

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA
EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA O MUNICÍPIO DE
PARNAÍBA - PI.

ANA ALEXANDRINA GAMA DA SILVA
Meteorologista

Orientador: LUIZ ROBERTO ANGELOCCI

Dissertação apresentada a 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
Dezembro - 1989

S586a Silva, Ana Alexandrina Gama da
Avaliação da eficiência de métodos de estimativa
da evapotranspiração de referência para o Município
de Parnaíba - PI. Piracicaba, 1989.
81p.

Diss. (Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Evapotranspiração - Parnaíba, PI 2. Meteorologia agrícola - Parnaíba, PI I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

CDD 551.572

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA
EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA O MUNICÍPIO DE
PARNAÍBA - PI.

ANA ALEXANDRINA GAMA DA SILVA

Aprovada em: 15/03/90

Comissão Julgadora:

Luiz Roberto Angelocci

ESALQ/USP

Nilson Augusto Villa Nova

ESALQ/USP

Dinival Martins

FCA/UNESP



LUIZ ROBERTO ANGELOCCI

Orientador

A meus pais,

irmãos e amigos

OFEREÇO

A

Francisco José Gama da Silva

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Luiz Roberto Agelocci, pelo apoio, colaboração, incentivo e orientação neste trabalho e durante todo o curso de Pós-Graduação.

Ao Prof. Dr. Nilson Villa Nova, pelas sugestões, apoio e colaboração neste trabalho e durante todo o curso.

Aos demais professores do curso de Pós-Graduação do Departamento de Agrometeorologia, pelos ensinamentos.

A Iza e Aline pela orientação na Análise Estatística dos dados.

Aos colegas do curso de Pós-Graduação em Agrometeorologia, pela amizade e convivência.

A Cida, Cely e Angélica pelo companheirismo e amizade.

A Rejane, pelo trabalho de datilografia.

A todos os colegas do CNPAI que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária e a Chefia do CNPAI - Centro Nacional de Pesquisa da Agricultura Irrigada, pela oportunidade concedida.

A CAPES - Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao INEMET - Instituto Nacional de Meteorologia, pela concessão dos dados meteorológicos.

Í N D I C E

	Página
LISTA DE TABELAS	vi.
LISTA DE QUADROS	vii.
LISTA DE FIGURAS	viii.
RESUMO	xii.
SUMMARY	xiv.
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
3. METODOLOGIA	17
↳ 3.1. Dados Climáticos	17
3.2. Caracterização do Clima	20
3.3. Estimativas da Evapotranspiração de Referência (ET _o)	21
3.3.1. Método de Penman modificado pela FAO ..	22
3.3.2. Método do Tanque Classe "A"	24
3.3.3. Método de Blaney-Criddle modificado pe- la FAO	25
3.3.4. Método da Radiação (Makkink modificado pela FAO)	26
3.3.5. Método de Thornthwaite	27
3.3.6. Método de Hargreaves	28
3.3.7. Método de Hargreaves & Samani (1985) ..	29
3.3.8. Método proposto	29

	Página
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1. Relativos a Comparação Entre Valores Diários da ETo Determinados pelos Métodos de Penman Modificado Pela FAO e Tanque Classe "A"	31
4.2. Relativos a Estimativa da ETo pelo Método de Penman Modificado pela FAO	37
4.3. Relativos a Avaliação da Eficiência dos Métodos de Estimativa da ETo Utilizados Neste Estudo	44
4.4. Relativos ao Modelo Proposto	49
5. CONCLUSÕES	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
APÊNDICE	70

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Teste de Duncan para comparação de valores médios de pântadas, determinadas pelos métodos de Penman modificado e Tanque Classe "A", durante o período de junho a outubro de 1989, para o município de Parnaíba - PI.	32
2	Valores médios mensais da evapotranspiração de referência (ET _o), referente ao período de 1978 a 1987. (mm/dia), estimados pelos diferentes métodos.	45
3	Teste Bilateral de Dunnett para comparação de médias mensais da ET _o obtidas pelo método de Penman modificado pela FAO com médias mensais da ET _o determinadas pelos demais métodos. ...	45
4	Teste de Duncan para comparação de médias mensais da ET _o obtidas pelos diferentes métodos.	46

L I S T A D E Q U A D R O S

Quadro		Página
1	Análise de Variância das Regressões Lineares Múltiplas de várias combinações entre a ETo e T, UR, ds e ds ²	51
2	Análise de Regressão do Modelo Proposto.	52
3	Análise de Variância do Modelo Proposto.	52

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Valores diários da ETo determinados pelo método de Penman modificado pela FAO e método do Tanque Classe "A", (mm/dia) para o mês de junho de 1989.	33
2	Valores diários da ETo determinados pelo método de Penman modificado pela FAO e método do Tanque Classe "A", (mm/dia) para o mês de julho de 1989.	33
3	Valores diários da ETo determinados pelo método de Penman modificado pela FAO e método do Tanque Classe "A", (mm/dia) para o mês de agosto de 1989.	34
4	Valores diários da ETo determinados pelo método de Penman modificado pela FAO e método do Tanque Classe "A", (mm/dia) para o mês de setembro de 1989.	34
5	Valores diários da ETo determinados pelo método de Penman modificado pela FAO e método do Tanque Classe "A", (mm/dia) para o mês de outubro de 1989.	35
6	Valores da ETo para médias de pântadas, determinados pelos métodos de Penman modificado pela FAO e Tanque Classe "A" (mm/periodo), referentes ao período de junho a outubro de 1989.	35

Figura		Página
7	Curso anual da ETo, Rn, TA e TE, referente ao ano de 1978, para o município de Parnaíba-PI.	39
8	Curso anual da ETo, Rn, TA e TE, referente ao ano de 1979, para o município de Parnaíba-PI.	39
9	Curso anual da ETo, Rn, TA e TE, referente ao ano de 1980, para o município de Parnaíba-PI.	40
10	Curso anual da ETo, Rn, TA e TE, referente ao ano de 1981, para o município de Parnaíba-PI.	40
11	Curso anual da ETo, Rn, TA e TE, referente ao ano de 1982, para o município de Parnaíba-PI.	41
12	Curso anual da ETo, Rn, TA e TE, referente ao ano de 1983, para o município de Parnaíba-PI.	41
13	Curso anual da ETo, Rn, TA e TE, referente ao ano de 1984, para o município de Parnaíba-PI.	42
14	Curso anual da ETo, Rn, TA e TE, referente ao ano de 1985, para o município de Parnaíba-PI.	42
15	Curso anual da ETo, Rn, TA e TE, referente ao ano de 1986, para o município de Parnaíba-PI.	43
16	Curso anual da ETo, Rn, TA e TE, referente ao ano de 1987, para o município de Parnaíba-PI.	43

Figura		Página
17	Curso anual dos valores médios da ETo (mm/ /dia), referente ao período de 1978 a 1987, determinados pelos métodos de: Penman modifi- cado pela FAO (EToPM, Radiação (EToR), Thornthwaite (EToD), Proposto (EToProp), Hargreaves (EToH), Hargreaves e Samani (EToH-S) e Blaney-Criddle (EToB-C), para o município de Parnaíba-PI.	48
18	Curso anual da ETo, ds, U_2 e UR, referente ao ano de 1978, para o município de Parnaíba-PI.	54
19	Curso anual da ETo, ds, U_2 e UR, referente ao ano de 1979, para o município de Parnaíba-PI.	54
20	Curso anual da ETo, ds, U_2 e UR, referente ao ano de 1980, para o município de Parnaíba-PI.	55
21	Curso anual da ETo, ds, U_2 e UR, referente ao ano de 1981, para o município de Parnaíba-PI.	55
22	Curso anual da ETo, ds, U_2 e UR, referente ao ano de 1982, para o município de Parnaíba-PI.	56
23	Curso anual da ETo, ds, U_2 e UR, referente ao ano de 1983, para o município de Parnaíba-PI.	56
24	Curso anual da ETo, ds, U_2 e UR, referente ao ano de 1984, para o município de Parnaíba-PI.	57
25	Curso anual da ETo, ds, U_2 e UR, referente ao ano de 1985, para o município de Parnaíba-PI.	57

Figura	Página
26	Curso anual da ETo, ds, U_2 e UR, referente ao ano de 1986, para o município de Parnaíba-PI. 58
27	Curso anual da ETo, ds, U_2 e UR, referente ao ano de 1987, para o município de Parnaíba-PI. 58

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA
EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA O MUNICÍPIO DE
PARNAÍBA - PI.

Autor: ANA ALEXANDRINA GAMA DA SILVA

Orientador: LUIZ ROBERTO ANGELOCCI

RESUMO

Neste estudo avalia-se a eficiência de alguns métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) para o município de Parnaíba - PI (latitude 3°5'S, longitude 41°47'W, Altitude 46.8 m) e apresenta-se um modelo para estimar a ET_o, em função dos dados de temperatura (T), umidade relativa (UR) e déficit de saturação (ds) de vapor d'água do ar.

Para avaliação dos métodos de estimativas da ET_o, utilizados neste trabalho, tomou-se como referência o método de Penman modificado pela FAO. A análise dos resultados mostrou que para o município de Parnaíba - PI, apenas o método da radiação proporcionou estimativas satisfatórias da ET_o. Os métodos de Hargreaves, Hargreaves & Samani e Blaney-Criddle subestimaram a ET_o. O método de Thornthwaite, embora tenha apresentado estimativas sistematicamente inferiores

de ETo em relação ao de Penman modificado pela FAO não mostrou resultados estatisticamente diferentes, ao nível de 5% de probabilidade.

O modelo proposto foi determinado a partir da correlação linear múltipla, entre a ETo mensal estimada pelo método de Penman modificado pela FAO e determinadas variáveis climáticas. A seleção das variáveis foi realizada em função da análise da variância das equações de regressões, obtidas quando da correlação entre a ETo e as variáveis, Temperatura (T), Umidade relativa (UR), Velocidade do vento (v), déficit de saturação (ds), radiação líquida (Rn) e razão de insolação (n/N), tomadas isoladamente, e em grupos.

Embora tenha-se observado alta correlação entre a ETo e a radiação líquida (Rn), esta variável, bem como a radiação líquida (Rn), a velocidade do vento (V) e a razão de insolação (n/N), foram excluídas do modelo, o qual tem como finalidade determinar a ETo em função de elementos do clima, geralmente disponíveis na maioria das estações meteorológicas.

Para a região em estudo, o modelo proposto, em função das variáveis T, UR e $ds = f(T, UR)$, apresentou um coeficiente de determinação de 0.91, e embora necessite ser validado utilizando-se uma série independentes de dados, o modelo proporcionou melhores estimativas da ETo, que as obtidas pelos métodos de Thornthwaite, Hargreaves, Hargreaves & Samani e Blaney-Criddle.

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF METHODS TO ESTIMATE
REFERENCE CROP EVAPOTRANSPIRATION IN THE PARNAÍBA
REGION (STATE OF PIAUI)

Author: ANA ALEXANDRINA GAMA DA SILVA

Adviser: LUIZ ROBERTO ANGELOCCI

SUMMARY

In this study it was evaluated the efficiency of some empirical methods to estimate reference crop evapotranspiration (ET_o) for the Parnaíba region, Piauí (latitude of 3°5'S, longitude of 41°47'W, Altitude of 46,8 m). A model is also proposed to calculate ET_o as a function of air temperature (T), relative humidity (RH) and water vapor saturation deficit (ds).

For avaluation of the methods to estimates of ET_o utilized in this study, estimated values of ET_o by empirical methods (radiation method, Thornthwaite, Hargreaves, Hargreaves & Samani and Blaney-Criddle) were compared with those obtained by using Penman method as modified by FAO. It was observed that only values given by the radiation method provided satisfactory estimates of ET_o. All of the other methods presented underestimates of ET_o, though the values

obtained from the Thornthwaite method did not show results significantly different at the probability level of 5%.

The proposed model is a multiple linear regression equation relating monthly values of ETo estimated using also the Penman method as modified by FAO and some climatic variables, taken each separately or in groups.

Although the high correlation observed between ETo and net radiation (Rn), the latter variable was excluded from the model, as well as the windspeed (v) and sunshine (n/N), in order to obtain a simple model based on climatological elements readily available on the majority of meteorological stations. The model estimated ETo as a function of T, RH and ds, with a coefficient of determination of 0,91, but it still requires validation. The results indicate that for the Parnaíba region the proposed model could give better estimates of ETo than those given by the methods of Thornthwaite, Hargreaves, Hargreaves & Samani and Blaney-Criddle.

1. INTRODUÇÃO

A evapotranspiração é um fator chave para a estimativa dos requerimentos de água para a irrigação. A determinação racional deste fator é essencial para alocação e manejo dos recursos de água seja para uso agrícola, industrial ou doméstico.

Na agricultura é de fundamental importância o conhecimento do balanço de água de uma região e a determinação das necessidades hídricas das culturas, cujos valores são potencialmente determinados pela evapotranspiração. Dados confiáveis de evapotranspiração (ET) são essenciais ao planejamento, construção e operação de reservatórios de água e ao manejo adequado da irrigação e drenagem.

É usual estimar-se os requerimentos hídricos das culturas a partir da evapotranspiração potencial de um cultivo de referência, que pode ser a grama ou a alfafa e multiplicando-se esta evapotranspiração de referência (ET_o) por um coeficiente de cultivo (kc). Assim a estimativa racional da evapotranspiração de referência (ET_o) torna-se cada vez mais necessária, o que requer a adoção de estudos, avaliações e ajustes deste parâmetro para sua correta utilização.

A evapotranspiração de referência (ET_o) pode ser medida diretamente, através de lisímetros, balanço de água no campo e balanço de energia. Pode também ser estimada a partir de modelos empíricos, que correlacionam a ET_o com determinados elementos do clima, e modelos semi-empíricos que fundamentam-se no processo físico da evaporação, tais como o modelo proposto por Penman e estimativas a partir de medidas de evaporação do tanque classe "A". Medidas diretas da evapotranspiração de referência (ET_o), quando disponíveis, conduzem naturalmente a melhor forma de determinação da evapotranspiração da cultura. Quando não disponíveis, estimativas são obtidas a partir dos modelos existentes, determinando assim a necessidade de serem avaliados e se possível ajustados às condições locais. A opção por um método é função da disponibilidade dos dados necessários a sua aplicação e de sua adequação as condições climáticas do local.

Ante a carência de informações agroclimáticas na região em estudo (extremo norte do estado do Piauí) onde estão sendo implantados grandes projetos de irrigação e, devido a inexistência de informações de determinados elementos do clima de expressiva importância na determinação da evapotranspiração, empreendeu-se este trabalho com objetivo de:

- avaliar para a região em estudo a eficiência de alguns métodos usuais de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o); e

- desenvolver uma fórmula empírica que assegure melhor precisão na estimativa do ETo, a partir de dados de fácil medida e comumente encontrados na maioria das estações meteorológicas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O termo evapotranspiração foi introduzido na literatura por THORNTHWAITE (1948), que definiu evapotranspiração potencial (ETP), como a perda máxima de água de uma superfície de solo bem umedecido, completamente coberto com vegetação em fase de desenvolvimento ativo e com dimensões suficientemente grandes, de modo a minimizar os efeitos de advecção local. Para o referido autor, quando qualquer dessas condições não for atendida, tem-se a evapotranspiração real (ETR). PENMAN (1956), definiu evapotranspiração potencial (ETP) como sendo o processo de transferência d'água para a atmosfera, na unidade de tempo, de uma superfície totalmente coberta por vegetação verde, de porte baixo, em pleno desenvolvimento e sem restrição de água no solo.

MAKKINK (1957), testando o modelo de PENMAN (1956), encontrou que a evapotranspiração potencial (ETP) também era função da altura da cultura e sugeriu que, para efeito comparativo, seria necessário a inclusão dos parâmetros Z_0 e d na função vento do modelo de PENMAN, ou uma padronização da rugosidade. Uma vez que o tipo de vegetação e a altura da cobertura vegetal não foram definidos, outras conceituações específicas foram apresentadas posteriormente.

DOORENBOS & PRUITT (1977), de acordo com a definição de PENMAN (1956), introduziram na literatura o termo evapotranspiração de referência (ET_o), definida como a evapotranspiração de uma extensa cobertura de grama, com altura uniforme de 8 a 15 cm e sem restrição de água no solo. Da mesma forma DOORENBOS & KASSAN (1979), apresentaram o termo evapotranspiração máxima (ET_m), designando-a como a condição definida por PENMAN (1956), quando a cobertura vegetal for uma cultura de interesse agrônomo qualquer, desde que não haja restrição de nenhuma ordem ao desenvolvimento da cultura.

Vários trabalhos têm objetivado quantificar a evapotranspiração da cultura de referência (ET_o), através de medidas diretas (lisímetros, balanço de água no campo, e balanço de energia) ou através de modelos teóricos que estimam a ET_o em função de elementos do clima, tais como os modelos de THORNTHWAITE, 1948; BLANEY & CRIDDLE, 1950; PENMAN, 1956; MAKKINK, 1957; JENSEN & HAISE, 1963; MONTHEITH, 1965; PRUITT, 1966; PRIESTLEY & TAYLOR, 1972; HARGREAVES, 1977; LINACRE, 1977; HARGREAVES & SAMANI, 1985. Tais modelos variam desde os métodos mais simples, baseados apenas em correlações entre a ET_o medida e determinados elementos do clima, até modelos mais complexos, baseados no processo físico da evaporação, que incluem vários parâmetros meteorológicos.

THORNTHWAITE (1948), derivou uma fórmula de estimativa da evapotranspiração potencial (ETP) em função apenas da temperatura, com ajuste para o número de dias do

mês e comprimento do dia em função da latitude.

BLANEY & CRIDDLE (1950), desenvolveram um método baseado na correlação entre temperatura, insolação e ETP, com ajuste a partir de um coeficiente determinado para diferentes culturas irrigadas em regiões semi-áridas. A equação de Blaney-Criddle pode ser encontrada na literatura, basicamente, em três tipos de formulações: na versão original; na versão adaptada pelo S.C.S. (Soil Conservation Service da USDA) e na versão modificada pela FAO (Food and Agriculture Organization of The United Nations). A modificação introduzida por DOORENBOS & PRUITT (1977) na equação de Blaney-Criddle, consiste na estimativa da ETo (evapotranspiração da cultura de referência) levando em consideração níveis gerais de umidade relativa, insolação e velocidade do vento, enquanto que a equação original estima o uso consuntivo de água, que foi definido pelo autor como sendo a ET mais a água de constituição do tecido vegetal.

PENMAN (1948, 1956) fundamentando-se na realidade física, de que a energia requerida para evaporação de uma superfície livre de água provém da radiação, estabeleceu um modelo para a estimativa da evapotranspiração a partir de parâmetros comumente medidos nas estações meteorológicas, que associam os efeitos do balanço de energia (R_n) e energia advectiva.

O modelo de PENMAN (1948), estima a evaporação de uma superfície de água livre. A equação consiste basicamente em dois termos: O termo energético, expresso em função

do balanço de radiação; e o termo aerodinâmico, expresso em função da velocidade do vento a 2 m de altura e do déficit de saturação. PENMAN (1956), 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, umidade relativa e velocidade do vento, medidos a 2 m acima desta superfície, apresentou uma nova versão do seu modelo para estimativa da evapotranspiração de referência (ETo).

STANHILL, 1961; VILLA NOVA & OMETTO, 1976; MOTA & BEIRSDORF, 1976; VANZYL & JANGER, 1987) através de sucessivas correlações entre o termo aerodinâmico do modelo de PENMAN e a evaporação medida no evaporímetro de Piche, desenvolveram uma forma simplificada da expressão de PENMAN (1956), para a estimativa da ETo, que ajusta a equação original às condições climáticas onde foram desenvolvidas, e excluem do modelo a necessidade de informações de velocidade do vento a 2 m de altura, medidas diretas de radiação líquida (R_n) e déficit de saturação.

JENSEN & HAISE (1963), determinaram uma equação para estimativa da ETo a partir da análise de regressão entre observações da ETo determinadas por amostragem do teor de umidade no solo e temperatura do ar.

