

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE MESTRADO EM METEOROLOGIA

ESTUDO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM CULTURA DE FEIJOEIRO  
(*Phaseolus vulgaris*, L)

JOSÉ LUIZ DE SOUZA

Campina Grande, Paraíba  
—1983—

JOSE LUIZ DE SOUZA

ESTUDO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM CULTURA DE FEIJOEIRO  
(*Phaseolus vulgaris*, L.)

Dissertação apresentada ao Curso  
de MESTRADO EM METEOROLOGIA da  
Universidade Federal da Paraíba,  
em cumprimento às exigências para  
obtenção do Grau de Mestre

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: METEOROLOGIA APLICADA

MÁRIO ADELMO VAREJÃO SILVA  
Orientador

**DIGITALIZAÇÃO:**  
**SISTEMOTECA - UFCG**

Campina Grande - PB  
1983 0



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
COORD. DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA APLICADA  
Av. Aprígio Veloso, 882 - Caixa Postal 518  
Campina Grande — Paraíba

Coordenação do Curso de Mestrado em Meteorologia

Parecer Final do Julgamento  
da Dissertação

Do Mestrando: JOSÉ LUIZ DE SOUZA

Título da Tese: " ESTUDO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM CULTURA DE FEIJOEIRO."  
(Phaseolus vulgaris, L.)

Comissão Examinadora

Prof. Mário Adelmo V. Silva MSc.

Prof. Nilson Augusto Villa Nova. Doutor, Livre Docen  
te.

Prof. Antonio Carlos de S. Reis. Doutor, Livre Docen  
te.

Parecer

..... *Aproubado* .....

..... *Aprovado* .....

..... *Aprovado* .....

Campina Grande, 17 de novembro de 1983

*Handwritten signatures and stamps*

## OFERECIMENTO

*A meu Pai (in memoriam)*

*A minha Mãe*

*A meus Irmãos*

dedico

*A minha esposa  
Lucileide*

*e filhas*

*Priscilla e Tházia*

ofereço

## AGRADECIMENTOS

O autor exprime seus mais profundos agradecimentos ao Professor Mário Adelmo Varejão Silva, pelo estímulo e orientação em todas as fases da elaboração deste trabalho.

Os mesmos agradecimentos são dirigidos aos Professores Nilson Augusto Villa Nova e Antônio Carlos de S. Reis, pelas valiosas críticas e atenção dispensada à revisão final do texto. Agradece também ao Professor Benjamin F. Medina, pelas sugestões dadas na fase de implantação do experimento.

Finalmente, externa sua gratidão ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela ajuda financeira concedida, bem como ao Centro de Ciências Agrárias, ao Departamento de Ciências Atmosféricas e à Coordenação do Curso Mestrado em Meteorologia, na pessoa do Professor Manoel Francisco Gomes Filho, pelo apoio dispensado.

## RESUMO

Utilizando-se um sistema de evapotranspirômetro com nível do lençol freático constante, determinou-se experimentalmente a necessidade hídrica de uma cultura de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L) no período de novembro/82 a janeiro/83, em Campina Grande (PB). Para o mesmo período, foram estimados os valores da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), pelos métodos de Perman, Hargreaves, da radiação e do tanque "classe A". Os resultados desses métodos e do método experimental foram empregados para estimar os correspondentes coeficientes de cultura ( $K_c$ ), nas diferentes fases do ciclo vegetativo da cultura, sendo estes comparados com os preconizados pela FAO. A análise estatística desses dados sugere que as estimativas de  $K_c$ , obtidas a partir das observações do tanque "classe A", são as mais próximas dos valores recomendados pela FAO.

## SUMMARY

The water requirements of a dry beans crop (Phaseolus vulgaris L.) was determined by measuring evapotranspiration with a constant water-table level lysimeter, during a period of about 80 days (from november, 1982 to january, 1983), in Campina Grande, state of Paraíba, Brazil. The values of reference evapotranspiration ( $ET_0$ ) for the same period, were estimated according to the Penman, Hargreaves, Radiation and "USWB class A land pan" approaches. The results of both, empirical and experimental methods, were utilized to estimate the correspondent crop coefficients (Kc) in different phases of the crop cycle and compared with the FAO recommended values of Kc. The statistical analysis show that the Kc estimates according to "USWB class A land pan" approach are nearer to the FAO values.

# ÍNDICE

	Página
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	13
3.1. Localização e Características Gerais do Local do Experimento .....	13
3.2. Descrição e Instalação dos Evapotranspirômetros ..	13
3.2.1. Descrição .....	13
3.2.2. Instalação .....	17
3.3. Equipamentos Meteorológicos .....	18
3.4. Instalação do Experimento .....	19
3.5. Operação do Evapotranspirômetro .....	19
3.6. Considerações sobre os Parâmetros $K_p$ , ECA, $ET_o$ , $ET_m$ e $K_c$ .....	20
3.7. Irrigações Complementares .....	20
3.8. Determinação do Peso Seco e da Área Foliar da Cultura .....	21
3.9. Métodos Indiretos Usados para Estimar a Evapotranspiração ( $ET_o$ ) .....	21
3.9.1. Processo Aerodinâmico .....	21
3.9.2. Processo de Balanço Energético .....	22
3.9.3. Método Combinado de Penman .....	24
3.9.4. Método de Hargreaves .....	26
3.9.5. Método do Tanque "Classe A" .....	27
3.9.6. Método da Radiação .....	27



	Página
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	28
4.1. Operação e Desempenho dos Evapotranspirômetros ...	28
4.2. Comportamento das Plantas .....	29
4.3. Comparação entre a Evapotranspiração Medida e Estimada .....	30
4.4. Relação entre $ET_m$ e $ET_o$ Estimados pelos Diferentes Métodos .....	41
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	49
BIBLIOGRAFIA .....	51
APÊNDICE .....	58

## LISTA DOS QUADROS

	Página
QUADRO 3.1.	
Distribuição das partículas por tamanho e densidades do solo e da partícula, na área experimental .....	15
QUADRO 3.2.	
Algumas propriedades químicas do solo da área experimental .....	15
QUADRO 4.1.	
Valores médios amostrais da área foliar e peso seco das plantas no interior e exterior do evapotranspirômetro .....	31
QUADRO 4.2.	
Valores da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) estimados por diferentes métodos, por pântadas ...	33
QUADRO 4.3.	
Valores da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) estimados por diferentes métodos, por decêndio ...	34
QUADRO 4.4.	
Valores de $ET_m$ (mm) medidos e estimados por diferentes métodos, por pântada, utilizando-se os $K_c$ s recomendados pela FAO .....	35
QUADRO 4.5.	
Valores de $ET_m$ (mm) medidos e estimados por diferentes métodos, por decêndio, utilizando os $K_c$ s recomendados pela FAO .....	36

## QUADRO 4.6.

Valores de $K_C$ estimados por diferentes métodos e calculados segundo a FAO (1979), por pântadas ....	45
---	----

## QUADRO 4.7.

Valores de $K_C$ estimados por diferentes métodos e calculados segundo a FAO (1979), por decêndios ...	46
---	----

## LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 3.1. Localização do experimento e Estação Meteorológica do DCA/UFPB .....	14
FIGURA 3.2. Esquema de evapotranspirômetro com lençol freático constante .....	16
FIGURA 4.1. Valores acumulados de $ET_m$ ao longo do ciclo vegetativo do feijoeiro .....	37
FIGURA 4.2. Valores acumulados de $ET_m$ ao longo do ciclo vegetativo do feijoeiro .....	38
FIGURA 4.3. Correlação entre os valores médios de pântadas da evapotranspiração medida e os obtidos por estimativa pelos métodos estudados .....	39
FIGURA 4.4. Correlação entre os valores médios decendiais da evapotranspiração média e os obtidos por estimativa pelos métodos estudados .....	40
FIGURA 4.5. Comparação entre os valores de $K_c$ , estimados por diferentes métodos e preconizados pela FAO (1979), durante o ciclo vegetativo do feijoeiro, por pântadas .....	45
FIGURA 4.6. Comparação entre os valores de $K_c$ , estimados por diferentes métodos e preconizados pela FAO (1979), durante o ciclo vegetativo do feijoeiro, por decêndio .....	46
FIGURA 4.7. Correlação entre os valores médios de $K_c$ , por pântadas, obtidos por estimativa e os sugeridos pela FAO (1979), por decêndio .....	47
FIGURA 4.8. Correlação entre os valores decendiais de $K_c$ obtidos por estimativa e os sugeridos pela FAO (1979) .....	48

## 1. INTRODUÇÃO

É notória a influência dos fatores ambientais - notadamente daqueles de natureza meteorológica - sobre as atividades agrícolas. Essa influência vem-se tornando cada dia mais importante, haja vista o aumento mundial da demanda de produtos primários, particularmente de alimentos, conseqüência do crescimento da população. Diante desse fato, há uma preocupação dos governos em criar estratégias no sentido de aumentar a oferta de produtos agrícolas. Em resposta a essas estratégias, cientistas e técnicos estão mobilizados para o desenvolvimento e utilização de tecnologias visando a minimizar as perdas daqueles produtos, inclusive daquelas causadas por efeitos negativos de fatores ambientais e, simultaneamente, ampliar a área agricultável do globo.

Em se tratando de regiões tropicais semi-áridas, tanto o aumento da produtividade como a expansão da fronteira agrícola, tornam-se metas relativamente mais difíceis de atingir. De um lado, são freqüentes os problemas edáficos, particularmente no que concerne à fertilidade, à profundidade e à acidez dos solos; de outro, há a crucial questão da disponibilidade hídrica. Como se sabe, a escassez e a má distribuição das chuvas podem, nessas regiões, conjunta ou isoladamente, constituir o mais sério condicionante das atividades agrícolas, em se tratando de lavouras tradicionais. Note-se que o suprimento de energia solar no trópico semi-árido é muito elevado. Isso implica em grandes perdas por evaporação (em se tratando de reservatórios) e por evapotranspiração (no caso dos terrenos cultivados), advindo, daí, a necessidade de utilização mais racional das reservas de água.

A quantificação das perdas d'água para a atmosfera - quer por evaporação, quer por evapotranspiração - é extremamente importante no planejamento e execução de projetos de irrigação, mesmo em pequena escala. No caso do Nordeste, devido à inexistência de dados e a limitações de ordem financeira, a estimativa dessas perdas é normalmente feita através de métodos empíricos. Somente as instituições oficiais, que disponham de sofisticados laboratórios e pessoal qualificado suficiente, têm condições de usar processos mais exatos na determinação daquelas perdas, especialmente os métodos gravimétrico e de moderação de nêutrons, para determinação da umidade do solo. O agricultor, devido às limitações financeiras e culturais envolvidas, não tem condições de utilizar tais métodos; nem mesmo lhe é possível o emprego das equações empíricas. Esta tarefa teria de estar na alçada dos órgãos de assistência rural. No entanto, a utilização dos métodos empíricos, se bem que mais simples, tem uma séria implicação: a incerteza dos resultados obtidos. De fato, esses métodos foram, em geral, desenvolvidos para condições climáticas e econômicas não coincidentes com as prevalentes no Nordeste. Por isso mesmo, precisam ser "calibrados", isto é, ajustados às condições locais de clima, solo e culturas. Caracteriza-se, assim, a importância da condução de pesquisa com o objetivo de quantificar, com a máxima fidelidade possível, a evapotranspiração em culturas irrigadas.

O presente trabalho representa uma contribuição nessa área de pesquisa aplicada. Procurou-se obter informações sobre as necessidades potenciais de água durante o ciclo vegetativo do feijoeiro, bem como o conhecimento de algumas relações entre a evapotranspiração, medida em evapotranspirômetros (com lençol freático à profundidade constante) e estimativas da evapotranspiração potencial, obtida por diferentes métodos.

Para tais estudos, além dos dados meteorológicos disponíveis, utili

zou-se a cultura do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris*, L.) variedade IPA I. Embora o feijoeiro seja uma cultura que, nessa região, não é economicamente explorada sob irrigação, sua escolha reside no fato de ser uma das principais, senão a principal, fonte de proteína utilizada na alimentação da população nordestina, tanto sob o aspecto quantitativo como sob o qualitativo.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Um dos grandes desafios que enfrenta a agricultura irrigada, é melhorar o manejo da água a nível de propriedade agrícola. Para utilização eficiente da água, é necessário conhecer alguns dados básicos que permitam definir o melhor método de irrigação a ser usado. Deve-se, ainda, possuir informação adequada das propriedades retentivas e transmissoras da água do solo, da evapotranspiração e da resposta (rendimento) da cultura à irrigação. A meta final será sempre definir um critério para orientar o estabelecimento de um calendário de irrigação que permita rendimentos ótimos através da utilização eficiente da água de irrigação.

De acordo com DYLLA *et alii* (1980), um calendário de irrigação adequado requer a determinação de quando irrigar e quanta água aplicar, para minimizar a percolação de água fora da zona radicular da cultura e manter um ótimo nível de umidade no solo. Vários métodos, baseados em parâmetros do solo e da planta, e em medições de evaporação, tem-se descrito para estabelecer frequências de irrigação das culturas e quantidades da água a aplicar (HAISE & HAGAN, 1967; JENSEN *et alii*, 1970). A forma mais comum para programar a irrigação é através do balanço da água do perfil do solo. Nele, a evapotranspiração é calculada, seja utilizando dados climatológicos e coeficientes das culturas, seja mediante medições diretas das variações do conteúdo de água no perfil, da água aplicada (chuva ou irrigação) e da drenagem além da zona radicular da cultura.

O processo de transferência de vapor de água para a atmosfera, quando a superfície evaporante está representada por um solo vegetado, é deno



minado evapotranspiração. Este termo representa, portando, duas contribuições distintas: a evaporação da água contida no solo e a transpiração decorrente da atividade biológica da comunidade vegetal presente nesse solo. "THORNTHWAITE (1944) definiu evapotranspiração potencial como sendo a transferência de água do solo para a atmosfera a partir de uma superfície plana de solo úmido, completamente coberta de vegetação verde, suficientemente grande para eliminar o efeito de oásis. Para PENMAN (1948), é a quantidade de água transpirada na unidade de tempo, por uma cultura de porte baixo, altura uniforme e em crescimento ativo, sob condições ótimas de umidade e cobrindo totalmente o solo. De acordo com DOOREMBOS & PRUITT (1975), a evapotranspiração potencial de culturas ( $ET_0$ ) é a taxa de evapotranspiração de uma cultura uniforme, em crescimento ativo, que cobre inteiramente a superfície do solo e bem abastecida de água." Segundo NOBREGA (1976), os diferentes tipos de vegetação se comportam fisicamente como um completo sistema de superfícies evaporantes, perdendo água com diferentes intensidades.

Para THORNTHWAITE e HARE (1965), o processo evapotranspiratório compreende: (i) movimento de água no perfil do solo em direção à superfície e à zona de absorção radicular; (ii) movimento de água do sistema radicular às superfícies das folhas; (iii) evaporação da água da chuva interceptada pela parte aérea da vegetação; (iv) evaporação da água através da superfície do solo e dos estômatos; e (v) transferência turbulenta do vapor d'água às camadas adjacentes da atmosfera.


"A evapotranspiração é uma função dos fatores meteorológicos, do solo e da planta (LEMON *et alii*, 1957; STALIER & McILROY, 1961) embora, sob condições ótimas de umidade do solo, seja apenas função da evaporação da superfície livre de água e do tipo de vegetação. "O saldo de radiação apresenta-se como sendo o principal fator meteorológico a influenciar na

evapotranspiração (TANNER & LEMON, 1962).<sup>1)</sup>

Segundo EAGLEMAN & DECKER (1965), a evapotranspiração potencial é influenciada somente pelas condições meteorológicas reinantes, enquanto que a real é influenciada também pela disponibilidade de água no solo. Esses autores verificaram, ainda, que a taxa de evapotranspiração não segue uma função linear, mesmo quando a umidade do solo baixa até uma tensão de 15 atmosferas.

LEMON *et alii* (1957) afirmam que o potencial da água no solo, considerado isoladamente, não influencia a evapotranspiração, vindo a concordar com DENMEAD & SHAW (1962) os quais apontam que a relação entre a evapotranspiração e a umidade do solo varia com a demanda evaporativa da atmosfera e que, à medida que diminui a umidade do solo, a evapotranspiração real pode cair até um valor abaixo da potencial. HALSTED & COVEY (1957), estudando os aspectos meteorológicos envolvidos no processo evapotranspiratório, alertaram para a existência de prováveis fontes de erro, relativas aos métodos empíricos ou semi-empíricos; referem-se aqueles autores às frações da radiação líquida empregada na evaporação da água e no aquecimento do ar e do solo. Assim, a evapotranspiração, além de ser função da disponibilidade de água ao processo, é influenciada pelas propriedades térmicas do solo, pela turbulência e pela razão de mistura dentro da comunidade vegetal, bem como sobre ela.

