ANÁLISE PRELIMINAR DO DESEMPENHO DE UM SISTEMA
DE MEDIDAS DE EVAPORAÇÃO PARA TANQUE CLASSE A

MALAQUIAS DA SILVA AMORIM NETO

Orientador: Dr. Nilson Augusto Villa Nova

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agrometeorologia.

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
Novembro, 1981

*A meus pais,
meus irmãos,
meus parentes,
meus amigos,
pelo apoio e incentivo que
me proporcionaram,
DEDICO.*

*A minha noiva Raílda,
pelo carinho, apoio e incentivo,
OFEREÇO.*

*HOMENAGEM especial,
ao Prof. Dr. Nilson Augusto Villa Nova,
o amigo sempre presente.*

AGRADECIMENTOS

Ao concluir este trabalho, a minha gratidão às seguintes pessoas e instituições:

Ao Prof. Dr. Nilson Augusto Villa Nova, pelo apoio, orientação, estímulo e amizade, constantes em todos os momentos.

Ao Prof. Dr. Jesus Marden dos Santos, por ter me proporcionado a oportunidade de realizar este trabalho.

Aos Professores do Departamento de Física e Agrometeorologia e de outros Departamentos da ESALQ, pela contribuição à minha formação.

Ao Prof. Dr. Humberto de Campos, pela orientação nas análises estatísticas dos resultados.

À Sra. Aurea B. Michelotto e à Srta. Ana Maria da Silva Maia, Secretárias do Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ, pela amizade e atenção dispensadas.

Ao Luiz Cláudio, Francisco e Paulo, funcionários do Departamento de Física e Meteorologia, pela ajuda proporcionada na realização deste trabalho.

Aos demais funcionários do Departamento de Física e Meteorologia,

Aos funcionários da Biblioteca da ESALQ, pela atenção dispensada.

Aos funcionários da Seção de Pós-Graduação da ESALQ, pela dedicação e boa vontade em solucionar nossos problemas.

À Srta. Sonia Maria Destefano Piedade, estagiária do Departamento de Matemática e Estatística da ESALQ, pela contribuição na análise dos dados.

Aos Engenheiros-Agrônomos Flávio Gilberto Herter e Paulo Henrique Caramori, pelo apoio e incentivo dentro e fora do curso.

Aos demais colegas do Curso de Pós-Graduação em Agrometeorologia.

À Maria Izalina Ferreira Alves, pela amizade e colaboração na elaboração do presente trabalho.

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de estudos concedida para realização do Curso de Pós-Graduação em Agrometeorologia da ESALQ/USP.

À firma APAGER - Aparelhos de Precisão para Agricultura em Geral Ltda, pela fabricação do equipamento utilizado neste trabalho.

A todos aqueles cujos nomes não foram aqui citados, que de alguma maneira contribuíram na minha formação e na realização deste trabalho.

Í N D I C E

	Pág.
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
3. MATERIAL	13
3.1 - Local	13
3.2 - Tanque Classe A Modificado	13
3.2.1 - Tanque Classe A padrão	14
3.2.2 - Tanque intermediário	14
3.2.3 - Tanque medidor	19
3.3 - Estação Meteorológica Auxiliar	19
3.3.1 - Tanque Classe A padrão	19
3.3.2 - Pluviômetro	19
3.3.3 - Anemômetro totalizador	20
3.3.4 - Termohigrógrafo	20
3.3.5 - Termômetros de máxima e mínima	20
3.3.6 - Evaporímetro de Piche	20
4. MÉTODOS	21
4.1 - Tanque Classe A Modificado	21
4.1.1 - Montagem e ajuste	21
4.2 - Testes Preliminares de Desempenho	22
4.2.1 - Aferição de escala de medida	23
4.2.2 - Estimativa da variação da altura de equilíbrio devida à dilatação volumétrica da água.	24

	Pág
4.3.- Estimativa da Evapotranspiração Potencial (ET _o).....	25
4.3.1 - Método do Tanque Classe A	25
4.3.2 - Método da Radiação Solar	26
4.3.3.- Método de Penman	27
4.3.4 - Método de Penman Simplificado	28
4.3.5 - Método de Thornthwaite	29
4.4 - Análise do Desempenho do Tanque Classe A Modificado com Relação ao Tanque Classe A Padrão	29
4.4.1 - Em dias sem chuva	29
4.4.2 - Em dias com chuva	30
4.5.- Análise do Desempenho dos Métodos de Estimativa de <u>E</u> vapotranspiração Potencial	31
5. RESULTADOS	32
5.1 - Relativos aos Testes Preliminares de Desempenho dos Tanques Classe A Modificados	32
5.1.1 - Aferição da escala de medida	32
5.1.2 - Estimativa da variação da altura de equilí- brio devida à dilatação volumétrica da água.	33
5.2.- Relativos ao Desempenho dos Conjuntos Evaporimétri- cos Modificados	33
5.2.1 - Evaporação em dias sem chuva	33
5.2.2 - Evaporação em dias com chuva	36

	Pág.
5.3 - Relativos às Comparações de Estimativas de Evapotrans- piração Potencial Obtidas pelos Diferentes Métodos ...	36
6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	38
6.1 - Relativos aos Testes Preliminares de Desempenho dos Tanques Classe A Modificados	38
6.1.1 - Aferição da escala de medida	38
6.1.2 - Estimativa da variação da altura de equilí- brio devido à dilatação volumétrica da água..	39
6.2 - Relativos ao Desempenho dos Tanques Classe A Modifica- dos	40
6.2.1 - Evaporação em dias sem chuva	40
6.2.2 - Evaporação em dias com chuva	41
6.3 - Relativos às comparações de Estimativa de Evapotrans- piração Potencial Obtida pelos Diferentes Métodos ...	42
7. CONCLUSÕES	47
8. BIBLIOGRAFIA	49
9. APÊNDICE	56

ANÁLISE PRELIMINAR DO DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE MEDIDAS DE EVAPORAÇÃO PARA TANQUE CLASSE A

Candidato: Malaquias da Silva Amorim Neto

Orientador: Prof. Dr. Nilson Augusto Villa Nova

R E S U M O

O presente trabalho diz respeito, ao projeto, construção e análise de desempenho de um novo sistema de medida evaporimétrica, que é acoplado a um tanque classe "A" padrão convencional, dando-se ao sistema o nome de "Tanque Classe A Modificado". A viabilidade do sistema foi testada contra medidas simultâneas realizadas com o sistema clássico (tanque classe A padrão e micrômetro) revelando, através de testes estatísticos, que o Tanque Classe A Modificado pode substituir com vantagens o sistema clássico, minimizando os erros de leitura que são cometidos, mesmo quando se dispõe de pessoal qualificados para esta operação, permitindo também a realização de medidas evaporimétricas com boa aproximação em dias de chuva.

