de Parnaíba-PI. Piracicaba, 1989. 81p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

SOUZA, J.A.G. Efeito da tensão da água do solo na cultura da cana-de açúcar. Limeira, 1976. 183p. (Doutorado - Faculdade de Engenharia de Limeira/UNICAMP).

SOUZA, J.L. & SILVA, M.A.V. Evapotranspiração em cultura de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 4., Londrina, 1985. Resumos. Campinas, Fundação Cargill, 1985. p.24-32.

TANNER, C.B. Evaporation of water from plants and soil. In: KOZLOWSKI, T.T., ed. Water deficits and plant growth. New York, Academic Press, 1968. p.74-106.

TANNER, C.B. & LEMON, E.R. Radiant energy utilized in evapotranspiration. Agronomy Journal, Madison, 54(3): 207-12, 1962.

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review, Washington, 38: 55-94, 1948.

VAREJÃO, M.A.S. Evapotranspiração em cultura irrigada no semi-árido submédio São Francisco. São José dos Campos, 1977. 97p. (Mestrado - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

VERMA, S.B.; ROSENBERG, N.J.; BLAD, B.L. Turbulent exchange coefficients for sensible heat and water vapor under advective conditions. Journal of Applied Meteorology, Boston, 17(3): 330-8, 1978.

VILLA NOVA, N.A. A estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. Piracicaba, 1967. 66p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

VILLA NOVA, N.A. Estudos sobre o balanço de energia em cultura de arroz. Piracicaba, 1973. 89p. (Livre docência - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

VILLA NOVA, N.A. Principais métodos climáticos de estimativa de aplicação de água de irrigação. Piracicaba, ESALQ/ Deptº de Física e Meteorologia, 1987. 22p.

VILLA NOVA, N.A. & OMETTO, J.C. Adaptação e simplificação do método de Penman às condições climáticas do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 4., Fortaleza, 1981. Anais. Fortaleza, ABRH, 1981. p.120-51.

VILLA NOVA, N.A. & REICHARDT, K. Evaporação e evapotranspiração. In: RAMOS, F.; OCCHIPINTI, A.G.; MAGALHÃES, P.C. de; CLEARY, R.W. Engenharia hidrológica. Rio de Janeiro, Editora da UFRJ, 1989. p.145-97. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos).

VILLA NOVA, N.A.; BARBIERI, V.; SCARDUA, R. Evaporação e evapotranspiração; principais métodos de estimativa climatológica segundo as recomendações da FAO(1979). Piracicaba, ESALQ/Deptº de Física e Meteorologia, 1980. 15p.

VILLA NOVA, N.A.; SALATI, E.; MATSUI, E. Estimativa da evapotranspiração na Bacia Amazônica. Acta Amazônica, Manaus, 6(2): 215-58, 1976.

VILLA NOVA, N.A.; SCARDUA, R.; BACCHI, O.O.S. Consideração sobre a utilização do tanque classe "A" na estimativa de quantidade e frequência de aplicação de água, na irrigação da cana-de-açúcar. Piracicaba, ESALQ/Deptº de Física e Meteorologia, 1977. 20p.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration. Geneva, 1966. 121p. (Technical Note,83).

APÊNDICE

Tabela 3 - Valores do coeficiente de conversão do tanque Classe "A" (Kp), para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o).

Exposição A: Tanque circundado por grama					Exposição B: Tanque circundado por solo nu				
UR% (média)		Baixa <40	Média 40-70	Alta >70		Baixa <40	Média 40-70	Alta >70	
Vento Km/dia)	Posição do tanque d(m)*				Posição do tanque d(m)*				
Leve < 175	0	0,55	0,65	0,75	0	0,70	0,80	0,85	
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,60	0,70	0,80	
	100	0,70	0,80	0,85	100	0,55	0,65	0,75	
	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,50	0,60	0,70	
moderado 175-425	0	0,50	0,60	0,65	0	0,65	0,75	0,80	
	10	0,60	0,70	0,75	10	0,55	0,65	0,70	
	100	0,65	0,75	0,80	100	0,50	0,60	0,60	
	1000	0,70	0,80	0,80	1000	0,45	0,55	0,60	
Forte 425-700	0	0,45	0,50	0,60	0	0,60	0,65	0,70	
	10	0,55	0,60	0,65	10	0,50	0,55	0,75	
	100	0,60	0,65	0,75	100	0,45	0,50	0,60	
	1000	0,65	0,70	0,75	1000	0,40	0,45	0,55	
Muito Forte > 700	0	0,40	0,45	0,50	0	0,50	0,60	0,65	
	10	0,45	0,55	0,60	10	0,45	0,50	0,55	
	100	0,50	0,60	0,65	100	0,40	0,45	0,50	
	1000	0,55	0,60	0,65	1000	0,35	0,40	0,45	

Fonte: DOORENBOS & PRUITT, (1984).

NOTA: Para extensas áreas de solo nú, reduzir os valores de Kp de 20% em condições de alta temperatura e vento forte, e de 5 a 10%, em condições de moderada temperatura, vento e umidade.

* Por d entende-se, como a menor distância (expressa em metros), do centro do tanque ao limite da bordadura (grama ou solo nú).

Tabela 4 - Valores de ETo estimados segundo o método do tanque Classe "A" (EToCA), no período de 1986-1990.