PRUITT (1966), estabeleceu um método de estimativa da ETo, a partir de correlações entre a evaporação medida no tanque classe "A" e medidas da evapotranspiração de uma superfície de grama irrigada. Nesse estudo o autor

mostra, que a evaporação do tanque classe "A" decresce com logarítmo 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 (Kp) para várias combinações de umidade relativa do ar, velocidade do vento e condições de bordadura, da área onde localiza-se o tanque. Posteriormente o efeito do clima sobre o coeficiente do tanque (Kp), que relaciona a evapotranspiração de referência com a evapotranspiração do tanque classe "A", para várias combinações de umidade, vento e bordadura, para diversas localidades, foram analisados e apresentados de forma simplificada por DOORENBOS & PRUITT (1977).

PRIESTLEY & TAYLOR (1972), considerando a evaporação de superfícies saturadas em uma atmosfera não saturada, apresentaram uma simplificação ao modelo proposto por PENMAN (1956), onde consideraram o déficit de saturação igual a zero, excluindo o termo aerodinâmico do modelo.

LINACRE (1977), com base em correlações encontradas entre ET e vários fatores meteorológicos, simplificou a equação de PENMAN, possibilitando a estimativa da ETo apenas com base em coordenadas geográficas (latitude e altitude) e temperatura do ar.

HARGREAVES (1977), desenvolveu um método para predição da ETo, a partir de correlações entre a ET medida e dados de temperatura e radiação solar global. Da mesma forma HARGREAVES & SAMANI (1985), estabeleceram um método para

estimativa de ETo em função apenas de dados de T_{máx} e T_{min}. (TANNER, 1968; DOORENBOS & PRUITT, 1977; BERLATO & MOLION, 1981; VILLA NOVA, 1981), discutiram alguns destes modelos.

Para TANNER (1968), os métodos empregados para a estimativa da evapotranspiração, podem ser agrupados em três classes principais: os micrometeorológicos; os do balanço hídrico; e os empíricos, "Os dois primeiros possuem embasamento físico enquanto que os empíricos precisam ter seus resultados corrigidos em relação aos anteriores". Para o autor, nas estimativas da evapotranspiração, os métodos micrometeorológicos são os mais precisos, já que, proporcionam medidas em pequenos intervalos de tempo, requerendo entretanto, instrumental sofisticado para que possam ser corretamente aplicados. Segundo VILLA NOVA (1973), DECICO & SANTOS (1976), estes métodos apresentaram viabilidade e versatilidade quando empregados nas condições climáticas de Piracicaba - SP.

Os métodos do balanço hídrico, dividem-se basicamente em dois tipos principais: os que utilizam-se de lísimetros e aqueles em que a estimativa da ET é feita diretamente em um volume qualquer de solo, como o modelo utilizado por LUCHIARI JUNIOR (1978), o qual tem sido recomendado por autores, como ROSE & STERN (1966); ROSE (1966); SLATYER (1967) e REICHARDT (1975), onde as componentes do modelo (precipitação, irrigação, escoamento superficial, percolação profunda e variação do armazenamento de água no solo), são apresentadas de forma integral ou diferencial em

uma equação geral de balanço de massa. Para VILLA NOVA (1973), DASTANE (1974), VIETZ JUNIOR (1976), citado por ENCARNAÇÃO (1987), "o método do lisímetro é o mais preciso, pois possibilita estimativas da evapotranspiração desde pequenos intervalos de tempo (uma hora) até intervalos maiores (mensais ou sazonais), dependendo do tipo de equipamento".

DOORENBOS & PRUITT (1977), baseados em medidas da evapotranspiração de referência (ET_o) em diversas regiões, com diferentes tipos climáticos, modificaram os métodos de Penman, Blaney-Criddle, Priestley-Taylor e Pruitt, de modo que estes pudessem ser usados de forma mais generalizada.

O procedimento utilizado por DOORENBOS & PRUITT (1977) para modificação do modelo de PENMAN (1956), consistiu na substituição da função vento do modelo original, pela função vento proposta pelos autores, a qual foi determinada a partir de medidas diretas da ET_o e outros elementos do clima em várias regiões com diferentes tipos climáticos.

Segundo avaliações feitas por DOORENBOS & PRUITT 1977, "o melhor método de estimativa da ET_o é o de "Penman modificado" que proporciona estimativas da ET_o com erros de \pm 10% no verão e até 20% sob condições de baixa demanda evaporativa. O método do Tanque Classe "A" aparece em segundo lugar com erro de \pm 15%, dependendo do local de instalação do tanque. Dentre os demais métodos, aqueles que envolvem o termo radiação solar em sua formulação são mais

precisos podendo apresentar erros maiores que 20% no verão. Finalmente os métodos que usam apenas dados da temperatura podem em regiões úmidas e em regiões com ventos fortes subestimar a ETo em até mais que 25%".

As diversidades dos resultados alcançados pelos diversos métodos, em diferentes regiões no mundo, quase sempre são motivo de preocupações para os pesquisadores, que têm desenvolvido estudos com objetivos de avaliar a adequação destes métodos à determinadas regiões, e ajustar as relações já existentes.

ORTOLANI *et alii* (1966), estabeleceram correlações entre valores decendiais da evapotranspiração de referência (ETo) medida em evapotranspirômetro tipo Thornthwaite, e valores correspondentes estimados pelos métodos de Penman e Thornthwaite, em Ribeirão Preto - SP, durante um período de um ano, e verificaram que o modelo de Penman e Thornthwaite superestimaram a ETo em 2% e 9% respectivamente.

AGUIAR (1975), comparando métodos de estimativa da ETo nas condições de Piracicaba - SP, encontrou que a ETo estimada pelo método do Tanque Classe "A" superestimou aquela estimada pelos modelos de Penman, Hargreaves, Van Bavel e Thornthwaite. Ainda para as condições de Piracicaba, 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".

ENCARNAÇÃO (1980), encontrou que os métodos de Penman e Tanque Classe "A" forneceram valores médios de pentadas estatisticamente semelhantes, diferindo daqueles de Radiação solar e Linacre, que não diferiram entre si. SOUSA & SILVA (1985), desenvolveram trabalhos semelhantes com evapotranspirômetros de nível de lençol freático constante, em Campina Grande - PB, e obtiveram resultados concordantes com os obtidos por ENCARNAÇÃO (1980) em Piracicaba - SP.

OMAR & MEHAMA (1984), compararam os valores da ETo medidos em lísimetros com valores estimados pelos métodos de Penman e Tanque Classe "A" em oito localidades no Egito. Para todas as localidades, os valores da ETo estimados pelo método de Penman variaram entre 0 e 6% dos valores medidos. Valores da ETo estimados pelo método do Tanque Classe "A" foram sempre mais baixas do que a ETo medida nos lísimetros.

AMORIM NETO (1985), avaliando diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ETo), em região semi-árida, através de comparações com ETo medida em evapotranspirômetros de lençol freático constante, encontrou que os métodos do Tanque Classe "A", Radiação solar, Benivides - Lopez e Linacre foram os que apresentaram resultados mais precisos, apresentando coeficientes de determinação em torno de 0.83.

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 modificado por Villa Nova & Ometto, Thornthwaite e Radiação solar, diferindo entretanto, das estimativas obtidas com o emprego do método de Linacre, cujos valores foram superiores aos demais métodos.

ALLEN *et alii* (1989), correlacionando valores mensais da evapotranspiração de referência (ETo) medida em lisímetros e estimada pelo método de Penman modificado por DOORENBOS & PRUITT (1977), em nove localidades, com diferentes tipos climáticos, situadas entre 0° e 38°S, encontraram coeficientes de determinação de 0.97 para as regiões com climas áridos e 0.92 para regiões com climas úmidos, apresentando erros padrões de estimativa em mm dia^{-1} de 0.68 e 0.48 respectivamente. Nas estimativas diárias da ETo, considerando todas as localidades, o coeficiente de determinação encontrado foi 0.96 e erro padrão de estimativa de 0.65 mm dia^{-1} .

JAYAWARDENA (1989), correlacionando a ETo mensal medida em lisímetros com as estimadas pelos métodos de Penman modificado, Thornthwaite e Ramage, relatou que apenas o método de Penman modificado mostrou precisão adequada às condições climáticas de Hong-Kong.

Penman, citado por CHANG (1968), argumenta que quando a cobertura do solo é completa, a evapotranspiração

potencial é determinada principalmente pelos elementos meteorológicos. Segundo MUKAMMAL & BRUCE, citado por BERLATO & MOLIION (1981), a importância relativa da radiação, umidade e vento na evapotranspiração potencial é da ordem de 80:6:14 respectivamente. A Radiação solar é sem dúvida o elemento climático mais importante. Entretanto, em regiões onde ocorrem advecções fortes, seja de caráter local ou regional, condição que comumente ocorre quando uma área úmida é circundada por uma área seca, a importância relativa da radiação líquida (R_n) decresce, e em adição a R_n , 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 relativa da velocidade do vento e umidade na evapotranspiração.

O termo advecção tem sido definido de várias maneiras. PHILIP (1959), definiu advecção local como sendo a troca de energia, umidade, ou momentum devido a heterogeneidade horizontal.

Em pesquisas agrícolas o efeito da advecção tem sido usualmente negligenciado, assumindo-se desta forma a uniformidade do microclima e do fluxo evaporativo. Teorias de advecção local tais como as de PHILIP (1959), VRIES (1959), e experimentos de RIDER & BRADLEY (1960), MILLAR (1964) indicam que assumir a uniformidade do microclima pode levar a erros consideráveis, principalmente no caso em que campos irrigados encontram-se circundados por áreas secas. A

magnitude deste erro fica assim condicionada às condições de umidade das áreas circunvizinhas e a velocidade do vento. Resultados comumente encontrados em estudos sobre advecção local, mostram que a taxa de evaporação de uma área relativamente úmida decresce com o decréscimo da velocidade do vento e umidade do solo nas proximidades, e que quando ocorre advecção, o consumo de calor latente (Le) é sempre maior que a energia líquida, disponível ao processo da evapotranspiração.

O conhecimento da presença ou ausência de advecção, em cada região, é essencial para a determinação racional dos requerimentos de água dos cultivos. Em geral quando a evapotranspiração potencial durante uma semana ou mais, é maior que a radiação líquida (R_n) durante aquele período, a existência da advecção é comprovada (BRASSE et alii, 1978).

A existência da advecção tem sido estudada por (ROSEMBERG, 1974; HANKS et alii, 1971; VERMA et alii, 1977; MALEK, 1983; MALEK, 1987). "A maioria dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (E_{To}) não são sensíveis a advecção de modo que a E_{To} pode ser subestimada em até 40% em comparação com a E_{To} medida em lisímetros durante o mesmo período" (HANKS et alii, 1971).

HASHEMI & HABIBIAN (1980), mostraram que devido a advecção regional, a estimativa da E_{To} pelo método do Tanque Classe "A" foi três vezes maior do que a Radiação líquida (R_n), durante os meses mais quentes, no sul do Iran.

MALEK (1983), encontrou que a ETo medida em alfafa com lisímetros foi 85% mais alta que R_n , em Bajgah, durante o mês de julho.

Em regiões áridas do sul da África MALEK (1987), comparou alguns métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) com valores medidos em lisímetros. A análise estatística revelou correlação altamente significativa entre estimativas da ETo pelo método de Penman e o método Tanque Classe "A" modificados pela FAO. Entretanto, durante os períodos em que ocorreram advecções fortes, estimativas pelos métodos do Tanque Classe "A" e Penman modificado subestimaram a ETo .

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Dados Climáticos

Os dados climáticos utilizados neste trabalho foram obtidos da estação meteorológica do município de Parnaíba - Pi (Latitude $2^{\circ}55'S$, Longitude $41^{\circ}36'W$, Altitude 23.4 m) a qual faz parte da rede de estações do Instituto Nacional de Meteorologia - INEMET.

Utilizaram-se dados médios mensais de temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, insolação e precipitação pluviométrica, referente ao período de 1978 a 1987.

Para informações complementares requeridas, foram feitas medidas diárias de temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, insolação e evaporação do tanque classe "A", durante o período de junho à outubro de 1989, na estação meteorológica do INEMET, hoje localizada no Centro Nacional de Pesquisa de Agricultura Irrigada CNPAI - EMBRAPA (Latitude $3^{\circ}05'S$, Longitude $41^{\circ}47'W$, Altitude 46.8 m), distanciando aproximadamente 30 km do local da antiga estação meteorológica, onde obteve-se a série de 10 anos de dados. Os seguintes instrumentos foram utilizados:

- Termohigrógrafo marca Fuess, de rotação semanal com nível de precisão de 1% para a umidade relativa e 0.5°C para temperatura;
- Termômetro de máxima e mínima com precisão de 0.2°C;
- Psicrômetro ventilado com precisão de 0.2°C;
- Tanque Classe "A", em chapa de ferro inox, e micrômetro de gancho com precisão de medida do nível da água de 0.02 mm, assentado sobre estrado de madeira a aproximadamente 15 cm da superfície do solo gramado;
- Anemógrafo universal, marca Fuess, instalado a 10 m de altura;
- Heliógrafo tipo Campbell - stokes, marca Fuess;
- Pluviômetro tipo HH e pluviógrafo marca Fuess com registro diário.

As médias diárias de temperatura e umidade relativa para o período de junho a outubro de 1989, foram determinadas a partir de médias aritméticas entre os valores máximos e mínimos.

Valores da evaporação diária do tanque classe "A" foram determinados a partir de leituras do nível de água no tanque às 7:00 horas da manhã.

A velocidade do vento a 2 m de altura foi determinada a partir dos registros do anemógrafo universal,

considerando-se a média do período dia-noite. Valores médios diários da velocidade do vento a 2 m de altura foram determinados pela seguinte equação:

$$U_z = U_{10} \frac{\ln Z_z/Z_0}{\ln Z_{10}/Z_0},$$

onde:

U_z - velocidade do vento a 2 m de altura, em m/s;

U_{10} - velocidade do vento a 10 m de altura, em m/s;

Z_z - 2 m;

Z_{10} - 10 m;

Z_0 - altura da rugosidade, $Z_0 = 0.01$ m;

A insolação em horas e minutos foi determinada a partir de leituras diretas nos heliogramas.

Para o período de 1978 a 1987 valores médios de umidade relativa e temperatura do ar foram determinados pelas equações:

$$\overline{UR} = (UR\ 12:00 + UR\ 18:00 + 2 \times UR\ 24:00)/4$$

$$\overline{T} = (T\ 12:00 + 2 \times T\ 24:00 + T_{\max} + T_{\min})/5$$

onde, 12:00, 18:00 e 24:00 são horários TMG (com relação ao meridiano de Greenwich).

3.2. Caracterização do Clima

De acordo com a análise dos dados, a região em estudo apresenta um clima úmido pela classificação de Thornthwaite e do tipo Aw' pela classificação de Köppen. Apresenta uma precipitação média anual em torno de 1300 mm com período chuvoso de janeiro à junho. A temperatura média anual é de 27.2°C e umidade relativa média do ar de 74%. A velocidade do vento é em média moderada (2-5 m/s), apresentando durante os meses secos e, em determinados horários durante o dia, velocidade maiores que 5 m/s, a 2 m de altura.

O maior problema climático da região diz respeito a má distribuição pluvial no decorrer do ano, que apresenta duas estações bem definidas: - Uma chuvosa, com 6 meses de duração, onde se concentram 95% das precipitações, e outra seca, na qual as chuvas são escassas. Entre anos, (ver Figura 1 no apêndice) o total anual de precipitação varia de menos que 500 mm até 3000 mm, onde tem-se registrado precipitações de intensidades tão altas quanto 126 mm em 3 horas. Tais condições pluviométricas tem determinado os períodos de cultivos, e são de certa forma, responsáveis pelas produções instáveis na região.

Por se tratar de uma região costeira, localizada próximo a linha equatorial, a temperatura do ar permanece praticamente constante durante o ano e é função da temperatura da superfície do mar, apresentando pouca resposta à variação sazonal da radiação. Outros parâmetros tais como

umidade relativa, velocidade do vento e insolação variam consideravelmente no decorrer do ano.

A velocidade do vento é relativamente alta, e estando o município de Parnaíba, próximo a regiões que apresentam climas semi-áridos, isto caracteriza a presença da advecção regional. Em micro escala observa-se efeitos de advecção local, principalmente em determinadas horas do dia, durante os meses secos, quando a velocidade do vento aumenta consideravelmente.

3.3. Estimativas da Evapotranspiração de Referência (ETo)

Para as estimativas mensais da evapotranspiração de referência (ETo) foram utilizados os métodos de PENMAN, RADIAÇÃO SOLAR, BLANEY-CRIDDLE e TANQUE CLASSE "A" como recomendado por DOORENBOS & PRUITT (1977), e métodos de THORNTWAITE (1948), HARGREAVES (1977), HARGREAVES & SAMANI (1985).

A seleção dos métodos utilizados foi baseado nos trabalhos de DOORENBOS & PRUITT (1977), VILLA NOVA (1982) e informações sobre os métodos de estimativa da ETo mais usados na região NE.

Para todos os métodos utilizados, a evapotranspiração de referência (ETo) 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 ETo expressa em mm dia^{-1} , representa o valor médio diário do mês considerado. Para encontrar a ETo mensal em mm, o valor em mm dia^{-1} deverá ser multiplicado pelo número de dias do mês.

Para verificar a adequação do modelo de Penman modificado pela FAO à região em estudo, foram feitas estimativas da ETo (diárias e para períodos de pântadas), pelos métodos de Penman modificado e tanque Classe "A", durante o período de junho à outubro de 1989, período no qual se dispunha de medidas de evaporação do tanque classe "A".

De acordo com os resultados obtidos quando da comparação entre os valores da ETo, diários e médias de pântadas, determinados pelos dois métodos de estimativa, e devido a inexistência de informações de evaporação do tanque classe "A" na série de anos em estudo, o método de Penman modificado pela FAO, foi tomado como referência para avaliar a eficiência dos demais métodos utilizados.

3.3.1. Método de Penman modificado pela FAO

Expressão geral:

$$E_{To} \text{ PM} = c \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} R_n + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} f(u) (e_s - e) \right]$$

onde:

$$\Delta = \frac{de_s}{dT} \text{ é a tangente a curva } (e_s \times T), \text{ em mm Hg } ^\circ\text{C}^{-1};$$

- γ = $cp.P/0.622 L = 0.24 P/0.622 (597.3 - 0.5 T)$, é a constante psicrométrica em mm Hg . $^{\circ}C^{-1}$;
- R_n = radiação líquida, em mm de evaporação equivalente;
- $f(u)$ = $0.35 (1+0.54 U_2)$ é a função vento do modelo;
- U_2 = velocidade média do vento a 2 m de altura, em m/s;
- e_s = $4.5825 \times 10^{7.5T/(237.5+T)}$, é a pressão de vapor do ar saturado (mm Hg);
- e = $UR \times e_s/100$ pressão do vapor do ar úmido, em mm Hg;
- cp = calor específico do ar úmido à pressão constante (0.24 cal.g^{-1});
- P = pressão atmosférica (mm Hg);
- L = calor latente de evaporação (cal/g);
- UR = umidade relativa média do ar, no período considerado (%);
- c = fator de ajuste para compensar o efeito das condições do tempo diurna e noturna. A Tabela 1 no apêndice, apresenta os valores de c para diferentes condições de $UR_{\text{máx}}$, RS , U_2 diurno e U_2 diurno/ U_2 noturno.

A radiação líquida foi estimada pela equação de Brunt:

$$R_n = Ra(0.25 + 0.50 \frac{n}{N}) (1-\alpha) - \sigma T^4 (0.56 - 0.09 \sqrt{e}) (0.1 + 0.9 \frac{n}{N});$$

onde:

$R_a = R_a(\Phi, \delta)$, radiação solar incidente no topo da atmosfera, em mm de evaporação equivalente;

n = insolação, medida em heliógrafo (horas e décimos);

$N = N(\Phi, \delta)$ número máximo de horas de brilho solar;

$\sigma = 1.1907 \times 10^{-7} \text{ cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1} \text{ } ^\circ\text{K}^{-4}$, constante de Stephan - Boltzman;

α = albedo da superfície vegetada (grama), $\alpha = 0,20$;

T = temperatura média do ar no período considerado ($^\circ\text{K}$);

Φ = latitude;

δ = declinação solar.

3.3.2. Método do Tanque Classe "A"

Os ajustes das leituras de evaporação do tanque classe "A" às estimativas da E_{To} , foram feitos com o emprego dos coeficientes de tanque (K_p), recomendados pela FAO. (Ver Tabela 2 no apêndice).