Simultaneamente, tomando-se como referência a evapotranspiração potencial estimada pelo novo sistema de medida, comparações são feitas com estimativas de evapotranspiração potencial rea

lizadas por cinco processos convencionais utilizados, com a finalidade de avaliar o desempenho destes métodos.

S U M M A R Y

The present work deals with design, construction and performance analysis of a new system for evaporimetric measurements, which is coupled to a standard class A evaporation pan, and which was called "Modified Class A Pan". The viability of the system was checked against simultaneous measurements taken with the conventional system (standard class A pan plus micrometer depth gauge), indicating, from statistical tests, that it can be made even by qualified staff, and making it possible to carry out evaporimetric measurements with good approximation on rainy days.

Simultaneously, taking as reference the potential evapotranspiration estimated by the new system, comparisons are made with potential evapotranspiration measurements carried out by five conventional processes, with a view to evaluating the performance of these methods.

1. INTRODUÇÃO

A sempre crescente demanda de alimentos obriga a nação a produzir para consumo interno, ou mesmo para exportação, uma maior quantidade de produtos agrícolas. Para este fim, áreas de cultivo, consideradas como impróprias pela irregularidade da disponibilidade natural de água, começam a ser utilizadas, graças aos recursos da irrigação, de aplicação cada vez mais crescente. Na condução racional de um projeto de irrigação, faz-se necessário sempre determinar a quantidade e a frequência de aplicação de água. Para isto é de grande importância conhecer-se a demanda de água dos diferentes cultivos, demanda esta que é sempre referida ao valor padrão, denominado de "evapotranspiração potencial". Para determinação da evapotranspiração, diferentes métodos são sugeridos (pelo menos mais do que trinta são conhecidos), sendo poucos aqueles cuja aplicação é

possível, seja por requererem conhecimento de parâmetros climáticos locais não disponíveis, ou seja pela complexidade de utilização. Através de estudos conduzidos pela FAO (1979) como resultado condensado de inúmeros trabalhos de pesquisa, a mesma organização preconiza, entre outros, o uso do Tanque Classe A para a estimativa da evapotranspiração potencial. Na utilização prática deste evaporímetro, nas condições usuais de trabalho, quase sempre são detectados erros operacionais, devido à relativa complexidade de leitura e manuseio.

No presente trabalho procura-se simplificar o sistema de medidas de evaporação do Tanque Classe A, através de modificações introduzidas no sistema padrão sem perda da precisão devida, com a finalidade de minimizar os erros operacionais que se observam com muita frequência na prática rotineira, como os de leitura do micrômetro, perdas de dados em dias de chuva, erros cometidos no reabastecimento e transporte de dados.

Paralelamente a este desenvolvimento, são comparados os resultados simultâneos de evapotranspiração potencial obtidos pelas medidas do tanque e por alguns métodos usuais de estimativa.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Inúmeros são os métodos climáticos sugeridos para estimativa da perda de água em superfícies cultivadas. Alguns como os métodos elaborados por PENMAN (1948 e 1956), RIJTEMA (1957), McJHOY (1961), JENSEN-HAISE (1963), LINGEN (1967) necessitam, para sua aplicação, dos parâmetros: temperatura do ar, umidade relativa, vento, insolação ou energia, estruturando-se em uma base física racional; e outros que correlacionam empiricamente alguns parâmetros climáticos de simples medida, tais como: os métodos de THORNTHWAITE (1955), MAKKINK (1957), BLANEY-CRIDLLE (1964), entre outros. A escolha de um ou outro método dependerá quase sempre da disponibilidade de dados. Normalmente observa-se também que estes métodos estimam primariamente a "evapotranspiração potencial", tal como foi definida por THORNTHWAITE (1948), ou evapotranspiração de referência (FAO,

1979), obtendo-se o valor específico de evapotranspiração de uma cultura qualquer, através de um fator corretivo denominado "coeficiente de cultura", o qual depende das condições ideais de umidade do solo e do estágio de desenvolvimento da cultura.

Investigando a confiabilidade das medidas dos métodos citados, um Comitê Técnico da Divisão de Irrigação e Drenagem da Sociedade Americana de Engenharia Civil (Jensen, 1973, citado por BERLATO e MOLION, 1981), realizando comparações entre evapotranspiração medida e estimada constataram-se bons resultados, desde que se observasse o seguinte tempo mínimo de medida:

MÉTODO	PERÍODO DE TEMPO MÍNIMO
Penman	Um dia
Jensen-Haise	Cinco dias
Makkink	Dez dias
Thornthwaite	Mensal
Blaney-Cridlle	Mensal

Para condições do Estado de São Paulo, CAMARGO(1961) testou o método de Thornthwaite, com dados de evapotranspirômetros, considerando racional sua utilização também em período mensal.

Em recente trabalho publicado pela FAO (1979), resultado de observações condensadas de inúmeros experimentos realizados em várias regiões do mundo, recomenda-se como racionais para estimativas de evapotranspiração de referência os métodos de Penman, da

Radiação Solar e aquele que utiliza o tanque Classe A padrão. Com relação a este evaporímetro, inúmeras são as pesquisas que relatam a sua utilização em estimativas de evaporação e evapotranspiração.

ASSIS e VIEIRA (1981), estudando as estimativas da evaporação do tanque Classe A para períodos de 1, 3, 5 e 7 dias, através de um modelo empírico envolvendo déficit de saturação do ar, observaram que a evaporação apresenta correlação com o déficit de saturação à temperatura média ou máxima do ar, superior a 80%, com um erro de estimativa para temperatura média inferior a 1 mm/dia e para temperatura máxima superior a 1 mm/dia.

A exposição de um tanque de evaporação influi consideravelmente nos resultados obtidos. LOMAS e SCHLESINGER (1970), estudando a influência de obstáculos sobre o tanque, constataram que a colocação de quebra ventos, em dois locais e épocas diferentes, influem na evaporação do tanque nas seguintes proporções: para Miretáhim no verão a diferença entre o tanque com proteção a 5 m e outro sem proteção foi de 10%, já em Eilat no inverno a diferença foi de 1%. HANSON e RANZI (1977) verificaram que uma simples cerca de arbustos nas proximidades diminuiu de cerca de 14% a evaporação.

Às vezes é necessária a cobertura do tanque com tela de arame para prevenir-se a utilização da água por animais. O simples fato de se colocar uma tela protetora de arame, segundo KALMA e STANHILL (1969), reduziu a evaporação em 11% com relação ao tanque sem tela. CAMPBELL e PHENE (1976), colocando uma tela de 5 cm

de malha observaram uma redução de 13% da evaporação. Também pesquisadores da FAO (1976) verificaram que tanques cobertos com tela de arame reduzem a evaporação em 10%. SILVA *et alii* (1981), estudando a influência de proteções sobre o tanque, observaram que a evaporação diminuía em 14,5% quando coberto com uma tela e 13,3% com uma cerca de tela de malha de 1,5 x 2,0 cm. Já a evaporação em tanques enterrados e coberto foi reduzida em 31%.

