

EXIGÊNCIAS HÍDRICAS E COEFICIENTES CULTURAIS  
BATATA (*Solanum tuberosum* L.)

CARLOS RAMIREZ FRANCO DA ENCARNAÇÃO

Orientador: NILSON AUGUSTO VILLANOVA

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA  
Estado de São Paulo - Brasil  
Janeiro - 1987

Meus pais, meus irmãos.

Meus parentes,

Meus amigos...

Por tudo de bom que me propiciaram.

### DEDICO

As minhas filhas  
as motivações de minha  
existência e a compreensão,  
apoio e incentivo de minha  
esposa VILMA.

### OFEREÇO

## AGRADECIMENTOS

Ao término deste trabalho, agradeço as seguintes pessoas e entidades:

Prof. Dr. NÍLSON AUGUSTO VILLANOVA, pela amizade, estímulo e orientação precisa em todas as fases do Curso e deste Trabalho.

. Prof. Dr. LUIZ ROBERTO ANGELOCCI, pela amizade, sugestões e colaboração.

. Prof. Dr. HUMBERTO DE CAMPOS, pela orientação na análise estatística dos resultados.

Dr. HILÁRIO S. MIRANDA FILHO, Pesquisador da Seção de Raízes e Tuberculos do Instituto Agronômico de Campinas IAC, pelas orientações e doações das sementes.

. Ao Prof. Dr. PAULO LEONEL LIBARDI, pela elaboração do SUMMARY.

. Aos Professores do Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição Mineral de Plantas pelos ensinamentos.

. Aos colegas do Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição Mineral de plantas, pelo convívio agradável.

À Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária IPA, pela oportunidade concedida.

. Conselho Nacional de Ensino e Pesquisa (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

## Í N D I C E

	Página
RESUMO.....	viii
SUMMARY.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1. Material.....	15
3.1.1. Área experimental e clima.....	15
3.1.2. Solo e preparo.....	15
3.1.3. Cultura.....	17
3.1.4. Evapotranspirômetros de lençol freático a nível constante.....	17
3.1.5. Equipamentos complementares.....	19
3.2. Métodos.....	20
3.2.1. Períodos das observações.....	20
3.2.2. Operação e funcionamento dos evapo- transpirômetros.....	21
3.2.3. Irrigações complementares.....	22
3.2.4. Considerações sobre os valores e as definições dos termos ECA, ET <sub>m</sub> , K <sub>p</sub> , K <sub>pp</sub> , ET <sub>o</sub> e K <sub>c</sub> .....	23
3.2.5. Determinações fenológicas.....	24
3.2.6. Processos de estimativas de ET <sub>o</sub> ...	25
3.2.6.1. Método de PENMAN.....	25
3.2.6.2. Método de PENMAN modifica	

do (VILLANOVA e OMETO, 1976).....	27
3.2.6.3. Método do Tanque Clas- se A.....	28
3.2.6.4. Método da Radiação So- lar.....	28
3.2.6.5. Método de THORNTHWAITE	28
3.2.7. Análises e testes estatísticos.	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1. Relativos ao desempenho do conjunto e- vapotranspirométrico.....	31
4.1.1. Condições operacionais.....	31
4.1.2. Precisão das medidas.....	32
4.1.3. Condições de desenvolvimento das plantas.....	32
4.2. Relativos ao consumo de água pela cul- tura.....	33
4.3. Relativos aos valores de evapotranspi- ração de referência (ET <sub>0</sub> ).....	35
4.4. Relativos aos valores de coeficiente de tanque.....	38
4.5. Relativos aos coeficientes culturais (K <sub>c</sub> ).....	40
5. CONCLUSÕES.....	44
5.1. Com relação ao evapotranspirômetro....	44
5.2. Com relação a escolha do método do tan- que Classe A como referencial aos de-	

mais métodos empregados.....	45
5.3. Com relação aos valores dos coeficientes de tanque.....	45
5.4. Com relação aos demais métodos de estima tivas utilizados.....	45
5.5. Com relação aos coeficientes culturais (Kc).....	46
5.6. Com relação a demanda hídrica ideal (ET <sub>m</sub> )	46
6. LITERATURA CITADA.....	47
7. APÊNDICE.....	54

EXIGÊNCIAS HÍDRICAS E COEFICIENTES CULTURAIS DA  
BATATA (*Solanum tuberosum* L.)

Autor: Carlos Ramirez Franco da Encarnação

Orientador: Nilson Augusto Villa Nova

RESUMO

No presente trabalho, buscou-se determinar, com a utilização de evapotranspirômetros de lençol freático à nível constante, o consumo de água da cultura de batatinha (*Solanum tuberosum* L.) em suas diferentes fases de desenvolvimento. Estas determinações, mostraram que esta cultura, requereu 271,3mm no seu ciclo total, com o consumo médio diário de 1,7mm na fase de germinação; 2,3 mm na fase vegetativa; 3,1mm na fase de floração e formação de tubérculos; 3,4mm na fase de desenvolvimento dos tubérculos I; 3,7mm na fase de desenvolvimento dos tubérculos II e 1,4mm na fase de maturação. Os valores medidos, foram relacionados aos da evapotranspiração de referência ( $ET_{oCa}$ ) obtida com emprego do método do tanque Classe A, que foi tomado como padrão às estimativas da  $ET_o$ , obtidas com o emprego dos métodos de PENMAN ( $ET_{oP}$ ), PENMAN modificado ( $ET_{oPm}$ ), THORNTHWAITE ( $ET_{oT}$ ), radiação solar ( $ET_{oR}$ ) e LINACRE ( $ET_{oL}$ ). A análise estatística dos resultados, revelou não existir diferenças significativas entre ( $ET_{oCa}$ ) e ( $ET_{oP}$ ), ( $ET_{oPm}$ ), ( $ET_{oT}$ ) e

(EToR), diferindo entretanto (EToCa) de (EToL). Os valores dos Coeficientes do Tanque Classe A (Kp) recomendados pela FAO (1979), que ajusta a evaporação medida neste equipamento aos valores de ETo, foram confrontados com os obtidos pelo método de Penman para a obtenção da evapotranspiração de referência (ETo) e a evaporação do tanque Classe A (Kpp). A análise estatística destes valores revelou que eles se situam na mesma faixa de grandeza. As correlações entre Kp e Kpp, foram desprezadas por se apresentarem inconsistentes devido ao grande número de repetições de Kp. Os valores médios de Kp e Kpp quando comparados exibem a mesma tendência e ordem de grandeza. Através da relação entre os valores medidos nos evapotranspirômetros e as estimativas de ETo pelos métodos relacionados no presente estudo, foram determinados os coeficientes culturais (Kc) para a batatinha que quando analisados estatisticamente apresentaram alta correlação entre si. Os valores dos coeficientes de correlação de Kendall para este caso foram:  $\hat{\tau}(\text{Classe A}) \times \text{Penman} = 0,84$ ;  $\hat{\tau}(\text{Classe A}) \times \text{Penman modificado} = 0,64$ ;  $\hat{\tau}(\text{Classe A}) \times \text{Thornthwaite} = 0,60$ ;  $\hat{\tau}(\text{Classe A}) \times \text{Radiação Solar} = 0,63$  e  $\hat{\tau}(\text{Classe A}) \times \text{Linacre} = 0,73$ . Os coeficientes culturais Kc recomendados pela FAO (1979), ajustados para cultura com o ciclo de 100 dias, foram comparados com os obtidos pela utilização dos métodos propostos e apresentaram-se sempre superiores aos demais métodos nas fases de germinação e maturação e inferiores nas demais fases fenológicas da cultura.

WATER REQUIREMENTS AND CROP COEFFICIENTS OF A  
POTATO (*Solanum tuberosum* L.)

**Author:** Carlos Ramirez Franco da Encarnação

**Adviser:** Nilson Augusto Villa Nova

**SUMMARY**

The objective of this work was to determine, using constant level water table evapotranspirometers, the water requirements of a potato (*Solanum tuberosum* L.) crop. For the whole cycle, the crop required (271.3 mm, with a daily mean consumption of: 1.7mm during the vegetative stage; 3.1mm during the flowering and tubers formation stage; 3.4mm during the tubers growing stage I; 3.7mm during the tubers growing stage II; and 1.4mm during the ripening stage. The measured values were related to the reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) obtained from the class A method (ET<sub>oCa</sub>) which was taken as standard to the estimation of ET<sub>o</sub> from Penman's (ET<sub>oP</sub>) and modified Penman's methods (ET<sub>oL</sub>). The statistics of results showed significant difference between (ET<sub>oCa</sub>) and (ET<sub>oL</sub>) but not between (ET<sub>oCa</sub>) and (ET<sub>oP</sub>) and among (ET<sub>oPm</sub>), (ET<sub>oT</sub>) and (ET<sub>oR</sub>). The FAO (1979) recommended pan Class A coefficients (K<sub>p</sub>),

which fits its measured evaporation (ECa) with ETo values, were compared with those represented by the  $E_{ToP}/E_{Ca} = K_{pp}$  ratio. The statistical analysis showed that Kp and (Kpp) were of the same order of magnitude. From the values obtained with the evapotranspirometers and those estimated with the cited methods, crop coefficients (Kc) were determined for the potato crop and the Kendall correlation coefficients between the were:  $\hat{r}(\text{Classe A}) \times \text{Penman} = 0,84$ ;  $\hat{r}(\text{Classe A}) \times \text{modified Penman} = 0,64$ ;  $\hat{r}(\text{Classe A}) \times \text{Thor thwaite} = 0,60$ ;  $\hat{r}(\text{Classe A}) \times \text{solar radiation} = 0,63$ ; and  $\hat{r}(\text{Classe A}) \times \text{Linocre} = 0,73$ . The FAO (1979) recommended crop coefficients Kc, for a 100 day crop, were compared with those obtained with the proposed methods and they were always higher during germination and ripening periods and lower during the others phenological periods.

## 1. INTRODUÇÃO

O conhecimento da dinâmica da água no sistema agrícola, tem mostrado a necessidade cada vez mais crescente de se determinar parâmetros e coeficientes básicos que permitam manejar e adequar as disponibilidades naturais ou artificiais dos recursos hídricos às necessidades das plantas cultivadas. Neste sentido, desenvolver métodos e modelos matemáticos que aliem precisão nas determinações e baixo custo operacional tem sido a tônica da maioria dos estudos realizados nas áreas da agrometeorologia e da irrigação. Os resultados destes estudos, vão propiciar a médio e longo prazos, a racionalização na elaboração de projetos de irrigação bem como a expansão racional das atuais fronteiras agrícolas, elevando como consequência os atuais níveis de produção e produtividade.

Atualmente, embora já existam na bibliografia recomendações que objetivam racionalizar a aplicação da água para algumas culturas, estas informações são oriundas em sua maioria de regiões ecologicamente diferentes das encontradas no Brasil, o que requer dos usuários a adoção de estudos e ajustes em tais informações para a sua correta uti

lização. Assim, cultura como a batatinha (*Solanum tuberosum* L.), cuja importância na alimentação humana assume patamares cada vez mais elevados, não pode prescindir do amplo domínio do seu manejo e do completo conhecimento das suas necessidades de toda a ordem mas, principalmente das hídricas, visto que quando cultivada em regime de irrigação respondem diretamente aos investimentos nela aplicados.

No presente estudo, objetivou-se com a utilização de evapotranspirômetros de lençol freático a nível constante medir o consumo de água da cultura da batatinha (*Solanum tuberosum* L.), em todas as suas fases de desenvolvimento, e a partir destas determinações, estabelecer os seus respectivos coeficientes culturais. Paralelamente a estas determinações, comparar as estimativas obtidas com o emprego dos métodos de Penman, Penman modificado, Thornthwaite, Radiação Solar e Linacre, recomendados para este tipo de trabalho e o desempenho deste equipamento quando utilizado em estudos com culturas cujas partes economicamente importantes se desenvolvam no interior do solo.

Além disso, objetivou-se também comparar os valores de coeficiente de tanque "classe A" ( $K_p$ ) recomendado pela FAO (1979), com os obtidos pela relação entre a evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman e os valores da evaporação de tanque classe A,

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

No ciclo da água na natureza, as transferências para a atmosfera que se realizam diretamente através da evaporação da água e da transpiração em tecidos biologicamente ativos, são as de maior importância para a agricultura como um todo e são estudadas conjuntamente recebendo a denominação de evapotranspiração. O termo evapotranspiração foi introduzido na literatura por THORNTHWAITE (1948), que definiu como evapotranspiração potencial a perda máxima de água de uma superfície de solo úmido, completamente revestida por vegetação em fase de desenvolvimento ativo e com dimensões suficientemente grandes de modo a minimizar os efeitos de oásis. Para o mesmo autor, quando qualquer uma destas condições não forem atendidas, tem-se a evapotranspiração real.

A partir destes conceitos, os estudos relacionados as perdas d'água por comunidades vegetais foram racionalizadas.