Expressão geral:

$$E_{ToCA} = K_p \cdot ECA$$

onde:

k_p = coeficiente do tanque, segundo FAO (1977);

ECA = evaporação do tanque classe "A" (mm) período⁻¹.

3.3.3. Método de Blaney-Criddle modificado pela FAO

Utilizou-se a equação do uso consutivo convertido em ETo e adaptada ao uso das unidades do sistema métrico decimal e à escala Celsius, como proposto por DOORENBOS & PRUITT (1977).

Expressão geral:

$$E_{To} B-C = c.p (0.46 T + 8.13)$$

onde:

$E_{To} B-C$ = evapotranspiração da cultura de referência,
mm/dia;

T = temperatura média diária no mês, °C;

p = percentagem de horas de brilho solar diário em relação ao total anual, para um dado mês e latitude do local;

c = fator de correção, que depende da umidade relativa mínima, horas de brilho solar e estimativa da velocidade do vento diário, apresentados para três níveis de UR min., m e U_2 .

3.3.4. Método da Radiação Solar

(Makkink modificado pela FAO)

Expressão geral:

$$E_{To R} = a + b w R_s$$

onde:

$E_{To R}$ = evapotranspiração de referência em mm/dia;

R_s = radiação solar expressa em equivalente lâmina d'água de evaporação ($R_s \cdot L^{-1}$) em mm/dia, L = calor latente de evaporação;

$w = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$, fator de ponderação que depende da temperatura e da altitude;

a, b = são coeficientes que dependem da umidade relativa e velocidade do vento.

R_s = estimado pela equação:

$$R_s = \left(0.25 + 0.50 \frac{n}{N} \right) R_a$$

onde:

R_a = radiação solar incidente no topo da atmosfera, em mm de evaporação equivalente;

n = insolação real (horas e décimos);

N = número máximo de horas de brilho solar.

3.3.5. Método de Thornthwaite

Expressão geral:

$$ETo T = ETo T^* \times N \times ND/360$$

onde:

$ETo T^*$ = evapotranspiração de referência, não corrigida,
i. é, para meses com 30 dias e 12 horas de in-
solação diária;

ND = número de dias do mês;

N = insolação máxima teórica, expressa pela equação:

$$N = \frac{2}{15} \text{ARC COS} (-\tan \Phi \cdot \tan \delta)$$

onde:

Φ - latitude do local;

δ = declinação solar.

$$ETo T^* = \frac{16}{30} (10 T/I)^2$$

onde:

T = temperatura média mensal (°C);

I = índice de calor expresso pela equação:

$$I = \sum_{i=1}^{12} (\bar{T}_i / 5)^{1,514} = (\bar{T}_{\text{jan}} / 5)^{1,514} +$$

$$+ (\bar{T}_{\text{fev}} / 5)^{1,514} + \dots + \bar{T}_{\text{dez}} / 5)^{1,514}$$

onde:

\bar{T} = temperatura média mensal (°C)

$$a = 6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 1,792 \times 10^{-2} I + 0,19239$$

3.3.6. Método de Hargreaves

Expressão geral:

$$E_{To H} = MF \times TF \times CH$$

onde:

$E_{To H}$ = evapotranspiração de referência em mm/dia;

$$MF = 0,00483 \times RMM \times DL/12 \times CL$$

onde:

$TF = 32 + 1,8 \times \bar{T}$ (°C), temperatura média em graus farenhaite;

$CH = 0,158 \times (100 - \overline{UR})^{1/2}$, coeficiente para umidade relativa;

RMM = radiação extra-terrestre expressa em mm de evaporação equivalente;

DL = insolação máxima teórica (horas e décimos);

$CL = 0,17 (70 - ABL)^{1/2}$, coeficiente para variação da latitude;

onde:

ABL = valor absoluto da latitude;

$$\bar{T} = (T_{12:00} + 2 \times T_{24:00} + T_{\max} + T_{\min})/5$$

3.3.7. Método de HARGREAVES & SAMANI (1985)

Expressão geral:

$$E_{To\ H-S} = 0.0023 \times RA \times TD^{0.5} (TC + 17.8)$$

onde:

$E_{To\ H-S}$ = evapotranspiração de referência em mm/dia;

RA = radiação solar incidente no topo da atmosfera em mm de evaporação equivalente;

ID = diferença entre a temperatura máxima média e temperatura mínima média;

TC = temperatura média em graus Celsius ($^{\circ}C$) = $(\bar{T}_{máx} + \bar{T}_{mín})/2$

3.3.8. Método proposto

A equação proposta para estimativa da E_{To} , foi determinada a partir de correlações entre a E_{To} estimada pelo método de Penman modificado pela FAO e os valores médios de temperatura, umidade relativa do ar, déficit de saturação, velocidade do vento, radiação e insolação.

Para cada mês em todos os anos (10 anos) correlacionaram-se estimativas mensais do E_{To} pelo método de Penman modificado com diferentes elementos do clima (T, UR, ds, v, n/N, Rn).

A seleção das variáveis climáticas, utilizadas no modelo, foi feita em função da análise de variância das equações de regressões.

Apesar de verificar-se alta correlação entre a ETo e radiação líquida (Rn), as variáveis radiação líquida, velocidade do vento e insolação foram excluídas do modelo, o qual tem como finalidade, determinar a ETo em função de elementos do clima geralmente encontrados nos registros da maioria das estações meteorológicas.

O modelo proposto corresponde a uma equação de regressão linear múltipla do tipo:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + \dots + b_n x_n + e$$

onde:

y = ETo = variável dependente;

b_0 = constante da equação de regressão;

b_1, b_2, b_3, b_4 = coeficientes da equação;

x_1 = temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$);

x_2 = umidade relativa média do ar, em décimos;

x_3 = déficit de saturação, ds, em mm Hg

x_4 = déficit de saturação, elevado ao quadrado ds^2 ;

x_n = outras variáveis climáticas;

e = erro do acaso.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Relativos a Comparação Entre Valores Diários da ETo Determinados Pelos Métodos de Penman Modificado pela FAO e Tanque Classe "A"

Para verificar a adequação do modelo de Penman modificado pela FAO à região em estudo, os valores da evapotranspiração de referência (ETo), determinados pelo método de Penman modificado, foram comparados com os valores da ETo determinados pelo método do tanque classe "A", durante o período de junho a outubro de 1989.

Os valores diários e médias de pântadas da ETo, determinados pelos dois métodos, são apresentados nas Figuras 1, 2, 3, 4, 5 e 6 respectivamente.

Para comparação entre os valores médios de pântadas da ETo determinados pelos dois métodos utilizou-se o teste de Duncan.

A análise estatística revelou não existir diferenças significativas, ao nível de 1% de probabilidade, entre os valores da ETo obtidos pelo método de Penman modificado pela FAO (método considerado padrão) e o método do Tanque Classe "A" (Tabela 1).

Tabela 1 - Teste de Duncan para comparação de valores médios de pântadas, determinados pelos métodos de Penman modificado e Tanque Classe "A", durante o período de junho a outubro de 1989, para o município de Parnaíba - PI.

NUM. ORDEM	NUM. TRAT.	NOME	NUM. REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	2	ETOCA	29	5.622414	5.622414	a	A
2	1	ETOPM	29	5.486552	5.486552	a	A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado.

Nas Figuras 1, 2, 3, 4, 5 e 6, observa-se que melhor ajuste foi obtido quando se considerou médias de períodos de pântadas, o que está de acordo com observações feitas por DOORENBOS & PRUITT, 1977; BERLATO & MOLION, 1980; VILLA NOVA, 1983; entre outros, que afirmam que melhores estimativas da ETo pelo método de Tanque Classe A, são obtidas para períodos de 5 à 10 dias ou mais.

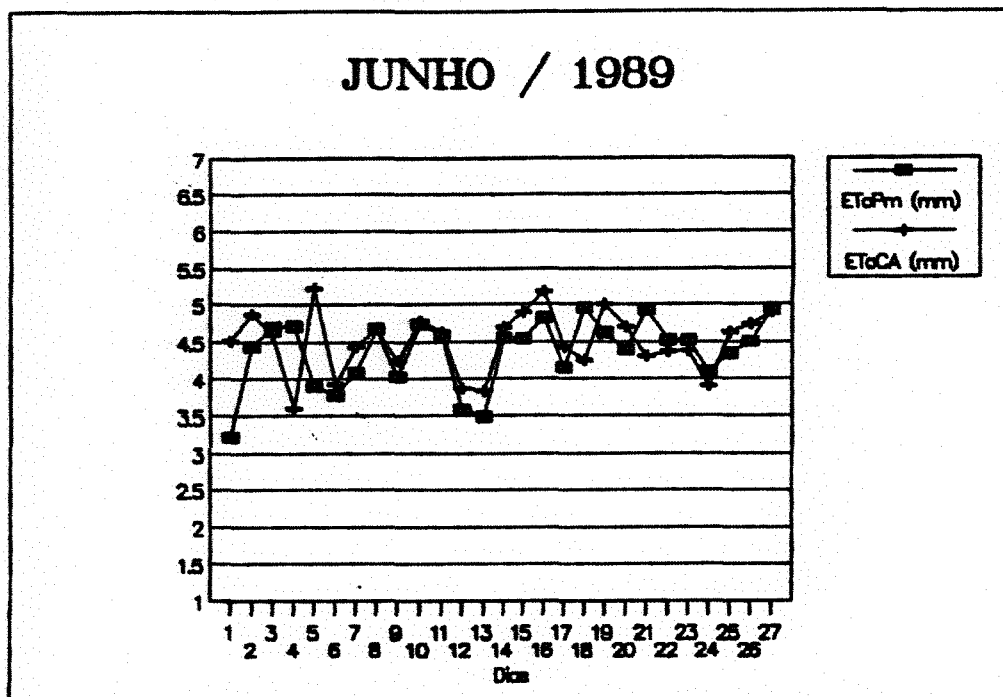


Figura 1 -Valores diários da ETo determinados pelo método de Penman modificado pela FAO e método do Tanque Classe "A", (mm/dia) para o mês de junho de 1989.

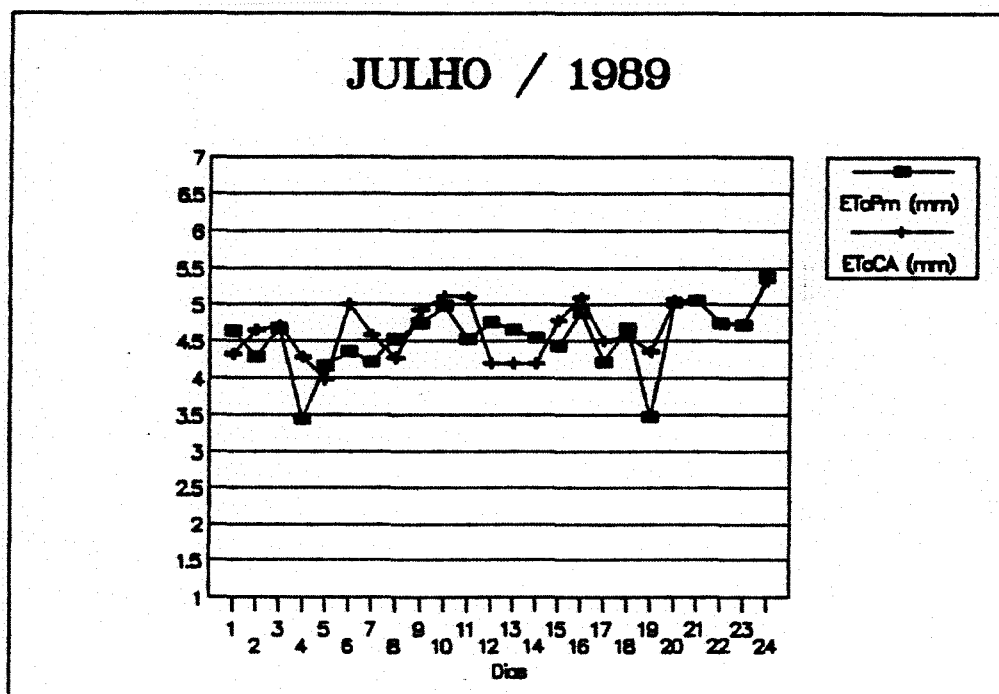


Figura 2 -Valores diários da ETo determinados pelo método de Penman modificado pela FAO e método do Tanque Classe "A", (mm/dia) para o mês de julho de 1989.

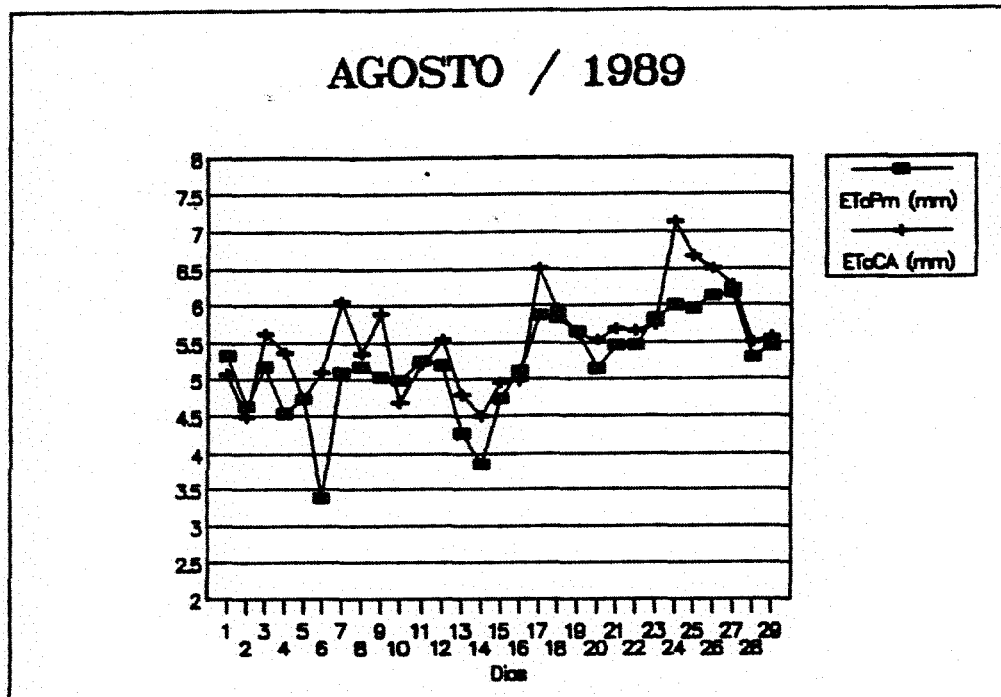


Figura 3 -Valores diários da ETo determinados pelo método de Penman modificado pela FAO e método do Tanque Classe "A", (mm/dia) para o mês de agosto de 1989.

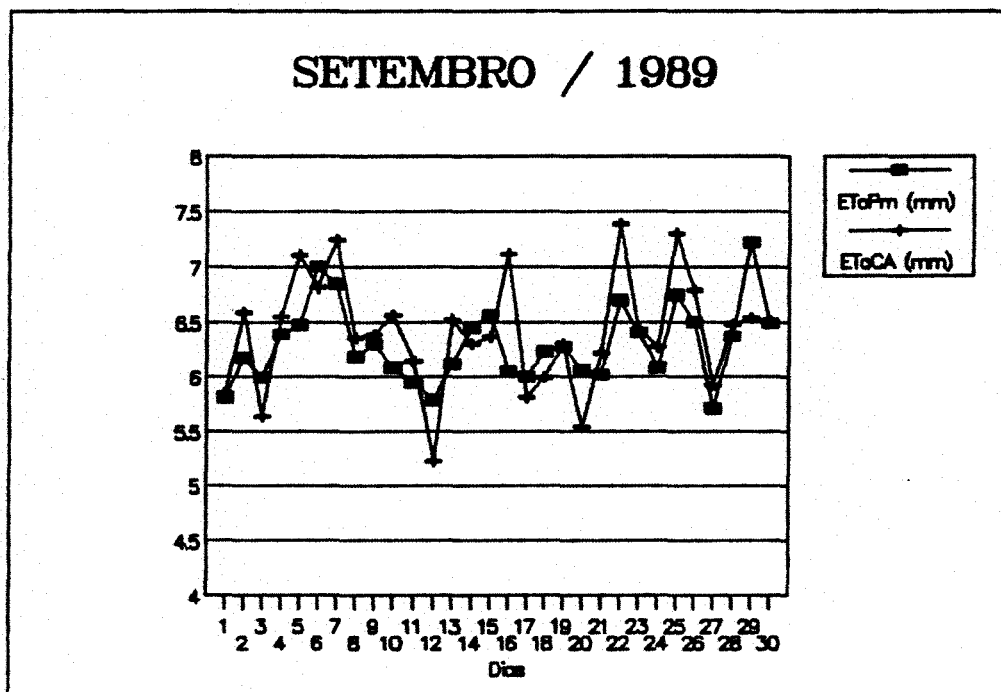


Figura 4 -Valores diários da ETo determinados pelo método de Penman modificado pela FAO e método do Tanque Classe "A", (mm/dia) para o mês de setembro de 1989.

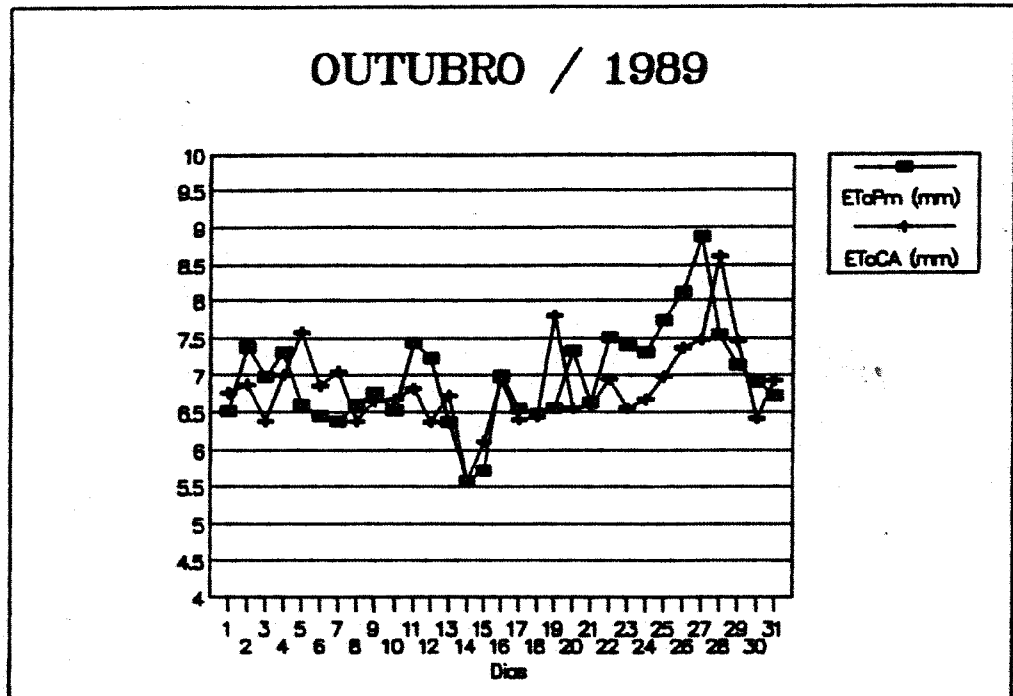


Figura 5 -Valores diários da ETo determinados pelo método de Penman modificado pela FAO e método do Tanque Classe "A", (mm/dia) para o mês de outubro de 1989.

