

552 ANA JOSICLEIDE MAIA

ELABORAÇÃO DE UM SOFTWARE PARA ESTIMATIVA DA
EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA E COMPARAÇÃO DE DIFERENTES
MÉTODOS COM O DE PENMAN - MONTEITH - FAO, EM MOSSORÓ-RN.

Orientador: Prof.M.Sc. José Espínola Sobrinho

Monografia apresentada à Escola Superior de
Agricultura de Mossoró para obtenção do título
de Engenheiro Agrônomo.

MOSSORÓ
R.G.NORTE - BRASIL
DEZEMBRO DE 1997

ANA JOSICLEIDE MAIA

Nome	ANA JOSICLEIDE MAIA
Matrícula	
Data	
Assinatura	
Observações	

PL

ELABORAÇÃO DE UM SOFTWARE PARA ESTIMATIVA DA
EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA E COMPARAÇÃO DE DIFERENTES
MÉTODOS COM O DE PENMAN - MONTEITH - FAO, EM MOSSORÓ-RN.

Orientador: Prof.M.Sc. José Espínola Sobrinho



*Cuide bem deste livro,
ele é fundamental para seu conhecimento*

Monografia apresentada à Escola Superior de
Agricultura de Mossoró para obtenção do título
de Engenheiro Agrônomo.

MOSSORÓ
R.G.NORTE - BRASIL
DEZEMBRO DE 1997

Escola Superior de Agricultura de Mossoró
BIBLIOTECA "ORLANDO TEIXEIRA"

BCOT MOSSORÓ
CAMPUS MOSSORÓ
Patrimônio Nº 2010075995
Registro Nº 34.405
Data: 05/10/2015
Chamada Nº 551.572

BIBLIOTECA ORLANDO TEIXEIRA	
Escola Sup. de Agricultura de Mossoró RN	
34.405	30/03/98

Ficha catalográfica preparada pelo setor de classificação e catalogação da Biblioteca "Orlando Teixeira" da ESAM.

M.217e Maia, Ana Josicleide

Elaboração de um software para estimativa da evapotranspiração de referência e comparação de diferentes métodos, com o de Penman - Monteith - FAO, em Mossoró - RN / Ana Josicleide Maia.—Mossoró - RN: ESAM, 1997.

47p. Monografia(graduação em agronomia), ESAM, 1997.

1. Evapotranspiração - Métodos;
2. Software - Estimativa - Evapotranspiração;
3. Climatologia.

CDD. 551.6

ANA JOSICLEIDE MAIA

ELABORAÇÃO DE UM SOFTWARE PARA ESTIMATIVA DA
EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA E COMPARAÇÃO DE DIFERENTES
MÉTODOS COM O DE PENMAN - MONTEITH - FAO, EM MOSSORÓ-RN.

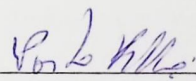
Monografia apresentada à Escola Superior de
Agricultura de Mossoró para obtenção do título
de Engenheiro Agrônomo.

APROVADA EM 17 / 12 / 97



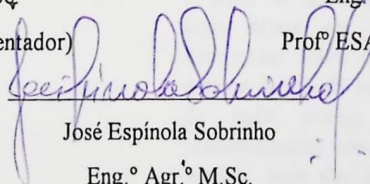
Francisco Xavier de Oliveira Filho
Eng.º Civil M.Sc.

Profº ESAM (Co-Orientador)



Francisco de Queiroz Porto Filho
Eng.º Agr.º M.Sc.

Profº ESAM (Conselheiro)



José Espínola Sobrinho
Eng.º Agr.º M.Sc.
Profº ESAM (Orientador)

OFEREÇO

A todos que direta ou
indiretamente acreditaram e
confiaram que eu poderia
conquistar esta vitória.

DEDICO

Com amor e carinho a Meus pais

Estelita e José Leandro.

A partir de agora me sinto mais completa,
mais inteira em minha luta, as horas
debruçadas sobre os livros, as ansiedades
antes e depois da realização de cada prova,
de cada exame, nas discussões ou
comemorações com os colegas por algum
motivo, hoje são lembranças agradáveis e
ainda quentes na memória.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois eu o imagino como fonte de toda a energia que criou e mantém o equilíbrio do universo. Obrigado por me guiar neste caminho difícil da vida.

AOS meus pais, José Batista Maia e Maria Estelita Maia que me deram a vida e me ensinaram a vivê-la com dignidade, meu muitíssimo obrigado.

AOS meus irmãos, Josinete, Josivania, Josivaldo, Maria José, Josinaldo e Pedro Félix pelas alegrias que me proporcionaram e pelo carinho e coragem que sempre me transmitiram.

AO meu namorado e amigo Otamar Cândido Freire que sempre soube dizer a palavra certa nos momentos angustiantes, que sempre me ajudou na realização deste trabalho e que é o responsável pela conquista deste título.

AO professor, José Espínola Sobrinho pela orientação dedicada, paciência e confiança que depositou em mim, e acreditou que eu chegaria ao final com vitória.

AO professor, Francisco Xavier de Oliveira Filho pela maneira atenciosa e profissional com que me ajudou na realização deste trabalho.

AO professor, Francisco Bezerra Neto, por ter me mostrado uma luz na hora de desespero, no momento de analisar os meus dados.

AO meu amigo Tarcio Costa que na hora do apertado se mostrou muito prestativo ao emprestar seu computador para digitação dos dados.

AOS professores do departamento de Engenharia que sempre me trataram com carinho e simpatia.

AOS professores que me transmitiram seus conhecimentos e experiência profissionais e de vida com dedicação e carinho.

AOS funcionários, que com muita atenção nos trabalhos que desenvolvem numa rotina anônima e diária, muito obrigada.

AOS meus colegas de curso e da casa (03) que em todos os momentos do curso souberam ensinar-me uma lição de vida.

AO G.V.A.A.(Grupo Verde de Agricultura Alternativa) que me proporcionou um conhecimento mais claro e amplo da importância da Natureza, além da oportunidade que me deu de fazer estágios.

AOS meus cunhados Ildevan, Claudemir e Ana Paula que de uma forma ou de outra sempre deram força para que eu conseguisse atingir meu ideal.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

BIOGRAFIA DO AUTOR

ANA JOSICLEIDE MAIA, filha de José Batista Maia e de Maria Estelita Maia, nasceu no dia 03 de setembro de 1972 na cidade de Russas, Estado do Ceará. Concluiu o curso de 1º grau no ano de 1987, o curso técnico em contabilidade no ano de 1990 no Centro Educacional Presidente Kennedy em Limoeiro do Norte-CE e o curso colegial (científico) no Lauro Rebouças de Oliveira, no ano de 1990, em Limoeiro do Norte. Ingressou na Escola Superior de Agricultura de Mossoró em 1993, concluindo o curso de Agronomia em 1997. Durante este período foi monitora da disciplina de Hidráulica no período de março a junho de 96, e bolsista de iniciação científica pelo Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq) nos períodos de agosto de 95 a janeiro de 96 e pelo PIBIC, no período de agosto de 96 a dezembro de 97.

SUMÁRIO

	PÁGINA
EXTRATO	ix
1- INTRODUÇÃO	1
2- REVISÃO DE LITERATURA	3
3- MATERIAIS E MÉTODOS	10
3.1 O SOFTWARE	11
3.2 MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO	11
3.2.1 Método de Penman - Monteith	12
3.2.2 Método de Kimberley - Penman	12
3.2.3 Método de Linacre	13
3.2.4 Método de Benavidez & Lopez	14
3.2.5 Método de Penman	14
3.2.6 Método de Jensen - Haise	15
3.2.7 Método de Makkink	15
3.2.8 Método de Hargreaves	16
3.2.9 Método do Tanque Classe "A"	16
3.2.10 Método de Thornthwaite	17
3.2.11 Método de Blaney & Criddle	17
4- RESULTADO E DISCUSSÃO	19
4.1 MÓDULOS DO SOFTWARE	19

4.1.1 Módulo Dados Meteorológicos	19
4.1.2 Módulo Evapotranspiração (ET _o)	21
4.1.3 Módulo Planilha Principal	22
4.1.4 Módulo Fim	22
4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS OBTIDOS	22
4.3 VARIAÇÃO ANUAL DA ET _o , EM MOSSORÓ - RN	36
5- CONCLUSÕES	40
6- RESUMO	41
7- LITERATURA CITADA	42

EXTRATO

MAIA, A. J. Escola Superior de Agricultura de Mossoró, dezembro 1997. Elaboração de um software para estimativa da evapotranspiração de referência e comparação de diferentes métodos com o de PENMAN - MONTEITH - FAO, em Mossoró-RN. Professor Orientador: José Espínola Sobrinho. Professor Co-Orientador: Francisco Xavier de Oliveira Filho. Conselheiro: Francisco de Queiroz Porto Filho.

O presente trabalho foi realizado na Escola Superior de Agricultura de Mossoró-ESAM onde desenvolveu-se um software em linguagem de programação CLIPPER 5.2 contendo vários programas para resolução de onze (11) fórmulas empíricas de estimativa da evapotranspiração de referência (Eto) usando-se os métodos: Penman-Monteith; Kinberley-Penman; Linacre; Benavidez & Lopez; Penman; Jensen-Haise; Makkink; Hargreaves; Tanque Classe "A"; Thornthwaite e Blaney & Criddle. Calculou-se a ETo por todos os métodos durante 27 anos (70-96) dia-a-dia, com dados coletados na Estação Meteorológica da ESAM. Correlacionou-se os dados obtidos pelos 10 métodos citados acima com o método de Penman-Monteith-FAO, considerado padrão, durante o período analisado. Foi feita também análise de REGRESSÃO na tentativa de se comparar o método de PENMAN-MONTEITH-FAO com os demais métodos utilizados.

1. INTRODUÇÃO

O Rio Grande do Norte, nos últimos anos, vem apresentando enormes potenciais de competitividade no mercado interno e externo, no que se refere ao consumo de frutos tropicais, exigindo a máxima qualidade comercial. Devido às características pluviométricas da região, que apresenta chuvas concentradas em curtos períodos de tempo, e a irregularidade na distribuição das mesmas, o cultivo de qualquer cultura só será possível com o auxílio da irrigação, principalmente se a mesma for sensível a déficit hídrico.

A irrigação localizada é, hoje, o método mais usado pelos irrigantes da região, pois permite maior eficiência no uso da água, maior produtividade, maior eficiência dos insumos e melhor qualidade dos frutos. Dentro da irrigação localizada, o sistema por gotejamento é o que mais se ajusta às nossas condições, pois se pronuncia com maior favoritismo no que diz respeito à economia de água, tamanho dos frutos, número de frutos colhidos por unidade de área e produção total (ABREU *et al*, 1978).

A utilização eficiente da água de irrigação está se tornando cada vez mais importante, face a escassez de recursos hídricos e a elevação dos custos dos insumos, fazendo-se necessário a utilização de uma metodologia apropriada para a administração da irrigação. Por isso, torna-se importante a combinação correta dos diversos fatores que possibilitam a determinação do estresse hídrico e da qualidade de água a ser aplicada a cada dia para a cultura.

A região polarizada por Mossoró-RN, está limitada pela disponibilidade de água, sendo a mesma obtida de poços, cuja profundidade média é de 900 metros. Por isso, a

água além de ser onerosa, geralmente apresenta vazão limitada, o que restringe a expansão da área irrigada.

Na elaboração e no manejo geral de um projeto de irrigação, um dos fatores de maior importância é a quantificação precisa do volume de água necessário para o desenvolvimento normal das culturas desejadas, durante o ciclo das mesmas. Isto pode ser feito através do conhecimento da evapotranspiração máxima da cultura (ET_c) referente a cada espécie vegetal. Em todo mundo, pesquisadores tentam determinar o método mais preciso para estimativa da evapotranspiração de referência e que possa ser adaptado às condições de clima e solo, em função dos altos custos de construção e manutenção dos evapotranspirômetros para medida. Na prática alguns desses métodos são complexos e outros, embora de fácil aplicação, não apresentam resultados aceitáveis. Sendo assim, tem-se procurado recomendar métodos tanto pela sua precisão quanto pela sua praticidade.

A FAO em 1977, editou o chamado manual 24 (FAO-24) onde recomenda o método de Penman como o mais consistente, devendo ser utilizado sempre que se necessite de dados de evapotranspiração de referência. Em 1990, novamente a FAO reuniu, em Roma-Itália, os maiores pesquisadores do mundo na área de “necessidades hídricas para as culturas”. Dessa reunião saiu a proposta da indicação de um novo método, PENMAN-MONTEITH-FAO, que deverá ser recomendado, doravante, para estudos de estimativas da evapotranspiração de referência.