Mês/Ano	UR (%)	ECA (mm/mês)	U (Km/dia)	Kp	EToCA (mm/dia)
Jan/86	84,90	168,70	103,68	0,85	4,63
Fev/86	85,60	146,30	146,88	0,85	4,44
Mar/86	86,20	120,30	95,04	0,85	3,30
Abr/86	84,20	142,90	138,24	0,85	4,05
Mai/86	86,50	109,40	172,80	0,85	3,00
Jun/86	83,80	101,00	-	-	-
Jul/86	81,40	116,90	103,68	0,85	3,21
Ago/86	82,20	101,80	95,04	0,85	2,79
Set/86	78,10	130,80	120,96	0,85	3,71
Out/86	74,70	158,00	146,88	0,85	4,33
Nov/86	74,40	155,52	-	-	-
Dez/86	84,20	138,24	-	-	-
Jan/87	86,40	157,60	155,52	0,85	4,32
Fev/87	83,20	129,50	120,96	0,85	3,93
Mar/87	84,70	155,80	77,76	0,85	4,27
Abr/87	85,50	110,90	77,76	0,85	3,14
Mai/87	86,50	103,68	-	-	-
Jun/87	85,30	106,70	120,96	0,85	3,02
Jul/87	82,00	134,80	207,36	0,80	3,48
Ago/87	77,70	133,80	120,96	0,85	3,67
Set/87	73,00	150,20	207,36	0,80	4,01
Out/87	75,00	170,80	190,08	0,80	4,41
Nov/87	77,00	146,88	-	-	-
Dez/87	83,70	-	-	-	-
Jan/88	87,30	137,40	-	-	-
Fev/88	86,90	-	-	-	-
Mar/88	86,80	-	-	-	-
Abr/88	87,40	129,80	-	-	-
Mai/88	87,30	96,00	-	-	-
Jun/88	84,60	90,00	-	-	-
Jul/88	80,40	109,50	-	-	-
Ago/88	79,30	135,10	-	-	-
Set/88	76,50	152,50	112,32	0,85	4,32
Out/88	74,20	177,20	112,32	0,85	4,86
Nov/88	79,10	162,20	120,96	0,85	4,60
Dez/88	83,00	159,90	112,32	0,85	4,38
Jan/89	86,70	144,70	86,40	0,85	3,97 3)
Fev/89	87,90	129,30	86,40	0,85	3,93 2)
Mar/89	86,90	118,30	43,20	0,85	3,24 3)
Abr/89	86,70	147,40	77,76	0,85	4,18 30
Mai/89	84,40	123,80	86,40	0,85	3,39 3)

Tabela 4 - Valores de ETo estimados segundo o método do tanque Classe "A"(EToCA), no período de 1986-1990.

Mês/Ano	UR (%)	ECA (mm/mês)	U (Km/dia)	Kp	EToCA (mm/dia)
Jun/89	85,50	107,40	86,40	0,85	3,04
Jul/89	83,00	124,70	86,40	0,85	3,42
Ago/89	84,80	148,80	120,96	0,85	4,08
Set/89	78,40	150,10	172,80	0,85	4,25
Out/89	75,60	200,00	86,40	0,85	5,48
Nov/89	76,60	186,30	86,40	0,85	5,28
Dez/89	83,00	148,20	86,40	0,85	4,06
Jan/90	83,70	163,10	86,40	0,85	4,47
Fev/90	82,00	165,00	86,40	0,85	5,01
Mar/90	82,60	184,20	86,40	0,85	5,05
Abr/90	85,50	163,70	86,40	0,85	4,64
Mai/90	86,40	101,50	86,40	0,85	2,78
Jun/90	88,60	106,60	17,28	0,85	3,02
Jul/90	81,40	140,20	86,40	0,85	3,84
Ago/90	77,40	158,10	51,84	0,85	4,34
Set/90	75,20	177,20	86,40	0,85	5,02
Out/90	78,50	202,00	129,60	0,85	5,54
Nov/90	78,10	230,20	60,48	0,85	6,52
Dez/90	80,30	208,40	172,80	0,85	5,71

Tabela 5 - Valores de ETo estimados segundo o método de Penman (EToPe), no período de 1986-1990.

Mês/Ano	Δ	W	R_L (mm/dia)	E_a (mm/dia)	EToPe (mm/dia)
Jan/86	2,1	0,77	5,34	2,19	4,63
Fev/86	2,1	0,77	5,16	2,40	4,54
Mar/86	2,1	0,77	4,81	1,94	4,16
Abr/86	2,0	0,77	4,31	2,50	3,90
Mai/86	1,8	0,75	2,89	2,07	2,68
Jun/86	1,5	0,72	2,33	1,13	1,99
Jul/86	1,4	0,71	2,21	1,80	2,09
Ago/86	1,7	0,74	2,97	2,03	2,72
Set/86	1,7	0,74	3,63	2,67	3,38
Out/86	1,8	0,75	4,63	3,63	4,38
Nov/86	2,2	0,78	5,32	4,63	5,17
Dez/86	2,1	0,78	5,02	2,59	4,48
Jan/87	2,1	0,78	5,24	2,33	4,59
Fev/87	2,0	0,77	5,27	2,51	4,64
Mar/87	2,0	0,77	4,60	1,99	4,00
Abr/87	2,0	0,77	3,89	1,86	3,42
Mai/87	1,6	0,73	2,77	1,51	2,43
Jun/87	1,5	0,72	2,24	1,59	2,06
Jul/87	1,7	0,74	2,51	2,80	2,59
Ago/87	1,5	0,71	2,66	2,34	2,57
Set/87	1,7	0,74	3,41	4,27	3,63
Out/87	1,7	0,78	4,43	4,74	4,50
Nov/87	2,2	0,79	5,65	3,98	5,30
Dez/87	2,1	0,77	5,22	-	-
Jan/88	2,1	0,78	-	-	-
Fev/88	2,1	0,77	5,03	-	-
Mar/88	2,1	0,78	4,44	-	-
Abr/88	2,0	0,77	3,76	-	-
Mai/88	1,6	0,73	2,73	-	-
Jun/88	1,5	0,71	2,23	-	-
Jul/88	1,3	0,68	2,01	-	-
Ago/88	1,6	0,73	3,13	-	-
Set/88	1,8	0,75	3,88	2,99	3,66
Out/88	1,9	0,76	4,78	3,62	4,51
Nov/88	1,9	0,77	5,14	3,03	4,64
Dez/88	2,1	0,78	5,20	2,56	4,60
Jan/89	2,0	0,77	-	-	-
Fev/89	2,0	0,77	5,07	1,61	4,27
Mar/89	2,0	0,77	4,53	1,49	3,84
Abr/89	2,0	0,77	4,16	1,71	3,60
Mai/89	1,6	0,73	3,01	1,62	2,64

Tabela 5 - Valores de ETo estimados segundo o método de Penman (EToPe), no período de 1986-1990.

Mês/Ano	Δ	W	R_L (mm/dia)	E_a (mm/dia)	EToPe (mm/dia)
Jun/89	1,6	0,73	2,49	1,54	2,24
Jul/89	1,4	0,70	2,25	1,53	2,03
Ago/89	1,7	0,73	3,22	1,83	2,85
Set/89	1,9	0,74	3,78	3,07	3,60
Out/89	1,9	0,76	5,00	3,06	4,53
Nov/89	2,1	0,78	5,48	3,24	4,98
Dez/89	2,0	0,77	5,25	2,30	4,58
Jan/90	2,0	0,77	5,65	2,22	4,88
Fev/90	2,0	0,77	5,42	2,41	4,73
Mar/90	2,1	0,78	5,11	2,42	4,51
Abr/90	2,0	0,77	4,12	1,93	3,62
Mai/90	1,6	0,72	2,80	1,36	2,40
Jun/90	1,4	0,70	2,27	0,78	1,83
Jul/90	1,3	0,68	2,03	1,47	1,85
Ago/90	1,6	0,73	2,96	2,09	2,73
Set/90	1,7	0,74	3,70	2,68	3,43
Out/90	2,1	0,78	5,12	3,48	4,76
Nov/90	2,2	0,78	5,66	2,87	5,06
Dez/90	2,2	0,78	5,71	3,76	5,29

Tabela 6 - Valores de ETo estimados segundo o método de Penman Simplificado (EToPS), no período de 1986-1990.