Objetivando aperfeiçoá-los, vários autores, passaram a propor modificações e ajustes nestes conceitos. PENMAN (1956), define evapotranspiração potencial como sen-

do "o processo de transferência de água para a atmosfera na unidade de tempo, de uma superfície totalmente coberta por vegetação verde, de porte baixo, em pleno desenvolvimento vegetativo e sem restrição de água no solo". DOORENBOS e PRUITT (1977), acrescentaram a definição de PENMAN (1956), que a cobertura vegetal deve ser de gramínea, com 8 a 15 cm de altura, e a denominam como evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>). Para FAO (1979), se a cobertura vegetal for uma cultura de interesse agrônômico qualquer, a perda de água por evapotranspiração define-se como evapotranspiração máxima (ET<sub>m</sub>), desde que não haja restrição de nenhuma ordem ao desenvolvimento normal. OMETTO (1981), define evapotranspiração potencial como sendo a "máxima perda hipotética que poderia uma cultura qualquer sofrer em água", o que difere significativamente do conceito de THORNTHWAITE (1948).

Após as fixações destes conceitos, vários têm sido os trabalhos que objetivam quantificar estes parâmetros, através de medidas em equipamentos instalados em condições de campo e do emprego de modelos teóricos que as correlacionam com os elementos do clima já que, determinar a evapotranspiração de uma cultura é de grande importância para planejar e manejar a água, principalmente em áreas irrigadas, visto que, além dos aspectos intrínsecos relativos ao meio físico e aos organismos vivos, os aspectos econômicos e sociais ligados a engenharia dos projetos, vão ser por ela delimitados. Para TANNER (1968), os métodos empregados para a estimativa da evapotranspiração, podem ser agrupados em três classes principais: 1) os micrometeorológicos;

II) os do balanço hídrico e III) Os empíricos.

Os das duas primeiras classes, possuem embasamento físico racional enquanto que os da última, precisam ter seus resultados corrigidos em relação aos anteriores. Para o mesmo autor, nas estimativas da evapotranspiração, os métodos micrometeorológicos são os mais precisos, já que, proporcionam medidas em pequenos intervalos de tempo (2 a 3 minutos), requerendo entretanto, instrumental sofisticado, pessoal especializado e superfícies homogêneas para que possam ser corretamente aplicados. SUTCLIFFE (1980), descreve alguns métodos, aliando-os a estudos fisiológicos das plantas e ao estado energético da água. Para VILLA NOVA (1973), DECICCO e SANTOS (1976), estes métodos apresentam viabilidade e versatilidade em seus empregos nas nossas condições, com o que não concorda VIETS JUNIOR (1976), para quem os métodos micrometeorológicos não são viáveis em programas de pesquisa nos países em desenvolvimento.

Os métodos do balanço hídrico, dividem-se basicamente em dois tipos principais: os que se utilizam de lisímetros para as estimativas e os parâmetros envolvidos no balanço, e os em que estas estimativas são feitas diretamente em um volume qualquer de solo, como o modelo utilizado por LUCHIARI JUNIOR (1978), o qual tem sido recomendado por vários autores, ROSE e STERN (1966), ROSE (1966), SLATYER (1967), BARRADA (1971), REICHARDT (1979), no qual seus componentes (precipitação, irrigação, escoamento superficial, percolação profunda, variação do armazenamento de água do solo e a evapotranspiração), são apresentados de forma integral ou diferencial em uma equação geral de balanço

de massa. Para RITCHIE (1973), VILLA NOVA (1973), DASTANE (1974), VIETS JUNIOR (1976), o método do lisímetro é o mais preciso pois, possibilita estimativas da evapotranspiração, desde pequenos intervalos de tempo (uma hora) até intervalos maiores (mensais ou sazonais), dependendo do tipo de equipamento. "Possibilitam também, as determinações simultâneas e independentes da drenagem profunda e da evapotranspiração que são os termos de maior dificuldade de determinação para executar o balanço hídrico" (BARRADA (1971)).

GANGOPADHYAYA et alii (1966), comentando a utilização e o desempenho dos evapotranspirômetros, afirmam que estes instrumentos estão sujeitos a limitações que ocorrem devido a si próprios e a sua localização considerando importante no primeiro caso os seguintes aspectos:

- Dimensões: que tem que ser suficientemente representativas em áreas e em profundidade;
- Alterações das condições de temperatura e umidade no seu interior em relação a área circundante;
- Alterações devido as bordas, aumentando a turbulência, sendo este efeito mascarado pelo crescimento da vegetação;
- Alterações devido a espessura das paredes, que em função disto absorvem mais ou menos energia do exterior;
- Alterações do solo quando do enchimento, alterando as características de retenção de umidade e de fluxo de calor;
- Influência pela cobertura vegetal que não é representativa de toda a área ocasionando efeitos térmicos e de turbulência;
- Outras limitações: o escoamento superficial no interior do

evapotranspirômetro não é representativo das condições circundantes, porque não há movimentação lateral de água.

Com relação aos efeitos da localização, continuam os mesmos autores, pode-se considerar que: "O volume de controle utilizado não é representativo da área, pois o evapotranspirômetro, normalmente não é instalado no centro de uma área de cultura uniforme, no mesmo estágio de desenvolvimento e com o mesmo regime de água". Para os mesmos autores, a utilização de evapotranspirômetros em regiões áridas mostrou-se como anti-econômicas por requererem a instalação de grandes equipamentos deste tipo, que apresentam alta capacidade de balanço e por serem necessárias muitas medidas na mesma área e ainda, da dificuldade de estabelecimento da cultura sob tais condições. Afirmam ainda que "evapotranspirômetros de menor porte, embora com menos precisão, podem ser utilizados em pesquisas gerais e para fins práticos, como os volumétricos, desde que suas dimensões sejam satisfatórias e as condições ambientais predominantes, sejam de chuvas frequentes".

ABOUKHALED et alii (1982), classificam os lisímetros em lisímetros de pesagem e outros tipos. Os mesmos autores, dividem e descrevem os primeiros como:

- Lisímetros de pesagem mecânica, cujas escalas de leituras são variáveis em função de suas dimensões, nos quais, a colocação de mecanismos de pesagem contínua reduz os intervalos de tempo entre as leituras para meia hora ou até poucos minutos com uma precisão de 0,03 mm. Por apresentarem dificuldade de instalação e construção e terem a vantagem de serem de alta precisão, estes autores re-

comendam a sua utilização somente em instituições especializadas.

- Lisímetros de pesagem eletrônica: que segundo os mesmos autores, apresentam relativa complexidade de construção, vulnerabilidade nas leituras, principalmente às flutuações da temperatura, requerendo permanente aferições. São recomendados para instituições especializadas de pesquisas.
- Lisímetros de pesagem com célula de carga hidráulica, nos quais o contato entre a área do lisímetro e o suporte flexível de sustentação, contribui para alterar a sua pesagem, além dos erros introduzidos com a mudança das propriedades elásticas da membrana de suporte com o tempo. Estes equipamentos apresentam valores diários da evapotranspiração em níveis satisfatórios, enquanto que, seus valores horários são questionáveis.
- Lisímetros de flutuação, que são menos caros que os de pesagem e que podem fornecer valores horários da evapotranspiração. Para estes autores, suas principais limitações se relacionam, com os efeitos do ambiente no líquido no qual flutua o equipamento mas que com algumas providências como proteção, podem ser eliminados.

Para os mesmos autores, os lisímetros que não são de pesagem são divididos, descritos e analisados como:

- Lisímetros de drenagem externa: nos quais os valores da evapotranspiração no período considerado, correspondem as diferenças entre o volume de água aplicado e o volume de água coletado ao final da drenagem do sistema. Suas prin-

principais limitações se acham ligadas à distribuição e à movimentação da água no seu interior, principalmente na ocasião das leituras e do abastecimento. Sua utilização é recomendada para determinar a evapotranspiração em períodos semanais ou maiores.

- Lisímetros de compensação com nível de água constante, nos quais, o nível da água no interior do equipamento é mantido constante com o emprego de uma caixa de passagem com um sistema de boia que supre o consumo de sua superfície de exposição. Estes lisímetros são muito difundidos em todo o mundo pelas suas relativas facilidades de construção e operação. Suas medidas diárias são aceitáveis mas considera-se usualmente períodos semanais ou de 10 dias.

- Lisímetros de compensação com água na superfície, que são utilizados para condições de submersão para estudos de plantas aquáticas. Os valores da evapotranspiração diária podem ser obtidos com este equipamento. Para os mesmos autores, os tipos especiais de lisímetros, são os que não se enquadram nos descritos anteriormente.

O emprego de evapotranspirômetros para a determinação das necessidades hídricas das plantas e suas comparações com estimativas obtidas através de modelos empíricos ou por diferentes tipos de evaporímetros, vem assumindo grande importância ultimamente, quer pela precisão dos resultados obtidos, quer pelas modificações e adaptações que surgem.

ENCARNAÇÃO (1980), com a utilização de evapotranspirômetros a nível de água constante, mediu a evapo-

transpiração da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Goiano Precoce nas condições de Piracicaba, determinando os valores dos coeficientes culturais ( $K_c$ ), relativos aos métodos de Penman, Radiação Solar, Linacre e Tanque Classe A, e conclui que, o método do tanque Classe A foi o que forneceu valores mais próximos aos recomendados pela FAO (1979). Para o mesmo autor, o evapotranspirômetro apresentou-se como bastante viável para as determinações do consumo de água pelas culturas, com o que concorda BARBIERE (1981).

ORTOLANI et alii (1966), correlacionando valores decendiais da evapotranspiração medida com os estimados pelas fórmulas de Penman e de Thornthwaite, verificaram que a primeira superestimou em 2% e a segunda superestimou em 9% tais valores. THOMPSON e BOYCE (1967), nas condições da África do Sul, mediram a evapotranspiração diária da cana-de-açúcar com o emprego de evapotranspirômetro hidráulico, com suprimento máximo de água e verificaram que os valores encontrados foram sempre superiores aos obtidos com a aplicação do método de Penman e que ocorria uma inversão de valores quando a advecção aparente era maior. Os mesmos autores, observaram também, que a correlação mais aproximada com os valores medidos foi a estimada a partir do método do tanque Classe "A".

GORNAT et alii (1971), medindo a evapotranspiração de uma cultura de beterraba e a correlacionando com a evaporação do tanque Classe A, em períodos de 4 e 6 horas, durante seis meses, verificaram que a relação entre elas variou durante o ciclo de desenvolvimento da cultura. Para os mesmos autores, esta variação mostrou-se independen

te do desenvolvimento das plantas e da cobertura do solo, dependendo todavia, das condições de evaporação e, principalmente, do grau de umidade da camada superior do solo. FRITSCHEN e SHAW (1966) correlacionando a evapotranspiração da cultura do milho, com a evaporação do tanque Classe A, observaram que, embora as necessidades hídricas da cultura variem durante o ciclo, a utilização do método do tanque Classe A mostrou-se adequada a estimativa da evapotranspiração para o cálculo da lâmina de irrigação, concordando com CHANG et alii (1965), para quem, se corretamente instalado, este é o melhor método para estimar a evapotranspiração. EVANS (1971), comparando a evapotranspiração da cultura do arroz irrigado com as leituras do tanque Classe A, encontrou um coeficiente de ajuste a estas leituras igual a 1,02. Para FUCHS e STANHILL (1963) e DOSS et alii (1964), a correlação entre a evapotranspiração e a evaporação do tanque Classe A, para diferentes culturas, condições de clima e solo, irrigação é bastante significativa. VILLA NOVA (1973), empregando o método do balanço de energia, estimou a evapotranspiração da cultura do arroz de sequeiro obtendo valores aceitáveis em períodos horários. SCALOPPI et alii (1978a), com o emprego dos métodos de Thornthwaite e Blaney-Criddle, mediram e estimaram a evapotranspiração da cultura da batatinha, submetida a três níveis de umidade do solo e observaram que o método de Blaney-Criddle apresentou coeficiente de correlação mais elevado que os obtidos com o método de Thornthwaite, que subestimou acentuadamente os valores determinados durante todo o ciclo de crescimento. SCALOPPI et alii (1978b), utilizando os métodos de Penman e o da Radiação Solar, para a

estimativa da evapotranspiração da cultura da batatinha, concluíram que ambos os métodos mostraram elevada correlação com a evapotranspiração determinada pelo balanço de água.

A adequação das necessidades de água de cada cultura em suas diferentes fases de desenvolvimento, é realizada com o emprego dos coeficientes culturais ( $K_c$ ), os quais são determinados experimentalmente e permitem ajustar diferentes épocas de plantio em culturas de sequeiro e planejar o manejo da água em culturas irrigadas.