Segundo Allen *et al.*, citado por SEDIYAMA (1995), o método de Penman-Monteith-FAO desponta como o mais recomendado pela FAO, pois apresenta a vantagem de proporcionar bons resultados tanto em termos horários, quanto em termos diários. Além disso, comentam que é preferível utilizar a equação de Penman-Monteith-FAO quando os dados climáticos são de qualidade duvidosa, do que utilizar dados lisimétricos de qualidade também duvidosa. Com base nestas justificativas, é que o objetivo principal deste trabalho foi a elaboração de um software para cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o) através de onze (11) métodos, e a estimativa da ET_o em Mossoró-RN, em 27 anos (70-96) de observações meteorológicas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Dadas as dificuldades instrumentais envolvidas nas determinações direta e indireta da evapotranspiração, surgiram os métodos empíricos que utilizam dados climatológicos. Raramente esses parâmetros refletem fielmente o potencial de energia disponível ao processo (GAVANDE & TAYLOR, 1967), embora esses métodos tenham grande aceitação, por serem de uso geral e fácil aplicação. DOORENBOS & PRUITT (1975) afirmam que estimativas da evapotranspiração pelos métodos de Penman, radiação e tanque classe "A", oferecem resultados satisfatórios para períodos curtos como 10 dias (SOUZA & SILVA, 1985).

A característica básica da produção é o fator econômico: produzir o máximo, o melhor, na melhor área, no menor espaço de tempo e pelo mínimo custo (DAKER, 1988).

A finalidade expressa da irrigação é obviamente ministrar água às plantas, na medida de suas necessidades, de forma econômica e eficiente tomando na devida conta os fatores que, direta ou indiretamente, contribuem para a perfeição da operação. A eficiência do sistema está em considerar cuidadosamente entre outros o clima no que se refere a temperatura ambiente, os ventos, a umidade, as horas de brilho solar e outros (TIBAU, 1976).

Segundo DAKER (1988) o clima influi diretamente na evaporação do solo e na transpiração dos vegetais (evapotranspiração), constitui o elemento que mais pesa na determinação da quantidade de água necessária à irrigação. Para o mesmo autor a análise de dados climatológicos, por meio de fórmulas empíricas, tem dado resultados razoáveis na

determinação da capacidade de evapotranspiração real ou evapotranspiração potencial de um determinado local.

Para diversos autores, entre eles BERNARDO (1989) evapotranspiração potencial é a quantidade de água evapotranspirada em uma superfície natural totalmente coberta por vegetação rasteira, em fase de crescimento ativo, cujo teor de umidade do solo esteja próximo à capacidade de campo. Enquanto, evapotranspiração real é a quantidade de água evapotranspirada em uma superfície natural, sob condições normais, isto é, sem a obrigação da observância dos fatores essenciais de evapotranspiração potencial. As equações empíricas são de difícil aplicação na prática pela complexidade de cálculo e também por exigir grande número de elementos meteorológicos, somente fornecidos por estações de primeira classe.

A evapotranspiração da cultura relaciona-se com a evapotranspiração de referência, multiplicada pelo coeficiente de cultura, e que deve ser determinado para cada região, para cada cultura, para determinado período de crescimento, tendo um valor médio para todo o ciclo da cultura (MOTA *et al.*, 1989).

A taxa de evapotranspiração é governada pelas condições meteorológicas e a evapotranspiração real é influenciada pela disponibilidade de água no solo e pela demanda evaporativa da atmosfera. A evapotranspiração de uma cultura depende da demanda evaporativa do ar que é determinada pela radiação solar, vento, umidade e temperatura do ar (BERGAMASCHI, 1992).

AMORIM NETO & BRITO (1994) compararam as estimativas de evapotranspiração de referência por Penman modificado e Penman-Monteith, concluindo que, utilizando o fator de correção 0,80 permitirá uma redução na ordem de 20% do requerimento estimado da água das culturas, consequentemente, uma considerável economia de água, equipamentos e energia para projetos de irrigação.

A avaliação de métodos para estimativa da evapotranspiração de referência realizada por AMORIM NETO & VILLA NOVA (1994) comparando os métodos de Penman, Tanque Classe "A", radiação solar, Thorntwaite e Penman modificado com o Tanque Classe "A", resultaram que as melhores concordâncias foram obtidos pelos métodos

da radiação solar, Penman modificado e Penman, com níveis de significância semelhantes, enquanto o método de Thornthwaite discordou acentuadamente, pois seu emprego não é recomendável para períodos menores que 5 dias.

Os métodos de Thornthwaite e Penman para calcular a evapotranspiração potencial foram comparados usando-se dados do CEPEC durante 3 anos e, não se observou-se diferença significativa entre os dois métodos quando da análise durante o ano inteiro e nas estações inverno, primavera e verão, porém, no outono, ocorreu uma defasagem entre as curvas com uma diferença de até 30%, podendo ter havido uma discrepância de um mês a menos em qualquer época do ano (BUTLER & MIRANDA, 1977).

CASTRO NETO *et al* (1985) compararam os valores de evapotranspiração potencial estimada por diversos métodos, com valores medidos por evapotranspirômetro, para a região de Lavras-MG em períodos diários. Para os quatro meses estudados, os métodos Penman e Makkink apresentaram as melhores estimativas, com desvio médio de 0,04 mm/dia acima do valor medido. Já os métodos de Hargreaves e correlação múltipla, superestimaram a ETo medida em média 0,18 e 0,20 mm/dia respectivamente. O método de Thornthwaite, por sua vez, subestimou a evapotranspiração em 0,55 mm/dia.

AMORIM NETO *et al* (1985) compararam as medidas de evapotranspiração potencial realizadas em evapotranspirômetro tipo Thornthwaite de lençol freático constante com estimativas por diferentes métodos, com o objetivo de analisar a validade dos métodos mais usados para regiões semi-áridas. Os resultados obtidos com os respectivos coeficientes de correlação foram: Blaney Criddle 0,32; Thornthwaite 0,58; Jensen-Haise 0,68; Hargreaves 0,68; Radiação solar 0,81; Penman 0, 82; Tanque Classe "A" 0,82; Benavidez-Lopez, 0,86 e Linacre 0,86.

OMETTO & HERTER (1984) estudaram a adaptação do modelo de estimativa de evapotranspiração de referência, utilizado por Villa Nova e Ometto, para a região de Pelotas-RS, comparando com a expressão original de Penman, juntamente com outros métodos. A simplificação deste método aproveitando os dados resultantes de instrumentos simples, baratos e de excelente aproximação com o método de Penman, bem

mais complexo, permitiu admitir este método como aquele que fornece dados mais reais para períodos menores (3 a 5 dias), na estimativa da evapotranspiração de referência.

AZEVEDO *et al* (1989) estudaram as medidas, através de evapotranspirômetro de lençol freático constante, da evapotranspiração máxima da soja irrigada. Estimaram a evapotranspiração por vários métodos e compararam com os dados medidos diariamente, para verificar o método que melhor se adaptou a estimativa do consumo hídrico da cultura, nas condições ambientais do experimento, chegando a conclusão de que o método de Penman-Monteith reproduziu a evapotranspiração máxima satisfatória para todo o ciclo da cultura, enquanto o método do Tanque Classe "A" modelou bem apenas para o período de cobertura completa do solo. Os demais métodos estudados superestimaram na fase de crescimento vegetativo e subestimaram no período de completo desenvolvimento.

CURY & VILLA NOVA (1989) estimaram os valores de evapotranspiração de referência através dos métodos de uso mais consagrados, propondo adaptações ao método de Thornthwaite através da adição de valores do poder evaporante do ar a sombra, e ao método de Penman através da substituição do termo aerodinâmico pela função que expressa a evaporação do Tanque Classe "A" coberto, ao invés de evaporímetro Piche. As modificações introduzidas para as condições locais melhoraram a precisão de estimativa, sem prejuízo da viabilidade de aplicação, sendo que o método de Thornthwaite que é baseado na temperatura, apresentou menor grau de precisão, enquanto o método de Penman, que leva em conta o efeito da radiação solar e o método da radiação solar, forneceram estimativas mais precisas, seguidos dos métodos modificados por Linacre.

CASTRO NETO & SOARES (1989) a partir de medidas diárias de evapotranspiração potencial, obtidas em lisímetro de drenagem, fizeram uma avaliação do comportamento de 23 métodos de estimativa de evapotranspiração potencial. Os resultados obtidos mostraram que o comportamento de um método varia ao longo do ano. No período seco os métodos de Penman e Makkink apresentaram um melhor resultado enquanto que, para estações chuvosas, os métodos propostos por Thornthwaite e por Ostromecky mostraram-se adequados.

ALMEIDA (1987) confrontou o valor de evapotranspiração de referência obtida através do método de Penman, com os valores estimados a partir de diferentes métodos, com valores diários médios mensais, para a região de Ilhéus-Ba, resultando que o método de Penman modificado apresentou maior significância estatística, assegurando melhor precisão na sua estimativa, seguido pelos métodos do Tanque Classe "A", radiação solar e Thornthwaite.

MOTA (1987) desenvolveu um método para estimar evapotranspiração de referência usando a fórmula de Penman, a partir de dados de termômetros de máxima e de mínima, Tanque Classe "A" e evaporímetro Piche. Os dados obtidos foram comparados com o método de Penman, considerado como padrão e que utiliza psicrômetro, heliógrafo e anemômetro, para estimar a evapotranspiração. O método proposto foi de maior confiabilidade do que o método de Tanque Classe "A", para estimativa da evapotranspiração de referência.

GAMERO GUANDIQUE *et.al.* (1997) objetivando determinar o coeficiente de cultura (K_c) do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), em Piracicaba-SP, calcularam o K_c pela relação da evapotranspiração real (E_{Tr}), medida pelo balanço de hídrico do solo, e, da evapotranspiração de referência (E_{To}) estimada pelos métodos de Penman, Penman Modificado, Thornthwaite e Tanque Classe "A", sendo os valores de K_c calculados para as fases vegetativa, floração, enchimento dos grãos e maturação da cultura. O comportamento da E_{To} foi semelhante para todos os métodos, no entanto, os métodos de Penman Modificado e Tanque Classe "A" foram os que mais se aproximaram da E_{Tr} . Os valores de K_c calculados e estimados por fases apresentaram grande variação entre os métodos utilizados, sendo os métodos de Penman e Thornthwaite os que não apresentaram resultados satisfatórios quando comparados com os valores apresentados pela FAO.

FERNANDES *et.al.* (1997) correlacionaram 10 métodos de estimativa da evapotranspiração da cultura (E_{Tc}) do Crisântemo, onde os valores da E_{Tc} foram obtidos a partir de dados coletados em um lisímetro de pesagem, com célula de carga instalado no interior de uma estufa. Foram instalados também um tanque evaporimétrico, tensiômetro e evaporímetro de Piche, e através de sensores calculou-se a evapotranspiração potencial por

vários métodos empíricos. As melhores correlações e concordância entre valores estimados e medidos da ETc foram obtidos quando os dados de entrada foram radiação solar e temperatura e através dos métodos de Jensen-Haise, Radiação solar e Makkink. Os métodos de Penman, Penman-Monteith e Penman-Piche mostraram-se inferiores em relação aos métodos mais simples, que além da facilidade de cálculo melhor estimaram a ETc. O método do tanque evaporimétrico não se ajustou satisfatoriamente com os dados medidos.

SILVA *et.al.* (1997) elaboraram um software para estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) e da cultura (ETc), pelo método de Penman, desenvolvido em linguagem de programação Delphi 1.0, com menus explicativos e botões de barra de ferramentas no padrão windows. Os menus da edição são expressos em forma de tabelas com informações diárias, mensais e anuais. O manual está escrito de forma fácil, especifica os menus da tela principal, tela de edição e outras informações necessárias ao sistema de cálculo da ETo.

AMORIM *et. al.* (1997) estudaram quatro modelos para determinação do coeficiente do tanque (Kt), sendo adotado como padrão a equação de Penman-Monteith. Os modelos propostos por Fevert *et.al.* (1983), Snyder (1992), Cuenca (1989) e Pereira *et.al* (1995), todos ajustaram-se satisfatoriamente aos dados obtidos no tanque classe "A". O modelo Fevert *et.al.* (1983) foi o que apresentou melhor ajuste aos dados de evapotranspiração de referência pelo método padrão. O modelo de Snyder (1992) apresentou uma matemática simples e funcional, oferecendo bons resultados.

Gerber & Decker citado por CURY LUNARDI (1997) comparando a evapotranspiração medida com a estimada, encontraram que o método de Penman superestima a evapotranspiração quando em condições de solo seco na superfície, embora com umidade suficiente nas camadas inferiores.

CURY LUNARDI *et. al.* (1997) avaliaram o comportamento do método de Penman Modificado pela FAO comparando com dados de evapotranspiração (ET) medidos através de lisímetros com lençol freático constante. O método de Penman FAO apresentou boa aderência com os valores medidos, embora superestime a ET em condições de solo seco na superfície, mas com umidade suficiente nas camadas mais profundas, mostrando-se muito

sensível a advecção, mesmo quando pequena parte da energia disponível é transformada em calor sensível.