Mês/Ano	n (horas)	E(Pi) (mm/mês)	N (horas)	Qo/59 (mm/dia)	W	EToPS (mm/dia)
Jan/86	169,50	95,30	403,86	17,72	0,77	5,29
Fev/86	161,80	94,70	352,87	16,79	0,77	5,25
Mar/86	196,40	59,50	375,42	15,31	0,77	4,63
Abr/86	244,70	138,80	346,66	13,19	0,77	4,34
Mai/86	152,50	111,20	344,36	11,24	0,75	3,31
Jun/86	238,20	167,10	325,92	10,08	0,72	3,91
Jul/86	229,70	182,90	339,47	10,20	0,71	3,98
Ago/86	160,00	147,30	351,20	11,84	0,74	3,78
Set/86	162,80	158,00	355,45	13,93	0,74	4,36
Out/86	228,70	171,80	383,75	15,69	0,75	5,92
Nov/86	213,50	135,80	386,13	16,87	0,78	5,83
Dez/86	145,10	110,00	407,05	17,46	0,78	5,14
Jan/87	154,80	72,50	403,86	17,72	0,78	4,94
Fev/87	185,00	70,80	352,87	16,79	0,77	5,17
Mar/87	175,60	87,20	375,42	15,31	0,77	4,71
Abr/87	176,30	68,10	346,66	13,19	0,77	3,43
Mai/87	158,60	61,80	344,36	11,24	0,73	2,89
Jun/87	167,00	77,70	325,92	10,08	0,72	2,86
Jul/87	239,30	151,30	339,47	10,20	0,74	3,72
Ago/87	144,60	113,50	351,20	11,84	0,71	3,42
Set/87	130,40	115,30	355,45	13,93	0,74	3,84
Out/87	161,10	124,80	383,75	15,69	0,78	5,07
Nov/87	239,10	92,80	386,13	16,87	0,79	5,68
Dez/87	170,90	87,10	407,05	17,46	0,77	5,18
Jan/88	-	74,30	403,86	17,72	0,78	-
Fev/88	147,00	79,50	352,87	16,79	0,77	5,01
Mar/88	139,60	-	375,42	15,31	0,78	-
Abr/88	147,10	94,40	346,66	13,19	0,77	3,53
Mai/88	149,60	90,70	344,36	11,24	0,73	3,09
Jun/88	184,60	71,80	325,92	10,08	0,71	2,83
Jul/88	247,90	105,90	339,47	10,20	0,68	3,30
Ago/88	264,60	149,80	351,20	11,84	0,73	4,10
Set/88	200,60	173,30	355,45	13,93	0,75	4,60
Out/88	233,30	204,40	383,75	15,69	0,76	6,24
Nov/88	200,20	148,30	386,13	16,87	0,77	5,85
Dez/88	168,50	100,60	407,05	17,46	0,78	5,23
Jan/89	-	68,30	403,86	17,72	0,77	3,75
Fev/89	152,70	79,70	352,87	16,79	0,77	5,00
Mar/89	161,70	82,60	375,42	15,31	0,77	4,58
Abr/89	211,80	146,10	346,66	13,19	0,77	4,25
Mai/89	260,00	110,20	344,36	11,24	0,73	3,60

Tabela 6 - Valores de ETo estimados segundo o método de Penman Simplificado (EToPS), no período de 1986-1990.

Mês/Ano	n (horas)	E(Pi) (mm/mês)	N (horas)	Qo/59 (mm/dia)	W	EToPS (mm/dia)
Jun/89	220,80	80,10	325,92	10,08	0,73	3,02
Jul/89	245,90	129,30	339,47	10,20	0,70	4,07
Ago/89	227,10	171,10	351,20	11,84	0,73	4,17
Set/89	193,10	176,60	355,45	13,93	0,74	4,60
Out/89	267,60	187,50	383,75	15,69	0,76	6,33
Nov/89	236,20	166,70	386,13	16,87	0,78	6,29
Dez/89	177,40	115,00	407,05	17,46	0,77	5,42
Jan/90	208,30	107,90	403,86	17,72	0,77	5,66
Fev/90	202,80	121,10	352,87	16,79	0,77	5,82
Mar/90	240,20	122,60	375,42	15,31	0,78	5,48
Abr/90	211,10	127,80	346,66	13,19	0,77	4,03
Mai/90	194,00	110,00	344,36	11,24	0,72	3,37
Jun/90	194,10	76,50	325,92	10,08	0,70	2,87
Jul/90	230,30	165,60	339,47	10,20	0,68	3,76
Ago/90	212,30	172,50	351,20	11,84	0,73	4,10
Set/90	190,90	180,10	355,45	13,93	0,74	4,59
Out/90	241,50	162,00	383,75	15,69	0,78	5,92
Nov/90	243,10	171,20	386,13	16,87	0,78	6,38
Dez/90	223,20	170,50	407,05	17,46	0,78	6,25

Tabela 7 - Valores de ETo estimados segundo o método da Radiação Solar (EToRS), no período de 1986-1990.