Com os valores da evapotranspiração de referência e com os dados da pluviosidade média mensal do município de Igarassú-PE, ENCARNAÇÃO et alii (1982), recomendam épocas de plantio para a cana-de-açúcar em condições de sequeiro, baseadas no emprego dos coeficientes culturais ( $K_c$ ) recomendados pela FAO (1979). BARBIERE (1981), utilizando um evapotranspirôgrafo a nível constante, determinou os coeficientes culturais para a cultura da cana-de-açúcar, estes valores foram comparados aos obtidos pelo mesmo autor, com o emprego dos métodos de Penman, Radiação Solar e tanque Classe A, e não foram detectadas diferenças significativas entre eles. SOUZA e SILVA (1985), utilizando metodologia semelhante a empregada por ENCARNAÇÃO (1980), verificaram nas condições de Campina Grande-PB que os valores de  $K_c$  para o feijoeiro sugeridos pela FAO (1979) foram concordantes com os obtidos com o emprego do método do tanque Classe A, e sempre inferiores aos obtidos com os demais métodos utilizados, o que também foi observado por PAVANI (1979), para quem os valores decendiais de  $K_c$  para o feijoeiro

eiro propostos pela FAO (1979), foram sempre inferiores aos estimados no período compreendido entre o 3º e o 9º decêndio.

CURY (1985), comparando os valores de Kc para a cultura do repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.) obtidos com o emprego dos métodos de estimativa da evapotranspiração de Penman modificado, tanque Classe A, Thornthwaite, Penman, Radiação Solar, Linacre e os propostos pela FAO (1979), observou existir grande variabilidade entre eles e que os valores obtidos no período de inverno, são sempre superiores aos do verão. Para o mesmo autor, como nas recomendações da FAO (1979), não são feitas alusões às épocas, pode-se concluir que sua validade é para todo o ano. ENCARNAÇÃO (1983), propõe um método simplificado para a estimativa dos coeficientes culturais (Kc), para o algodoeiro arbóreo (*Gossypium hirsutum* L. var. Marie Galante), baseado no emprego de dados meteorológicos e nas informações de técnicos especialistas na cultura. Para este autor, os valores de Kc obtidos, variam desde 0,51 na germinação até 0,92 no início da maturação, decrescendo daí em diante para valores até 0,72 no final desta fase.

No caso específico da cultura da batatinha (*Solanum tuberosum* L.), que no Brasil, segundo CHAVES et alii (1985), apresenta como principais produtores os estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná e Rio Grande do Sul, cujos rendimentos médios são 17, 16, 9 e 6 toneladas por hectare respectivamente, poucas informações existem destes coeficientes culturais.

Para FAO (1979), uma varieda

de de batatinha cujo ciclo seja de 120 a 150 dias, requer uma lâmina de água total de 500 a 700 mm, dependendo das condições do clima, para o seu completo desenvolvimento. Estes mesmos autores, dividem o ciclo desta cultura em cinco etapas sendo a primeira denominada de "etapa inicial" que corresponde a um período de 20 a 30 dias e cujos Kc, variam de 0,4 a 0,5. A segunda é a "etapa de desenvolvimento" cuja duração varia de 30 a 40 dias na qual os valores de Kc variam de 0,7 a 0,8. A terceira é a denominada de "média estação", que dura de 30 a 60 dias, cujos Kc vão de 1,05 a 1,2. A quarta denomina-se de "final de estação", e perdura por 20 a 35 dias nos quais os valores de Kc sugeridos variam de 0,85 a 0,95 e a quinta etapa ou a etapa de "maturação", que completa os 120 a 150 dias na qual o Kc varia de 0,7 a 0,75.

KLEINKOPF (1983), divide o ciclo da batatinha em quatro estágios. O primeiro denomina-se de "vegetação inicial" e tem a duração de 30 a 60 dias nos quais o Kc varia de 0,1 a 0,45. O segundo denomina-se de "fase de tuberização" que dura 15 dias, cujos Kc variam entre 0,5 e 0,6. O terceiro denominado de "desenvolvimento dos tubérculos" no qual, Kc vai de 0,6 a 0,8 e finalmente o denominado de "maturação", que é representado por um período de 10 a 24 dias, no qual os valores de Kc vão de 0,6 a 0,3. Para aquele autor, variedades precoces podem atingir a maturidade no período de 90 a 100 dias.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. MATERIAL

##### 3.1.1. ÁREA EXPERIMENTAL E CLIMA

O experimento foi conduzido em uma área de dimensões 40,0 x 10,0 m, na estação meteorológica do Departamento de Física e Meteorologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP, na cidade de Piracicaba, Estado de São Paulo, a uma latitude de 22°42'30" S, longitude de 47°38'00"W e altitude de 576 m (Ver Fig. 1). O clima da região é segundo Köppen, do tipo Cwa (Subtropical úmido, com estiagem no inverno), com a temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C e a do mês mais quente superior a 22°C, também denominado de tropical de altitude por CAMARGO et alii (1974).

##### 3.1.2. SOLO E PREPARO

O solo do local, foi descrito e classifica

LEGENDA

- 1 - Abrigo Meteorológico.
- 2 - Abrigo do Anemômetro.
- 3 - Casa do Observador.
- 4 - Pluviômetros
- 5 - Pluviômetro
- 6 - Para-raios
- 7 - Tanque GGI-3000
- 8 - Actinômetro
- 9 - Heliômetro
- 10 - Tanques Classe A
- 11 - Evapotranspirômetros com grama
- 12 - Mastro
- 13 - Tanque 20m<sup>2</sup>
- 14 - Anemômetro a 2m
- 15 - Evapotranspirômetros com batatinha
- 16 - Área de localização da cultura da batatinha
- 17 - Tanques de abastecimento dos evapotranspirômetros.

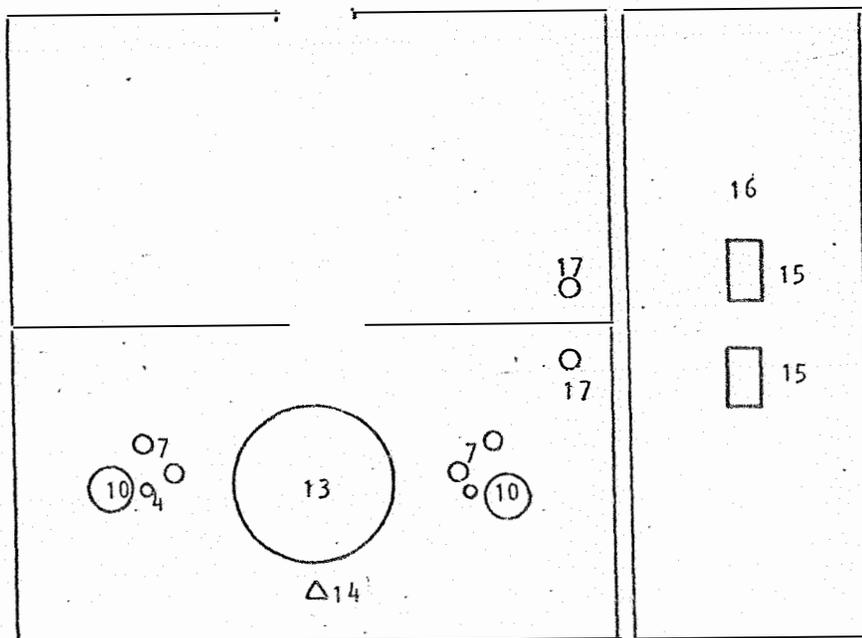
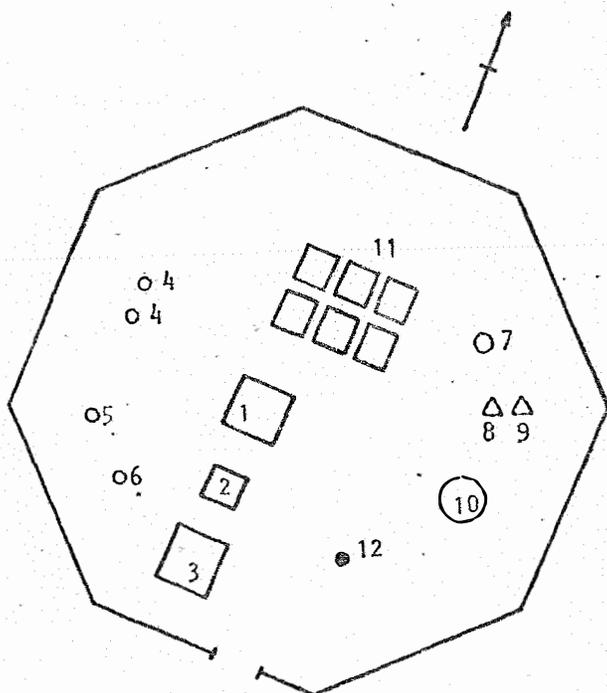


Figura 1 - Localização do ensaio dentro da área experimental do Departamento de Física e Meteorologia - ESALQ/USP.

do por RANZANI et alii (1966), como terra roxa estruturada, série "Luiz de Queiroz". Pela classificação americana (EUA, 1975), é um "Oxic paleudalf" cujos materiais de origem são rochas básicas.

No preparo do solo para o plantio, foram realizadas gradagens cruzadas, com a incorporação de 30 kg de matéria orgânica na área e a aplicação no sulco por ocasião do plantio e 30 kg de uma mistura 4-14-8 e mais 16 kg de sulfato de amônio quando do chegamento da terra aos 25 dias após o plantio. As sementes foram espaçadas em 0,70 m entre as entrelinhas e 0,35 nas linhas.

### 3.1.3. CULTURA

A cultura utilizada foi a batatinha (*Solanum tuberosum* L.), variedade IAC 5977, recomendada por especialistas da Seção de Raízes e Tubérculos do Instituto Agrônomico de Campinas (IAC), para o plantio na época do experimento (10/04 a 20/07). Esta variedade, apresentou um ciclo de duração do plantio a colheita de 100 dias.

### 3.1.4. EVAPOTRANSPIRÔMETROS DE LENÇOL FREÁTICO

#### A NÍVEL CONSTANTE

Estes equipamentos (Figura 2), foram instalados em número de dois, no centro da área experimental e foram, confeccionados com chapa de ferro galvanizado M-22 (AWG), reforçados nas bordas por cantoneiras de ferro com 1,5 cm de largura e 0,3 cm de espessura, devidamente impermeabilizados

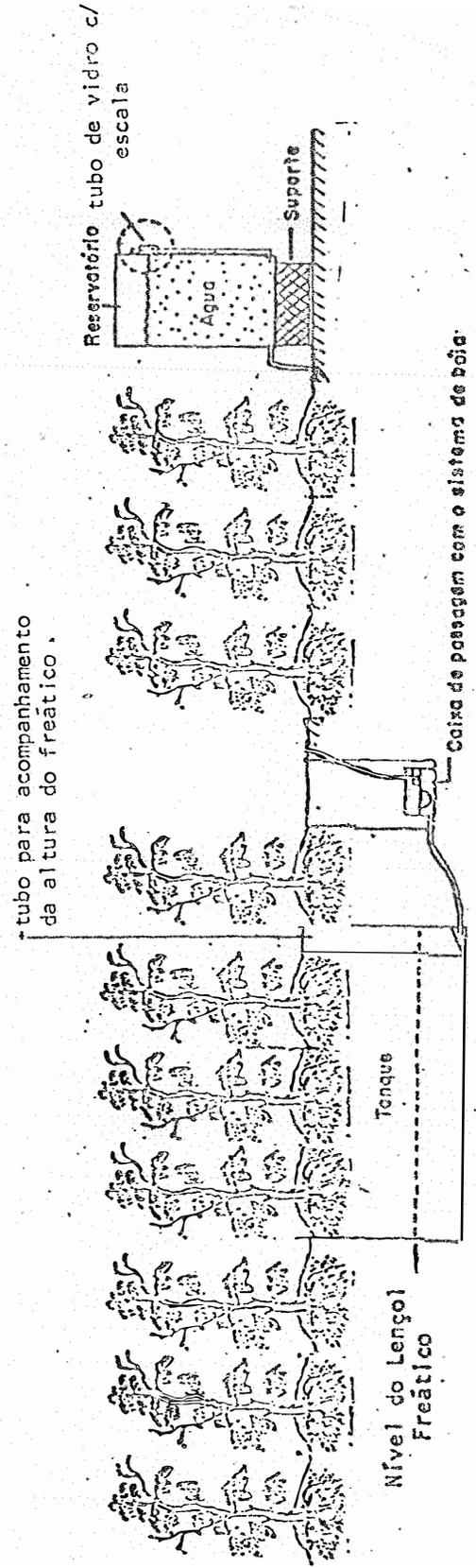


Figura 2. Conjunto Evapotranspirométrico.

e pintados de branco, tendo comprimento de 2,0 m e largura de 1,0 m o que lhes confere áreas de exposição de  $2,0 \text{ m}^2$  e com altura igual a 0,5 m. Na parte inferior e central da parede lateral de maior comprimento, foi acoplada uma luva de PVC com o diâmetro de 0,12 cm por onde se dava o abastecimento. Acoplada a esta luva, uma mangueira de plástico de mesmo diâmetro o interligou a uma caixa de passagem na qual o nível d'água foi fixado ao equivalente a 0,05 m de altura do lençol freático no interior do evapotranspirômetro, que por sua vez foi acoplada a um recipiente de PVC através de uma mangueira de plástico de igual diâmetro que funcionou como abastecedor do sistema, cujas dimensões foram 0,258 m de diâmetro e 0,5 m de altura, ao qual estava associada uma escala graduada devidamente aferida em função do volume de água requerido pela superfície de exposição do evapotranspirômetro que proporcionou a leitura direta do consumo de água pela cultura. O nível do freático no equipamento era acompanhado através de tubos plásticos colocados no seu interior.

