

MARCELO CID DE AMORIM

ANÁLISE DE MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA, EM ÁREAS RIBEIRINHAS DO RIO MOSSORÓ, NA REGIÃO OESTE DO RIO GRANDE DO NORTE.

Orientador: Prof. M.Sc. José Espinola Sobrinho

Monografia apresentada à Escola Superior de Agricultura de Mossoró para obtenção do título de engenheiro agrônomo.

MOSSORÓ

R. G. DO NORTE – BRASIL

MARÇO DE 1994

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

MARCELO CID DE AMORIM

ANÁLISE DE MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DA EVA- POTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA, EM ÁREAS RIBEIRINHAS DO RIO MOSSORÓ, NA REGIÃO OESTE DO RIO GRANDE DO NORTE.

Orientador: Prof. M. Sc. José Espinola Sobrinho

Monografia apresentada à Escola Superior
de Agricultura de Mossoró para obtenção
do título de engenheiro agrônomo.

551.572
A524Q
EX.2

MOSSORÓ

R. G. DO NORTE - BRASIL

MARÇO DE 1994

Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Biblioteca Orlando Teixeira

Registro: 207831 CDD: 554.572

Data: 03 / 03 / 08

Ficha catalográfica preparada pela biblioteca "Orlanda Teixeira" da
Escola Superior de Agricultura de Mossoró.

Amorim, Marcelo Cid de,

A524a Análise dos métodos para estimativa de evapo-
transpiração de referência, em áreas Ribeirinhas do rio
Móssoro, na região Oeste do Rio Grande do Norte.
Marcelo Cid de Amorim. -- Mossoró - RN: ESAM, 1994.

82p.

1. Evapotranspiração de referência - RGN
2. Evapotr. De referência - Climatologia
3. Modelos de estimativa da ETo - Análise

CDD. 551.572

MARCELO CID DE AMORIM

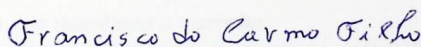
ANÁLISE DE MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA, EM ÁREAS RIBEIRINHAS DO RIO MOSSORÓ, NA REGIÃO OESTE DO RIO GRANDE DO NORTE.

Monografia apresentada à Escola Superior
de Agricultura de Mossoró para obtenção
do título de engenheiro agrônomo.

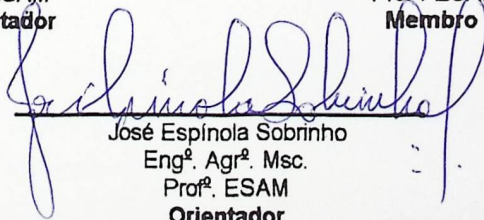
APROVADA EM: 16 / 03 / 1994.



Francisco Bezerra Neto
Eng.^o. Agr.^o. PhD.
Prof.^o. ESAM
Co-Orientador



Francisco do Carmo Filho
Eng.^o. Agr.^o, MSc.
Prof.^o. ESAM
Membro



José Espinola Sobrinho
Eng.^o. Agr.^o. Msc.
Prof.^o. ESAM
Orientador

Aos:

*Meus avôs Jonas e José, ambos
in memoriam, pelas felizes
recordações em minha juventude.*

OFEREÇO

Aos:

*Meus pais Gilmar e Neide, pela ajuda,
compreensão e pelo incentivo aos estudos.*

*Meus Irmãos Jacqueline, Ricardo, Randy, pelo
eterno amor e companheirismo.*

*Meus sobrinhos Vanessa, e o que está vindo
pela sua inocência e carinho.*

Meus amigos.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, sempre por proporcionar alegrias e paz, quando mais necessitei, mostrando que com a sabedoria, os frutos da vida serão mais fáceis de serem colhidos.

Ao meu pai, Gilmar Mafaldo de Amorim Fernandes, pela eterna preocupação com a educação dos seus filhos, oferecendo o coração, para vê-los vencendo os obstáculos que a vida possa a vir construir.

Ao meu tio, Fernando Luís da Silva, espelho de determinação e coragem, mostrando-me com a sua deficiência física que se a vida um dia construir obstáculos, eles deverão ser realmente vencidos, pois todos nós somos fortes e capazes de vencê-los.

Ao professor, José Espínola Sobrinho, pela orientação amiga, séria, honesta e compreensiva que muito contribuiu para o engrandecimento deste trabalho.

Ao professor, Francisco Bezerra Neto, pela maneira atenciosa e carinhosa, com que analisou os meus dados, dando sugestões que se transformaram em luzes para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores do grupo Alternativa da ESAM, por serem exemplos de verdadeiros profissionais educadores, em especial; Francisco das Chagas Espínola, Hildeberto Uchôa Ribeiro, José Torres Filho, Maurício de Oliveira, Vilson Alves de Góis e ao casal Sathler.

Aos funcionários da ESAM, Engenheiro Agrônomo José Francismar de Medeiros, Francisco Cordeiro Neto, Francisco Félix Barbosa, José Augusto Marques, José Elias Barbosa Neto, José Raimundo Nogueira, Miguel Nogueira Neto e Cláudia Pereira Machado. Pelas facilidades a mim oferecida.

Ao Engenheiro Agrônomo da fazenda São João, Jorge Moreira Maia Neto, pela organização, coleta dos dados e estruturação do campo experimental.

Ao Centro Acadêmico da ESAM, pela ativa e dinâmica representação da comunidade discente desta instituição.

Ao professor Everaldo Bernardino de Souza, pela elaboração e organização da capa desta monografia.

A Escola Superior de Agricultura de Mossoró, em especial, aos Departamentos de Engenharia Agrícola e Fitotecnia, pelo apoio e oportunidade de realizar este trabalho.

A Mércia Jeanne Veríssimo Vidal, namorada e amiga pelos incentivos e carinho que demonstrou a mim, no qual, deram-me mais estímulo para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao jovem Garibalde Gentil de Andrade, pela eterna amizade.

Aos jovens Reinaldo dos Santos, Kemps Jacinto e Lázaro Raimundo de Oliveira, pelo excelente trabalho de digitação e organização desta monografia.

Ao Sr. Francisco Marcelino Júnior, pelo apoio sincero e amigo.

Aos meus companheiros de curso, pela amizade e dedicação. Em especial o amigo, Lucileudo Gomes Cordeiro.

Enfim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que este trabalho viesse a ser realizado.

BIOGRAFIA DO AUTOR

MARCELO LUIZ DE OLIVEIRA, filho de Othmar Manoel de Almeida Fernandes e de Maria das Neves de Silva, nasceu em 12 de março de 1960, na cidade de Macaíba, Estado do Rio Grande do Norte. Concluiu o curso de 1ª Grau na Escola Estadual Zélio de Souza, em Macaíba - RN, no ano de 1978, e o curso colégio foi concluído no Colégio Batista Dr. Cristóvão Pereira, em Ceará-Mirim, RN, no ano de 1983. Ingressou na Escola Superior de Agricultura de Mossoró, em 1983, concluindo o curso em 1984. Durante este período foi monitor por dois anos de disciplinas de Ciências Orgânicas e biologia de plantas medicinais do Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq), durante o período de Janeiro/1983 a março de 1991, trabalhando com pesquisa desenvolvida por a Camargo, vinculada ao Instituto de Estudos e Desenvolvimento do Rio Grande do Norte.

BIOGRAFIA DO AUTOR

MARCELO CID DE AMORIM, filho de Gilmar Mafaldo de Amorim Fernandes e de Maria das Dores da Silva, nasceu aos 16 de março de 1969, na cidade de Macaíba, Estado do Rio Grande do Norte. Concluiu o curso do 1º Grau na Escola Estadual Zenon de Souza, em Umarizal - RN, no ano de 1985, o curso colegial foi concluído no Colégio Agrícola Dr. Cristovão Dantas, em Ceará-Mirim, RN, no ano de 1988. Ingressou na Escola Superior de Agricultura de Mossoró, em 1989, concluindo o curso em 1994. Durante este período foi monitor por dois anos da disciplina de Química Orgânica, e bolsista de iniciação científica do Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq), durante o período de fevereiro/1992 a março de 1993, trabalhando com pesquisa direcionada para a Caatinga, vegetação nativa região Nordeste (Zona Semi-árida do Rio Grande do Norte).

SUMÁRIO

	PÁGINA
LISTA DE TABELAS.	x
LISTA DE FIGURAS.	xii
EXTRATO.	xiv
1. INTRODUÇÃO.	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.	5
3. MATERIAL E MÉTODOS.	24
3.1. OBTENÇÃO DOS DADOS CLIMÁTICOS.	24
3.2. CARACTERÍSTICAS EDAFO-CLIMÁTICAS.	28
3.3. ESTIMATIVAS DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA.	30
3.3.1. Método de BENAVIDEZ E LOPEZ.	30

3.3.2. Método de BLANEY & CRIDDLE.	31
3.3.3. Método de HARGREAVES.	32
3.3.4. Método de PENMAN.	32
3.3.5. Método de TANQUE CLASSE "A".	34
3.3.6. Método de THORNTHWAITE.	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.	37
4.1. Método do TANQUE CLASSE "A".	49
4.2. Método de HARGREAVES.	51
4.3. Método de BLANEY & CRIDDLE.	51
4.4. Método de BENAVIDEZ & LOPEZ.	53
4.5. Método de PENMAN.	53
4.6. Método de THORNTHWAITE.	55
4.7. CONSIDERAÇÕES GERAIS.	56
5. CONCLUSÕES.	58
6. RESUMO.	60
7. SUMMARY.	62
8. BIBLIOGRAFIA CITADA.	63
APÊNDICE.	71

LISTA DE TABELAS

TABELA	PÁGINA
1. Períodos em décadas e os respectivos valores médios da evapotranspiração de referência (mm/dia), determinada por diferentes métodos no período de Nov./87 - Dez./89, no município de Governador Dix-Sept Rosado, RN	40
2. Quadrado médio dos valores da evapotranspiração de referência entre diferentes métodos de estimativa.	41
3. Valores médios da evapotranspiração de referência (mm/dia), estimado por diferentes métodos, em áreas Ribeirinhas do rio Mossoró no período de Nov./87 a Dez./89.	41
1A. Precipitações pluviométricas, ocorridas em Mossoró, RN, no período de 1987 a 1990.	72

- 2A. Valores médios de algumas propriedades físicas do solo no local do experimento. 72
- 3A. Porcentagem de horas de brilho solar diário, em relação ao total anual, para um dado mês e latitude do local. 73
- 4A. Fator de correção MF, para a evapotranspiração de referência, dependendo do mês e da latitude local. 74
- 5A. Valores da tensão de saturação de vapor d'água em função da temperatura do ar, (mmHg). 75
- 6A. Valores de φ/γ (não dimensional) em função da temperatura ($^{\circ}\text{C}$). 76
- 7A. Valores de R_a (Radiação extra-terrestre) em mm de evaporação equivalente por dia, em função do mês e da atitude do local (hemisfério sul). 77
- 8A. Fotoperíodo ou número máximo possível de horas de brilho solar (N), para todos os dias do ano em Mossoró, RN (horas). 78
- 9A. Coeficiente K_p para o TANQUE CLASSE "A", para estimativa da Evapotranspiração de referência. 79

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1. Valores médios da Evapotranspiração de referência (mm/dia), determinada pelos diferentes métodos estudados, em áreas Ribeirinhas do rio Mossoró, na região Oeste do Rio Grande do Norte.	42
2. Variação estacional da evapotranspiração de referência (ET _o), em mm/dia, medida através do Lisímetro e estimada pelo método de BENAVIDEZ & LOPEZ, durante o período experimental.	43
3. Variação estacional da evapotranspiração de referência (ET _o), em mm/dia, medida através do Lisímetro e estimada pelo método de BLANEY & CRIDDLE, durante o período experimental.	44

4. Variação estacional da evapotranspiração de referência (E_{To}), em mm/dia, medida através do Lisímetro e estimada pelo método de HARGREAVES, durante o período experimental. 45
5. Variação estacional da evapotranspiração de referência (E_{To}), em mm/dia, medida através do Lisímetro e estimada pelo método de PENMAN, durante o período experimental. 46
6. Variação estacional da evapotranspiração de referência (E_{To}), em mm/dia, medida através do Lisímetro e estimada pelo método do TANQUE CLASSE "A", durante o período experimental. 47
7. Variação estacional da evapotranspiração de referência (E_{To}), em mm/dia, medida através do Lisímetro e estimada pelo método de THORNTHWAITE, durante o período experimental. 48
- 1A. Evaporímetro tipo TANQUE CLASSE "A". 80
- 2A. Diagrama esquemático do conjunto evapotranspirimétrico evapotranspirométrico com lençol freático constante. 81
- 3A. Curvas características do solo do local experimental para as profundidades 0-20, 20-40 e 40-60. 82

EXTRATO

AMORIM, M. C. de. Escola Superior de Agricultura de Mossoró, março de 1994.

Análise de métodos para estimativa da evapotranspiração de referência, em áreas Ribeirinhas do rio Mossoró, na região Oeste do Rio Grande do Norte.

Professor Orientador: José Espínoia Sobrinho. Professor Co-Orientador: Francisco Bezerra Neto. Conselheiro: Francisco do Carmo Filho.

O presente trabalho foi realizado no município de Governador Dix-Sept Rosado, RN ($5^{\circ} 28'$; $37^{\circ} 31' W$, 36m), a 35 km de Mossoró, no período de Novembro/1987 a Dezembro de 1989, tendo como objetivo analisar alguns métodos de estimativas da evapotranspiração de referência, e propor uma ou mais metodologia para a região em estudo. Os métodos analisados foram Benavidez & Lopez, Blaney & Criddle, Hargreaves, Penman, Tanque Classe "A" e Thornthwaite. De acordo com os resultados estatístico, o método de Blaney & Criddle não defiriu estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, do método padrão. Os demais métodos não demonstraram precisão, pois, superestimaram os valores Lisimétricos. O TANQUE CLASSE "A", com o K_p médio calculado, apresentou promissora possibilidade de uso, em projetos de irrigação para áreas Ribeirinhas do rio Mossoró, na região Oeste do Estado do Rio Grande do Norte.

1 - INTRODUÇÃO

O advento "seca" é um fator climatológico de extrema importância por limitar as atividades agropecuárias da região Nordeste brasileira. Esta, caracteriza-se principalmente pelas irregularidades nos seus regimes pluviométricos, sendo as precipitações concentradas em um determinado período do ano, que varia do final do segundo até no máximo no final do primeiro semestre do ano seguinte.¹ Porém, é importante frisar que este intervalo é para a região Nordeste como um todo. Dentro desta, pela sua imensidão (1.540.827 Km²), ocorrem períodos de precipitações variados, porém nunca excedem seis (06) meses. As estiagens provenientes das secas influenciam, principalmente, na vegetação, no clima e nos reservatórios naturais e artificiais de água. A agricultura só é possível no período chuvoso ou com o auxílio da irrigação, o que induz a preocupação do estudo racional dos recursos hídricos. Segundo NIMER (1979), "A conjunção de diferentes sistemas de circulação atmosférica, tornam a climatologia desta região uma das mais complexas do mundo. Na qual, esta complexidade não se traduz em grandes diferenciações térmicas, mas que reflete em uma extraordinária variedade climática, do ponto de vista pluviosidade, sem igual em outras regiões brasileiras".

O conhecimento das exigências hídricas das culturas torna-se, portanto, prioritário tanto para a agricultura de sequeiro como para a agricultura irrigada, visto que a evapotranspiração máxima (ET_m) e os coeficientes de cultivo (K_c) obtidos nos diversos estágios de desenvolvimento da planta são essenciais para o uso racional dos recursos hídricos, possibilitando assim, a realização dos dimensionamentos adequados dos sistemas de irrigação e o manejo correto de água em tempo real, (MELO SILVA & LIMA, 1988). Outro aspecto é a economia de energia e a redução na depreciação do sistema de irrigação causado pelo excesso de uso, quando ocorre um mau dimensionamento deste.

A região Oeste Potiguar, está encravada no semi-árido do Nordeste brasileiro, setor mais castigado pelo baixo volume acumulado das precipitações; porém, com o avanço tecnológico da engenharia de irrigação e o grande volume de água no seu subsolo, esta tem se transformado, numa região de altíssimo potencial para a produção de frutos tropicais, através, principalmente das agroindústrias. Estes são modelos ativos, que estão transformando o nordeste brasileiro, em um potente celeiro agrícola. A cultura que se pode exemplificar é o melão (*Cucumis melo L.*), sendo a primeira do progresso agrícola da região, porém a inexistência de pesquisas na área hídrica, tem produzido relativas perdas para a atividade da melancultura, já que a lucratividade deste ramo, está subordinada às exigências do mercado exportador. A qualidade e a quantidade deste fruto, são fatores que exigem um manejo preciso da demanda hídrica irrigada.

O rio Mossoró, é um afluente de grande importância para as culturas de subsistência dos pequenos agricultores que habitam os municípios na região Oeste do Rio Grande do Norte, isto porque, este nutre e irriga as áreas denominadas de vazantes, formando terras ricas em matéria orgânica e sais minerais

essenciais (solos férteis) as culturas. A pecuária, é totalmente dependente das capineiras cultivadas nestas vazantes, que se torna um excelente complemento alimentar no período das estiagens (secas), onde observa-se maiores rendimentos dos animais, tanto na produção leiteira como também no desenvolvimento ponderal destes. Segundo LINS & ANDRADE (1977), " as terras onde o rio Mossoró corta, são as mais valorizadas de toda bacia do Apodi, onde cerca de 18.000 ha eram ocupadas por carnaubeiras (*Copernicia cerifera*), e vazantes cultivadas com algodão, milho, feijão, arroz vermelho, batata doce e algumas hortaliças, como: jerimum, melão-de-cheiro, melancia, tomate, alho etc". Atualmente com a chegada das agroindústrias em terras margeadas pelo rio Mossoró, este se tornou fonte de água irrigada, para que estas mantenham suas áreas cultivadas, principalmente com a melancultura.