Mês/Ano	UR (%)	U (m/s)	W	Rs (mm/dia)	C	EToRS (mm/dia)
Jan/86	84,90	1,20	0,77	8,36	0,81	5,27
Fev/86	85,60	1,70	0,77	8,19	0,81	5,17
Mar/86	86,20	1,10	0,77	7,88	0,81	4,96
Abr/86	84,20	1,60	0,77	7,77	0,89	5,31
Mai/86	86,50	2,00	0,75	5,41	0,89	3,60
Jun/86	83,80	-	0,72	6,05	-	-
Jul/86	81,40	1,20	0,71	5,89	0,81	3,38
Ago/86	82,20	1,10	0,74	5,76	0,81	3,47
Set/86	78,10	1,40	0,74	6,79	0,81	4,08
Out/86	74,70	1,70	0,75	8,54	0,89	5,68
Nov/86	74,40	1,80	0,78	8,88	0,89	6,17
Dez/86	84,20	1,60	0,78	7,79	0,81	4,92
Jan/87	86,40	1,80	0,78	8,10	0,89	5,57
Fev/87	83,20	1,40	0,77	8,65	0,81	5,42
Mar/87	84,70	0,90	0,77	7,53	0,81	4,73
Abr/87	85,50	0,90	0,77	6,70	0,81	4,20
Mai/87	86,50	1,20	0,73	5,49	0,81	3,27
Jun/87	85,30	1,40	0,72	5,14	0,81	3,00
Jul/87	82,00	2,40	0,74	6,01	0,89	3,92
Ago/87	77,70	1,40	0,71	5,55	0,89	3,49
Set/87	73,00	2,40	0,74	6,27	0,89	4,11
Out/87	75,00	2,20	0,78	7,41	0,89	5,10
Nov/87	77,70	1,70	0,79	9,34	0,89	6,50
Dez/87	83,70	-	0,77	8,24	-	-
Jan/88	87,30	-	0,78	-	-	-
Fev/88	86,90	-	0,77	7,91	-	-
Mar/88	86,80	-	0,78	6,93	-	-
Abr/88	87,40	-	0,77	6,25	-	-
Mai/88	87,30	-	0,73	5,37	-	-
Jun/88	84,60	-	0,71	5,37	-	-
Jul/88	80,40	-	0,68	6,11	-	-
Ago/88	79,30	-	0,73	7,21	-	-
Set/88	76,50	1,30	0,75	7,40	0,81	4,51
Out/88	74,20	1,30	0,76	8,62	0,81	5,36
Nov/88	79,10	1,40	0,77	8,65	0,81	5,39
Dez/88	83,00	1,30	0,78	8,20	0,81	5,18
Jan/89	86,70	1,00	0,77	-	-	-
Fev/89	87,90	1,00	0,77	8,02	0,81	5,03
Mar/89	86,90	0,50	0,77	7,30	0,81	4,59
Abr/89	86,70	0,90	0,77	7,26	0,81	4,55
Mai/89	84,40	1,00	0,73	6,85	0,81	4,07

Tabela 7 - Valores de ETo estimados segundo o método da Radiação Solar (EToRS), no período de 1986-1990.

Mês/Ano	UR (%)	U (m/s)	W	Rs (mm/dia)	C	EToRS (mm/dia)
Jun/89	85,50	1,00	0,73	5,83	0,81	3,48
Jul/89	83,00	1,00	0,70	6,09	0,81	3,48
Ago/89	84,80	1,40	0,73	6,69	0,81	4,00
Set/89	78,40	2,00	0,74	7,28	0,81	4,37
Out/89	75,60	1,00	0,76	9,19	0,81	5,69
Nov/89	76,60	1,00	0,78	9,29	0,81	5,87
Dez/89	83,00	1,00	0,77	8,36	0,81	5,26
Jan/90	83,70	1,00	0,77	9,06	0,81	5,71
Fev/90	82,00	1,00	0,77	8,99	0,81	5,65
Mar/90	82,60	1,00	0,78	8,61	0,81	5,45
Abr/90	85,50	1,00	0,77	7,25	0,81	4,54
Mai/90	86,40	1,00	0,72	5,97	0,81	3,51
Jun/90	88,60	0,20	0,70	5,49	0,81	3,15
Jul/90	81,40	1,00	0,68	5,90	0,81	3,26
Ago/90	77,40	0,60	0,73	6,49	0,81	3,86
Set/90	75,20	1,00	0,74	7,25	0,81	4,34
Out/90	78,50	1,50	0,78	8,76	0,81	5,55
Nov/90	78,10	0,70	0,78	9,41	0,81	6,00
Dez/90	80,30	2,00	0,78	9,16	0,89	6,37

Tabela 8 - Valores de ETo estimados segundo o método de Linacre (EToL), no período de 1986-1990.

Mês/Ano	T (°C)	UR (%)	Tm (°C)	e (mm/dia)	To (°C)	EToL (mm/dia)
Jan/86	27,20	84,90	27,79	22,93	24,43	4,03
Fev/86	27,20	85,60	27,79	23,12	24,57	4,00
Mar/86	27,10	86,20	27,69	23,15	24,59	3,94
Abr/86	26,80	84,20	27,39	22,22	23,90	3,99
Mai/86	24,60	86,50	25,19	20,04	22,19	3,46
Jun/86	21,40	83,80	21,99	16,00	18,54	3,05
Jul/86	20,40	81,40	20,99	14,61	17,11	3,00
Ago/86	23,60	82,20	24,19	17,93	20,38	3,50
Set/86	23,30	78,10	23,89	16,73	19,26	3,67
Out/86	24,70	74,70	25,29	17,41	19,90	4,12
Nov/86	28,20	74,40	28,79	21,30	23,21	4,88
Dez/86	27,40	84,20	27,99	23,01	24,49	4,11
Jan/87	27,30	86,40	27,89	23,47	24,82	3,97
Fev/87	26,70	83,20	27,29	21,82	23,61	4,03
Mar/87	26,90	84,70	27,49	22,48	24,10	3,99
Abr/87	26,60	85,50	27,19	22,30	23,96	3,88
Mai/87	22,80	86,50	23,39	17,98	20,43	3,15
Jun/87	21,30	85,30	21,89	16,18	18,73	2,96
Jul/87	23,30	82,00	23,89	17,57	20,05	3,46
Ago/87	20,80	77,70	21,39	14,30	16,76	3,25
Set/87	23,60	73,00	24,19	15,93	18,47	4,01
Out/87	27,40	75,00	27,99	20,50	22,57	4,66
Nov/87	28,40	77,70	28,99	22,51	24,12	4,71
Dez/87	27,20	83,70	27,79	22,61	24,19	4,10
Jan/88	27,80	87,30	28,39	24,42	25,49	4,02
Fev/88	27,10	86,90	27,69	23,34	24,72	3,90
Mar/88	27,90	86,80	28,49	24,42	25,49	4,07
Abr/88	26,80	87,40	27,39	23,06	24,53	3,82
Mai/88	22,50	87,30	23,09	17,82	20,28	3,06
Jun/88	20,90	84,60	21,49	15,66	18,21	2,93
Jul/88	18,10	80,40	18,69	12,51	14,67	2,69
Ago/88	22,50	79,30	23,09	16,19	18,73	3,46
Set/88	24,50	76,50	25,09	17,61	20,09	3,98
Out/88	26,10	74,20	26,69	18,79	21,14	4,44
Nov/88	26,20	79,10	26,79	20,15	22,28	4,17
Dez/88	27,30	83,00	27,89	22,55	24,15	4,16
Jan/89	26,60	86,70	27,19	22,61	24,20	3,82
Fev/89	26,70	87,90	27,29	23,06	24,52	3,77
Mar/89	26,90	86,90	27,49	23,06	24,53	3,87
Abr/89	26,70	86,70	27,29	22,74	24,29	3,84
Mai/89	22,60	84,40	23,19	17,33	19,83	3,22

Tabela B - Valores de ETo estimados segundo o método de Linacre (EToL), no período de 1986-1990.