Para o cálculo da evapotranspiração de referência pelas várias equações, foi desenvolvido, no Departamento de Engenharia Agrícola da Faculdade Superior de Agricultura de Maracá, um "software" baseado em várias programações em linguagem de programação CLINGAL 3.2 (SILVERMAN ET AL., 1980; DALTON, 1980; JONES, 1981; GARCIA, 1981; VITALEY, 1981; BURLING, 1981), que podem ser transformadas em equações computacionais EBC-PC em computadores e impressoras com capacidade de 160 Kb. O mesmo programa foi adaptado para o sistema de equações e foi a obtenção da evapotranspiração de referência de acordo com a equação (1) (Penman-Monteith).

A obtenção deste software seguiu a metodologia de programação estruturada, sendo as atividades em quatro fases (planejamento) e cinco em ordem cronológica. Desta forma a programação foi dividida em seguintes módulos: BANCOS DE DADOS, CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO, CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO, CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO, CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO.

2.2 MÉTODOS EXPERIMENTAIS DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Para obtenção da evapotranspiração de referência (ET₀) foram selecionados seis (6) métodos experimentais: Penman-Monteith, EBC-PC, EBC-PC, EBC-PC, EBC-PC e EBC-PC. Estes métodos foram aplicados em Maracá, Pará, Brasil, em 1981, com o objetivo de comparar os resultados obtidos com os resultados obtidos com o método de Penman-Monteith.

Após a obtenção dos resultados experimentais, a ET₀ foi calculada utilizando a equação (1) para Maracá e para a obtenção de dados de Maracá, dados de Maracá de Penman-Monteith (FAD), de 1981.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido na Escola Superior de Agricultura de Mossoró (Lat.5°11' S;Long.37°20' W e Altitude 18m).

Para determinação da lâmina de água a ser usada na irrigação é necessário que se tenha em mãos a evapotranspiração da cultura:

$ETC = ETo \times Kc$, onde:

ETC = lâmina de água evapotranspirada por uma cultura qualquer;

ETo = evapotranspiração de referência;

Kc = coeficiente de cultivo.

Existem hoje vários métodos para estimativa da evapotranspiração de referência. O uso de cada um depende dos dados climáticos disponíveis no local, os quais foram coletados na estação meteorológica Jerônimo Rosado, da ESAM, dia-a-dia, durante 27 anos (70-96).

Este trabalho visou, portanto, a elaboração de um software para cálculo da evapotranspiração de referência (ETo), e a correlação da evapotranspiração de referência determinada pelos 10 métodos mais usados na região com o de Penman - Monteith que é hoje o mais moderno em termos de evapotranspiração.

A análise foi feita pelo programa estatístico de regressão "Table Curve 2D" que testa cerca de 3000 equações e, indica a que melhor se ajusta aos dados obtidos.

3.1 O SOFTWARE

Para o cálculo da evapotranspiração de referência pelos vários métodos, foi desenvolvido, no departamento de engenharia agrícola da Escola Superior de Agricultura de Mossoró, um "Software" composto de vários programas em linguagem de programação CLIPPER 5.2 (SILVEIRA & ESTOLANO, 1988; DALTON, 1990; JORGE, 1991; SOFTCAD, 1991; STRALEY, 1992; RAMALHO, 1994), que poderá ser executado em qualquer computador IBM-PC ou compatível e requer uma memória de 257 Kb. O mesmo armazena os dados climatológicos em arquivo, e faz o cálculo da evapotranspiração de referência através de onze (11) fórmulas empíricas.

A elaboração deste software seguiu a metodologia de programação modulada, onde foi subdividida em vários módulos (subsistemas) e estes em rotinas e sub-rotinas. Dessa forma o programa foi dividido nos seguintes módulos: DADOS METEOROLÓGICOS; EVAPOTRANSPIRAÇÃO (ET_o); PLANILHA e FIM.

3.2 MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Para estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) foram selecionados onze (11) métodos empíricos : Penman-Monteith; Kinberley-Penman; Linacre; Benavidez & Lopez; Penman; Jensen-Haise; Makkink; Hargreaves; Tanque Classe "A"; Thornthwaite e Blaney & Criddle. Estes foram escolhidos devido à sua praticidade e ampla utilização em todo o mundo, como métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, e mais especificamente no nordeste brasileiro.

Através de todos os métodos utilizados, a ET_o foi calculada diariamente durante 27 anos (70-96) para Mossoró e feita a correlação de todos os métodos citados com o de Penman-Monteith -FAO, dia-a-dia .

3.2.1 - MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH

O método combinado de Penman-Monteith para cálculo de ET_o da cultura hipotética, quando incorporada a resistência da superfície de 70 s/m e com a resistência aerodinâmica fixada para grama, em 0.12 m de altura uniforme, pode ser expresso, para fins de padronização dos procedimentos de cálculos (SEDIYAMA, 1995), pela equação abaixo:

$$ET_{O_1} = \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} \cdot (R_n - G) \cdot \frac{1}{\lambda} \right] + \left[\frac{\gamma}{\Delta + \gamma^*} \cdot \frac{900}{(t + 275)} \right] \cdot V_2 \cdot (es - e)$$

$$\gamma^* = 1 + (0,33 \cdot V_2), \quad \text{onde:}$$

ET_{O_1} = evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith (mm/dia);

Δ , γ , R_n , G , V_2 , es , e = definidos pelo método de Kimberley-Penman à seguir;

γ^* = constante psicrométrica modificada (KPa/°C)

λ = calor latente de evaporação (MJ/Kg);

t = temperatura média do ar (°C).

3.2.2 - MÉTODO DE KIMBERLEY - PENMAN

WRIGHT & JENSEN (1972) recomendaram duas equações para o cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Kimberley-Penman, uma para áreas áridas e outra para regiões úmidas, sendo que para esta pesquisa foi utilizada a equação indicada para as regiões áridas.

$$ET_{O_2} = \left[\frac{\Delta (R_n - G)}{(\Delta + \gamma)} \right] + \left[\frac{\gamma \cdot 6,43 \cdot W_f (es - e)}{(\Delta + \gamma)} \right], \quad \text{onde:}$$

ET_{O_2} = evapotranspiração de referência estimada pelo método de Kimberley-Penman (MJ/m²dia);

Δ = declividade da curva de pressão de vapor de saturação (KPa/°C);

γ = constante psicrométrica (KPa/°C);

R_n = saldo de radiação à superfície (MJ/m²dia);

G = fluxo de calor no solo $\cong 0$;

W_f = coeficiente em função do vento (MJ/m²dia) ;

$W_f = 0,75 + 0,993 V_2$;

V_2 = velocidade do vento a 2m de altura (m/s);

e_s = pressão de saturação (Kpa);

e = pressão atual de vapor d'água (Kpa).

3.2.3 - MÉTODO DE LINACRE

Este método considera a temperatura do ar como única variável de entrada para um determinado local. Na realidade trata-se de uma simplificação do método de Penman. Este método tem sido usado para estimar a ETo em períodos menores que um mês (PEREIRA *et. al.*, 1997).

$$ET_{O_3} = \frac{\left[500 \cdot \left(\frac{t_m}{100 - A} \right) + 15 \cdot (t - t_o) \right]}{(80 - t)}, \quad \text{onde:}$$

ET_{O_3} = evapotranspiração de referência estimada pelo método de Linacre

(mm/dia);

A = latitude (graus);

t = temperatura do ar (°C);

t_o = temperatura do ponto de orvalho (°C);

t_m = equivalente ao nível do mar da temperatura do ar (°C);

$t_m = t + 0,006 h$

h = altitude (m).

3.2.4 - MÉTODO DE BENAVIDEZ & LOPEZ

Este método relaciona a evapotranspiração de referência (ET_0) com a umidade relativa (UR) e a temperatura (t), com a seguinte equação:

$$\left(\frac{7,45 \cdot t}{234,7 + t} \right)$$

$$ET_{0_4} = 1,21 \cdot 10 \cdot (1 - 0,01 \cdot UR) + 0,21 \cdot t - 2,30, \text{ onde:}$$

ET_{0_4} = evapotranspiração de referência estimada pelo método de Benavidez & Lopez (mm/dia);

t = temperatura do ar (°C);

UR = umidade relativa do ar (%).

3.2.5 - MÉTODO DE PENMAN

Para estimar a evapotranspiração de referência pelo método de Penman utilizou-se a formulação original proposta por Penman (1948).

$$ET_{0_5} = \frac{\left(\frac{\Delta}{\gamma} \cdot H \right) + Ea}{\left(\frac{\Delta}{\gamma} + 1 \right)}$$

$$Ea = 0,35 \left[1 + \frac{V_2}{160} \right] \cdot (e_s - e), \quad \text{onde:}$$

ET_{0_5} = evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman

(mm/dia);

Δ = fator adimensional dependente da temperatura média do ar (já definidos);

H = balanço de energia radiante em equação de água (mm/dia);

E_a = poder evaporante do ar à sombra (mm/dia);

V_2 , e_s e e = já definidos anteriormente pelo método de Kimberley-Penman.

3.2.6 - MÉTODO DE JENSEN - HAISE

Segundo PEREIRA *et. al* (1997) para JENSEN & HAISE (1963) a evapotranspiração potencial ou de referência é aquela que ocorre nos campos irrigados em áreas áridas e semi-áridas, não havendo necessidade de áreas de bordadura homogênea, ilimitada e bem suprida de água. Trabalhando em áreas semi-áridas americanas Jensen & Haise propuseram a seguinte equação:

$$ET_{o6} = (0,014 \cdot t - 0,37) \cdot R_s, \quad \text{onde:}$$

ET_{o6} = evapotranspiração de referência estimada pelo método de Jensen-Haise (polegada / dia);

R_s = radiação solar, expressa em equivalente de evaporação (polegada/dia);

t = temperatura média (°F).

3.2.7 - MÉTODO DE MAKKINK

Usando dados de evapotranspiração (ET_o) de um gramado, com lisímetro de lençol freático constante, Makkink (1957) obteve a seguinte correlação entre ET_o diária e a radiação solar ao nível da superfície (PEREIRA *et.al*, 1997):

$$ET_{o7} = 0,61 \cdot R_s \cdot \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) - 0,12, \quad \text{onde:}$$

ET_{o7} = evapotranspiração de referência estimada pelo método de Makkink (mm/dia);

R_s = radiação global expressa em equivalentes de evaporação (mm/dia);

Δ e γ são definidos conforme o método de Kimberley-Penman.

3.2.8 - MÉTODO DE HARGREAVES

Usando dados obtidos no lisímetro de Davis, California (clima semi-árido), com gramado, Hargreaves & Samani (1985) propuseram a seguinte equação para estimativa diária da evapotranspiração de referência:

$$ET_{08} = 0,0023 \cdot Ra \cdot td \cdot (t + 17,8), \quad \text{onde:}$$

ET_{08} = evapotranspiração estimada pelo método de Hargreaves (mm/dia);

Ra = radiação extraterrestre (mm/dia);

td = diferença da temperatura máxima e mínima do ar ($^{\circ}C$).

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

3.2.9 - MÉTODO DO TANQUE CLASSE "A"

A evaporação do Tanque Classe "A" é uma medida do efeito integrado da radiação solar, velocidade do vento, temperatura do ar e umidade relativa sobre a evaporação de uma superfície de água livre (DOORENBOS & PRUITT, 1977). Como um solo umedecido, em nossa região, evapora praticamente a mesma quantidade de água que uma superfície líquida, este método é bastante utilizado dada a sua praticidade e por não envolver muitos parâmetros, dependendo praticamente, da leitura no tanque de evaporação. A evaporação é um valor que é corrigido por um coeficiente (K_p) para transformá-lo em evapotranspiração. Então:

$$ET_{09} = ECA \times K_p \quad \text{onde:}$$

ET_{09} = evapotranspiração de referência estimada (mm/dia)

ECA = evaporação diária no Tanque Classe "A" (mm/dia);

K_p = coeficiente do tanque, em função da velocidade do vento, umidade relativa e tipo de exposição do tanque.

3.2.10- MÉTODO DE THORNTHWAITE

Segundo PEREIRA *et.al.*(1997) este método foi proposto por Thornthwaite (1948) para estimativa da evapotranspiração potencial (ETP) mensal de um gramado (posto meteorológico) como elemento climatológico, visando a classificação climática do local. Nesse contexto, ETP é tida como igual à chuva ideal para que uma região não apresente, nem excesso, nem deficiência hídrica durante o ano. O conjunto de equações desenvolvidas por Thornthwaite foi baseado no balanço hídrico de bacias hidrográficas e em medidas de evapotranspiração realizadas em lisímetro, e utiliza apenas a temperatura do ar como variável independente.

$$ET_{O_{10}} = 16 \cdot \left(\frac{10 \cdot t}{I} \right)^a \cdot f, \quad \text{onde:}$$

$ET_{O_{10}}$ = evapotranspiração de referência estimada pelo método de Thornthwaite (mm/dia);

I = índice anual de calor, ou seja, igual a soma de 12 índices i ;

i = índice mensal de calor determinado por $i = (t / 5)^{1,514}$;

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

a = função cúbica de I dada por:

$$a = 675 \cdot 10^{-9} I^3 - 771 \cdot 10^{-7} I^2 + 179 \cdot 10^{-4} I + 0,492$$

f = fator de ajuste da evapotranspiração mensal (tabelado).