### 3.1.5. EQUIPAMENTOS COMPLEMENTARES

Para as estimativas da evapotranspiração de referência, através dos métodos incluídos no presente estudo, e para as informações complementares requeridas foram utilizados os seguintes instrumentos:

- Tanque Classe A

Tanque de formato cilíndrico, confeccionado em chapa de ferro galvanizado N° 22 (AWG), com 1,2 m de diâmetro e 0,25 m de profundidade, tendo como acessórios para

as leituras um poço tranquilizador convencional nivelado por três parafusos calantes e um micrômetro de gancho com precisão de medida do nível da água de até 0,02 mm sendo este assentado sobre as bordas do poço tranquilizador por ocasião das leituras. Entre o tanque e a superfície do solo foi colocado um estrado de madeira pintado de branco de modo que a distância entre o fundo do tanque e a superfície do solo fosse igual a 0,15 m.

- Pluviômetro

Tipo HH, com leitura efetuada em proveta graduada em mililitros sendo os valores nela determinados posteriormente convertidos em milímetros.

- Anemômetro

Integrador de marca FUESS, modelo 91g, instalado a uma altura de 2,0 m na superfície do solo.

- Heliógrafo

Campbell-Stokes, marca FUESS modelo 96C.

- Termohigrógrafo

Marca FUESS, modelo 159r, de rotação semanal com nível de precisão de  $\pm 5\%$  para a umidade relativa e  $\pm 1^\circ\text{C}$  para a temperatura, devidamente aferido.

## 3.2. MÉTODOS

### 3.2.1. PERÍODOS DAS OBSERVAÇÕES

As leituras foram realizadas diariamente, a partir da instalação do experimento e posteriormente agru

padas e consideradas em pentadas para fins de cálculo obedecendo a seguinte ordem:

<u>Período</u>	<u>Pentada</u>
10 a 15/4	I
16 a 20/4	II
21 a 25/4	III
26 a 30/4	IV
01 a 05/5	V
06 a 10/5	VI
11 a 15/5	VII
16 a 20/5	VIII
21 a 25/5	IX
26 a 31/5	X
01 a 05/6	XI
06 a 10/6	XII
11 a 15/6	XIII
16 a 20/6	XIV
21 a 25/6	XV
26 a 30/6	XVI
01 a 05/7	XVII
06 a 10/7	XVIII
11 a 15/7	XIX
16 a 20/7	XX

### 3.2.2. OPERAÇÃO E FUNCIONAMENTO DOS EVAPOTRANSPIRÔMETROS

Em consequência das perdas de água por evapotranspiração, havia a tendência de abaixamento do lençol freático no interior do equipamento. Esse abaixamento de acordo com o princípio dos vasos comunicantes era transmitido à

caixa de passagem, onde a boia era acionada liberando a água e condicionando o pronto reabastecimento do evapotranspirômetro. A quantidade de água requerida nesse processo é igual a evapotranspirada pela superfície de exposição do mesmo ao final de cada período. No reservatório, um tubo de vidro com 0,8 cm de diâmetro, colocado na vertical e solidário a uma escala graduada, permitia a leitura direta do total diário já que, as 7 horas o reservatório era abastecido até o seu nível zero.

A escala do reservatório foi graduada em milímetros e, por ocasião da leitura utilizou-se um nônio de precisão igual a 0,1 mm, confeccionado em plástico transparente, devidamente adaptado ao tubo de vidro, através de abertura semicircular de diâmetro imediatamente superior ao do tubo de vidro. As superfícies de exposição dos evapotranspirômetros eram devidamente protegidas da chuva e da irrigação por coberturas feitas em madeira pintada de branco e plástico transparente, medindo 2,5 x 1,30 m, assentadas em suportes fixos de madeira, aos quais cessada a chuva e após bobinadas se fixavam, deixando a superfície completamente exposta a ação dos elementos de clima. A noite, as coberturas eram deixadas como proteção caso chovesse nesse período. Entre as coberturas de plástico e as bordas dos evapotranspirômetros, foram colocadas molduras que ficaram a 0,30 m da superfície do solo e que evitaram a penetração da água da superfície circundante no interior dos volumes de controle.

### 3.2.3. IRRIGAÇÕES COMPLEMENTARES

Esta prática foi utilizada nas plantas da

área circundante, sendo a lâmina de água aplicada com base nos dados obtidos com o tanque Classe A, segundo recomendação da FAO (1979), com uma frequência média de 4 dias. O método empregado foi a aspersão.

#### 3.2.4. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS VALORES E AS DEFINIÇÕES DOS TERMOS ECA, ET<sub>m</sub>, K<sub>p</sub>, K<sub>pp</sub>, ET<sub>o</sub> e K<sub>c</sub>

ECA e ET<sub>m</sub> foram obtidos através das leituras consecutivas e espaçadas em intervalos constantes de 24 horas do tanque Classe A e dos evapotranspirômetros respectivamente, existentes na área experimental.

K<sub>p</sub> (coeficiente do tanque Classe A), valor pelo qual, se deve multiplicar as leituras do tanque Classe A, para obter-se a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), e que é função das condições de instalação deste equipamento (natureza e dimensões da superfície circundante), e das condições meteorológicas no período considerado (umidade relativa do ar e velocidade do vento), foi obtido segundo a FAO (1979) (ver tabela 1).

K<sub>pp</sub> - Estes valores foram obtidos dividindo-se a evapotranspiração potencial obtida com o emprego do método de PENMAN, pelos valores da evaporação observada no tanque Classe A.

ET<sub>o</sub> (Evapotranspiração de referência), que corresponde a água perdida para a atmosfera nas formas de evaporação e transpiração, por uma superfície de grama batatais (*Paspalum notatum* Flugge), em condições ótimas de su-

primento hídrico, em pleno desenvolvimento vegetativo, e no centro de uma área suficientemente grande para eliminar os efeitos de oasis FAO, (1979).

$ET_m$  (demanda climática ideal), que corresponde as taxas de perdas de água por evapotranspiração, necessária para o ótimo desenvolvimento de uma cultura qualquer, em todos seus estágios. No presente estudo, a cultura considerada foi a batatinha (*Solanum tuberosum* L.).

$K_c$  (coeficiente cultural), que é o valor pelo qual se deve multiplicar a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) para que se obtenha as quantidades de água necessária em cada fase de desenvolvimento da cultura, de maneira a atender a demanda climática ideal ( $ET_m$ ).

### 3.2.5. DETERMINAÇÕES FENOLÓGICAS

Durante todo o período do experimento, observou-se em campo os indicadores morfológicos e a duração de cada uma das fases fenológicas, o que possibilitou dividir o ciclo total da culturas nestas fases e relacioná-las a variação dos coeficientes culturais,  $K_c$ , de acordo com as recomendações da bibliografia sobre a cultura e os critérios seguidos pela FAO (1979).

A fase denominada germinação, foi considerada desde o plantio até a condição de mais de 50% das plantas germinadas e durou 10 dias.

A fase vegetativa, estendeu-se por 20 dias e foi considerada desde o fim da fase germinativa até a completa cobertura da área pelas plantas.

Nesta fase foi realizado o amontoamento da terra nas plantas.

A fase de floração e formação dos tubérculos teve início após a fase vegetativa até a emissão de flores pelas plantas, e durou 15 dias.

A fase de desenvolvimento dos tubérculos durou 40 dias e foi dividida em fase de desenvolvimento I e II, cujo critério adotado para esta divisão, foi em função do aumento brusco no consumo de água.

A fase de maturação durou 15 dias, caracterizou-se pela perda gradual de vitalidade das plantas.

### 3.2.6. PROCESSOS DE ESTIMATIVAS DE ETo

Para as estimativas de ETo, foram utilizados os métodos de Penman, Penman modificado, Tanque Classe A, Radiação Solar Thornthwaite e Linacre, cujas equações básicas são as seguintes.

#### 3.2.6.1. Método de PENMAN

Foi utilizada a expressão:

$$E_{To} = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} \cdot Q^* + E_a}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1} \dots \dots \dots (1)$$

sendo:  $\frac{\Delta}{\gamma}$  = determinado em função da temperatura média do ar para o período considerado, segundo VILLANOVA (1967) (Ver Tabela 2).

onde:  $\Delta$  = tangente a curva de saturação de vapor determinada analiticamente pela expressão:

$$\Delta = e_s \left( \frac{6886}{T_a^2} - \frac{5,31}{T_a} \right) \dots \dots (\text{mmHg } K^{-1})$$

onde:  $T_a$  = Temperatura média do ar no período (K);

$e_s$  = Tensão de saturação do vapor sobre a água, calculada por:

$$e_s = (4,58 \times 10^{\frac{AT}{B+T}})$$

onde:  $A = 7,5$

$B = 237,5$

$\gamma$  = constante psicrométrica .... (mmHg.°C<sup>-1</sup>).

$T$  = Temperatura do ar em graus centígrados;

$H$  = balanço de energia dado por:

$$Q^* = \frac{Q_0}{59} (a + b \frac{n}{N}) (1-r) - \frac{\sigma T_a^4}{59} (0,56 - 0,09 \sqrt{e_a}) (0,1 + 0,9 \frac{n}{N})$$

sendo:

$Q_0$  = Radiação solar global, recebida na ausência da atmosfera por uma superfície unitária e horizontal (cal.cm<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>) (ver Tabela 3);

$n$  = Insolação média do período (horas e décimos);

$N$  = Duração máxima de insolação (horas e décimos) (ver Tabela 4);

$r$  = Albedo médio para superfícies vegetadas (0,20);

$\sigma$  = constante de Stefan-Boltzman (8,123x10<sup>-11</sup> cal.cm<sup>-2</sup>.min<sup>-1</sup>.K<sup>4</sup>);

$T_a$  = Temperatura média do ar no período (K);

$e_a$  = Pressão atual de vapor d'água (mm Hg);

$a$  e  $b$  = Parâmetros da equação de regressão, segundo OMETTO (1962) para a região 0,26 e 0,51 respectivamente.

$E_a$  = Poder evaporante do ar, calculado pela expressão

$$E_a = 0,35(1+0,54U_2)(e_s - e_a) \dots \text{(mm.dia}^{-1}\text{)}$$

onde:  $U_2$  = Velocidade do vento a 2m de altura ( $\text{m.s}^{-1}$ );

### 3.2.6.2. Método de PENMAN modificado

(VILLA NOVA & OMETTO, 1976)

Foi utilizada a expressão:

$$E_{To} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{Q^*}{59} + 0,28E_p \dots (2)$$

Sendo:  $\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$  = Valor dado pela Tabela 5 em função da temperatura do ar em ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\frac{Q^*}{59}$  = Obtido com o emprego das equações:

$$Q^*_{pv} = \frac{Q_o}{59} (0,19 + 0,23 \frac{n}{N}) \text{ para o período primavera-verão}$$

$$Q^*_{oi} = \frac{Q_o}{59} (0,17 + 0,11 \frac{n}{N}) \text{ para o período outono-inverno}$$

onde:  $\frac{Q_o}{59}$  = Radiação solar extraterrestre expressa pela evaporação equivalente encontrada na Tabela 6, em função da latitude do local (mm/dia);

$E_p$  = Evaporação medida no evaporímetro tipo PICHE.. (mm).

## 3.2.6.3. Método do Tanque Classe A

Foi utilizada a expressão:

$$ET_o = ECA \times K_p \dots \dots \dots (3)$$

onde: ECA = Evaporação medida no tanque Classe A ( $\text{mm.dia}^{-1}$ )

$K_p$  = Coeficiente do tanque Classe A (ver Tabela 1).

## 3.2.6.4. Método da Radiação Solar

Foi utilizada a expressão:

$$ET_o = C(W.K_{\downarrow}) \dots \dots \dots (4)$$

sendo: C = coeficiente angular de ajuste de  $ET_o$  determinado em função da umidade relativa do ar (%) e da velocidade do vento ( $\text{m.s}^{-1}$ ), de acordo com a figura 4 (apêndice).