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 todo o ciclo das mesmas. Isto pode ser feito através do conhecimento da evapotranspiração máxima (ETm) de cada espécie vegetal. Em todo o mundo, pesquisadores procuram determinar o método empírico, para estimativa da evapotranspiração de referência, mais adequado às condições de solo e clima, devido ao elevado custo de manutenção dos evapotranspirômetros. Com base nestas justificativas, é que os objetivos principais deste trabalho, serão em fornecer algumas informações básicas para a quantificação da demanda de água a ser utilizada em projetos de irrigação, através da análise de vários métodos usados na estimativa da evapotranspiração de referência na região Oeste do Estado do Rio Grande do Norte.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

O uso do termo evapotranspiração é recente, tendo sido introduzido por THORNTHWAITE (1948), o qual definiu evapotranspiração potencial, como: "a perda máxima de água de uma superfície de solo bem umedecido, completamente coberto com vegetação na fase de crescimento ativo e com área suficientemente grande". Deste modo não influenciará significativamente o efeito da advecção local. Porém, existem várias definições para o termo evapotranspiração. PENMAN (1956), a definiu como: "o total de água transferido para a atmosfera por evaporação e transpiração, por unidade de tempo, de uma superfície extensa, completamente coberta de vegetação de porte baixo, em pleno desenvolvimento e bem suprida d'água. Segundo BURMAN et al. (1983), citado por SADD & SCALOPPI (1992), "a evapotranspiração pode ser definida como o processo combinado de transferência de água do solo para a atmosfera, podendo incluir a evaporação da água diretamente da superfície do solo ou da vegetação e, também o processo de transpiração através dos tecidos vegetais. BELTRAME et al. (1992), citou a definição proposta por HUSCKE (1970), para a evapotranspiração potencial, como: "a perda combinada de água para a atmosfera, em forma de vapor, através dos processos de evaporação das superfícies e transpiração das plantas". A evapotranspiração potencial

de uma forma simples tem sido definida como a quantidade de água perdida por uma cultura desenvolvendo-se em condições bem características. Estas condições devem proporcionar uma perda de água acentuada, dependente das condições meteorológicas prevalentes, podendo portanto serem conhecidas através de relações climatológicas. É importante citar que a evapotranspiração pode ser expressa pela lâmina de água evapotranspirada por unidade de tempo (mm/dia), ou como, a quantidade de calor latente transferido para o ar atmosférico por unidade de área por dia ($W/m^2 \cdot dia$).

A evapotranspiração potencial, é um dos principais componentes do balanço hídrico, sendo de grande importância na climatologia, quer em classificações climáticas, quer para quantificações das disponibilidades hídricas regionais, através da sua comparação com a precipitação e variação de água no solo. A avaliação precisa das necessidades de água para as culturas, também afeta diretamente, o planejamento e a implantação de programas estratégicos de desenvolvimento local ou regional. A determinação da água necessária para as culturas, é um dado básico que precisamos conhecer para o planejamento de qualquer projeto de irrigação, tendo o fator evapotranspiração de referência (ET_o) a maior importância técnica, a nível da engenharia agrícola, através da ciência Irrigação e Drenagem, sendo qualificado como o principal parâmetro envolvido na determinação das exigências hídricas das culturas. O conhecimento da evapotranspiração é também muito útil na agricultura não irrigada, pois, permite o ajustamento de épocas de semeadura, dentro da estação de crescimento, em função da disponibilidade hídrica média da região considerada, determinando a maior eficiência no aproveitamento das precipitações pluviométricas, BERLATO (1979). Segundo SEDIYAMA (s. d.), "os dados da evapotranspiração são de grande valia no estudo racional dos recursos hídricos, em reservatórios expostos, na secagem natural de produtos agrícolas, além

de ser um elemento de grande influência ecológica". Informações quantitativas de evaporação e evapotranspiração são elementos necessários nos vários campos técnico-científico que tratam dos numerosos problemas do manejo da água. Dados confiáveis da evapotranspiração são exigidos para o planejamento, construção e a operação de reservatórios e de sistemas de irrigação e drenagem.

Nos projetos de irrigação, a captação e a elevação do nível da água são fatores de extrema importância, pois estes influenciam no aumento dos custos, principalmente com os desperdícios de energia (combustíveis ou elétrica), o que encarece o manejo das irrigações e, com isto, torna-se necessário uma utilização de água de forma economicamente otimizada. Quanto maior for o conhecimento da evapotranspiração de referência, melhor será o manejo da irrigação e a quantificação da água a ser aplicada, e como consequência haverá uma redução dos gastos da energia desperdiçada.

A evapotranspiração como fator climatológico, é um elemento susceptível à variação, ou seja, sofre interferências de fatores diretos e indiretos da natureza. Fatores diretos, estão relacionados principalmente com o sistema solo-água-planta, enquanto que, os fatores indiretos estão relacionados principalmente com a manipulação feita pelo homem, nas suas modificações do ambiente natural.

AMARO FILHO & MEDINA (1984), citaram como fatores que influenciam na modificação da evapotranspiração: A disponibilidade de água no solo, ou seja, existe uma faixa de umidade do solo na qual a evapotranspiração se mantém a um valor potencial, que depende da demanda evaporativa imposta pela atmosfera e das características condutoras do solo; Sistema radicular da cultura, a estrutura, distribuição e densidade radicular tem um papel importante na absorção de água para manter o mesmo nível de demanda evaporativa. A medida que aumenta a densidade

radicular, a planta vai ficando em melhores condições de se manter ao mesmo nível da demanda evaporativa durante uma maior faixa do potencial matricial. Assim, em solos com baixa densidade radicular a transpiração cai a altos valores do potencial matricial; índice de área Foliar (IAF), que varia com o decurso da fenologia da cultura, o que determina uma variação na distribuição da energia recebida. A energia absorvida pelo solo é máxima a baixos valores de IAF e diminui à medida que aumenta o IAF. Resulta, assim, que a evaporação do solo diminui com o aumento do IAF. O calor latente, energia utilizada em evaporar água, aumenta à medida em que aumenta o IAF até alcançar um valor máximo que corresponde a um IAF igual a 3. STERN (1965), observou a existência de uma relação exponencial, onde o valor máximo da evapotranspiração obteve-se a um IAF igual a 3. A um valor do IAF igual a 0 (zero), corresponderia o valor de evaporação do solo nu; Fatores Culturais, entre estes agrupam uma série de fatores intimamente relacionados com o manejo, tais como, cultivo do solo, manejo de água freática, "Mulching", sombra, fertilidade do solo e aspectos nutricionais e sanitários das plantas etc. O uso do "Mulch" ou barreiras isolantes reduzem apreciavelmente a evaporação. A Temperatura abaixo deste "Mulch" geralmente aumenta, provocando um aumento de fluxo de vapor de água, aumentando a transpiração da cultura e conseqüentemente, promove o crescimento da evapotranspiração. A sombra é uma maneira de controlar a radiação incidente, reduzindo portanto, a energia disponível para a evapotranspiração. Esta prática tem se adaptado em escala comercial quando existe necessidade de controlar a temperatura, principalmente durante os estágios fenológicos da reprodução. É uma técnica que se pode utilizar para reduzir as exigências de irrigação. O aspecto sanitário da cultura, é um fator importante na grandeza das perdas de água. Geralmente, os agentes

patógenos destroem a cutícula das folhas, sem a qual as plantas perdem todo o controle da saída de água, evaporando de forma similar a uma superfície livre.

BERLATO & MOLION (1981), citam que dos fatores determinantes da evapotranspiração potencial, em condições de ótima disponibilidade de água no solo, este seria função apenas das condições meteorológicas, tais como a evaporação de superfície livre de água e do tipo de vegetação. O controle exercido pela vegetação, seria através de sua estrutura, afetando o albedo, a rugosidade, a cobertura do solo, bem como o sistema radicular. A variação do albedo acarreta na variação da quantidade de energia recebida pela superfície evaporante e conseqüentemente na variação da perda de água pelas plantas para a atmosfera. Conforme dados de CHANG (1968), as principais culturas agrícolas têm um albedo máximo de aproximadamente 0,25. Para florestas, nota-se ser bem menor, embora estas informações não sejam conclusivas. PENMAN (1956), citado por CHANG (1968), fundamenta que quando a cobertura vegetal é total no solo, a evapotranspiração de referência é determinada pelos fatores meteorológicos, e não é afetada pela espécie e estrutura vegetal.

BERLATO (1979), citou que, o controle exercido pela vegetação, especialmente em culturas agrícolas, nas condições estabelecidas para evapotranspiração de referência, não é tão significativo, então esta ser função apenas das condições meteorológicas, como citado anteriormente. Destas condições, a radiação solar é sem dúvida a mais importante. Segue-lhe a temperatura, o vento e a umidade relativa do ar. De acordo com dados de MUKAMMAL & BRUCE (1960) citado por CHANG (1968), uma quantificação percentual da importância relativa da radiação, umidade e vento seria da ordem de 80:6:14, respectivamente.

Para o manejo racional da água irrigada, são frequentemente utilizados métodos para estimativa da evapotranspiração. Em todo o mundo, pesquisadores procuram determinar o método empírico mais adequado às suas condições de solo e clima, devido ao elevado custo de implantação e manutenção dos evapotranspirômetros. Vários modelos matemáticos para determinação da evapotranspiração de referência, têm sido desenvolvidos. Segundo SEDIYAMA (s. d.), existem em torno de 50 métodos ou técnicas para sua determinação. Onde, estes métodos variam desde os modelos matemáticos mais simples, baseados somente em dados de temperatura do ar à sombra, até técnicas complexas, baseadas em modelos físicos, que incluem vários parâmetros meteorológicos. Porém, com o volume muito grande de pesquisas sobre o assunto, cientistas subdividiram os métodos em função de suas variáveis climatológicas. SEDIYAMA (s. d.), cita os métodos baseados na temperatura do ar, métodos de temperatura e radiação, métodos combinados (PENMAN) e por fim, métodos de evaporação em tanques. BERLATO (1979), acrescenta os métodos baseados no balanço de água, no balanço de energia e por fim métodos aerodinâmicos e de correlação turbulenta (micrometeorológicos).

MANTOVANI (1982), citou no seu trabalho uma divisão em três grandes grupos para determinação da evapotranspiração: os de determinação direta, os de determinação indireta (estimativas) e os de determinação empírica. Os métodos de determinação direta, envolvem equipamentos denominados de lisímetros, que são tanques enterrados no solo. Segundo o mesmo, são os métodos mais precisos para determinação direta da evapotranspiração, desde que os lisímetros sejam instalados corretamente. Existem vários modelos de lisímetros ou evapotranspirômetros que são: lisímetro de drenagem ou percolação; lisímetro flutuante (o menos preciso); lisímetro de pesagem mecânica (o mais preciso) e lisímetro hidráulico. A determinação indireta

da evapotranspiração, é realizada de maneira simples. Ou seja, utilizam-se equipamentos que mensuram a evaporação, e posteriormente multiplica-se este valor encontrado por um fator K_p (Coeficiente de Tanque), a ser determinado para cada região. Estes equipamentos são denominados de evaporímetros, e os mais conhecidos são: O tanque U.S.W.B. classe "A" (o mais utilizado no mundo), tanque B.P.I. (BUREAU OF PLANTS INDUSTRY), tanque YOUNG SCREEN, tanque de 20m² (calibrador), GGI.3000 (usado na Rússia), Japonês e por fim o evaporímetro de Piché. Dentro destas determinações indiretas existem outros equipamentos como é o caso dos atmômetros como o de LIVINGSTONE e o de BELANI. Existem dentro das determinações indiretas métodos equacionados. São eles: método do balanço hídrico que é dado pela seguinte equação:

$$ET_o = P - R - U + \frac{\Delta m}{\Delta t} + I, \text{ onde:}$$

ET_o = Evapotranspiração potencial (mm);

P = Precipitação (mm);

R = Escoamento superficial (RUN-OFF) (mm);

U = Percolação ou drenagem profunda (mm);

$\frac{\Delta m}{\Delta t}$ = Variação do armazenamento da água no solo, no
intervalo de tempo t , em mm;

I = Irrigação (mm).

A utilização da equação do balanço de água para estimativa da evapotranspiração é teoricamente uma técnica correta, por se fundamentar no princípio de conservação da massa. Porém, na prática, as dificuldades encontradas na medição correta dos diversos componentes do balanço limitam bastante o

procedimento, BERLATO & MOLION (1981). A umidade do solo, consiste também, em um modelo de determinação indireta, e pode ser calculado através do método das parcelas experimentais, que é dado pela seguinte equação:

$$U = I + R + \left[\sum_{i=1}^n \frac{(M_i - N_i) * Dai * h_i}{100} \right], \text{ onde :}$$

U = água necessária à cultura durante todo o ciclo (mm);

I = Irrigação (mm);

R = Precipitação (mm);

n = Número de camadas em que foi dividida a profundidade do solo;

M_i = % de umidade em peso, antes do plantio, a enegésima camada do solo;

N_i = % de umidade em peso, após o ciclo vegetativo da cultura na enegésima camada do solo;

Dai = Densidade aparenta da enegésima camada do solo, em g/cm³;

i = Altura em que foi dividida a camada do solo, em (10-30cm). BERNADO (1982), citado por MANTOVANI (1982).

Método do controle da umidade do solo, que é dado pela seguinte equação:

$$U = \sum_{i=1}^n \left[\frac{(M_{1i} - M_{2i}) * Dai * h_i}{100} \right], \text{ onde :}$$

U = água necessária, usada entre duas amostragens, dentro de um intervalo de irrigação (mm);

n = Número de camadas em que foi dividida a profundidade do solo;

M_{1i} = Percentagem de umidade da primeira amostragem, na enégesima camada, em % peso;

M_{2i} = Percentagem de umidade da segunda amostragem, na enégesima camada, em % peso;

D_{ai} = Densidade aparente da enégesima camada, $g.cm^{-3}$;

h_i = Altura da camada em que foi dividida a profundidade do solo, em mm (10cm maior, 30cm menor precisão).

Os métodos indiretos baseados em dados micrometeorológicos, também são poderosas ferramentas para estimativa da Evapotranspiração, e podem ser subdivididos em: métodos do Balanço de Energia, métodos baseados em termos aerodinâmicos, métodos de correlação turbulenta, e os métodos combinados (PENMAN). E, por fim as determinações empíricas como: IVANOV em 1954, OSTROMECKI em 1955, PAPADAKIS em 1966, CHRISTIANSEN & HARGREAVES em 1969, MAKKINK em 1957, STEPHENS em 1965, TURC em 1961, BLANEY & CRIDDLE em 1970, THORNTIWAITE em 1948, LINACRE, BENAVIDES & LOPEZ em 1970, HARGREAVES em 1974, entre outras.

Alguns métodos merecem ser detalhados, pelo fato de serem de larga utilização pelos pesquisadores, e no manejo técnico do cotidiano nos sistemas de irrigação. Porém, neste trabalho, foram utilizados apenas os seis métodos mais usados pelos irrigantes em nossa região. São eles: BENAVIDEZ & LOPEZ, BLANEY &

CRIDDLE, HARGREAVES, PENMAN, TANQUE CLASSE "A" e THORNTHWAITE.

BENAVIDEZ & LOPEZ, apresentaram em 1970 um método que relaciona a evapotranspiração potencial, com a umidade relativa e a temperatura do ar. Segundo AMORIM NETO et al. (1985), esta é uma fórmula de uso muito simples, e bastante utilizada no mundo. Onde trabalhando em Juazeiro-BA, e utilizando a regressão linear como fator de avaliação, observaram que este método e o de LINACRE, foram os melhores para o citado município, por apresentarem coeficientes de determinação semelhantes e os maiores entre os modelos testados. MELO SILVA & LIMA (1988), trabalhando em Terezina-PI, encontraram que BENAVIDEZ & LOPEZ, pela análise dos dados, apresentaram coeficiente de correlações aproximadamente iguais aos modelos de THORNTHWAITE, HARGREAVES e BLANEY & CRIDDLE, valendo salientar que estes utilizaram os mesmos parâmetros meteorológicos, ou seja, temperatura do ar.

Em 1952, BLANEY & CRIDDLE apresetaram uma metodologia, que envolve dados de temperatura do ar e percentagem de horas de brilho solar (insolação), em relação ao total anual; como também um fator de cultura denominado de coeficiente K, que é derivado de medidas lisimétricas ou de medidas de variação da umidade do solo. Conforme CHANG (1968), este método foi ajustado com base em medidas realizadas no Novo México e Texas, zona oeste dos E.U.A. (Zonas áridas e semi-áridas). Segundo SEDIYAMA (s. d.), a equação proposta por BLANEY & CRIDDLE, é provavelmente uma das mais conhecidas expressões para estimativa das exigências hídricas dos cultivos, podendo ser apresentada, basicamente, em três tipos de formulações: A versão original, a adaptada pelo S.C.S. (Soil Conservation Service do U.S.D.A.), e a modificada pela FAO (Food Agricultural Organization).

Afirmações importantes, são tiradas de BERLATO (1979), o qual cita que esta fórmula apresenta limitações semelhantes à metodologia de THORNTHWAITE, pois também, fundamenta-se na temperatura do ar. A única e possível melhora deste método é a inclusão de um coeficiente de cultura, que deve ser determinado localmente. Fora do clima semi-árido e árido americano, as estimativas por este método são, em geral, ruins. Esta afirmação, é comprovada por FERNANDEZ & GONDIM (1980), no município de Areia, no Estado da Paraíba, onde foram testados 9(nove) métodos, tendo o método de BLANEY & CRIDDLE, comportado-se como o pior entre todos, por apresentar os menores índices de regressão, quando comparado com o método padrão. AMORIM NETO et al. (1985), encontrou o mesmo resultado, para o município de Juazeiro-BA. AMARO FILHO et al. (1981), confirma os mesmos resultados para Mossoró-RN. Tanto a fórmula de THORNTHWAITE, como a de BLANEY & CRIDDLE, são indicadas para utilização em períodos longos (mensal ou estacional), não sendo recomendadas para tabulações diárias, nem períodos curtos como pentadas e décadas.

A metodologia desenvolvida por HARGREAVES, equacionou uma fórmula derivada dos valores da temperatura média do ar, umidade relativa média ao meio dia e a duração do dia, a qual depende da latitude da localidade a ser trabalhada. É, um método que tem um comportamento regular para as regiões áridas e semi-áridas, isto porque, seus coeficientes de correlação e determinação bem aceitáveis. MARTELO (1989), em trabalho realizado na Venezuela, coletando dados de cinco regiões desse País, concluiu que o método de HARGREAVES foi o que melhor se comportou para aquelas condições, o mesmo foi comparado através de regressão, com nove outros métodos, onde o padrão considerado foi um produto da evaporação no TANQUE CLASSE "A" por um fator de correção, considerado igual

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

Conforme CHANG (1968), as evidências experimentais suportam a assertiva de que o método de Penman é o de melhor resultado. Dados analisados por JENSEN (1973), citado por BERLATO (1979), continuaram a evidenciar, a superioridade deste método relacionado com outros. MARTELO (1989), mostra resultados variados, com relação ao comportamento deste método na Venezuela, os quais, foram de excelente a médio. AMORIM NETO et al. (1985), mostrou um bom resultado de correlação com o Lisímetro, porém uma altíssima correlação com o método do TANQUE CLASSE "A", como medida evapotranspirométrica. Na Paraíba FERNANDEZ & GONDIM (1980), mostraram bons resultados, para Areia-PB, ao correlacionar este método com o padrão estabelecido (Lisímetro).