Mês/Ano	T (°C)	UR (%)	Tm (°C)	e (mm/dia)	To (°C)	EToL (mm/dia)
Jun/89	22,90	85,50	23,49	17,88	20,34	3,21
Jul/89	20,20	83,00	20,79	14,72	17,22	2,89
Ago/89	23,10	84,10	23,69	17,95	20,40	3,28
Set/89	23,30	78,40	23,89	16,80	19,33	3,65
Out/89	25,70	75,60	26,29	18,69	21,06	4,27
Nov/89	27,40	76,60	27,99	20,93	22,92	4,56
Dez/89	27,00	83,00	27,59	22,16	23,86	4,10
Jan/90	27,10	83,70	27,69	22,48	24,10	4,08
Fev/90	26,80	82,00	27,39	21,64	23,46	4,12
Mar/90	27,50	82,60	28,09	22,71	24,27	4,23
Abr/90	26,70	85,50	27,29	22,43	24,06	3,90
Mai/90	21,90	86,40	22,49	17,00	19,52	3,00
Jun/90	20,30	88,60	20,89	15,81	18,35	2,65
Jul/90	18,10	81,40	18,69	12,66	14,86	2,65
Ago/90	22,80	77,40	23,39	16,09	18,64	3,62
Set/90	23,20	75,20	23,79	16,01	18,56	3,81
Out/90	27,60	78,50	28,19	21,71	23,52	4,49
Nov/90	28,10	78,10	28,69	22,23	23,92	4,62
Dez/90	28,30	80,50	28,89	23,13	24,57	4,53

Tabela 9 - Valores de ETo estimados segundo o método de de Blaney-Criddle(EToBC), no período de 1986-1990.

Mês/Ano	T (°C)	UR (%)	n (horas)	U (m/s)	N (horas)	EToBC (mm/dia)
Jan/86	27,20	84,90	169,50	1,20	403,86	3,90
Fev/86	27,20	85,60	161,80	1,70	352,87	3,60
Mar/86	27,10	86,20	196,40	1,10	375,42	3,40
Abr/86	26,80	84,20	244,70	1,60	346,66	4,20
Mai/86	24,60	86,50	152,50	2,00	344,36	3,00
Jun/86	21,40	83,80	238,20	-	325,92	-
Jul/86	20,40	81,40	229,70	1,20	339,47	2,70
Ago/86	23,60	82,20	160,00	1,10	351,20	2,70
Set/86	23,30	78,10	162,80	1,40	355,45	3,00
Out/86	24,70	74,70	228,70	1,70	383,75	4,40
Nov/86	28,20	74,40	213,50	1,80	386,13	4,30
Dez/86	27,40	84,20	145,10	1,60	407,05	4,00
Jan/87	27,30	86,40	154,80	1,80	403,86	4,40
Fev/87	26,70	83,20	185,00	1,40	352,87	3,60
Mar/87	26,90	84,70	175,60	0,90	375,42	3,40
Abr/87	26,60	85,50	176,30	0,90	346,66	3,00
Mai/87	22,80	86,50	158,60	1,20	344,36	2,40
Jun/87	21,30	85,30	167,00	1,40	325,92	2,10
Jul/87	23,30	82,00	239,30	2,40	339,47	3,50
Ago/87	20,80	77,70	144,60	1,40	351,20	2,80
Set/87	23,60	73,00	130,40	2,40	355,45	3,50
Out/87	27,40	75,00	161,10	2,20	383,75	3,90
Nov/87	28,40	77,70	239,10	1,70	386,13	5,10
Dez/87	27,20	83,70	170,90	-	407,05	-
Jan/88	27,80	87,30	-	-	403,86	-
Fev/88	27,10	86,90	147,00	-	352,87	-
Mar/88	27,90	86,80	139,60	-	375,42	-
Abr/88	26,80	87,40	147,10	-	346,66	-
Mai/88	22,50	87,30	149,60	-	344,36	-
Jun/88	20,90	84,60	184,60	-	325,92	-
Jul/88	18,10	80,40	247,90	-	339,47	-
Ago/88	22,50	79,30	264,60	-	351,20	-
Set/88	24,50	76,50	200,60	1,30	355,45	3,00
Out/88	26,10	74,20	233,30	1,30	383,75	4,00
Nov/88	26,20	79,10	200,20	1,40	386,13	3,50
Dez/88	27,30	83,00	168,50	1,30	407,05	4,00
Jan/89	26,60	86,70	-	1,00	403,86	-
Fev/89	26,70	87,90	152,70	1,00	352,87	3,60
Mar/89	26,90	86,90	161,70	0,50	375,42	3,40
Abr/89	26,70	86,70	211,80	0,90	346,66	3,00
Mai/89	22,60	84,40	260,00	1,00	344,36	2,90

Tabela 9 - Valores de ETo estimados segundo o método de de Blaney-Criddle(EToBC), no período de 1986-1990.