Medidas da transferência natural de água para atmosfera, por evaporação e evapotranspiração, são difíceis; os instrumentos utilizados nas estações meteorológicas fornecem apenas indicações referentes a casos muito particulares de evaporação, a partir de superfícies umedecidas ou da água contida em recipientes. As dificuldades práticas e instrumentais encontradas nas determinações, direta e indireta, deram lugar ao aparecimento de métodos empíricos ou semi-empíricos para a estimativa da evapora

ção e da evapotranspiração, que utilizam dados climatológicos. Raramente, os parâmetros usados refletem fielmente o potencial de energia disponível ao processo evaporativo e, dificilmente, tais relações incluem fatores do solo ou da planta, que podem ser decisivos em determinadas condições (LEMON *et alii*, 1957; FRITSCHER & VAN BAVEL, 1964; GAVANDE & TAYLOR, 1967) Esses métodos têm tido uma grande aceitação em virtude das medições serem feitas sem alterar o solo e a planta; podem ser aplicados a uma vasta área e fazem uso de dados meteorológicos, muitos dos quais são coletados em postos meteorológicos convencionais. ~~XX~~ 

Os processos disponíveis para estimar a evapotranspiração potencial se baseiam em princípios físicos e podem ser divididos, de acordo com SCARDUA (1970), em: (i) métodos de campo, entre os quais se encontram aqueles que determinam as variações no teor de água do perfil natural do solo, o lisimétrico e o que quantifica a entrada e saída de água numa bacia hidrográfica para determinado período; (ii) métodos climatológicos, baseados na análise de parâmetros físicos e na evaporação da água contida em evaporímetros; (iii) métodos empíricos como os de Thornthwaite, Blaney-Criddle, Hargreaves, Turc, Perman, etc.

KING, TANNER & SUOMI (1956) enfatizam que, para determinar satisfatoriamente a evapotranspiração por meio de lisímetros, é indispensável que estes se apresentem indistinguíveis da área circundante, igualmente vegetada, e que tenham as mesmas características microclimáticas.

VAN BAVEL (1961) considera a lisimetria um dos melhores métodos para estimar a evapotranspiração, concordando com BLACK *et alii* (1968) que afirmam ser o lisímetro o único instrumento capaz de medir a evapotranspiração. THORNTHWAITE (1944) desenvolveu um tipo de lisímetro para determinar a evapotranspiração, que consistia de um depósito com solo, no qual o lençol freático era mantido em nível constante. MATHER (1954) introduziu

modificações, por sua vez aperfeiçoadas por outros autores, conforme descrito por GANGOPADHYAYA *et alii* (1966). Para SLATYER & McILROY (1961), a evapotranspiração potencial obtida por meio de lisímetros só merece confiança se o equipamento for instalado em local onde o regime de umidade do solo seja o mesmo da área adjacente.

↘ ~~X~~ Diversos pesquisadores (CHANG *et alii*, 1967; FOGLIATA, 1974; TANNER 1967; DYLLA *et alii*, 1980) descrevem vários métodos para determinar a transferência de vapor d'água para atmosfera, porém, apesar de numerosos, nem sempre reúnem precisão, simplicidade e baixo custo. PENMAN (1948) usou o método do balanço de energia combinado com método aerodinâmico para obter uma equação que utilizasse o saldo de radiação, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento para estimar a evapotranspiração potencial. A equação de Penman é, em geral, considerada de boa precisão para estimativa da evapotranspiração, sendo utilizada em várias partes do mundo. Diversas simplificações foram feitas no método de Penman (VAN BAVEL 1961; BAIER, 1965; VILLA NOVA, 1967). MONIEITH (1965) discutiu os modelos de Penman e McIlroy, apresentando suas vantagens e desvantagens.

Para ROSEMBERG (1974), os métodos micrometeorológicos apresentam vantagens sobre os demais, por permitirem estimativas da evapotranspiração para períodos curtos, como hora ou fração, sendo válidos para calibrar outros métodos. IETTAU (1969), considerando superfícies naturais de grande extensão, concorda que se pode utilizar o método baseado na combinação do balanço de energia com o balanço de água. TANNER (1960) afirma que não se pode aplicar, para períodos menores que cinco dias, os métodos que usam medida de umidade do solo, devido aos erros associados às medições.

HANKS *et alii* (1973) testaram diferentes métodos para estimar evapo

transpiração na fazenda Greenville, da Universidade do Estado de Utah, apontando o método de Bowen como o que mais se aproximou da evapotranspiração real, embora tenha fornecido resultados que foram em torno de 17% menores. Durante o período do experimento, a evapotranspiração foi 1,33 vezes aquela estimada pela equação de Penman, 0,73 vezes a estimada pela equação de Penman modificada por Van Bavel, e 2,86 vezes aquela estimada pela equação aerodinâmica.

Comparando vários métodos para estimar a evapotranspiração potencial em Areia (PB), MEDINA & GONDIM (1980) admitiram que a fórmula de Makink apresentava resultados satisfatórios, seguida das de Penman e Thornthwaite. Em trabalho semelhante, SCALOPI (1972) verificou que a fórmula de Penman forneceu estimativas mais próximas dos valores medidos, enquanto que o método de Thornthwaite subestimou a evapotranspiração no mesmo período, para região de Botucatu (SP). Para Jaboticabal (SP), BENINCASA (1972), estudando os efeitos hídricos no feijoeiro, encontrou que a evapotranspiração potencial, estimada pelo método Penman, apresentou valores inferiores aos do tanque classe A e GGI 3000. MOTA & BEIRSDOF (1975), estudando a evapotranspiração em campo nativo do Sul do Brasil, mostraram que existem métodos meteorológicos precisos e práticos para estimar a perda d'água para uso agrícola. Utilizando o método proposto por Thornthwaite, MARLATT *et alii* (1961) encontraram razoáveis estimativas de evapotranspiração para uma cultura de feijão. DECKER (1962) obteve valores próximos para evapotranspiração medida e estimada pelo método Thornthwaite em uma cultura de milho.

CAMARGO (1966) obteve valores mensais estimados muito próximos dos valores medidos em evapotranspirômetros tipo "Thornthwaite modificado", para uma superfície coberta com grama, em três localidades do Estado de São Paulo.

TOVEY *et alii* (1969) publicaram bons resultados para espécie forrageira, usando o método de Perman. ABDEL-AZIZ *et alii* (1964) verificaram que a fórmula de Perman subestimava acentuadamente os valores da evapotranspiração para regiões semi-áridas, atribuindo isto à advecção intensa de energia térmica. ROSEMBERG (1969), estudando a evapotranspiração para uma cultura de alfafa, utilizando lisímetro, observou que o método de Perman subestimou em 30% os valores de evapotranspiração potencial, principalmente em condições de forte advecção de energia. DOOREMBOS & PRUITT (1975) afirmam que os métodos de estimativa de evapotranspiração pelo método de Perman, da radiação e do tanque classe A, oferecem resultados satisfatórios para períodos curtos, como 10 dias.

VAREJÃO-SILVA (1977), para cultura de alfafa irrigada, em Petrolina (PE), encontrou boa relação entre a evapotranspiração medida (pela variação da umidade do solo apenas até 90cm de profundidade) e estimada pelo método Perman, utilizando a evaporação de Piche como termo aerodinâmico. BLAINER & ROSEMBERG (1974), usando lisímetro vegetado com soja, encontraram que os valores de evapotranspiração estimados pelo método do balanço de energia subestimavam a evapotranspiração medida em 20%, enquanto que, em condições não advectivas, havia boa correlação entre a evapotranspiração medida e estimada.

A evapotranspiração potencial de uma cultura é usualmente estimada mediante tanques de evaporação, usando um coeficiente adequado. Os tipos de tanque mais usados são os classe A (USWB) e GGI 3000, de  $20m^2$ . Uma nota técnica da CMM, de 1966, compara dados de tanques em vários países. AGUIAR (1975) comparou os métodos de estimativa da evapotranspiração potencial em cultura de feijão comum em Piracicaba (SP), obtendo um fator igual a 0,7 com relação à fórmula de Perman. SCALOPI (1972) comparou, para uma cultura de batata, valores de evapotranspiração medidos com os es

timados pela evaporação de tanque classe A, obtendo os fatores 0,59, 0,68 e 0,69, respectivamente, para valores de unidade de solo correspondentes a 25, 50 e 75% de água disponível. SCARDUA (1970), para tratamentos irrigados e não irrigados, encontrou fatores de 0,56 e 0,80, respectivamente, utilizando o mesmo método. VILLA NOVA (1967) comparou os dados de evaporação obtidos do tanque classe A, no período de 1961/66, com valores estimados pelo método Perman, para Piracicaba (SP), obtendo um fator médio igual a 0,72.

ASSIS (1978), estudando algumas relações entre evapotranspiração medida e estimada pelo método de Perman e pelo tanque classe A, verificou que a relação entre a evapotranspiração estimada e a medida, em base diária, para a região de Piracicaba, é de 0,81. Segundo o autor, isso se deve ao fato da advecção local não ser computada pela equação de Perman. Verificou, ainda, que a evapotranspiração medida e a evaporação do tanque classe A, em períodos médios de 5 dias, não diferem daqueles do período diário, embora os coeficientes de correlação tenham sido diferentes.

Normalmente, a necessidade de água das culturas é expressa por meio do coeficiente de cultura ( $K_c$ ), sendo definido como a razão entre a evapotranspiração medida em lisímetros e a evapotranspiração estimada por método empírico. Esse coeficiente depende do tipo de solo e do conteúdo de unidade, sendo influenciado principalmente pelas características biológicas da planta, variando, também, de cultura para cultura e com o estágio de desenvolvimento da mesma (DAKER, 1970). Diversos pesquisadores têm estudado o coeficiente de cultura para estimar as necessidades hídricas totais durante o ciclo do feijão. DOOREMBOS & PRUITT (1975) e HARGREAVES (1974) apresentaram valores de  $K_c$  que variam até 1,05 e 0,90, respectivamente. STEGMAN *et alii* (1977) consideram adequado o coeficiente de cultura obtido em relação ao tanque de evaporação classe A, apresentando valo

res satisfatórios durante todo o período estudado. ENCARNAÇÃO (1980), trabalhando com evapotranspirômetro de lençol freático de nível constante, verificou que a estimativa da evapotranspiração potencial através do tanque classe A, entre outros métodos estudados, fornece valores de  $K_c$  mais próximos àqueles sugeridos pela FAO.



### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Localização e Características Gerais no Local do Experimento

O experimento foi localizado em área contígua à da Estação Meteorológica Didática, vinculada ao Laboratório de Instrumentos Meteorológicos do Departamento de Ciências Atmosféricas (DCA), situada em Campina Grande (7°13'S; 35°35'W; 526 m), Estado da Paraíba (Figura 3.1). O terreno mede 20 x 25 m, com leve declive para o Sul. A área total ocupada pelo experimento foi de 500 m<sup>2</sup>.

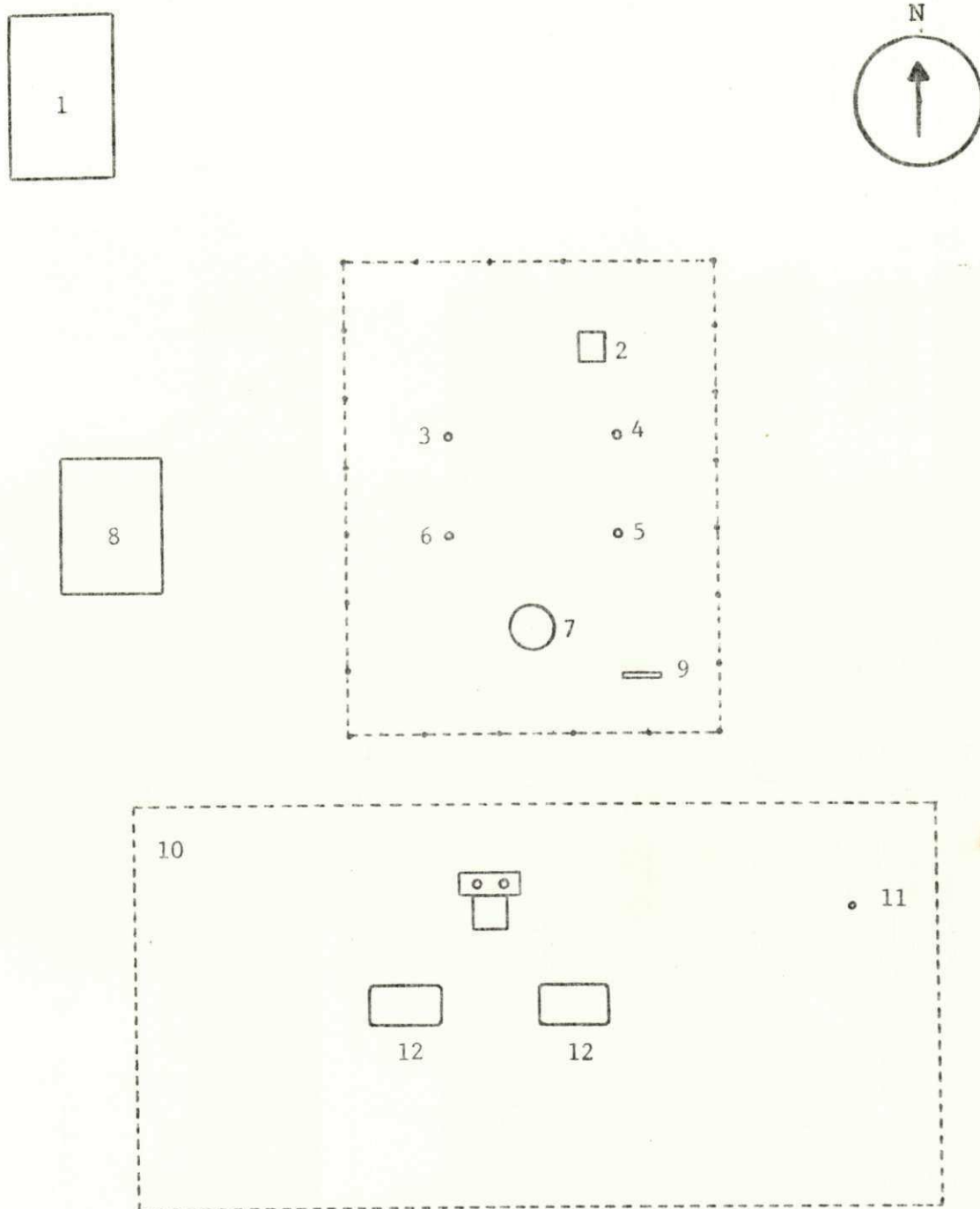
Amostras do solo local, obtidas nas profundidades de 20, 40 e 60 cm foram analisadas no Laboratório de Solos do Departamento de Solos e Engenharia Rural (DSER), do Centro de Ciências Agrárias da UFPB (Areia, PB). A análise granulométrica revelou tratar-se de um solo de textura arenosa (Quadro 3.1).

#### 3.2. Descrição e Instalação dos Evapotranspirômetros

##### 3.2.1. Descrição

Foram confeccionados dois conjuntos de evapotranspirômetro, basicamente do tipo proposto por C.W. Thornthwaite, modificado por J.R. Mather (GANGOPADHYAYA *et alii*, 1966). Cada conjunto estava constituído de três partes tal como descritas a seguir:

(i) tanque de cimento-amianto (evapotranspirômetro propriamente dito), do tipo normalmente encontrado no comércio, com volume de 1000ℓ, tendo 1,69 m<sup>2</sup> de área transversal ao nível da borda (Figura 3.2);



- |                               |  |
|-------------------------------|--|
| 1. Laboratório de Instrumento | 7. Tanque "classe A"                   |
| 2. Abrigo meteorológico       | 8. Casa de vegetação                   |
| 3. Pluviôgrafo                | 9. Geotermômetros                      |
| 4. Heliôgrafo                 | 10. Área de localização do experimento |
| 5. Pluviômetro                | 11. Anemômetros a 2m                   |
| 6. Actinôgrafo                | 12. Evapotranspirômetros               |

FIGURA 3.1. Localização do experimento e estação meteorológica do DCA/UFPb.