W = Valor encontrado na Tabela 7, referente ao efeito da radiação solar sobre  $ET_o$  em diferentes temperaturas e altitudes;

$K_{\downarrow}$  = Radiação solar global dada pela expressão:

$$K_{\downarrow} = \frac{Q_o}{59} (0,26 + 0,51 \frac{n}{N})$$

sendo:  $\frac{Q_o}{59}$ , n e N já definidos.

## 3.2.6.5. Método de THORNTHWAITE

Foi utilizada a expressão:

$$ET_o = 1,6(10 t/I)^a \dots \dots \dots (5)$$

sendo: t = temperatura média mensal ( $^{\circ}\text{C}$ );

I = Índice de calor dado pela expressão:

$$I = \sum_i^{12} i;$$

onde:  $i = (t/5)^{1,514}$

a = função cúbica de  $i$  de forma:

$$a = 0,675 \cdot 10^{-6} i^3 - 0,77 \cdot 10^{-4} i^2 - 1,792 \cdot 10^{-2} i - 0,49239.$$

### 3.2.6.6. Método de LINACRE

Foi utilizada a expressão:

$$ET_o = \frac{\frac{500T_m}{(100-A)} + 15(T-T_d)}{80 - T} \dots (6)$$

sendo:  $T_m = T + 0,006h$ ,

onde:  $T$  = Temperatura do ar no período (°C);

$h$  = Altitude (m);

$T_d$  = Temperatura do ponto de orvalho (°C);

$A$  = Latitude do local (graus e décimos).

### 3.2.7. ANÁLISES E TESTES ESTATÍSTICOS

Na análise estatística dos resultados obtidos utilizou-se a estatística não paramétrica segundo CAMPOS (1983), por maior flexibilidade quanto as exigências do modelo matemático, visto que, não há comprovação de que os valores utilizados tenham distribuição normal o que, se ocorrer, não viola drasticamente o modelo, propiciando resultados semelhantes nos dois campos.

Foram realizadas análises de correlações simples entre as medidas, tomando-se o padrão considerado, pareado com cada um dos modelos utilizados; estabeleceu-se o

coeficiente de concordância de Kendall e aplicou-se o teste de Friedman, para o confronto dos seis métodos, tomando cada pentada (tidas como independentes) como um bloco e complementando, foram aplicados métodos apropriados de comparações múltiplas.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. RELATIVOS AO DESEMPENHO DO CONJUNTO EVAPOTRANSPIROMÉTRICO

Estes equipamentos, em função dos resultados obtidos, possibilitam analisar o seu comportamento sobre diversos aspectos, tais como:

#### 4.1.1. CONDIÇÕES OPERACIONAIS

Evidenciou-se a redução de erros nas observações, por tratar-se de um instrumento de leitura direta, dispensando conseqüentemente correções, ajustes ou a utilização de acessórios auxiliares, apresentando ainda simplicidade operacional, a qual limitou-se apenas ao reabastecimento do reservatório após as leituras no fim de cada período de observação considerado. Neste procedimento, utilizou-se água de boa qualidade e realizando-se limpezas periódicas cuja finalidade era evitar possíveis obstruções nos tubos condutores e na válvula da bôia de passagem. O nível do lençol freático no interior

do evapotranspirômetro manteve-se constante em todas as etapas deste estudo.

#### 4.1.2. PRECISÃO DAS MEDIDAS

No presente estudo, a precisão instrumental foi de até 0,05 mm, satisfatória para o que se buscou (determinar o consumo diário de água pela cultura da batatinha), já que, embora possa se atingir níveis de precisão de até 0,02 mm, com o emprego de micrômetros de gancho, quando da utilização dos resultados obtidos principalmente na irrigação, a imprecisão nas lâminas a serem aplicadas será muito superior nos diferentes métodos existentes. Mesmo com a perda de precisão das leituras do evapotranspirômetro com relação a do tanque Classe A, obteve-se a certeza de medidas mais confiáveis, devido a facilidade operacional ressaltada anteriormente.

#### 4.1.3. CONDIÇÕES DE DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS

A população submetida às condições de umidade e aeração do volume de controle de solo, no interior do evapotranspirômetro, apresentou de uma forma geral, uniformidade na germinação, no crescimento, na maturação, no número e no tamanho dos tubérculos, diferindo das plantas não submetidas a esta condição, mas mantidas em regime de irrigação segundo recomendações da FAO (1979), pelo método do tanque Classe A, as quais apresentaram heterogeneidade de comportamento, redução nos seus ciclos totais de desenvolvi

mento, produção variável em peso e tamanho dos tubérculos

Estas observações podem ser visualizadas na tabela 8, onde se encontram os dados relativos a produção e suas relações com as quantidades de água aplicadas nas duas condições do experimento. Estes valores, nos permitem afirmar que o equipamento utilizado, se presta aos estudos relativos ao consumo de água pela batatinha, que é uma cultura cuja parte economicamente importante se desenvolve no interior do solo visto que, permitiu a adequação da potencialidade produtiva desta cultura as disponibilidades de ar e água no volume de controle do solo no seu interior.

#### 4.2. RELATIVOS AO CONSUMO DE ÁGUA PELA CULTURA

Foram requeridos 271,3mm, durante o ciclo total da cultura, que apresentou um consumo médio diário de 1,7mm da fase de germinação; 2,3mm na fase vegetativa; 3,1mm na fase de floração e formação dos tubérculos; 3,4mm na fase de desenvolvimento dos tubérculos I; 3,7mm na fase de desenvolvimento dos tubérculos II e 1,4mm na fase de maturação.

Na Tabela 8, verifica-se que embora a quantidade total de água aplicada no evapotranspirômetro tenha sido inferior em 10% a aplicada na área circundante, a relação água aplicada (l) por produção de tubérculo (1kg), foi superior em 60% nas plantas no interior do equipamento. Estes resultados evidenciam uma eficiência na aplicação da água no evapotranspirômetro superior em 55% a realizada

Tabela 8 . Produções obtidas nos evapotranspirômetros e na área circundante e suas relações com os totais de água aplicados nas duas situações.

Situação	Parâmetro	Número médio de plantas	Peso fresco total (g)	Peso fresco por planta (g)	Produtividade (ton/ha)	Total de água aplicada (mm)	Água aplicada da (1) / produção (kg)
Evapotranspirômetros		9*	6445	716	32,2	271,3	84,2
	Área circundante	9**	4335	482	19,5	298,8	153,2

\*Este número corresponde a média populacional dos dois evapotranspirômetros.

\*\*Este número corresponde a média de seis amostras coletadas na área circundante aos evapotranspirômetros.

pela irrigação no restante da área experimental. Assim, é necessário aferir recomendações de ajustes de lâminas de irrigação, quando os estudos sobre o consumo de água pela cultura forem realizados com a aspersão, que propicia entre as suas aplicações o surgimento de "stress", o qual pode afetar o rendimento da cultura, principalmente no final do turno de rega, o que não ocorre quando se utiliza evapotranspirometros, os quais atendem de imediato qualquer demanda imposta pela cultura.

#### 4.3. RELATIVOS AOS VALORES DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET<sub>0</sub>)

As leituras realizadas no conjunto evapotranspirométrico, foram referidas aos valores de ET<sub>0</sub>, estimados pelo método do tanque Classe A, o qual se fundamenta no ajuste das perdas de uma superfície de água livre, as de superfícies vegetadas (ver Tabela 9).

Embora as leituras do tanque Classe A, estejam sujeitas a erros que se originam desde as condições de sua instalação, a falta de qualificação dos observadores até as suas próprias limitações, este tipo de equipamento propicia leituras diretas que englobam os diversos efeitos dos elementos meteorológicos e das transformações energéticas que atuam no processo de transferência da água para a atmosfera. Assim, se instalado e operado corretamente, o tanque Classe A, pode fornecer leituras cujo emprego na estimativa da evapotranspiração de referência conduz a valores bem próximos da

Tabela 9. Valores de ETo obtidos com o emprego dos diferentes métodos, em cada pântada (mm).

Métodos Pântadas	Classe A (EToCa)	Penman (EToP)	Penman Modificado (EToPm)	Thornthwaite (EToT)	Radiação Solar (EToR)	Linacre (EToL)
I	4,08	4,11	3,32	4,17	4,00	4,73
II	3,32	3,45	3,09	2,33	3,80	3,85
III	3,74	3,38	3,04	3,10	3,90	4,00
IV	3,82	3,21	3,23	2,72	3,40	3,89
V	2,24	2,91	2,94	2,14	3,40	3,88
VI	2,30	2,19	2,24	2,70	2,00	3,53
VII	1,70	2,17	1,90	2,51	1,90	3,35
VIII	2,46	2,52	2,18	2,98	2,30	3,90
IX	2,56	2,43	2,37	2,51	2,40	3,50
X	3,26	2,59	2,40	2,70	2,90	3,74
XI	2,72	2,03	2,56	1,08	2,80	2,81
XII	2,38	2,07	3,36	1,53	2,60	3,05
XIII	2,64	2,48	2,60	2,16	2,70	3,73
XIV	2,48	2,44	2,77	2,07	3,40	3,81
XV	2,56	2,37	2,89	1,98	2,80	3,62
XVI	2,20	2,29	2,49	1,62	2,90	3,33
XVII	1,78	2,14	2,59	1,73	2,30	3,10
XVIII	2,59	2,85	3,25	1,73	3,80	3,50
XIX	2,62	2,57	3,09	1,46	3,50	3,71
XX	2,78	2,96	3,21	2,09	3,70	4,51

realidade como verificaram e preconizam (FUCHS & STANHILL, 1963; DOSS et alii, 1964; GOLDBERG et alii, 1966; VILLA NOVA, 1967; NETO DE ASSIS, 1978; ALBERIO, 1979; FAO, 1979; ENCARNAÇÃO, 1980; VILLA NOVA et alii, 1980; BARBIERI, 1981; NETO, 1981; VILLA NOVA & SCARDUA, 1984; CURY, 1985 e SOUSA & SILVA, 1985), entre outros que estudaram seu desempenho e comportamento para diferentes culturas e condições experimentais.

Os ajustes das leituras realizadas no tanque Classe A as estimativas da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), foram realizados com o emprego dos coeficientes de tanque (K<sub>p</sub>), recomendados pela FAO (1979), segundo as suas condições de instalação (natureza e dimensões da superfície circundante) e os elementos meteorológicos predominantes no período (velocidade do vento e umidade relativa do ar) (ver Tabela 1).

Os resultados obtidos, podem ser visualizados na Tabela 9. Na análise estatística destes resultados, aplicou-se o teste de Fridman, para o confronto dos 6 métodos, tomando cada pentada como um bloco, e complementando-se com a aplicação de métodos apropriados de comparações múltiplas, que revelou não existir diferenças significativas entre os valores obtidos com o método considerado padrão (ET<sub>o</sub>Ca) e os obtidos com os métodos de Penman (ET<sub>o</sub>P), Penman modificado (ET<sub>o</sub>Pm), Thornthwaite (ET<sub>o</sub>T) e Radiação Solar (ET<sub>o</sub>R) diferindo entretanto das estimativas obtidas com o emprego do método de Linacre (ET<sub>o</sub>L), cujos valores foram sempre superiores aos dos demais métodos, que está em desacordo com o obtido por ENCARNAÇÃO (1980), para quem os valores de

(EToL), juntamente com os de (EToR), foram inferiores a (EToP) e (EToCa). É possível que este comportamento seja decorrente da época do ano em que foram conduzidos os estudos (22/02 a 27/04, verão) o primeiro e (10/04 a 20/07 fim do outono início do inverno) o segundo.

A existência destas diferenças, nos leva a recomendar cautela quando da utilização destes métodos para o cálculo de projetos de irrigação visto ser possível que em função de erros nestes cálculos, se subestime ou superestime as quantidades de água a serem utilizadas. O emprego dos demais métodos, exceto do Linacre deverá ser recomendado em função das disponibilidades das informações meteorológicas.

#### 4.4. RELATIVOS AOS VALORES DE COEFICIENTE DE TANQUE

Os valores de  $K_p$  e  $K_{pp}$  são apresentados nas Tabelas 10 e 11. Estes resultados foram submetidos a análise estatística, que revelou estarem os dois coeficientes situados numa mesma faixa de grandeza. Devido ao grande número de repetições nos valores de  $K_p$ , os resultados da correlação entre  $K_p$  e  $K_{pp}$ , não foram considerados, mas, como mostra a Tabela 11, houve sempre a tendência dos valores no mesmo sentido, quando comparou-se as suas médias.

Esta semelhança entre os valores de  $K_p$  e  $K_{pp}$  e suas tendências, nos permite verificar que embora os  $K_p$  recomendados pela FAO (1979) sejam válidos para condições de instalação do tanque e de comportamento dos elementos meteorológicos distintos, apresentam um bom nível de confiabi

Tabela 10. Valores da evaporação no tanque Classe A (ECA), da evapotranspiração potencial (EToP), obtida com o método de Penman, dos coeficientes de tanque (Kp), recomendados pela FAO (1979) e dos coeficientes de tanque (Kpp), obtidos pela relação entre os valores de (EToP) e da evaporação do tanque Classe A.