Mês/Ano	T (°C)	UR (%)	n (horas)	U (m/s)	N (horas)	EToBC (mm/dia)
Jun/89	22,90	85,50	220,80	1,00	325,92	2,90
Jul/89	20,20	83,00	245,90	1,00	339,47	2,80
Ago/89	23,10	84,80	227,10	1,40	351,20	3,00
Set/89	23,30	78,40	193,10	2,00	355,45	2,90
Out/89	25,70	75,60	267,60	1,00	383,75	4,00
Nov/89	27,40	76,60	236,20	1,00	386,13	4,30
Dez/89	27,00	83,00	177,40	1,00	407,05	3,90
Jan/90	27,10	83,70	208,30	1,00	403,86	3,90
Fev/90	26,80	82,00	202,80	1,00	352,87	3,60
Mar/90	27,50	82,60	240,20	1,00	375,42	4,20
Abr/90	26,70	85,50	211,10	1,00	346,66	3,80
Mai/90	21,90	86,40	194,00	1,00	344,36	2,00
Jun/90	20,30	88,60	194,10	0,20	325,92	2,80
Jul/90	18,10	81,40	230,30	1,00	339,47	2,60
Ago/90	22,80	77,40	212,30	0,60	351,20	3,00
Set/90	23,20	75,20	190,90	1,00	355,45	2,90
Out/90	27,60	78,50	241,50	1,50	383,75	4,20
Nov/90	28,10	78,10	243,10	0,70	386,13	4,60
Dez/90	28,30	80,30	223,20	2,00	407,05	4,50

Tabela 10 - Valores de ETo estimados segundo o método de Thornthwaite (EToT), no período de 1986-1990.

Mês/Ano	T (°C)	N (horas)	b	EToT (mm/dia)
Jan/86	27,20	13,03	1,09	5,14
Fev/86	27,20	12,60	1,05	5,51
Mar/86	27,10	12,11	1,01	4,72
Abr/86	26,80	11,56	0,96	4,49
Mai/86	24,60	11,11	0,93	3,16
Jun/86	21,40	10,86	0,91	2,03
Jul/86	20,40	10,95	0,91	1,69
Ago/86	23,60	11,33	0,94	2,81
Set/86	23,30	11,85	0,99	2,92
Out/86	24,70	12,38	1,03	3,57
Nov/86	28,20	12,87	1,07	5,90
Dez/86	27,40	13,13	1,09	5,31
Jan/87	27,30	13,03	1,09	5,20
Fev/87	26,70	12,60	1,05	5,18
Mar/87	26,90	12,11	1,01	4,61
Abr/87	26,60	11,56	0,96	4,38
Mai/87	22,80	11,11	0,93	2,47
Jun/87	21,30	10,86	0,91	2,00
Jul/87	23,30	10,95	0,91	2,61
Ago/87	20,80	11,33	0,94	1,86
Set/87	23,60	11,85	0,99	3,04
Out/87	27,40	12,38	1,03	5,00
Nov/87	28,40	12,87	1,07	6,04
Dez/87	27,20	13,13	1,09	5,18
Jan/88	27,80	13,03	1,09	5,52
Fev/88	27,10	12,60	1,05	5,44
Mar/88	27,90	12,11	1,01	5,19
Abr/88	26,80	11,56	0,96	4,49
Mai/88	22,50	11,11	0,93	2,36
Jun/88	20,90	10,86	0,91	1,88
Jul/88	18,10	10,95	0,91	1,15
Ago/88	22,50	11,33	0,94	2,41
Set/88	24,50	11,85	0,99	3,44
Out/88	26,10	12,38	1,03	4,27
Nov/88	26,20	12,87	1,07	4,65
Dez/88	27,30	13,13	1,09	5,24
Jan/89	26,60	13,03	1,09	4,78
Fev/89	26,70	12,60	1,05	5,18
Mar/89	26,90	12,11	1,01	4,61
Abr/89	26,70	11,56	0,96	4,44
Mai/89	22,60	11,11	0,93	2,40

Tabela 10 - Valores de ETo estimados segundo o método de Thornthwaite (EToT), no período de 1986-1990.

Mês/Ano	T (°C)	N (horas)	b	EToT (mm/dia)
Jun/89	22,90	10,86	0,91	2,53
Jul/89	20,20	10,95	0,91	1,64
Ago/89	23,10	11,33	0,94	2,62
Set/89	23,30	11,85	0,99	2,92
Out/89	25,70	12,38	1,03	4,06
Nov/89	27,40	12,87	1,07	5,38
Dez/89	27,00	13,13	1,09	5,06
Jan/90	27,10	13,03	1,09	5,08
Fev/90	26,80	12,60	1,05	5,25
Mar/90	27,50	12,11	1,01	4,95
Abr/90	26,70	11,56	0,96	4,44
Mai/90	21,90	11,11	0,93	2,16
Jun/90	20,30	10,86	0,91	1,71
Jul/90	18,10	10,95	0,91	1,15
Ago/90	22,80	11,33	0,94	2,52
Set/90	23,20	11,85	0,99	2,88
Out/90	27,60	12,38	1,03	5,12
Nov/90	28,10	12,87	1,07	5,84
Dez/90	28,30	13,13	1,09	5,90

Tabela 11 - Valores de ETo estimados segundo o método de Camargo (EToC), no período de 1986-1990.

Mês/Ano	T (°C)	Qo/59 (mm/dia)	F	EToC (mm/dia)
Jan/86	27,20	17,72	0,01	5,54
Fev/86	27,20	16,79	0,01	5,25
Mar/86	27,10	15,31	0,01	4,77
Abr/86	26,80	13,19	0,01	4,06
Mai/86	24,60	11,24	0,01	3,18
Jun/86	21,40	10,08	0,01	2,48
Jul/86	20,40	10,20	0,01	2,39
Ago/86	23,60	11,84	0,01	3,21
Set/86	23,30	13,93	0,01	3,73
Out/86	24,70	15,69	0,01	4,46
Nov/86	28,20	16,87	0,01	5,47
Dez/86	27,40	17,46	0,01	5,50
Jan/87	27,30	17,72	0,01	5,56
Fev/87	26,70	16,79	0,01	5,16
Mar/87	26,90	15,31	0,01	4,74
Abr/87	26,60	13,19	0,01	4,03
Mai/87	22,80	11,24	0,01	2,95
Jun/87	21,30	10,08	0,01	2,47
Jul/87	23,30	10,20	0,01	2,73
Ago/87	20,80	11,84	0,01	2,83
Set/87	23,60	13,93	0,01	3,78
Out/87	27,40	15,69	0,01	4,94
Nov/87	28,40	16,87	0,01	5,51
Dez/87	27,20	17,46	0,01	5,46
Jan/88	27,80	17,72	0,01	5,30
Fev/88	27,10	16,79	0,01	5,02
Mar/88	27,90	15,31	0,01	4,57
Abr/88	26,80	13,19	0,01	3,89
Mai/88	22,50	11,24	0,01	3,04
Jun/88	20,90	10,08	0,01	2,37
Jul/88	18,10	10,20	0,01	2,29
Ago/88	22,50	11,84	0,01	3,07
Set/88	24,50	13,93	0,01	3,57
Out/88	26,10	15,69	0,01	4,26
Nov/88	26,20	16,87	0,01	5,23
Dez/88	27,30	17,46	0,01	5,26
Jan/89	26,60	17,72	0,01	5,32
Fev/89	26,70	16,79	0,01	4,93
Mar/89	26,90	15,31	0,01	4,53
Abr/89	26,70	13,19	0,01	3,86
Mai/89	22,60	11,24	0,01	2,82

Tabela 11 - Valores de ETo estimados segundo o método de Camargo (EToC), no período de 1986-1990.