Quadro 3.1. Distribuição das partículas por tamanho e densidades do solo e da partícula, na área experimental

PROFUNDIDADE (cm)	CONSTITUINTES (%)			DENSIDADE DO SOLO (g/cm <sup>3</sup> )	
	Areia	Limo	Argila	Aparente	Real
0 - 20	87,91	5,59	6,5	1,53	2,60
20 - 40	88,64	4,86	6,5	1,59	2,62
40 - 60	88,74	4,76	6,5	1,71	2,63

Quadro 3.2. Algumas propriedades químicas do solo da área experimental

PROFUNDI DADE (cm)	pH em H <sub>2</sub> O 1:1	Al <sup>+++</sup> ----- me/100 g	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup> -----	P total PPm	M.O. %
0 - 40	5,2	0,30	0,25	0,30		2,4	0,59

(ii) tanque de controle, destinado a manter constante o nível do lençol freático no interior do evapotranspirômetro; esse tanque dispõe de uma bôia instalada no tubo de admissão (Figura 3.2); foi usado um tanque de cimento-amianto com capacidade para 50 litros, mantido permanentemente coberto; o tanque de controle está conectado ao evapotranspirômetro por meio de uma mangueira de plástico de 3/4 de polegada; imediatamente acima da superfície livre da água, foi colocado um dreno, que permitiria medir o excesso d'água que por ventura viesse ocorrer por ocasião de chuvas; e

(iii) tanque de alimentação ou de recarga, confeccionado em ferro galvanizado, especialmente para atender às exigências do experimento; cons

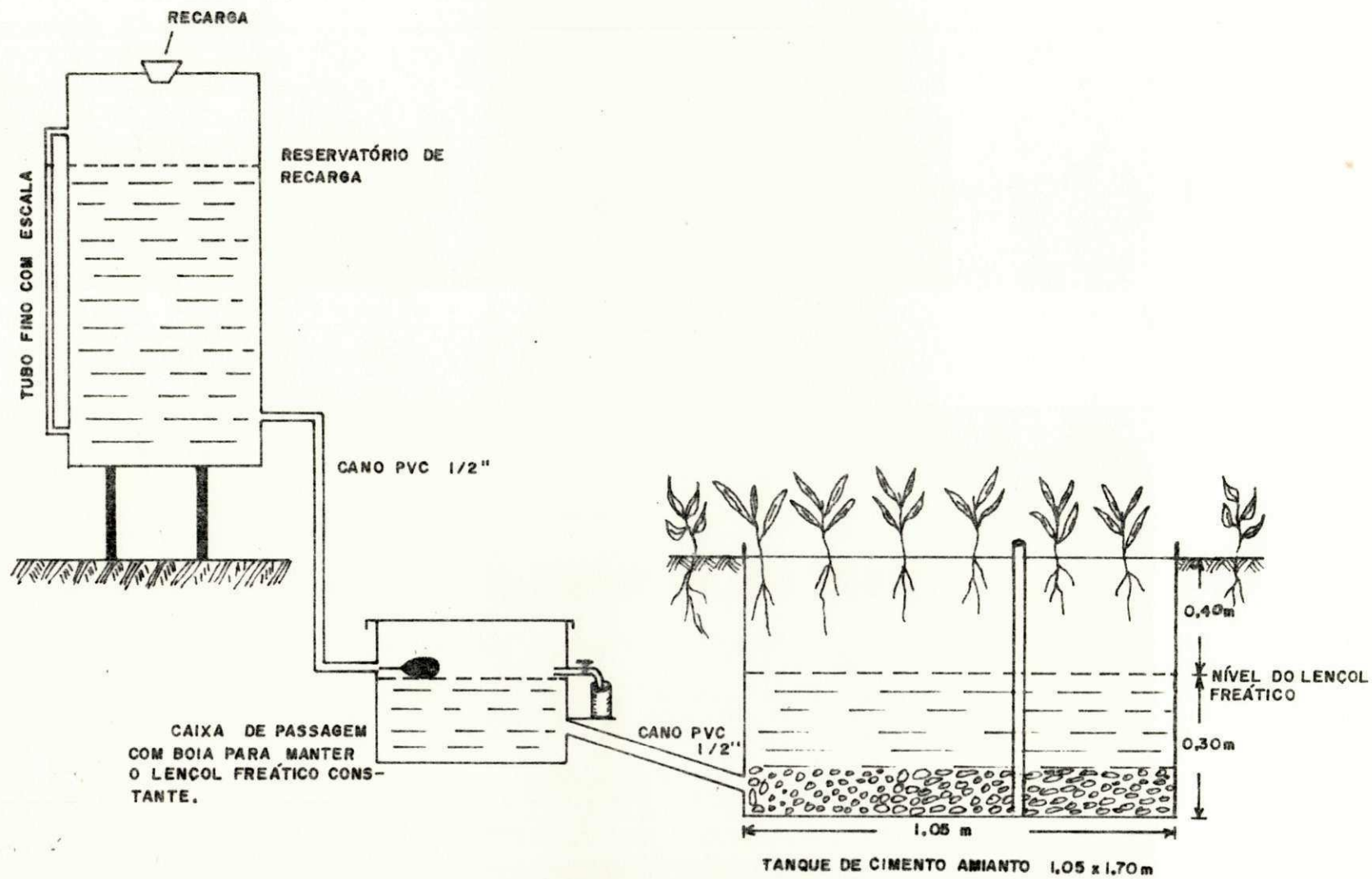


FIGURA 3.2. Esquema do evapotranspirômetro com lençol freático constante.

ta de um cilindro de 0,5m de altura e 0,32m de diâmetro de secção reta; justaposto à superfície externa desse tanque foi acoplado um tubo fino e transparente, que permite observar o nível da água sobre uma escala graduada em milímetros (Figura 3.2).

A geometria de cada conjunto evaporimétrico foi idealizada de modo que a superfície evapotranspirante correspondesse a 20 vezes a área de secção reta do tanque de alimentação. Considerando que a escala deste último foi graduada em milímetros, contava-se com razoável precisão nas leituras. Em outras palavras, a evapotranspiração de 1 mm provocava uma redução de 2 cm no nível de água do tanque de alimentação.

### 3.2.2. Instalação

Para instalação de cada tanque de evapotranspiração, foi aberta uma trincheira no solo, tendo-se o cuidado de separar a terra retirada segundo os horizontes do solo. Foram escavadas também as valetas destinadas à instalação dos condutos conectores. O tanque foi colocado na trincheira de modo que a base ficasse horizontal e sua borda superior a cerca de 8cm acima da superfície do solo.

Os tanques de controle foram instalados numa pequena caixa de alvenaria e próximo dela foram colocados os tanques de alimentação.

No fundo de cada tanque de evapotranspiração (evapotranspirômetro) colocou-se uma camada de brita grossa, seguida por uma de areia. Esse filtro, destinado a impedir a obstrução do conduto adutor, ficou com cerca de 10 cm de altura. Um cano de PVC rígido, de meia polegada de diâmetro, foi instalado verticalmente em cada tanque de evapotranspiração, à guisa de controle da altura do lençol freático.

Durante o enchimento dos tanques, teve-se o cuidado de colocar as camadas do solo na ordem inversa à da retirada, visando reproduzir, o mais

aproximadamente possível, seu perfil natural. A superfície do solo no interior dos tanques ficou ao mesmo nível da do solo adjacente.

### 3.3. Equipamentos Meteorológicos

Visando a comparação dos resultados advindos do experimento, objeto deste estudo, com métodos indiretos empregados para estimar a evapotranspiração, foram utilizados os instrumentos meteorológicos convencionais disponíveis na Estação Meteorológica Didática adjacente (i -vii) e na Estação Meteorológica de Campina Grande (viii), a aproximadamente 1,5 km do experimento, comentados a seguir:

(i) tanque evaporímetro "classe A", modelo padrão adotado pelo Instituto Nacional de Meteorologia;

(ii) anemômetro totalizador, de conchas, instalado a 2m acima da superfície do solo dentro do experimento;

(iii) pluviômetro tipo "Ville de Paris" (IH), com área de captação de  $400 \text{ cm}^2$ , situado 1,5m acima da superfície do solo;

(iv) termohigrógrafo mecânico, com tambor de rotação semanal (precisão de  $\pm 1\%$  para a temperatura), previamente calibrado e instalado no abrigo de instrumentos da referida Estação;

(v) termômetros convencionais de máxima e mínima e psicrômetro ventilado do tipo August, instalados naquele mesmo abrigo;

(vi) evaporímetro de Piche, com escala graduada em milímetros de lâmina d'água evaporada, instalado também no referido abrigo, utilizando discos de papel fornecidos pelo próprio fabricante;

(vii) heliôgrafo tipo Campbell-Stokes (FUESS), instalado de modo que o centro da estera ficasse a 1,80m da superfície do solo; e

(viii) actinógrafo bimetálico, tipo ROBITZSCH-FUESS, cujo elemento sensível está situado a 1,80m da superfície do solo.

### 3.4. Instalação do Experimento

Inicialmente, fez-se uma adubação mineral nas seguintes proporções: 20 kg/ha de N; 80 kg/ha de  $P_2O_5$  e 30 kg/ha de  $K_2O$ .

Para o plantio foram utilizadas sementes selecionadas de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*, L) variedade IPA I. Adotou-se um espaçamento de 20 cm em fileiras e 30 entre covas, plantando-se três sementes por cova. Na área circulante, de aproximadamente  $500\text{ m}^2$ , plantou-se a mesma espécie sob idênticas condições de adubação e espaçamento adotadas no interior dos tanques.

### 3.5. Operação do Evapotranspirômetro

As duas unidades evapotranspirométricas foram planejadas para manter constante o nível do lençol freático (aproximadamente 40 cm abaixo da superfície do solo). O processo evapotranspiratório provocava o abaixamento desse lençol, acarretando (pelo princípio dos vasos comunicantes) o acionamento do sistema de bóia instalado no tanque de controle e a consequente abertura da sua válvula de entrada d'água no referido tanque, reestabelecendo, automaticamente, o nível do lençol freático. Assim, a redução do volume d'água indicada no tanque de abastecimento corresponde ao consumido por evapotranspiração, haja vista que o tanque de controle foi mantido coberto.

As leituras eram feitas diariamente, às 7 horas da manhã, nos dois conjuntos evapotranspirométricos. Este equipamento mostrou-se de fácil operação, necessitando, apenas, de abastecimento periódico do tanque alimentador e limpeza dos condutos (para evitar possíveis obstruções) que poderiam dificultar ou impedir o suprimento contínuo da água para o evapotranspirômetro. Frequentemente, era introduzida uma régua de madeira por

meio de um cano de PVC, colocado verticalmente no interior do evapotranspirômetro, para verificar a altura do lençol freático, certificando-se do perfeito funcionamento do sistema.

### 3.6. Considerações sobre os Parâmetros $K_p$ , ECA, $ET_o$ , $ET_m$ e $K_c$

As definições dos parâmetros  $K_p$ , ECA,  $ET_o$ ,  $ET_m$  e  $K_c$ , são as seguintes (DOOREMBOS & KASSAM, 1979):

$K_p$  (Coeficiente do tanque "classe A"), valor pelo qual se deve multiplicar a leitura do tanque "classe A", para obter-se a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ );

$ET_o$  (Evapotranspiração de referência), quantidade d'água perdida por evaporação e transpiração, por uma superfície de grama batatais (*Paspalum notatum*, Fluigge), em condições ótimas de suprimento hídrico, borda dura e desenvolvimento vegetativo;

ECA, Evaporação medida no tanque "classe A";

$ET_m$  (Demanda climática ideal), perda de água por evapotranspiração necessária para o ótimo desenvolvimento da cultura; isto é,  $ET_m = K_c \cdot ET_o$ , sendo utilizados os  $K_c$ s recomendados pela FAO; e

$K_c$  (Coeficiente de cultura), valor pelo qual se deve multiplicar a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) para obter-se a demanda climática ideal. No presente trabalho, os valores utilizados para  $K_c$  foram os sugeridos por DOOREMBOS & KASSAM (1979) e os estimados pelos métodos empíricos estudados.

### 3.7. Irrigações Complementares

Visando assegurar a homogeneidade na cobertura do solo dentro e fora dos evapotranspirômetros, foram procedidas irrigações na área do expe



rimento que circundava os evapotranspirômetros. Isto permitiu manter um ótimo nível de umidade do solo e induzir, desta maneira, evapotranspiração máxima.

### 3.8. Determinação do Peso Seco e da Área Foliar da Cultura

O peso seco total das amostras colhidas foi obtido a partir dos pesos secos parciais das raízes, ramos, folhas e frutos. A secagem do material foi feita em estufa com circulação de ar, à temperatura de 70°C, até apresentar peso constante.

A área foliar de cada amostra foi calculada pelo método do peso seco, utilizando-se discos de folhas, colhidas com um vazador de 10,18 cm<sup>2</sup> de área, de acordo com a expressão:

$$P_d/A_d = P_f/A_f$$

onde  $P_d$  e  $P_f$  representam os pesos secos totais dos discos e das folhas, respectivamente;  $A_d$  e  $A_f$  traduzem as áreas foliares totais dos discos e das folhas, respectivamente.

### 3.9. Métodos Indiretos Usados para Estimar a Evapotranspiração ( $ET_0$ )

#### 3.9.1. Processo Aerodinâmico

No estudo da transferência turbulenta da massa, calor e quantidade de movimento, é habitual a introdução de hipóteses simplificadoras, haja vista a conhecida complexidade dos processos físicos envolvidos. Uma das hipóteses de que se costuma lançar mão é admitir a similaridade entre o processo da difusão molecular e o de difusão turbulenta. Sob essa hipótese, demonstram-se as seguintes equações:

$$E = - K_V \rho \frac{\partial q}{\partial z} \quad (3.1)$$

$$H = -K_H \rho C_p \frac{\partial T}{\partial z} \quad (3.2)$$

$$\zeta = K_m \rho \frac{\partial U}{\partial z} \quad (3.3)$$

Nessas equações, E, H e  $\zeta$  traduzem os fluxos verticais turbulentos de água, calor e quantidade de movimento, respectivamente, sendo  $K_v$ ,  $K_H$  e  $K_m$  os correspondentes coeficientes de difusão turbulenta. As grandezas  $\rho$ ,  $q$ , T e U indicam, respectivamente, a massa específica, a umidade específica, a temperatura e a componente horizontal do vetor velocidade do ar. Finalmente, z é a coordenada vertical.

Note-se que as equações (3.1, 3.2 e 3.3) pressupõem que a superfície evaporante é suficientemente extensa, horizontal e homogênea, condições necessárias para que se considerem nulas as componentes horizontais das variáveis consideradas. Por outro lado, a determinação dos coeficientes de difusão ( $K_v$ ,  $K_H$  e  $K_m$ ) envolve problemas do mesmo grau de dificuldade que a medida das grandezas em si. Vale salientar, ainda, que a massa específica do ar é de difícil medição. Devido a essas limitações, as equações mencionadas - que constituem o fundamento do chamado processo aerodinâmico - não são usadas para fins práticos.

### 3.9.2. Processo de Balanço Energético.

A transferência de vapor d'água para atmosfera, por evaporação e evapotranspiração, basicamente, é um processo de transformação de energia sendo, portanto, possível a aplicação do princípio de conservação da energia, representado pela expressão:

$$R_n - H - L.E \pm Q_s \pm H' \pm Q'_E + A = 0 \quad (3.4)$$

onde  $R_n$  representa o saldo de radiação; L.E o saldo de energia equivalente à evapotranspiração; H é o fluxo vertical de calor sensível para o ar;  $Q_s$  é o fluxo de calor sensível, decorrente das trocas de energia com o solo adjacente; H' é o fluxo de calor sensível provocado por advecção de calor;  $Q'_E$  é o fluxo de calor latente associado à advecção de vapor d'água e A traduz a variação no armazenamento de energia no sistema.

Essa expressão permite determinar a transferência vertical turbulenta de vapor d'água para a atmosfera (E), desde que sejam conhecidos todos os outros termos. Para períodos longos, a referida expressão permite que se façam algumas simplificações, facilitando, desse modo, seu uso.

De fato, como a fotossíntese envolve apenas cerca de 2% de energia solar, o mesmo ocorrendo com a variação da quantidade de calor no interior do sistema (GANGOPADHYAYA *et alii*, 1965), é possível desprezar A. Em se tratando de vegetação que ofereça cobertura uniforme do solo, para períodos longos, os termos de divergência também podem ser desprezados (MUNN, 1966). Finalmente, o fluxo médio  $\overline{Q_s}$ , ao longo de um dia, pode ser igualmente negligenciado (SELLERS, 1965) e, portanto, a expressão anterior se reduz a:

$$\overline{R_n} = \overline{H} + \overline{L.E} \quad (3.5)$$

Na prática, a utilização desta expressão não é simples, devido ao termo H apresentar obstáculos semelhantes àqueles encontrados quando se deseja medir diretamente E (PRIESTLEY, 1958).

Para contornar essas dificuldades, costuma-se usar a razão de BOWEN (1926), definida como:

$$B = \frac{H}{L.E} \quad (3.6)$$

Assim, substituindo-a nas equações (3.1) e (3.2), pode-se escrever:

$$B = \frac{C_p}{L} \frac{\Delta T}{\Delta q} \quad (3.7)$$

Sendo  $q = \frac{0,622 e}{q}$  a unidade específica do ar (admitindo  $P$  constante), a expressão anterior torna-se:

$$B = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (3.8)$$

sendo  $\gamma$  o parâmetro psicrométrico, definido por:

$$\gamma = P C_p / 0,622 L \quad (3.9)$$

onde:

$$L = 596,73 - 0,601 t \quad (3.10)$$

é o calor latente de evaporação e  $C_p$  é o calor específica do ar a pressão constante. Introduzindo essas variáveis na equação (3.5), tem-se:

$$R_n = LE \left( 1 + \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \right) \quad (3.11)$$

a qual foi empregada por Budiko, em 1958 (FERREIRA & PEIXOTO, 1962) para obter a evaporação média  $E$ , a partir do balanço energético ( $R_n$ ), da temperatura média do ar e da pressão de vapor ( $e$ ).