3.2.11 - MÉTODO DE BLANEY & CRIDDLE

Este método é bastante antigo, tendo sido desenvolvido na região semi-árida dos Estados Unidos. O mesmo estima a evapotranspiração de referência média mensal de um gramado, através da seguinte equação:

$$ET_{O_{11}} = P \cdot (0,457 \cdot t + 8,13), \quad \text{onde:}$$

$ET_{O_{11}}$ = evapotranspiração estimada pelo método de Blaney & Criddle (

mm/dia);

P = percentagem mensal de horas de brilho solar em relação ao total anual
(tabelado);

t = temperatura média do ar (°C) no período.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 MÓDULOS DO SOFTWARE

O software foi desenvolvido seguindo a programação modular, e ao ser executado apresentará uma tela principal que, permite a rolagem do cursor pelos módulos. O usuário pode executá-lo de acordo com sua necessidade e, a qualquer momento pode retornar à tela principal, suspendendo a operação, basta teclar em “ESC”. A tela principal encontra-se da seguinte forma:

DADOS METEOROLÓGICOS
EVAPOTRANSPIRAÇÃO (ET ₀)
PLANILHA PRINCIPAL
FIM

4.1.1 MÓDULO DADOS METEOROLÓGICOS

Este módulo é composto de programas que estão diretamente ligados a manipulação do banco de dados do software. O mesmo ao ser executado apresenta a tela abaixo permitindo ao usuário diversas alternativas de manipulação de dados, sendo somente necessário rolar o cursor para a opção desejada e em seguida pressionando a tecla “Enter”.

INCLUIR
ALTERAR
EXCLUIR
VOLTAR

A rotina incluir, contida neste módulo, permite ao operador o armazenamento de todos os dados meteorológicos utilizados como parâmetros de entrada e fornecidos pelo usuário na sequência: Data da coleta; Temperatura máxima, média e mínima do ar, Umidade relativa do ar; Velocidade do vento a 10m de altura; Insolação; Evaporação do tanque classe "A"; Latitude e Altitude do local e Pressão atmosférica. Em seguida o próprio sistema gera uma planilha principal que determina todos os dados necessários para o cálculo da evapotranspiração por todos os métodos, são eles: dia juliano; distância relativa terra-sol; velocidade do vento a 2m de altura em Km/dia; coeficiente do tanque classe "A"; pressão atual de vapor d'água; pressão de saturação e de vapor d'água; radiação extraterrestre; radiação global; temperatura do ponto de orvalho; número máximo de brilho solar; constante psicrométrica; calor latente de evaporação; saldo de radiação de ondas longas e curtas; índice anual de calor; percentagem mensal de horas de luz do dia durante o ano e balanço de energia radiante.

Os dados fornecidos pelo usuário e os calculados pelo próprio sistema são armazenados em um arquivo, gerando a planilha principal do sistema. Em seguida o sistema calculará os dados da evapotranspiração de referência, para os onze (11) métodos, e os guardará em uma outra planilha.

Para a determinação da evapotranspiração de referência, foi necessário utilizar algumas tabelas, geradas pelo próprio sistema como: coeficiente "p" (percentagem mensal de horas de luz do dia durante o ano), tabela que auxilia na equação de Blaney - Criddle; coeficiente "f" (fator de ajuste da evapotranspiração potencial mensal), tabela de auxílio na equação de Thornthwaite.

Tão importante quanto incluir, é poder alterar um dado incorreto presente em um banco de dados. Assim, o sistema possui rotina específica para alteração de dados

que por ventura tenham sido armazenados de forma incorreta no banco de dados, necessitando para tal operação, somente a data para o conserto.

O sistema possui também uma rotina onde é possível a exclusão de registros de banco de dados, necessitando somente a data, para a execução. Para completar este módulo, o programa tem como rotina a opção voltar que, permite o retorno a tela principal.

No módulo dados meteorológicos a operação deve ser feita por pessoas autorizadas, através de senhas, a manusear o sistema. Por se tratar de manipulação de dados o usuário tem acesso aos dados originais, e assim, podendo alterá-los de forma propositada ou não.

4.1.2- MÓDULO EVAPOTRANSPIRAÇÃO (ETo)

O módulo evapotranspiração é composto de vários programas contendo rotina e sub-rotina de acesso aos resultados da evapotranspiração de referência. Ao usuário optar por esta opção, apresentará a seguinte tela:

TODOS OS MÉTODOS
POR MÉTODO
VOLTAR

Ao executar a opção "Todos os Métodos" o sistema possibilita ao usuário o acesso a todos os dados da evapotranspiração de referência para todos os 11 métodos, que estão armazenados em arquivo.

Caso o usuário do sistema deseje obter a informação da ETo, somente para um método, pode executar a opção "Por Método". Sequenciando este módulo o usuário poderá optar pela exibição dos dados no vídeo ou no papel, através da impressora, onde necessitará como parâmetro de entrada, para estas duas opções, somente o período que deseja obter a informação.

4.1.3 - MÓDULO PLANILHA PRINCIPAL

A planilha principal contém todos os dados fornecidos pelo usuário e os dados determinados pelo sistema. Ao ser selecionado este módulo será mostrada uma tela com as seguintes opções:

VIDEO
IMPRESSORA
VOLTAR

Após a escolha de uma das opções acima o usuário deverá fornecer o período, para o qual se deseja obter as informações.

4.1.4. MÓDULO FIM

Como não poderia deixar de ter para conclusão de qualquer sistema, a rotina fim, para finalizar, além de permitir que o usuário saia do sistema.

4.2. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS OBTIDOS.

A análise estatística comparou a evapotranspiração de referência (ET_o) estimada pelos 10 métodos mais usados em nossa região, com os valores obtidos pelo método Penman-Monteith-FAO, que é o mais recomendável. Para Monteith e Unsworth citados por BRITO & AMORIM NETO (1990), o método de Penman-Monteith mais recentemente proposto é proveniente de modificação na proposta original de Penman, sob o argumento de que o mesmo é, mais consistente que Penman modificado. Pode se atribuir essa consistência ao fato do método envolver, além, de variáveis meteorológicas, parâmetros como a resistência aerodinâmica e resistência da cultura, que estão associados

ao estágio de desenvolvimento e resistência estomática da planta. Por isso, foi o método escolhido como padrão para esse estudo.

De acordo com os dados obtidos dia-a-dia, fez-se análise de regressão, de todos os métodos, considerando-se como padrão PENMAN - MONTEITH. Como não se conseguiu obter bons resultados, lançou-se mão dos valores médios mensais da ET_o para os 27 anos de observação. Isto baseado em SEDIYAMA (1996) que afirma que a estimativa da evapotranspiração pelos métodos empíricos, deve ser aplicada apenas para períodos longos, valores mensais, por exemplo.

As análises revelaram existir razoável correlação, dos métodos estudados com o padrão, com um coeficiente de determinação variando de 0,53 a 0,98, predominando na maioria dos casos a equação do tipo $Y = a + b X^z$, onde, Y representa a evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith; a, b e z são valores constantes definidos para cada método; X é a evapotranspiração de referência estimada pelos métodos em comparação. Na análise de regressão feita encontrou-se equações com coeficientes de determinação maiores, porém, devido a dificuldade de utilização, optou-se por equações mais simples.

O quadro 01 apresenta os coeficientes de determinação corrigidos com as respectivas equações de regressão para os 10 métodos estudados e comparados com o método de Penman-Monteith.

As figuras de 1 a 10 apresentam a dispersão dos dados obtidos em torno das curvas de regressão para cada método estudado.

Analizando as equações de regressão e os respectivos coeficientes de determinação (r^2) apresentados no quadro 01, verifica-se que o método de Kimberley - Penman foi o que melhor se comportou com coeficiente $r^2 = 0,98$. Este resultado era o esperado devido as equações de Kimberley - Penman e Penman - Monteith serem praticamente as mesmas, diferindo apenas com o acréscimo de algumas variáveis como: constante psicometria modificada e calor latente de evaporação que Penman-Monteith envolve em sua equação. Este resultado não foi diferente do encontrado por BARROS *et al* (1996) em Caruaru - PE onde os métodos de Penman original e Kimberley - Penman alcan-

Quadro 01: Valores dos coeficientes de determinação corrigidos e equações de regressão para os vários métodos, comparados com o método Penman-Monteith-FAO

MÉTODOS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO	r^2	EQUAÇÕES
KIMBERLEY - PENMAN	0.98	$Y = 1.73 + 0.20 X^{1.5}$
LINACRE	0.90	$Y = 1.26 + 0.20 X^2$
BENAVIDEZ & LOPEZ	0.89	$Y = 2.39 + 0.013 X^3$
PENMAN	0.87	$Y = 0.67 + 0.19 X^2$
JENSEN - HAISE	0.85	$Y = - 327 + 1.35 X$
MAKKINK	0.78	$Y = - 2.35 + X^{1.5}$
HARGREAVES	0.78	$Y = 0.90 + 0.08 X^{2.5}$
TANQUE CLASSE "A"	0.70	$Y = 0.54 + 0.86 X$
THORNTHWAITE	0.58	$Y = 1.08 + 0.35 X^{1.5}$
BLANEY & CRIDDLE	0.53	$Y = 0.04 X^2 - 3.2$

çaram maiores correlações quando comparados com Penman - Monteith.

Na figura 01, vê-se a distribuição dos dados estimados em torno da curva ajustada, mostrando a uniformidade de distribuição dos mesmos. Isto pode ser justificado em função dos parâmetros de entrada serem praticamente os mesmos do método padrão.

Linacre citado por PEREIRA & SEDIYAMA (1993) desenvolveu, a partir da equação original de Penman uma fórmula simples para estimar taxas de evapotranspiração potencial (ETP) sob várias condições climáticas e usando apenas dados geográficos (latitude e altitude), de temperatura média do ar e temperatura do ponto de orvalho. A literatura indica que para as condições brasileiras esta equação deve ser usada com reservas, pois não existe estudos que substanciem esta proposição.

Para as nossas condições, com os dados analisados, obteve-se o segundo melhor resultado em comparação com o método padrão, com um coeficiente de determinação ($r^2 = 0,90$) conforme pode ser observado no quadro 01 e figura 02.

O método de Benavidez & Lopez relaciona a evapotranspiração de referência (ET_0) com a umidade relativa (UR) e a temperatura do ar. A escolha deste método foi devido a facilidade de obtenção dos parâmetros de entrada, por exigir somente temperatura e umidade relativa, podendo ser perfeitamente indicado para nossa região, pois, com a análise de regressão feita obteve-se um coeficiente de determinação $r^2 = 0,89$, como evidenciam o quadro 01 e figura 03. Vale salientar que este método é bastante usado na região do vale do São Francisco, nos perímetros irrigados.

A fórmula original de Penman foi derivada com base na eliminação da temperatura da superfície nas equações de conservação de energia e de massa na interfase entre o solo e ar atmosférico e, é a combinação dos métodos do balanço de energia e do termo aerodinâmico. É um método bastante utilizado, principalmente em pesquisas. Foi o primeiro método da categoria de métodos combinados, sendo considerado por muitos como padrão.

Segundo BERGAMASCHI *et al* (1992), uma das desvantagens do método é a necessidade de informações em um só nível, que normalmente não estão disponíveis nas estações meteorológicas de rotina, como: radiação, temperatura, vento e umidade.