Alguns autores afirmam que o método de PENMAN, não merece confiança na estimativa de um ponto, ou seja, em leituras diárias, não sendo recomendado para leituras curtas (Pentadas e décadas). Entretanto, TANNER & PELTON (1960), citados por BERLATO & MOLION (1981), frisam que em exaustiva análise de comparação do método do balanço de energia detalhado, concluíram que a equação de PENMAN, é válida para estimar a evapotranspiração potencial para períodos curtos, como um dia. A exatidão do método de Penman, para período curtos depende, em grande parte, da precisão com que é coletado ou estimado o saldo de radiação. BEIRSDORF & MOTA (1976), trabalhando em Pelotas-RS, confirmam a existência de uma maior precisão na estimativa da

evapotranspiração de referência, para períodos de cinco dias, quando é ajustado para as condições do local. JENSEN (1974), citado por SADD & ESCALOPPI (1992), destacou 15 métodos para estimativa da evapotranspiração de referência, comparando seus resultados com os valores observados em 10 localidades, apresentando condições climáticas bastantes variadas. Concluiu que, equações que utilizam o balanço de energia associado ao termo aerodinâmico, fornecem resultados mais precisos entre os métodos de estimativa da ETo, uma vez que estes se baseiam em leis físicas e relações racionais.

Muitos pesquisadores pelo mundo, utilizam o modelo de PENMAN afirmando que é o melhor devido oferecer resultados positivos. AMORIM NETO et al. (1985), correlacionando este método com o Lisímetro em Juazeiro-BA, encontrou resultados promissores, porém não confiáveis. AMARO FILHO et al. (1981), FERNANDEZ & GODIM (1980) e MARTELO (1989), correlacionaram este método com o TANQUE CLASSE "A" corrigido por um fator, IGUAL 0,8, resultados similares foram encontrados em Mossoró-RN e em algumas localidades na Venezuela, porém, em Areia-PB os resultados obtidos foram excelentes. Segundo SILVA (1989), para o município de Parnaíba-PI, o método de PENMAN modificado foi utilizado para a estimativa de evapotranspiração de referência, em base diária e por pentadas, não diferindo das estimativas do TANQUE CLASSE "A", para este município. CURY & VILLA NOVA (1989 a) trabalhando na determinação do coeficiente de cultura (K_c) para o repolho, confirmam as afirmações de CHANG (1968), para Botucatu-SP, defendendo este método como o melhor fornecedor de resultados quando comparados com outros modelos.

O TANQUE U.S.W.B. (United State Weather Bureau) CLASSE "A" (TCA), segundo SEDIYAMA (s. d.), é amplamente utilizado em todo o globo

para estimativa da evapotranspiração, devido principalmente, à sua praticidade e baixos custos de obtenção e manutenção. Além disso o TANQUE CLASSE "A", tem sido recomendado pela O.M.M. (Organização Meteorológica Mundial), sendo empregado nas estações agro-climatológicas principais do INEMET/MA, para a estimativa climática da evaporação potencial.

VILLA NOVA & OMETTO (1975), descrevem que com o auxílio da evaporação medida no TANQUE CLASSE "A", estima-se a evapotranspiração potencial, ou seja, a perda de água sofrida por uma superfície coberta de vegetação rasteira, em fase de desenvolvimento ativo, cobrindo totalmente o terreno, no qual a umidade não limita o desenvolvimento da planta. Estas condições observadas determinam que somente os parâmetros externos à superfície (parâmetros climáticos), sejam os responsáveis pelo processo de evapotranspiração. A Evapotranspiração potencial assim definida, é usualmente medida por evapotranspirômetros ou lisímetros, expostos a uma bordadura, utilizando-se grama batatais (*Paspalum notatum* L.) como cobertura. Como a instalação, operação e manutenção de tais instrumentos são complexas, usualmente obtém-se uma estimativa da evapotranspiração potencial através da multiplicação da lâmina da água evaporada no TANQUE CLASSE "A" pelo o coeficiente de conversão de tanque (K_p). Inúmeras correlações obtidas por diferentes pesquisadores, em várias partes do mundo, nos revelam que o K_p varia em função da umidade relativa, da velocidade do vento e a maneira como tanque é exposto.

O TANQUE CLASSE U.S.W.B. CLASSE "A", Figura 1A, é descrito por BERLATO & MOLION (1981), como um recipiente circular de 1,21m de diâmetro e 25,4cm de profundidade, construído, normalmente de chapa de ferro galvanizado de espessura 22 (S.W.G.). A instalação deve ser feita sobre estrado de

madeira de modo que o fundo do Tanque fique 5 a 10 cm acima do solo. A leitura é, normalmente, feita através de parafusos micrométricos com precisão de 0,02mm, instalado em um poço tranquilizador que evita a formação de ondulações por ação do vento e permite a determinação precisa do nível da água. Este nível deve ser mantido a uma distância mínima de 5 cm de sua borda superior, em face a isso, convencionou-se, para efeito de padronização que o reabastecimento e drenagem devem ser efetuados quando o nível da água atingir de 7,5 a 2,5 cm da borda, respectivamente.

Para determinar a evapotranspiração potencial através do TANQUE CLASSE "A" é necessário multiplicar o dado bruto da evaporação, por um fator denominado como coeficiente de Tanque (K_p). SEDIYAMA (s. d.), citou alguns critérios técnicos para a seleção do K_p de acordo com FAO, devendo-se considerar: a cobertura vegetal na proximidade do Tanque e as condições de vento e umidade relativa do local instalado. Com base nestas informações a FAO (Boletim técnico, 24), ou seja, DOORENBOS & PRUITT (1977), apresentam uma tabela de K_p para as condições citadas anteriormente: Tanque circundado de vegetação rasteira como bordadura variando de 1 a 1.000 m, e tanque circundado com solo nu com bordadura variando de 1 a 1.000 m para diversas condições de vento e umidade relativa.

Devido a simplicidade, e o baixo custo de instalação e manutenção que o método da evaporação do TANQUE CLASSE "A" oferece, muitos pesquisadores, e empresas agrícolas adotam o seu uso. STANHILL (1961), citado por KLAR (1975), recomendou a utilização do TANQUE CLASSE "A" para estimativa da perda de água das culturas em Israel, por se apresentar como a metodologia mais precisa. CURY & VILLA NOVA (1989a), observaram que este método, apresentou os dados da evapotranspiração de referência mais próximo da

realidade em Botucatu, SP. Neste município, trabalhando com o consumo de água e na determinação do Kc da cultura da batata-inglesa (*Solanum tuberosum* L.), os mesmos resultados foram encontrados por DAL FABBRO et al. (1991). AMORIM NETO et al. (1985) concluíram que este método, apresentou bons resultados quando comparado com o padrão (Lisímetro), em Juazeiro-BA. Resultados similares foram apresentados por MELO SILVA & LIMA (1988), em Teresina-PI, considerando satisfatórios quando relacionados com os demais, levando em consideração principalmente a sua simplicidade de utilização e também por não necessitar de uma série histórica de dados meteorológicos para estimativa da evapotranspiração de referência.

DELLA LIBERA (1991), testando os métodos de PENMAN, radiação e TANQUE CLASSE "A", para determinar o Kc da Cebola, concluiu que com exceção do TANQUE CLASSE "A" os demais métodos subestimaram o Kc sugerido pela FAO. Por ser uma relação simples o mesmo comportamento foi observado para evapotranspiração de referência (ET_o). BARROS ROCHA et al. (1992), encontraram resultados opostos, para determinação do Kc da cultura do arroz, onde o método do TANQUE CLASSE "A" subestimou a ET_o e o Kc estabelecida pela FAO.

Como foi dito e mostrado anteriormente, muitos pesquisadores confiam nos valores obtidos por estes métodos, 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. Para isto os dados puros são coletados e multiplicado por um coeficiente de tanque, estabelecido pela FAO para as regiões semi-áridas. Estas metodologias são encontradas nos trabalhos de

FERNANDEZ & GONDIM (1980), AMARO FILHO et al. (1981) e MARTELO (1989).

SEDIYAMA (s. d.) citou que apesar das deficiências, uma vez instalado corretamente, o TANQUE CLASSE "A" fornece uma estimativa bastante representativa da evapotranspiração de referência, para períodos de 10 dias, desde que sejam selecionados os valores de K_p apropriados para o local.

A equação de THORNTHWAITE, foi derivada na parte Central Leste dos E.U.A. (clima temperado continental), baseada em dados de precipitações e escoamento superficial de várias bacias. Esta também tem como função a temperatura, e ajustes para o número de dias do mês, de acordo com a latitude da localidade a ser trabalhada. BERGAMASHI et al. (1992), afirma que este método está sendo utilizado extensivamente em todo o mundo. A equação de Thornthwaite deve ser utilizada em regiões onde estejam disponíveis somente dados de temperatura, e para períodos mínimos de um mês. MOTA & BEIRSDORF (1976), confirmaram estes resultados em Pelotas-RS, onde para os períodos mensais a fórmula de THORNTHWAITE ofereceu melhores estimativas quando comparada com a de PENMAN. CURY & VILLA NOVA (1989 a e b) apresentam a mesma afirmativa para Botucatu-SP.

A maioria dos pesquisadores brasileiros, obtém resultados muito baixos para este método, principalmente pesquisadores da zona semi-árida. Isto porque, estes trabalham geralmente com períodos curtos, onde este método não é recomendado. AMARO FILHO et al. (1981), encontrou através da correlação com o TANQUE CLASSE "A" corrigido para Mossoró-RN, um resultado não confiável, onde este superestimou o método padrão. Utilizando esta mesma metodologia FERNANDEZ & GONDIM (1980), encontraram resultados satisfatórios em Areia-

PB, onde este modelo permaneceu com caráter intermediário entre a super e a subestimação da evapotranspiração de referência, assemelhando-se ao método padrão. MARTELO (1989) na Venezuela encontrou resultados bastante variáveis para o coeficiente de correlação, nas localidades estudadas, porém, em todas, este modelo não apresentou resultados promissores. Estes pesquisadores, utilizaram, como método padrão, o TANQUE CLASSE "A" corrigido por um fator igual a 0,8 ou tabelado, estabelecido pela FAO em 1977.

SILVA (1989), para Parnaíba-PI, concluiu que todos os métodos de estimativa da evapotranspiração de referência que se baseiam na temperatura do ar, conduziam à subestimativa sistemática em relação ao método de referência. Com exceção do método de THORNTHWAITE, que não apresentou diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, todos os demais estudado forneceram estimativas da ETo significativamente diferente do método de PENMAN modificado pela FAO, aos níveis de 1 e 5% de probabilidade.

MELO SILVA & LIMA (1988), comparando THORNTHWAITE com o lisímetro, em Teresina-PI, encontraram resultados convenientes para o seu uso neste município. AMORIM NETO et al. (1985), usando a mesma metodologia, concluiu que este método não se adéqua à estimativa da evapotranspiração de referência para Juazeiro-BA, por apresentar um coeficiente de determinação inferior a 50%, o que não assegura a eles a explicação do fenômeno, significativamente.

SEDIYAMA (s. d.), cita que a escolha definitiva do método deve ser baseada, principalmente no tipo de dado climático disponível e na precisão requerida na determinação das necessidades hídricas dos cultivos. Segundo avaliações feitas pela FAO, o melhor método de estimativa da evapotranspiração de referência é o de PENMAN modificado, com erros de $\pm 10\%$ no verão e até $\pm 20\%$ sob

condições de baixa demanda evaporativa. O método do TANQUE CLASSE "A" pode ser classificado como em segundo lugar, com erros de $\pm 15\%$, dependendo do local e dos cuidados na instalação do tanque. A seguir são recomendados os métodos que envolvem o termo radiação solar na sua formulação, com erros maiores de 20% no verão. Finalmente, os métodos que envolvem dados de temperatura do ar, devem ser evitados, ou, quando não for possível, devem ser aplicado para períodos de 30 dias ou mais. Em regiões úmidas, ventos fortes e boas condições de latitude média por exemplo, a equação de BLANEY & CRIDDLE subestima a evapotranspiração de referência em até 25%.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - OBTENÇÃO DOS DADOS CLIMÁTICOS:

Este trabalho foi realizado com dados climáticos obtidos no campo, em uma estação climatológica instalada, no Município de Governador Dix-Sept-Rosado, RN ($5^{\circ} 28' 5''\text{S}$; $37^{\circ} 31' \text{W}$, 36m), distanciando 35 km da cidade de Mossoró-RN.

Os parâmetros climáticos coletados, foram médias diárias da temperatura do ar, umidade relativa, evaporação no Tanque Classe "A", insolação, precipitação pluviométrica e evapotranspiração de referência. Devido a não homogeneidade entre todos os dados de coleta, principalmente com os dados lisimétricos, o arranjo dos mesmos foi feito em períodos de décadas, ou seja, dez dias. Sendo que a organização de semelhança entre os níveis de coleta, ficou totalmente em função da disponibilidade dos pontos obtidos nos lisímetros. Porém, foram registradas décadas incompletas, mas que a média aritmética foi usada para eliminar qualquer variação entre os dados medidos no campo. Os dados se referem ao período de novembro de 1987 a dezembro de 1989, e foram obtidos através de um conjunto evapotranspirométrico de lençol freático constante, com duas repetições. A cultura de referência utilizada foi a grama bermuda (*Cynodon dactylon*, L.). O local do experimento estava a aproximadamente 50m do leito do rio Mossoró, com muitas

carnaubeiras (*Copernicia cerifera*, L.) no contorno ciliar do rio. Os equipamentos meteorológicos utilizados na coleta dos dados e suas especificações foram:

- Anemômetro totalizador, marca IHL, instalado a 2,0m;
- Heliógrafo tipo Campbel-Stokes, marca fuess;
- Psicrômetro comum, com precisão de 0,2°C;
- Termômetro de mínima (vidro/álcool) e termômetro de máxima (vidro/mercúrio) ambos com precisão de 0,2°C;
- TANQUE CLASSE "A", Figura 1A, em chapa de ferro inox e micrômetro de gancho com precisão de medida do nível da água de 0,02mm assentado sobre estrado de madeira aproximadamente 15cm da superfície do solo gramado;
- Evapotranspirômetro de lençol freático constante (lisímetro); modelo básico de Thornthwaite, porém modificado por ESPÍNOLA SOBRINHO et al. (1989), para adaptá-lo aos materiais disponíveis em nossa região, tornando-o mais prático e eficiente. Conforme pode ser visto na Figura 2A, o conjunto evapotranspirométrico, é basicamente formado por um tanque de crescimento de cimento-amianto, de 1,6m de comprimento por 1,0m de largura e 0,8m de profundidade; um tanque de cimento-amianto de 0,4 x 0,4 e 0,3m de largura, com capacidade de aproximadamente 50 litros, que tem como função manter constante o nível do lençol freático no interior do primeiro tanque, com o auxílio de uma bóia instalada no tubo de entrada da água. Este depósito de controle, está conectado ao tanque de crescimento das plantas por meio de um tubo de PVC de 3/4 de polegadas. Para evitar perdas por evaporação da água, este recipiente deve ser mantido fechado permanentemente; um depósito alimentador de PVC de 0,2m de diâmetro e 1,0m de altura para suprir as exigências de evapotranspiração das plantas no primeiro tanque. Na parte externa deste tubo,

foi conectado um tubo de plástico transparente de 6,0mm de diâmetro interior, juntamente com uma escala graduada em mm para medir a diferença de nível da água, em função do tempo, no tanque alimentador. O depósito alimentador está montado em uma estrutura de ferro a 1,0m do chão a fim de facilitar o fluxo de água para o tanque de controle do lençol freático. Os dois encontram-se ligados por meio de tubos de PVC de $\frac{3}{4}$ de polegadas.

Foram instalados dois evapotranspirômetros plantados com grama, para obtenção dos dados da evapotranspiração de referência. Para instalação dos tanques de crescimento dentro de cada parcela foram abertas trincheiras separando-se a terra removida segundo os horizontes do solo. Semeihantemente, foram abertas trincheiras para instalação dos tanques de controle dos lençóis freáticos e valetas para alocação dos tubos adutores que conectam os dois tipos de tanque. Os tanques de crescimento foram colocados dentro de trincheiras de maneira que suas bases ficassem horizontais, niveladas e suas bordas, com aproximadamente 10cm acima da superfície do solo. Os tanques de controle, estavam apoiados numa estrutura metálica, dentro de uma caixa de alvenaria de 1,30 x 2,40 x 1,40 de profundidade. Na parte inferior interna do tanque de crescimento, colocou-se uma camada de brita e logo acima uma de areia, formando um extrato de aproximadamente 10cm de espessura. A comunicação entre dois canos de duas polegadas com o fundo do tanque de crescimento mantinham o controle da altura do lençol freático no interior dos mesmos. Após o assentamento dos tanques nas trincheiras, foram enchidos, com o solo retirado inicialmente, tendo-se o cuidado de colocá-lo na mesma sequência de horizontes que tinha na sua condição natural, sendo que, a superfície interna do tanque, ficou no mesmo nível com a superfície do solo. A instalação dos evapotranspirômetros, teve término em junho de 1987, permitindo o

acondicionamento e assentamento do solo no tanque de crescimento, antes do início do trabalho em novembro do mesmo ano. O capim bermuda (*Cynodon dactylon*, L.) foi transplantado em agosto de 1987, utilizando-se plantas do Jardim Botânico da ESAM. As parcelas posteriormente foram adubadas a lanço com NPK em proporções de 60, 40 e 20 kg/ha, respectivamente. Para evitar danos aos evapotranspirômetros, evitou-se trabalhos mecanizados, optando-se pelo preparo manual.

Diariamente foram feitas leituras nos evapotranspirômetros, e simultaneamente, no tanque classe "A", por volta das 09:00 horas da manhã.

A velocidade do vento, foi medida por um anemômetro totalizador, instalado a 2,0 metros de altura.

A insolação foi medida em horas e minutos a partir de leituras diretas no heliógrafo.

A umidade relativa e a temperatura do ar foram medidos por um psicrômetro, e dois termômetros: Um de máxima outro de mínima, localizados no interior de um abrigo meteorológico, e posteriormente determinadas através dos valores médios obtidos pelas seguintes equações:

$$UR = (U.R. 9:00 + U.R. 15:00 + 2 * U.R. 21:00) / 4$$

$$T = (T 09:00 + 2 * T 21:00 + T_{max.} + T_{min.}) / 5$$

Onde, 9:00, 15:00 e 21:00, são os horários TMG. de observação normal nas estações climatológicas (com relação ao mediano de Greenwich).