### 3.9.3. Método Combinado de Penman

PENMAN (1948) conseguiu, por processo dedutivo, uma expressão para estimar  $E$ . Partindo da equação que traduz o saldo médio de radiação numa superfície evapotranspirante e usando a expressão (3.1), obteve:

$$\frac{R_n}{L} = E - K_H \rho \frac{C_p}{L} \frac{\partial T}{\partial z} \quad (3.12)$$

que também pode ser posta sob a forma:

$$\frac{R_n}{L} = E - K_H \rho \frac{C_P}{L} \frac{\partial T}{\partial q_m} \cdot \frac{\partial q_m}{\partial z} \quad (3.13)$$

onde  $q_m$  é a umidade específica saturante e os demais símbolos têm o habitual significado. Considerando que  $\partial q_m = \partial(q_m - q) + \partial q$ , para condições em que a atmosfera não se afasta muito das condições de equilíbrio (quando  $K_H = K_V$ ), tem-se:

$$\frac{R_n}{L} = E - K_V \rho \frac{C_P}{L} \frac{\partial T}{\partial q_m} \left[ \frac{\partial(q_m - q)}{\partial z} + \frac{\partial q}{\partial z} \right] \quad (3.14)$$

Observa-se, porém, que  $\partial q_m = 0,622 \partial e_s / P$ , onde  $e_s$  é a pressão saturante do vapor d'água e  $P$  a pressão atmosférica. Assim, tem-se:

$$\frac{R_n}{L} = E + \frac{PC_P}{0,622L} (-E_a + E) \frac{\partial T}{\partial e_s} \quad (3.15)$$

ou,

$$E = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{R_n}{L} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} E_a \quad (3.16)$$

onde  $\Delta = \partial e_s / \partial T$  é a tangente à curva de saturação do vapor d'água e  $E_a$ , denominado poder evaporante do ar, é função do "deficit" de saturação do ar e da velocidade do vento (PENMAN, 1956; RIJTEMA, 1968), expresso por uma equação do tipo análogo à da lei de Dalton da evaporação. Penman empregou a seguinte equação para estimar  $E_a$ :

$$E_a = 0,35 (0,5 + 0,01 U_2) (e_s - e) \quad (3.17)$$

onde  $E_a$  é expresso em mm dia<sup>-1</sup>,  $U_2$  representa a velocidade do vento a 2 m acima da superfície evaporante, em milhas náuticas por dia;  $(e_s - e)$  é o **deficit** de saturação do ar, medido ao nível do abrigo, em mm Hg, isto é; a diferença entre as pressões de saturação ( $e_s$ ) e real ( $e$ ) do vapor. Valores de  $e_s$  para diferentes temperaturas constam na tabela A<sub>1</sub>.

Não dispondo de medidas diretas do saldo de radiação ( $R_n$ ) é possível obter um valor estimado, dado pela expressão de Brunt modificada por Penman:

$$R_n = Q(1-r) - \sigma T_a^4 \zeta (0,56 - 0,09 \sqrt{e}) (0,1 + 0,9 \frac{n}{N}) \quad (3.18)$$

onde  $r$  é o poder refletor da superfície;  $a$  e  $b$  parâmetros locais;  $\sigma$  a constante de Stefan-Boltzman;  $\zeta$  a emissividade;  $n$  traduz a insolação observada;  $N$  a duração efetiva do dia, dada por  $N = 2 \arccos(-\operatorname{tg} \phi \operatorname{tg} \delta) / 15$ , sendo  $\phi$  a latitude e  $\delta$  a declinação do Sol na data considerada;  $Q$  é a radiação solar global;  $e$  indica a pressão parcial de vapor e  $T$  a temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{K}$ ).

Note-se que, em geral,  $\Delta/(\Delta + \gamma)$  corresponde a cerca de 80% de  $\gamma/(\Delta + \gamma)$ . Isso indica que o termo energético  $\Delta/(\Delta + \gamma)R_n$  da equação de Penman (eq. 3.16) contribui mais efetivamente do que o termo aerodinâmico  $\gamma/(\Delta + \gamma)E_a$ , como se deduz da equação sob a forma:

$$E = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{R_n}{0,1L} + \frac{\gamma}{\gamma + \Delta} E_a \quad (3.19)$$

onde  $E$  é expresso em  $\text{mm dia}^{-1}$ , quando  $R_n$  e  $E_a$  são expressos em  $\text{cal cm}^{-2} \text{dia}^{-1}$  e  $\text{mm}$  respectivamente. Valores de  $\Delta/\gamma$  constam da tabela  $A_5$ .

#### 3.9.4. Método de Hargreaves

HARGREAVES (1974), em estudos realizados no Nordeste do Brasil, aplicou uma equação para estimar a evapotranspiração potencial, dada por:

$$ET_o = F.T.CH \quad (3.20)$$

em que  $F$  representa um fator dependente da latitude (tabela  $A_2$ );  $T$  expressa a temperatura média do ar em graus  $^{\circ}\text{F}$  e  $CH = 0,158(100 - UR)^{1/2}$  é o fator de correção para a umidade relativa média.

### 3.9.5. Método do Tanque "classe A"

Um método bastante usado para estimar a evapotranspiração é o método do tanque classe A, devido à sua fácil aplicação. Nesse método, a evaporação medida no tanque (ECA) é considerada proporcional à evapotranspiração potencial ( $ET_0$ ). Sendo  $K_p$  o fator de proporcionalidade, tem-se:

$$ET_0 = K_p \cdot ECA \quad (3.21)$$

onde ECA e  $ET_0$  são expressos na mesma unidade, em geral em mm/dia;  $K_p$  é o coeficiente adimensional de conversão. Normalmente, utiliza-se os valores de  $K_p$  recomendados pela FAO, obtidos em função da velocidade do vento, exposição do tanque e umidade relativa do ar (Tabela A<sub>3</sub>).

### 3.9.6. Método da Radiação

A FAO (1975), sugeriu a adoção de um método bastante simples para estimar a evapotranspiração ( $ET_0$ ), o qual leva em conta a radiação solar, teor de umidade do ar e a velocidade do vento. A equação empírica em que se baseia esse método, pode ser expressa como:

$$ET_0 = C (W \cdot R_s) \quad (3.22)$$

Nessa equação,  $R_s$  é a radiação solar global; W é um valor tabelado, referente ao efeito da radiação sobre a evapotranspiração de referência para diferentes temperaturas e altitudes (Tabela A<sub>4</sub>); C representa o coeficiente angular de ajuste de  $ET_0$ , obtido em função da umidade relativa do ar e da velocidade do vento (Tabela A<sub>6</sub>). Neste trabalho, utilizou-se, para  $R_s$ , dados obtidos com um actinógrafo bimetálico, do tipo Robitzsch-Fuess.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

##### 4.1. Operação e Desempenho dos Evapotranspirômetros

O modelo de evapotranspirômetro usado neste trabalho mostrou-se conveniente e prático, em virtude de sua operação ser bastante simples, exigindo apenas que se processem as leituras e o abastecimento periódico do tanque de alimentação. O nível do lençol freático no interior do evapotranspirômetro pode ser verificado frequentemente, através de um cano de PVC colocado verticalmente no seu interior, no qual era introduzida uma régua de madeira, o que conferiu maior segurança aos trabalhos.

A razão entre as áreas das secções retas do tanque de alimentação e do evapotranspirômetro é de 1:20. Essa relação permite que lâminas evapotranspiradas de até 0,05mm sejam facilmente detectadas. Tal precisão é considerada muito satisfatória, concordando com ASSIS (1978), ENCARNAÇÃO (1980) e BARBIERI (1981). Isso permite leituras a intervalos tão curtos como uma hora, se necessário, sem que se cometam erros apreciáveis. Note-se que nos lisímetros de drenagem, convencionais, o intervalo entre observações consecutivas não deve ser inferior a uma semana (JONES, 1980), a fim de minimizar erros na obtenção dos dados.

Este modelo de evapotranspirômetro, quando comparado a outros, apresenta as seguintes vantagens:

- i - custos de construção e instalação relativamente baixos com relação aos evapotranspirômetros de balança e de flutuação;
- ii - facilidade de construção (o material usado é facilmente obtido no comércio), de instalação e de operação; e



iii - precisão de leitura, considerada muito boa para finalidades práticas.

No que se refere aos cuidados operacionais, além do abastecimento, há necessidade de limpezas periódicas dos condutos e válvula da bôia colocada na caixa de controle do nível do lençol freático. A frequência dessas limpezas depende da rapidez com que se desenvolvem as algas no interior dos condutos expostos ao sol. Essas limpezas são necessárias para impedir obstruções e proporcionar um suprimento contínuo de água às plantas situadas no interior dos evapotranspirômetros.

Após a completa instalação dos evapotranspirômetros, deixou-se transcorrer cerca de seis meses para o plantio da cultura definitiva. Esse período de adaptação faz-se necessário para que se tenha uma compactação e acomodação das camadas do solo, assemelhando-o ao do perfil natural da área. ABOUKHALED *et alii* (1982), no entanto, afirmam que a alteração provocada no solo por ocasião da instalação, não constitui, de modo geral, sério problema na utilização de evapotranspirômetros.

#### 4.2. Comportamento das Plantas

O comportamento das plantas, que reflete o desempenho e funcionamento do evapotranspirômetro, foi avaliado por amostragem. Para essa análise, determinou-se, no final do experimento, o peso seco, a área foliar, a produção de vagens e o comprimento da raiz de feijoeiros situados dentro e fora dos evapotranspirômetros. Esses resultados se vê no quadro 4.1 e mostram que as plantas submetidas às condições internas dos evapotranspirômetros apresentam área foliar, peso seco e produção de vagens sempre maiores àquelas não submetidas a tais condições. Esse fato já era esperado, haja vista que, dispondo de um lençol freático a 40 cm de profundidade, não sofreram limitações hídricas. O sistema radicular das plantas co

letadas dentro dos evapotranspirômetros atingiu em média 22 cm de comprimento. Isso permite considerar que a profundidade de 40 cm, adotada para o nível do lençol freático, não produziu condições excessivas nem restritivas de umidade e aeração para o feijoeiro, nas condições do experimento.

De modo geral, parece que as condições que se desejava obter foram reproduzidas, uma vez que os resultados obtidos foram satisfatórios, o que permite recomendar o uso deste equipamento em estudo do consumo da água para cultura de sistema radicular não muito profundo.

#### 4.3. Comparação entre a Evapotranspiração Medida e Estimada

Em culturas que cobrem grande parte do solo e sob ótimas condições de umidade, a evapotranspiração máxima ( $ET_m$ ) pode exceder a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ); note-se que  $ET_m$  é função de vários fatores, tais como altura, rugosidade, geometria da folha, característica estomatal, estágio de crescimento da planta e condições climáticas do local, enquanto que a evapotranspiração de referência é função principalmente dos fatores climáticos prevaletentes.

Os valores médios para pântadas e decêndios de evapotranspiração máxima medida e estimada figuram nos quadros 4.2 e 4.3, respectivamente; as curvas de regressão correspondentes são mostradas nas figuras 4.3 e 4.4. Estes resultados mostram que os valores de evapotranspiração obtidos para decêndio apresentam-se mais consistentes. Essa maior correlação para períodos de 10 dias está perfeitamente de acordo com os resultados obtidos por DOOREMBOS & PRUITT (1975). Esses autores, dentre outros, sugerem que os métodos de estimativa da evapotranspiração, de Perman, Radiação e do Tanque "classe A", fornecem resultados satisfatórios para períodos não inferiores a 10 dias. Desta forma, o método de Hargreaves também se mostrou viável de ser aplicado, em condições semelhantes ao experimento, de

QUADRO 4.1. Valores médios amostrais da área foliar e peso seco das plantas no interior e exterior do evapotranspirômetro

CONDIÇÕES	ÁREA FOLIAR (cm <sup>2</sup> )/PLANTA	Nº DE FOLHAS POR PLANTA	Nº DE VAGENS POR PLANTA	PESO SECO (g)	
				FOLHAS + RAMOS POR PLANTA	VAGENS POR PLANTA
Evapotranspirômetro 1	2033,81	30	16	6,25	4,45
Evapotranspirômetro 2	2257,01	35	18	7,56	5,70
Área externa (média amostral)	1942,52	28	14	5,83	5,03

vez que se apresentou uma correlação da mesma magnitude dos métodos sugeridos por DOOREMBOS & PRUITT (1975).

Com relação à concordância apresentada pela regressão entre a evapotranspiração estimada e a medida, observa-se diferenças entre os valores encontrados para pântadas e decêndios. Enquanto para pântadas os coeficientes de correlação variaram entre 0,72 e 0,80, para decêndios, o menor valor obtido foi de 0,87.

Pode-se verificar, pela análise de variância (Apêndice B), que houve significância para regressão linear tanto para pântadas como para decêndios. No entanto, a dispersão observada em torno das curvas reflete que só em certas circunstâncias as estimativas podem ser consideradas fisicamente aceitáveis. Isso revela que os métodos usados constituem apenas modelos grosseiros do processo físico que pretendem representar. Vale salientar que foram feitas tentativas para ajustar outras curvas aos valores obtidos, mas os coeficientes de correlação se mostraram igualmente baixos.

Nas Figuras 4.1 e 4.2 são representados, graficamente, os valores acumulados da evapotranspiração máxima medida e estimada pelos métodos estudados. Vê-se, claramente, que os valores medidos foram sempre maiores que os estimados. Essa diferença pode ser atribuída ao fato de que os métodos empíricos não levam em consideração alguns efeitos físicos importantes, envolvidos no processo de evapotranspiração. Assim, caracteriza-se a necessidade de se efetuar comparações prévias, visando estabelecer correções apropriadas ao local e à cultura que se considerem, antes da adoção de qualquer método empírico.

QUADRO 4.2. Valores da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) estimados por diferentes métodos, por pêntricas

DATA	PÊNTRICA	MÉTODO			
		CLASSE A Eq. 3.21	PENMAN Eq. 3.19	HARGREAVES Eq. 3.20	RADIAÇÃO Eq. 3.22
01-05/11	1	5,8	5,6	4,9	5,7
06-10/11	2	5,6	5,8	5,1	5,9
11-15/11	3	5,9	5,9	5,0	6,0
16-20/11	4	5,5	5,9	4,8	5,9
21-25/11	5	5,8	6,2	5,2	6,3
26-30/11	6	6,0	6,0	4,9	6,1
31/11-04/12	7	6,2	5,6	4,7	5,8
05-09/12	8	5,8	5,7	5,0	5,7
10-14/12	9	5,9	5,6	4,9	5,5
15-19/12	10	5,8	5,9	5,3	5,7
20-24/12	11	5,9	5,8	5,2	5,8
25-29/12	12	6,1	5,5	5,2	5,3
30/12-03/01	13	6,3	5,6	5,2	5,4
04-09/01	14	5,8	5,8	5,4	5,7
10-14/01	15	5,3	5,6	5,4	5,5

QUADRO 4.3. Valores de evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) estimados por diferentes métodos, por decêndios

DATA	DECÊNIO	M É T O D O			
		CLASSE A	PENMAN	HARGREAVES	RADIAÇÃO
01-10/11	1	5,7	5,7	5,0	5,8
11-20/11	2	5,7	5,9	4,9	5,9
21-30/11	3	5,9	6,1	5,0	6,2
31/11-09/12	4	6,0	5,7	5,9	5,7
10-19/12	5	5,9	5,8	5,1	5,6
20-29/12	6	6,0	5,7	5,2	5,6
30/12-08/01	7	6,1	5,7	5,3	5,6
09-18/01	8	5,3	5,6	5,4	5,5

QUADRO 4.4. Valores de  $ET_m$  (mm) medidos e estimados por diferentes métodos, por pântada, utilizando-se os  $K_c$ s recomendados pela FAO

DATA	PÊNTADA	M É T O D O				
		EXPERIMENTAL	CLASSE A	PENMAN	HARGREAVES	RADIAÇÃO
01-05/11	1	4,0	3,5	3,4	3,0	3,4
06-10/11	2	4,0	3,4	3,5	3,1	3,5
11-15/11	3	4,1	3,8	3,9	3,2	3,9
16-20/11	4	4,6	3,7	4,0	3,3	4,1
21-25/11	5	5,0	4,2	4,3	3,7	4,7
26-30/11	6	4,9	4,7	4,7	3,8	4,8
31/11-04/12	7	5,6	5,4	5,1	4,1	5,1
05-09/12	8	5,5	5,7	5,6	4,9	5,6
10-14/12	9	5,7	6,0	5,8	5,0	5,7
15-19/12	10	6,0	5,4	5,6	4,9	5,3
20-24/12	11	5,9	4,9	4,8	4,3	4,8
25-29/12	12	6,1	4,6	4,2	4,0	4,1
30/12-03/01	13	5,9	4,2	3,6	3,3	3,6
04-09/01	14	4,5	3,6	3,8	3,4	3,5
10-14/01	15	3,6	3,2	3,4	3,2	3,2