Mês/Ano	T (°C)	Qo/59 (mm/dia))	F	EToC (mm/dia)
Jun/89	22,90	10,88	0,01	2,36
Jul/89	20,20	10,20	0,01	2,61
Ago/89	23,10	11,84	0,01	2,71
Set/89	23,30	13,93	0,01	3,62
Out/89	25,70	15,69	0,01	4,73
Nov/89	27,40	16,87	0,01	5,27
Dez/89	27,00	17,46	0,01	5,22
Jan/90	27,10	17,72	0,01	5,42
Fev/90	26,80	16,79	0,01	5,01
Mar/90	27,50	15,31	0,01	4,70
Abr/90	26,70	13,19	0,01	3,89
Mai/90	21,90	11,24	0,01	2,78
Jun/90	20,30	10,08	0,01	2,32
Jul/90	18,10	10,20	0,01	2,03
Ago/90	22,80	11,84	0,01	2,93
Set/90	23,20	13,93	0,01	3,75
Out/90	27,60	15,69	0,01	4,51
Nov/90	28,10	16,87	0,01	4,86
Dez/90	28,30	17,46	0,01	5,24

Tabela 12 - Valores de ETo estimados segundo o método de Hargreaves (EToH), no período de 1986-1990.

Mês/Ano	T (°C)	n (horas)	N (horas)	Qo/59 (mm/dia)	Rs (mm/dia)	EToH (mm/dia)
Jan/86	27,20	169,50	403,86	17,72	8,36	5,08
Fev/86	27,20	161,80	352,87	16,79	8,19	4,98
Mar/86	27,10	196,40	375,42	15,31	7,88	4,77
Abr/86	26,80	244,70	346,66	13,19	7,77	4,68
Mai/86	24,60	152,50	344,36	11,24	5,41	3,10
Jun/86	21,40	238,20	325,92	10,08	6,05	3,20
Jul/86	20,40	229,70	339,47	10,20	5,89	3,04
Ago/86	23,60	160,00	351,20	11,84	5,76	3,22
Set/86	23,30	162,80	355,45	13,93	6,79	3,77
Out/86	24,70	228,70	383,75	15,69	8,54	4,90
Nov/86	28,20	213,50	386,13	16,87	8,88	5,51
Dez/86	27,40	145,10	407,05	17,46	7,79	4,75
Jan/87	27,30	154,80	403,86	17,72	8,10	4,93
Fev/87	26,70	185,00	352,87	16,79	8,65	5,19
Mar/87	26,90	175,60	375,42	15,31	7,53	4,54
Abr/87	26,60	176,30	346,66	13,19	6,70	4,02
Mai/87	22,80	158,60	344,36	11,24	5,49	3,01
Jun/87	21,30	167,00	325,92	10,08	5,14	2,71
Jul/87	23,30	239,30	339,47	10,20	6,01	3,33
Ago/87	20,80	144,60	351,20	11,84	5,55	2,89
Set/87	23,60	130,40	355,45	13,93	6,27	3,50
Out/87	27,40	161,10	383,75	15,69	7,41	4,52
Nov/87	28,40	239,10	386,13	16,87	9,34	5,82
Dez/87	27,20	170,90	407,05	17,46	8,24	5,01
Jan/88	27,80	-	403,86	17,72	-	-
Fev/88	27,10	147,00	352,87	16,79	7,91	4,79
Mar/88	27,90	139,60	375,42	15,31	6,93	4,27
Abr/88	26,80	147,10	346,66	13,19	6,25	3,76
Mai/88	22,50	149,60	344,36	11,24	5,37	2,92
Jun/88	20,90	184,60	325,92	10,08	5,37	2,80
Jul/88	18,10	247,90	339,47	10,20	6,11	2,96
Ago/88	22,50	264,60	351,20	11,84	7,21	3,92
Set/88	24,50	200,60	355,45	13,93	7,40	4,22
Out/88	26,10	233,30	383,75	15,69	8,62	5,11
Nov/88	26,20	200,20	386,13	16,87	8,65	5,13
Dez/88	27,30	168,50	407,05	17,46	8,20	4,99
Jan/89	26,60	-	403,86	17,72	-	-
Fev/89	26,70	152,70	352,87	16,79	8,02	4,81
Mar/89	26,90	161,70	375,42	15,31	7,30	4,40
Abr/89	26,70	211,80	346,66	13,19	7,26	4,36
Mai/89	22,60	260,00	344,36	11,24	6,85	3,73

Tabela 12 - Valores de ETo estimados segundo o método de Hargreaves (EToH), no período de 1986-1990.

Mês/Ano	T (°C)	n (horas)	N (horas)	Qo/59 (mm/dia)	Rs (mm/dia)	EToH (mm/dia)
Jun/89	22,90	220,80	325,92	10,08	5,83	3,20
Jul/89	20,20	245,90	339,47	10,20	6,09	3,12
Ago/89	23,10	227,10	351,20	11,84	6,69	3,69
Set/89	23,30	193,10	355,45	13,93	7,28	4,04
Out/89	25,70	267,60	383,75	15,69	9,19	5,40
Nov/89	27,40	236,20	386,13	16,87	9,29	5,67
Dez/89	27,00	177,40	407,05	17,46	8,36	5,05
Jan/90	27,10	208,30	403,86	17,72	9,06	5,49
Fev/90	26,80	202,80	352,87	16,79	8,99	5,41
Mar/90	27,50	240,20	375,42	15,31	8,61	5,26
Abr/90	26,70	211,10	346,66	13,19	7,25	4,35
Mai/90	21,90	194,00	344,36	11,24	5,97	3,20
Jun/90	20,30	194,10	325,92	10,08	5,49	2,82
Jul/90	18,10	230,30	339,47	10,20	5,90	2,86
Ago/90	22,80	212,30	351,20	11,84	6,49	3,55
Set/90	23,20	190,90	355,45	13,93	7,25	4,01
Out/90	27,60	241,50	383,75	15,69	8,76	5,36
Nov/90	28,10	243,10	386,13	16,87	9,41	5,83
Dez/90	28,30	223,20	407,05	17,46	9,16	5,70

Tabela 13 - Valores de ETo estimados segundo o método de Hargreaves & Samani (EToHS), no período de 1986-1990.