O estado de umidade do solo adjacente também influencia nos resultados. DALE e SCHEERINGA (1977) determinaram que, para cada 10% de variação de umidade do solo adjacente há um aumento de 0,2 mm/dia na evaporação.

É muito frequente, por questões de conservação, a pintura das paredes e do fundo dos tanques. WARTENA e BORGHORST (1960), estudando o balanço de energia sobre o tanque, verificaram que o fundo em chapa galvanizada simples reflete em média 8% da radiação de ondas curtas absorvida, e que a modificação deste albedo pode ocasionar erros de medida.

OLIVEIRA (1971), estudando o comportamento do tanque Classe A para a região de Piracicaba, SP, em diferentes condições de exposição, determinou um fator médio anual de 0,72 para conversão da evaporação do tanque em evaporação de superfície livre d'água.

Procurando minimizar os "erros do operador", que ocorrem com o uso do micrômetro de gancho na medida da evaporação do

tanque, ALBERIO (1979) substituiu o sistema convencional por um sistema acoplado ao tanque que constitui-se de um tanque abastecedor com uma regua milimetrada para medidas e um conjunto de sifões que fornece a referência de nível, obtendo com esta modificação para dados diários e médias de cinco dias, os seguintes coeficientes de correlação, respectivamente, 0,9792 e 0,9935. ASSIS (1978), substituindo o micrômetro por uma escala graduada e mantendo o tanque sempre a nível constante, encontrou correlações significativas com o sistema convencional.

Grande é o número de pesquisadores que estudam as relações entre evapotranspiração potencial, necessidade de água de culturas e a evaporação do tanque Classe A.

FUCHS *et alii* (1964), comparando, em cultura de algodão, a perda d'água calculada por processo gravimétrico e aquela estimada pelo método do tanque Classe A, constataram que ambos os métodos fornecem resultados similares. Todavia, os equipamentos e trabalho necessários foram dez vezes maiores pela gravimetria. DOSS *et alii* (1964), trabalhando com forragens em vários níveis de umidade, obtiveram elevada correlação entre a evapotranspiração medida nos diferentes estágios de crescimento e de umidade do solo, com a evaporação do tanque Classe A.

EKERN (1966), estudando evapotranspiração de grama em lisímetros, verificou que quando o solo se encontrava próximo à capacidade de campo, com evapotranspiração potencial alta, as necessi

dades de água da vegetação era aproximadamente igual à evaporação do tanque Classe A. TOVEY *et alii* (1969), pesquisando gramíneas, concluíram que estimativas de evapotranspiração realizadas pelo tanque em período semanal, concordam com as medidas realizadas na fase de desenvolvimento ativo, quando a cobertura do solo é plena.

EVANS (1971), relacionando evapotranspiração de arroz irrigado na Austrália, encontrou uma relação de 1,02 com a evaporação do tanque Classe A, em todas as fases do desenvolvimento. CRUCIANI (1972) observou que a evaporação do tanque Classe A e a evapotranspiração real são altamente correlacionadas nos três estágios do ciclo da cana-de-açúcar. Pesquisadores da EMBRAPA (1978), correlacionando evaporação do tanque Classe A com a evapotranspiração do feijão, observaram que o tanque tem se mostrado como um bom indicador do consumo de água pela cultura. MATZENAUER *et alii* (1981), estudando evapotranspiração do milho e sua relação com a evaporação do tanque Classe A, concluíram que esta relação foi menor durante a fase semeadura-emergência, aumentando progressivamente até a fase de pendramento-espigamento, obtendo nesta fase o valor máximo de 0,96.

Vários pesquisadores têm realizado trabalhos para determinar o coeficiente de proporcionalidade entre a evapotranspiração real e a evaporação do tanque Classe A de determinadas culturas, como: KRUTMAN (1963), THOMPSON (1965), THOMPSON e BOYEE (1967), CHANG *et alii* (1968), EARLY e GREGORIO (1971), CRUCIANI (1972), pa-

ra cana-de-açúcar; DENMEAD e SHAW (1959), FRITSCHEN e SHAW (1961), DOSS *et alii* (1962), SCARDUA (1970), para milho; JUNIOR (1978), ENCARNÇÃO (1980), para feijão.

ENCARNÇÃO (1980), estimando o coeficiente de cultura para o feijão ao longo do ciclo, verificou que a estimativa da evapotranspiração potencial, através do tanque Classe A, entre outros modelos estudados, fornecem os valores mais próximos dos sugeridos pela FAO (1979).

Outros trabalhos têm sido desenvolvidos para comparar a evaporação e evapotranspiração estimada por métodos empíricos e a medida pelo tanque Classe A. STANHILL (1961), comparando a evapotranspiração potencial calculada por vários métodos que envolvem parâmetros climáticos, obteve os seguintes coeficientes de correlação para períodos mensais e semanais, respectivamente: Penman, 0,96 e 0,76; Thornthwaite, 0,94 e 0,73; Blaney e Criddle, 0,90 e 0,70; Makkink, 0,95 e 0,75; Tanque Classe A, 0,95 e 0,77; Radiação solar, 0,91 e 0,77. Por outro lado, CHAPAS e REES (1963), comparando a evaporação medida em tanque Classe A com a estimada por métodos empíricos, observaram que a estimada por Thornthwaite é superior à do tanque e que este método também superestima a evapotranspiração. Já o método de Penman estima a evaporação com valores bem coerentes com os do tanque e a evapotranspiração calculada por ele é aproximadamente igual a de uma superfície livre de água.

VILLA NOVA (1967), relacionando valores médios mensais de evaporação potencial estimada pelo método de Penman e medidos pelo tanque Classe A, encontrou um fator de conversão de 0,76.

Na prática da irrigação em culturas, vários são os pesquisadores que têm utilizado o dado de evaporação do tanque classe A para programar quantidades de água necessárias às culturas.

FUCHS e STANHILL (1963), pesquisando a utilização de evaporação do tanque Classe A para estimar a irrigação necessária à cultura do algodão, durante dois anos em 15 locais, cobrindo uma larga variação de climas, solos e condições de planta, confirmaram a existência de um alto grau de correlação entre a evapotranspiração de campos irrigados e a evaporação do tanque.

GOLDBERG *et alii* (1966), estudando as necessidades hídricas do amendoim e a evaporação do tanque Classe A, durante a estação de crescimento da cultura, observaram que o tratamento ótimo de irrigação foi o aplicado semanalmente em uma quantidade igual a 90% da evaporação do tanque.

JONES (1980), em estudos realizados no Havaí, mostrou que para períodos mensais: (1) cana-de-açúcar irrigada por aspersão e sulcos, a evapotranspiração potencial é aproximadamente igual à evaporação do tanque Classe A; e, (2) quando irrigada por gotejo, a evapotranspiração potencial pode ser aproximadamente 15% menor que a evaporação do tanque Classe A.