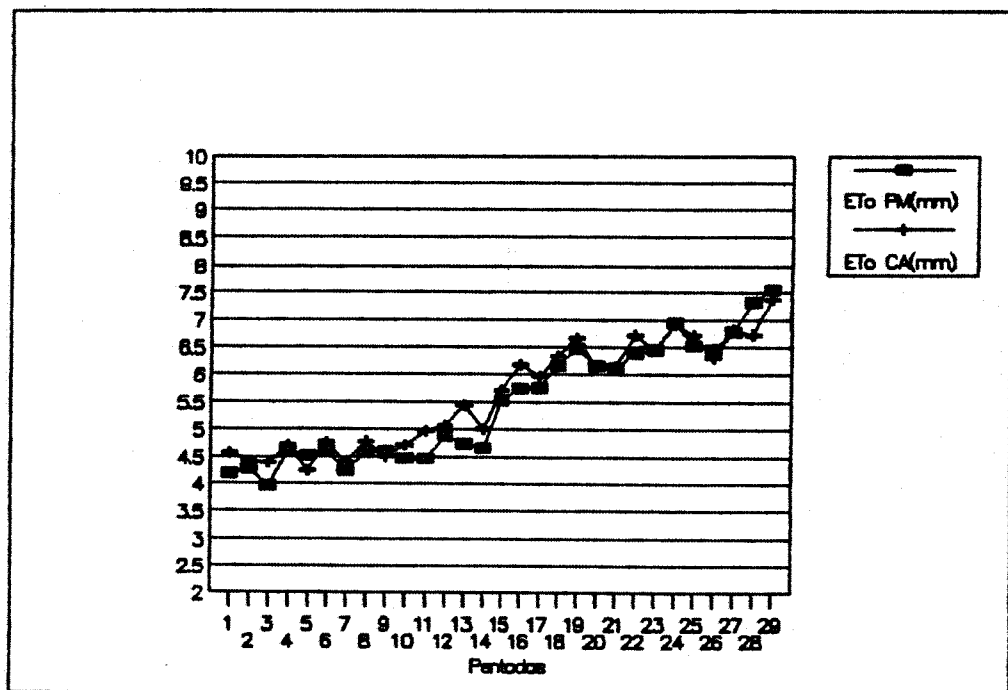


Figura 6 -Valores da ETo para médias de pêntricas, (mm/período), referente ao período de junho a outubro de 1989.

A estimativa da ETo pelo método do Tanque Classe "A", fundamenta-se no ajuste das perdas de água por evaporação de uma superfície de água livre à superfícies vegetadas.

Embora as leituras do Tanque Classe "A", estejam sujeitas a erros que se originam desde as condições de sua instalação, falta de atenção dos observadores até as suas próprias limitações, as mesmas variáveis climáticas que atuam na evaporação da superfície de água livre do tanque, atuam também na evapotranspiração. Se instalado e operado corretamente, a evaporação do tanque classe "A" pode proporcionar estimativas da ETo bem próximas da realidade como verificam (FUCHES & STANHILL, 1963; DOSS *et alii*, 1964; PRUITT, 1966; VILLA NOVA *et alii*, 1982; ENCARNAÇÃO, 1980; ENCARNAÇÃO, 1987).

Apesar da diversidade dos resultados encontrados na estimativa da ETo, pelos diversos métodos existentes na literatura, pesquisas desenvolvidas por (CORTOLANI *et alii*, 1966; JENSEN, 1973; PRUITT & DORENBOS, 1977; ENCARNAÇÃO, 1980; BURMAN *et alii*, 1983; AMORIN NETO, 1985; ALLEN *et alii*, 1989), em regiões com diferentes condições climáticas, têm mostrado que existe uma estreita relação entre a ETo medida em lisímetros e estimada pelos métodos de Penman e Tanque Classe "A". Para os outros métodos de estimativas, têm-se observado resultados bem diferentes em função das condições climáticas de cada região. Esses trabalhos, mostram claramente que os métodos de estimativa,

especialmente os mais empíricos, têm desempenhos diferentes em condições climáticas mais extremas, como em elevada altitude, latitude equatoriais e climas de costas marítimas ou de vales, e são evidências experimentais da razoável universalidade dos métodos de Penman e do Tanque Classe "A" que têm a característica comum, de se fundamentarem em princípios físicos inerentes ao processo de evaporação.

A verificação da não existência de diferenças significativas entre os valores estimados da ETo pelos dois métodos, e as evidências experimentais encontradas na literatura, nos leva a crer que o método de Penman modificado pela FAO, pode ser tomado como referência, para avaliar a eficiência, ou adequação, dos demais métodos utilizados neste estudo.

É possível que o método de Penman modificado possa estar subestimando ou superestimando a ETo, porém, a quantificação precisa da porcentagem da ETo superestimada ou subestimada só será possível de ser determinada a partir de valores da ETo medidos em lisímetros. Esses, deverão ser usados para o ajuste deste modelo às condições climáticas da região em estudo.

4.2. Relativos a Estimativa Mensais da ETo pelo Método de Penman Modificado pela FAO

As Figuras de números 7 à 16 mostram o curso anual da ETo, determinados pelo método de Penman modificado,

as contribuições dos termos energéticos (TE) e aerodinâmico (TA) da expressão de Penman. Além da radiação líquida (Rn), para o período de 1978 à 1987.

Observa-se que para todos os anos em estudo, a ETo foi maior que a radiação líquida (Rn), durante o período de junho a janeiro, o que de acordo com BRAKKE *et alli*, 1978 HASHEMI & HABIBIAN, 1980; MALEK, 1983; indica a presença de advecção durante este período, seja de caráter local e/ou regional.

Em todos os anos verifica-se um aumento na contribuição do termo aerodinâmico (TA), do modelo, durante o período seco. Este fato é atribuído principalmente ao aumento da velocidade do vento. Nos meses em que ocorrem advecção, a importância relativa da velocidade do vento e umidade relativa na ETo torna-se maior que nos meses úmidos.

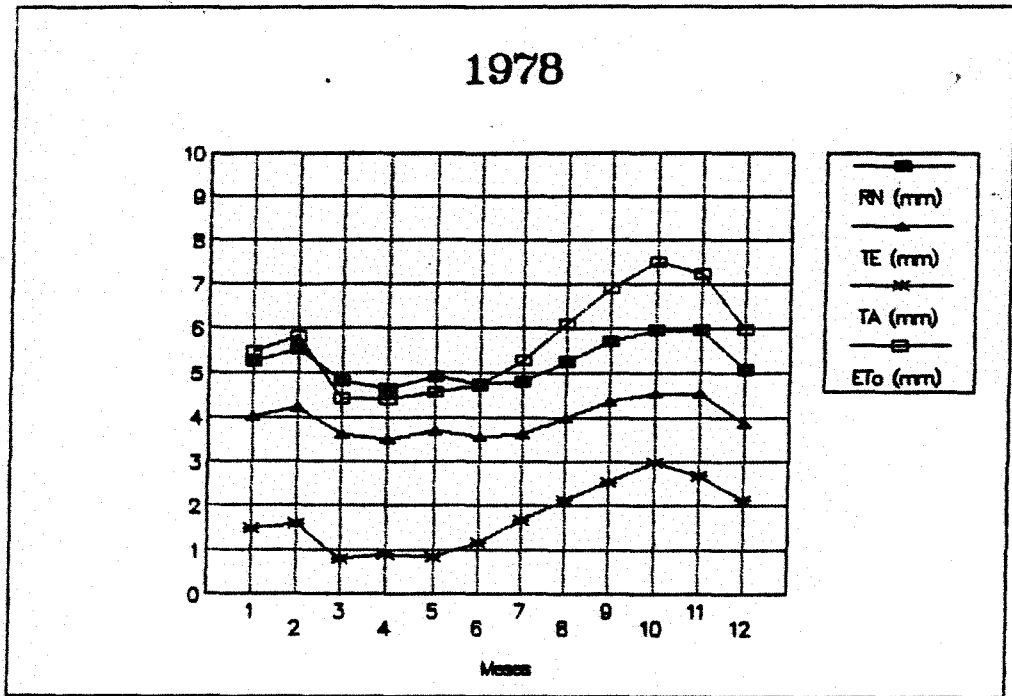


Figura 7 - Curso anual da ETo, Rn, TA e TE, referente ao ano de 1978, para o município de Parnaíba-PI.

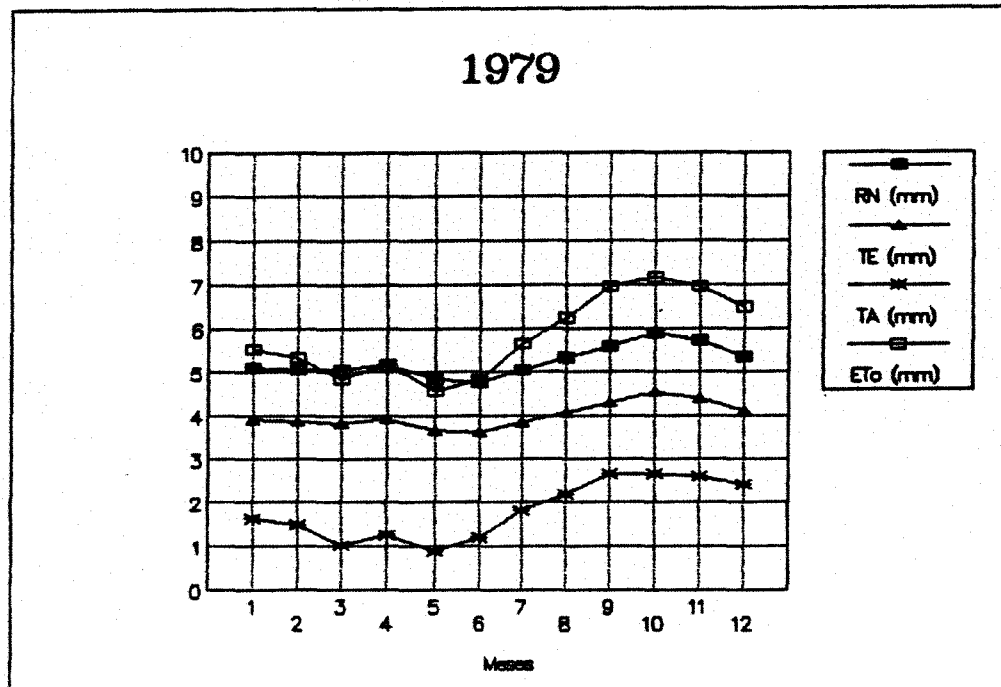


Figura 8 - Curso anual da ETo, Rn, TA e TE, referente ao ano de 1979, para o município de Parnaíba-PI.

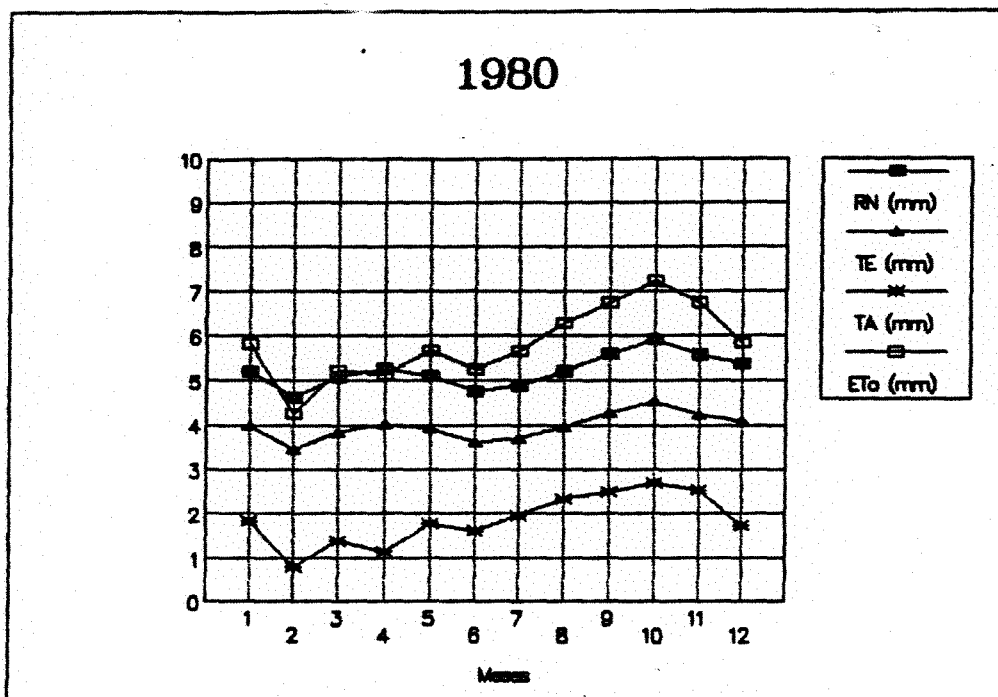


Figura 9 - Curso anual da ETo, Rn, TA e TE, referente ao ano de 1980, para o município de Parnaíba-PI.

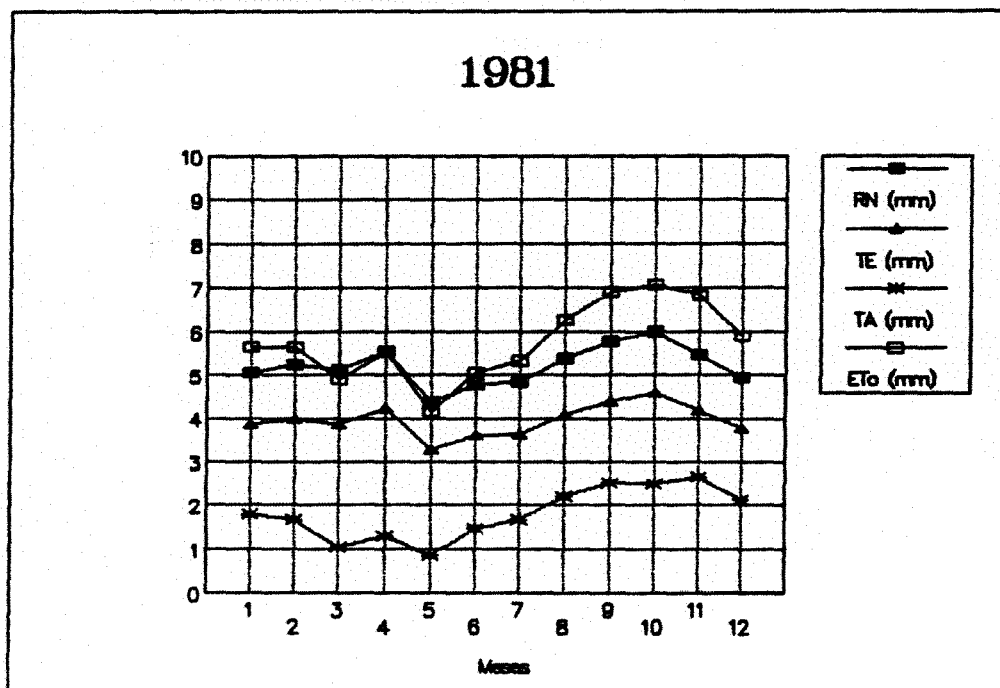


Figura 10 - Curso anual da ETo, Rn, TA e TE, referente ao ano de 1981, para o município de Parnaíba-PI.

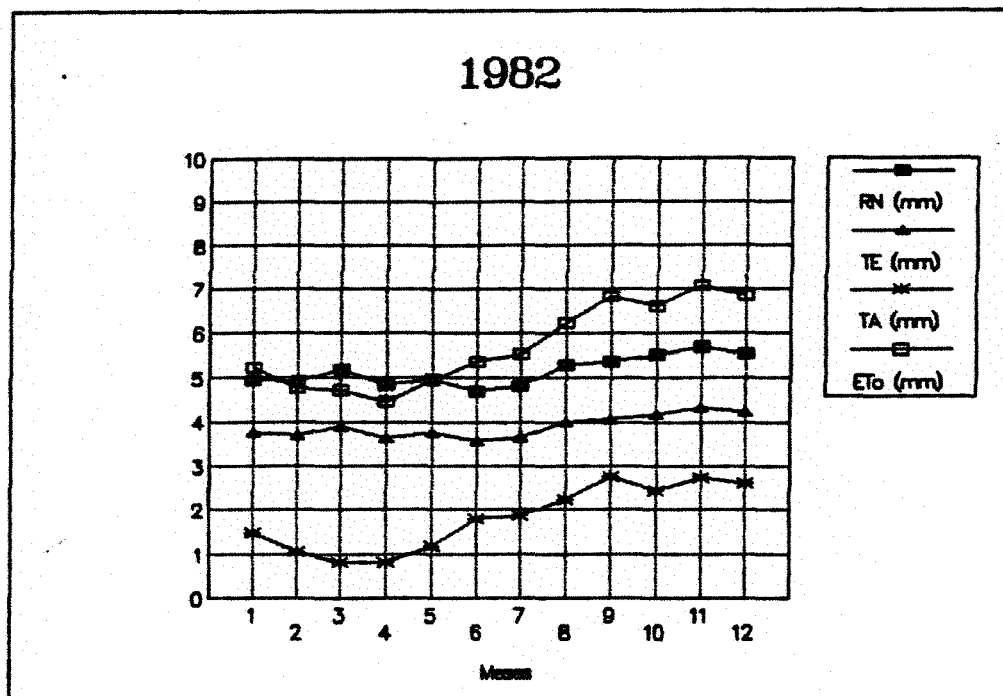


Figura 11 - Curso anual da ETo, Rn, TA e TE, referente ao ano de 1982, para o município de Parnaíba-PI.

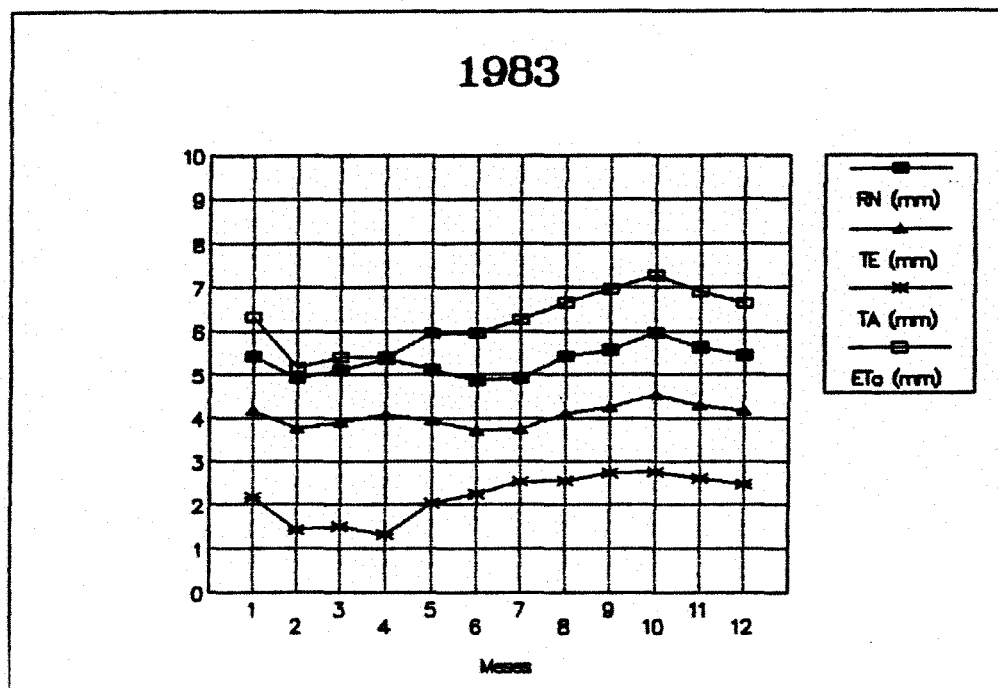


Figura 12 - Curso anual da ETo, Rn, TA e TE, referente ao ano de 1983, para o município de Parnaíba-PI.

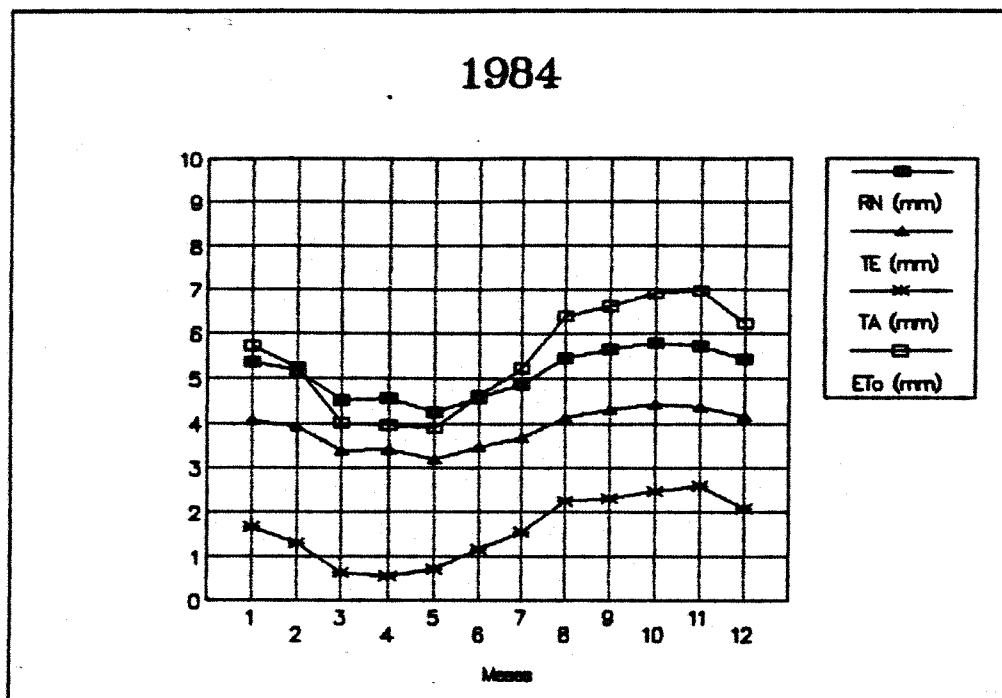


Figura 13 - Curso anual da ETo, Rn, TA e TE, referente ao ano de 1984, para o município de Parnaíba-PI.