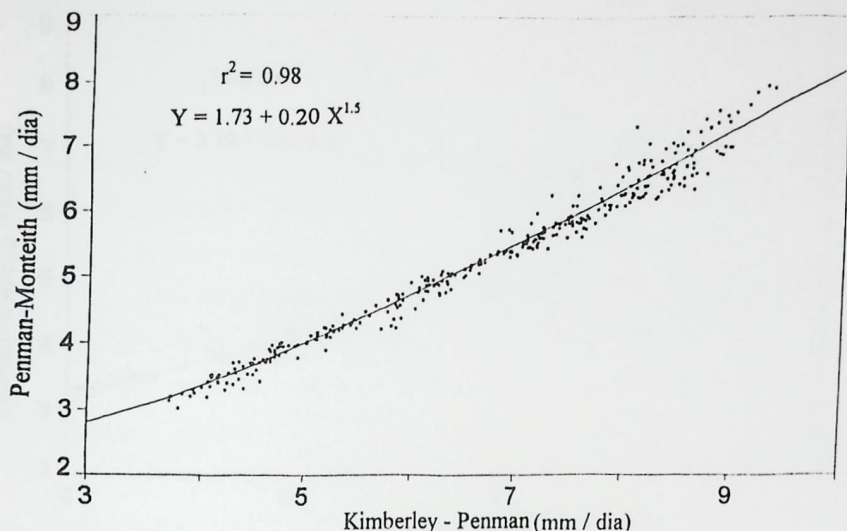


Figura 01: Distribuição dos valores de E_{To} estimados pelo métodos Penman - Monteith / Kimberley - Penman, em torno da curva de regressão

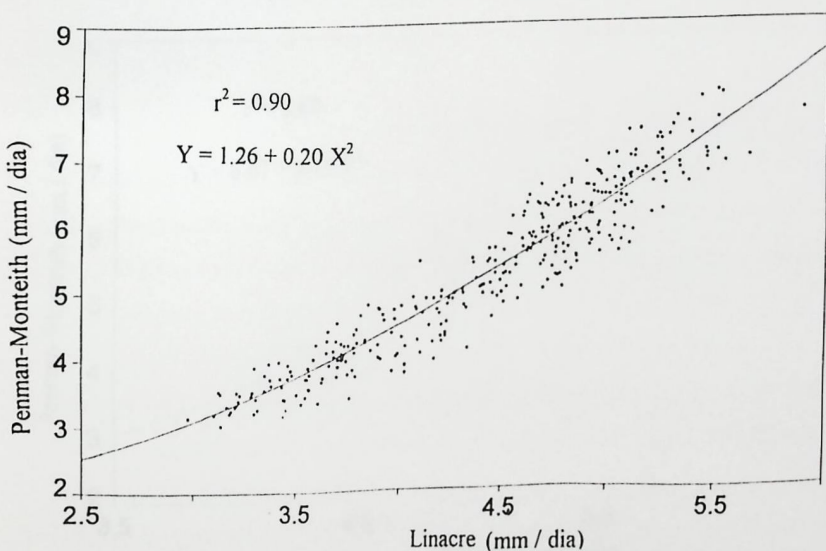


Figura 02: Distribuição dos valores de E_{To} estimados pelo métodos Penman - Monteith / Linacre, em torno da curva de regressão

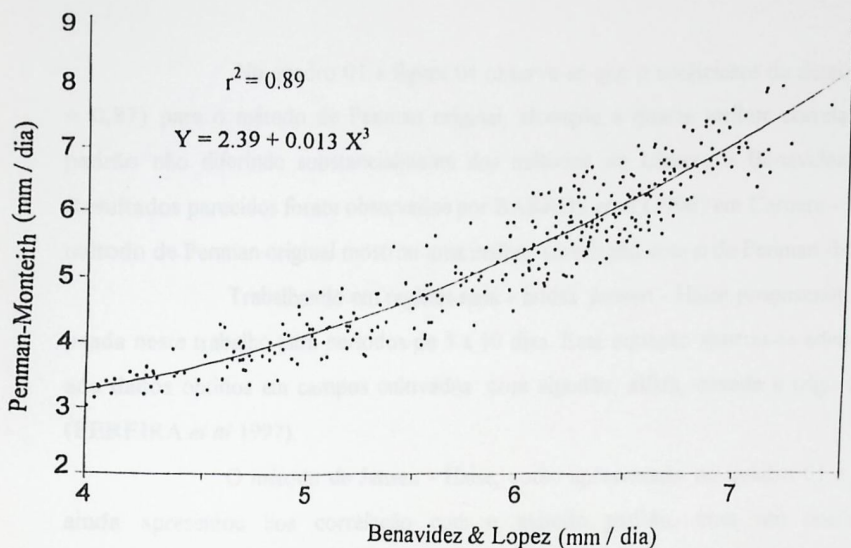


Figura 03: Distribuição dos valores de ET₀ estimados pelo métodos Penman - Monteith / Benavidez & Lopez, em torno da curva de regressão

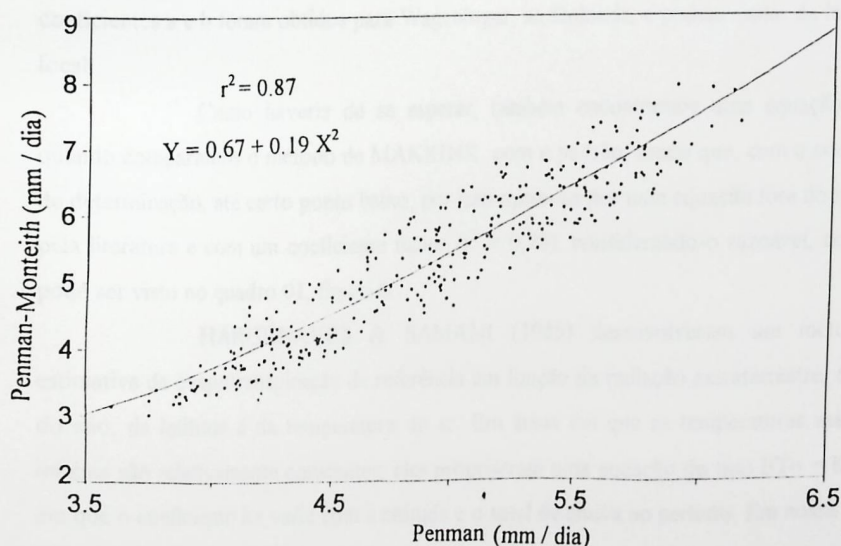


Figura 04: Distribuição dos valores de ET₀ estimados pelo métodos Penman - Monteith / Penman, em torno da curva de regressão

No quadro 01 e figura 04 observa-se que o coeficiente de determinação ($r^2 = 0,87$) para o método de Penman original, alcançou a quarta melhor correlação com o padrão não diferindo substancialmente dos métodos de Linacre e Benavidez & Lopes. Resultados parecidos foram observados por BARROS *et al* (1996) em Caruaru - PE, onde o método de Penman original mostrou uma melhor correlação com o de Penman -Monteith.

Trabalhando em regiões semi - áridas Jensen - Haise propuseram a equação usada neste trabalho para períodos de 5 a 10 dias. Essa equação ajustou-se adequadamente aos dados obtidos em campos cultivados com algodão, alfafa, cevada e trigo de inverno (PEREIRA *et al* 1997).

O método de Jensen - Haise, como apresentado no quadro 01 e figura 05, ainda apresentou boa correlação com o método padrão, com um coeficiente de determinação ($r^2 = 0,87$). Este resultado não diferiu substancialmente dos métodos de Linacre, Benavidez & Lopes e Penman, podendo-se usar qualquer um destes métodos, de acordo com a facilidade de aquisição dos dados, para o cálculo da evapotranspiração de referência em, Mossoró.

A equação de Makkink descreve uma relação linear do tipo $Y = a + b X$. Os coeficientes a e b foram obtidos para Wageningen, na Holanda, e podem variar de local para local.

Como haveria de se esperar, também encontramos uma equação Linear quando comparamos o método de MAKKINK com o padrão, sendo que, com o coeficiente de determinação, até certo ponto baixo, por isso optou-se por uma equação fora do indicado pela literatura e com um coeficiente maior ($r^2 = 0,78$), considerando-o razoável, conforme pode ser visto no quadro 01, figura 6.

HARGREAVES & SAMANI (1985) desenvolveram um método de estimativa da evapotranspiração de referência em função da radiação extraterrestre, do mês, do ano, da latitude e da temperatura do ar. Em áreas em que as temperaturas máxima e mínima são relativamente constantes, eles propuseram uma equação do tipo $ETo = Kr \cdot Ra$, em que o coeficiente Kr varia com a altitude e o total de chuva no período. Em nossa

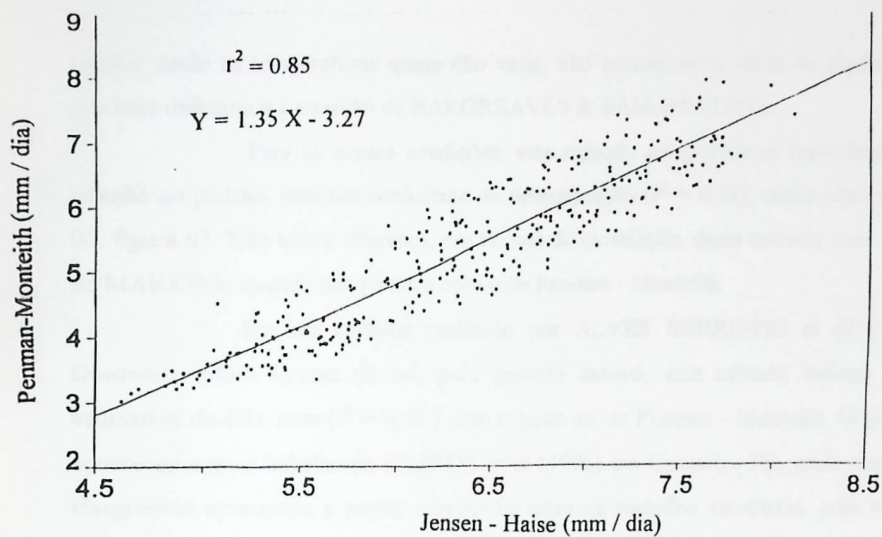


Figura 05: Distribuição dos valores de ETo estimados pelo métodos Penman - Monteith / Jensen - Haise, em torno da curva de regressão

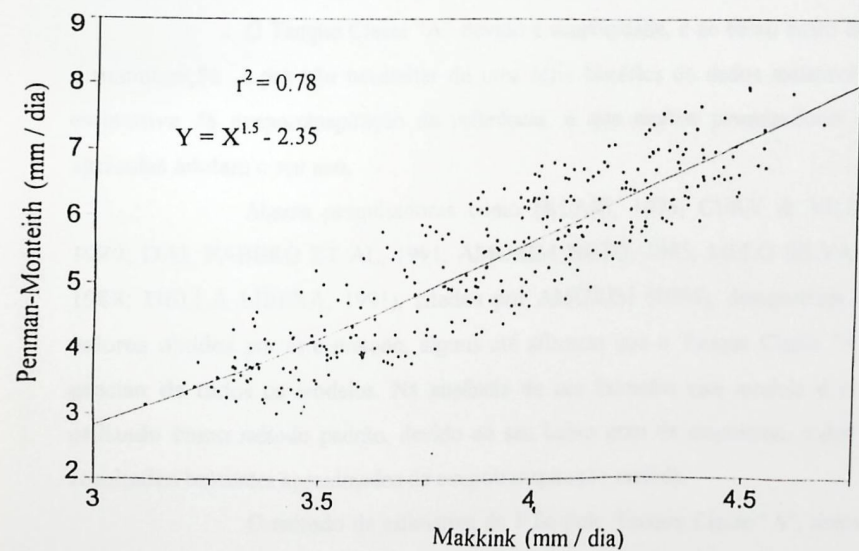


Figura 06: Distribuição dos valores de ETo estimados pelo métodos Penman - Monteith / Makkink, em torno da curva de regressão

região, onde as temperaturas quase não varia, não encontrou-se ainda os coeficientes K_r , por isso utilizamos a equação de HARGREAVES & SAMANI (1985).

Para as nossas condições, este método comportou-se razoavelmente com relação ao padrão, com um coeficiente de determinação ($r^2 = 0,78$), como visto no quadro 01, figura 07. Não houve diferença, em termos de correlação, deste método com o método de MAKKINK quando comparados com o de Penman - Monteith.

Em um trabalho realizado por ALVES SOBRINHO *et al* (1996) em Dourados, Mato Grosso do sul, para período mensal, este método indicou excelente estimativa do E_{To} com ($r^2 > 0,90$) com relação ao de Penman - Monteith. O mesmo não aconteceu com o trabalho de BARROS *et al* (1996) em Caruarú - PE, onde o método de Hargreaves apresentou a menor correlação entre os métodos estudados, com relação ao método padrão. Em nosso trabalho obteve-se uma média razoável, tendendo para baixa correlação, sendo que, o resultado está mais de acordo com o trabalho de BARROS, em Pernambuco, em função das duas regiões apresentarem o mesmo tipo de clima. Por ser um método bastante usado na região, sugere-se fazer, posteriormente, estudos para diferenciar a época seca da chuvosa, podendo assim se obter melhor correlação.

O Tanque Classe "A" devido à simplicidade, e ao baixo custo de instalação e manutenção e por não necessitar de uma série histórica de dados meteorológicos para estimativa da evapotranspiração de referência, é que muitos pesquisadores e empresas agrícolas adotam o seu uso.

Alguns pesquisadores como (KLAIR, 1975; CURV & VILLA NOVA, 1989; DAL FABBRO ET AL, 1991; AMORIM NETO, 1985, MELO SILVA & LIMA, 1988; DELLA LIBERA, 1991), citados por AMORIM (1994), demonstram confiar nos valores obtidos por este método, alguns até afirmam que o Tanque Classe "A" é o mais preciso de todos os modelos. Na ausência de um lisímetro este modelo é normalmente utilizado como método padrão, devido ao seu baixo grau de empirismo, e por apresentar resultados bastantes aproximados da evapotranspiração medida.

O método de estimativa da E_{To} pelo Tanque Classe "A", neste trabalho, aparece em 8º lugar, em ordem decrescente, quando comparado com o de Penman - Monteith.