QUADRO 4.5. Valores de  $ET_m$  (mm) medidos e estimados por diferentes métodos, por decêndio, utilizando-se os  $K_c$ s recomendados pela FAO

DATA	DECÊNDIO	M É T O D O				
		EXPERIMENTAL	CLASSE A	PENMAN	HARGREAVES	RADIAÇÃO
01-10/11	1	4,0	3,5	3,5	3,1	3,5
11-20/11	2	4,4	3,9	4,1	3,4	4,1
21-30/11	3	5,8	4,5	4,6	3,9	4,7
31/11-09/12	4	5,7	5,6	5,3	4,6	5,4
10-19/12	5	5,9	6,1	5,9	5,1	5,8
20-29/12	6	6,0	5,3	5,1	4,5	5,0
30/12-08/01	7	5,2	4,3	4,1	3,7	4,0
09-18/01	8	3,6	3,4	3,5	3,4	3,4



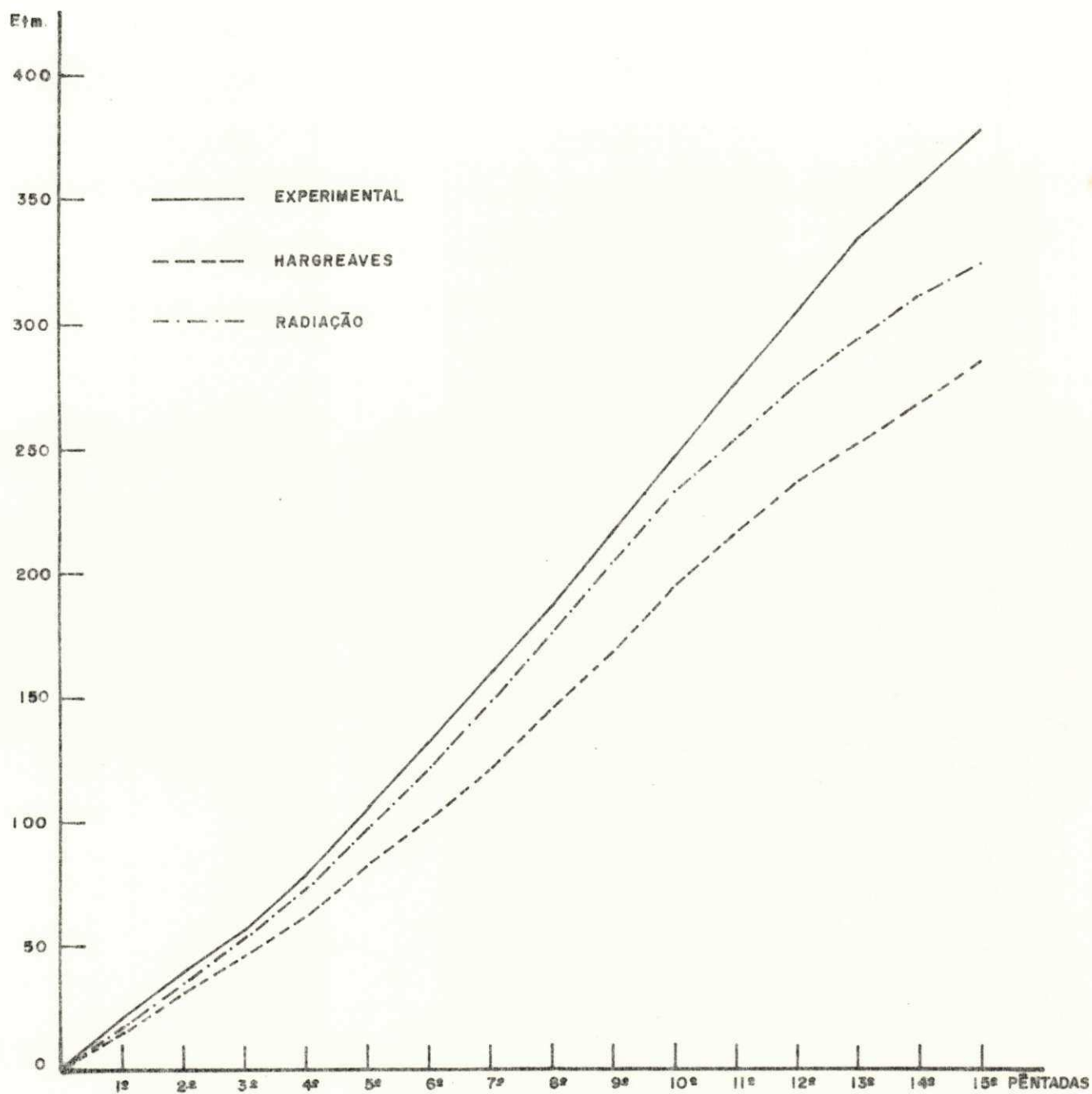


Fig. 4.1 - Valores acumulados de Etm, ao longo do ciclo vegetativo do feijoeiro.

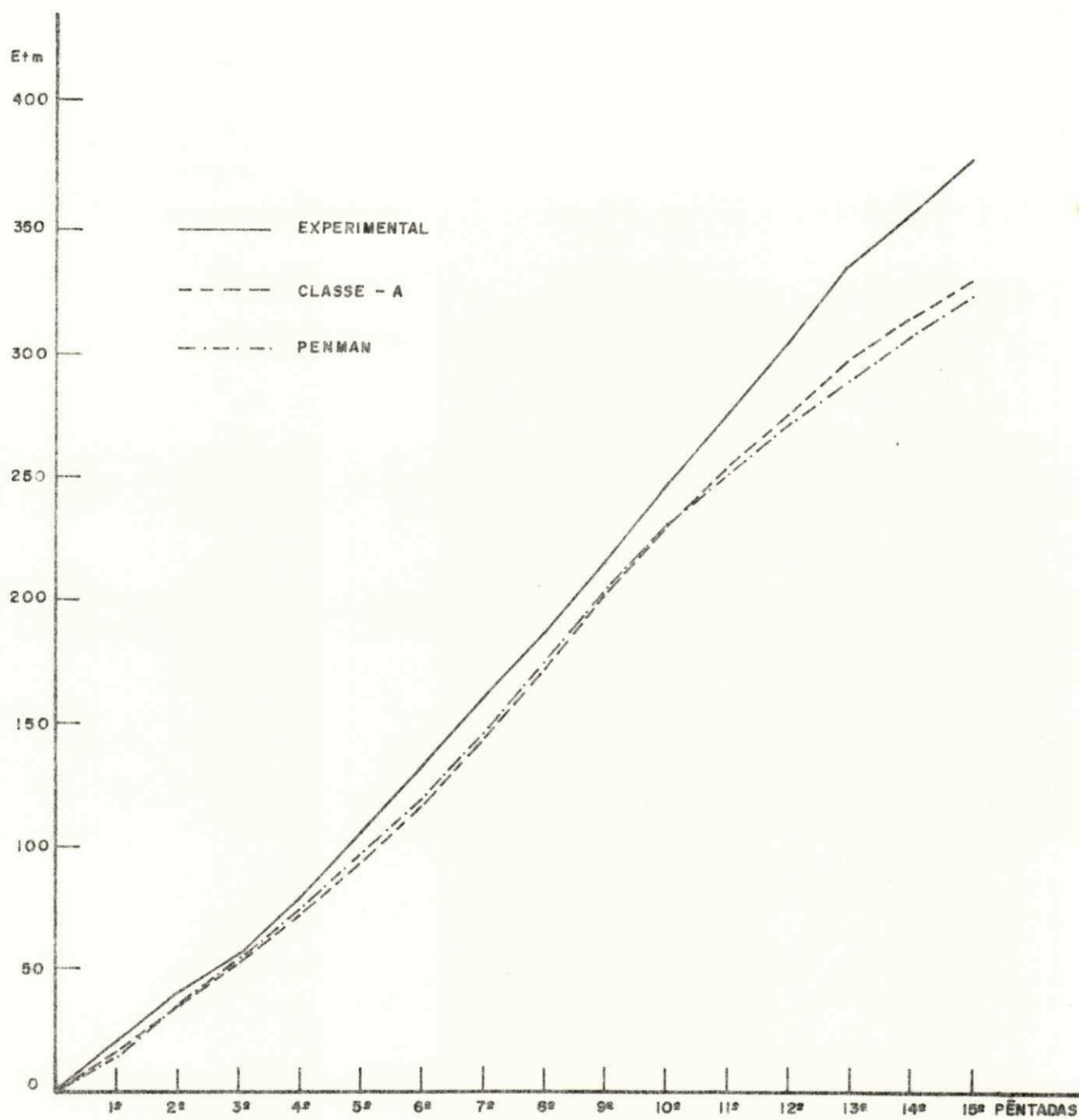


Fig. 4.2 - Valores acumulados de  $E_{tm}$ , ao longo do ciclo vegetativo do feijoeiro.

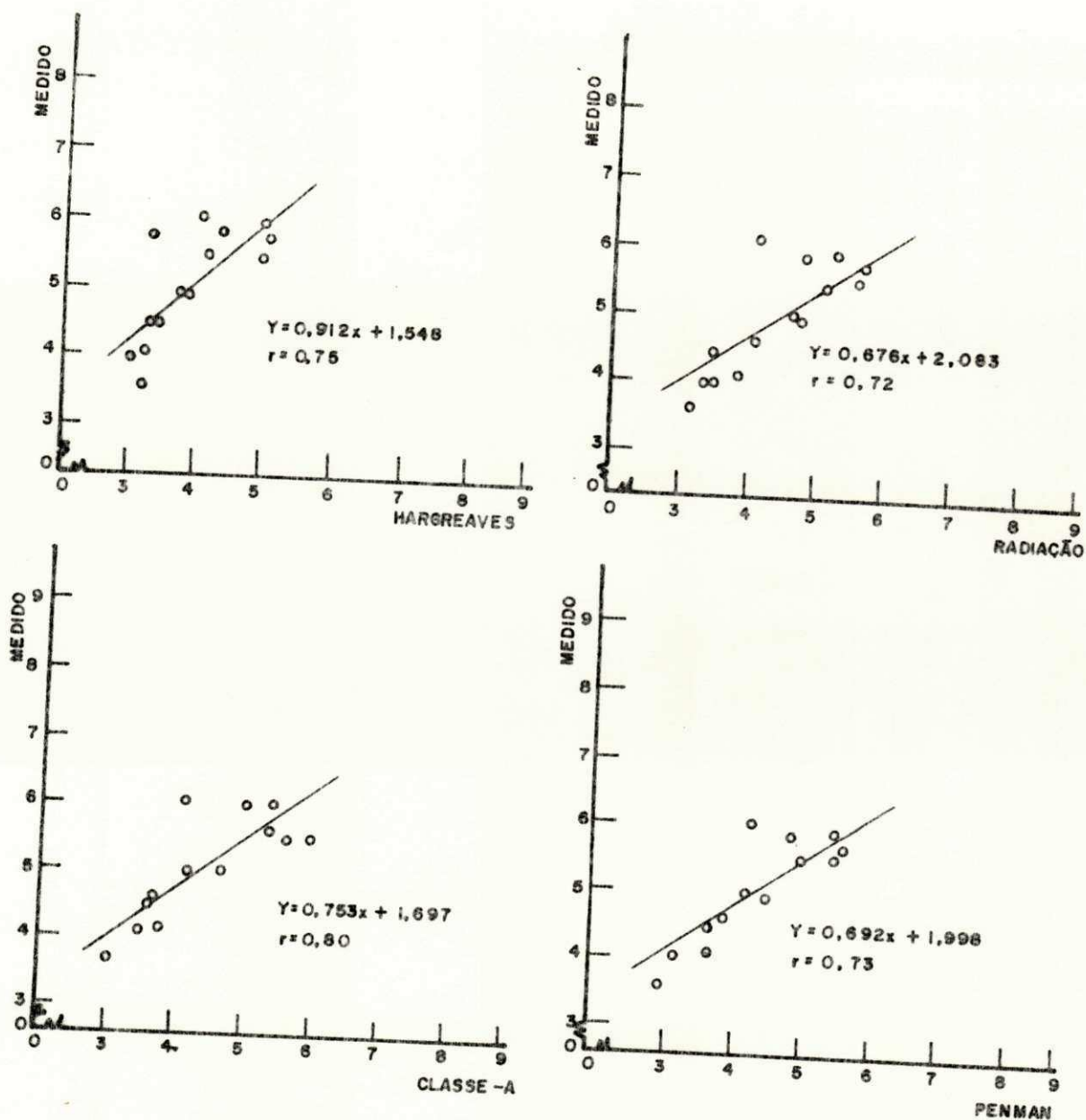


Fig. 4.3 — Correlação entre os valores médios de pântadas da evapotranspiração medida e os obtidos por estimativa pelos métodos estudados.

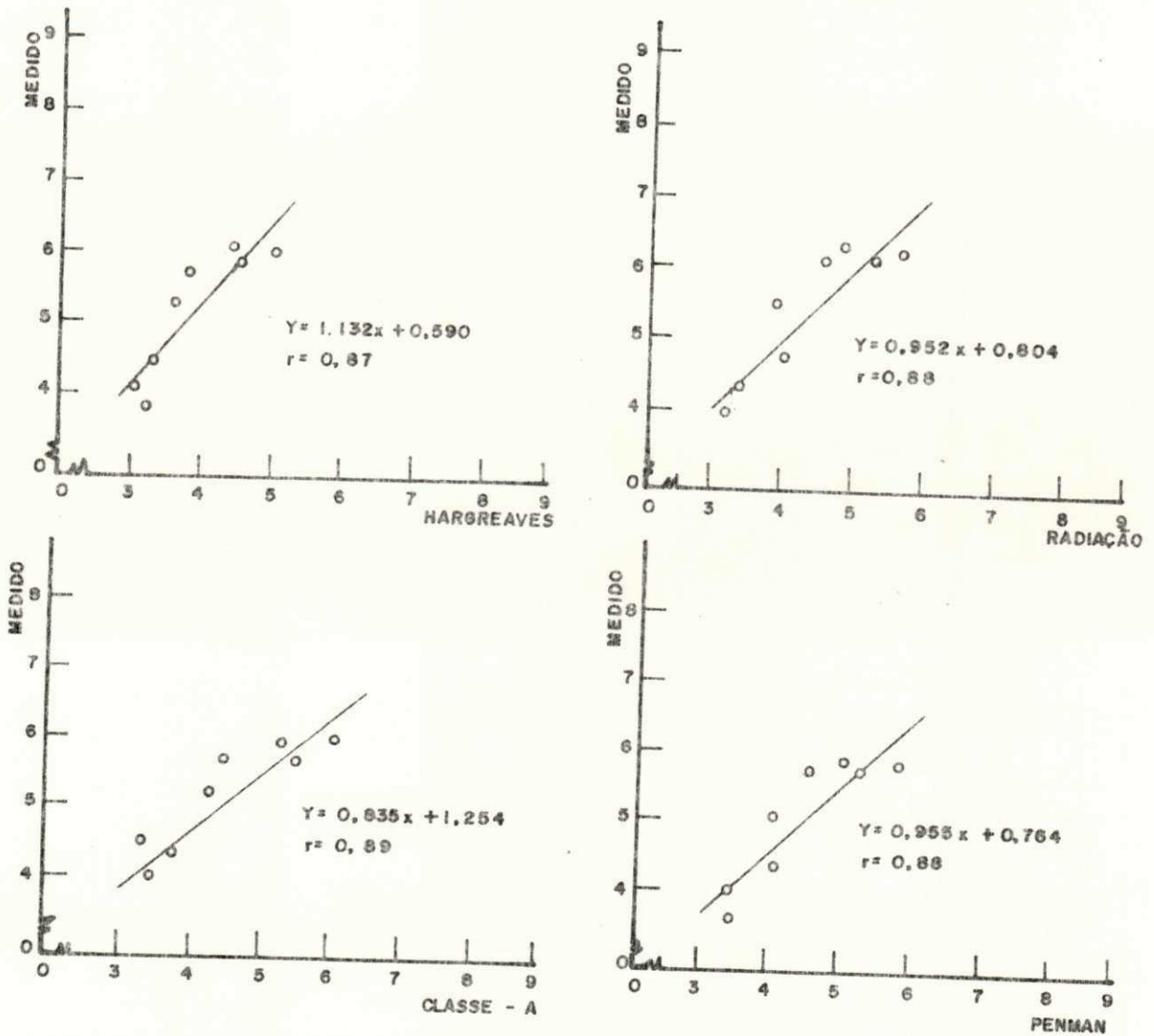


Fig. 4.4. — Correlação entre os valores médios de decêndios da evapotranspiração medida e os obtidos por estimativa pelos métodos estudados.