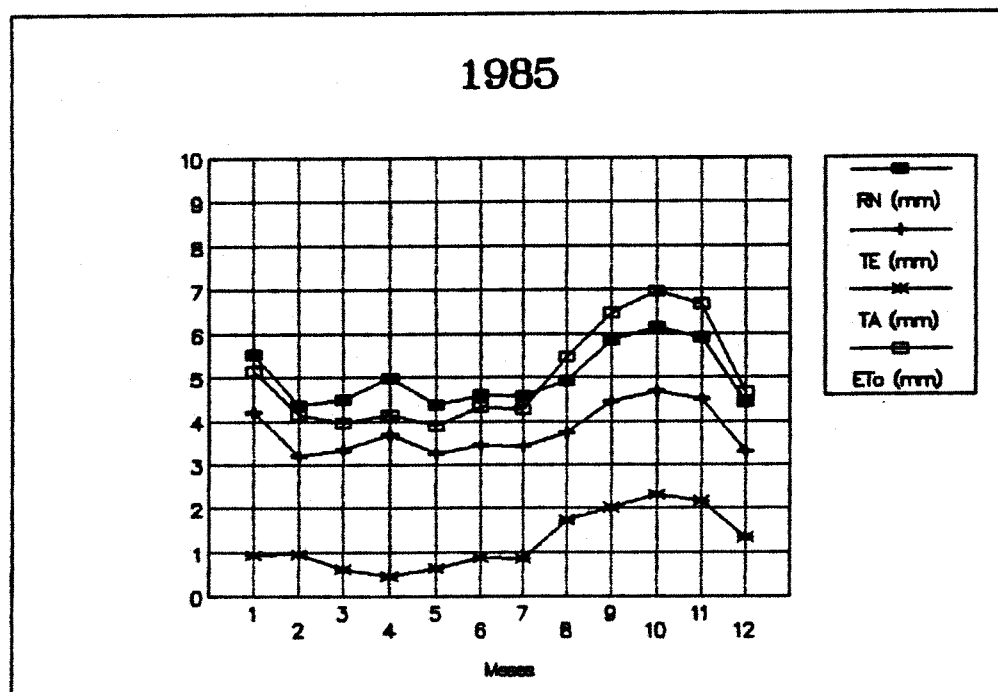


Figura 14 - Curso anual da ETo, Rn, TA e TE, referente ao ano de 1985, para o município de Parnaíba-PI.

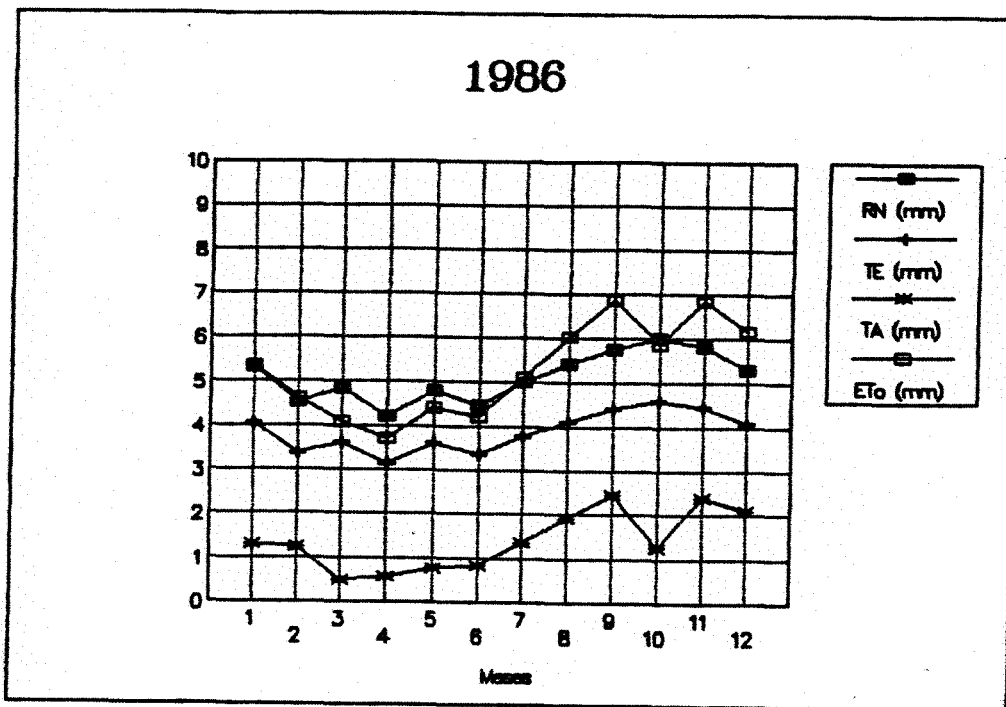


Figura 15 - Curso anual da ETo, Rn, TA e TE, referente ao ano de 1986, para o município de Parnaíba-PI.

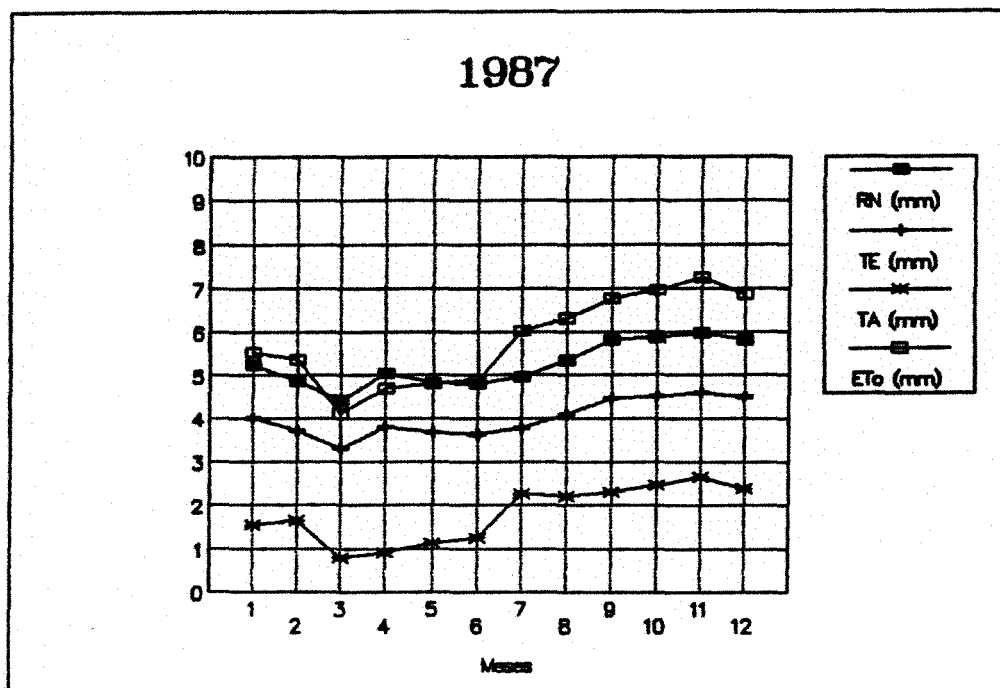


Figura 16 - Curso anual da ETo, Rn, TA e TE, referente ao ano de 1987, para o município de Parnaíba-PI.

4.3. Relativos a Avaliação da Eficiência dos Métodos de Estimativa da ETo Utilizados Neste Estudo

Para a avaliação da eficiência dos métodos de estimativa da ETo, o método de Penman modificado foi tomado como referência.

Para cada mês, durante o período de 1978 a 1987, valores médios da ETo, em mm dia^{-1} , obtidos pelos métodos de Penman modificado, Radiação Solar, Thornthwaite, Blaney-Criddle, Hargreaves e Hargreaves & Samani são apresentados nas Tabelas 3, 4, 5, 6, 7 e 8 no apêndice.

A Tabela 2 mostra as médias mensais da ETo, durante o período de 1978 a 1987.

Para comparação dos métodos de estimativas da ETo com o método considerado padrão (método de Penman modificado) utilizou-se o teste bilateral de Dunnet.

A análise estatística dos resultados, revelou não existir diferenças significativas, ao nível de 1% de probabilidade, entre valores ETo obtidos com o método considerado padrão (método de Penman modificado) e os obtidos com os métodos da Radiação solar. Houve entretanto, diferença significativa nos valores obtidos com o emprego dos métodos de Hargreaves, Hargreaves & Samani, Thornthwaite e Blaney-Criddle. Ao nível de 5% de probabilidade não houve diferença significativa entre o método de Thornthwaite e o método de Penman (Tabela 3).

Tabela 2 - Médias mensais da evapotranspiração de referência (ET_o), referente ao período de 1978-1987. mm/dia, estimada pelos diferentes métodos.

	PENMAN*	RADIAÇÃO*	BLANEY-CRIDDLE*	THORNTHWAITE (1948)	HARGREAVES (1977)	HARGREAVES & SAMANI (1983)	MÉTODO PROPOSTO
Jan.	5.58	4.82	3.57	5.10	4.77	4.36	5.43
Fev.	5.03	4.44	3.49	4.69	4.48	4.37	4.90
Mar.	4.56	4.14	3.51	4.33	3.78	4.37	4.40
Abr.	4.66	4.26	3.35	4.45	3.82	4.31	4.60
Mai.	4.68	4.24	4.13	4.70	3.74	4.27	4.91
Jun.	4.92	4.53	4.12	4.60	3.88	4.30	5.27
Jul.	5.43	4.91	4.72	4.57	4.29	4.48	5.69
Ago.	6.20	5.97	4.77	4.85	4.85	4.72	6.35
Set.	6.79	6.36	4.80	5.02	5.32	4.71	6.70
Out.	6.95	6.37	5.04	5.16	5.46	4.70	6.72
Nov.	6.94	6.46	5.07	5.23	5.42	4.53	6.71
Dez.	6.16	5.07	4.38	5.27	5.03	4.36	6.23

* Modificado pela FAO.

Tabela 3 - Teste bilateral de Dunnett para comparação de médias mensais da ET_o obtidas pelo método de Penman modificado pela FAO com médias da ET_o determinadas pelos demais métodos.

NUM. ORDEM	NUM. TRAT.	NOME	NUM. REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	1%	5%	
		TESTEMUNHA		Penman	5.658333	5.658333		
1	7	Proposto	12	5.659157	5.659157	NS	NS	
3	2	Radiação	12	5.130833	5.130833	NS	NS	
4	4	Thornt.	12	4.830833	4.830833	**	NS	
5	5	Hargreave	12	4.570000	4.570000	**	**	
6	6	Har. - Sam.	12	4.456667	4.456667	**	**	
7	3	B-Criddle	12	4.245833	4.245833	**	**	

**

- Tratamentos que diferem da testemunha

NS - Tratamentos que não diferem da testemunha

Para comparação entre os valores médios mensais da ETo determinados por todos os métodos de estimativas, tomados dois a dois, utilizou-se o teste de Duncan.

A análise estatística dos dados, revelou que, ao nível de 1% de probabilidade os métodos de Thorntwaite, Hargreaves & Samani não diferem entre si, diferindo, entretanto, dos métodos de Penman, Radiação solar e Proposto, os quais não diferiram entre si. O método de Blaney-Criddle diferiu estatisticamente dos demais métodos (Tabela 4).

Tabela 4 - Teste de Duncan para comparação de médias mensais da ETo obtidas pelos diferentes métodos.

NUM. ORDEM	NUM. TRAT.	NOME	NUM. REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	1%	5%
1	7	Proposto	12	5.659157	5.659157	a	A
2	1	Penman	12	5.658333	5.658333	a	A
3	2	Radiação	12	5.130833	5.130833	ab	AB
4	4	Thornt.	12	4.830833	4.830833	bc	BC
5	5	Hargreav.	12	4.570000	4.570000	c	BC
6	6	Har.-Sam.	12	4.456667	4.456667	c	BC
7	3	B-Criddle	12	4.245833	4.245833	c	C

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significativa indicado

DMS 1% = .8056

DMS 5% = .6164

Nenhuma diferença significativa era esperada entre os valores da ETo, determinados pelos métodos de Penman e Proposto, visto que, a equação do modelo proposto, foi determinada a partir de estimativas da ETo pelo método de Penman.

De acordo com os resultados, deve-se ter cautela quando da utilização dos métodos de Blaney-Criddle, Hargreaves e Hargreaves & Samani para a região em estudo. Se os dados de temperatura forem os únicos dados disponíveis, em registros, recomenda-se o método de Thornthwaite. Apesar da pequena variação da temperatura no decorrer do ano, o curso anual da ETo determinado pelo método de Thornthwaite, segue aproximadamente aqueles determinados pelos métodos da Radiação e Penman modificado (Figura 17). Isto deve-se ao fato, do parâmetro "a" do método de Thornthwaite ser uma função cúbica do índice de calor I, o qual é estimado a partir da temperatura média elevado a um expoente maior que um, o que faz com que o modelo seja sensível a uma pequena variação de temperatura.

Na região em estudo, ocorre pouca variação da temperatura ao longo do ano, enquanto outros parâmetros meteorológicos como umidade relativa e velocidade do vento variam consideravelmente (Figuras 2 e 3 no apêndice). Nessas condições, é provável que as estimativas da ETo determinadas por modelos desenvolvidos a partir de correlações lineares simples entre a ETo e temperatura, não conduzam a estimativas precisas da evapotranspiração de referência (ETo). Somente para condições climáticas semelhantes àquela onde foi desenvolvido tal modelo, pode-se obter melhores estimativas. Por outro lado o empirismo contido nesses modelos é inevitavelmente maior que naqueles que apresentam mais que uma variável climática em suas formulações.

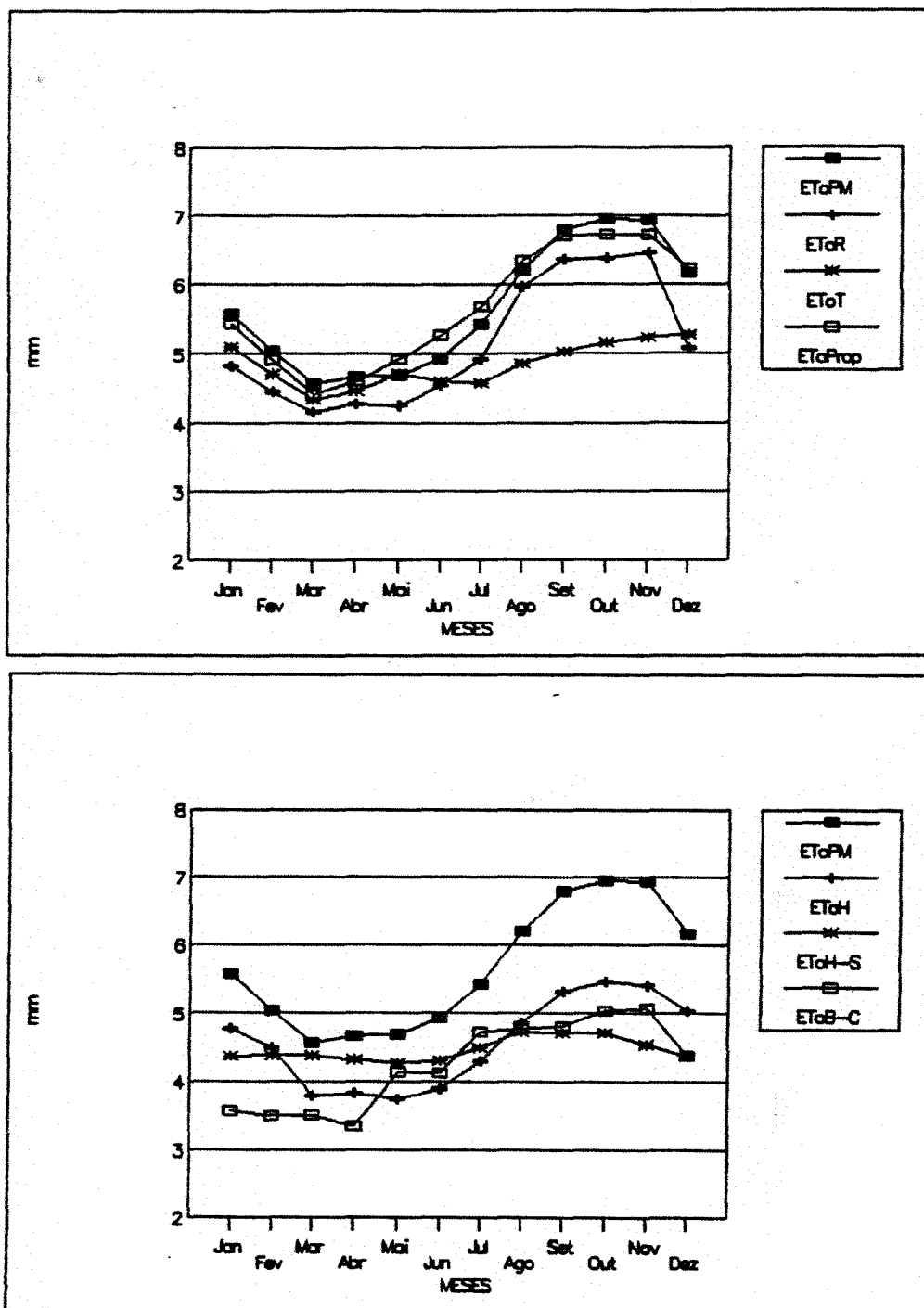


Figura 17 - Curso anual dos valores médios da ETo (mm/dia), referentes ao período de 1978 a 1987, determinados pelos métodos de: Penman modificado pela FAO (EToPM), Radiação (EToR), Thornthwaite (EToT), Proposto (EToProp), Hargreaves (EToH), Hargreaves & Samani (EToH-S) e Blaney-Criddle (EToB-C), para o município de Parnaíba - PI.

4.4. Relativos ao Modelo Proposto

O modelo proposto para a estimativa da ETo, é um modelo matemático do tipo:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + e$$

onde:

y = variável dependente, evapotranspiração de referência (ETo), em mm dia^{-1} ;

b_0 = constante do modelo;

b_1, b_2, b_3, b_4 são os coeficientes da equação de regressão linear múltipla;

x_1 = temperatura média mensal, em $^{\circ}\text{C}$;

x_2 = umidade relativa média em décimos;

x_3 = déficit de saturação (ds), em mm Hg;

x_4 = déficit de saturação elevado ao quadrado (ds^2).

A equação proposta para estimativa da ETo é:

$$ETo = 40.0011 + 1.1450T - 63.9905UR - 3.4412ds + 0.1226ds^2$$

onde:

$$ds = es - e$$

em que:

$$es = 4.5825 \times 10^{7.5 T / (237.5 + T)}, \text{ mm Hg};$$

$$e = UR \times es$$

onde:

ds = déficit de saturação, de vapor d'água do ar mm Hg;

e_s = pressão de vapor do ar saturado, mm Hg;

e = pressão parcial do vapor d'água, mm Hg;

T = temperatura média do ar em $^{\circ}C$;

UR = umidade relativa média em décimos.

A equação proposta foi desenvolvida a partir de correlações entre a ET_o estimada pelo método de Penman modificado pela FAO e os valores médios de temperatura, umidade relativa e déficit de saturação.

A seleção dos variáveis utilizados no modelo foi feita em função da análise de variância das equações de regressões, obtidas a partir de correlações isoladas e em grupo entre a ET_o e todas variáveis climáticas utilizadas neste trabalho (T , UR , V , R_n , n/N e ds).