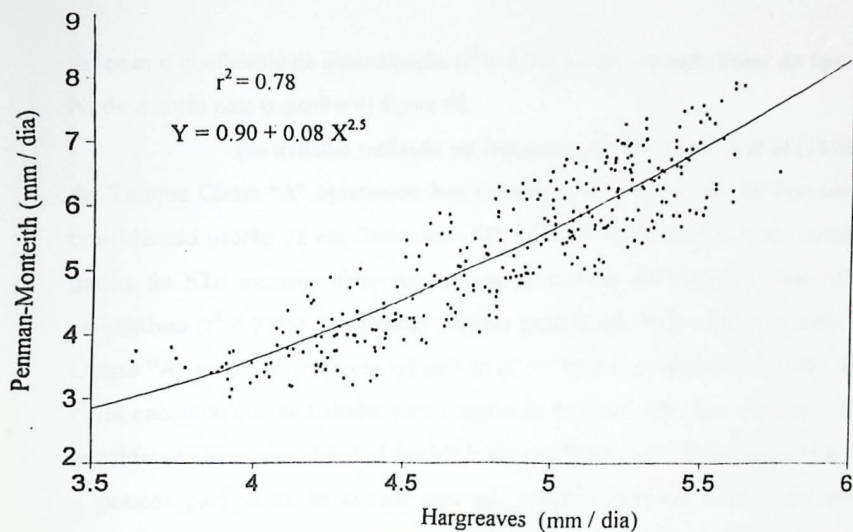


Figura 07: Distribuição dos valores de ETo estimados pelo métodos Penman - Monteith / Hargreaves, em torno da curva de regressão

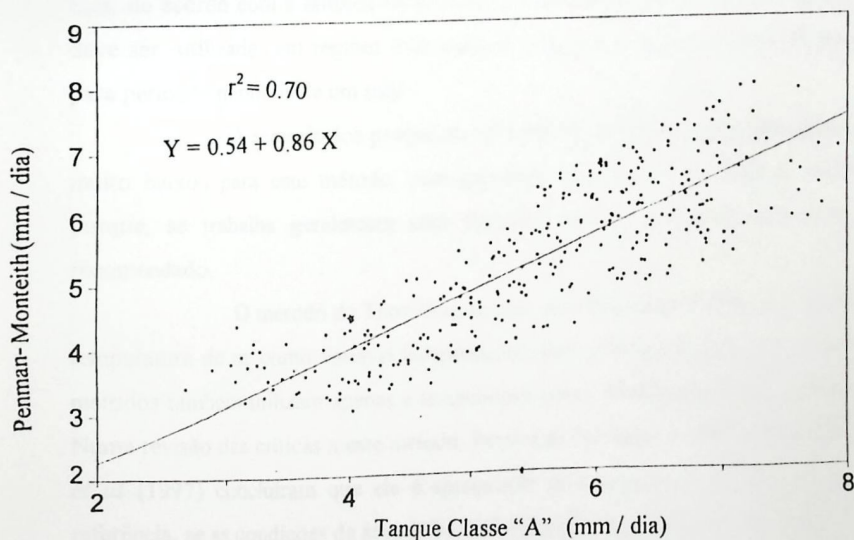


Figura 08: Distribuição dos valores de ETo estimados pelo métodos Penman - Monteith / Tanque Classe "A", em torno da curva de regressão

th, com o coeficiente de determinação ($r^2 = 0,70$) e com equação linear do tipo $Y = a + bX$, de acordo com o quadro 01 figura 08.

Em trabalho realizado em Botucatu - SP por COSTA *et al* (1996) o método do Tanque Classe "A" apresentou boa correlação com o método de Penman -Monteith, considerado padrão. Já em Dourados - MS ALVES SOBRINHO, 1996, trabalhando com dados de ETo mensais, obtiveram através do método do Tanque Classe "A" as piores estimativas ($r^2 = 27\%$). No mesmo trabalho para Ponta Porã - MS o método do Tanque Classe "A" propiciou melhores estimativas ($r^2 = 70\%$) com relação ao padrão. Este mesmo r^2 foi encontrado neste trabalho para a região de Mossoró-RN, este resultado não pode ser considerado bom, mas, devido à facilidade de uso, baixo custo de implantação e manutenção e poucos parâmetros de entrada para seu cálculo, pode ser usado para estimativa da evapotranspiração, com segurança de 70% de confiabilidade na utilização da equação para conversão no método padrão.

A equação de Thornthwaite, foi derivada na parte central Leste dos EUA (clima temperado continental), baseada em dados de precipitações e escoamento superficial de várias bacias. Esta também depende da temperatura do ar, e ajustes para o nº de dias do mês, de acordo com a latitude da localidade a ser trabalhada. A equação de Thornthwaite deve ser utilizada em regiões onde estejam disponíveis somente dados de temperatura e para períodos mínimos de um mês.

A maioria dos pesquisadores brasileiros, normalmente têm obtido resultados muito baixos para este método, principalmente na região semi-árida do Nordeste. Isto porque, se trabalha geralmente com períodos curtos, nos quais este método não é recomendado.

O método de Thornthwaite tem sido bastante criticado por utilizar apenas a temperatura do ar como variável independente. Esta crítica é injusta pois inúmeros outros métodos também utilizam apenas a temperatura como condicionante da evapotranspiração. Numa revisão das críticas a este método, Pereira & Camargo (1989) citado por PEREIRA *et al* (1997) concluíram que ele é apropriado para estimativa da evapotranspiração de referência, se as condições de área de bordadura forem consideradas. No entanto, ele não é

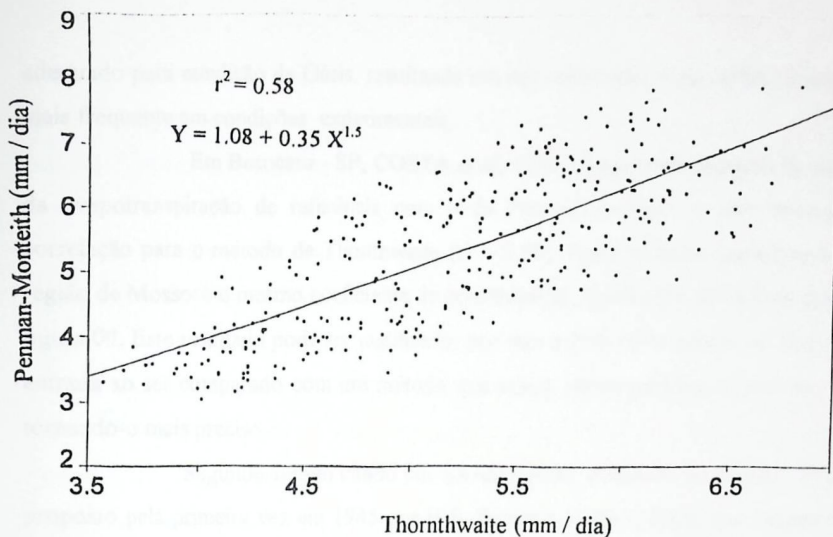


Figura 09: Distribuição dos valores de E_{To} estimados pelo métodos Penman - Monteith / Thornthwaite, em torno da curva de regressão

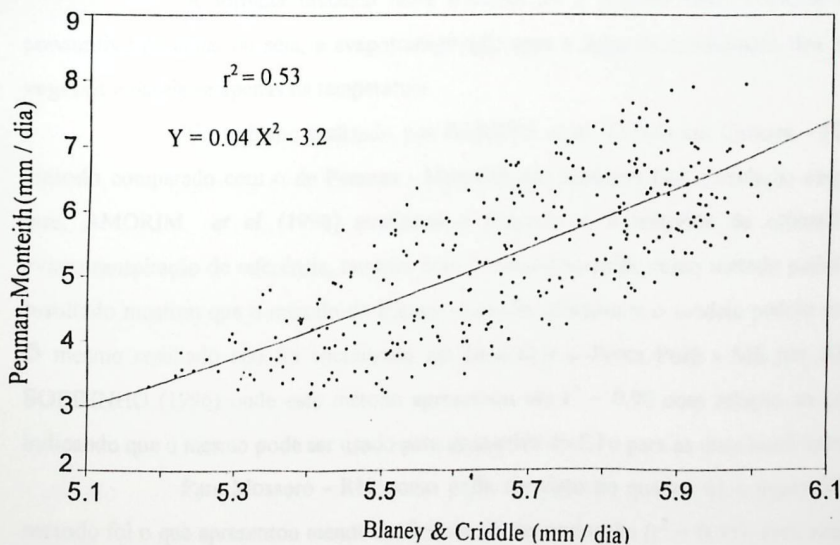


Figura 10: Distribuição dos valores de E_{To} estimados pelo métodos Penman - Monteith / Blaney - Criddle, em torno da curva de regressão

adequado para condição de Oásis, resultando em sub -estimação, e esta última condição é a mais frequente em condições experimentais.

Em Botucatu - SP, COSTA *et al*, 1996, compararam métodos de estimativa da evapotranspiração de referência com o de Penman-Monteith e, não obtiveram boa correlação para o método de Thonhwaite ($r^2 = 0.58$). Neste trabalho encontrou-se para a região de Mossoró o mesmo coeficiente de determinação, como pode se visto no quadro 01, figura 09. Este resultado pode ser justificado, por este método usar apenas um parâmetro de entrada ao ser comparado com um método que utiliza vários parâmetros para seu cálculo, tornando-o mais preciso.

Segundo Jensen citado por SAAD (1988), o método de Blaney - Criddle foi proposto pela primeira vez em 1945 por H.F. Blaney e W.D. Criddle, que basearam-se em medições de campo da evapotranspiração, no oeste dos EUA. O método tem sido utilizado em escala mundial, porém a calibração local é considerada altamente necessária. A equação baseia-se no princípio de que a evapotranspiração é proporcional ao produto do comprimento do dia, em percentagem, e à temperatura média do ar. É um método recomendado para períodos mensais.

A fórmula utilizada neste trabalho foi a original onde estima-se o uso consuntivo de água, ou seja, a evapotranspiração mais a água de constituição dos tecidos vegetais e baseia-se apenas na temperatura.

No trabalho realizado por BARROS *et al*, (1996) em Caruarú - PE este método comparado com o de Penman - Monteith não alcançou boa correlação enquanto, que, AMORIM *et al* (1996) avaliaram o lisímetro e 6 métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, também com Penman-Monteith, como método padrão, e o resultado mostrou que o método de Blaney - Criddle subestimou o modelo padrão em 7%. O mesmo resultado não foi encontrado em Dourados e Ponta Porã - MS por ALVES SOBRINHO (1996) onde este método apresentou um $r^2 = 0.90$ com relação ao padrão, indicando que o mesmo pode ser usado para estimativa do ETo para as duas localidades.

Para Mossoró - RN, como pode ser visto no quadro 01 e figura 10, este método foi o que apresentou menor coeficiente de determinação ($r^2 = 0,53$). Este resultado

pode ser explicado em função de que a análise foi feita para dados médios mensais de 27 anos, o que praticamente amortece as variações da temperatura, que é o único parâmetro de entrada, fazendo com que a mesma se comporte praticamente constante, não evidenciando a contento a variação da demanda evaporativa da atmosfera.

Como pode ser visto na figuras de 11 e 12, relacionando todos os métodos com o método padrão, pode-se observar que todos os dados variaram anualmente da mesma forma, crescente, evidenciando baixa necessidade hídrica no início do ano (período chuvoso), contrastando com os valores altos do final (período seco).

Nas figuras 02, 06 e 10 percebe-se que os métodos de Linacre, Makkink e Blaney - Criddle apresentaram menor amplitude anual nos valores estimados de ETo, embora os menores valores de ETo ($\approx 3\text{mm/dia}$) tenham sido estimados através do Tanque Classe "A" e Linacre, conforme o quadro 2.

As maiores amplitudes anuais de ETo foram obtidas pelos métodos do, Kimberley - Penman, Jensen - Haise e Tanque Classe "A" conforme mostram as figuras 01, 05 e 08, mesmo os valores máximos (8 e 9.5 mm/dia) tendo sido determinados pelos métodos de Tanque Classe "A" e Kimberley - Penman, respectivamente.

As figuras 03, 04, 05 e 09, evidenciam também que para os métodos de Benavidez & Lopez, Penman, Hargreaves e Jensen - Haise a amplitude anual foi praticamente a mesma.

Em trabalho realizado em Mossoró-RN por ESPÍNOLA SOBRINHO & MAIA (1997) utilizando a mesma metodologia, sendo que, com dados diários e somente de um ano (maio de 96 a abril de 97), foram obtidos resultados similares para os métodos de Kimberley - Penman, Benavides & Lopes, Linacre, Penman, Jensen - Haise, Makkink quando comparados com o padrão, sendo que os métodos de Hargreaves, Tanque Classe "A", Thornthwaite e Blaney & Criddle apresentaram coeficientes bem menores para os dados médios observados em 27 anos. Isto pode ser justificado pelo fato de que um ano de dados meteorológicos é um período de tempo muito curto para se fazer este tipo de avaliação, podendo os métodos analisados superestimarem ou subestimarem o método padrão.