Elemento Pentada	ECA medido	EToP estimado	Kp recomendado	Kpp EToP/ECA
I	4,8	4,1	0,85	0,85
II	3,9	3,4	0,85	0,87
III	4,4	3,4	0,85	0,77
IV	4,5	3,2	0,85	0,71
V	3,0	2,9	0,75	0,99
VI	2,7	2,2	0,85	0,81
VII	2,0	2,2	0,85	1,10
VIII	2,9	2,5	0,85	0,86
IX	3,0	2,4	0,85	0,80
X	3,2	2,6	0,85	0,81
XI	3,2	2,0	0,85	0,63
XII	2,8	2,1	0,85	0,75
XIII	3,1	2,5	0,85	0,81
XIV	3,3	2,4	0,75	0,73
XV	3,0	2,4	0,85	0,80
XVI	2,6	2,3	0,85	0,88
XVII	2,1	2,1	0,85	1,00
XVIII	3,7	2,8	0,70	0,76
XIX	3,5	2,6	0,75	0,74
XX	3,7	3,0	0,75	0,81

Tabela 11. Valores médios correspondentes entre Kp e Kpp.

$\bar{K}_p$	$\bar{K}_{pp}$
0,70	0,76
0,75	0,81
0,85	0,83

lidade, não sendo responsáveis pela indução de grandes erros quando dos seus empregos no método do tanque Classe A.

#### 4.5. RELATIVOS AOS COEFICIENTES CULTURAIS (Kc)

Na Tabela 12, são mostrados os valores de Kc, sugeridos pela FAO (1979), obtidos com o emprego dos métodos propostos para cada pântada e em cada fase de desenvolvimento da cultura da batatinha, e na Figura 3, a representação gráfica dos seus comportamentos ao longo do ciclo da cultura.

Na observação destes valores, percebe-se que em todos os casos, a tendência foi da elevação dos valores de Kc desde a fase germinativa até a fase de desenvolvimento dos tubérculos II, decrescendo rapidamente daí em diante. Este comportamento, está diretamente ligado ao da área foliar que, embora não tenha sido determinado quantitativamente foi claramente observado durante todo o ciclo da cultura e mais precisamente ao fim da germinação quando as plantas exibiam toda a sua exuberância e no início da maturação quando elas perdem rapidamente o seu vigor.

A análise estatística dos resultados, realizada entre os valores, tomando-se o padrão (Kc Classe A), pareado com cada um dos obtidos com os demais métodos, revelou existir alta correlação em todos os casos, apresentando os seguintes valores do coeficiente de concordância de Kendall.

Tabela 12. Valores dos coeficientes culturais (Kc), determinados pelos métodos propostos e recomendados pela FAO (1979), por pântada e por fase de desenvolvimento da cultura da batatinha (*Solanum tuberosum* L.), com ciclo de 100 dias; e valores médios da demanda ideal ETm.

Método Pântadas	Tanque Classe A	Penman Modif.	Penman Modif.	Thornth waithe	Radia ção	Lina cre	Fase de de senvolv. da cultura	ETm (consu- mo médio) mm/dia	Tanque Classe A	Penman Modif.	Penman Modif.	Thornth waithe	Radi ação	Lina cre	FAO (1979)
I	0,39	0,39	0,48	0,38	0,40	0,34	Germinação 10 dias	1,7	0,42	0,41	0,48	0,51	0,40	0,36	0,45
II	0,45	0,43	0,49	0,64	0,39	0,39									
III	0,48	0,53	0,59	0,58	0,46	0,45		2,3	0,48	0,44	0,51	0,52	0,47	0,38	0,75
IV	0,47	0,31	0,56	0,59	0,52	0,45	Fase vegeta tiva/20 dias								
V	0,44	0,35	0,34	0,47	0,30	0,26									
VI	0,52	0,55	0,54	0,44	0,60	0,34									
VII	0,59	0,46	0,53	0,40	0,53	0,30	Floração e formação de Tub./15 dias	3,1	0,64	0,60	0,66	0,54	0,65	0,40	
VIII	0,65	0,63	0,73	0,54	0,70	0,41									
IX	0,67	0,70	0,72	0,68	0,71	0,49									
X	1,21	1,27	1,38	1,22	1,14	0,88	Desenvolv.	3,4	1,24	1,40	1,28	1,88	1,16	0,97	1,15
XI	1,03	1,38	1,09	2,59	1,00	1,00	tubérculos I 20 dias								
XII	1,38	1,50	1,31	2,03	1,19	1,02									
XIII	1,36	1,45	1,34	1,67	1,33	0,97									
XIV	1,69	1,72	1,52	2,03	1,24	0,10	Desenvolv.	3,7	1,63	1,59	1,38	2,00	1,30	1,06	0,90
XV	1,68	1,81	1,49	2,17	1,54	1,19	tubérc. II 20 dias								
XVI	1,58	1,53	1,41	2,16	1,21	1,05									
XVII	1,57	1,31	1,08	1,62	1,22	0,90									
XVIII	0,62	0,56	0,49	0,92	0,42	0,46	Maturação 15 dias	1,4	0,51	0,48	0,42	0,77	0,36	0,35	0,70
XIX	0,49	0,47	0,39	0,82	0,34	0,32									
XX	0,43	0,41	0,37	0,37	0,32	0,27									

- $\hat{\sigma}(\text{Classe A}) \times \text{Pennam} = 0,84$
- $\hat{\sigma}(\text{Classe A}) \times \text{Penman Modificado} = 0,64$
- $\hat{\sigma}(\text{Classe A}) \times \text{Thorntwaite} = 0,60$
- $\hat{\sigma}(\text{Classe A}) \times \text{Radiação Solar} = 0,63$
- $\hat{\sigma}(\text{Classe A}) \times \text{Linacre} = 0,73.$

A Figura 3, mostra o comportamento dos  $K_c$  obtidos com os métodos propostos e os recomendados pela FAO (1979), para cada uma das fases de desenvolvimento da cultura.

Os comportamentos das curvas, evidencia que embora a análise estatística tenha revelado existir alta correlação entre seus valores, as curvas representativas dos  $K_c$  obtidos com os métodos de Thorntwaite e Linacre foram as que mais distoaram do conjunto, apresentando-se como limitrofes superiores e inferiores respectivamente. A exceção da curva representativa do método de Linacre, todas as demais se colocaram acima da representativa dos valores recomendados pela FAO (1979), nas fases intermediárias do ciclo da cultura.

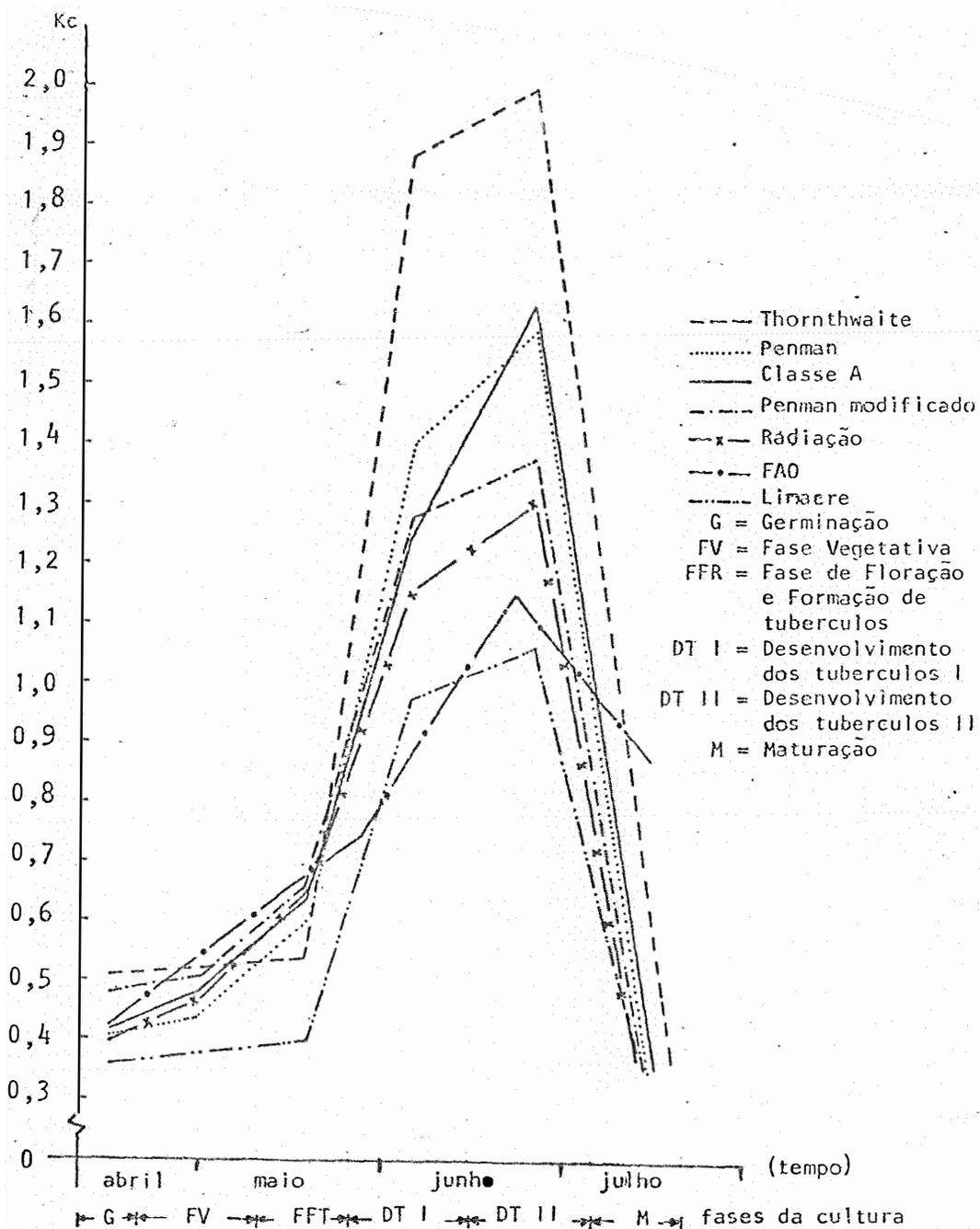


Figura 3. Representação gráfica dos comportamentos dos coeficientes culturais (Kc), obtidos pelos diferentes métodos e os recomendados pela FAO (1979).

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente estudo, permitem concluir:

### 5.1. COM RELAÇÃO AO EVAPOTRANSPIRÔMETRO

Este equipamento, mostrou-se viável ao estudo das determinações do consumo hídrico ideal da batatinha (*Solanum tuberosum* L.), por apresentar simplicidade operacional e homogeneidade de desempenho em todas as fases de desenvolvimento da cultura.

O comportamento das plantas no evapotranspirômetro evidencia terem sido atendidas as necessidades de água e ar no seu interior o que ficou demonstrado pelo melhor desenvolvimento das plantas e dos tubérculos por elas produzidos, o que credencia a sua utilização em estudos dessa natureza, com culturas cujas partes economicamente importantes se desenvolvam no interior do solo.

## 5.2. COM RELAÇÃO A ESCOLHA DO MÉTODO DO TANQUE CLASSE A COMO REFERENCIAL AOS DEMAIS MÉTODOS EMPREGADOS

Este método, requer para a sua utilização, as corretas determinações das leituras do tanque Classe A, o que sugere o desenvolvimento de estudos e modificações que visem a eliminar os efeitos negativos das chuvas nos valores medidos da evaporação do tanque.

Os resultados obtidos com o emprego deste método, na determinação dos coeficientes culturais ( $K_c$ ), se situaram na faixa intermediária da amplitude de variação em cada fase de desenvolvimento da cultura, em relação aos outros métodos, o que induz a uma maior confiabilidade em seus valores.

## 5.3. COM RELAÇÃO AOS VALORES DOS COEFICIENTES DE TANQUE

Os valores de  $K_p$ , recomendados pela FAO (1979) não representam uma grande fonte de erros quando da estimativa da evapotranspiração de referência pelo método tanque Classe A.

## 5.4. COM RELAÇÃO AOS DEMAIS MÉTODOS DE ESTIMATIVAS UTILIZADOS

A exceção do método de Linacre, todos os demais não exibiram diferenças significativas entre si, e nem

o referencial o que restringe as suas aplicações aos dados meteorológicos disponíveis para períodos de cinco dias.

### 5.5. COM RELAÇÃO AOS COEFICIENTES CULTURAIS (Kc)

Estes coeficientes se situaram na mesma ordem de grandeza em todas as fases da cultura, o que os tornam recomendáveis.

Os valores de Kc, recomendados pela FAO (1979), se apresentaram superiores nas fases de germinação e maturação e inferiores nas demais fases, quando comparados com os determinados pelos diferentes métodos.