Embora tenha-se verificado alta correlação entre ET_o e radiação líquida, as variáveis radiação líquida (R_n), velocidade do vento (v) e razão de insolação (n/N), foram excluídas do modelo, o qual tem como finalidade determinar a ET_o em função de elementos do clima, geralmente encontrados na maioria das estações meteorológicas.

Após a seleção das variáveis, foi feita a análise de variância com as regressões múltiplas para várias combinações entre as variáveis selecionadas (Quadro 1).

Quadro 1 - Análise da variância de regressões lineares múltiplas de várias combinações entre ETo e T, UR, ds e ds².

ÍNDICE VARIÁVEIS	Q. M. REGRESSÃO	Q. M. RESÍDUO	VALOR F	PROB. >F	COEFIC. DETERM.
1 2 3 4	27.140996	0.096221	282.0694	0.00001	0.907503
1 3 4	35.984410	0.100657	257.4968	0.00001	0.902397
1 2 4	35.924308	0.102211	251.4722	0.00001	0.900890
2 3 4	35.873807	0.103517	246.5498	0.00001	0.899624
2 4	53.758804	0.103520	519.3107	0.00001	0.898756
1 4	53.568245	0.106777	501.6835	0.00001	0.895570
3 4	53.399713	0.109658	486.9666	0.00001	0.892752
4	106.409187	0.112036	949.7797	0.00001	0.889490
1 2 3	35.199485	0.120956	291.0098	0.00001	0.882713
2 3	52.385242	0.126999	412.4847	0.00001	0.875792

1 = T
2 = UR
3 = DS
4 = DS²

Observa-se no Quadro 1, que para estas combinações, todas as regressões lineares múltiplas foram significativas, e apresentaram altos coeficientes de determinação, sendo que, a equação de regressão linear múltipla, que utiliza as quatro variáveis do modelo, foi a que apresentou o menor quadrado médio do resíduo e maior coeficiente de determinação, significando que esta proporciona melhores estimativas da ETo que as demais.

A análise de regressão é apresentada no Quadro 2. A análise de variância revelou que a regressão é significativa com coeficiente de determinação de 0.91 e coeficiente de correlação múltiplo de 0.95 (Quadro 3).

Quadro 2 - Análise de Regressão.

VAR.	COEF. REGR.	ERRO PADRÃO	VALOR T	PROB. >T
T	1.1450	.3658	3.130	.00222
UR	-68.9905	25.3987	-2.519	.01313
ds	-3.4412	1.2001	-2.867	.00492
(ds) ²	.1226	.0221	5.552	.00000
Constante	40.0011			
Erro Padrão da Estimativa =		.9102		
R Quadrado =		.9075		
R Múltiplo =		.9526		

Quadro 3 - Análise de Variância do modelo proposto.

C. V.	G. L.	S. Q.	G. M.	VALOR F	PROB. >F
Regressão	4	108.5639880	27.1409958	282.0694	0.00001
Resíduo	115	11.0654115	0.0962210		
TOTAL	119	119.6293945			
R ²		0.9075026			
R Múltiplo		0.9526			

Valores da ETo determinados pelo método Proposto, referente ao período de 1978 a 1987, são apresentados na Tabela 9 no apêndice. O curso anual da ETo estimado pelo método Proposto pode ser visto na Figura 17.

Das variáveis utilizadas no modelo, o déficit de pressão do vapor pareceu ser a mais associada a ETo.

Observa-se nas Figuras de números 18 à 27, que em todos os anos, as variações do déficit de saturação acompanham aproximadamente as variações da ETo. Isto deve-se ao fato de que todos os fatores naturais, que incrementam a diferença ($ds = es - e$), são parâmetros do clima que atuam no processo da evaporação como mostra VILLA NOVA (1982). A radiação solar, age aumentando a temperatura do ar e conseqüentemente o valor da pressão do vapor do ar saturado (es). A pressão parcial do vapor d'água (e), nas adjacências da superfície evaporante, diminui com o aumento da velocidade do vento. A umidade relativa do ar é inversamente proporcional a temperatura. Quando a umidade relativa diminui, " es " aumenta, porém o valor de " e " também aumenta, o que explica os valores baixos de " ds " durante os meses mais úmidos (fevereiro, março e abril). Todas estas variáveis agem simultaneamente no déficit de saturação, tornando-se impossível separar a ação isolada de cada variável. Desta forma, a evapotranspiração e evaporação de superfícies livremente expostas, estão mais associadas ao déficit de saturação do que a elementos isolados do clima.

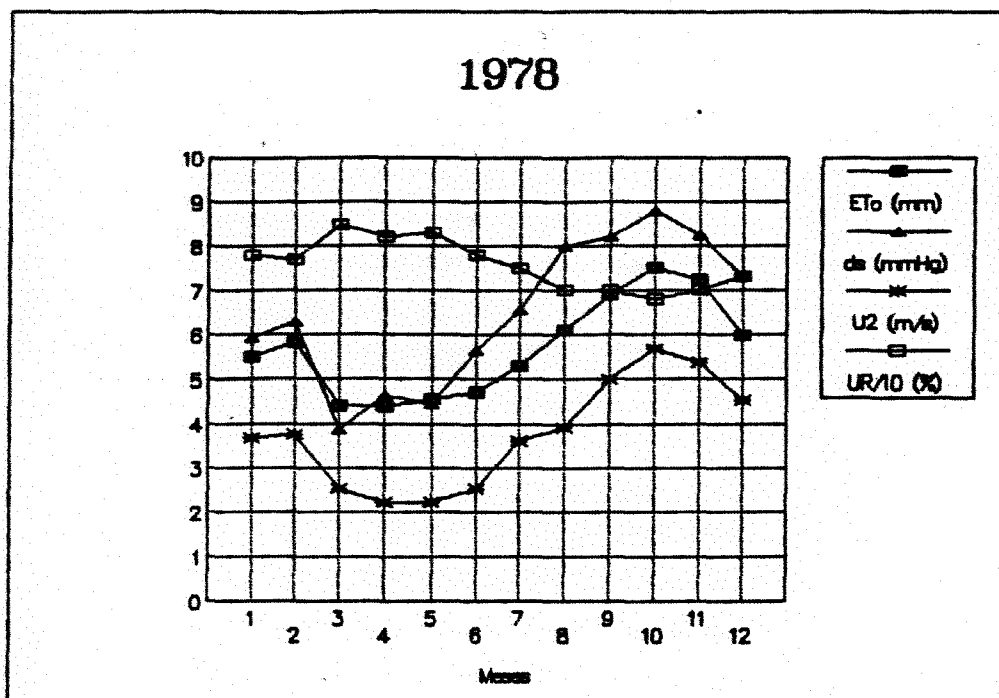


Figura 18 - Curso anual da ETo, ds, U_2 e UR referente ao ano de 1978, para o município de Parnaíba - PI.

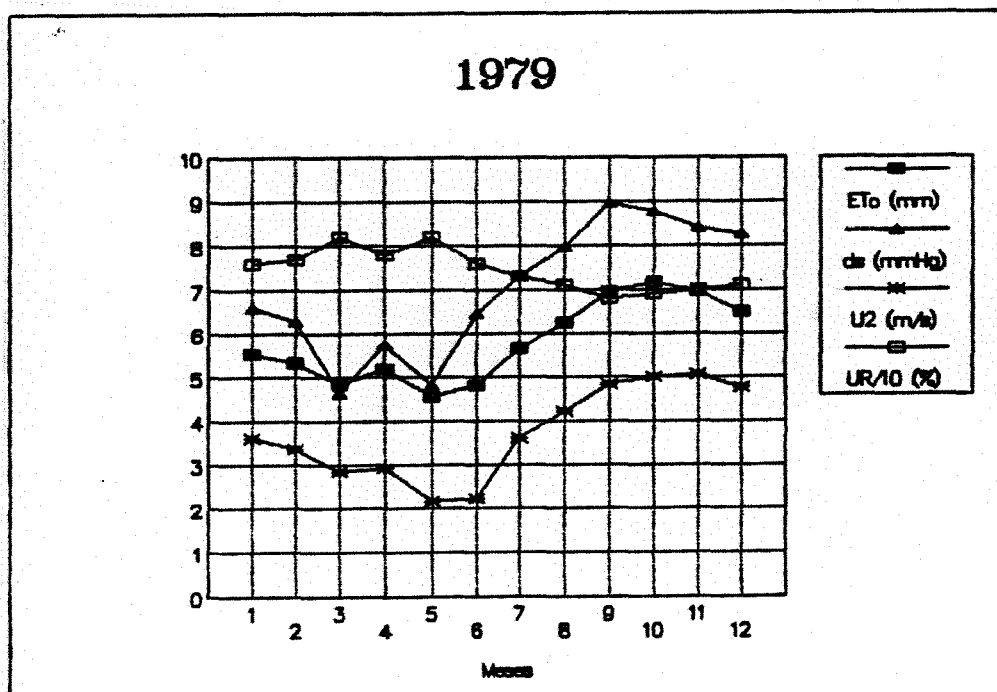


Figura 19 - Curso anual da ETo, ds, U_2 e UR referente ao ano de 1979, para o município de Parnaíba - PI.

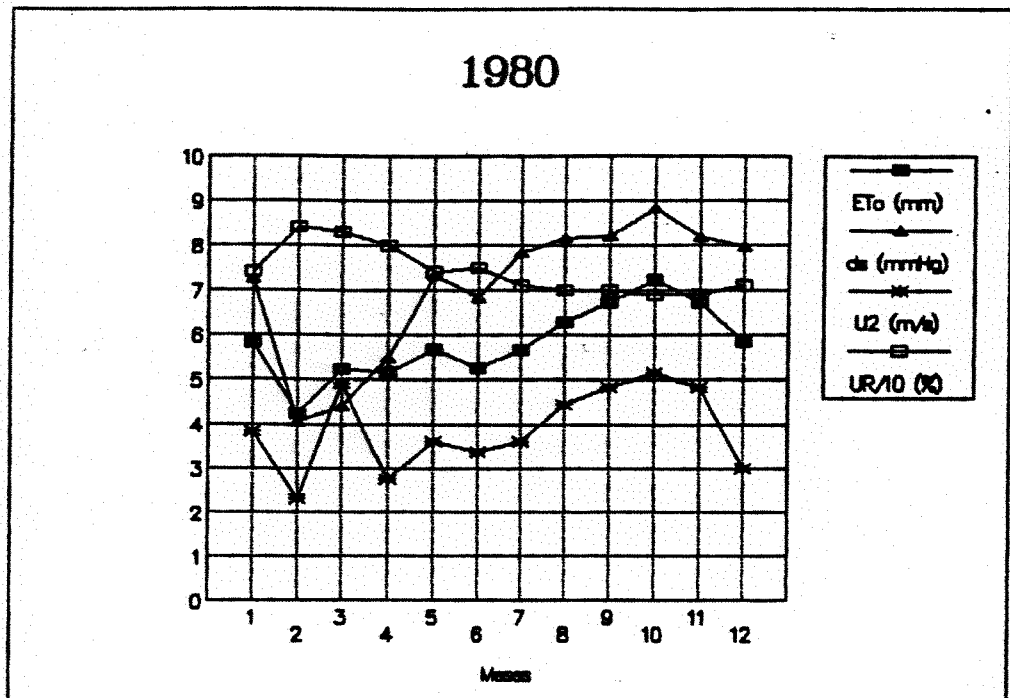


Figura 20 - Curso anual da ET₀, ds, U₂ e UR referente ao ano de 1980, para o município de Parnaíba - PI.

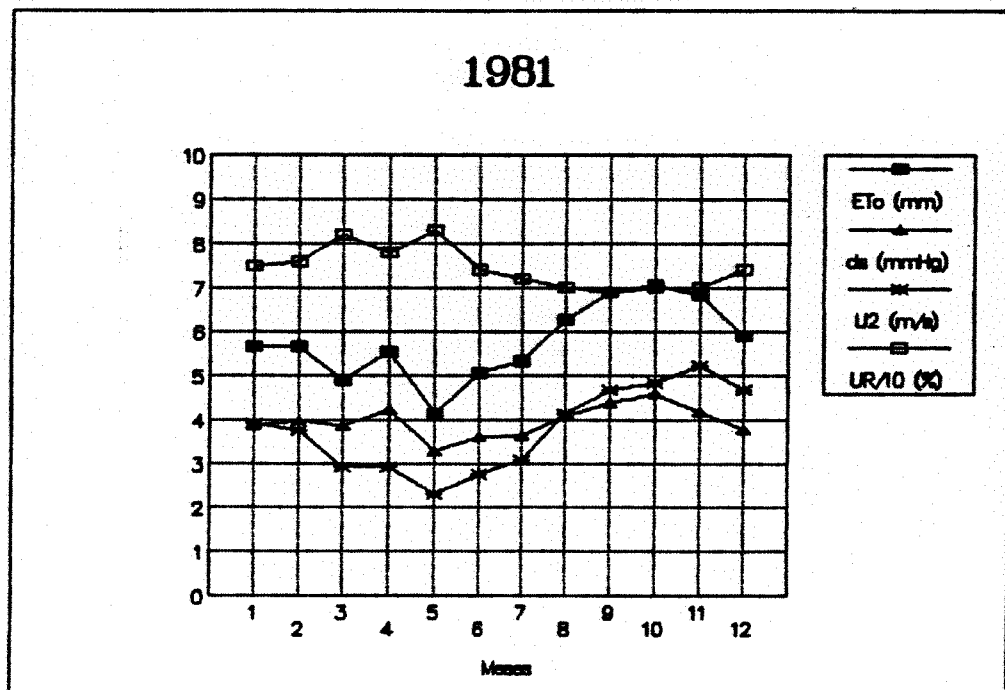


Figura 21 - Curso anual da ET₀, ds, U₂ e UR referente ao ano de 1981, para o município de Parnaíba - PI.

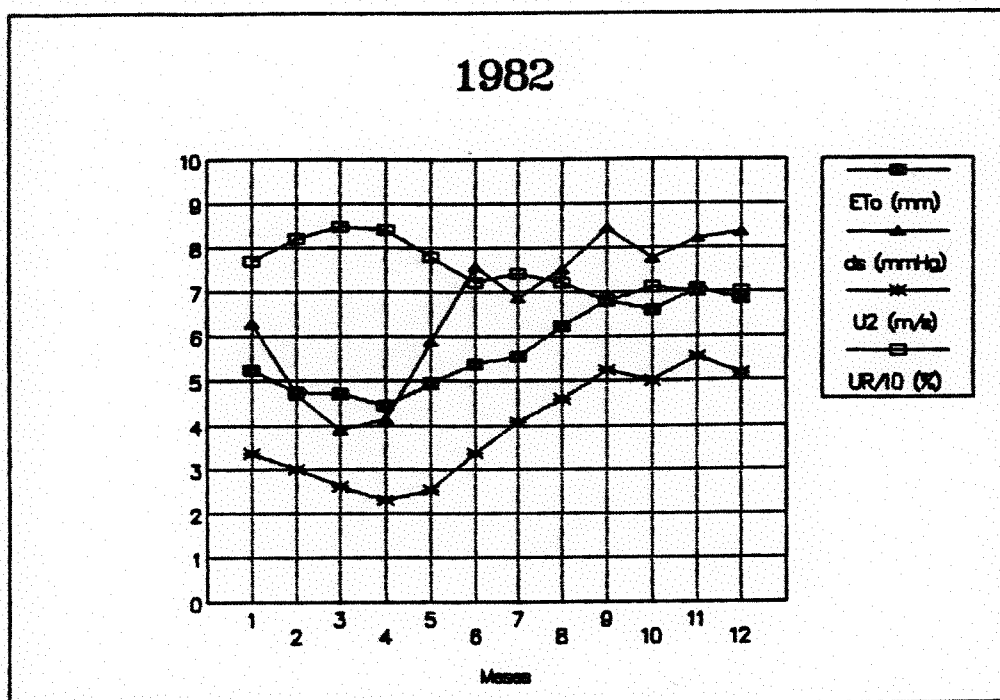


Figura 22 - Curso anual da ETo, ds, U_2 e UR referente ao ano de 1982, para o município de Parnaíba - PI.

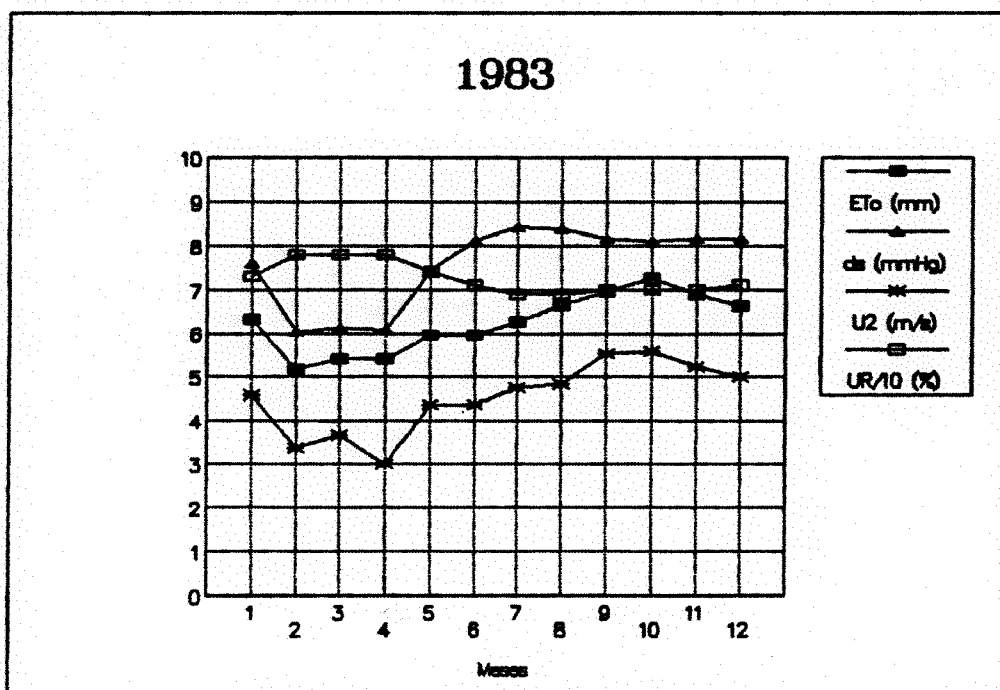


Figura 23 - Curso anual da ETo, ds, U_2 e UR referente ao ano de 1983, para o município de Parnaíba - PI.

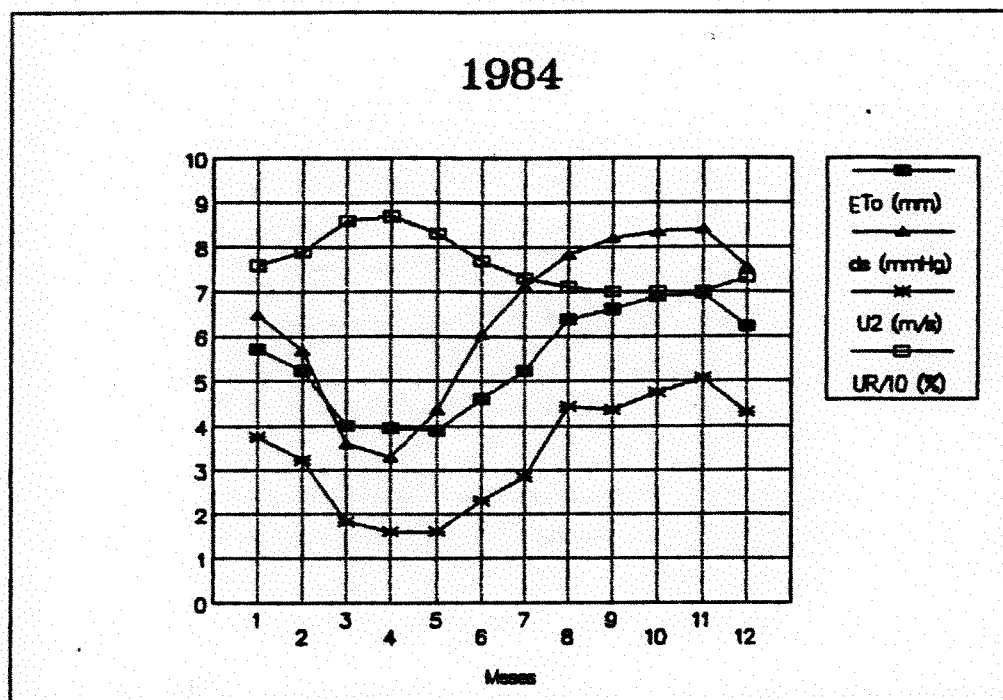


Figura 24 - Curso anual da ETo, ds, U_2 e UR referente ao ano de 1984, para o município de Parnaíba - PI.