4.3. VARIAÇÃO ANUAL DA ETo EM MOSSORÓ-RN.

O quadro 02, contém os valores médios da evapotranspiração de referência, mês-a-mês, estimada por cada método, em 27 anos de observação. Observa-se que os menores valores da ETo ocorreram no mês de junho e julho quando usou-se o método de MAKKINK, e no mês de abril para os métodos de Linacre e Tanque Classe "A". A máxima evapotranspiração de referência foi verificada no mês de outubro para praticamente todos os métodos de estimativa, com exceção dos métodos de Thornthwaite e Blaney - Criddle nos quais, a ETo máxima ocorreu no mês de janeiro, bem como o método de Linacre que apresentou valor máximo no mês de setembro.

Nas figuras 11 e 12 Pode-se observar que os métodos de Kimberley - Penman e Jensen - Haise superestimaram a ETo padrão, enquanto que os de Linacre e Makkink subestimaram a mesma em todos os meses do ano. Percebe-se também claramente, que o método de Benavidez & Lopez superestimou o método de Penman-Monteith em todos os meses do ano com exceção de outubro. Já o método do Tanque Classe "A", superou o padrão de junho a janeiro, enquanto que Hargreaves subestimou a ETo padrão em quase todos os meses do ano, com exceção do período de março a junho. Pode-se ver também, que os métodos de Thornthwaite e Blaney & Criddle superestimaram a evapotranspiração padrão nos meses de janeiro a junho e o método de Penman subestimou no período de julho a dezembro.

Quadro 02: Valores médios mensais da evapotranspiração de referência (ET₀) dos onze (11) métodos estudados, durante 27 anos (70 - 96)

MÊS / MET.	HAR (mm/dia)	TAN (mm/dia)	BEN (mm/dia)	LIN (mm/dia)	JEN (mm/dia)	KIM (mm/dia)	MAK (mm/dia)	PEN (mm/dia)	PMO (mm/dia)	BLA (mm/dia)	THO (mm/dia)
JAN	4.93	5.84	6.19	4.59	6.45	7.63	3.73	4.87	5.72	5.90	5.95
FEV	4.86	5.12	5.78	4.28	6.29	6.70	3.66	4.74	5.21	5.76	5.62
MAR	4.67	4.16	5.10	3.74	5.81	5.57	3.42	4.37	4.43	5.66	5.01
ABRIL	4.42	3.90	5.03	3.69	5.69	5.22	3.35	4.27	4.22	5.59	5.03
MAIO	4.21	4.00	5.12	3.78	5.61	5.19	3.32	4.25	4.18	5.52	4.73
JUNHO	4.16	4.22	5.30	3.99	5.34	5.10	3.19	4.09	4.10	5.44	4.45
JULHO	4.21	4.63	5.32	4.08	5.33	5.64	3.19	4.13	4.41	5.16	4.19
AGO	5.04	6.07	6.19	4.79	6.51	7.40	3.86	5.03	5.66	5.56	4.80
SET	5.41	6.69	6.53	5.02	7.17	8.60	4.20	5.50	6.46	5.68	5.30
OUT	5.28	6.70	6.54	4.96	7.48	9.10	4.36	5.70	6.72	5.81	5.63
NOV	5.22	6.58	6.50	4.90	7.23	8.84	4.20	5.5	6.53	5.84	5.81
DEZ	5.04	6.23	6.40	4.78	6.71	8.13	3.88	5.08	6.07	5.89	5.92
ANUAL	4.80	5.35	5.83	4.38	6.30	6.93	3.70	4.79	5.31	5.65	5.20

HAR = Evapotranspiração de referência estimada pelo método de Hargreaves;

TAN = Evapotranspiração de referência estimada pelo método do Tanque Classe "A";

BEN = Evapotranspiração de referência estimada pelo método de Benavidez & Lopez;

LIN = Evapotranspiração de referência estimada pelo método de Linacre;

JEN = Evapotranspiração de referência estimada pelo método de Jensen - Haise;

KIM = Evapotranspiração de referência estimada pelo método de Kimberley - Penman;

MAK = Evapotranspiração de referência estimada pelo método de Makkink;

PEN = Evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman original;

PMO = Evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman - Monteith;

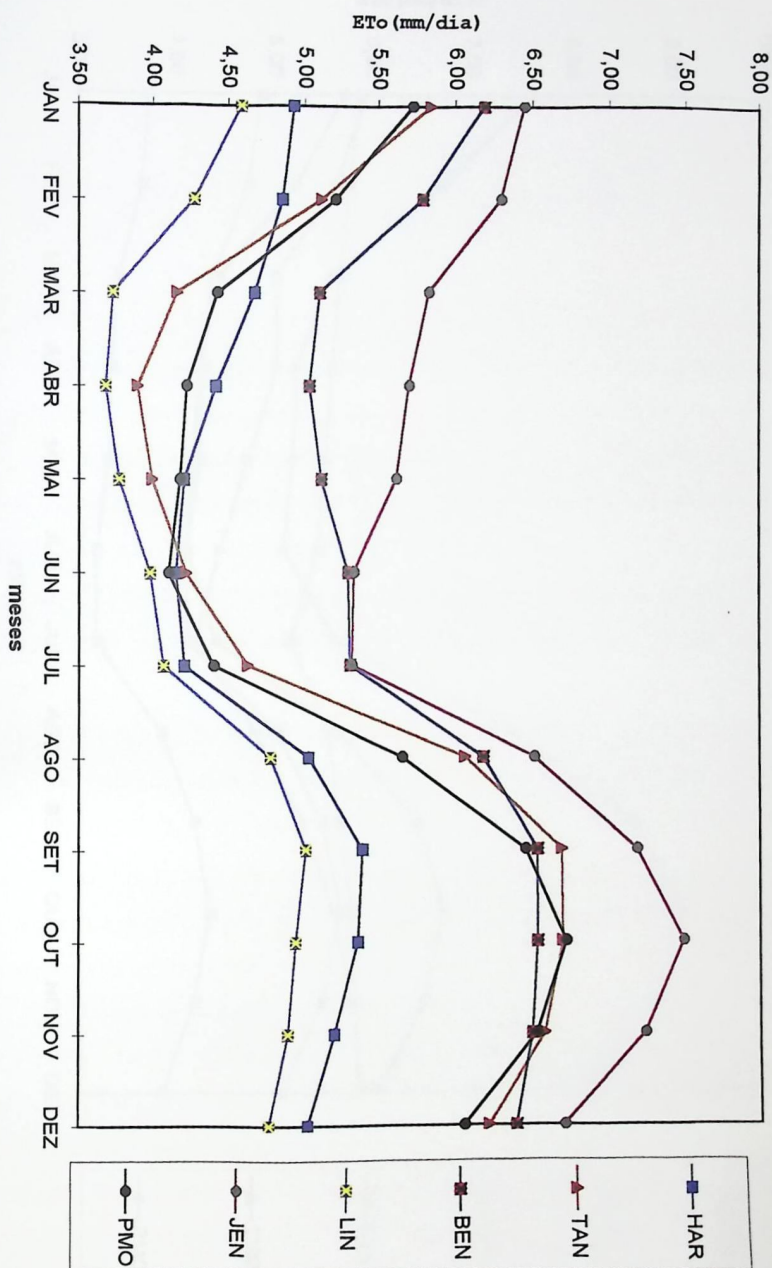


Figura 11 - Variação anual da Evapotranspiração de referência estimada por diferentes métodos para 27 anos de observação.

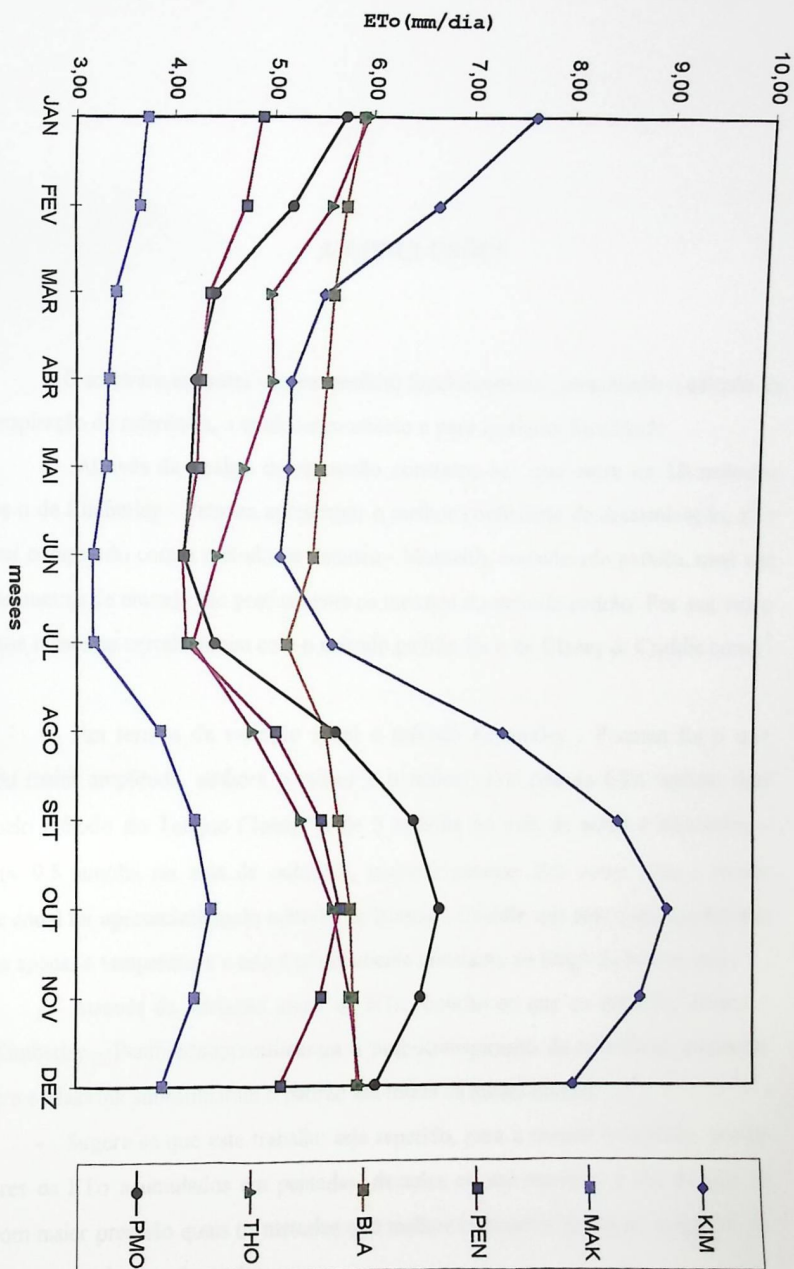


Figura 12 - Variação anual da Evapotranspiração de referência estimada por diferentes métodos para 27 anos de observação.

5. CONCLUSÕES

- O software encontra - se em perfeito funcionamento, permitindo o cálculo da evapotranspiração de referência, a qualquer momento e para qualquer localidade.

- Através da análise de regressão constatou-se que entre os 10 métodos estudados o de Kimberley - Penman apresentou o melhor coeficiente de determinação, $r^2 = 0,98$, ao ser comparado com o método de Penman - Monteith, considerado padrão, uma vez que os parâmetros de entrada são praticamente os mesmos do método padrão. Por sua vez o método que menos se correlacionou com o método padrão foi o de Blaney & Criddle com $r^2 = 0,53$.

- Em termos de variação anual o método Kimberley - Penman foi o que apresentou maior amplitude, embora o menor e o maior valor real da ETo tenham sido obtidos pelo método do Tanque Classe "A" (≈ 3 mm/dia no mês de abril) e Kimberley - Penman (≈ 9.5 mm/dia no mês de outubro), respectivamente. Por outro lado a menor amplitude anual foi apresentada pelo método de Blaney - Criddle que tem como parâmetro de entrada apenas a temperatura e esta é praticamente constante ao longo de todo o ano.

- Através da variação anual da ETo, conclui-se que os métodos Jensen - Haise e Kimberley - Penman superestimaram a evapotranspiração de referência, enquanto que Linacre e Makkink subestimaram o padrão em todos os meses do ano.

- Sugere-se que este trabalho seja repetido, para a mesma localidade, porém com valores da ETo acumulados em pentadas, décadas ou até mensais, a fim de que se obtenha com maior precisão quais os métodos que melhor estimam a lâmina de irrigação, de acordo com o turno de rega desejado.