#### 4.4. Relação entre $ET_m$ e $ET_o$ estimados pelos diferentes métodos

Os fatores que afetam o coeficiente de cultura ( $K_c$ ) são, principalmente, as características biológicas das plantas, variando com a espécie vegetal, o seu estágio de crescimento, as condições climáticas, o tipo de solo e o conteúdo de umidade disponível. A grande variação no valor de  $K_c$  entre grupos de plantas é função, principalmente, da taxa de utilização da água pela planta, que está na dependência da eficiência do sistema radicular, do potencial de água do solo, da resistência estomática e dos fatores climáticos.

Encontram-se nos Quadros 4.6 e 4.7 os valores médios, por pântadas e decêndios, respectivamente, dos coeficientes de cultura sugeridos pela FAO (1979) e obtidos por estimativa. A representação gráfica correspondente consta das figuras 4.5 e 4.6. Observa-se claramente que os valores sugeridos pela FAO (1979) subestimaram aqueles obtidos por estimativa e que o método de Hargreaves apresentou os valores de  $K_c$  mais altos dentre os métodos estudados.

O fato dos valores de  $K_c$  sugeridos pela FAO (1979), subestimarem os obtidos por estimativa (Figuras 4.5 e 4.6), pode ser atribuído à bordadura (área tampão), pois se admite que o seu tamanho não era bastante grande, o que deve ter concorrido para um aumento da evapotranspiração medida devido à influência da energia advectiva. Convém salientar que esta é uma condição real e prevalecente no Nordeste, quando se tem parcelas irrigadas, sempre circundadas por meio árido (onde a irrigação não é efetuada com bordadura adequada). A energia advectiva contribui para aumentar bastante a evapotranspiração e isto sugere ser desaconselhável o uso de métodos empíricos para estimar  $ET_m$ , sem o prévio conhecimento dos ajustes necessários.

Nas Figuras 4.7 e 4.8 são representadas as correlações entre os va

lores médios de  $K_c$  para pântadas e para decêndios, respectivamente, estimados pelos diferentes métodos e os sugeridos pela FAO (1979). Este resultado revela que, para decêndios, os valores mostraram-se mais consistentes que os obtidos para pântadas, pois apresentaram maior coeficiente de correlação, embora a análise de variância, para os dois casos, mostre significância (Apêndice B). Essa análise revelou que os valores obtidos pelo método do tanque "Classe A", tanto para decêndios como para pântadas, foram os que apresentaram melhor concordância com os sugeridos pela FAO (1979). Tais resultados estão de acordo com os obtidos por ENCARNAÇÃO (1980) e BARBIERI (1981). Observa-se, também, que os métodos de Hargreaves, de Penman e da Radiação forneceram o mesmo grau de concordância quando considerados os valores médios por decêndios.

Destes resultados, podemos inferir que os valores de  $K_c$  diferem apenas em valor absoluto, quando considerados os decêndios, e sugerem que podem ser usados quaisquer dos métodos estudados para estimar a evapotranspiração de referência, para período mínimo de 10 dias, desde que se conheça suas relações com a evapotranspiração medida em evapotranspirômetro.

QUADRO 4.6. Valores de  $K_c$  estimados por diferentes métodos e calculados segundo a FAO (1979), por pântadas

DATA	PÊNTADA	M É T O D O				
		CLASSE A $K_{c1}$	PENMAN $K_{c2}$	HARGREAVES $K_{c3}$	RADIAÇÃO $K_{c4}$	FAO (1979) $K_{c0}$
01-05/11	1	0,69	0,71	0,82	0,70	0,61
06-10/11	2	0,71	0,69	0,78	0,68	0,61
11-15/11	3	0,70	0,70	0,82	0,68	0,65
16-20/11	4	0,84	0,78	0,96	0,78	0,68
21-25/11	5	0,86	0,81	0,96	0,79	0,72
26-30/11	6	0,85	0,82	1,00	0,80	0,78
31/11-04/12	7	0,90	1,00	1,19	0,97	0,88
05-09/12	8	0,95	0,98	1,10	0,98	0,98
10-14/12	9	0,97	1,03	1,16	1,04	1,02
15-19/12	10	1,03	1,02	1,13	1,05	0,93
20-24/12	11	1,00	1,02	1,13	1,03	0,83
25-29/12	12	1,00	1,11	1,16	1,15	0,77
30/12-03/01	13	0,94	1,05	1,13	1,09	0,65
04-09/01	14	0,78	0,78	0,83	0,79	0,62
10-14/01	15	0,68	0,64	0,67	0,65	0,60

QUADRO 4.7. Valores de  $K_c$  estimados por diferentes métodos e calculados segundo a FAO (1979), por decêndios

DATA	DECÊNDIO	M É T O D O				
		FAO	CLASSE A	PENMAN	HARGREAVES	RADIAÇÃO
01-10/11	1	0,61	0,70	0,70	0,80	0,69
11-20/11	2	0,68	0,77	0,73	0,90	0,73
21-30/11	3	0,76	0,98	0,95	1,11	0,94
31/11-09/12	4	0,93	1,05	1,00	1,16	0,98
10-19/12	5	1,02	1,00	1,02	1,16	1,04
20-29/12	6	0,88	1,00	1,05	1,18	1,07
30/12-08/01	7	0,71	0,87	0,91	1,00	0,93
09-18/01	8	0,62	0,68	0,64	0,67	0,65



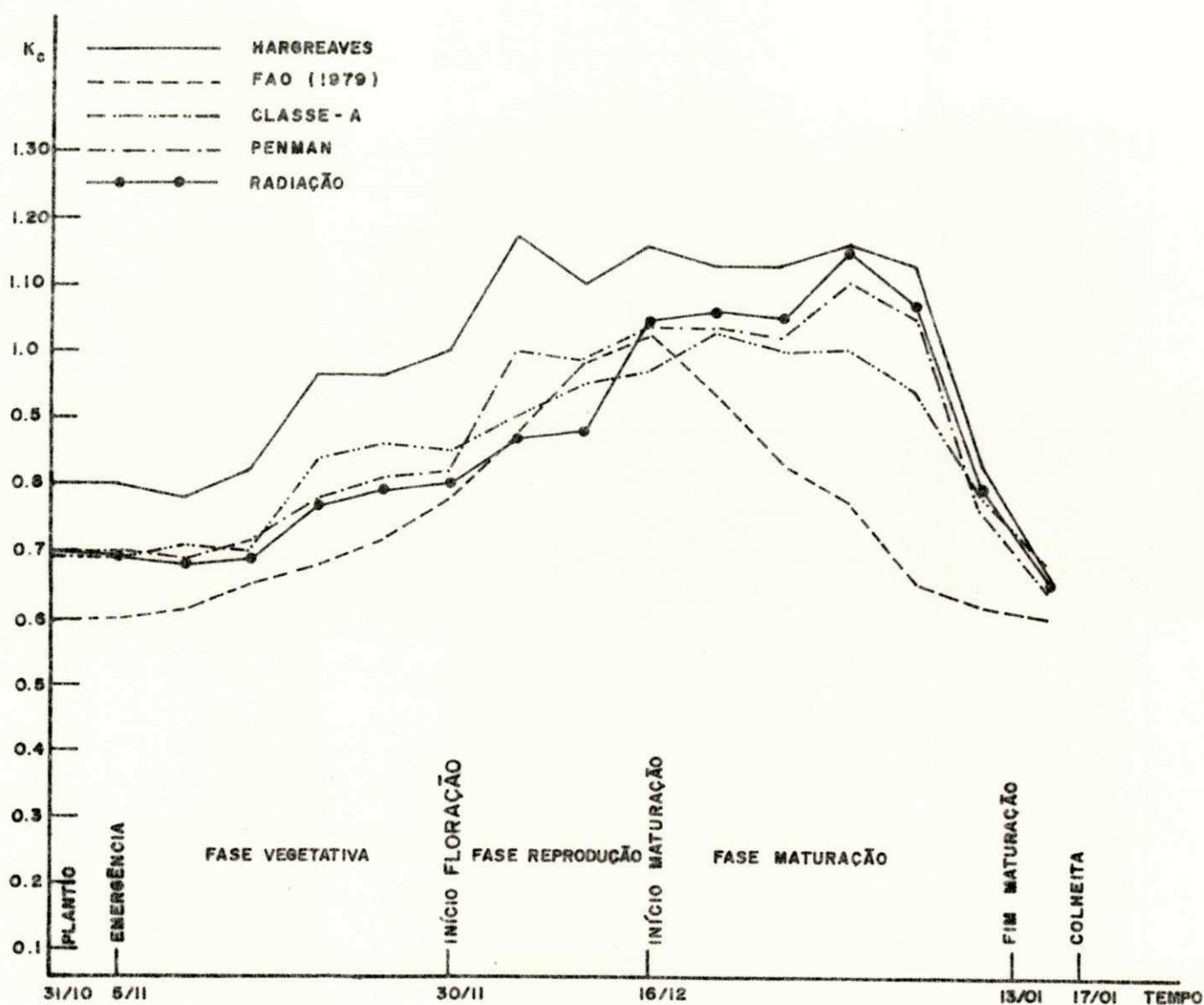


Fig. 4.5 - Comparação entre os valores de  $K_c$  estimados por diferentes métodos e preconizados pela FAO (1979) durante o ciclo vegetativo do feijoeiro, por pântadas.

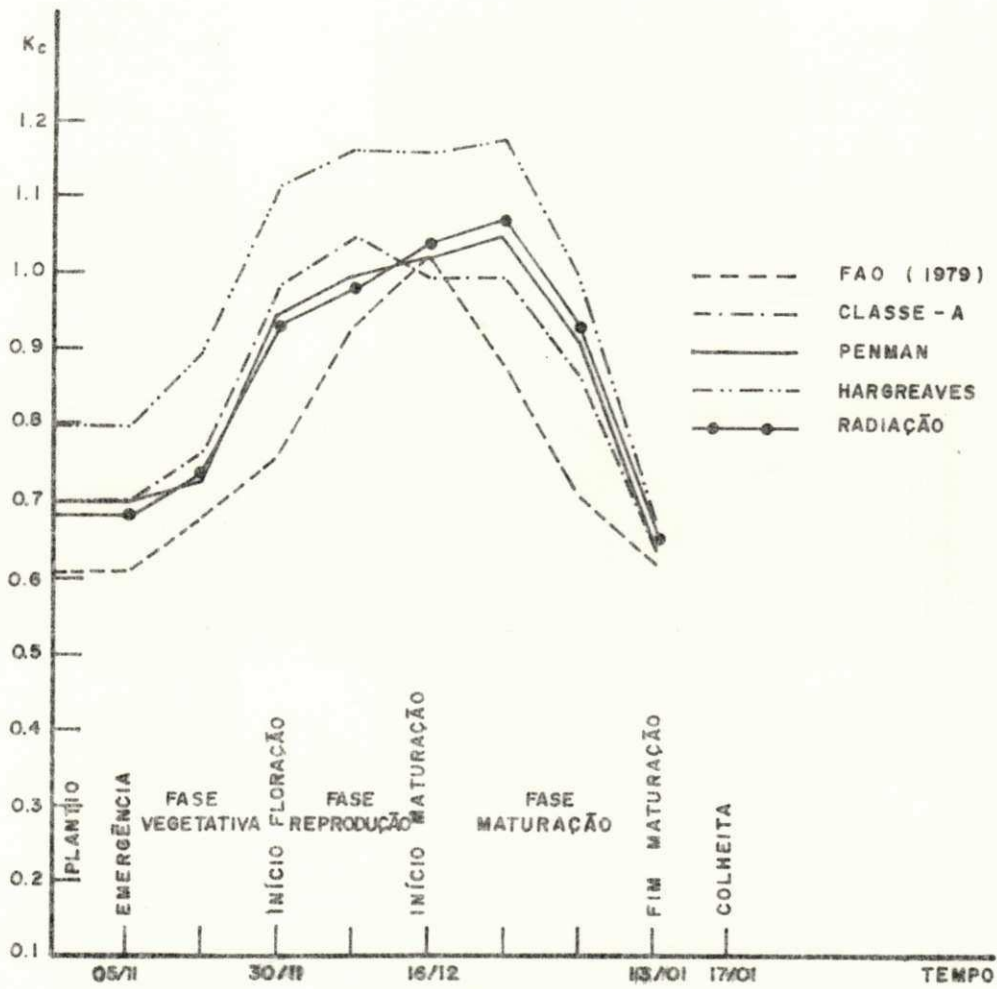


Fig. 4.6 - Comparação entre os valores de  $K_c$  estimados por diferentes métodos e preconizados pela FAO (1979) durante o ciclo vegetativo do feijoeiro, por decêndio.

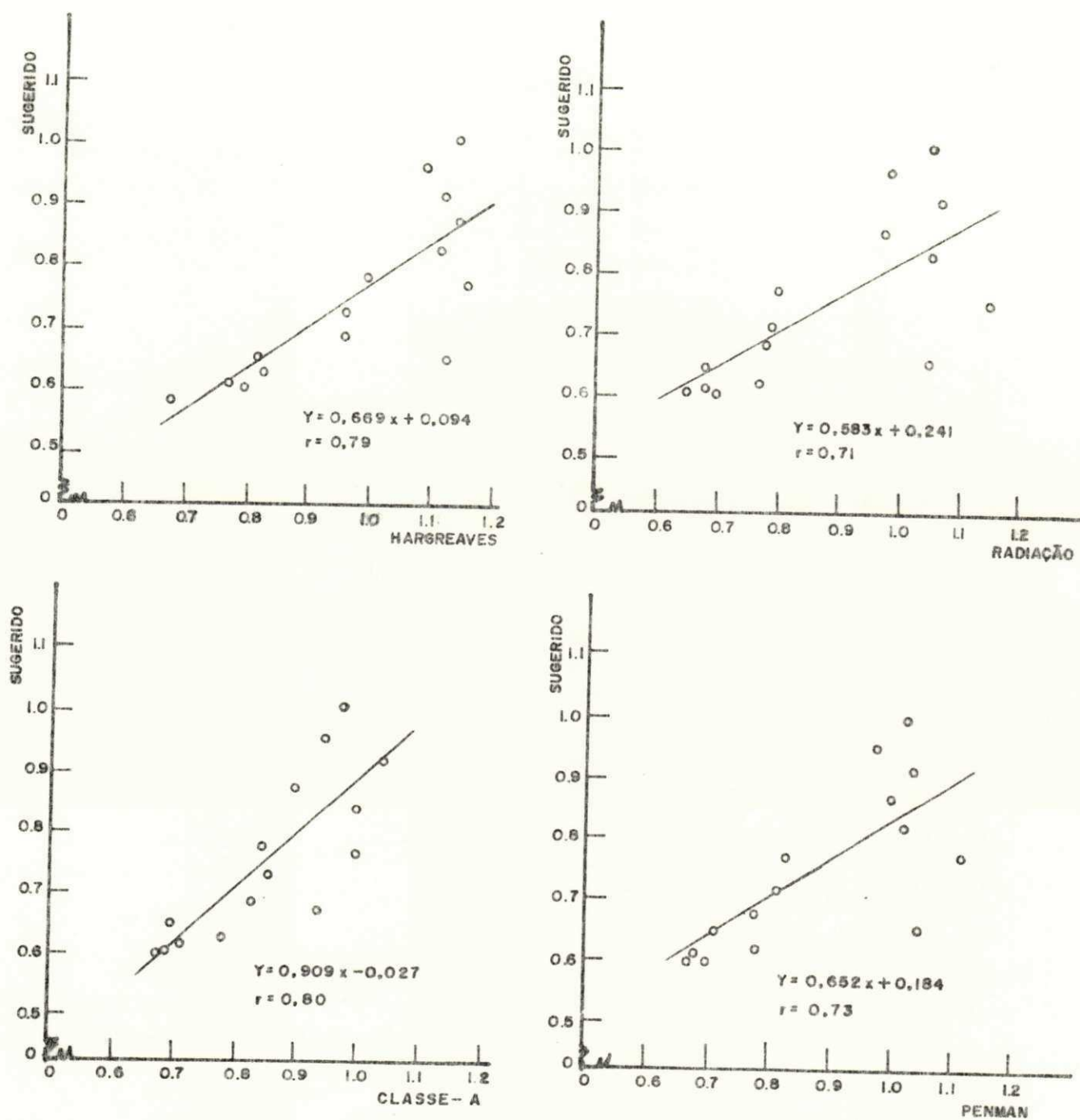


Fig. 4.7. - Correlação entre os valores médios de  $K_c$  por pântadas obtidos por estimativa e os sugeridos pela FAO (1979).