A utilização de outros tipos de evaporímetros que não o tanque Classe A, parece não ser favorável. TANNER (1968) admite que atmômetros devido ao problema de tamanho e exposição, resultam em correlações complexas com a evapotranspiração, não viabilizando a sua utilização para esta estimativa.

Com relação ao evaporímetro de Piche, STANHILL(1962), estudando as relações entre evaporação Piche e evapotranspiração potencial, verificou que esta está altamente correlacionada com o termo aerodinâmico da fórmula de Penman, propondo sua utilização para estimar este termo. FERREIRA (1972) cita o fato de que, devido à simplicidade operacional e baixo custo, o evaporímetro de Piche tem originado muita especulação quanto à utilização de seus dados. Cita também os trabalhos de Thornthwaite (1954), Stanhill (1961) e Omar (1970), que concluem que o instrumento é inadequado para estimativas de evapotranspiração potencial, todavia, determinando certas correlações com o termo aerodinâmico de Penman.

Vários têm sido os trabalhos efetuados por pesquisadores da WMO (1966), em países diferentes, comparando o tanque classe A com outros tipos de evaporímetros e atmômetros. Entre eles podemos citar os efetuados nos territórios do leste Africano, onde correlacionaram-se média anual de evaporação do evaporímetro de Piche e o tanque Classe A, obtendo um coeficiente de 0,965. Já para a República Árabe Unida, no período de 1958-1962, obteve-se uma relação de 0,64 para o evaporímetro de Piche ao ar livre e 1,03 quando

protegido. Em Israel, para o período de 1954-1960, obteve-se uma relação de 1,06 para o evaporímetro de Piche. No Kenya, comparando-se com o tanque Kenya, obteve-se 0,95 correlacionando-se valores diârios. Comparações feitas em Poona (Índia) indicam que a relação de valores de um tanque de 20 pés de diâmetro e 10 polegadas de profundidade com o tanque Classe A é 0,78. Nos Estados Unidos, por comparações durante um ano, obteve-se 0,77 na relação entre tanque Classe A e o lago Felt. Na União Soviética uma relação entre o tanque 20 m^2 e o Classe A obteve-se 0,77.

BROWN e HOLLSTED (1952), comparando a evaporação do tanque Classe A com a do tanque tipo Plant Industry em Hays, Kans, observaram que em 14 anos de dados a evaporação do Plant Industry é 1,46 vezes maior que a do tanque Classe A.

STANHILL (1958) desenvolveu um equipamento íntegrador de evaporação e precipitação, constituindo-se de um evaporímetro, um reservatório e um pluviômetro, acoplados de maneira que a quantidade d'água no equipamento correspondia à quantidade d'água retida no solo. Este equipamento foi utilizado como indicador de irrigação, demonstrando ser tão preciso como qualquer outro método e tendo a vantagem de dar a indicação direta do déficit de umidade do solo.

3. MATERIAL

3.1.- Local

O experimento em questão foi conduzido nas dependências do campo experimental do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), Piracicaba, SP, cujas coordenadas aproximadas são: Latitude $22^{\circ}43'$ S, longitude $47^{\circ}38'$ W e altitude 560 m.

3.2. Tanque Classe A Modificado

Entende-se por conjunto evaporimétrico modificado um sistema de medida de evaporação (Figura 1.A e 1.B), constituído de um tanque classe A padrão (A), um tanque intermediário (I), e um tanque medidor (M), cujas características construtivas são as seguintes.

3.2.1 - Tanque Classe A padrão

Tanque de chapa galvanizada nº 22, diâmetro 120,7 cm e altura 25 cm, montado sobre suportes de madeira a 15 cm do solo.

3.2.2 - Tanque intermediário

Tanque cilíndrico, chapa galvanizada 22, diâmetro 30 cm, altura 20 cm, com tampa (T) e suportes (S) de ferro, tripé de ferro chato 1 x 1/4, altura 30 cm, com três saídas (Figuras 1.A, 1.B, 2.A e 2.B).

- a) Tubulação de PVC (E), acoplada ao corpo da válvula (K), torneada em latão, com agulha torneada em teflon (Y). Fixando o conjunto no corpo do tanque, porcas interna e externa (Z). Suportes de metal (V) acoplados à boia (B) acionam a agulha (Y), através da unha de ajuste (W) (Figuras 1.A e 2.A)
- b) Tubulação de alimentação do tanque Classe A (P): situada próxima ao fundo, diâmetro interno de 1 cm.
- c) Tubulação de drenagem (D): luva metálica de ferro (L), soldada no fundo do tanque, na qual se rosqueia um tubo de latão (F) de altura regulável, vedado por junta de borracha e porca de aperto (G). As ligações entre os tanques foram feitas com tubo PVC transparente de 1 cm de diâmetro interno (H).

FIGURA I.A - CONJUNTO EVAPORIMÉTRICO MODIFICADO

FIGURA. I,B - VISTA DO CONJUNTO EVAPORIMETRICO MODIFICADO.

FIGURA. II.B - VISTA DO TANQUE INTERMEDIÁRIO.

3.2.3 - Tanque medidor

Cilíndrico, diâmetro 27 cm, altura 70 cm, chapa galvanizada 22 com tampa removível. Possui uma tomada para tubo de nível de 1 cm de diâmetro (N) e uma saída d'água (V), diâmetro 1 cm, para o tanque intermediário. Um suporte (S) de ferro chato de 1" x 40 cm (tripé) mantém o tanque na altura de trabalho (Figura 1.A). Uma escala graduada em mm de evaporação (U) foi fixada ao longo do tubo de nível.

3.3 - Estação Meteorológica Auxiliar

Para medida dos elementos de clima necessários à condução do experimento, montou-se uma estação meteorológica auxiliar, gramada e cercada segundo os padrões, com os seguintes componentes.

3.3.1 - Tanque classe A padrão

Idêntico ao já descrito, porém com o sistema de medição convencional constituído de poço tranquilizador e micrometro de gancho.

3.3.2 - Pluviômetro

Tipo FUESS com 387 cm^2 de área de recepção, instalado a 1,5 m de altura.

3.3.3 - Anemômetro totalizador

Anemômetro de canecas, marca Fuess com registro totalizador, colocado a 2 m acima do nível do solo.

3.3.3 - Termohigrógrafo

Convencional, marca Fuess, de rotação semanal, previamente calibrado, instalado em abrigo termométrico padrão.

3.3.5 - Termômetros de máxima e mínima

Convencionais, de coluna de mercúrio em vidro (máxima) e de álcool em vidro (mínima) marca Fuess, previamente aferidos e instalados no abrigo termométrico padrão.