6. RESUMO

Devido às características pluviométricas da nossa região, o cultivo de qualquer cultura só será possível com o auxílio da irrigação. Para isso, é necessário que se faça a quantificação precisa do volume de água necessário para o desenvolvimento normal das culturas durante todo o seu ciclo, através da evapotranspiração. Em todo o mundo, pesquisadores tentam determinar o método mais preciso para estimativa da evapotranspiração de referência. Este trabalho foi desenvolvido em Mossoró-RN (Lat.: 5° 11'S; Long.: 37° 20' WGrw.. Alt.: 18m), com o objetivo principal de desenvolver um "software", em linguagem de programação CLIPPER 5.2, compatível com qualquer PC, para estimativa da evapotranspiração de referência diária, em 27 anos de observação (70-96), utilizando-se os 10 métodos mais usados pelos irrigantes da região e compará-los estatisticamente com o método de PENMAN - MONTEITH - FAO, o mais recomendado em todo o mundo. A análise de regressão revelou que o método de Kimberley - Penman foi o que melhor se correlacionou com o método padrão, com $r^2 = 0.98$ enquanto o de Blaney - Criddle apresentou a maior dispersão dos dados com $r^2 = 0.53$. Através da variação anual da ETo, concluiu-se que os métodos de Jensen - Haise e Kimberley - Penman superestimaram os valores padrões, enquanto que os de Linacre e Makkink subestimaram a evapotranspiração de referência determinados pelo método de Penman - Monteith em todos os meses do ano.

7. LITERATURA CITADA

- ABREU, T.A.; OLITTA, A.F.L.; MARCHETTI, D.A.B. Comparação dos métodos de irrigação por sulco e por gotejamento na cultura do melão, no vale São Francisco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, 13 (3): 34-35, 1978.
- ALMEIDA, H.A. de. **Comparação de métodos para estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Ilhéu (Itabuna-BA)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 5, Belém-PA, 1987. Resumo... Belém, Pará SBA. 1987. P.160.
- ALVES SOBRINHO, T *et al.* **Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) para Dourados e Ponta Porã, Mato Grosso do Sul**. XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. II CONGRESSO LATINO AMERICANO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. Bauru - SP, 1996. Resumos... Bauru, 22 a 26 de julho 1996.p. 533.
- AMORIM, M.C.de; SEDIYAMA,G.S.; SOBRINHO,J.E & RODRIGUES,L.N. Avaliação da evapotranspiração de referência estimada por diferentes modelos de coeficiente de tanque classe "A" para o município de Teresina, PI. **Agrometeorologia, monitoramento ambiental e agricultura sustentável**. In: CONGRESSO DE AGROMETEOROLOGIA, X, Piracicaba-SP,1997. Anais... Piracicaba-SP. SBA. 13 a 18 de julho 1997.p.683 a 685.
- AMORIM NETO, M.da.S.; OLIVEIRA, C.A.V.; SILVA, D.D. da. **Avaliação de diferentes métodos para estimativa de evapotranspiração potencial em regiões**

- semi-áridas.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 4, Londrina, 1985. Resumos... Londrina, SBA, 1985.p.118.
- AMORIM NETO, M.da.S. & VILLA NOVA, N.A. Avaliação de método para estimativa da evapotranspiração de referência. **Engenharia na Agricultura: Série Irrigação e Drenagem**, 3 (28): 01-09, 1994.
- AZEVEDO, P.V. de.; COSTA, J. De P.R. da & LEITÃO, M. De M.V.B.R. **Medidas e estimativas da evapotranspiração numa cultura de soja irrigado, nas condições do semi-árido no Nordeste do Brasil.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 6, Maceió, 1989, Anais... Maceió, SBA. 1989. P.185-194.
- BARROS, A . H. C *et al.* **Comparação entre métodos de estimativa de evapotranspiração para a localidade de Caruaru - PE.** XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. II CONGRESSO LATINO AMERICANO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. Bauru - SP, 1996. Resumos... Bauru, 22 a 26 de julho 1996.p. 369.
- BERGAMASCHI, H. *et al.*, **Agrometeorologia aplicada a irrigação.** Porto Alegre, RS: Ed. Univ/UERGS. 1992.p.126.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação.** 5ª ed. Viçosa-MG: UFV, 1989. 596p.
- BRITO, R.A. L. & AMORIM NETO, M. da S. Resultados comparativos dos métodos de Penman e Penman-Monteith da FAO no cálculo da evapotranspiração de referência. **Engenharia na agricultura.** Série: irrigação e drenagem. Viçosa-MG.3(32).Jun.1994.p.12.
- BUTLER, D.R. & MIRANDA, R.A.C. de. **Uma comparação dos métodos de Penman e Thornthwaite para calcular evapotranspiração potencial no sul da Bahia.** In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE CLIMATOLOGIA DO HEMISFÉRIO SUL, Campinas-SP, 1977. Resumos... Campinas-SP, 1977. p.27.
- CASTRO NETO, P.; FARIA, MA.de.; SILVA, A.M. da & GOMIDE, M.B. **Comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração potencial para a região de Lavras-MG.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 4, Londrina, 1985, Resumos... Londrina, SBA, 1985. p.117.

- CASTRO NETO, P. & SOARES, A. M. **Avaliação sazonal de métodos para estimativa da evapotranspiração potencial diária em Lavras, Estado de Minas Gerais.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 6, Maceió, 1989. Anais... Maceió, SBA. 1989. p.265-274.
- COSTA, M da C. *et al.* **Comparação entre cinco métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para Botucatu - SP.** XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. II CONGRESSO LATINO AMERICANO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. Bauru - SP, 1996. Resumos... Bauru, 22 a 26 de julho 1996.p. 245.
- CURY, D.M. & VILLA NOVA, N.A. **Utilização do tanque classe "A" e do evaporímetro Piche na otimização dos métodos de Penman e Thornthwaite.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 6, Maceió, 1989. Anais... Maceió, SBA. 1989. p.256-264.
- CURY LUNARDI, D. M; LAPERUTA FILHO, J. & KROLL, L. B. **Comparação entre valores de evapotranspiração estimada pelo método de Penman-FAO e medidos com lisímetros. Agrometeorologia, monitoramento ambiental e agricultura sustentável.** In: CONGRESSO DE AGROMETEOROLOGIA, X, Piracicaba-SP,1997. Anais... Piracicaba-SP. SBA. 13 a 18 de julho 1997.p.707 a 709.
- DALTON, R. **Clipper 5.0 : Técnicas avançadas.** 2ª impressão, Rio de Janeiro. EBRAS EDITORA BRASILEIRA, 1990.
- DAKER, A. **Irrigação e drenagem: A água na agricultura.** 7ªed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1988. v.3.
- DOORENBOS, J & PRUITT, W. O. **Crop water requeriments.** Roma: Food and Agriculture organization of the united nations,1977. (FAO. Irrigatino and drainag e Paper 24).
- ESPÍNOLA SOBRINHO, J. & MAIA, A. J. **Análise comparativa dos principais métodos de estimativa da evapotranspiração de referência com o método de PENMAN-MONTEITH-FAO, em Mossoró -RN. Relatório final de pesquisa programa**

- institucional de bolsas de iniciação científica - CNPq / ESAM.** Mossoró - RN, junho 1997. 17p.
- FERNANDES, A. L. T; FOLEGATI, M. V & PEREIRA, A. R. estimativa da evapotranspiração da cultura do crisântemo cultivado em estufa à partir de 10 métodos empíricos. **Agrometeorologia, monitoramento ambiental e agricultura sustentável.** In: CONGRESSO DE AGROMETEOROLOGIA, X, Piracicaba-SP, 1997. Anais... Piracicaba-SP. SBA. 13 a 18 de julho 1997.p.677 a 679.
- GAMERO GUANDIQUE, M. E; VILLA NOVA, N. A & LOMBARDI, P.L. Determinação da evapotranspiração e do coeficiente de cultura (Kc) para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado através de vários métodos. **Agrometeorologia, monitoramento ambiental e agricultura sustentável.** In: CONGRESSO DE AGROMETEOROLOGIA, X, Piracicaba-SP, 1997. Anais... Piracicaba-SP. SBA. 13 a 18 de julho 1997.p.617 a 619.
- HARGREAVES, G. H. & SAMANI, Z. A. **Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature.** Chicago, Amer. Soc. Agric. Eng. Meeting (Paper 85-2517)1985.
- JENSEN, M. E. & HAISE, H. R. **Estimating evapotranspiration from solar radiation.** J. of the Irrig. and Drain. Division, ASCE, 89: 15-41, 1963.
- JORGE, M. **Rotinas profissionais clipper 5.0.** São Paulo, MAKRON - McGRAWHILL, 1991.
- LIMA, M. G. de & SILVA, A. A. G. da. Evapotranspiração de referência vs. evaporação do tanque classe "A". **Agrometeorologia, monitoramento ambiental e agricultura sustentável.** In: CONGRESSO DE AGROMETEOROLOGIA, X, Piracicaba-SP, 1997. Anais... Piracicaba-SP. SBA. 13 a 18 de julho 1997.p.701 a 703.
- MAKKINK, G. F. **Ekežamerio de la formula de Penman.** Neth. J. Agric. Soc. 5: 290-305, 1957.
- MOREIRA, H.J.C. SAACI - Sistema agroclimatológico para o acompanhamento das culturas irrigadas; manual prático para manejo da irrigação. Brasília: Secretária Nacional de Irrigação, 1993. 90p.

- MOTA, F.S. da. **Estimativa da evapotranspiração de referência de Penman com instrumentos simples de baixo custo para agricultores.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 5, Belém-PA, 1987. Anais... Belém-PA, SBA. 1987. p.387-388.
- MOTA, F. S.; VERÔNICA, L. A. F.; MOTA, J. F. A. S. & NOVAES, L. E. S. M. O **microcomputador na meteorologia agrícola.** São Paulo: Nobel, 1989. 137p.
- OMETTO, J.C. & FERTER, F.G. **Adaptação do método de Vila Nova e Ometto (Estimativa de evapotranspiração de referência) para a região de Pelotas-RS.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 4, Londrina, 1985. Resumos... Londrina, SBA, 1985. p.19-30.
- PENMAN, H. L. **Natural evapotranspiration from open water, bare soil and grass.** Proc. Roy. Soc. of London, Ser. A. 193: 120-45, 1948.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A. & SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração.** Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.
- PEREIRA, G. M. & SEDIYAMA, G. C. **Equação de Penman parametrizada por Linacre para estimativa da evapotranspiração potencial, na região de Viçosa-MG. Engenharia na agricultura.** Série: irrigação e drenagem. Viçosa-MG.2(24).Out.1993.p.8.
- PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental.** Piracicaba. ESALQ-USP. Nobel. 12ª ed. 1987. p.403.
- RAMALHO, J. A. **Clipper 5.2 vol.** São Paulo, MAKRON BOOKS DO BRASIL, 1994.
- SAAD, J. C. C. **Análise dos principais métodos para estimativa da evapotranspiração.** Anais do VIII CONGRESSO NACIONAL de irrigação e drenagem. Florianópolis-SC. 1988. p.1999-1021.
- SEDIYAMA, G. C. **A versão / proposta para o conceito de evapotranspiração de referência.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, IX, Campina Grande, PB, julho-1995. p.13.
- SEDIYAMA, G. C. **Estimativa da evapotranspiração : histórico, evolução e análise crítica.** Revista Brasileira de Agrometeorologia. Santa Maria - RS. v.4, n.1.1996. p.i-xii.

- SILVA, A. A. G. da. **Avaliação da eficiência de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Paraíba-PI.** Piracicaba-SP. Dez. 1989.
- SILVA, A. A. G. da; NOGUEIRA, L. C.; DIAS, A. R. & MOTA, J. C. Software para estimativa da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-FAO. **Agrometeorologia, monitoramento ambiental e agricultura sustentável.** In: CONGRESSO DE AGROMETEOROLOGIA, X, Piracicaba-SP, 1997. Anais... Piracicaba-SP. SBA. 13 a 18 de julho 1997. p. 680 a 682.
- SILVEIRA, M. E da & ESTOLANO, A. L. **Clipper 87: manual básico de referência.** 2ª tiragem, Rio de Janeiro, CIENCIA MODERNA E COMPUTAÇÃO, 1988.
- SOFTCAD INFORMÁTICA. **Clipper com gráficos.** Rio de Janeiro, LIVROS TÉCNICOS CIENTÍFICOS, 1991.
- SOUZA, J.L. de & SILVA, M.A.V. **Evapotranspiração em cultura de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.).** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 4, Londrina, 1985. Resumos... Londrina, SBA, 1985. p. 24-32.
- STRALEY, S. J. **Programando em clipper 5.01.** Rio de Janeiro, BERKELEY BRASIL, 1992.
- TIBAU, A.O. **Técnicas modernas de irrigação: aspersão, gotejamento e derramamento.** São Paulo: Nobel, 1976. Biblioteca rural. p. 18.
- THORNTHWAITE, C.W. **An approach toward a national classification of climate.** Geogr. Rev. 38: 55-94, 1948.
- WRIGHT, J. L. & JENSEN, M. E. **Peak water requeriments of crops in southern idaho.** J. Irrig. and drain. Div. ASCE, 96 (IR1): 193-201, 1972.

UFERSA SIGAA - BIBLIOTECAS



SIGAA

2010075995