3.2- CARACTERÍSTICAS EDAFO-CLIMÁTICAS:

De acordo com as análises dos dados, a região em estudo apresenta um clima do tipo DdA'a', ou seja, semi-árido, megatérmico com pouco ou nenhum excesso de água durante o ano. Isto, segundo a classificação climática de W.C. THORNTHWAITE, que está baseado numa série de índices térmicos utilizando-se o balanço-hídrico da região. Pelo regime térmico e pluviométrico, os municípios Mossoró/Governador Dix-Sept-Rosado, apresentam um clima do tipo BSwh', segundo W. KÖEPPEN, ou seja, clima muito seco, sendo a maior incidência de chuvas no verão atrasando-se para o outono. A classificação de GAUSSEN & BAGNOULS, citado por ESPÍNOLA SOBRINHO et al. (1989), refere-se a estes municípios, como bioclima da área de 4aTh tropical quente, de seca acentuada, com índice xerotérmico na faixa de 200 a 150, e 7 a 8 meses secos.

Devido a pequena distância entre os municípios anteriormente citados (35km), não são observadas variações significativas nas condições edafo-climáticas dos mesmos. As informações complementares sobre os dados médios climáticos, foram obtidas por ESPÍNOLA SOBRINHO et al. (1989), que conduziu experimentos na mesma época e local e CARMO FILHO & OLIVEIRA (1989). A precipitação pluviométrica tem média anual de 674mm, sendo que as maiores ocorrências são nos meses de fevereiro a maio, e as mais baixas nos meses compreendidos entre agosto e novembro. A temperatura média da região é de 27,4°C, sendo dezembro o mês mais quente, com média de 28,3°C. As temperaturas mínima e máxima do ar têm valores médios iguais a 22,6°C a 33,3°C, respectivamente. A insolação assume valores médios em torno de 236,6 horas mensais, ou seja, sempre ultrapassa 2.800 horas anuais, sendo portanto elevada a incidência da radiação solar que pode atingir até 1.045 W.m⁻² . dia⁻¹. A pressão

atmosférica média anual é de 0,1MPa. A velocidade média diária do vento, normalmente assume valores entre 2,6 e 5,6 m/s, com média anual de 4,1 m/s, os ventos predominantes são de Ne e SE, a umidade relativa média foi de 67%. Durante o período experimental (nov.1987 - dez.1989) a estação climatológica instalada no local, registrou os seguintes dados médios: temperatura do ar 27,7°C; umidade relativa do ar 69,5%; velocidade diária do vento 1,06 m/s; evaporação no TANQUE CLASSE "A" 7,19 mm/dia; e evapotranspiração média nos dois lisímetros 4,53 mm/dia.

O solo da área experimental é de textura média e encontra-se classificado como aluvial eutrófico fase floresta ciliar de carnaúba (*Copernicia cerifera*), com relevo topográfico plano. São apresentadas na Tabela 2A e Figura 3A, respectivamente algumas propriedades físicas do solo e a curva característica de umidade, respectivamente, ambos citados por ESPÍNOLA SOBRINHO et al. (1989).

Do ponto de vista fitotécnico, o maior problema da nossa região é a irregularidade dos regimes pluviométricos a cada ano, ou seja, em grande parte do nordeste, principalmente nas áreas semi-áridas, existem duas estações definidas: uma chuvosa que ocorre no verão, atrasando-se para o outono e tem aproximadamente seis meses, podendo se prolongar. Observa-se que mais de 95% das precipitações se concentra neste período. A outra estação é o período seco, na qual as chuvas são pouquíssimas ou totalmente escassas. A Tabela 1A, evidencia as duas estações citadas, através dos dados pluviométricos mensais, coletados pela estação climatológica da ESAM, durante os meses em que foi realizado os estudos.

As condições pluviométricas determinam os períodos de cultivo. Pode-se afirmar que não é possível o desenvolvimento normal de algumas culturas economicamente sustentáveis, como as perenes sem o auxílio das irrigações.

As condições climáticas que SILVA (1989), citou para o município de Parnaíba-Pi, são similares às da nossa região, ou seja: a temperatura do ar não sofre profundas variações com relação à média, devido à proximidade da linha equatorial e por se tratar de uma região costeira. Outros parâmetros tais como: velocidade do vento, evaporação do tanque classe "A", evaporação de Piché, evapotranspiração (ET_o) e umidade relativa (UR) variam consideravelmente durante o ano.

3.3 - ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA:

Para estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) foram selecionados seis (06) métodos empíricos: BENAVIDEZ & LOPEZ, BLANEY & CRIDDLE, HARGREAVES, PENMAN, TANQUE CLASSE "A" e THORNTHWAITE. Estes foram escolhidos devido sua praticidade e ampla utilização em todo o mundo, como métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, e mais especificamente no nordeste brasileiro.

Para todos os métodos utilizados, a evapotranspiração de referência (ET_o), foi calculada diariamente e transformada em decadas, para fugir da heterogeneidade causada pela ausência de algumas leituras diárias.

3.3.1 - Método de BENAVIDEZ & LOPEZ:

Este método relaciona a evapotranspiração de referência (ET_o), com a umidade relativa (UR) e a temperatura do ar em graus célsius (T). BENAVIDES & LOPEZ (1970), citado por AMORIM NETO (1989), apresenta a seguinte equação:

$$ET_o = 1,21 \times 10^{\left(\frac{7,45 \times T}{234,7 + T}\right)} \times (1 - 0,01 \times U.R.) + 0,21 \times T - 2,3 \quad , \text{ onde :}$$

ET_o = Evapotranspiração de referência (mm/dia);

T = Temperatura compensada do ar ($^{\circ}\text{C}$);

UR = Umidade relativa do ar (%).

3.3.2- Método de BLANEY & CRIDDLE

A equação que representa este método foi utilizada, de acordo com a proposta de DOORENBOS & PRUITT (1977), onde a mesma apresenta o uso consultivo convertido em evapotranspiração de referência (ET_o), em mm/dia, adaptada às escalas convencionais (sistema métrico decimal) e a escala de temperatura em graus Célsius.

Fórmula geral:

$$ET_o = c.p.(0.457T + 8.13) \quad , \quad \text{Onde:}$$

ET_o = Evapotranspiração de referência, em mm/dia;

T = Temperatura compensada (diária), em graus Célsius;

P = Percentagem de horas de brilho solar diário em relação ao total anual, para um dado mês e latitude do local Tabela 3A (Ver apêndice);

C = Fator de correção, que depende da umidade relativa mínima, horas de brilho solar e estimativa da velocidade do vento diário. Apresenta-se para três níveis, de umidade relativa, brilho solar e velocidade média do vento DOORENBOS & PRUITT

(1977). Trabalhos citados por CHANG(1968), equiparou os valores de C com o do Kc, ou seja, com o coeficiente de cultivo, que assume valor médio 0,75, para gramas e pastagens.

3.3.3- Método de HARGREAVES

A metodologia de HARGREAVES (1974) estima a evapotranspiração de referência (ET_o), baseada em dados temperatura do ar, umidade relativa do ar e latitude. A ET_o é estimada através de seguinte fórmula:

$$ET_o = MF * TMF * CH, \text{ onde:}$$

ET_o = Evapotranspiração de referência, (mm/dia);

MF = Fator de correção, dependendo da latitude do local. Tabela 4A (Ver Apêndice);

TMF = Temperatura média diária em FAHRENHEIT (°F);

CH = Correção para a umidade relativa média diária, em percentagem, segundo a fórmula:

$$CH = 0.158 \times \sqrt{100 - UR}$$

3.3.4- Método de PENMAN:

O método proposto por PENMAN, é a combinação dos métodos do balanço de energia e do termo aerodinâmico. Com o passar dos tempos este método sofreu adaptações, de acordo com as regiões geográficas mais diferentes. É

um método bastante utilizado, principalmente em pesquisas. 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.

A estimativa de evapotranspiração de referência, por Penman (1948) é representada pela seguinte equação:

$$ET_o = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} \times H + E_a}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1}, \text{ sendo:}$$

$$H = RA \left(a + b \frac{n}{N} \right) (1 - a) - \left[\frac{1440 \sigma T_a^4 (0,56 + 0,09 \sqrt{e}) \left(0,1 + 0,9 \frac{n}{N} \right)}{59} \right],$$

termo do balanço de energia;

$$E_a = 0,35 \left(1 + \frac{V}{100} \right) (c_s - c), \text{ termo aerodinâmico. Onde todos os termos}$$

significam:

$$a = 0,29 \cos \text{Latitude.}$$

b = Valor médio determinado através de pesquisa para o mundo, sendo igual a 0,52;

$\frac{\Delta}{\gamma}$ = Fator adimensional dependente da temperatura média do ar no período,

Tabela 6A (ver Apêndice);

H = Balanço da energia radiante (mm/dia);

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

e_s = Tensão de saturação do vapor d'água no ar (mmHg), Tabela 5A (ver Apêndice);

e = Tensão atual do vapor d'água no ar (mmHg);

V = Velocidade do vento a 2m de altura (m/s);

R_a = Radiação extra-terrestre, função do mês e da latitude do local, em valores de evaporação (mm/dia), Tabela 7A (ver Apêndice);

$\frac{n}{N}$ = Razão de insolação média do período:

n = Horas de brilho solar;

N = Fotoperíodo ou número máximo possível de brilho solar para todos os dias em Mossoró-RN, Tabela 8A (ver Apêndice).

a = Albedo da grama ($a = 0,24$);

σ = Constante de Stefan-Boltzman, $8,22 \times 10^{-11} \text{ cal cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1} \text{ } ^\circ\text{K}^{-4}$;

T_a = Temperatura absoluta média do ar, no período $^\circ\text{K}$.

3.3.5 - Método DO TANQUE CLASSE "A":

Este método é o de maior praticidade, isto por não envolver muitas variáveis, dependendo apenas das leituras da evaporação do TANQUE CLASSE "A", e um valor tabelado de K_p , em função da velocidade do vento, umidade relativa, e das características físicas da área de coleta.

De acordo com as normas da DOORENBOS & KASSAN (1979), estima-se a evapotranspiração de referência (E_{To}), através da seguinte equação:

$$E_{To} = K_p \times ECA, \text{ onde:}$$

ET_o = Evapotranspiração de referência (mm/dia);

K_p = Coeficiente de tanque, obtido em função da velocidade média do vento, umidade relativa do ar e do tipo de exposição do tanque, Tabela 9A (ver Apêndice);

ECA = Evaporação do TANQUE CLASSE "A" (mm/dia).

3.3.6- Método de THORNTHWAITE:

As pesquisas desenvolvidas por Thornthwaite, foram realizadas na parte central e leste dos E.U.A. (clima temperado continental), baseadas em dados de precipitação pluviométrica e escoamento superficial de várias bacias hidrográficas da região. Para estimativa da evapotranspiração de referência, utilizou-se as tabelas publicadas em THORNTHWAITE (1957), posteriormente sendo calculada pela seguinte expressão:

$$E_{to} = \frac{16 \times \left(\frac{10T}{I} \right)^a \times f}{n}, \text{ onde:}$$

ET_o = Evapotranspiração de referência, (mm/dia);

I = I_a: índice anual de calor;

i = (T/5)^{1,514};

T = Temperatura média mensal (°C);

a = 675x10⁻⁹ I³ - 771x10⁻⁷ I² + 179 x 10⁻⁴ I + 0,492;

f = Fator de correção, O(I);

n = Números de dias do mês.

É importante saber que no período de janeiro a outubro de 1987, o I foi calculado com os dados de temperatura coletados na estação meteorológica da ESAM, Mossoró-RN.

Os dados de evapotranspiração de referência medida e estimada, pelos sete métodos descritos anteriormente, foram submetidos a análise de variância, usando os procedimentos do delineamento inteiramente casualizado. As diferenças onde a evapotranspiração média de cada método e o método do Lisímetro, foram avaliados pelo teste DUNNETT, de acordo com BANZATTO & KRONKA, (1982). Os softwares QuatroPro (planilha eletrônica), o spsspc e Harvard Graphic, foram utilizados para se fazer a análise gráfica e estatística dos dados respectivamente.

4 - RESULTADOS & DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os valores médios medidos e estimados da evapotranspiração de referência, para os 40 períodos de décadas e suas respectivas datas, coletadas de novembro de 1987 a dezembro de 1989, através dos métodos do: LISÍMETRO, TANQUE CLASSE "A", HARGREAVES, BLANEY & CRIDDLE, BENAVIDEZ & LOPEZ, PENMAN e THORNTHWAITE. Sendo que estes pontos são semelhantes, dentro do arranjo espacial de disposição dos dados, totalmente em função da disponibilidade das leituras Lisimétricas.

Os valores médios dos parâmetros climáticos observados durante o período do experimento, foram: temperatura do ar, 27,7 °C; umidade relativa do ar, 69,5 %; velocidade média diária do vento, 1.06 m/s; evaporação no TANQUE CLASSE "A", 7,19 mm/dia e evapotranspiração de referência obtida no Lisímetro, 4,53 mm/dia. É importante citar que estes valores, não expressam uma realidade climática para a região Oeste do Estado do Rio Grande do Norte, principalmente no que se refere aos parâmetros: velocidade do vento, que apresentou uma média baixíssima e umidade relativa do ar, que se comportou de maneira um pouco elevada. CARMO FILHO & OLIVEIRA (1989), citam que a média da velocidade do vento para Mossoró, está em torno de 4.1 m/s e a umidade relativa média 67%. Estes

parâmetros na área do experimento, foram afetados pela presença de uma mata ciliar de carnaubeiras (*Copernicia cerifera*) nas margens do rio Mossoró, que serviu como quebra-vento natural, e pela proximidade da estação climatológica deste rio. É importante citar que estes parâmetros podem ter afetado outros indiretamente, tais como, temperatura do ar, evaporação, evapotranspiração Lisimétrica etc. Não houve um estudo detalhado, para avaliar ou não a interferência destes parâmetros, porém baseados em estudos de relações físicas (advecção local) foi observada esta interferência, nos níveis de dados coletados.

A análise de variância mostrou que houve diferenças significativas entre os métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, $P < 0,01$ (Tabela 2). Diferenças significativas foram observadas também entre os valores médios dos métodos, TANQUE CLASSE "A", HARGREAVES, BENAVIDEZ & LOPEZ, PENMAN e THORNTHWAITE, e as medidas do Lisímetro (Tabela 3). Todos estes, como se pode observar no diagrama de blocos (figura 1), superestimaram o valor médio da evapotranspiração de referência medida pelo lisímetro, com exceção do método de BLANEY & CRIDDLE, onde não foi observada diferença significativa este foi o único método que subestimou a medida padrão. O coeficiente de variação encontrado foi de 20,33%, segundo GOMES (1987) está classificado como médio. Isto mostra que avariação dos dados climáticos desta região não são tão extremas, ou seja, a variação é curta à nível da estacionalidade.

As Figuras 2, 3, 4, 5, 6 e 7, referem-se aos gráficos do comportamento dos pontos das décadas de cada método, comparados com os pontos do Lisímetro, durante o período experimental. Observa-se que o comportamento da evapotranspiração Lisimétrica, foi bastante variado com o decorrer do período experimental, ou seja, quando havia períodos de estiagens pluviométricas (secas)

foram registrados, os maiores valores da evapotranspiração, enquanto que, do modo oposto quando o período chuvoso se definia, o valor da evapotranspiração de referência diminuía sensivelmente. Foi observado também que os métodos de estimativa, com exceção do TANQUE CLASSE "A", apresentaram falhas na determinação da ETo nos períodos de chuva, ou seja, para estes períodos, apesar de todos os métodos superestimarem a evapotranspiração de referência, o TANQUE CLASSE "A" foi o único que apresentou tendências a se comportar próximo ao Lisímetro. Para períodos de seca, os métodos apresentaram as mesmas oscilações seguindo a tendência Lisimétrica, tendo como exceção o método de BLANEY & CRIDDLE, que apresentou um comportamento aproximadamente constante ao longo do experimento.

TABELA 1. Períodos em décadas e os respectivos valores médios da evapotranspiração de referência (mm/dia), determinada por diferentes métodos no período de Nov./87 - Dez.89, no município de Governador Dix-Sept Rosado, RN.

DECADAS (DATAS)	LIDMETRO	TANQUE CLASSE "A"	HARGREAVES	BLANBY & CRIDDLE	BENAVIDEZ & LOPEZ	PENMAN	THORNTHWAITE
1-12 à 21/11/87	6,13	6,58	6,35	4,37	6,49	5,97	5,39
2-22 à 01/12/87	5,91	6,49	5,33	4,47	6,62	6,47	6,32
3-02 à 11/12/87	6,15	7,39	6,42	4,43	6,63	6,44	5,81
4-12 à 21/12/87	6,02	6,52	6,36	4,47	6,93	6,28	6,33
5-22 à 31/12/87	5,84	6,79	6,72	4,46	7,03	6,44	6,13
6-01 à 10/01/88	4,80	5,90	6,31	4,49	6,88	6,03	6,34
07-11 à 20/01/88	5,13	5,82	6,72	4,40	6,32	5,73	5,66
8-21 à 30/01/88	4,25	5,45	6,48	4,49	6,87	5,74	6,40
9-31/01 à 09/02	4,50	6,50	6,59	4,87	7,22	6,14	6,33
10-10 à 19/02/88	3,78	5,98	5,65	4,28	6,21	5,50	5,76
11-20 à 29/02/88	4,95	5,78	5,70	4,29	6,23	5,43	5,77
12-01 à 10/03/88	4,57	4,84	4,93	4,22	5,48	5,19	5,43
13-11 à 20/03/88	4,24	5,24	4,67	4,16	5,09	5,46	4,92
14-21 à 30/03/88	2,13	5,10	4,79	4,16	5,27	4,16	5,93
15-31/03 à 09/04	5,28	5,01	4,38	4,19	5,31	4,39	5,13
16-10 à 10/04/88	2,84	4,72	4,36	4,18	5,17	4,09	4,99
17-20 à 29/04/88	3,52	4,69	4,33	4,11	5,36	5,01	4,48
18-30/04 à 09/05	1,76	3,76	3,22	4,04	4,22	3,85	4,00
19-10 à 19/05/88	4,72	4,20	3,42	4,02	4,19	3,94	3,85
20-20 à 29/05/88	4,70	4,75	4,03	4,10	4,95	4,51	4,35
21-28/08 à 06/09	5,45	5,69	5,39	4,12	5,91	5,36	4,54
22-07 à 16/09/88	5,74	6,06	6,08	4,13	6,26	5,80	4,63
23-17 à 26/09/88	6,64	7,14	6,41	4,16	6,69	6,11	4,80
24-27/09 à 06/10	5,97	6,28	6,27	4,28	6,46	6,21	5,10
25-07 à 16/10/88	6,10	6,25	6,52	4,35	6,59	6,04	5,18
26-17 à 26/10/88	5,93	6,24	6,36	6,35	6,49	6,15	5,22
27-27/10 à 05/11	5,85	6,74	6,71	4,41	6,92	6,36	5,68
28-06 à 15/11/88	5,71	6,15	6,47	4,43	6,70	6,27	5,80
29-16 à 25/11/88	5,80	6,02	6,33	4,33	6,54	5,76	5,60
30-26/11 à 05/12	4,69	5,45	5,92	4,36	6,04	5,22	5,31
31-06 à 15/12/88	5,17	5,34	6,10	4,36	6,19	5,55	4,81
32-16 à 25/12/88	2,55	2,15	5,73	4,27	4,93	3,55	4,64
33-26/03 à 9/4/89	0,90	5,71	3,38	4,30	5,16	4,63	6,09
34-05 à 14/04/89	0,66	2,86	3,10	4,18	4,30	4,01	4,91
35-15 à 24/04/89	1,13	3,38	3,37	4,24	4,65	3,56	5,57
36-26/04 à 04/05	1,05	4,91	3,49	4,33	4,99	2,98	6,33
37-01 à 10/12/89	6,02	6,22	6,62	4,00	6,94	5,43	6,07
38-11 à 20/12/89	5,03	5,52	5,86	4,40	6,04	4,43	5,83
39-21 à 30/12/89	4,76	5,57	4,88	4,26	5,02	3,90	4,55
40-31/12/89	5,10	5,46	5,81	4,31	5,81	5,38	4,87

TABELA 2 - Quadrado médio dos valores da evapotranspiração de referência entre diferentes métodos de estimativa.

CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	QUADRADO MEDIO
Métodos de estimativas de evapotranspiração	6	11,487**
resíduo	273	1,117
C.V.(%)	20,33	

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

TABELA 3 - Valores médios da evapotranspiração de referência (mm/dia), estimada por diferentes métodos, em áreas ribeirinhas do Rio Mossoró, RN, no período de nov./87 a dez./89.

MÉTODOS	MÉDIAS	CONTRASTES AVALIADOS PELO TESTE DE DUNNETT	RELAÇÃO DA ETa DOS DIFERENTES MÉTODOS COM O DO LISIMETRO (%)
1. Lisímetro (Testemunha)	4,54	-	-
2. Tanque: Classe: "A"	5,52	0,980 *	21,6
3. Hargreaves	5,44	0,902 *	19,8
4. Blaney & Cliddle	4,44	-0,095 ns	-2,7
5. Benazidez & Lopez	5,93	1,391	30,6
6. Penman	5,24	0,700 *	15,4
7. Thornthwaite	5,35	0,810 *	17,8

* Contraste significativo ao nível de 5% de probabilidade.

ns Contraste não significativo.

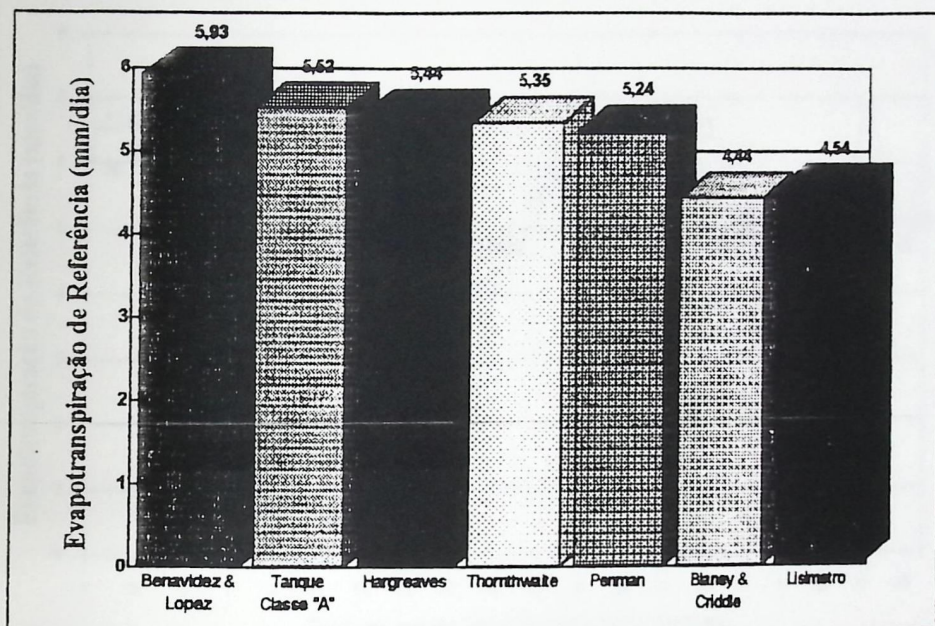


FIGURA 1 - Valores médios da Evapotranspiração de referência (mm/dia), determinado pelos diferentes métodos estudados, em áreas Ribeirinhas do rio Mossoró, na região Oeste do Rio Grande do Norte.

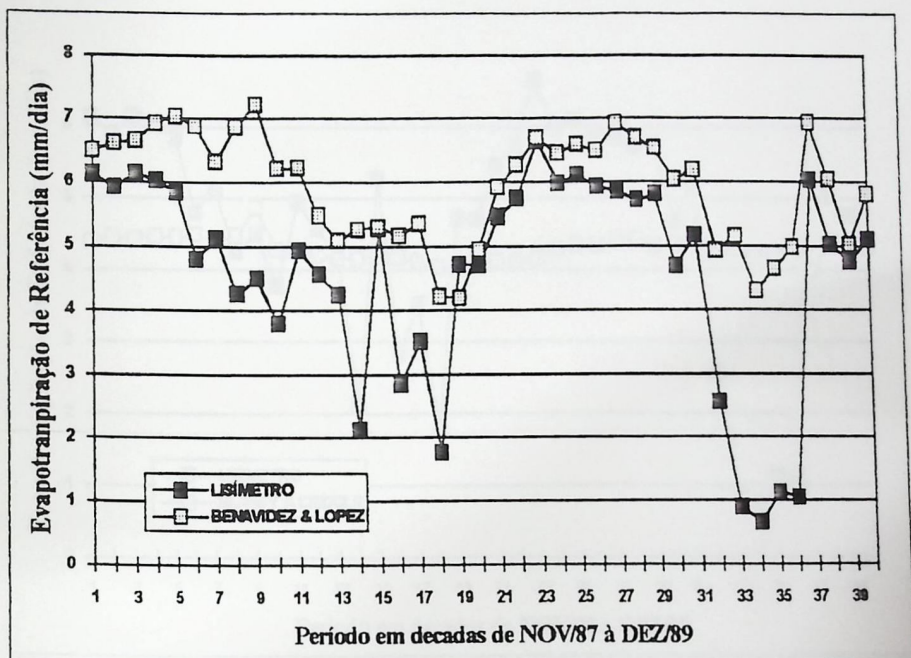


FIGURA 2 - Variação estacional da evapotranspiração de referência (ET_0), em mm/dia, medida através do Lisímetro e estimada pelo método de BENAVIDEZ & LOPEZ, durante o período experimental.

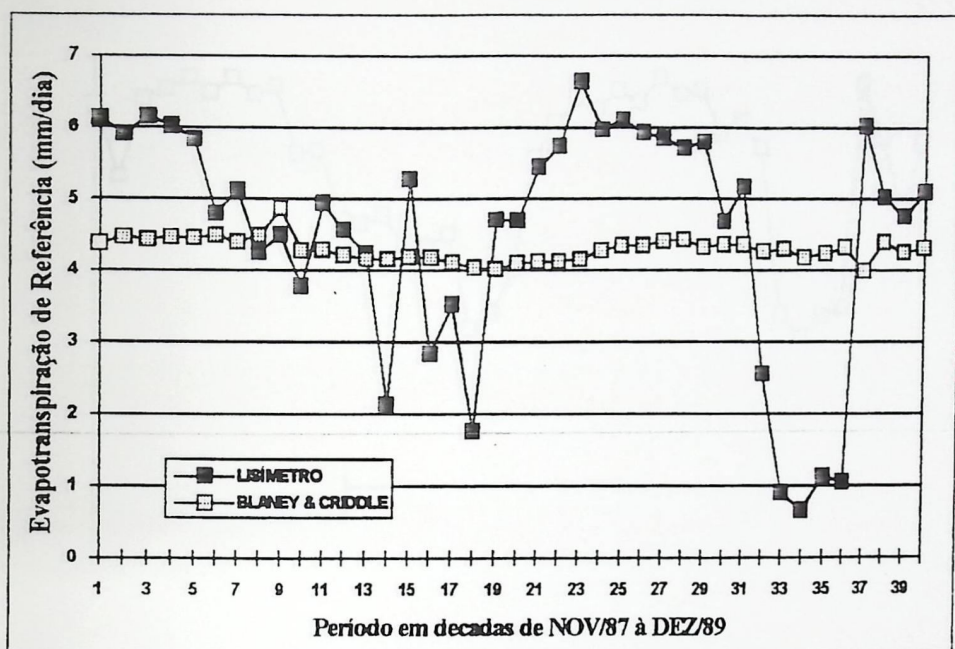


FIGURA 3 - Variação estacional da evapotranspiração de referência (ET_0), em mm/dia, medida através do Lisímetro e estimada pelo método de BLANEY & CRIDDLE, durante o período experimental.

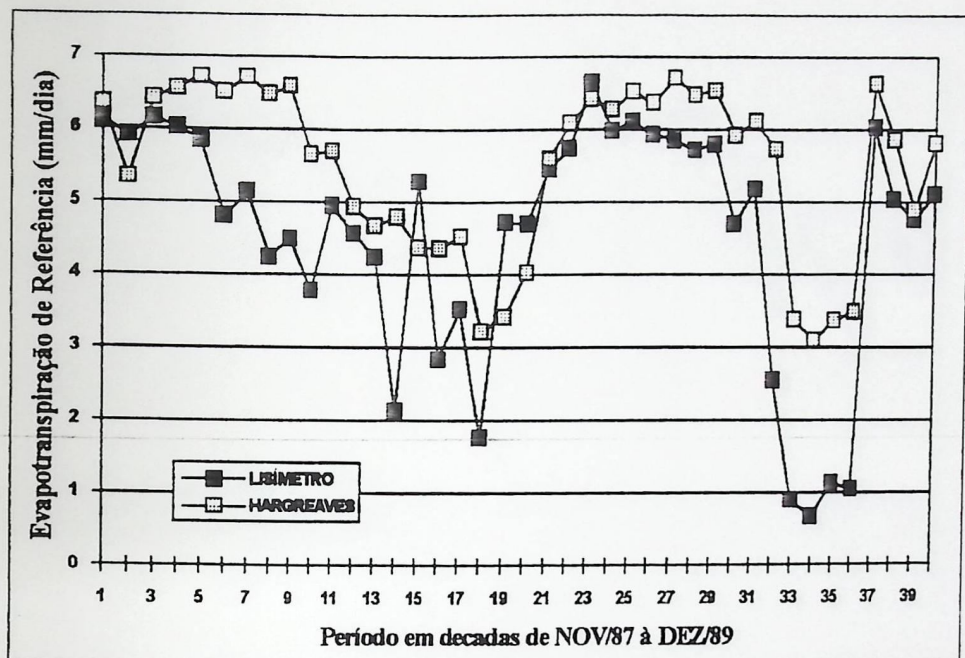


FIGURA 4 - Variação estacional da evapotranspiração de referência (ETo), em mm/dia, medida através do Lisímetro e estimada pelo método de HARGREAVES, durante o período experimental.

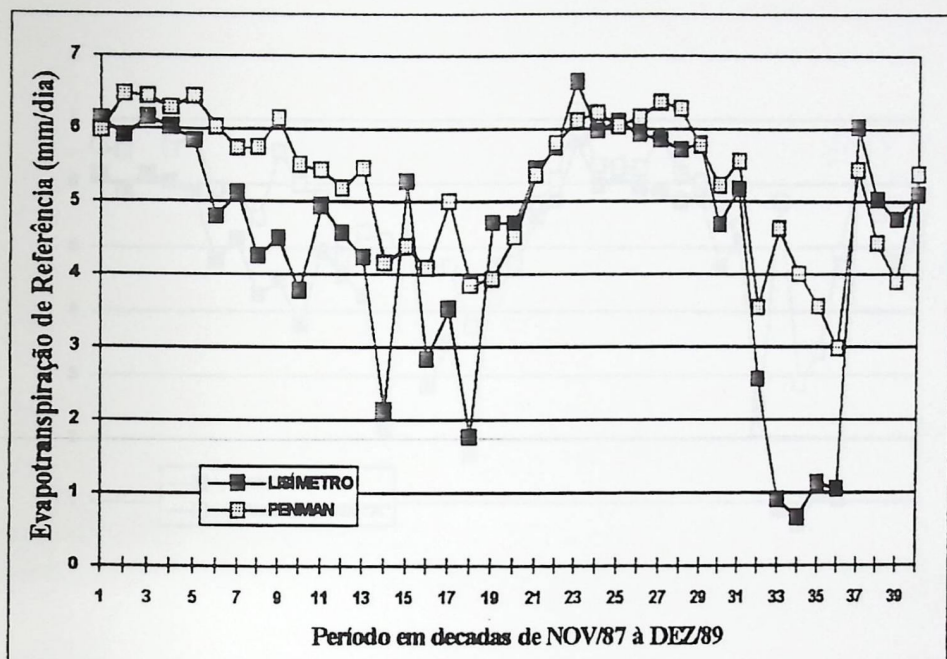


FIGURA 5 - Variação estacional da evapotranspiração de referência (ET₀), em mm/dia, medida através do Lisímetro e estimada pelo método de PENMAN, durante o período experimental.

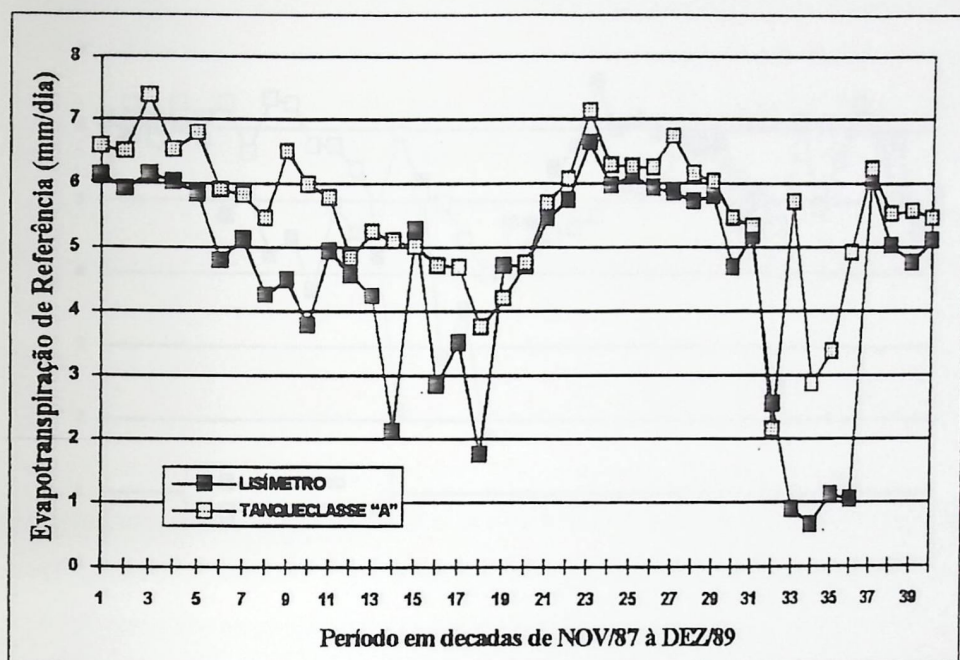


FIGURA 6 - Variação estacional da evapotranspiração de referência (ETo), em mm/dia, medida através do Lisímetro e estimada pelo método do TANQUE CLASSE "A", durante o período experimental.

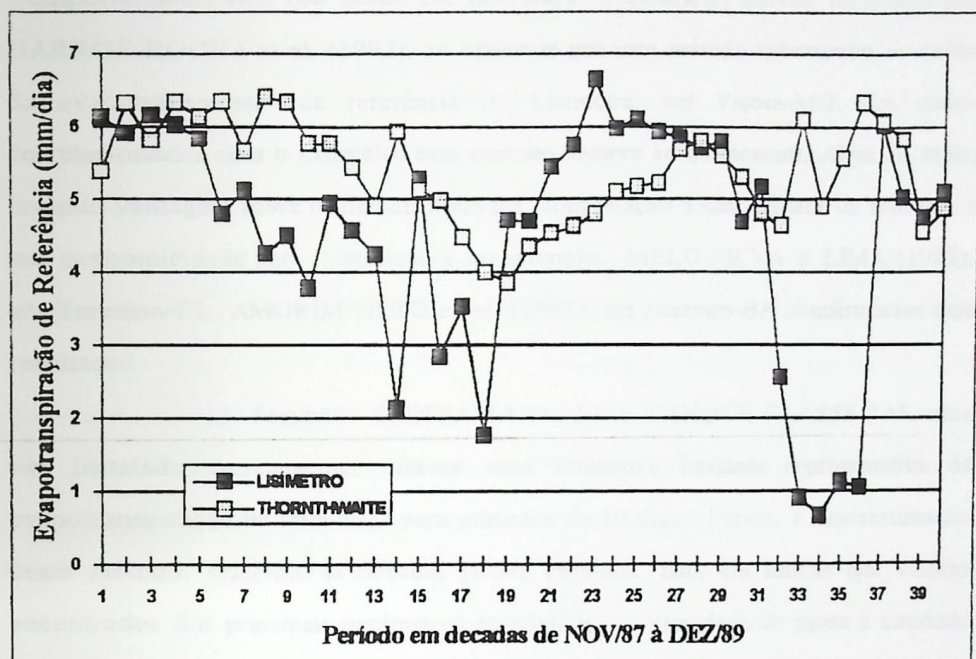


FIGURA 7 - Variação estacional da evapotranspiração de referência (ET_0), em mm/dia, medida através do Lisímetro e estimada pelo método de THORNTHWAITE, durante o período experimental.