### 5.6. COM RELAÇÃO A DEMANDA HÍDRICA IDEAL (ETm)

Obteve-se uma demanda de 271,3mm para todo o ciclo da cultura, com um consumo médio diário de 1,7mm na germinação; 2,3mm na fase vegetativa; 3,1mm na fase de floração e formação dos tubérculos; 3,4mm na fase de desenvolvimento dos tubérculos I; 3,7mm na fase de desenvolvimento dos tubérculos II e 1,4mm na maturação.

## 6. LITERATURA CITADA

- ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M., 1982. Lysimeters. FAO Irrigation and Drainage Paper nº 39. Roma, 68p.
- ALBERIO, I.A. de S., 1979. Estudo sobre modificações introduzidas no tanque Classe A e no método de Penman. Piracicaba, ESALQ/USP. 91p. (Dissertação de Mestrado).
- ASSIS, F.N. de, 1978. O uso do evapotranspirômetro no estudo de algumas relações entre a evapotranspiração medida e estimada. Piracicaba, ESALQ/USP. 73p. (Dissertação de Mestrado).
- BARBIERI, V., 1981. Medidas e estimativa de consumo hídrico em cana-de-açúcar. Piracicaba, ESALQ/USP, 82p. (Dissertação de Mestrado).
- BARRADA, Y., 1971. Water balance studies. In: Water use seminar. Damascus. Roma, FAO, p.90-96 (Irrigation and Drainage Paper, nº 13).
- CAMARGO, A.P.; PINTO, C.S.; PEDRO Jr., M.J.; AFONSI, R.R. e ORTOLANI, A.A., 1974. Clima do estado de São Paulo. In: SAEESP. Instituto Agrônômico. Zoneamento Agrícola do Estado de São Paulo. São Paulo, Vol. 1.

- CAMPOS, H., 1983. Estatística Experimental Não - Paramétrica. 4ª Edição, Departamento de Matemática e Estatística, ESALQ/USP, Piracicaba. 349p.
- CHANG, J.H.; R.B. CAMPBELL; H.W. BRODIE e L.D. BAVER, 1965. Evapotranspiration research of the HSPA Experiment Station. In: XII Congr. Int. Soc. Sug. Cane Tech., Puerto Rico, Elsevier, 10-24.
- CHAVES, L.H.G. e PEREIRA, H.H.G., 1985. Nutrição e adubação de tubérculos. Fundação Cargill, Campinas. 97p.
- CURY, D.M., 1985. Avaliação da demanda hídrica da cultura do repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.) e suas interações climáticas. Piracicaba, ESALQ/USP. 79p. (Tese de Doutorado).
- DASTANE, N.G., 1974. Effective rainfall in irrigated agriculture. FAO, Roma (Irrigation and drainage paper, 25). 62p.
- DECICO, A. e J.M. SANTOS, 1976. Estudos dos parâmetros micrometeorológicos de uma cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*). In: Reunião da SBPC, 28a. Brasília, 1976. Resumos, p.241.
- DOORENBOS, J. e J.O. PRUITT, 1977. Las necesidades de água de los cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje nº 24. Organizacion de Las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion (FAO), Roma, p.1-194.
- DOSS, B.D.; O.L. BENNETT e D.A. ASHLEY, 1964. Moisture use by forage species as related to pan evaporation and net radiation. Soil Sci., 98(5): 322-327.
- ENCARNAÇÃO, C.R.F., 1980. Estudo da demanda de água do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Goiano Precoce. Piracicaba, ESALQ/USP, 62p. (Dissertação de Mestrado).

ENCARNAÇÃO, C.R.F. da; LIMA; J.F.W.F. & VILLANOVA, N. A., 1982. Probabilidade de suprimento das necessidades hídricas para a cana-de-açúcar no município de Igarassu. STAB, Piracicaba, 1(1): 42-6.

ENCARNAÇÃO, C.R.F. da, 1983. Um método simples para a estimativa dos coeficientes culturais (Kc) para o algodoeiro arbóreo. Recife, IPA (IPA, Comunicado Técnico, 15).

E.U.A., 1975. Soil survey stolf soil taxonomy - A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Washington (EUA), U.S. Government Printing Office (Agriculture Handbook, 436).

EVANS, G.N., 1971. Evapotranspiration from rice at Griffith, New South Wales. Agr. Meteorol., 8(2): 117-127.

FAO, 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper nº 33. Rome, 193p.

FRITSCHEN, L.J. e R.H. SHAW, 1965. Evapotranspiration for corn as related to pan evaporation. Agron. J., 53: 149-150.

FUCHS, M. e G. STANHILL, 1963. The use of Class A evaporation pan data to estimate the irrigation water requirement of the cotton crop. Israel J. Agric. Res., 13(2): 63-78.

GANGOPADHYAYA, M. Coord., 1966. Measurements and estimation of evaporation and evapotranspiration. Geneva, WMO, 121p. (Technical Note 83).

GOLDBERG, S.D.; B. GORNAT e D. SADAN, 1966. Relation between water consumption of peanuts and Class A pan evaporation during the growing season. Soil Sci. 104(4): 289-296.

- GONART, B.; D. GOLDBERG e D. SADAN, 1971. Changes in the ratio between sugar beet evapotranspiration and pan evaporation during the growing season. Agron. J., 63(2): 256-258.
- KLEIKOPF, G.E., 1983. Potato. In: Crop-Water relations. Tease, I.D. & Peet, M.M. (eds.). Cap. 9: 287-305. Wiley Interscience Publication, New York.
- LINACRE, E.T., 1977. A simple formula for estimating evaporation in various climates, using temperature alone. Agric. Meteorol. Amsterdam, 18: 409-424.
- LUCHIARI JUNIOR, A., 1978. Determinação do coeficiente de cultura (Kc) para feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). pelo método do balanço hídrico. Piracicaba, ESALQ/USP. 59p. (Dissertação de Mestrado).
- NETO, M.S.A., 1981. Análise preliminar do desempenho de um sistema de medidas de evaporação para o tanque Classe A. Piracicaba, ESALQ/USP. 75p. (Dissertação de Mestrado).
- OMETTO, J.C., 1968. Estudo das relações entre Radiação Solar Global, Radiação Líquida e Insolação. Piracicaba, ESALQ/USP, 64p. (Tese de Doutorado).
- OMETTO, J.C., 1981. Bioclimatologia vegetal. São Paulo. Ed. Agronômica Ceres. 440p.
- ORTOLANI, A.A.; A.P. CAMARGO e N.A. VILLANOVA, 1966. Correlação entre a evapotranspiração potencial calculada segundo os métodos de Penman e de Thornthwaite e de dados de evapotranspirômetros na região de Ribeirão Preto. Bragantia. Campinas, IAC 25 (15): 65-68.

- PAVANI, L.C., 1985. Evapotranspiração e produtividade em feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Goiano Precoce), sob três níveis de potencial de água do solo. Piracicaba, ESALQ/USP, 171p. (Dissertação de Mestrado).
- PENMAN, H.L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. Proc. R. Soc: Série A: Mathematical and Physical Sciences, London, 193: 45.
- PENMAN, H.L., 1956. Evaporation: an introductory survey. Neth. J. Agric. Sci., 4: 9-29.
- RANZANI, G.; O. FREIRE e T. KINJO, 1966. Carta de solos do Município de Piracicaba. Piracicaba, Centro de Estudos de Solos/ESALQ/USP. 85p.
- REICHARDT, K., 1975. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. São Paulo, Fundação Cargil, Piracicaba, CENA, 286p.
- RITCHIE, J.T., 1973. Influence of soil water status and meteorological conditions on evaporation from a corn canopy. Agron. J., 65: 893-897.
- ROSE, C.W., 1966. Agricultural Physics. Oxford, Pergamon Press. 230p.
- ROSE, C.W. e W.R. STERN, 1966. Determination of withdrawal of water from soil by crop roots as a function of depth and time. Aust. J. Soil Research, 15: 11-19.

- SCALOPI, J.E.; VILLANOVA, N.A. e SALATI, E., 1978a. Estimativa da evapotranspiração através de fórmulas relacionadas à temperatura média do ar atmosférico. Anais da ESALQ, p. 94-112.
- SCALOPI, J.E.; KLAR, A.E. e VILLANOVA, N.A., 1978b. Avaliação de métodos climatológicos para a estimativa da evapotranspiração. Anais da ESALQ, p.77-91.
- SLATYER, R.O., 1967. Plant-water relationships. New York, Academic Press. 366p.
- SOUZA, J.L. e M.A.V. SILVA, 1985. Evapotranspiração em cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). In: Resumos do 4º Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Londrina, PR. Fundação IAPAR e Fundação Cargill. p.24-32.
- SUTCLIFFE, J., 1980. As plantas e a água (Trad. H.E.T. Maciel). São Paulo, EPU/EDUSP. 126p. (Temas de Biologia, 26).
- TANNER, C.B., 1968. Evaporation of water from plants and soil. In: KOLOWSKI, T.T., Ed. Water deficits and plant growth. New York, Academic Press, p.74-106.
- THOMPSON, G.D. e J.P. BOYCE, 1967. Daily measurement of potential evapotranspiration from fully canopied sugar cane. Agric. Meteorol. 4: 267-279.
- THORNTHWAITTE, C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review, New York, 38: 55-94.
- VIETS JUNIOR, F.G., 1976. Efficiency of water use on semi arid land. In: I.A.E.A. Efficiency of water and fertilizer use in semi-arid regions. Vienna, p.123-133.

VILLA NOVA, N.A., 1967. A estimativa da evaporação potencial no Estado de São Paulo. Piracicaba, ESALQ/USP, 66p. (Tese de Doutorado).

VILLA NOVA, N.A., 1973. Estudos sobre o balanço de energia em cultura de arroz. Piracicaba, ESALQ/USP. 78p. (Tese de Livre-Docência).

VILLA NOVA, N.A. e OMETTO, J.C., 1976. Adaptação e simplificação do método de Penman às condições climáticas do Estado de São Paulo. Trabalho apresentado no IV Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos. Fortaleza -CE.

VILLA NOVA, N.A.; BARBIERI, V. e SCARDUA, R., 1980. Evapotranspiração e evaporação: principais métodos de estimativa climatológica segundo as recomendações da F.A.O. (1979). Piracicaba, ESALQ/USP, Departamento de Física e Meteorologia. 22p. (mimeografado).

VILLA NOVA, N.A. e SCARDUA, R., 1984. O uso do método climatológico na determinação das necessidades de irrigação. Campinas, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia. Boletim Técnico, Vol. 2, nº 2.

## 7. APÊNDICE

Tabela 1 - Valores do coeficiente de conversão do Tanque "Classe A" (Kp), para estimativa da evapotranspiração potencial (ETp).

UR % (média)		Exposição A: Tanque circundado por 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)*				Posição do Tanque d(m)*			
Leve < 175	0	0,55	0,65	0,75	0	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,50	0,60	0,70
Moderado 175 - 425	0	0,50	0,60	0,65	0	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	10	0,55	0,65	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	100	0,50	0,60	0,65
	1000	0,70	0,80	0,80	1000	0,45	0,55	0,60
Forte 425-700	0	0,45	0,50	0,60	0	0,60	0,65	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	10	0,50	0,55	0,75
	100	0,60	0,65	0,75	100	0,45	0,50	0,60
	1000	0,65	0,70	0,75	1000	0,40	0,45	0,55
Muito Forte > 700	0	0,40	0,45	0,50	0	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	10	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	100	0,40	0,45	0,50
	1000	0,55	0,60	0,65	1000	0,35	0,40	0,45

Transcrito de "Crop Water Requirements", FAO (1975).

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

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

Tabela 2 - Valores de  $\Delta/\gamma$  entre 1 e 40°C

t	$\Delta/\gamma$	t	$\Delta/\gamma$
1	0,6	21	2,2
2	0,8	22	2,6
3	0,8	23	2,6
4	0,8	24	2,6
5	1,0	25	2,8
6	1,0	26	3,0
7	1,2	27	3,0
8	1,2	28	3,2
9	1,2	29	3,6
10	1,2	30	3,8
11	1,4	31	4,0
12	1,4	32	4,2
13	1,6	33	4,2
14	1,6	34	4,4
15	1,6	35	4,6
16	1,8	36	5,2
17	1,8	37	5,2
18	2,0	38	5,4
19	2,0	39	5,6
20	2,0	40	5,8

Transcrito de VILLA NOVA (1967) "A estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo" (Tese de Doutorado) - ESALQ/USP.

Tabela 3 - Radiação solar recebida no limite mais externo da atmosfera no 15º dia de cada mês, entre latitudes 10°N - Equador e 40°S (Valores de Q<sub>o</sub>, em cal/cm<sup>2</sup>.dia).