3.3.6 - Evaporímetro de Piche

Modelo clássico, instalado no abrigo termométrico padrão.

4. MÉTODOS

4.1. - Conjunto Evaporimétrico Modificado

Para colocar em marcha operacional, o conjunto evaporimétrico modificado passou pela seguinte série de operações.

4.1.1 - Montagem e ajuste

Os tanques dispostos de acordo com a Figura 1.A, passaram pelas seguintes etapas de ajuste.

4.1.1.1 - Nivelamento do Tanque Classe A - realizado com régua e nível comum.

4.1.1.2 - Determinação do nível de equilíbrio do tanque intermediário: Esta operação foi realizada introduzindo-se água pela tubulação (E) com a saída P fechada, até

cessar a admissão de água. Marcou-se então este nível com lápis na parte externa do tanque intermediário.

4.1.1.3 - Regulagem da altura de trabalho do tanque intermediário: Esta altura foi obtida ajustando-se o suporte (com batidas e penetração no solo) até que o nível marcado na parte externa do tanque intermediário (I) estivesse na altura correspondente a 6 cm abaixo da parte superior do Tanque Classe A. Assim procedendo, condicionou-se o nível d'água no Tanque Classe A, sempre aproximadamente a 6 cm da borda, que é o nível médio entre 5 e 7 cm permissíveis para o Tanque Classe A padrão.

4.1.1.4 - Regulagem do dreno do tanque intermediário: Uma vez determinado o nível d'água dentro do tanque intermediário (nível de trabalho), soltando-se a porca de fixação G, rosqueou-se o tubo de dreno até que sua extremidade superior estivesse a cerca de 0,1 mm acima do nível d'água.

4.2 - Testes Preliminares de Desempenho

Para avaliar-se preliminarmente as condições de desempenho do conjunto evaporimétrico modificado, procederam-se aos seguintes testes.

4.2.1 - Aferição da escala de medida

Para verificação de possíveis erros construtivos, procedeu-se um teste da escala de medida que depende dos diâmetros dos tanques, da seguinte maneira. Sendo,

V_1 = volume de água evaporada no tanque classe A;

Δh_1 = altura de água evaporada no tanque classe A;

S_1 = superfície do tanque Classe A;

V_2 = volume escoado do tanque intermediário para manter o nível constante;

V_3 = volume escoado do tanque medidor para manter o nível constante;

Δh_3 = altura de água escoado do tanque medidor;

S_3 = superfície do tanque medidor (M).

Todas as vezes que ocorrer a evaporação V teremos, de acordo com o balanço de água:

$$V_1 = V_2 = V_3 = V$$

pois, os tanques medidor e intermediário são vedados, portanto, a única perda admissível, seria aquela por evaporação no tanque Classe A. Decorre que,

$$V_1 = V_3 \quad ,$$

ou, ainda,

$$\Delta h_1 S_1 = h_3 S_3$$

e também

$$\Delta h_3 = \Delta h_1 \cdot \frac{S_1}{S_3}$$

A altura de água que escoa do tanque medidor (Δh_3) será então S_1/S_3 vezes maior do que a altura de água evaporada.

O teste de escala consistiu então de retirar-se repetidos volumes do tanque A, medindo-se a variação de altura decorrente (Δh_1) e colocar-se estes mesmos volumes no tanque medidor, medindo também a variação de altura ocorrida (Δh_3). A relação média entre a área dos tanques ($\bar{S}_1/\bar{S}_3$) ficou expressa por:

$$\frac{\bar{S}_1}{\bar{S}_3} = \frac{\Delta h_3}{\Delta h_1} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\Delta h_3}{\Delta h_1}}{n}$$

onde n é o número de repetições.

4.2.2 - Estimativa da Variação da Altura de Equilíbrio Devida à Dilatação Volumétrica da Água

Desde que a altura de equilíbrio das colunas d'água nos tanques deve variar em função da temperatura, estimou-se uma provável variação de altura de equilíbrio (Δh) pelas seguintes relações. Sendo:

h_1 e h_2 as alturas de equilíbrio, as temperaturas da água, t_1 e t_2 ;

V_1 e V_2 os volumes correspondentes de uma mesma massa d'água a estas temperaturas;

teremos uma variação de volume correspondente,

$$\begin{aligned}\Delta V &= V_2 - V_1 = V_0 [1 + \alpha(t_2 - t_0)] - V_0 [1 + \alpha(t_1 - t_0)] \\ &= V_0 \alpha(t_2 - t_1) \quad ,\end{aligned}$$

sendo t_0 a temperatura de referência, e α , coeficiente de dilatação volumétrica da água.

Assim sendo, a variação total de altura de equilíbrio entre t_2 e t_1 será:

$$\Delta h = \frac{\Delta V}{S_1} = \frac{V_0 \alpha(t_2 - t_1)}{S_1} = \frac{h_0 S_1}{S_1} \alpha(t_2 - t_1) \quad ,$$

ou ainda:

$$\Delta h = h_0 \alpha(t_2 - t_1) \quad ,$$

expressão que nos permite estimar a amplitude de variação da altura de equilíbrio h , em função das temperaturas extremas t_2 e t_1 , observadas em um período, e da altura total da água no tanque classe A, considerada como h_0 , desde que no intervalo de temperaturas consideradas, α pode ser tomado como constante.

4.3 - Estimativas da Evapotranspiração Potencial (ET_0)

Para estimativas da evapotranspiração potencial (ou de referência) utilizaram-se os seguintes métodos.

4.3.1 - Método do Tanque Classe A

De acordo com as normas preconizadas pela FAO (1979) a evapotranspiração potencial ou de referência (ET_0) será expressa

em função do Tanque Classe A, por:

$$ET_o = K_p \cdot ECA \quad ,$$

onde, ECA = evaporação medida no Tanque Classe A (mm/período);

K_p = "coeficiente de Tanque", função da velocidade média do vento, umidade relativa média, e tipo de exposição do tanque (Tabela I do Apêndice).

4.3.2 - Método da Radiação Solar

A estimativa da evapotranspiração de referência pelo método da radiação solar (ET_{o_4}), consiste na resolução das equações:

$$ET_{o_4} = c \cdot w \cdot R_s$$

$$R_s = R_A \left(0,24 + 0,58 \frac{n}{N} \right) \quad ,$$

onde, R_s = radiação de onda curta, estimada ao nível do solo (mm/período);

R_A = radiação extra terrestre, função do mês e latitude (Tabela II do Apêndice);

w = fator de ajuste dependente da temperatura média do ar e altitude (Tabela II do Apêndice);

c = fator de ajuste dependente da velocidade e umidade relativa média do vento no período, obtido graficamente (Figura 3 do Apêndice).