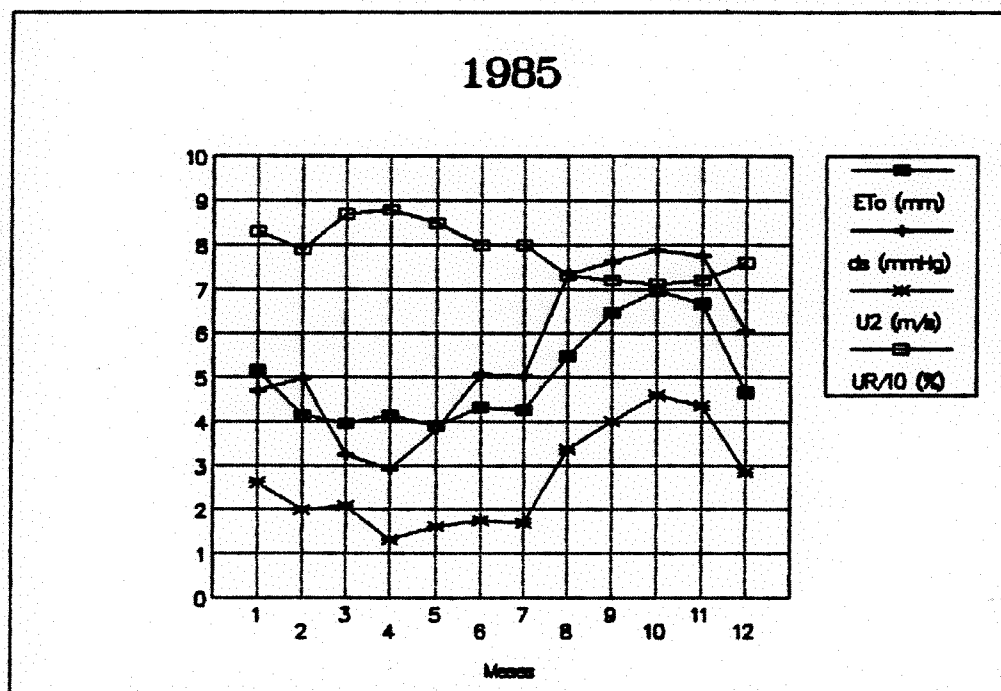


Figura 25 - Curso anual da ETo, ds, U_2 e UR referente ao ano de 1985, para o município de Parnaíba - PI.

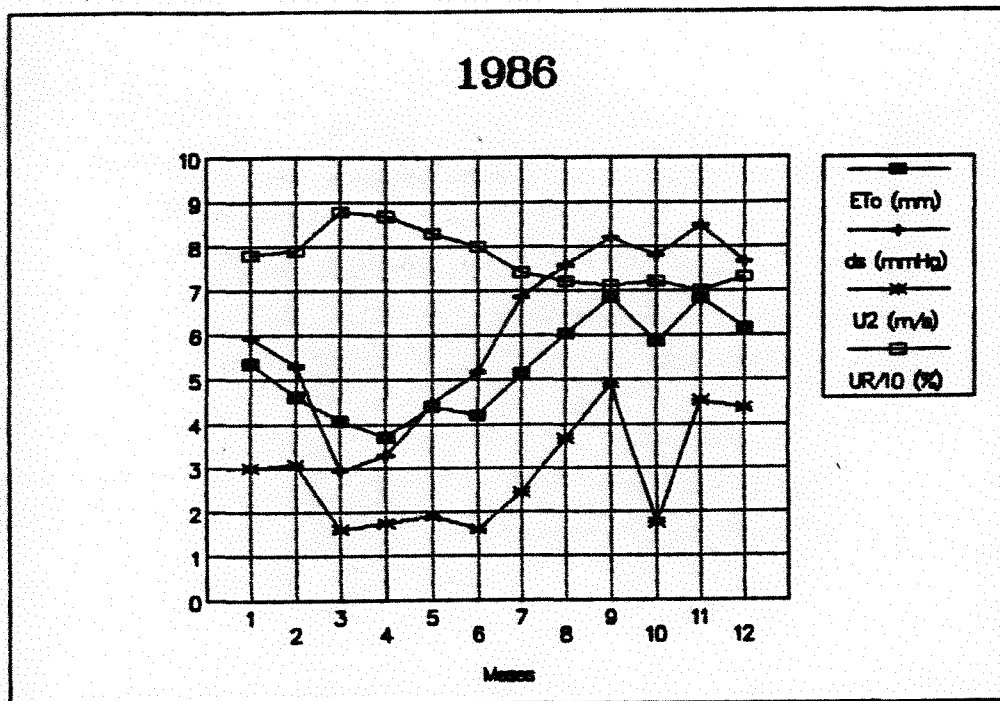


Figura 26 - Curso anual da ETo, ds, U_2 e UR referente ao ano de 1986, para o município de Parnaíba - PI.

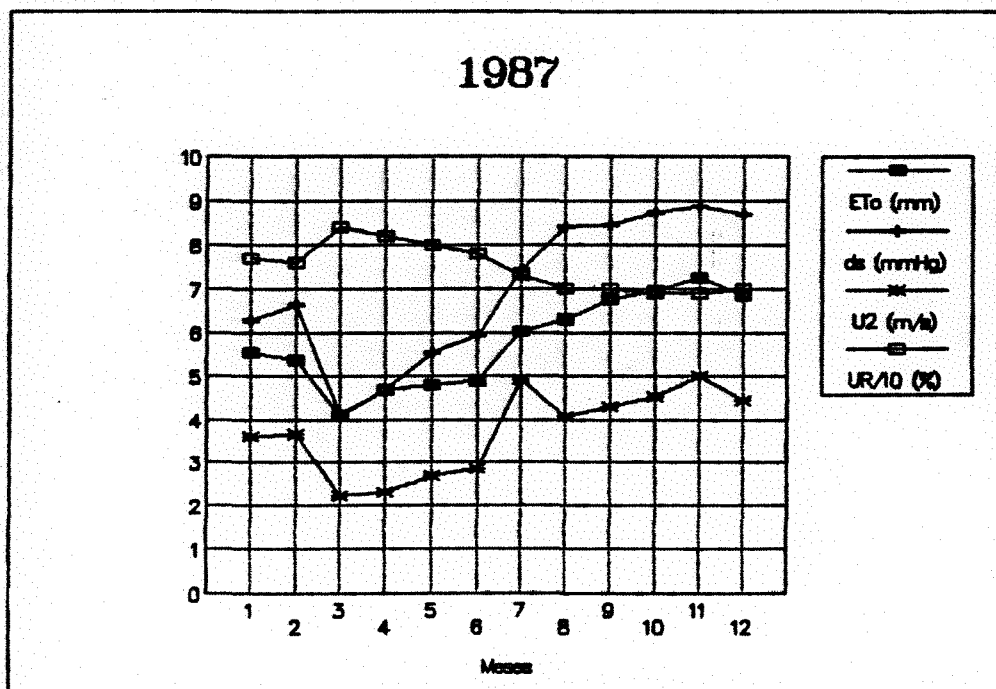


Figura 27 - Curso anual da ETo, ds, U_2 e UR referente ao ano de 1987, para o município de Parnaíba - PI.

Por se tratar de uma equação empírica, o modelo proposto é válido apenas para as condições climáticas da região onde foi desenvolvido, e regiões com climas semelhantes. Para outras condições climáticas, devem ser determinados novos coeficientes.

De acordo com os resultados obtidos, sugere-se que a mesma metodologia seja usada, para determinação dos coeficientes do modelo, utilizando-se medidas diretas da ETo em lisímetros, em vez de estimativas pelo método de Penman modificado.

A vantagem do modelo proposto é que fundamenta-se em princípios físicos inerentes ao processo de evaporação, pois como já discutido anteriormente todos os elementos do clima (R_s , T , v , UR) que atuam no déficit de saturação do vapor d'água, são fatores naturais que condicionam a evaporação e evapotranspiração. Uma outra vantagem é que baseia-se em dados climáticos de fácil obtenção e comumente medidos nas estações meteorológicas. A desvantagem do modelo proposto, consiste em ter sido desenvolvido a partir de uma equação de regressão, cujos coeficientes possuem abrangência espacial restrita às condições climáticas para onde foi desenvolvido, ou regiões que apresentem climas semelhantes.

De acordo com os resultados obtidos neste estudo, sugere-se que sejam estabelecidas relações regionais entre a ETo medida em lisímetros e o déficit de saturação do vapor d'água, visto que existe uma estreita correlação entre as duas variáveis.

Embora o método proposto necessite ser validado, utilizando-se outra série temporal de dados, estimativas da ETo pelo método proposto, podem ser mais confiáveis, que aquelas obtidas utilizando-se os métodos da Radiação, Thornthwaite, Hargreaves, Hargreaves & Samani e Balney-Criddle, para a região em estudo e regiões com climas semelhantes, como demonstrado neste estudo para a região de Parnaíba - PI.

5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos no presente estudo concluiu-se que:

1. O método de Penman modificado conduziu à estimativas da ETo, em base diária e por pântadas, que não diferiram das estimativas a partir do tanque classe "A", para a região de Parnaíba - PI, pelo que foi adotado como o método de referência.
2. Dos métodos empíricos de estimativa da ETo utilizados neste estudo o que melhor se comportou quando comparado com o de Penman modificado foi o da Radiação solar.
3. Todos os métodos de estimativas da ETo que se baseam na temperatura do ar, conduziam a subestimativas sistemáticas em relação ao método de referência. Com exceção do método de Thornthwaite, que não apresentou diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, todos os demais forneceram estimativas da ETo significativamente diferentes aos níveis de 1 e 5% de probabilidade, das do método de Penman modificado pela FAO.

4. O método proposto para a estimativa da ETo a partir da temperatura e umidade relativa do ar, embora necessite ser validado para outra série temporal de dados, permite estimativas da ETo mais confiáveis que aquelas obtidas pelos métodos da Radiação, Thornthwaite, Hargreaves, Hargreaves & Samani e Blaney-Criddle para a região em estudo e regiões com climas semelhantes, não conduzindo a subestimativas sistemáticas em relação ao método de Penman modificado pela FAO.

5. Devem ser estabelecidas relações regionais entre ETo medida em lisímetros e déficit de saturação (ds), visto que existe uma estreita correlação entre as duas variáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, M. J. N. Evapotranspiração em feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) estimada por evaporímetros e fórmulas empíricas. Piracicaba, ESALQ/USP, 55p. 1975. (Dissertação de Mestrado).
- ALLEN, R. G. ; JENSEN, M. E. ; WRIGHT, J. L. ; BURMAN, R. D. Operational estimates of reference evapotranspiration. *Agronomy Journal*, 81: 650-662. 1989.
- AMORIM NETO, M. S. Avaliação de diferentes métodos para estimativa de evapotranspiração potencial em regiões semi-áridas. Anais. IV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Londrina, 1985. Fundação Cargill, Campinas, p. 211-229. 1986.
- ASSIS, F. N. de. O uso do evapotranspirômetro no estudo de algumas relações entre evapotranspiração medida e estimada. Piracicaba, ESALQ/USP. 73p. 1978. (Dissertação de Mestrado).
- BERLATO, M. A. & MOLION, L. C. B. Evaporação e evapotranspiração. Porto Alegre, IPAGRO. 95p. 1981. (IPAGRO. Boletim Técnico, 7).
- BLANEY, H. F. & CRIDDLE, W. D. Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. Washington, United States. Department of Agriculture, 48p. 1950.

- BRAKKE, T.W.; VERMA, S.B.; ROSENBERG, N.J. Local and regional components of sensible heat advection. *J. Appl. Meteorol.*, 17: 935-963. 1978.
- BURMAN, R.O.; NIXON, P.R.; WRIGHT, J.L. & PRUITT, W.O. Water requirements. In: Design and operation of farm irrigation systems. (ed). St. Joseph, ASAE, 1983. p. 189-232.
- CHANG, JEN-HU. Climate and agriculture, an ecological survey. Chicago, Aldine. 304p. 1968.
- DASTANE, N.G. Effective rainfall in irrigated agriculture. FAO, Roma (Irrigation and drainage paper, 25). 62p. 1974.
- DECICO, A. & SANTOS, J.M. Estudos dos parâmetros micrometeorológicos de uma cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). In: Reunião da SBPC, 28a. Brasília, 1976. Resumos, p. 241. 1976.
- DOORENBOS, J. & PRUITT, J.O. Crop Water Requirements. Roma, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1977. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).
- DOORENBOS, J. & KASSAM, A.H. Yield Response to Water. Roma, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1979. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 33).
- DOSS, B.D.; BENNETT, O.L. & ASHLEY, D.A. Moisture use forage species as related to pan evapotranspiration and net radiation. *Soil Science*, 98(5): 322-227. 1964.
- ENCARNAÇÃO, C.R.F. Estudo da demanda de água do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. goiano precoce. Piracicaba, ESALQ/USP, 62p. 1980. (Dissertação de Mestrado).

- ENCARNAÇÃO, C.R.F. *Exigências hídricas e coeficientes culturais da batata (Solanum tuberosum L.)*. Piracicaba, ESALQ/USP, 73p. 1987. (Tese de Doutorado).
- FUCHS, M. & STANHILL, G. The use of class A evaporation pan data to estimate the irrigation water requirements of the cotton crop. *Israel J. Agric. Res.*, 13(2): 63-78. 1963.
- HANKS, R.J.; ALLEN, L.H.; GARDNER, H.B. Advection and evapotranspiration of widerow sorghum in the Central Great Plains. *Agronomy Journal*, 63: 520-527. 1971.
- HARGREAVES, G.H. *Water requirements manual for irrigated crops and rainfed agriculture*. Logan, Utah State Univ. 41p. 1977.
- HARGREAVES, G.H. & SAMANI, Z.A. *Evapotranspiracion del cultivo de referencia a partir de la temperatura del aire*. Trabajo presentado en la reunión de invierno. 1985. ASAE, Chicago, II. 1985.
- HASHEMI, F. & HABIBIAN, M.T. Evaluation of limitation of common methods of estimating evapotranspiration in iran conditions and their actual effects in an arid region in iran. agric. Presented at iran Water Seminar. 23p. 1980.
- HORIE, T. & LUCHIARI JUNIOR, A. *Uso do método do balanço de energia para determinar a evapotranspiração da soja no cerrado*. Trabalho apresentado no VI Simpósio sobre o cerrado; Savanas, alimento e energia, 6., Brasília - DF, EMBRAPA - CPAC. 1988.
- JAYAWARDENA, A.W. Calibration of some empirical equations for evaporation and evapotranspiration in Hong Kong. *Agric. and Forest Meteorology*, 47: 75-81. 1989.

- JENSEN, E.M. & HAISE, H.R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. *J. Irrig. and Drain. Div.*, 89: 15-41. 1963.
- LINACRE, E.T. A simple formula for estimating evaporation in various climates using temperature alone. *Agric. Meteorol.*, 18: 409-424. 1977.
- LUCHIARI JUNIOR, A. Balanço de radiação em milho (*Zea mays L.*) cultivado em área de cerrado. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2, Pelotas, 1981. Anais, Pelotas, Soc. Brasileira de Agrometeorologia p. 168-9. 1985.
- MAKKINK, G.F. Testing the Penman formula by means of lysimeters. *J. Inst. Water Eng.*, 11(3): 277-288. 1957.
- MALEK, E. Agro-climatic characteristics of the Bajgah Area, Fars Province of Iran. *Iran Agric. Res.*, 3: 65-74. 1983.
- MALEK, E. Comparison of alternative methods for estimating ETp and evaluation of advection in the Bajgah Area, Iran, *Agricultural and Forest Meteorology*, 39: 185-192. 1987.
- MILLAR, B.D. Effect of local advection on evaporation rate and plant water status. *Australian Journal Agricultural Research*, 15: 1 p. 85-90. 1964.
- MONTEITH, J.L. Radiation and crops. *Experimental Agriculture*, 1: 241-51. 1965.
- MONTEITH, J.L. Vegetation and the atmosphere. Academic Press, New York. 1972.
- MOTA, F.S. da. & BEIRSDORF, M.I.C. Medidas e estimativa da evapotranspiração potencial em Pelotas - RS. *Ciência e Cultura*, 28(6): 666-72, 1976.

- OMAR, M.H. & MEHANNA, A.M. Measurements and estimates of potencial evapotranspiration over egypt. *Agric. and For. Meteor.* 31: 117-129. 1984.
- ORTOLANI, A.A.; CAMARGO, A.P. & VILLA NOVA, N.A. Correlação entre evapotranspiração potencial calculada segundo os métodos de Penman e de Thornthwaite e de dados de evapotranspirômetros na região de Ribeirão Preto. *Bragantia*, 25(15): 65-68. 1966.
- PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. R. Soc. Mathematical and Physical Sciences, London, Ser. A*, 193: 45. 1948.
- PENMAN, H.L. Evaporation: an introductory survey. *Neth. J. Agric. Sci.*, 4: 9-29. 1956.
- PHILIP, J.R. Arid zone techenology conference. Warburton, vic., paper 41. 1959.
- PRIESTLEY, C.H.B. & TAYLOR, R.J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Mon., Weather Rev.*, 100: 81-92, 1972.
- PRUITT, W.O. Empirical methods of estimating evapotranspiration using pans. *Proc. Conf. Evapotranspiration, Amer. Soc. Agric. Eng.*, p.57-61. 1966.
- PRUITT, W.O. & DOORENBOS, J. Backaground and development of methods to predict reference crop evapotranspirations (ET_o) In: *Crop Water Requirements*. Roma, FAO. p. 108-119. 1977. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).
- REICHARDT, K. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. São Paulo, Fundação Cargill. Piracicaba - SP, 286 p. 1975.

- RIDER, N.E.; BRADDLEY, E.F. Arid Zone Technology Conference. Warburton, paper 42. 1960.
- RITCHIE, J.T. Influence of soil water status and meteorological conditions on evaporation from a corn canopy. *Agronomy Journal*, 65: 893-897. 1973.
- ROSE, E.W. *Agricultural Physics*. Academic Press, Oxford. 230p. 1966.
- ROSE, C.W. & STERN, W.R. Determination of withdrawal of water from soil by crop roots as a function of depth and time. *Australian Journal Soil Research*, 15: 11-19. 1966.
- ROSEMBERG, N.J. *Microclimate: the biological environment*. New York, John Wiley & Sons, 315p. 1974.
- SLATYER, R.O. *Plant-water relationships*. Academic Press, New York. 366p. 1967.
- SOUZA, J.L. & SILVA, M.A.V. Evapotranspiração em cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). In: IV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Londrina, 1985. *Anais. IAPAR, Fundação Cargill*, p. 24-32. 1985.
- STANHILL, G. A comparison of methods of calculating potential evapotranspiration from climatic data. *Israel J. Agric. Res.* 11(3/4): 159-171, 1961.
- TANNER, C.B. Evaporation of water from plants and soil. In: *Water Deficits and Plant Growth*. Academic Press, New York. p. 77-106. 1968.
- THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38: 55-94. 1948.

- VANZIL, W.H. & JAGER, J.M. Estimating evapotranspiration from wheat using weather measurements and carborundum or Piché evaporimeter. *Agric. and For. Meteor.*, 41: 65-75. 1987.
- VERMA, S.B.; ROSEMBERG, N.J.; BLAD, B.L. Turbulent exchange coefficients for sensible heat and water vapor under advection condition. *J. Appl. Meteorol.*, 17: 330-338. 1977.
- VIETS JUNIOR, F.G. Efficiency of water use on semi-arid land. In: I.A.E.A. Efficiency of water and fertilizer use in semi-arid regions. Viena, p. 123-133. 1976.
- VILLA NOVA, N.A. A estimativa da evaporação potencial no Estado de São Paulo, Piracicaba, ESALQ/USP. 66p. (Tese de Doutorado). 1967.
- VILLA NOVA, N.A. Estudos sobre o balanço de energia em cultura de arroz. Piracicaba, ESALQ/USP. 66p. (Tese de Livre Docência). 1973.
- VILLA NOVA, N.A. & OMETTO, J.C. Adaptação e simplificação do método de Penman às condições climáticas do Estado de São Paulo. Trabalho apresentado no IV Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos. Fortaleza - CE. 1976.
- VILLA NOVA, N.A.; SALATI, E.; MATSUI, E. Estimativa da evapotranspiração na Bacia Amazônica. *ACTA Amazônica*, 6: 215-258. 1976.
- VILLA NOVA, N.A. Principais métodos climáticos de estimativa de aplicação de água de irrigação. Piracicaba, ESALQ - USP. Departamento de Física e Meteorologia, 22p. 1982.