4.1 - Método do TANQUE CLASSE "A":

O método TANQUE CLASSE "A", de acordo com os dados obtidos, superestimou em 21,6% o método padrão, Tabela 3 e figura 1. Comportamento este, não citado em Literatura. O contrário, porém, foi citado por BARROS ROCHA et al. (1992), ao observar que este método subestimou os dados da evapotranspiração de referência do Lisímetro, em Viçosa-MG. Em dados correlacionados com o Lisímetro este método sempre se destacaram. Além do mais, levando vantagem sobre os demais métodos, com relação à simplicidade de seu uso, e sua economicidade para instalação e manutenção. MELO SILVA & LIMA (1988), em Teresina-PI. AMORIM NETO et al. (1985), em Juazeiro-BA confirmaram este resultado.

Segundo SEDIYAMA (s. d.), o TANQUE CLASSE "A", uma vez instalado corretamente, oferece uma estimativa bastante representativa da evapotranspiração de referência para períodos de 10 dias. Porém, a superestimação deste método, referente às décadas já era esperada. Isto, em função dos valores encontrados dos principais parâmetros envolvidos. velocidade do vento e umidade relativa do ar, na determinação do K_p , estava acima da média da região, como também os valores da evaporação bruta no TANQUE CLASSE "A". Na área experimental foi encontrada uma velocidade média do vento em torno 1,06 m/s, tendo a mesma variado entre zero até muito raramente velocidades superiores a 5 m/s. Este parâmetro climático, foi afetado pela presença de uma mata ciliar de Carnaubeiras (*Copernicia cerifera*), que serviu naturalmente como quebra-vento. Outro aspecto a ser observado com relação à área onde foi instalado os experimentos juntamente com a estação climatológica para coletas de dados, estava a uma distância de aproximadamente 50 metros o rio Mossoró. Sendo assim, a umidade relativa do ar

se comportou de forma um pouco elevada, não representando a média da região. Além do mais, as elevadas taxas de insolação e as temperaturas altas no local estimularam o aumento da taxa de evaporação desse rio, elevando conseqüentemente a umidade do ar em suas imediações. Este fato pode ser comprovado pela média da umidade relativa, na estação climatológica durante o período experimental, que foi aproximadamente 70%. Estes dois parâmetros (velocidade do vento e umidade relativa do ar), são utilizados na Tabela 9A para obtenção do Coeficiente de Tanque (K_p) deste método. Notou-se, portanto, que mais de 95% destes coeficientes foram iguais ou superiores a 0,75, o que elevou a evapotranspiração de referência por este método, quando se fez o produto deste coeficiente pelos valores brutos da evaporação do TANQUE CLASSE "A", (que talvez já não fossem valores não representativos da média da região). A superestimação é comprovada quando se compara o valor do K_p médio medido durante todo o período experimental 0,63, e os valores utilizados neste método de acordo com a DOORENBOS & PRUITT (1977). Nas mesmas condições de local e clima, ESPÍNOLA SOBRINHO et al. (1989), encontrou um K_p médio medido de 0,67. A única diferença é que este determinou o K_p em períodos correspondentes aos estágios de desenvolvimento das culturas do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), e do milho (*Zea mais* L.), para determinação do K_c (coeficiente de cultivo). O K_p médio calculado, foi obtido através da relação entre a média geral da evapotranspiração de referência pelo método padrão, e com a média geral da evaporação potencial obtida no TANQUE CLASSE "A", durante todo o período do experimento. Sem dúvida, é uma técnica que pode ser usada e diminui o erro do método do TANQUE CLASSE "A", na determinação da evapotranspiração de referência. Considerando o valor constante de 0,63 para o K_p , este método apresentaria o menor contraste das médias

observadas. Com certeza, o uso do K_p representativo para a região, além de sua simplicidade e economicidade, transformam este no melhor método para estimativa da evapotranspiração de referência para as condições da área Ribeirinhas do rio Mossoró, podendo ser utilizado por pequenos e grandes produtores, como também instituições que desenvolvem trabalhos de pesquisas na área de irrigação.

4.2 - Método de HARGREAVES :

Este método é proposto, a partir da derivação dos valores de temperatura do ar, umidade relativa e duração do dia, que depende da latitude da localidade a ser trabalhada. De acordo com trabalhos realizados em regiões diferentes, este método apresentou-se sempre como melhor ou bem próximo disto, trabalhos apresentados por AMARO FILHO et al. (1981), FERNANDEZ & GONDIM (1980), MELO SILVA & LIMA (1988) e MARTELO (1989), confirmam estas afirmações para as regiões de Mossoró-RN, Arica-PB, Terezina-PI e diferentes regiões da Venezuela, respectivamente.

As decadas medidas promoveram uma superestimação da evapotranspiração de referência (E_{To}) de 19,8% com relação ao Lisímetro, Tabela 3 e figura 1. Como foi dito anteriormente, este método depende de variáveis, como temperatura do ar e umidade relativa. Como a velocidade do vento foi afetada pelo quebra-vento natural (As carnaubeiras), a temperatura do ar e a umidade relativa conseqüentemente se modificaram, a ponto de não representarem a média da região. Com certeza estes fatores promoveram a superestimação deste método.

4.3 - Método de BLANEY & CRIDDLE :

Este método segundo BARROS ROCHA et al. (1992), foi desenvolvido com base na correlação entre a temperatura média mensal e a percentagem mensal de horas anuais de luz solar. A análise de variância, mostrou estatisticamente, que não houve diferença significativa, no contraste de sua média com o Lisímetro, a qual subestimou em 2,7 % o valor do mesmo, Tabela 3 e figura 1. A nível de décadas, este resultado foi surpreendente em alguns aspectos, pois, existe na literatura indicações seguras propondo o uso deste método somente para períodos longos (mensal ou estacional). Outro aspecto, é que em regiões semi-áridas do Nordeste Brasileiro, alguns pesquisadores foram unânimes em afirmar que este método é o pior, quando se correlacionado com os métodos padrões estabelecidos, AMARO FILHO et al. (1981), FERNANDEZ & GONDIM (1980), AMORIM NETO et al. (1985), MELO SILVA & LIMA et al. (1988), para os municípios de Mossoró-RN, Areia-PB, Juazeiro-BA e Teresina-PI, respectivamente. BERLATO (1979), confirma esta tese citando que fora das condições áridas e semi-áridas dos E.U.A as estimativas por este método são em geral ruins.

De acordo com a análise de variância, método de BLANEY & CRIDDLE foi o que apresentou melhor comportamento estatístico, não diferindo no contraste das médias com o Lisímetro podendo ser visto na Tabela 3 e figura 1, como já citado anteriormente. Porém, quando analisamos o gráfico da Figura 3, observa-se que este método tecnicamente apresenta uma série de restrições no seu uso, pois, o comportamento dos pontos das décadas durante todo o período experimental, praticamente permaneceu constante. Como se pode observar, nas fases de estiagens (período das secas) a evapotranspiração de referência, em nossas condições aumentam sensivelmente. Isto, devido a vários fatores climáticos que influenciam diretamente neste parâmetro. O processo inverso ocorre nas estações chuvosas,

quando logicamente se verifica a diminuição da evapotranspiração de referência. SILVA (1973), observou este mesmo comportamento para a zona litorânea do Estado do Ceará. Pelo seu comportamento de constância de inverno a verão, o método de BLANEY & CRIDDLE, com certeza no período seco subestimaria a evapotranspiração de referência, refletindo diretamente na determinação das necessidades hídricas das culturas em nossa região. É bom lembrar que a irrigação é o fator de maior importância para a agricultura nordestina, principalmente no período seco, onde não ocorre ou são poucas as precipitações pluviométricas, deste modo não atende as necessidades hídricas da agricultura.

4.4 - Método DE BENAVIDEZ & LOPEZ :

Este método, foi o que teve pior comportamento, por apresentar o maior contraste das médias observadas, com relação ao método padrão, superestimando este em 30,6%, Tabela 3 e figura 1. AMORIM NETO (1989), deixa claro que este é um método de uso bastante simples e bem difundido pelo mundo. O mesmo trabalhando com outros pesquisadores na região de Juazeiro-BA, utilizando a regressão linear como fator de avaliação, encontrou que este método e o de LINACRE, foram os melhores para aquela região, de acordo com os coeficientes de determinação encontrados de 0,86. MELO SILVA & LIMA (1988), trabalhando em Teresina-PI, encontraram que o método de BENAVIDEZ & LOPEZ, apresentou coeficiente de correlação similar aos modelos de THORNTHWAITE, HARGREAVES e BLANEY & CRIDDLE, argumentando que estes utilizam os mesmos parâmetros climáticos em suas formulações.

4.5 - MÉTODO DE PENMAN :

De acordo com o teste de DUNNET Tabela 3, este método foi o que apresentou a menor superestimação 15,4%, no contraste das médias observadas com o Lisímetro. Este resultado pode ser justificado através de dois fatores importantes: uma velocidade de vento relativamente baixa e o período avaliado (decadas). A equação de Penman pode ser desdobrada em duas partes distintas, onde a primeira corresponde ao termo energético, e a segunda ao termo aerodinâmico, sobre o qual a velocidade do vento tem enorme influência. Outro aspecto avaliado foi o período de decadas, que deve ter contribuído para esta superestimação. Muitos pesquisadores são unânimes em afirmar que este método deve ser utilizado em períodos curtos, de 1 a no máximo 5 dias, AMORIM NETO (1989), BERLATO (1979), BEIRSDORF & MOTA (1976), CHANG (1978), SILVA (1989) etc.

AMORIM NETO et al. (1985), correlacionando este modelo com o padrão (Lisímetro) em Juazeiro-BA, encontrou resultados promissores, porém não muito confiáveis. Correlacionando com o método do TANQUE CLASSE "A" corrigido, AMARO FILHO et al. (1981) em Mossoró-RN, mostrou resultados não confiáveis. MARTELO (1979), da mesma forma obteve resultados também ruins, para diversas localidades na Venezuela. Porém com a mesma metodologia FERNANDES & GONDIM (1980), encontraram excelentes resultados para Areia-PB.

Segundo SILVA (1989) para o Município de Parnaíba-PI, o método de PENMAN modificado conduziu à estimativa da evapotranspiração de referência, em base diária ou pentadas, que não diferiram das estimativas feitas a partir do TANQUE CLASSE "A". CURY & VILLA NOVA (1989 a e b), confirmam as afirmações de CHANG (1968), sobre este modelo, ao taxar este método como o melhor e mais preciso.

4.6 - MÉTODO DE THORNTHWAITE :

Mostrou que este método apresentou diferença estatística em relação ao Lisímetro, superestimando este em 17,8 %, Tabela 3 e figura 1. Este comportamento era previsível, pois, estudos feitos com este modelo têm mostrado grandes variabilidades nos resultados, superestimando ou subestimando o método padrão, dependendo da região em estudo. Uso de décadas para avaliar este método não é recomendado por BERLATO (1979), onde este afirma que só se deve utilizá-lo para períodos longos, como mensais ou estacionais. MOTA & BEIRSDORF (1976), confirmam os mesmos resultados para Pelótas-RS, onde para períodos mensais o método de THORNTHWAITE, forneceu melhores estimativas, quando comparado com o método de PENMAN. CURY & VILLA NOVA (1989 a e b) apresentam as mesmas afirmações para Botucatu-SP. AMARRO FILHO et al. (1981), FERNANDEZ & GONDIM (1980) e MARTELO (1989), utilizando a correlação do modelo de THORNTHWAITE com o método do TANQUE CLASSE "A" corrigido por um determinado fator igual a 0,8, encontraram resultados distintos para Mossoró-RN, Areia-PB e diferentes localidades da Venezuela, respectivamente. Para o Município de Mossoró-RN, os resultados encontrados não oferecem confiabilidade, pois, este superestimou o método padrão adotado. Em Areia-PB, foram encontrados resultados satisfatórios assemelhando-se ao método padrão. Na Venezuela este método se comportou de uma forma bastante variável, nas cinco localidades estudadas, porém, de uma maneira geral este modelo não apresentou resultados promissores.

MELO & SILVA (1988), comparando THORNTHWAITE com o Lisímetro em Teresina-PI, observaram resultados convenientes para o uso neste município. AMORIM NETO et al. (1985), utilizando esta mesma metodologia em Juazeiro-BA, concluiu que este método não se adéqua para a estimativa da evapotranspiração de referência para aquele Município, por apresentar o coeficiente de determinação inferior a 50,0 %, o que não explica o fenômeno significativamente.

SILVA (1989), encontrou resultados contrários aos nossos, trabalhando no município de Parnaíba-PI. Concluiu que todos os métodos de estimativa da evapotranspiração de referência que se baseiam na temperatura do ar, conduziam a subestimativas sistemáticas em relação ao método padrão adotado. Considerando os níveis de 1 a 5% de probabilidade, todos os métodos forneceram estimativas significativamente diferente do método de Penman modificado pela FAO, com exceção feita ao método de THORNTHWAITE a 5% de probabilidade. SADD & ESCALOPPI (1992), analisando 9 métodos, constataram que este modelo é o que apresenta maior desvio, não recomendando portanto a sua utilização.

4.7 - CONSIDERAÇÕES GERAIS :

Como pode-se observar, a região onde se procedeu o estudo experimental, difere um pouco da realidade climática da região Oeste do RN, devido a fatores locais como o rio Mossoró e as carnaubeiras (*Copernicia cerifera*), que interferiram direta e indiretamente sobre os parâmetros climáticos utilizados para determinação dos resultados da evapotranspiração de referência, pelos métodos estudados. É importante que este estudo seja refeito, em uma localidade que represente melhor as condições climáticas desta região. Neste caso, aconselhamos que este estudo deva ter procedimentos periódicos, isto porque, na região Nordeste

estes métodos variam bastante de comportamentos climáticos, de localidade para localidade, como também o fator inverno-verão apresenta algumas vezes anos totalmente anormais. De uma forma não conclusiva, recomendo que estas análises sejam feitas num período mínimo de três a cinco anos. Desta forma, com o futuro, será possível melhor estimar este parâmetro agrometereológico com mais segurança.

Os métodos aqui apresentados são realmente confiáveis para as condições climáticas e agronômicas da região onde foram originalmente desenvolvidos. Assim sendo, também recomendo na medida do possível testar e corrigir cada método com os valores obtidos pelo método padrão (Lisímetro).

5. CONCLUSÕES:

1. Todos os métodos testados com exceção do método de BLANEY & CRIDDLE superestimaram a evapotranspiração de referência, obtida pelo lisímetro.
2. O método de BLANEY & CRIDDLE nas condições estudadas foi estatisticamente o melhor entre os métodos estudados. Porém, tecnicamente este não é o recomendado, pois, apresentou um comportamento quase constante durante toda a estacionalidade do período experimental. Desta forma, na estação seca, este promoverá a subestimação dos dados da evapotranspiração de referência, acarretando uma diminuição na lâmina de água a ser irrigadas e conseqüentemente um déficit hídrico nas culturas irrigadas nestas áreas.
3. Nenhum dos métodos estudados conseguiu estimar com precisão a evapotranspiração de referência nos períodos de estiagens ou de chuvas. O que mais se aproximou do comportamento real da evapotranspiração de referência medida, nestas fases foi o método do Tanque Classe "A", mesmo assim ainda superestimou a maioria dos pontos.

6. RESUMO

Neste estudo avaliou-se a eficiência de alguns métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, para áreas Ribeirinhas do rio Mossoró, na região Oeste do Rio Grande do Norte, no período de Novembro de 1987 a Dezembro de 1989. A estação climatológica, para coleta de dos dados foi instalada, no município de Governador Dix-Sept Rosado (latitude $5^{\circ} 28' S$; longitude $37^{\circ} 31' W$, altitude 36m), distanciando 35 Km de Mossoró-RN. Para avaliação dos métodos de estimativa da ETo , tomou-se como referência as medidas feitas em lisímetros de lençol freático constante, como método padrão. A análise estatística dos resultados mostrou que para esta região os métodos testados: BLANEY & CRIDDLE, BENAVIDEZ & LOPEZ, HARGREAVES, PENMAN, TANQUE CLASSE "A" e THORNTHWAITE; superestimaram a evapotranspiração de referência, quando comparados com as medidas lisimétricas, exceção feita ao método de BLANEY & CRIDDLE, que além de ter subestimado a mesma, não deferiu estatisticamente do método padrão, porém, apresentou algumas restrições técnicas com relação ao seu uso. Outro fator observado na análise, é que o método do TANQUE CLASSE "A" foi o único que acompanhou o comportamento da evapotranspiração de referência medida, nos períodos de chuvas e estiagens. Durante o estudo foi determinado o K_p

médio para o período experimental, 0,63. A utilização deste coeficiente, no método do TANQUE CLASSE "A", promoverá uma melhor estimativa da evapotranspiração de referência a ser utilizada nos projetos de irrigação nas áreas estudadas.

SUMMARY

In this study it was a measure the efficiency of some proposed methods to estimate reference crop evapotranspiration (ETo) in the state of Rio Grande, West Region of Rio Grande do Sul, during the period of November 1987 to December 1989. The meteorological station was located in the latitude of $31^{\circ} 20' S$, longitude of $51^{\circ} 31' W$, altitude of 36m.

For evaluation of the methods a estimate of ETo called the Lymanier method as the "Reference method". It was observed significant differences in the estimated values of ETo by Penman & Monteith, Turpin, Priestly, Class "A" Evaporation Pan and Thornthwaite methods as compared to Lymanier method. There was no significant difference in the ETo values between Monteith & Priestly and Lymanier method.

7. SUMMARY

In this study it was evaluated the efficiency of some empirical methods to estimate reference crop evapotranspiration (ET_o) for areas on Mossoro riverside, West Region of Rio Grande do Norte state in the period of November/1987 to December/1989. The meteorological station was based on the latitude of 5° 28' S, longitude of 37° 31' W, altitude of 36m.

For evaluation of the methods to estimates of ET_o utilized the Lysimeter method as the "Reference method". It was observed significant differences in the estimated values of ET_o by Benavides & Lopez, Hargreaves, Penman, Class "A" Evaporation Pan and Thornthwaite methods as compared to Lysimeter method. There was no significant difference in the ET_o values between Blaney & Criddle and Lysimeter method.

7. BIBLIOGRAFIAS CITADAS

AMORIM NETO, M. da S. Estimativa da Evapotranspiração potencial. C.P.A.T.S.A. EMBRAPA. Petrolina, PE. p. 1-17, mai.1989 (Comunicado Técnico, 31).

AMORIM NETO, M. da S. et al. Avaliação de diferente métodos para estimativa da evapotranspiração potencial em regiões semi-áridas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 4, Londrina, PR, 1985. Anais. Campinas, SP. Soc. Bras. de Agrometeorologia, IAPAR, p. 211-29. 1985.