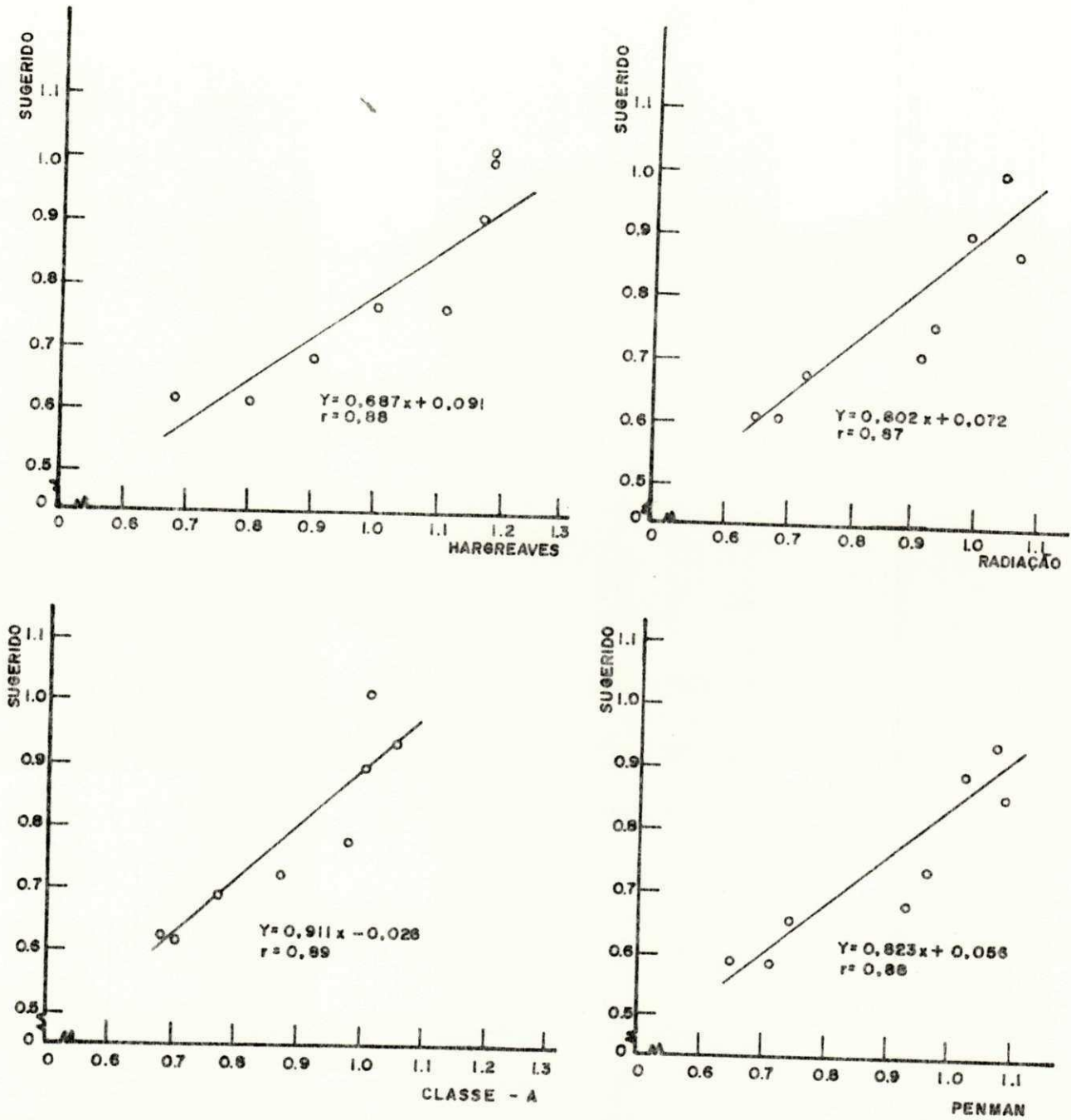


Fig. 4.8 -- Correlação entre os valores decedais de  $K_c$  obtidos por estimativa e os sugeridos pela FAO (1979).

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos dos evapotranspirômetros e sua correlação com valores estimados, permitiram as seguintes conclusões:

1) o evapotranspirômetro com profundidade do lençol freático constante, desde que instalado e operado convenientemente, apresenta desempenho satisfatório, pois permite o pleno desenvolvimento das plantas;

2) é um equipamento de fácil operação, manuseio e de baixo custo;

3) as plantas situadas no interior dos evapotranspirômetros apresentaram bom desenvolvimento (área foliar e produção de matéria seca) e, portanto, nas condições do experimento, houve um suprimento adequado de umidade às plantas, associado a uma boa aeração do solo;

4) verificou-se que os valores de  $ET_m$  estimados pelo método do tanque "classe A" apresentaram maior correlação com os medidos nos evapotranspirômetros, seguindo-se os métodos de Hargreaves, de Perman e da Radiação;

5) os valores do coeficiente de cultura ( $K_c$ ), sugeridos pela FAO (1979), subestimaram os obtidos por estimativas; o método do tanque "classe A" foi o que forneceu valores mais concordantes com aqueles;

6) os resultados obtidos por decêndio foram mais consistentes que os obtidos por pênadas, tanto para  $ET_m$  como para  $K_c$ ;

7) o período de realização do experimento corresponde à época do ano em que temperatura média do ar, radiação solar e insolação apresentam valores mais elevados, enquanto a umidade relativa média tende ao patamar mais baixo, evidenciando-se que os valores observados de  $ET_m$ , pro

vavelmente, aproximam-se dos máximos anuais para as condições do experimento;

8) de um modo geral, os métodos usados para estimativa de evapotranspiração da cultura ( $ET_m$ ) revelaram-se grosseiros.

Depreende-se, dos estudos desenvolvidos, que o uso deste equipamento deve ser estimulado em nossa região, haja vista fornecer valores condizentes com a realidade física prevalecente. Recomenda-se, portanto, a realização de estudos semelhantes em outras áreas do semi-árido para comparar os resultados advindos deste experimento e, inclusive, utilizar outras culturas.

## BIBLIOGRAFIA

- ABDEL-AZZIZ, M.H., TAYLOR, S.A. and ASHCROFT, G.L. Influence of advective energy on transpiration. *Agron. J.* 56(2):139-42, 1964.
- ABOUKHALED, A.; ALFARD, A. and SMITH, M. Lysimeters. ROMA. FAO, 1982. 67p.
- X AGUIAR, M.J.N. *Evapotranspiração em feijão comum (Phaseolus vulgaris, L.), estimada por evapotranspirômetros e fórmulas empíricas*. Piracicaba, ESALQ-USP, 1975. 55p. (Dissertação de Mestrado).
- ASSIS, F.N. *O uso do evapotranspirômetro no estudo de algumas relações entre a evapotranspiração medida e estimada*. Piracicaba, ESALQ-USP, 1978. 73p. (Dissertação de Mestrado).
- BAIER, W. The interrelationship of meteorological factors, soil moisture and plant growth. *J. Biomet.* 9(1):5-20, 1965.
- BARBIERI, V. *Medidas e estimativas de consumo hídrico em cana-de-açúcar (Saccharum spp)*. Piracicaba, ESALQ-USP, 1981. 82p. (Dissertação de Mestrado).
- BUCHMAN, H.O. & BRADY, N.C. *Natureza e propriedades dos solos*. São Paulo, Freitas Bastos S.A., 1976. 594p.
- BENINCASA, M.N.P. *Contribuição ao estudo ecológico do feijoeiro comum (Phaseolus vulgaris, L.); efeitos hídricos*. Jaboticabal, 1972. 93p. (Tese de Doutorado).
- X BERLATO, M.A. & MOLION, L.C.B. *Evaporação e Evapotranspiração*. Porto Alegre, IPAGRO. 95p. 1981.

- BLACK, T.A.; THURTELL, G.W. and TANNER, C.B. Hydraulic loadcell lysimeter construction, calibration and tests. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* 32(5):623-629, 1968.
- BLAINER, B.L. & ROSEMBERG, N.J. Lysimetric calibration of the Bowen ration-energy balance methods for evapotranspiration estimation in the central great plains. *J. meteorol.* 13(2):227-236, 1974.
- BLANEY, H.F. Climate as an index of irrigation needs. *Agric. U.S. Water.* 341-345, 1955.
- BOWEN, I.S. The ratio of heat losses by conduction and evaporation from any water surface. *Physical Review.* 27:779-87, 1926.
- CAMARGO, A.P. *Contribuição para determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo.* Piracicaba, ESALQ-USP, 1961. 49p. (tese de Doutorado)
- CHANG, S.H., CAMPBELL, R.B., BRODIE, H.W. and BAVER, L.D. Evapotranspiration research of the HSPA. In: *Congr. Int. Soc. Sugar Cane Tech.*, 12, Puerto Rico. Proceedings. Amsterdam Elsevier, 10-4, 1967.
- DAKER, A. *A água na agricultura.* 3. ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1970. 453p.
- DECKER, W.L. Precision of estimates of evapotranspiration in Missouri climate. *Agron. J.* 54(6):529-31, 1962.
- DENMEAD, O.T. & SHAW, R.H. Availability of soil water to plants as affected by soil-misture content and meteorological conditions. *Agron. J.* 54(5):385-390, 1962.
- DOOREMBOS, S.J. & PRUITT, W.O. *Guidelines for predicting crop water requirements.* Roma, FAO, 1975. 180p.



- DOOREMBOIS, J. & KASSAM, A.K. *Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos*. Roma, FAO, 1979. 213p.
- DYLLA, A.S.; TOMMONS, D.R. & SAULL, H. Estimating water used by irrigated corn in west central. *Soil. Sci. Soc. Am. J. Minnesota*, 44:823 - 827, 1980.
- EAGLEMAN, J.R. & DECKER, W.I. The role of soil moisture in evapotranspiration. *Agron. J.* 57:482-488, 1965.
- ENCARNAÇÃO, C.R.F. da. *Estudo da demanda de água do feijoeiro (Phaseolus vulgaris, L.)*. Piracicaba, ESALQ-USP, 1980. 82p. (Dissertação de Mestrado).
- X FERREIRA, H. & PEIXOTO, J.P. *Evaporação e Evapotranspiração*. Lisboa, Instituto Geofísico de Infante D. Luís, 1962. (Publicação nº 4).
- FOGLIATA, F.A. Sugarcane Irrigation in Tucuman. In: *Congr. Int. Soc. Sug. Cane Tech, 15, Urban Proceedings*. Curban Hayne e Gibson, 665-67 1974.
- FRITSCHER, L.J. & VAN BAVEL, C.H.M. Energy balance components of evaporating surfaces in arid lands. *J. Geoph. Research.* 57: 5179-85, 1962
- GAVANDE, S.A. & TAYLOR, S.A. Influence of soil water potential and atmospheric evaporative demand on transpiration and the energy status of water in plants. *Agron. J.* 59(1):31-35, 1967.
- GANGOPADHYAYA, M., HARBECK, G.E.; NORDENSON, T.J.; OMAR, M.H. and URYVAEV, V.A. *Measurements and estimation of evapotranspiration*. Geneva, OMM, 1966. 121p. (Technical note nº 83).
- HAISE, H.R. & HAGAN, R.W. Soil, plant and evaporative measurements as criteria for scheduling irrigation. In: HAGAN, R.W. *et alii* (ed), *Irrigation of agricultural Lands*. Mad. WI, *Amer. Soc. Agric.* 577-604, - 1967.

- HALSTED, M.H. & COVEY, W. Some meteorological aspects of evapotranspiration. *Soil. Science. Soc. Amer.*, Madison, 21(5):461-464, 1957.
- HANKS, R.J., JACOBS, H.S., SCHIMMELPFENNIG, H.E., and NIMAH, M. Evaluations of several methods for estimating evapotranspiration under semi arid conditions. In: *Physical aspects of soil water and salts in ecosystems*. New York, 245-273, 1973.
- HARGREAVES, G.H. *Potencial evapotranspiration and irrigation requirements for Northeast Brazil*. Utah State University, 1974. 55p.
- JENSEN, M.E., ROBB, D.C.N. and FRANZOY, C.E. Scheduling irrigation using climate-crop soil data. *J. Irrig. Drain. Div. ASCE*, 96:25-37, 1970.
- JONES, C.A. A review of evapotranspiration studies in irrigated sugarcane in Hawaii. *Hawaiian planter's Record*. Aiea, 59:195-214, 1980.
- KING, K.M., TANNER, C.B. & SUOMI, V.E. A floating lysimeter and its evaporation recorder. *Trans. Amer. Geophys. Union*. 37:738-42, 1956.
- LEMON, E.R., GLASSER, A.H. and SATTERWHITE, L.E. Some aspects of the relationship of soil, plant and meteorological factors to evapotranspiration. *Soil. Sc. Soc. Amer. Proc.* 21(5):464-468, 1957.
- LETTAU, H. Evapotranspiration climatology. In: *A new approach to numerical prediction of monthly evapotranspirations, runoff and soil moisture storage*. *Monthly wather Review*. Karachi, 97:691-699, 1969.
- MARLATT, W.E., HAVENS, A.V., WILLITS, N.A. and BRILL, G.D. A comparison of computed and measured soil moisture under snabeans. *J. Geophys Res* 66(2):535-41, 1961.
- MATHER, J.R. The measurements of potencial evapotranspiration. *Johns Hopkins Univ. Pub. on Climatology*, 7(1):7-28, 1954.

- ROSEMBERG, N.J. Seasonal patterns in evapotranspiration by irrigated alfalfa in the central great plains. *Agron. J.* 61:879-86, 1969.
- . *Microclimate*. Chicago, John Wiley & Sons, 1974. 301p.
- SEGINER, I. Wind effect on the evaporation rate. *Jour. Appl. Meteorol.* 10(2):215-220, 1971.
- SELLERS, W.D. *Physical Climatology*. Chicago, The University of Chicago 1959.
- SCALOPI, E.J. *Métodos climatológicos para avaliar a evapotranspiração*. Piracicaba, ESALQ/USP, 1972. 71p. (Dissertação de Mestrado).
- SCARDUA, R. *Evapotranspiração real da cultura do milho como base aos projetos de irrigação*. Piracicaba, ESALQ, 1970 (Tese de Doutorado).
- SLATYER, R.O. & McILROY, I.C. Evaporation and the principles of its measurements. In: *Practical microclimatology*. Austrália, UNESCO, 47 - 134, 1961.
- TANNER, C.B. Energy balance approach to evapotranspiration from crops. *Proc. Soil. Sci. Soc. Amer.* 24(1):19, 1960.
- . Measurements of evapotranspiration. *Agron. J.* 11 : 534-574, 1967.
- TANNER, C.B. & LEMON, E.R. Radiant energy utilized in evapotranspiration. *Agron. J.* 54(3):207-212, 1962.
- THORNTHWAITE, C.W. The moisture-factor in climate. *Trans. Am. Geoph. Union.* 27:41-48, 1944.
- THORNTHWAITE, C.W. & HARE, F.K. The loss of water to the air meteorological Monographs. 6:163-170, 1965.

- MEDINA, B.F. & GONDIM, A.W. da. Estimativa de evapotranspiração em Areia (PB). *Agropecuária técnica*. UFPB, Areia, 1(1):68-69, 1980.
- NOTA, F.S. da & BEIRSDORF, M.L.C. Medidas e estimativas da evapotranspiração potencial em Pelotas (RS), *Ciência e Cultura*, 28(6):666-72, 1975.
- MUNN, R.E. *Descriptive Micrometeorology*. Academic Press, New York, 1966 245p.
- MONIEITH, J.L. Evaporation and environment symp. *Soc. Expted. Biol.* 19: 205-234, 1965.
- NORERO, A. *Evaporacion y transpiracion*. CIDIAI. Merida, Venezuela, 1976
- OLIVEIRA, A.S. *Estudos comparativos da evaporação potencial estimada por tanques e pelo método de Penman*. Piracicaba, ESALQ-USP, 1971. 90 p. (Tese de livre docência).
- OMETTO, J.C. *Uma relação para a estimativa da evapotranspiração potencial; sua aplicação no cálculo das necessidades hídricas e o rendimento agro-industrial da cana-de-açúcar na região de Piracicaba-SP*. Piracicaba, ESALQ-USP, 1974 (Tese de livre docência).
- PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, base soil and grass. *Rev. Soc. London. Proc. Ser.* 193:120-45, 1948.
- . *Evaporation: An introductory survey*, *Neth. J. of Agriculture Science*. 4:9-29, 1956.
- PRIESTLEY, C.H.B. *Turbulent transfer in the lower Atmosphere*. Chicago. University of Chicago, 1958.
- RIJIEMA, P.E. *Dirived Meteorological Data: Transpiration*. In: UNESCO. *Agroclimatological methods; Proceedings of Reading Symposium, Paris*. 55-71, 1968.

TOVEY, R.; SPENCER, I.S. and MUCHEL, D.C. Turfgrass evapotranspiration  
*Agron. J.* 61(6):863-67, 1969.

VAN BAVEL, C.H.M. Lysimetric measurements of evapotranspiration rates  
in the Eastern United States. *Proc. Soil. Sci. Amer.* 25(2):138-141 ,  
1961.