Mês/Ano	T (°C)	Qo/59 (mm/dia)	EToHS (mm/dia)
Jan/86	27,20	17,72	3,80
Fev/86	27,20	16,79	3,65
Mar/86	27,10	15,31	2,87
Abr/86	26,80	13,19	4,08
Mai/86	24,60	11,24	4,10
Jun/86	21,40	10,08	3,06
Jul/86	20,40	10,20	3,09
Ago/86	23,60	11,84	3,60
Set/86	23,30	13,93	4,35
Out/86	24,70	15,69	5,34
Nov/86	28,20	16,87	5,67
Dez/86	27,40	17,46	4,02
Jan/87	27,30	17,72	4,54
Fev/87	26,70	16,79	4,68
Mar/87	26,90	15,31	4,98
Abr/87	26,60	13,19	3,27
Mai/87	22,80	11,24	3,69
Jun/87	21,30	10,08	3,10
Jul/87	23,30	10,20	3,35
Ago/87	20,80	11,84	4,10
Set/87	23,60	13,93	4,61
Out/87	27,40	15,69	5,26
Nov/87	28,40	16,87	3,80
Dez/87	27,20	17,46	4,20
Jan/88	27,80	17,72	-
Fev/88	27,10	16,79	4,28
Mar/88	27,90	15,31	3,41
Abr/88	26,80	13,19	3,63
Mai/88	22,50	11,24	3,97
Jun/88	20,90	10,08	3,11
Jul/88	18,10	10,20	2,89
Ago/88	22,50	11,84	3,22
Set/88	24,50	13,93	4,16
Out/88	26,10	15,69	5,11
Nov/88	26,20	16,87	4,55
Dez/88	27,30	17,46	4,25
Jan/89	26,60	17,72	-
Fev/89	26,70	16,79	3,80
Mar/89	26,90	15,31	3,73
Abr/89	26,70	13,19	3,60
Mai/89	22,60	11,24	3,59

Tabela 13 - Valores de ETo estimados segundo o método de Hargreaves & Samani (EToHS), no período de 1986-1990.

Mês/Ano	T (°C)	Qo/59 (mm/dia)	EToHS (mm/dia)
Jun/89	22,90	10,08	2,60
Jul/89	20,20	10,20	3,62
Ago/89	23,10	11,84	3,50
Set/89	23,30	13,93	4,71
Out/89	25,70	15,69	4,84
Nov/89	27,40	16,87	5,60
Dez/89	27,00	17,46	3,51
Jan/90	27,10	17,72	4,59
Fev/90	26,80	16,79	3,53
Mar/90	27,50	15,31	4,40
Abr/90	26,70	13,19	4,16
Mai/90	21,90	11,24	3,84
Jun/90	20,30	10,08	3,02
Jul/90	18,10	10,20	3,31
Ago/90	22,80	11,84	4,03
Set/90	23,20	13,93	5,00
Out/90	27,60	15,69	4,55
Nov/90	28,10	16,87	4,84
Dez/90	28,30	17,46	4,97

Tabela 14 - Valores de ETo estimados segundo o método de Makkink (EToM), no período de 1986-1990.

Mês/Ano	W	Rs (mm/dia)	EToM (mm/dia)
Jan/86	0,77	8,36	3,83
Fev/86	0,77	8,19	3,75
Mar/86	0,77	7,88	3,60
Abr/86	0,77	7,77	3,54
Mai/86	0,75	5,41	2,36
Jun/86	0,72	6,05	2,52
Jul/86	0,71	5,89	2,41
Ago/86	0,74	5,76	2,48
Set/86	0,74	6,79	2,93
Out/86	0,75	8,54	3,79
Nov/86	0,78	8,88	4,13
Dez/86	0,78	7,79	3,57
Jan/87	0,78	8,10	3,71
Fev/87	0,77	8,65	3,94
Mar/87	0,77	7,53	3,43
Abr/87	0,77	6,70	3,03
Mai/87	0,73	5,49	2,33
Jun/87	0,72	5,14	2,12
Jul/87	0,74	6,01	2,58
Ago/87	0,71	5,55	2,28
Set/87	0,74	6,27	2,71
Out/87	0,78	7,41	3,39
Nov/87	0,79	9,34	4,36
Dez/87	0,77	8,24	3,78
Jan/88	0,78	-	-
Fev/88	0,77	7,91	3,61
Mar/88	0,78	6,93	3,18
Abr/88	0,77	6,25	2,82
Mai/88	0,73	5,37	2,27
Jun/88	0,71	5,37	2,21
Jul/88	0,68	6,11	2,41
Ago/88	0,73	7,21	3,08
Set/88	0,75	7,40	3,26
Out/88	0,76	8,62	3,90
Nov/88	0,77	8,65	3,92
Dez/88	0,78	8,20	3,76
Jan/89	0,77	-	-
Fev/89	0,77	8,02	3,65
Mar/89	0,77	7,30	3,32
Abr/89	0,77	7,26	3,29
Mai/89	0,73	6,85	2,93

Tabela 14 - Valores de ETo estimados segundo o método de Makkink (EToM), no período de 1986-1990.

Mês/Ano	W	Rs	EToM
		(mm/dia)	(mm/dia)
Jun/89	0,73	5,83	2,48
Jul/89	0,70	6,09	2,49
Ago/89	0,73	6,69	2,88
Set/89	0,74	7,28	3,15
Out/89	0,76	9,19	4,15
Nov/89	0,78	9,29	4,28
Dez/89	0,77	8,36	3,82
Jan/90	0,77	9,06	4,16
Fev/90	0,77	8,99	4,11
Mar/90	0,78	8,61	3,96
Abr/90	0,77	7,25	3,29
Mai/90	0,72	5,97	2,51
Jun/90	0,70	5,49	2,24
Jul/90	0,68	5,90	2,32
Ago/90	0,73	6,49	2,78
Set/90	0,74	7,25	3,13
Out/90	0,78	8,76	4,04
Nov/90	0,78	9,41	4,38
Dez/90	0,78	9,16	4,27

Figura 13 - Coeficiente angular da regressão $ETo \times W.Rs$, determinado em função da umidade relativa do ar e velocidade do vento.

Fonte: DOORENBOS & PRUITT (1984)