AMARO FILHO, J. et al. Estimativa de Evapotranspiração e probabilidade de chuva para o município de Mossoró - RN. Mossoró, RN. Coleção mossoroense 48 p. V.175. 1981.

AMARO FILHO, J., MEDINA, B. F. Evapotranspiração. Escola Superior de Agricultura de Mossoró (ESAM). MEC. Mossoró, RN. p. 1-36. 1984.

BANZATTO, D. A., KRONKA, S. N. *Experimentação Agrícola*. Jaboticabal, FUNEP. p. 247. 1982 (2ª Edição - Revisada).

BARROS ROCHA, I. de et al. Coeficiente de cultura (Kc) do arroz, cultivar rio Parnaíba, irrigado por aspersão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21, SIMPÓSIO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA DO CONE/SUL, 1992. Anais. Santa Maria, RS: Santa Maria: SBEA, V. 2B, p. 788-797. 1992.

BEIRSDORF, M. I. C., MOTA, F. S. Evapotranspiração do Arroz irrigado em Pelotas, Rio Grande do Sul. *Ciência e cultura*. São Paulo, SP, V.28, n.11, p. 1329-1334. nov. 1976.

BELTRAME, L. et al. Análise comparativa do procedimento de cálculo da evapotranspiração potencial pelo uso do método combinado. In: IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 1976. Anais. Fortaleza, CE, V.1, p. 237-247. 1976.

BERGAMASCHI, H. et al. *Agrometeorologia Aplicada à Irrigação*. Porto Alegre, RS: Ed. Univ./UFRGS. p.126. 1992. Ilustr.

BERLATO, M. A. *Métodos de Estimativa da Evapotranspiração*. São José do Campos, SP: INPE. p.64. out. 1979.

BERLATO, M. A., MOLION, L. C. B. *Evaporação e Evapotranspiração*. Porto Alegre, IPAGRO. p.95.1981.(IPAGRO BOLETIM TÉCNICO, 7).

CARMO FILHO, F. do et al. *Dados meteorológicos de Mossoró (Janeiro de 1988 a Dezembro de 1990)*. Mossoró, ESAM, V.3. p.235-327. 1991 a (Col. Mossoroense, série C, V. 800).

CARMO FILHO, F. do et al. *Dados meteorológicos de Mossoró (Janeiro de 1988 a Dezembro de 1990)*. Mossoró, ESAM, V.4. p.363-435. 1991 b (Col. Mossoroense, série C, V. 800).

CARMO FILHO, F. do, OLIVEIRA, O. F. de. *Mossoró: um município do semi-árido Nordeste, caracterização climática & aspecto florístico*. Mossoró, ESAM, p.62. 1989 (Col. Mossoroense, série B, 672).

CHANG, JEN-HU. *Climate and agriculture an ecological survey*. Chicago, Aldina. p. 304. 1968.

CURY, D. M., VILLA NOVA, N. A. *Determinação do coeficiente de cultura (Kc) do Repolho (*Brassica oleracea*, var. Capitata L.)*. Científica, Revista de Agronomia. Jaboticabal, SP. v. 17, nº 1 p.109-119, 1989 a.

CURY, D. M., VILLA NOVA, N. A. Utilização do TANQUE CLASSE "A" coberto e do evaporímetro piche na otimização dos métodos de Penman e Thornthwaite. *Científica, revista de Agronomia*, Jaboticabal, SP. V.17, nº 2. p. 195-203. 1989 b.

DAL FABBRO, H. C. et al. Consumo da água e coeficientes de cultura: para a batata (*Solanum tuberosum* L.). *Científica, Revista de Agronomia*, Jaboticabal, SP. V.19, nº1, p. 181- 193. 1991.

DELLA LIBERA, C. L. F. et al. Relação entre a evapotranspiração máxima da cultura da cebola (*Allium cepa* L.) e a evapotranspiração de referência. *Científica, Revista de Agronomia*. Jaboticabal, SP. V.19, nº 1, p. 297-256. 1991.

DOORENBOS, J. & KASSAN, A. H. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. FAO, Roma. 212 p. 1979 (Riego e Drenaje, 33).

DOORENBOS, J., PRUITT. J. O. Crop Water Requerementes. Roma, Food an Agricultura Organization of the United Nations. 1977 (FAO. Irrayation and Drainage Paper, 24).

ESPÍNOLA SOBRINHO, J. et al. Estimativa da evapotranspiração máxima e coeficiente de cultivo para feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) WALP] e Milho (*Zea mays* L.), *Caatinga*. Mossoró, RN, V.1 nº 6. p. 118-135, 1989.

- FERNANDEZ, B. & GONDIM, A. W. de A. Estimativa de evapotranspiração em Areia-PB. *Agropecuária Técnica*. Areia, PB. V. 1, nº 1, jan/jun. 1980.
- GOMES, F. P. *Curso de estatística experimental*. 12 ed. Piracicaba, SP: Nobel, 1987. p. 467.
- HARGREAVES, G. H. *Potencial Evapotranspiration and irrigation requirements for Northeast Brazil*. Logan. Utah State Univ. SS. p.1974.
- IZÍDIO, L. R. *Determinação dos parâmetros "a" e "b" da equação de Angstrom, para estimativa da irradiação solar Global em Mossoró, RN*. Mossoró, RN, ESAM. p.35. 1992. (Monografia-ESAM, RN).
- KLAR, A. E. et al. *Uso de TANQUE CLASSE "A" para avaliação da evapotranspiração de uma cultura de cebola*. Anais: ESALq, Piracicaba, SP: ESALq., V.37. p.47-59. 1975.
- LINS, R. G. & ANDRADE, G. O. de. *Os rios - da - carnaúba l o rio Mossoró (Apodi)*. Mossoró, ESAM, 148 p. 1977 (col. mossoroense).
- MANTOVANI, E. C. *Evapotranspiração*. Viçosa, MG. U.F.V. p.42. 1982 (Xerox do manuscrito).

MARTELO, M. T. Selección de La Fórmula de evapotranspiración mejor adaptada na área de Guanare-Masparo. Revista de La Facultad de Agronomía. UCV. Maracay, 15:185-206. 1989.

MAROUELLI, W. A. et. al. Manejo da irrigação em hortaliças. Brasília, EMBRAPA, CNPH, 1986. p.12. (circular técnico,2).

MELO SILVA, F. A. de, LIMA, M. G. de. Relação entre a evapotranspiração máxima (ET_m) da cultura do feijão macassar (*Vigna unguiculata*(L.) Walp) e a evapotranspiração potencial obtido por diferentes métodos. TERESINA, PI. UFPI. 1988, p. 23.

MOTA, F. S., BEIRSDORF, M. I. C. Medidas e estimativas da evapotranspiração potencial em Pelotas, Rio Grande do Sul. Ciência e cultura, São Paulo, SP. v.28, nº 6, p.666-672. jun. 1976.

NIMER, E. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro, IBGE, 1979. p. 422. Ilust.

PENMAN, H.L. Evaporation: an introductory survey. neth. J. Agric. Sci, p. 9-29. 1956.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water bare soil and grass. Royal Soc. London Proc., série A. 193. p. 120-126. 1948.

SADD, J. C. C, SCALLOPPI, E. J. Análise dos principais métodos climatológicos para estimativa da Evapotranspiração. In: VIII CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 1988. Anais. Florianópolis, SC. p. 999-1021. 1988.

SEDIYAMA, G. C. Evapotranspiração para fins de elaboração de projetos de irrigação. Viçosa, MG. UFV. p.29, s.d. (Xerox do original).

SILVA, A. A. G. da. Avaliação da eficiência de métodos de Estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Parnaíba-PI. Piracicaba, SP. p.81. 1989 (Dissertação mestrado-ESALq).

SILVA, Z. R. et al. Uso de fórmulas empíricas na estimativa da Evapotranspiração potencial na zona litorânea do Estado do Ceará. Ciência Agrônômicas, V.3, nº1 e 2, p. 45-48, dez. 1973.

STERN, W. R. Evapotranspiration of sunflower at three densities of sowing. Australian Journal of Agricultural, Research 16:961-971. 1965.

THORNTHWAITE, C. W. An aproach toward a rational classification of climate. Geographic Review, 38:55-94. 1948.

THORNTHWAITE, C. W. Instruction and table for computing potential evapotranspiration and the water balance. Publ. Climatology. 10 (3): 153-311, 1957.

TUBELIS, A., NASCIMENTO, F.J.L. do. *Meteorologia Descritiva fundamentos e aplicações brasileira*. São Paulo, SP. Nobel. 1ª edição p. 374. 1980. Ilust.

VILLA NOVA, N. A., OMETTO, J. C. Instruções para utilização do TANQUE CLASSE "A" em estimativas de evapotranspiração potencial real e frequência de irrigação. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 1975. Anais. Fortaleza, CE, v.3, p.63-74.1975.

APENDICE

TABELA 1A - Precipitações pluviométricas, em mm, no Estado do Ceará, de 1967 a 1990.

MÊS	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
JANEIRO	2,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Fevereiro	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4
Março	186,4	186,4	186,4	186,4	186,4	186,4	186,4	186,4	186,4	186,4	186,4	186,4	186,4	186,4	186,4	186,4	186,4	186,4	186,4	186,4	186,4	186,4	186,4	186,4
Abril	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7
Maio	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3
Junho	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0
Julho	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4
Agosto	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3
Setembro	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Outubro	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Novembro	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2
Dezembro	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

APÊNDICE

* Dados coletados da estação pluviométrica de Ceará.

FONTE: CARMO FILHO et al. (1994, p. 14).

TABELA 1A - Valores médios de precipitação pluviométrica, em mm, no Estado do Ceará, de 1967 a 1990.

MÊS	1967			1968			1969			1970			1971			1972			1973			1974			1975			1976			1977			1978			1979			1980			1981			1982			1983			1984			1985			1986			1987			1988			1989			1990																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8

FONTE: CARMO FILHO et al. (1994, p. 14).

TABELA 1A - Precipitações pluviométricas, ocorrida em Mossoró, RN no período de 1987 a 1990.

MESES	ANOS			
	1987	1988	1989	1990
JANEIRO	2,7	3,7	11,7	3,8
FEVEREIRO	60,4	143,2	94,6	52,4
MARÇO	186,4	88,1	192,8	48,6
ABRIL	68,7	214,8	475,7	82,9
MAIO	20,3	150,0	214,0	124,0
JUNHO	48,1	34,1	83,2	10,9
JULHO	19,6	62,2	115,2	5,3
AGOSTO	0,2	15,5	4,3	9,2
SETEMBRO	-	20,8	0,4	2,8
OUTUBRO	-	-	3,0	0,8
NOVEMBRO	0,1	3,0	2,1	-
DEZEMBRO	-	56,4	106,9	-
TOTAL	406,9	791,8	1238,3	340,7

* Dados coletado da estação climatológica da ESAM.

FONTE: CARMO FILHO et al. (1989 a e b).

TABELA 2A - Valores médios de algumas propriedades físicas do solo no local do experimento.

Profundidade (cm)	Fração mineral (%)			Densidade (Mg/m ³)		Porosidade (%)			CC	PMP	As.
	Areia	Silte	Argila	Global	Real	Macro	Micro	Total	(mm/m)		
0-20	51	33	16	1.42	2.61	35.8	7.1	42.9	71.0	23.2	48.0
20-40	55	26	19	1.51	2.64	33.9	8.9	42.8	89.0	28.5	60.5
40-60	39	29	32	1.52	2.66	32.9	9.9	42.8	99.0	34.5	64.2

Fonte: ESPÍNOLA SOBRINHO et al. (1989).

TABELA 3A - Porcentagem de horas de brilho solar diário, em relação ao total anual, para um dado mês e latitude do local.

LATITUDE NORTE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
(°)	SUL	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN
60		.15	.20	.26	.32	.38	.41	.40	.34	.28	.22	.17	.13
58		.16	.21	.26	.32	.37	.40	.39	.34	.28	.23	.18	.15
56		.17	.21	.26	.32	.36	.39	.38	.33	.28	.23	.18	.16
54		.18	.22	.26	.31	.36	.38	.37	.33	.28	.23	.19	.17
52		.19	.22	.27	.31	.35	.37	.36	.33	.28	.24	.20	.17
50		.19	.23	.27	.31	.34	.36	.35	.32	.28	.24	.20	.18
48		.20	.23	.27	.31	.34	.36	.35	.32	.28	.24	.21	.19
46		.20	.23	.27	.30	.34	.35	.34	.32	.28	.24	.21	.20
44		.21	.24	.27	.30	.33	.35	.34	.31	.28	.25	.22	.20
42		.21	.24	.27	.30	.33	.34	.33	.31	.28	.25	.22	.21
40		.22	.24	.27	.30	.32	.34	.33	.31	.28	.25	.22	.21
35		.23	.25	.27	.29	.31	.32	.32	.30	.28	.25	.23	.22
30		.24	.25	.27	.29	.31	.32	.31	.30	.28	.26	.24	.23
25		.24	.26	.27	.29	.30	.31	.31	.29	.28	.26	.25	.24
20		.25	.26	.27	.28	.29	.30	.30	.29	.28	.27	.26	.25
15		.26	.26	.27	.28	.29	.29	.29	.28	.28	.27	.26	.25
10		.26	.27	.27	.28	.28	.29	.29	.29	.28	.28	.27	.26
5		.27	.27	.27	.28	.28	.28	.28	.28	.28	.27	.27	.27
0		.27	.27	.27	.27	.27	.27	.27	.27	.27	.27	.27	.27

FONTE: DOORENBOS & PRUITT (1977).

TABELA 4A. Fator de Correção MF, para a Evapotranspiração de referência, dependendo do mês e da latitude local.

LAT	MESES											
SUL	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
-1	2,29	2,12	2,35	2,20	2,14	1,99	2,09	2,22	2,26	2,36	2,23	2,27
-2	2,32	2,14	2,36	2,18	2,11	1,96	2,06	2,19	2,25	2,37	2,26	2,30
-3	2,35	2,15	2,36	2,17	2,08	1,92	2,03	2,17	2,25	2,39	2,29	2,34
-4	2,39	2,17	2,36	2,15	2,05	1,89	1,99	2,15	2,24	2,40	2,32	2,37
-5	2,42	2,19	2,36	2,13	2,02	1,85	1,96	2,13	2,23	2,41	2,34	2,41
-6	2,45	2,21	2,36	2,12	1,99	1,82	1,93	2,10	2,23	2,42	2,37	2,44
-7	2,48	2,22	2,36	2,10	1,96	1,78	1,89	2,08	2,22	2,43	2,40	2,48
-8	2,51	2,24	2,36	2,08	1,93	1,75	1,86	2,05	2,21	2,44	2,42	2,51
-9	2,54	2,25	2,36	2,06	1,90	1,71	1,82	2,03	2,20	2,45	2,45	2,54
-10	2,57	2,27	2,36	2,04	1,86	1,68	1,79	2,00	2,19	2,46	2,47	2,58
-11	2,60	2,28	2,35	2,02	1,83	1,64	1,75	1,98	2,18	2,47	2,50	2,61
-12	2,62	2,29	2,35	2,00	1,80	1,61	1,72	1,95	2,17	2,48	2,52	2,64
-13	2,65	2,31	2,35	1,98	1,77	1,57	1,68	1,92	2,16	2,48	2,54	2,67
-14	2,68	2,32	2,34	1,96	1,77	1,54	1,65	1,89	2,14	2,49	2,57	2,71
-15	2,71	2,33	2,33	1,94	1,70	1,50	1,61	1,87	2,13	2,50	2,59	2,74
-16	2,73	2,34	2,33	1,91	1,67	1,46	1,58	1,84	2,12	2,50	2,61	2,77
-17	2,76	2,35	2,32	1,89	1,63	1,43	1,54	1,81	2,10	2,50	2,63	2,80
-18	2,79	2,36	2,31	1,87	1,60	1,39	1,50	1,78	2,09	2,51	2,65	2,83
-19	2,81	2,37	2,30	1,84	1,56	1,35	1,47	1,75	2,07	2,51	2,67	2,86
-20	2,84	2,38	2,29	1,82	1,53	1,32	1,43	1,72	2,05	2,51	2,69	2,89
-21	2,86	2,38	2,28	1,79	1,49	1,28	1,39	1,69	2,04	2,51	2,71	2,92
-22	2,88	2,39	2,27	1,77	1,46	1,24	1,36	1,66	2,02	2,51	2,73	2,95
-23	2,91	2,40	2,26	1,74	1,42	1,21	1,32	1,63	2,00	2,51	2,75	2,98
-24	2,93	2,40	2,25	1,71	1,39	1,17	1,28	1,59	1,98	2,51	2,76	3,00
-25	2,95	2,41	2,23	1,69	1,35	1,13	1,25	1,56	1,95	2,51	2,78	3,03

FONTE: HARGREAVES (1974).

TABELA 5A - Valores de tensão da saturação do vapor d'água, em função da temperatura do ar, (mm Hg).