↓  
VAREJÃO-SILVA, M.A. *Evapotranspiração em cultura irrigada no semi-árido  
submédio São Francisco.* São José dos Campos, INPE, 1977. 97p. (Dis-  
sertação de Mestrado).

VILLA NOVA, N.A. *Estudos sobre o balanço de energia em cultura de arroz*  
Piracicaba, ESALQ/USP, 1967, 78p. (Tese de Doutorado).

APĒNDICE A

TABELA A<sub>1</sub> - Pressão máxima do vapor, sobre água, em milímetros.

°C	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	7.91	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	13.79	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	19.81
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	32.76	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	36.37	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	66.16	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

TABELA A<sub>2</sub> - Fator F de correção da evapotranspiração de referência em mm por mês, método de HARGREAVES.

LAT	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	7.08	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	1.39	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	2.17	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	2.06	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	1.69	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	1.73	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	2.53	2.80
-18	2.79	2.36	2.31	1.87	1.60	1.39	1.50	1.79	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	2.03	2.51	2.67	2.86
-20	2.84	2.38	2.29	1.82	1.53	1.32	1.43	1.72	2.00	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	2.03	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	1.29	1.59	2.98	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

Transcrito de "Potencial Evapotranspiration and Irrigation Requirements for Northeast Brazil". HARGREAVES (1974).



TABELA A<sub>3</sub> - Valores do coeficiente de conversão do tanque "Classe A" ( $K_p$ ), para estimativa da evapotranspiração potencial (ETP).

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

Transcrito de: efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos, FAO (1979)

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

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

TABELA A<sub>4</sub> - Valores do fator de ajuste (W) para estimativa de ET, (\*) em relação à temperatura e altitude.

Temperatura (°C)	02	04	06	08	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
0	0.43.	46.	49.	52.	55.	58.	61.	64.	66.	69.	71.	73.	75.	77*	78.	80.	82.	84.	84.	85
500	.45.	48.	51.	54.	57.	60.	62.	65.	67.	70.	72.	74.	76.	78.	79.	81.	82.	84.	85.	86
1.000	.46.	49.	52.	55.	58.	61.	64.	66.	69.	71.	73.	75.	77.	79.	80.	82.	83.	85.	86.	87
2.000	.49.	52.	55.	58.	61.	64.	66.	69.	71.	73.	76.	77.	79.	81.	82.	84.	85.	86.	87.	88
3.000	.52.	55.	58.	61.	64.	66.	69.	71.	73.	76.	77.	79.	81.	82.	84.	85.	86.	88.	88.	89

Transcrito de "Yield Response to Water", FAO (1979).

TABELA A<sub>5</sub> - Valores  $\frac{\Delta}{Y}$  (não dimensionais) em função da temperatura (°C)

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

Transcrito de BERLATO & MOLION (1981) "Evaporação e Evapo - transpiração".

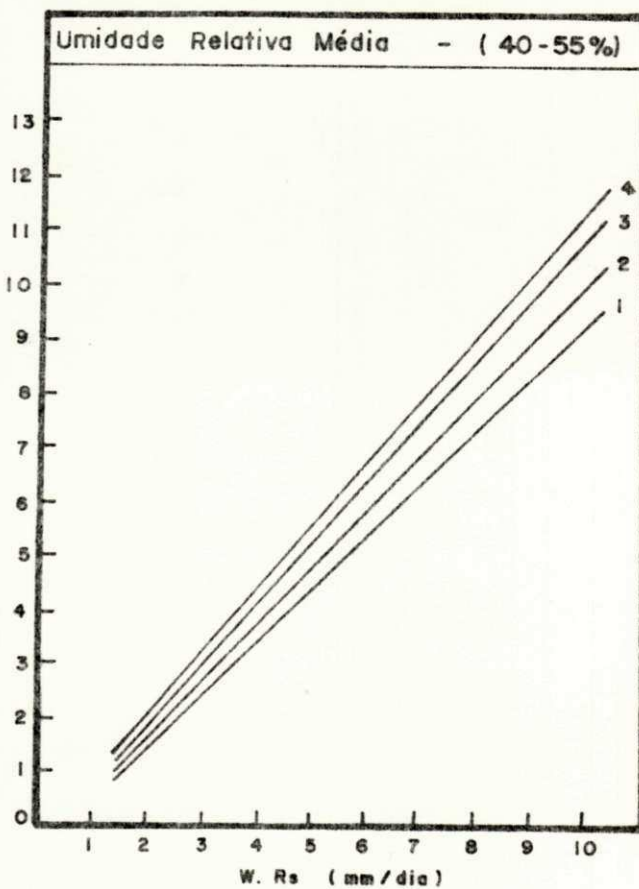
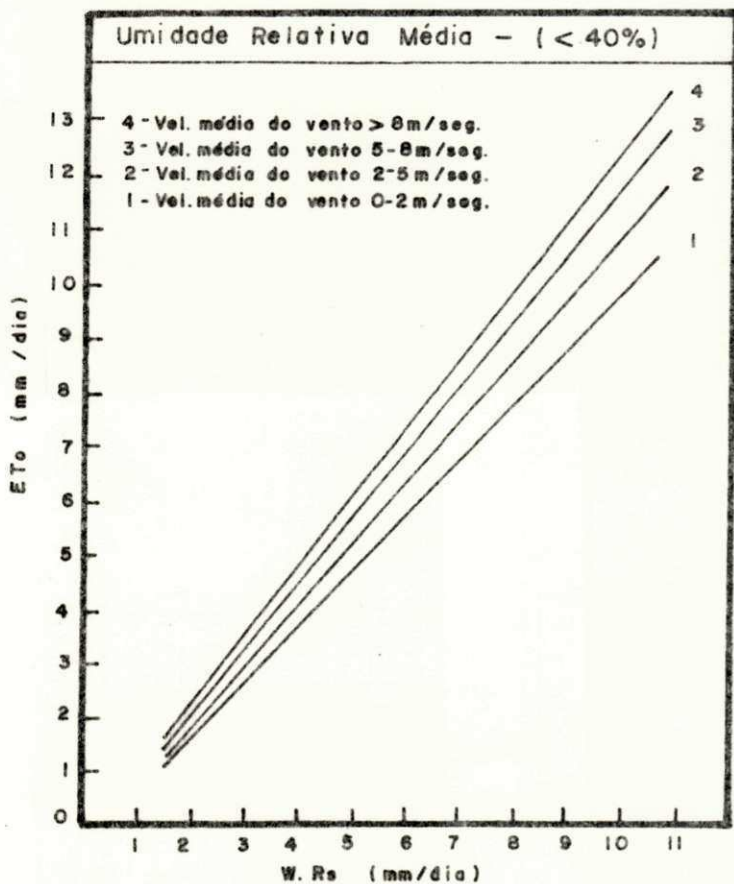
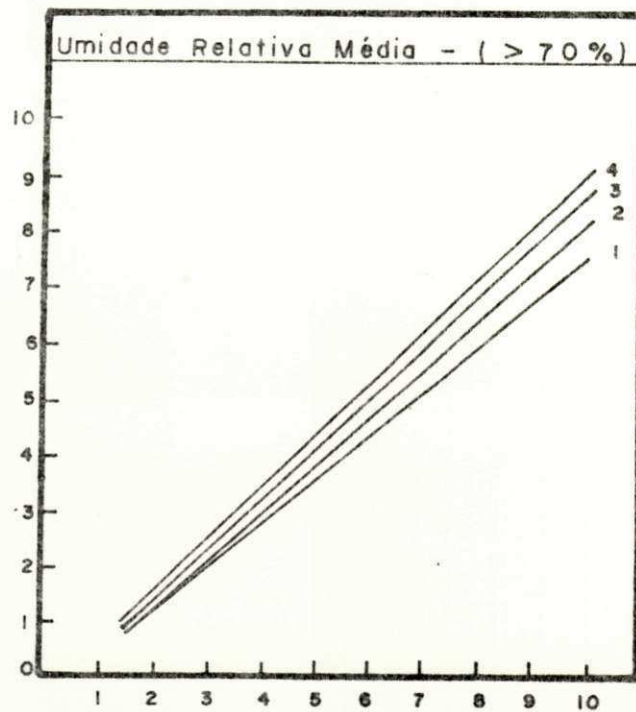
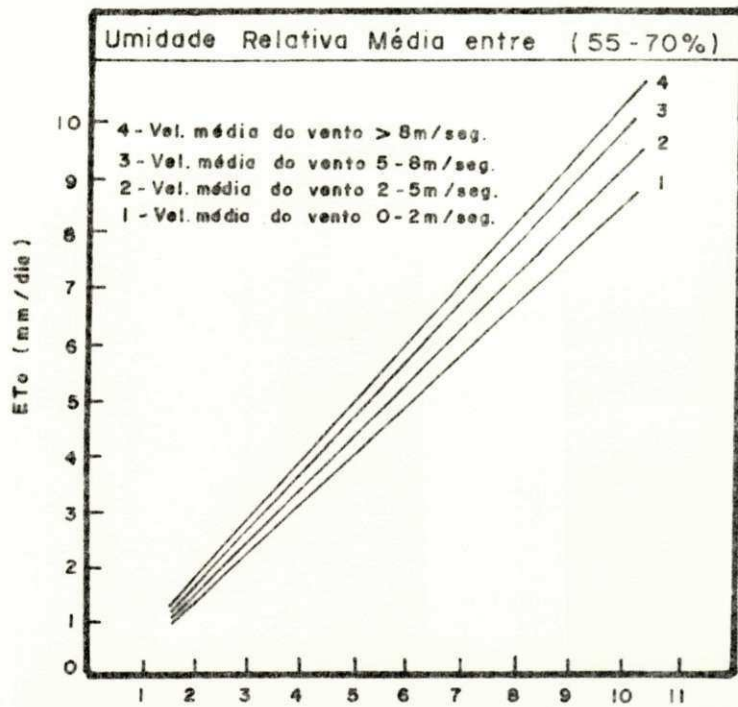


Tabela. A<sub>6</sub> - Coeficiente angular de ajuste para estimativa de ETo em relação à velocidade do vento (u) e umidade relativa (UR). Transcrito de "Yield Response to Water", FAO (1979).

APÉNDICE B

TABELA B<sub>1</sub> - Análise de variância dos dados de evapotranspiração medida e estimada - valores médios de pântadas.

MÉTODO DO TANQUE"CLASSE A".

C. VARIAÇÃO	G.L	S.Q	Q.M	F
Reg. Linear	1	6,4959	6,4959	23,307 **
Resíduo	13	3,6135	0,2780	-
TOTAL	14	10,1093	-	-

\*\* significativo, ao nível de 1% de probabilidade.

Equação de regressão :  $y = 0,753 x + 1,697$   $r = 0,80$

MÉTODO DE PENMAN .

C. VARIAÇÃO	G.L	S.Q	Q.M	F
Reg. Linear	1	4,7083	4,7083	11,333 **
Resíduo	13	5,4010	0,4155	-
TOTAL	14	10,1093	-	-

Equação de regressão:  $y = 0,692 x + 1,998$   $r = 0,73$

TABELA B<sub>2</sub> - Análise de variância dos dados de evapotranspiração medida e estimada - valores médios de pântadas.

MÉTODO DE HARGREAVES.

C. VARIAÇÃO	G.L	S.Q	Q.M	F
Reg. Linear	1	5,6240	5,6240	16,300 **
Resíduo	13	4,4853	0,3450	-
TOTAL	14	10,1093	-	-

Equação de regressão:  $y = 0,912 x + 1,548$   $r = 0,75$

MÉTODO DE RADIAÇÃO.

C. VARIAÇÃO	G.L	S.Q	Q.M	F
Reg. Linear	1	4,5425	4,5425	10,608 **
Resíduo	13	5,5668	0,4282	-
TOTAL	14	10,1093	-	-

Equação de regressão:  $y = 0,676 x + 2,083$   $r = 0,72$

TABELA B<sub>3</sub> - Análise de variância dos dados de evapotranspiração medida e estimada - valores médios por decêndio.

MÉTODO DO TANQUE "CLASSE A".

C. VARIAÇÃO	G.L	S.Q	Q.M	F
Reg. Linear	1	4,8646	4,8646	27,989 **
Resíduo	6	1,3904	0,1738	-
TOTAL	7	6,2550	-	-

Equação de regressão:  $y = 0,835 x + 1,254$   $r = 0,90$

MÉTODO DE PENMAN .

C. VARIAÇÃO	G.L	S.Q	Q.M	F
Reg. Linear	1	4,4061	4,4061	19,066 **
Resíduo	6	1,8489	0,2311	-
TOTAL	7	6,2550	-	-

Equação de regressão:  $y = 0,955 x + 0,764$   $r = 0,88$



TABELA B<sub>4</sub> - Análise de variância dos dados de evapotranspiração medida e estimada - valores médios por decêndio.

MÉTODO DE HARGREAVES.

C. VARIAÇÃO	G.L	S.Q	Q.M	F
Reg. Linear	1	4,4061	4,4061	14,30 **
Resíduo	6	1,8489	0,3081	-
TOTAL	7	6,2550	-	-

Equação de regressão:  $y = 1,132 x + 0,590$   $r = 0,87$

MÉTODO DE RADIAÇÃO.

C. VARIAÇÃO	G.L	S.Q	Q.M	F
Reg. Linear	1	4,8989	4,8989	21,67 **
Resíduo	6	1,3561	0,2260	-
TOTAL	7	6,2550	-	-

Equação de regressão:  $y = 0,952 x + 0,804$   $r = 0,88$

TABELA B<sub>5</sub> - Análise de variância dos dados de coeficiente de cultura estimado e sugerido pela FAO (1979) - Valores médios por pântadas.

MÉTODO DO TANQUE "CLASSE A"

C. VARIACÃO	G.L	S.Q	Q.M	F
Reg. Linear	1	0,1718	0,1718	57,267 **
Resíduo	13	0,0439	0,0034	-
TOTAL	14	0,2157	-	-

Equação de regressão:  $y = 0,909 x - 0,027$   $r = 0,80$

MÉTODO DE PENMAN

C. VARIACÃO	G.L	S.Q	Q.M	F
Reg. Linear	1	0,1741	0,1741	13,341 **
Resíduo	13	0,1800	0,0138	-
TOTAL	14	0,3541	-	-

Equação de regressão:  $y = 0,652 x + 0,184$   $r = 0,73$

TABELA B<sub>6</sub> - Análise de variância dos dados de coeficiente de cultura estimado e sugerido pela FAO (1979), valores médios por pântadas.

MÉTODO DE HARGREAVES.

C. VARIAÇÃO	G.L	S.Q	Q.M	F
Reg. Linear	1	0,2012	0,2012	11,971**
Resíduo	13	0,2185	0,0168	-
TOTAL	14	0,4197	-	-

Equação de regressão:  $y = 0,669 x + 0,094$   $r = 0,79$

MÉTODO DA RADIAÇÃO.

C. VARIAÇÃO	G.L	S.Q	Q.M	F
Reg. Linear	1	0,1973	0,1973	11,675**
Resíduo	13	0,2192	0,0169	-
TOTAL	14	0,4165	-	-

Equação de regressão:  $y = 0,583 x + 0,241$   $r = 0,71$

TABELA B<sub>7</sub> - Análise de variância dos dados de coeficiente de cultura estimado e sugerido pela FAO (1979) - valores médios por decêndio.

MÉTODO DO TANQUE "CLASSE A".

C. VARIAÇÃO	G.L	S.Q	Q.M	F
Reg. Linear	1	0,1384	0,1384	39,426**
Resíduo	6	0,0211	0,0035	-
TOTAL	7	0,1598	-	-

Equação de regressão:  $y = 0,011 x - 0,026$   $r = 0,90$

MÉTODO DE PENMAN.

C. VARIAÇÃO	G.L	S.Q	Q.M	F
Reg. Linear	1	0,1302	0,1302	26,366**
Resíduo	6	0,0296	0,0049	-
TOTAL	7	0,1598	-	-

Equação de regressão:  $y = 0,823 x + 0,056$   $r = 0,88$

TABELA B<sub>8</sub> - Análise de variância dos dados do coeficiente de cultura estimado e sugerido pela FAO (1979) - valores médios por decêndio.

MÉTODO DE HARGREAVES.

C. VARIAÇÃO	G.L	S.Q	Q.M	F
Reg. Linear	1	0,1202	0,1202	18,216 **
Resíduo	6	0,0396	0,0066	-
TOTAL	7	0,1598	-	-

Equação de regressão:  $y = 0,687 x + 0,091$   $r = 0,88$

MÉTODO DA RADIAÇÃO.

C. VARIAÇÃO	G.L	S.Q	Q.M	F
Reg. Linear	1	0,1217	0,1217	19,160 **
Resíduo	6	0,0381	0,0064	-
TOTAL	7	0,1598	-	-

Equação de regressão:  $y = 0,802 x + 0,072$   $r = 0,87$