Latitude	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
10° N	761	814	873	885	873	867	873	878	867	826	767	732
8° N	779	832	879	879	861	856	861	873	873	838	785	749
6° N	797	844	879	873	850	838	850	861	873	850	802	773
2° N	832	867	885	861	826	802	814	844	873	867	838	814
Equador	850	879	885	856	808	785	797	832	867	873	856	832
2° S	861	885	885	850	791	767	779	820	867	879	873	850
4° S	879	897	885	838	779	749	755	806	861	885	885	873
6° S	897	903	885	826	755	732	743	797	861	897	897	890
8° S	909	909	879	814	738	708	720	779	856	897	909	903
10° S	920	920	873	802	720	684	702	767	850	897	915	920
12° S	938	920	867	791	696	661	684	755	838	897	926	932
14° S	950	926	861	773	679	637	661	738	838	903	938	944
16° S	956	932	856	755	661	614	637	720	826	903	944	956
18° S	968	932	850	743	637	590	620	702	814	903	956	974
20° S	979	932	838	720	614	566	596	684	802	897	962	985
22° S	991	932	826	702	590	543	572	661	791	897	968	991
24° S	991	932	814	684	566	519	549	643	779	897	968	1003
26° S	997	926	802	661	543	496	519	625	761	891	974	1015
28° S	1003	920	791	643	519	460	496	602	743	885	979	1021
30° S	1003	920	779	620	496	437	472	578	732	873	979	1027
32° S	1009	909	767	596	472	407	448	555	714	867	979	1033
34° S	1009	903	743	578	448	378	313	531	696	861	979	1038
36° S	1009	897	732	555	419	354	389	507	673	850	979	1038
38° S	1009	885	714	531	389	330	366	484	649	838	974	1044
40° S	1003	879	690	507	360	295	336	460	631	826	968	1044

Dados interpolados de Shaw, Napier. Manual of Meteorology, Cambridge, University Press.

Tabela 4 - Duração máxima da insolação diária em horas, nos vários meses do ano e latitudes de 10 graus norte e 40 graus sul. Os valores correspondem ao 15º dia de cada mês.

Latitude	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
10° N	11,6	11,8	12,1	12,4	12,6	12,7	12,6	12,4	12,2	11,9	11,7	11,5
8° N	11,7	11,9	12,1	12,3	12,5	12,6	12,5	12,4	12,2	12,0	11,8	11,6
6° N	11,8	11,9	12,1	12,3	12,4	12,5	12,4	12,3	12,2	12,0	11,9	11,7
4° N	11,9	12,0	12,1	12,2	12,3	12,4	12,3	12,2	12,0	12,0	11,9	11,9
2° N	12,0	12,0	12,1	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,1	12,1	12,0	12,0
Equador	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
2° S	12,2	12,2	12,1	12,1	12,0	12,0	12,0	12,0	12,1	12,1	12,2	12,2
4° S	12,3	12,2	12,1	12,0	11,9	11,8	11,9	12,0	12,1	12,2	12,3	12,4
6° S	12,4	12,3	12,1	12,0	11,9	11,7	11,8	11,9	12,1	12,2	12,4	12,5
8° S	12,5	12,4	12,1	11,9	11,7	11,6	11,7	11,9	12,1	12,3	12,5	12,6
10° S	12,6	12,4	12,1	11,9	11,7	11,5	11,6	11,6	12,0	12,3	12,6	12,7
12° S	12,7	12,5	12,2	11,8	11,6	11,4	11,5	11,7	12,0	12,4	12,7	12,8
14° S	12,8	12,6	12,2	11,6	11,5	11,3	11,4	11,6	12,0	12,4	12,8	12,9
16° S	13,0	12,7	12,2	11,7	11,4	11,2	11,2	11,6	12,0	12,4	12,9	13,1
18° S	13,1	12,7	12,2	11,7	11,3	11,1	11,1	11,5	12,0	12,5	13,0	13,2
20° S	13,2	12,8	12,2	11,6	11,2	10,9	11,0	11,4	12,0	12,5	13,2	13,3
22° S	13,4	12,8	12,2	11,6	11,1	10,8	10,9	11,3	12,0	12,6	13,2	13,5
24° S	13,5	12,9	12,3	11,5	10,9	10,7	10,8	11,2	11,9	12,6	13,3	13,6
26° S	13,6	12,9	12,3	11,5	10,8	10,5	10,7	11,2	11,9	12,7	13,4	13,8
28° S	13,7	13,0	12,3	11,4	10,7	10,4	10,6	11,1	11,9	12,8	13,5	13,9
30° S	13,9	13,1	12,3	11,4	10,6	10,2	10,4	11,0	11,9	12,8	13,6	14,1
32° S	14,0	13,2	12,3	11,3	10,5	10,0	10,3	10,9	11,9	12,9	13,7	14,2
34° S	14,2	13,3	12,3	11,3	10,3	9,8	10,1	10,9	11,9	12,9	13,9	14,4
36° S	14,3	13,4	12,4	11,2	10,2	9,7	10,0	10,7	11,9	13,0	14,0	14,6
38° S	14,5	13,5	12,4	11,1	10,1	9,5	9,8	10,6	11,8	13,1	14,2	14,8
40° S	14,7	13,6	12,4	11,1	9,9	9,3	9,6	10,5	11,8	13,1	14,3	15,0

Transcrito de CAMARGO (1966) "Contribuição para determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo" - IAC, Campinas.

Tabela 5 - Valores do coeficiente  $\Delta \cdot (\Delta + \gamma)^{-1}$  utilizados para a obtenção do termo energético, da equação original de Penman, e da equação proposta em função da temperatura em graus centígrados.

TQC	$\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$						
1	0,37	11	0,58	21	0,69	31	0,80
2	0,44	12	0,58	22	0,71	32	0,81
3	0,44	13	0,61	23	0,72	33	0,81
4	0,44	14	0,61	24	0,72	34	0,81
5	0,50	15	0,61	25	0,74	35	0,82
6	0,50	16	0,64	26	0,75	36	0,84
7	0,54	17	0,64	27	0,76	37	0,84
8	0,54	18	0,67	28	0,76	38	0,84
9	0,54	19	0,67	29	0,78	39	0,85
10	0,54	20	0,67	30	0,79	40	0,85

Tabela 6 - Valores de  $\frac{Q_0}{59}$  (radiação extraterrestre) em mm de evaporação equivalente por dia (FAO, 1979).

LATITUDE S	Jan.	Fev.	Mar.	Abb.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
40 <sup>o</sup>	17,9	15,7	12,5	9,2	6,6	5,3	5,9	7,9	11,0	14,2	16,9	18,3
38	17,9	15,8	12,8	9,6	7,1	5,8	6,3	8,3	11,4	14,4	17,0	18,3
36	17,9	16,0	13,2	10,1	7,5	6,3	6,8	8,8	11,7	14,6	17,0	18,2
34	17,8	16,1	13,5	10,5	8,0	6,8	7,2	9,2	12,0	14,9	17,1	18,2
32	17,8	16,2	13,8	10,9	8,5	7,3	7,7	9,6	12,4	15,1	17,2	18,1
30	17,8	16,4	14,0	11,3	8,9	7,8	8,1	10,1	12,7	15,3	17,3	18,1
28	17,7	16,4	14,3	11,6	9,3	8,2	8,6	10,4	13,0	15,4	17,2	17,9
26	17,6	16,4	14,4	12,0	9,7	8,7	9,1	10,9	13,2	15,5	17,2	17,8
24	17,5	16,5	14,6	12,3	10,2	9,1	9,5	11,2	13,4	15,6	17,1	17,7
22	17,4	16,5	14,8	12,6	10,6	9,6	10,0	11,6	13,7	15,7	17,0	17,5
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
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
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
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
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
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
8	16,1	16,1	15,5	14,4	13,1	12,4	12,7	13,7	14,9	15,8	16,0	16,0
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
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
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
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

Tabela 7 - Valores do fator de ponderação (W) para o efeito da radiação solar ETo a diferentes temperaturas e altitudes (FAO, 1979).

TEMPERATURA °C	W a altitude (m)				
	0	500	1.000	2.000	3.000
2	0,43	0,45	0,46	0,49	0,52
4	0,46	0,48	0,49	0,52	0,55
6	0,49	0,51	0,52	0,55	0,58
8	0,52	0,54	0,55	0,58	0,61
10	0,55	0,57	0,58	0,61	0,64
12	0,58	0,60	0,61	0,64	0,66
14	0,61	0,62	0,64	0,66	0,69
16	0,64	0,65	0,66	0,69	0,71
18	0,66	0,67	0,69	0,71	0,73
20	0,69	0,70	0,71	0,73	0,75
22	0,71	0,72	0,73	0,75	0,77
24	0,73	0,74	0,75	0,77	0,79
26	0,75	0,76	0,77	0,79	0,81
28	0,77	0,78	0,79	0,81	0,82
30	0,78	0,79	0,80	0,82	0,84
32	0,80	0,81	0,82	0,84	0,85
34	0,82	0,82	0,83	0,85	0,86
36	0,83	0,84	0,85	0,86	0,88
38	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88
40	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89

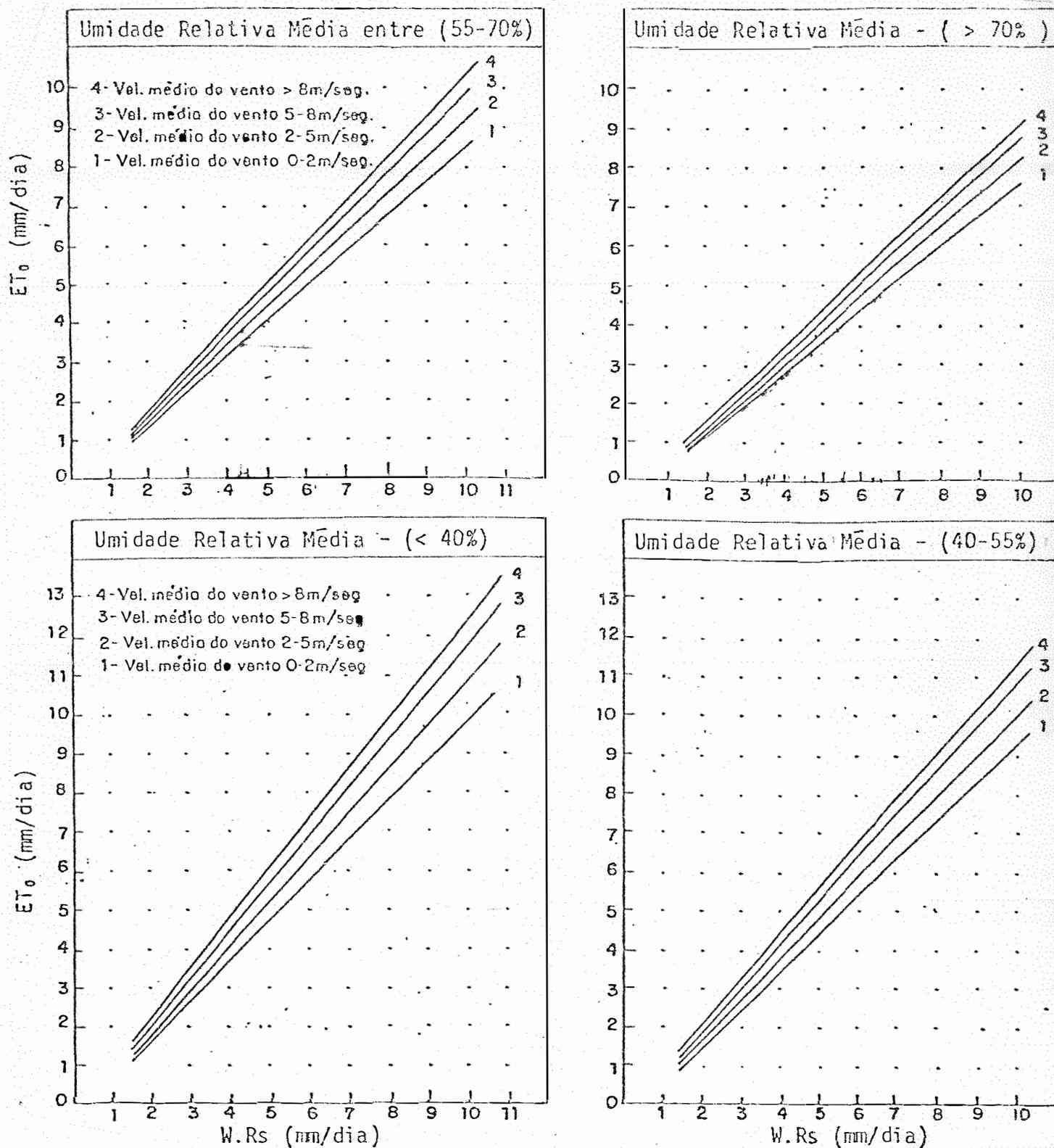


Figura 4 - Coeficiente angular de ajuste para estimativa de  $ET_0$  em relação à velocidade do vento (u) e umidade relativa (UR). Transcrito de "Yield Response to Water", FAO (1979).