Para um melhor ajuste às condições locais, utilizou-se, no método, ao invés da equação original, aquela proposta por OMETTO (1968), determinada para as condições de Piracicaba, SP, ou seja,

$$R_s = R_A (0,26 + 0,51 \frac{n}{N})$$

4.3.3 - Método de Penman

Para estimativa da evapotranspiração potencial pelo método de Penman (ET_{O_5}), utilizou-se a formulação original proposta pelo autor (PENMAN, 1948):

$$ET_{O_5} = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} H + E_a}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1},$$

sendo,

$$H = R_A (0,24 + 0,58 \frac{n}{N}) (1-a) - \sigma T_a^4 (0,56 - 0,09 \sqrt{e}) (0,1 + 0,9 \frac{n}{N})$$

$$E_a = 0,35 (1 + \frac{11}{160}) (e_s - e)$$

$\frac{\Delta}{\gamma}$ = fator adimensional dependente da temperatura média do ar no período (vide Tabela V);

onde os termos significam:

H = balanço de energia radiante (mm/período);

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

U = velocidade do vento (km/dia);

n/N = razão de insolação média do período;

a = poder refletor ($r = 0,25$);

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

σ = constante de Stefan Boltzman ($0,807 \times 10^{-10} \text{ cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}.\text{K}^{-4}$);

e = valor médio de pressão de vapor (mm Hg/período);

e_s = tensão de saturação à temperatura T_a (mm Hg).

4.3.4 - Método de Penman Simplificado

O método de Penman modificado refere-se a uma simplificação do método original, proposta por VILLA NOVA e OMETTO (1981), que consiste do seguinte conjunto de equações, válidas para as condições de clima semelhantes às de Piracicaba, SP:

$$ET_{06} = \frac{\frac{\Delta}{\gamma}}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1} \left[R_A \left(0,19 + 0,23 \frac{n}{N} \right) \right] + 0,28 E_p, \quad (\text{mm/período})$$

válida para o período primavera-verão, e

$$ET_{06} = \frac{\frac{\Delta}{\gamma}}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1} \left[R_A \left(0,17 + 0,11 \frac{n}{N} \right) \right] + 0,28 E_p, \quad (\text{mm/período})$$

válida para o período outono-inverno, sendo E_p a evaporação de Piche ao abrigo (mm/período), e Δ/γ , R_A e n/N , com significado já descrito anteriormente.

Para o presente trabalho foi utilizada uma solução gráfica das equações propostas, demonstrada no Apêndice (Vide Figura 1 e 2).

4.3.5 - Método de Thornthwaite

Estimou-se a evapotranspiração potencial pelo método de Thornthwaite, utilizando-se das Tabelas interpoladas por CAMARGO (1961) (vide (Tabelas IV.A e IV.B do Apêndice)). A evapotranspiração para cada pentada foi calculada em função das relações:

$$ET_{O7} = 5 ET_O^* \times f ,$$

sendo, ET_{O7} = evapotranspiração potencial corrigida (mm/5 dias);

ET_O^* = evapotranspiração potencial não corrigida (mm/dia) em função da temperatura média diária e da temperatura média mensal;

f = fator de correção diário para latitude de $22^{\circ}43'S$ (Piracicaba, SP) e para cada mês do ano.

4.4. - Análise do Desempenho do Tanque Classe A Modificado com Relação ao Tanque Classe A.

4.4.1 - Em dias sem chuva

Para verificar-se se as evaporações observadas nos tanques modificados 1 e 2 (E_1 e E_2) não diferiam entre si, e se sua média $\bar{E}_{12}$ ($\bar{E}_{12} = \frac{E_1 + E_2}{2}$) não diferia daquela observada no tanque padrão (E_p), procederam-se às seguintes análises estatísticas.

Tomando-se por base os dados diários dos meses de março, abril, maio, junho e julho de 1980 e os dados globais deste período,

realizaram-se os seguintes confrontos para dados pareados, utilizando-se o teste t.

- a) E_1 versus E_2 (para valores diários e globais).
- b) $\bar{E}_{12}$ versus E_p (para valores diários e globais).
- c) E'_1 versus E'_2 (para valores acumulados de três dias).
- d) $\bar{E}'_{12}$ versus E'_p (para valores acumulados de três dias).

4.4.2 - Em dias com chuva

Para os dias de chuva, nos quais os dados de E_1 e E_2 discrepavam daqueles obtidos de E_p , corrigiram-se os valores de E_p através de um simples balanço hídrico (casos nos quais o tanque padrão não chegará a transbordar), ou seja, $E_p = L_1 + P - L_2$, onde:

E_p = evaporação corrigida do tanque padrão;

L_1 = leitura micrométrica do dia anterior;

L_2 = leitura micrométrica do dia posterior;

P = precipitação medida no pluviômetro.

Os valores de E_p assim corrigidos, foram comparados com E_1 e E_2 , com a finalidade de verificar a viabilidade desta correção.

4.5 - Análise do Desempenho dos Métodos de Estimativa de Evapotranspiração Potencial

Tomando como valor mais próximo do verdadeiro o valor médio de ET_{O_1} e ET_{O_2} ($\overline{ET}_{O_{12}}$), valor "medido" de evapotranspiração potencial, efetuou-se um estudo de regressão linear, tanto para valores diários, como para valores de pentadas, entre as seguintes estimativas:

a) $\overline{ET}_{O_{12}} \times \overline{ET}_{O_3}$

b) $\overline{ET}_{O_{12}} \times \overline{ET}_{O_4}$

c) $\overline{ET}_{O_{12}} \times \overline{ET}_{O_5}$

d) $\overline{ET}_{O_{12}} \times \overline{ET}_{O_6}$

e) $\overline{ET}_{O_{12}} \times \overline{ET}_{O_7}$

5. RESULTADOS

5.1 - Relativos aos Testes Preliminares de Desempenho dos Tanques Classe A Modificados

5.1.1 - Aferição da escala de medida

No Quadro I do Apêndice, são demonstrados os valores simultâneos de $\Delta h_3 / h_1$ obtidos pela metodologia exposta, assim como o valor médio do valor de S_1 / S_3 , para cada conjunto evaporimétrico modificado, que nos demonstraram a relação média construtiva obtida entre as seções dos tanques medidores e os tanques evaporimétricos classe A.

5.1.2 - Estimativa da variação da altura de equilíbrio devido à dilatação volumétrica da água

De acordo com o exposto no método, a provável amplitude de variação da altura de equilíbrio Δh , sendo expressa por

$$\Delta h = h_0 \alpha (t_2 - t_1) , \quad .$$

admitindo que, durante um período qualquer a temperatura da água do tanque varie de $(t_2 - t_1)$, sendo $\alpha = 0,207 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, e h aproximadamente 225 mm, obter-se-ão as seguintes variações da altura de equilíbrio da água no tanque intermediário (Δh):

Δh	$t_2 - t_1$
0,5 mm	10 $^\circ\text{C}$
0,7 mm	15 $^\circ\text{C}$
0,9 mm	20 $^\circ\text{C}$

5.2 - Relativos ao Desempenho dos Conjuntos Evaporimétricos Modificados

5.2.1 - Evaporação em dias sem chuva

No Quadro II do Apêndice são relatados os valores diários simultâneos de evaporação medida pelos conjuntos evaporimétricos modificados (E_1 e E_2) e aqueles obtidos pelo tanque padrão E_p . Relativas a estes dados procederam-se às seguintes análises:

a) Confronto entre os dados observados de E_1 e E_2 com a finalidade de verificar se E_1 difere estatisticamente de E_2 na escala diária

ria, considerando-se os meses em separado e o período global. O teste t aplicado revelou os seguintes resultados.