(t)	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	4,58	4,61	4,65	4,68	4,72	4,75	4,79	4,82	4,86	4,89
1	4,93	4,96	5,00	5,03	5,07	5,11	5,14	5,18	5,22	5,26
2	5,29	5,33	5,37	5,41	5,45	5,49	5,53	5,57	5,61	5,65
3	5,69	5,73	5,77	5,81	5,85	5,89	5,93	5,97	6,02	6,06
4	6,10	6,14	6,19	6,23	6,27	6,32	6,36	6,41	6,45	6,50
5	6,54	6,59	6,64	6,68	6,73	6,78	6,82	6,87	6,92	6,97
6	7,01	7,06	7,11	7,16	7,21	7,26	7,31	7,36	7,41	7,46
7	7,51	7,57	7,62	7,67	7,72	7,78	7,83	7,88	7,94	7,99
8	8,05	8,10	8,16	8,21	8,27	8,32	8,38	8,44	8,49	8,55
9	8,61	8,67	8,73	8,79	8,85	8,91	8,97	9,03	9,09	9,15
10	9,21	9,27	9,33	9,40	9,46	9,52	9,59	9,65	9,71	9,78
11	9,84	9,91	9,98	10,04	10,11	10,18	10,24	10,31	10,38	10,45
12	10,52	10,59	10,66	10,73	10,80	10,87	10,94	11,01	11,09	11,16
13	11,23	11,31	11,38	11,45	11,53	11,60	11,68	11,76	11,83	11,91
14	11,99	12,07	12,14	12,22	12,30	12,38	12,46	12,54	12,62	12,71
15	12,79	12,87	12,95	13,04	13,12	13,21	13,29	13,38	13,46	13,55
16	13,63	13,72	13,81	13,90	13,99	14,08	14,17	14,26	14,35	14,44
17	14,53	14,62	14,72	14,81	14,90	15,00	15,09	15,19	15,28	15,38
18	15,48	15,58	15,67	15,77	15,87	15,97	16,07	16,17	16,27	16,37
19	16,48	16,58	16,69	16,79	16,89	17,00	17,11	17,21	17,32	17,43
20	17,54	17,64	17,75	17,86	17,97	18,09	18,20	18,31	18,42	18,54
21	18,65	18,77	18,88	19,00	19,11	19,23	19,35	19,47	19,59	19,71
22	19,83	19,95	20,07	20,19	20,32	20,44	20,57	20,69	20,82	20,94
23	21,07	21,20	21,32	21,45	21,58	21,71	21,85	21,98	22,11	22,24
24	22,38	22,51	22,65	22,79	22,92	23,06	23,20	23,34	23,48	23,62
25	23,76	23,90	24,04	24,18	24,33	24,47	24,62	24,76	24,91	25,06
26	25,21	25,36	25,51	25,66	25,81	25,96	26,12	26,27	26,43	26,58
27	26,74	26,90	27,06	27,21	27,37	27,54	27,70	27,86	28,02	28,19
28	28,35	28,51	28,68	28,85	29,02	29,18	29,35	29,53	29,70	29,87
29	30,04	30,22	30,39	30,57	30,75	30,92	31,10	31,28	31,46	31,64
30	31,82	32,01	32,19	32,38	32,56	32,75	32,93	33,12	33,31	33,50
31	33,70	33,89	34,08	34,28	34,47	34,67	34,86	35,06	35,26	35,46
32	35,66	35,87	36,07	36,27	36,48	36,68	36,89	37,10	37,31	37,52
33	37,73	37,94	38,16	38,37	38,58	38,80	39,02	39,24	39,46	39,68
34	39,90	40,12	40,34	40,57	40,80	41,02	41,25	41,48	41,71	41,94
35	42,18	42,41	42,64	42,88	43,12	43,36	43,60	43,84	44,08	44,32
36	44,56	44,81	45,05	45,30	45,55	45,80	46,05	46,30	46,56	46,81
37	47,07	47,32	47,58	47,84	48,10	48,36	48,63	48,89	49,16	49,42
38	49,69	49,96	50,23	50,50	50,77	51,05	51,32	51,60	51,88	52,16
39	52,44	52,73	53,01	53,29	53,58	53,87	54,16	54,45	54,74	55,03
40	55,32	55,61	55,91	56,21	56,51	56,81	57,11	57,41	57,72	58,03
41	58,34	58,65	58,96	59,27	59,58	59,90	60,22	60,54	60,86	61,18
42	61,50	61,82	62,14	62,47	62,80	63,13	63,46	63,79	64,12	64,46
43	64,80	65,14	65,48	65,82	66,15	66,51	66,86	67,21	67,56	67,91
44	68,26	68,61	68,97	69,33	69,69	70,05	70,41	70,77	71,14	71,51

FONTE: TUBELLIS & NASCIMENTO (1976).

TABELA 6A - Valores de $\frac{\Delta}{\gamma}$ (não dimensional) em função da temperatura ($^{\circ}\text{C}$).

T	$\frac{\Delta}{\gamma}$	T	$\frac{\Delta}{\gamma}$	T	$\frac{\Delta}{\gamma}$	T	$\frac{\Delta}{\gamma}$	T	$\frac{\Delta}{\gamma}$
0,0	0,67	10,0	1,23	20,0	2,14	30,0	3,57	40,0	5,70
0,5	0,69	10,5	1,27	20,5	2,20	30,5	3,66	40,5	5,83
1,0	0,72	11,0	1,30	21,0	2,26	31,0	3,75	41,0	5,96
1,5	0,74	11,5	1,34	21,5	2,32	31,5	3,84	41,5	6,00
2,0	0,76	12,0	1,38	22,0	2,38	32,0	3,93	42,0	6,23
2,5	0,79	12,5	1,42	22,5	2,45	32,5	4,03	42,5	6,37
3,0	0,81	13,0	1,46	23,0	2,51	33,0	4,12	43,0	6,51
3,5	0,84	13,5	1,50	23,5	2,58	33,5	4,22	43,5	6,65
4,0	0,86	14,0	1,55	24,0	2,64	34,0	4,32	44,0	6,80
4,5	0,89	14,5	1,59	24,5	2,71	34,5	4,43	44,5	6,95
5,0	0,82	15,0	1,64	25,0	2,78	35,0	4,53	45,0	7,10
5,5	0,94	15,5	1,68	25,5	2,85	35,5	4,64	45,5	7,26
6,0	0,97	16,0	1,73	26,0	2,92	36,0	4,75	46,0	7,41
6,5	1,00	16,5	1,78	26,5	3,00	36,5	4,86	46,5	7,57
7,0	1,03	17,0	1,82	27,0	3,08	37,0	4,97	47,0	7,73
7,5	1,06	17,5	1,88	27,5	3,15	37,5	5,09	47,5	7,90
8,0	1,10	18,0	1,93	28,0	3,23	38,0	5,20	48,0	8,07
8,5	1,13	18,5	1,98	28,5	3,31	38,5	5,32	48,5	8,24
9,0	1,16	19,0	2,03	29,0	3,40	39,0	5,45	49,0	8,42
9,5	1,20	19,5	2,09	29,5	3,48	39,5	5,57	49,5	8,60
10,0	1,23	20,0	2,14	30,0	3,57	40,0	5,70	50,0	8,77

FONTE: BERLATO & MOLION (1981).

TABELA 7A - Valores de Ra (Radiação extra-terrestre) em mm de evaporação equivalente por dia, em função do mês e da latitude do local (Hemisfério Sul).

HEMISFÉRIO SUL												
LAT. °	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
0	15.0	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8
2	15.3	15.7	15.7	15.1	14.1	13.5	13.7	14.5	15.2	15.5	15.3	15.1
4	15.5	15.8	15.6	14.9	13.8	13.2	13.4	14.3	15.1	15.6	15.5	15.4
6	15.8	16.0	15.6	14.7	13.4	12.8	13.1	14.0	15.0	15.7	15.8	15.7
8	16.1	16.1	15.5	15.4	13.1	12.4	12.7	13.7	14.9	15.8	16.0	16.0
10	16.4	16.3	15.5	14.2	12.8	12.0	12.4	13.5	14.8	15.9	16.2	16.2
12	16.6	16.3	15.4	14.0	12.5	11.6	12.0	13.2	14.7	15.8	16.4	16.5
14	16.7	16.4	15.3	13.7	12.1	11.2	11.6	12.9	14.5	15.8	16.5	16.6
16	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.8	16.7	16.8
18	17.1	16.5	15.1	13.2	11.4	10.4	10.8	12.3	14.1	15.8	16.8	17.1
20	17.3	16.5	15.0	13.0	11.0	10.0	10.4	12.0	13.9	15.8	17.0	17.4
22	17.4	16.5	14.8	12.6	10.6	9.60	10.0	11.6	13.7	15.7	17.0	17.5
24	17.5	16.5	14.6	12.3	10.2	9.10	9.50	11.2	13.4	15.6	17.1	17.7
26	17.6	16.4	14.4	12.0	9.70	8.70	9.10	10.9	13.2	15.5	17.2	17.8
28	17.7	16.4	14.3	11.6	9.30	8.20	8.60	10.4	13.0	15.4	17.2	17.9
30	17.8	16.4	14.0	11.3	8.90	7.80	8.10	10.1	12.7	15.3	17.3	18.1
32	17.8	16.2	13.8	10.9	8.50	7.30	7.70	9.60	12.4	15.1	17.2	18.1
34	17.8	16.1	13.5	10.5	8.00	6.80	7.20	9.20	12.0	14.9	17.1	18.2
36	17.9	16.0	13.2	10.1	7.50	6.30	6.80	8.80	11.7	14.6	17.0	18.2
38	17.9	15.8	12.8	9.60	7.10	5.50	6.30	8.30	11.4	14.4	17.0	18.3
40	17.9	15.7	12.5	9.20	6.60	5.30	5.90	7.90	11.0	14.2	16.9	18.3
42	17.8	15.5	12.2	8.80	6.10	4.90	5.40	7.40	10.6	14.0	16.8	18.3
44	17.8	15.3	11.9	8.40	5.70	4.40	4.90	6.90	10.2	13.7	16.7	18.3
46	17.7	15.1	11.5	7.90	5.20	4.00	4.40	6.50	9.70	13.4	16.7	18.3
48	17.6	14.9	11.2	7.50	4.70	3.50	4.00	6.00	9.30	13.2	16.6	18.2
50	17.5	14.7	10.9	7.00	4.20	3.10	3.50	5.50	8.90	12.9	16.5	18.2

FONTE: DOORENBOS & PRUITT (1977).

TABELA 8A - Fotoperíodo ou número máximo possível de horas de brilho solar (N), para todos os dias do ano em Mossoró- RN(horas).

MESES												
DIA	JAN	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1	12.404	12.325	12.205	12.059	11.927	11.832	11.815	11.883	12.006	12.144	12.284	12.384
2	12.402	12.322	12.201	12.054	11.924	11.830	11.816	11.886	12.001	12.149	12.288	12.386
3	12.401	12.318	12.196	12.050	11.920	11.828	11.817	11.890	12.015	12.154	12.293	12.389
4	12.400	12.314	12.191	12.045	11.916	11.827	11.818	11.893	12.019	12.159	12.297	12.391
5	12.398	12.310	12.187	12.040	11.912	11.925	11.819	11.897	12.024	12.163	12.301	12.392
6	12.397	12.306	12.182	12.036	11.908	11.823	11.820	11.900	12.028	12.168	12.305	12.394
7	12.395	12.302	12.177	12.031	11.905	11.822	11.822	11.904	12.033	12.173	12.309	12.396
8	12.393	12.298	12.173	12.026	11.901	11.820	11.823	11.907	12.038	12.177	12.312	12.398
9	12.392	12.294	12.168	12.022	11.897	11.819	11.825	11.911	12.042	12.182	12.316	12.399
10	12.390	12.290	12.163	12.017	11.894	11.818	11.826	11.915	12.047	12.186	12.320	12.400
11	12.388	12.286	12.158	12.013	11.890	11.817	11.828	11.919	12.051	12.191	12.324	12.402
12	12.385	12.281	12.154	12.008	11.887	11.816	11.830	11.923	12.056	12.196	12.327	12.403
13	12.383	12.277	12.149	12.004	11.884	11.815	11.832	11.926	12.060	12.200	12.331	12.404
14	12.381	12.273	12.144	11.999	11.880	11.814	11.834	11.930	12.065	12.205	12.335	12.405
15	12.378	12.269	12.139	11.995	11.877	11.813	11.836	11.934	12.070	12.210	12.338	12.406
16	12.376	12.264	12.135	11.990	11.874	11.813	11.838	11.938	12.074	12.214	12.341	12.407
17	12.373	12.260	12.130	11.986	11.871	11.812	11.841	11.942	12.079	12.219	12.345	12.407
18	12.371	12.255	12.125	11.982	11.868	11.812	11.843	11.946	12.084	12.223	12.348	12.408
19	12.368	12.251	12.120	11.977	11.865	11.811	11.845	11.950	12.088	12.228	12.351	12.408
20	12.365	12.247	12.116	11.973	11.862	11.811	11.848	11.954	12.093	12.232	12.355	12.409
21	12.362	12.242	12.111	11.969	11.859	11.811	11.850	11.959	12.098	12.237	12.358	12.409
22	12.359	12.238	12.106	11.964	11.856	11.811	11.853	11.963	12.102	12.241	12.361	12.409
23	12.356	12.233	12.101	11.960	11.853	11.811	11.856	11.967	12.107	12.246	12.364	12.409
24	12.353	12.228	12.097	11.956	11.851	11.811	11.858	11.971	12.112	12.250	12.367	12.409
25	12.350	12.224	12.092	11.952	11.848	11.811	11.861	11.976	12.116	12.254	12.369	12.408
26	12.346	12.219	12.087	11.948	11.845	11.812	11.864	11.980	12.121	12.256	12.372	12.408
27	12.343	12.215	12.082	11.944	11.843	11.812	11.867	11.984	12.126	12.263	12.375	12.408
28	12.304	12.210	12.078	11.939	11.841	11.813	11.870	11.978	12.130	12.297	12.377	12.407
29	12.366	-----	12.073	11.935	11.838	11.813	11.873	11.993	12.135	12.272	12.380	12.406
30	12.333	-----	12.068	11.931	11.836	11.814	11.876	11.997	12.140	12.276	12.382	12.406
31	12.329	-----	12.064	-----	11.834	-----	11.880	12.002	-----	12.280	-----	12.405

FONTE: IZÍDIO, L. R. (1992).

TABELA 9A - Coeficiente Kp para o Tanque Classe "A", para a estimativa da Evapotranspiração de referência (ET_o).

		Exposição "A"			Exposição "B"		
		Tanque circundado por grama			Tanque circundado por solo nu		
UR% (média)		Baixa < 40 %	Média 40 - 70 %	Alta > 70 %	Baixa < 40 %	Média 40 - 70 %	Alta > 70 %
Vento (m/s)	Posição do Tanque R (m) *				Posição do Tanque R (m) *		
Leve < 2	0	0,55	0,65	0,75	0	0,70	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,60	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	100	0,55	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,50	0,70
Moderado 2 - 3	0	0,50	0,60	0,65	0	0,65	0,85
	10	0,60	0,70	0,75	10	0,55	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	100	0,50	0,65
	1000	0,70	0,80	0,80	1000	0,45	0,60
Forte 5 - 8	0	0,45	0,50	0,60	0	0,60	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	10	0,50	0,75
	100	0,60	0,65	0,75	100	0,45	0,60
	1000	0,65	0,70	0,75	1000	0,40	0,55
Muito Forte > 8	0	0,40	0,45	0,50	0	0,50	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	10	0,45	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	100	0,40	0,50
	1000	0,55	0,60	0,65	1000	0,35	0,45

* Raio em metros.

FONTE: DOORENBOS & PRUITT, citado por MAROUELLI et al. (1986).

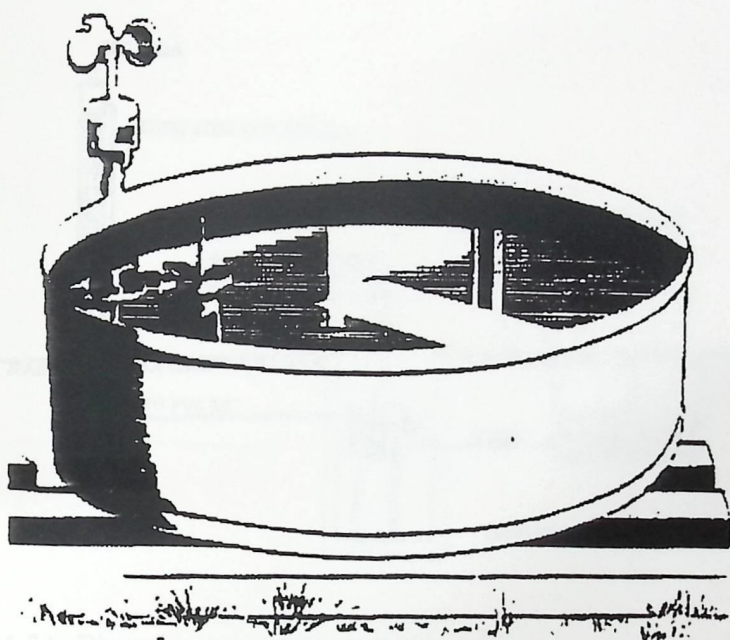


FIGURA 1A. Evaporímetro tipo TANQUE CLASSE "A".

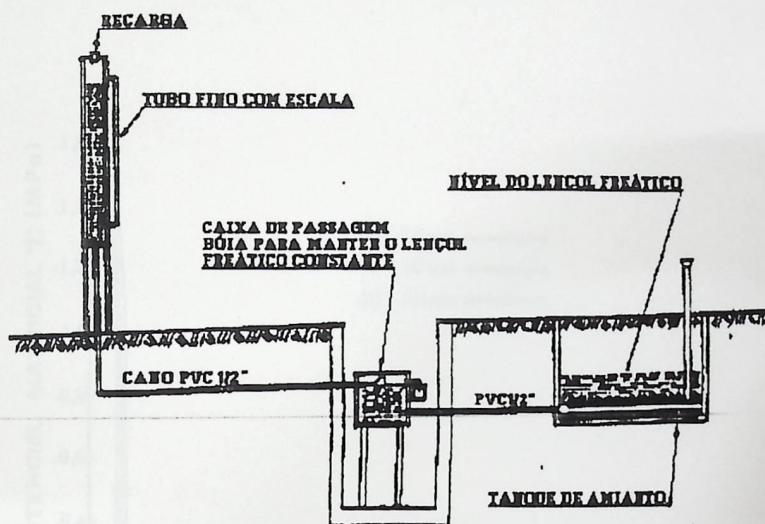


FIGURA 2A- Diagrama esquemático referente ao conjunto evapotranspirométrico com lençol freático constante.

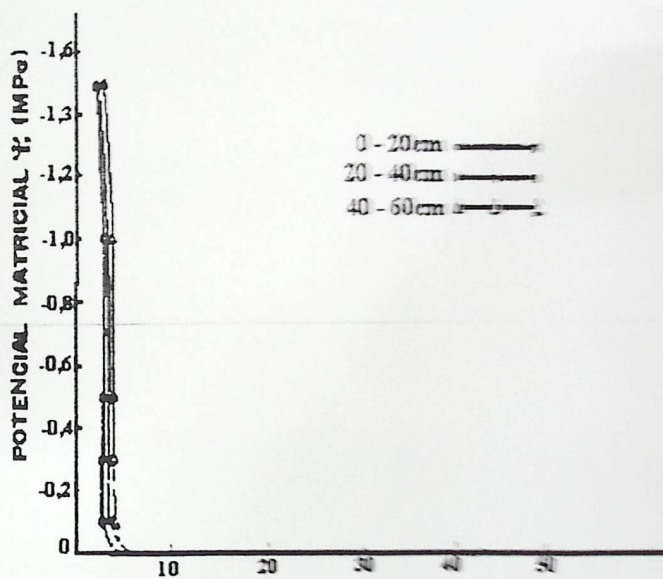


FIGURA 3A - Curvas características do solo do local para as profundidades 0-20, 20-40 e 40-60 cm.

UFERSA-BIBLIOTECA
"ORLANDO TEIXEIRA"

Devolver na última data carimbada

[illegible]

Botânica

UFERSA SIGAA - BIBLIOTECAS



SIGAA

2010076191