A P Ê N D I C E

Tabela 1 - Fator de ajuste "c" na equação de Penman modificado pela FAO.

Rs mm/day Uday m/sec	RHmax = 30%				RHmax = 60%				RHmax = 90%			
	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12
Uday/Unight = 2.0												
0	.86	.90	1.00	1.00	.96	.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	.86	.76	.85	.92	.83	.91	1.09	1.05	.89	.98	1.10	1.14
6	.86	.61	.74	.84	.70	.80	1.04	1.02	.79	.92	1.05	1.12
9	.37	.48	.65	.76	.59	.70	.84	.95	.71	.81	.96	1.06
Uday/Unight = 1.0												
0	.86	.90	1.00	1.00	.96	.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	.64	.71	.82	.89	.78	.86	.94	.99	.85	.92	1.01	1.05
6	.43	.53	.68	.79	.62	.70	.84	.93	.72	.82	.95	1.00
9	.27	.41	.59	.70	.50	.60	.75	.87	.62	.72	.87	.96

Transcrito de "Crop Water Requirements" FAO (1977).

Tabela 2 - Valores do coeficiente de conversão do Tanque Classe A (Kp), para estimativa a evapotranspiração de referencia (ETo).

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	0.65	
	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	

Transcrito de "Crop Water Requirements", FAO (1977).

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

* d representa a menor distância (expressa em metros), do centro do Tanque ao limite da bordadura (grama ou solo nu).

Tabela 3 - Valores da evapotranspiração de referência (ET_o) determinados pelo Método de Penman modificado pela FAO. (mm/dia).

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	MÉDIAS
Jan.	5.48	5.52	5.81	5.65	5.23	6.33	5.71	5.15	5.35	5.54	5.58
Fev.	5.81	5.33	4.25	5.65	4.76	5.17	5.23	4.15	4.61	5.36	5.03
Mar.	4.40	4.83	5.23	4.89	4.71	5.41	4.00	3.96	4.09	4.10	4.56
Abr.	4.38	5.18	5.15	5.53	4.44	5.41	3.95	4.14	3.71	4.70	4.66
Mai.	4.54	4.54	5.68	4.14	4.93	5.96	3.89	3.90	4.40	4.80	4.68
Jun.	4.71	4.81	5.24	5.07	5.36	5.96	4.69	4.32	4.20	4.90	4.92
Jul.	5.28	5.65	5.65	5.32	5.52	6.26	5.22	4.27	5.13	6.03	5.43
Ago.	6.10	6.24	5.69	6.27	6.22	6.66	6.38	5.47	6.02	6.30	6.20
Set.	6.89	6.95	6.74	6.89	6.81	6.97	6.61	6.46	6.86	6.75	6.79
Out.	7.51	7.17	7.23	7.07	6.59	7.27	6.89	6.97	5.85	6.97	6.95
Nov.	7.22	6.97	6.74	6.83	7.06	6.90	6.95	6.67	6.84	7.25	6.94
Dez.	5.97	6.50	5.83	5.89	6.84	6.64	6.22	4.66	6.17	6.86	6.16

Tabela 4 - Valores da evapotranspiração de referência (ET_o)
determinados pelo Método da Radiação modificado
pela FAO. (mm/dia).

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	MÉDIAS
Jan.	4.84	4.69	4.84	4.64	4.45	5.18	5.00	4.92	4.93	4.82	4.82
Fev.	5.13	4.58	3.97	4.81	5.11	4.38	4.00	3.18	3.97	4.37	4.42
Mar.	4.13	4.48	4.43	5.15	4.53	4.54	3.17	3.77	3.47	3.70	4.14
Abr.	4.10	4.82	4.81	5.20	4.25	4.97	3.29	3.68	2.96	4.52	4.26
Mai.	4.54	4.49	5.06	3.90	4.78	5.03	3.18	3.27	3.70	4.45	4.24
Jun.	4.67	4.74	4.74	4.88	4.81	4.98	4.43	3.76	3.59	4.69	4.53
Jul.	4.75	5.17	5.02	4.96	4.88	5.64	4.99	3.71	5.05	4.97	4.91
Ago.	5.39	7.05	5.76	6.08	5.31	6.12	5.53	4.76	5.46	5.87	5.79
Set.	5.75	7.30	6.12	6.41	6.86	6.99	6.19	5.83	5.73	6.41	6.36
Out.	6.85	6.41	6.46	6.50	5.38	7.43	6.20	6.16	5.86	6.41	6.37
Nov.	6.77	6.12	6.12	6.67	7.00	6.96	6.96	5.77	5.75	6.51	6.46
Dez.	4.80	5.14	5.18	4.54	5.41	5.22	5.15	3.98	5.05	6.24	5.07

Tabela 5 - Valores da evapotranspiração de referência (ET_o)
determinados pelo Método da Thornthwaite (1948).
(mm/dia).

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	MÉDIAS
Jan.	4.85	5.14	5.29	5.21	5.07	5.44	4.92	5.21	4.80	5.07	5.10
Fev.	5.04	5.04	4.30	5.04	4.48	5.12	5.07	3.50	4.09	5.19	4.69
Mar.	4.26	4.32	4.39	4.36	4.39	5.23	4.26	4.01	3.77	4.32	4.33
Abr.	4.29	4.42	4.97	5.05	4.36	5.12	4.10	3.68	4.10	4.42	4.45
Mai.	4.40	4.67	5.37	4.40	4.67	5.55	4.20	4.14	4.46	5.09	4.70
Jun.	4.19	4.72	4.93	4.59	4.79	5.23	4.45	4.07	4.26	4.72	4.60
Jul.	4.46	4.80	4.80	4.39	4.52	4.74	4.52	3.95	4.54	5.01	4.57
Ago.	4.64	5.03	4.89	4.61	4.75	4.82	4.82	4.89	4.82	5.26	4.85
Set.	4.99	5.29	4.99	4.99	4.57	4.92	4.83	4.76	5.44	5.37	5.02
Out.	5.10	5.48	5.40	5.17	4.74	4.88	5.25	4.95	5.25	5.40	5.16
Nov.	5.13	5.36	4.63	5.43	5.06	4.95	5.36	5.20	5.51	5.67	5.23
Dez.	4.93	5.61	5.15	5.37	5.30	5.45	5.37	4.12	5.53	4.85	5.27

Tabela 6 - Valores da evapotranspiração de referência (ET₀)
determinados pelo Método de Blaney-Criddle modi-
ficado pela FAO. (mm/dia).

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	MÉDIAS
Jan.	3.53	3.57	3.59	3.58	3.55	3.62	3.54	3.58	3.59	3.56	3.57
Fev.	3.55	3.55	3.41	3.55	3.47	3.57	3.54	3.29	3.4	3.58	3.49
Mar.	3.43	3.45	3.46	4.14	3.46	3.59	3.43	3.39	3.34	3.45	3.51
Abr.	3.26	3.29	3.55	3.57	3.46	3.40	3.24	3.16	3.24	3.29	3.35
Mai.	4.08	4.08	4.25	4.08	4.13	4.29	4.04	4.03	4.09	4.21	4.13
Jun.	4.04	4.14	4.19	4.12	4.15	4.24	4.09	4.02	4.05	4.14	4.12
Jul.	4.69	4.76	4.76	4.68	4.70	4.78	4.70	4.58	4.70	4.81	4.72
Ago.	4.74	4.81	4.78	4.73	4.75	4.76	4.76	4.78	4.76	4.85	4.77
Set.	4.80	4.85	4.80	4.80	4.70	4.76	4.78	4.78	4.88	4.87	4.80
Out.	5.05	5.12	5.11	4.91	4.97	5.00	5.07	5.02	5.07	5.11	5.04
Nov.	5.05	5.1	4.95	5.11	5.03	5.02	5.1	5.06	5.12	5.16	5.07
Dez.	3.85	4.50	4.42	4.46	4.44	4.47	4.46	4.22	4.48	4.54	4.38

Tabela 7 - Valores da evapotranspiração de referência (ET₀)
determinados pelo Método de Hargreaves (1977).
(mm/dia).

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	MÉDIAS
Jan.	4.53	4.76	5.03	4.89	4.69	5.11	4.73	4.02	4.53	5.40	4.77
Fev.	4.75	4.75	3.82	4.81	4.11	4.63	4.48	4.26	4.36	4.83	4.48
Mar.	3.68	4.06	3.94	4.07	3.7	4.61	3.56	3.41	3.26	3.81	3.78
Abr.	3.85	4.28	4.18	4.36	3.63	4.37	3.26	3.09	3.26	3.87	3.82
Mai.	3.48	3.62	4.47	3.48	4.00	4.50	3.25	3.24	3.49	3.89	3.74
Jun.	3.76	3.98	4.11	3.24	4.35	4.46	3.89	3.59	3.61	3.83	3.88
Jul.	4.14	4.35	4.51	4.39	4.26	4.68	4.31	3.66	4.26	4.38	4.29
Ago.	4.91	4.85	4.94	4.90	4.75	4.99	4.78	4.66	4.76	5.00	4.85
Set.	5.31	5.48	5.31	5.37	5.36	5.29	5.31	5.11	5.25	5.36	5.32
Out.	5.59	5.59	5.58	5.48	5.28	5.43	5.49	5.32	5.30	5.58	5.46
Nov.	5.41	5.45	5.39	5.46	5.40	5.39	5.45	5.24	5.47	5.56	5.42
Dez.	5.01	5.3	5.23	3.90	5.38	5.28	5.08	4.58	5.1	5.46	5.03

Tabela 8 - Valores da evapotranspiração de referência (ET_o)
determinados pelo Método de Hargreaves & Samani
(1985). (mm/dia).

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	MÉDIAS
Jan.	4.31	4.27	4.46	4.42	4.47	4.78	4.20	4.05	4.26	4.36	4.36
Fev.	4.45	4.45	4.07	4.49	4.42	4.76	4.44	4.24	4.07	4.33	4.37
Mar.	4.30	4.50	4.64	4.27	4.49	4.72	4.24	4.33	3.99	4.20	4.37
Abr.	4.10	4.43	4.55	4.80	4.42	4.73	4.18	3.82	3.87	4.20	4.31
Mai.	4.11	4.17	4.53	4.10	4.68	4.53	4.03	4.09	4.16	4.32	4.27
Jun.	4.43	4.25	4.29	4.43	4.42	4.45	4.46	4.32	4.06	4.13	4.30
Jul.	4.31	4.41	4.60	4.59	4.42	4.53	4.47	4.29	4.58	4.64	4.48
Ago.	4.79	4.43	4.68	4.84	4.87	4.73	4.77	4.74	4.54	4.78	4.72
Set.	4.77	4.63	4.68	4.95	4.30	4.91	4.85	4.76	4.49	4.79	4.71
Out.	4.74	4.66	4.73	4.83	4.74	4.85	4.79	4.66	4.33	4.65	4.70
Nov.	4.60	4.51	4.24	4.59	4.64	4.66	4.65	4.44	4.42	4.57	4.53
Dez.	4.30	4.45	4.44	4.39	4.44	4.37	4.43	3.94	4.34	4.49	4.36

Tabela 9 - Valores da evapotranspiração de referência (ET_o)
determinados pelo Método Proposto. (mm/dia).

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	MÉDIAS	M. P.*
Jan.	5.31	5.06	5.02	5.34	6.16	5.31	5.67	5.88	5.07	5.48	5.43	5.43
Fev.	5.52	4.44	3.97	5.00	5.24	4.52	5.44	4.21	5.31	5.31	4.90	4.90
Mar.	4.36	3.85	4.10	4.31	5.34	4.42	4.47	4.44	4.29	4.43	4.40	4.40
Abr.	4.52	4.22	3.77	4.22	5.28	4.42	5.24	5.03	4.43	4.83	4.60	4.60
Mai.	5.13	4.55	4.25	4.33	6.10	5.01	4.48	5.97	4.48	4.73	4.90	4.91
Jun.	5.06	4.54	4.38	4.99	6.54	6.05	5.54	5.58	4.69	5.30	5.27	5.27
Jul.	5.97	5.50	4.30	5.67	6.81	5.50	5.78	6.27	5.28	5.84	5.69	5.69
Ago.	6.78	6.05	5.89	6.27	6.76	6.01	6.37	6.55	6.42	6.40	6.35	6.35
Set.	6.83	6.64	6.10	6.60	6.55	6.85	6.85	6.60	6.60	7.32	6.69	6.70
Out.	7.09	6.27	6.32	6.74	6.50	6.17	6.69	7.09	7.18	7.14	6.72	6.72
Nov.	7.24	6.87	6.22	6.78	6.55	6.60	6.83	6.59	6.05	6.78	6.71	6.71
Dez.	7.06	6.17	4.82	6.11	6.59	6.74	5.92	6.40	5.84	6.68	6.24	6.23

* Modelo Proposto.

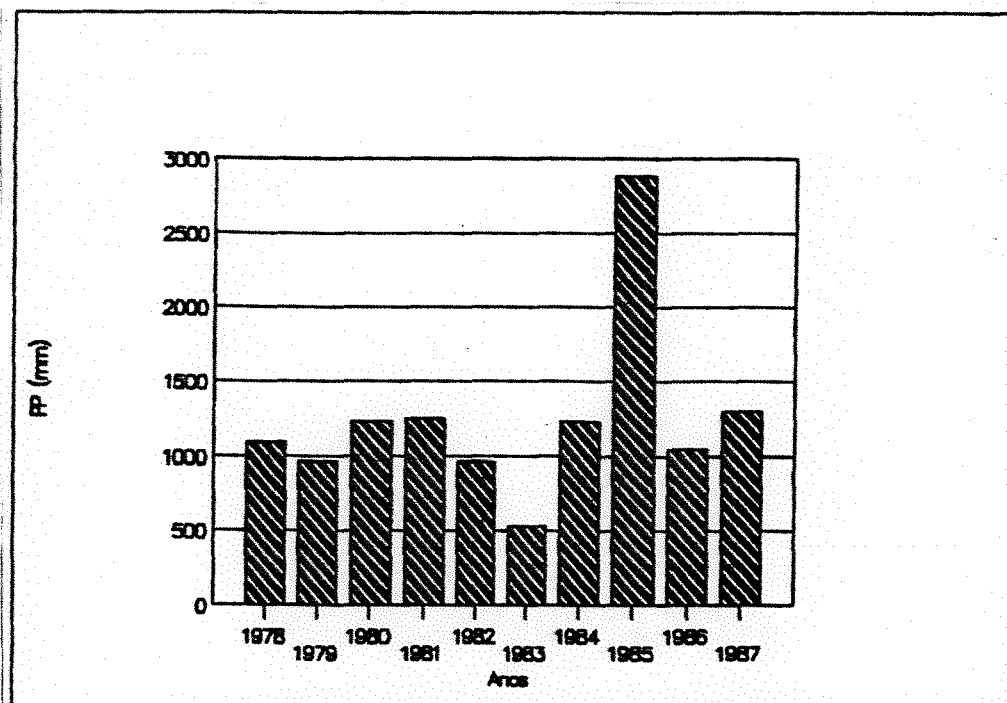


Figura 1 - Total anual de precipitação pluviométrica (mm) referente ao período de 1978 a 1987, para o município de Parnaíba - PI.

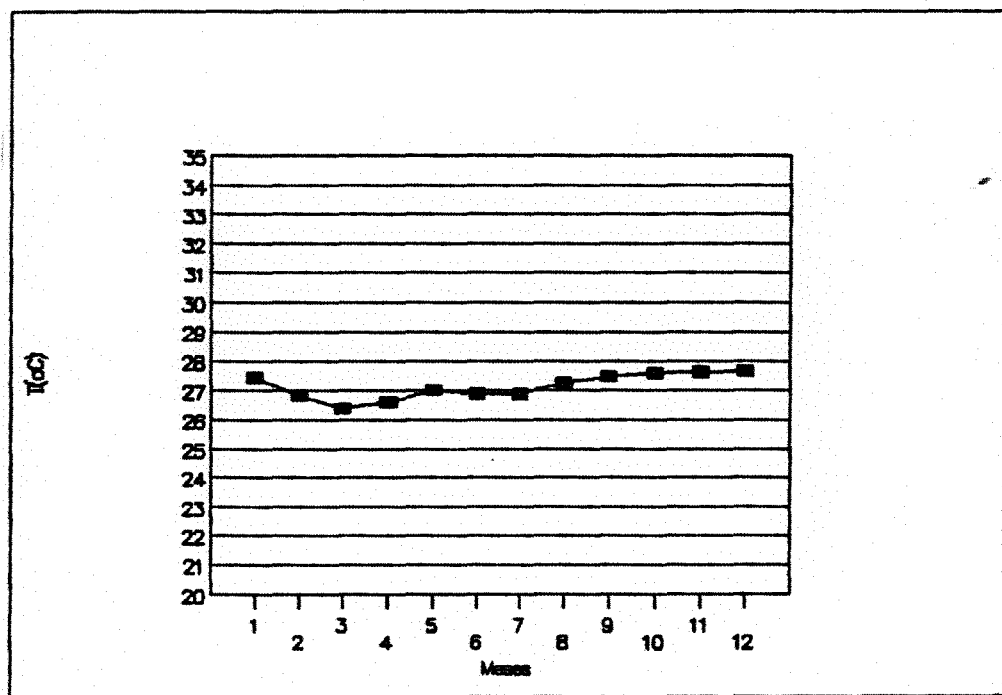


Figura 2 - Temperatura média do ar (°C), referente ao período de 1978 a 1987, para o município de Parnaíba - PI.

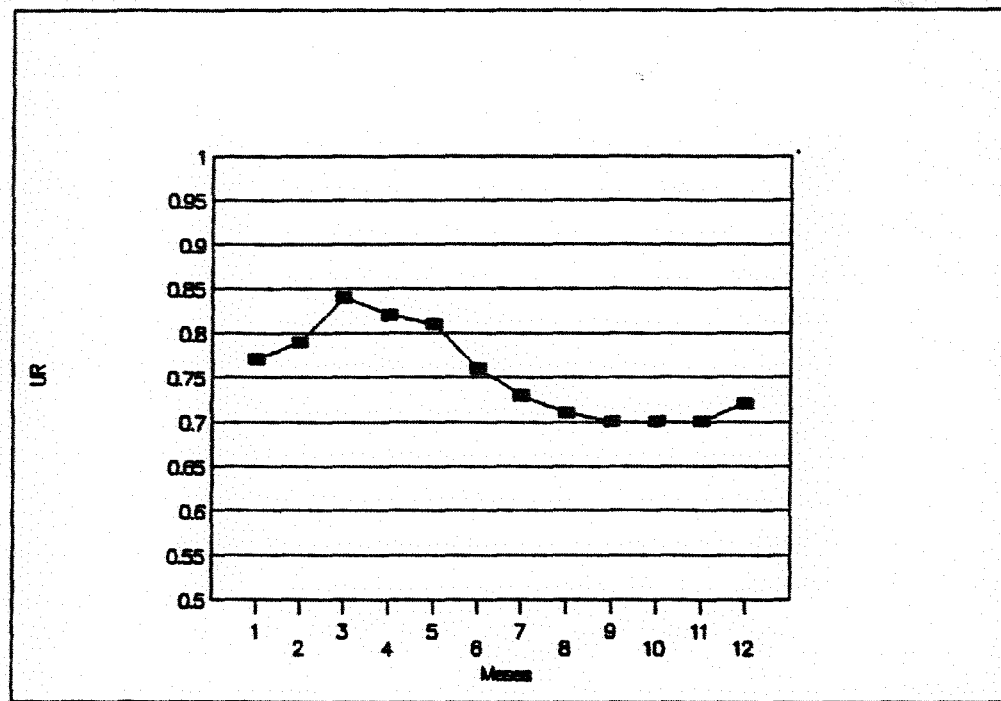


Figura 3 - Umidade relativa média (%), referente ao período de 1978 a 1987, para o município de Parnaíba - PI.