Quadro A - Confronto de E_1 e E_2 .

MESES	t	$\bar{d}$	INTERVALO DE CONFIANÇA (95%)		MÉDIAS	
			LI	LS	$\bar{E}_1$	$\bar{E}_2$
Março	-0,36	-0,11	-0,73	0,51	5,92	5,81
Abril	0,67	0,08	-0,16	0,32	3,89	3,97
Maio	-0,10	-0,02	-0,36	0,32	3,17	3,15
Junho	2,66*	0,32	0,08	0,56	2,17	2,49
Julho	0,79	0,16	-0,24	0,56	3,00	3,16
Global	0,10	1,34	-0,06	0,26	3,30	3,40

$\bar{d}$ = média das diferenças $E_2 - E_1$.

LI = limite inferior do intervalo de confiança.

LS = limite superior do intervalo de confiança.

b) Confronto entre os dados observados de $\bar{E}_{1,2}$ e E_p com a finalidade de verificar se $\bar{E}_{1,2}$ difere estatisticamente de E_p na escala diária, considerando-se os meses em separado e o período global. O teste t aplicado revelou os seguintes resultados:

Quadro B - Confronto de $\bar{E}_{1,2}$ e E_p .

MESES	t	$\bar{d}$	INTERVALO DE CONFIANÇA (95%)		MÉDIAS	
			LI	LS	$E_{1,2}$	$\bar{E}_p$
Março	1,64	0,30	-0,06	0,66	5,86	5,56
Abril	-0,29	-0,03	-0,23	0,17	3,96	3,99
Maio	1,54	0,14	-0,04	0,32	3,17	3,02
Junho	-0,07	-0,01	-0,21	0,19	2,33	2,34
Julho	-0,08	-0,02	-0,52	0,48	3,10	3,12
Global	1,26	0,07	-0,03	-0,17	3,36	3,30

No Quadro III do Apêndice são relatados os valores simultâneos acumulados (para 3 dias) de E'_p (evaporação do tanque padrão), E'_1 e E'_2 (evaporação dos tanques modificados) e $\bar{E}'_{1,2}$, a média de E'_1 e E'_2 para 3 dias. Relativas a estes dados, procederam-se às seguintes análises:

a) Confronto entre os dados acumulados para 3 dias de E'_1 e E'_2 com a finalidade de se verificar se E'_1 difere estatisticamente de E'_2 , no período global. O teste t aplicado revelou os seguintes resultados:

Quadro C - Confronto de E'_1 e E'_2 .

t	$\bar{d}$	INTERVALO DE CONFIANÇA (95%)	
		LI	LS
1,25	0,25	-0,15	0,65

b) Confronto entre os dados acumulados de $\bar{E}'_{12}$ e E'_p , com a finalidade de se verificar se $\bar{E}'_{12}$ difere estatisticamente de E'_p , no período global. O teste t aplicado revelou os seguintes resultados.

Quadro D - Confronto de $\bar{E}'_{12}$ e E'_p .

t	$\bar{d}$	INTERVALO DE CONFIANÇA (95%)	
		LI	LS
1,42	0,22	-0,10	0,54

5.2.2 - Evaporação em dias com chuva

Os valores de evaporação em dias de chuva E_p , evaporação corrigida E_{pc} e evaporação dos tanques E_1 e E_2 são relacionados no Quadro IV do Apêndice.

5.3 - Relativos às Comparações de Estimativas de Evapotranspiração Potencial Obtidas pelos Diferentes Métodos

No Quadro V do Apêndice são relatados os valores obtidos de evapotranspiração potencial estimada pelos diferentes métodos considerados.

Com a finalidade de testar os diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração potencial, procedeu-se um estudo de regressão linear simples e aplicação do teste F, tomando-se como mé

todo padrão a evapotranspiração potencial obtida pelos tanques modificados (média ET_{O_1} e ET_{O_2}) em dois casos a saber:

- a) Regressões de $\overline{ET}_{O_{12}}$ x diferentes métodos (ET_{O_3} , ET_{O_4} , ET_{O_5} , ET_{O_6}), para períodos diários. Os resultados obtidos foram os seguintes:

Quadro E - Regressões de $\overline{ET}_{O_{12}}$ x diferentes métodos.

MÉTODO	Regressão	R^2	R	Teste F
TCA padrão	$\overline{ET}_{O_{12}} = -0,326 + 1,091ET_{O_3}$	0,757	0,870	287,474**
Radiação solar	$\overline{ET}_{O_{12}} = -0,187 + 0,808ET_{O_4}$	0,645	0,803	203,483**
Penman convencional	$\overline{ET}_{O_{12}} = 0,247 + 1,003ET_{O_5}$	0,468	0,684	85,581**
Penman modificado	$\overline{ET}_{O_{12}} = -0,506 + 1,088ET_{O_6}$	0,616	0,785	147,873**

- b) Regressões de $\overline{ET}_{O_{12}}$ x diferentes métodos ($\overline{ET}_{O_3}$, $\overline{ET}_{O_4}$, $\overline{ET}_{O_5}$, $\overline{ET}_{O_6}$), para períodos de 5 dias. Os resultados obtidos foram os seguintes:

Quadro F - Regressões de $\overline{ET}_{O_{12}}$ x diferentes métodos.

MÉTODO	Regressão	R^2	R	Teste F
TCA padrão	$\overline{ET}_{O_{12}} = -0,134 + 0,994\overline{ET}_{O_3}$	0,797	0,893	70,836**
Radiação solar	$\overline{ET}_{O_{12}} = -0,342 + 0,875\overline{ET}_{O_4}$	0,872	0,934	123,773**
Penman convencional	$\overline{ET}_{O_{12}} = 0,267 + 1,001\overline{ET}_{O_5}$	0,689	0,830	39,988**
Penman modificado	$\overline{ET}_{O_{12}} = -0,398 + 1,069\overline{ET}_{O_6}$	0,769	0,877	59,692**
Thornthwaite	$\overline{ET}_{O_{12}} = 1,435 + 0,596\overline{ET}_{O_7}$	0,263	0,513	6,426*

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1. - Relativos aos Testes Preliminares de Desempenho dos Tanques Classe A Modificados

6.1.1 - Aferição da escala de medida

De acordo com a metodologia descrita, os dados do Quadro I demonstram uma relação média de 1:20,2 (conjunto evaporimétrico 2) e 1:20,4 (conjunto evaporimétrico 1), entre altura de água evaporada no Tanque Classe A, e altura de água fornecida pelo tanque medidor, ou seja, para cada mm de água evaporada no tanque A teremos respectivamente 20,2 e 20,4 mm de abaixamento de nível no tanque medidor. Apesar dos diâmetros construtivos terem sido projetados para que esta relação fosse: 1:20, na prática não se conseguiu obter tal proporção. Para corrigir este defeito construtivo, utilizou-se no tanque medidor uma escala normal (2 cm igual a 1 mm de evapora-

ção, ou seja, 1:20), multiplicando-se os valores obtidos pelos fatores de correção, respectivamente 0,99, $\left(\frac{200}{202}\right)$ e 0,98, $\left(\frac{200}{204}\right)$, sanando assim esta deficiência.

6.1.2 - Estimativa da variação da altura de equilíbrio devido à dilatação volumétrica da água

Como ficou demonstrado no capítulo de Resultados, existe uma variação Δh de altura de equilíbrio de água nos tanques, que pode impedir que em determinado instante haja fluxo pela válvula ou vice-versa. Exemplificando: admitindo que em certo instante a evaporação seja da ordem de 0,1 mm/hora, e que durante este intervalo de tempo ou mais a temperatura da água baixe para 10°C, de acordo com os cálculos efetuados, deveremos ter uma alimentação de 0,5 mm de água devido a contração de volume. Embora praticamente tal efeito não deva influir nas medidas, pois entre duas observações é pouco provável a ocorrência de tal variação de temperatura, nota-se que por causa deste efeito, durante o dia principalmente, a válvula para de debitar água, compensando este efeito com débito mais veloz nas horas de menor temperatura. Convém notar também, que esta fonte de erro deve diluir-se, porque via de regra, segundo recomendações da FAO (1979), os dados de evapotranspiração potencial estimados pelo tanque classe A tornam-se mais consistentes para intervalos de medida superiores a 5 dias. Tal efeito deve explicar o fato observado de que, no período noturno, por vezes, a quantidade de água debi

tada pelo tanque medidor, era maior no período noturno do que no diurno.

Estas estimativas de variação provável de nível foram também necessárias para determinar a "altura de guarda" do drenagem do tanque intermediário para evitar problemas de extravasamento. Assim, manteve-se para os dois tanques uma "guarda" de 1 mm. É óbvio que nos períodos de chuva, esta condição determinou correções aditivas de pelo menos um milímetro nas leituras efetuadas.

6.2. - Relativos ao Desempenho dos Tanques Classe A Modificados

6.2.1 - Evaporação em dias sem chuva

a) Confronto entre E_1 e E_2 (medidas diárias)

De acordo com os dados do Quadro A, os dois tanques modificados não apresentaram diferenças de comportamento quanto às estimativas de evaporação, com exceção do mês de junho no qual o valor de t revelou-se significativo. Atribui-se este fato à interferência resultante de fatores alheios ao experimento (vandalismo) observados frequentemente neste período. Apesar disto, nota-se que na análise realizada para o período global, a diferença existente entre os tanques E_1 e E_2 não foi significativa.

b) Confronto entre $\bar{E}_{12}$ e E_p (medidas diárias)

Assumindo-se que E_1 não difere de E_2 , para avaliar o desempenho dos conjuntos modificados, com relação ao padrão, E_p , considerou-se a médias destes dois valores, com o objetivo de eliminar-se problemas decorrentes da exposição diferencial dos dois sistemas. Conforme a análise exposta no Quadro B, não houve diferença significativa entre $\bar{E}_{12}$ e E_p , tanto para valores diários de cada mês em separado, e para o período global.

c) Confronto entre E'_1 e E'_2 (medidas acumuladas de 3 dias)

De acordo com os resultados demonstrados no Quadro C, não existe diferença significativa nos dados analisados para o período global.

d) Confronto entre $\bar{E}_{12}$ e E'_p (medidas acumuladas de 3 dias)

De acordo com os resultados da análise demonstrados no Quadro D, não existe, como era de se esperar, diferenças significativas nos dados analisados para o período global.

6.2.2. - Evaporação em dias com chuva

Para verificar a eficiência do conjunto evaporimétrico em dias de chuva, separaram-se os dados conforme o Quadro IV. Observa-se, por ele, que nos dias de transbordamento (15/04, 03/05 e 06/06) como era de se esperar, não se pode avaliar a evaporação do

tanque padrão, pois L_2 fica indeterminado. Nos dias em que não existe transbordamento verifica-se que é possível corrigir em alguns casos os dados do tanque padrão, com auxílio do pluviômetro, existindo porém situações nas quais esta correção determina valores discrepantes (dias 03/04 e 04/04), principalmente quando a chuva é associada a vento e turbilhões. Embora admitindo que um maior número de observações seja necessário para uma análise conclusiva, de uma maneira geral, pela repetição de valores que se observou nos conjuntos evaporimétricos, pode-se acreditar na eficiência destes sistemas, para medidas em dias de chuva.

6.3 - Relativos às Comparações de Estimativa de Evapotranspiração Potencial Obtida Pelos Diferentes Métodos

Para estimativas de evapotranspiração potencial (ou de referência), vários métodos são utilizados na prática. Objetivando determinar a consistência de resultados fornecidos pelos métodos de Penman, do Tanque Classe A padrão, da Radiação Solar (recomendados pela FAO, 1979), de Thornthwaite, bastante utilizado para fins climáticos, e do método de Penman modificado por VILLA NOVA e OMETTO (1981), compararam-se os resultados simultâneos destes métodos, com aqueles estimados pelas evaporações dos conjuntos evaporimétricos, associadas a coeficientes de tanque. Elegeu-se tal método como padrão de comparação porque suas estimativas são baseadas em medidas, que, teoricamente devem integrar melhor os efeitos conjugados do clima no processo evaporativo.

No Quadro E, onde se analisam as regressões $\overline{ET}_{012}$ x diferentes métodos para períodos diários, nota-se, como era de se esperar, uma boa correlação $\overline{ET}_{012}$ x Tanque Classe A padrão ($r = 0,87$) seguida pelo método da radiação solar ($r = 0,803$), Penman modificado ($r = 0,785$) e Penman convencional ($r = 0,684$).

Os resultados obtidos, de acordo com o teste F são significativos ao nível de 1%. Na Figura A está demonstrada a dispersão em torno das retas de regressão, observamos que os maiores desvios acontecem para valores muito baixos de evapotranspiração potencial, podendo isto ser explicado pelo grau de sensibilidade das fórmulas em estimar esta evapotranspiração em dias em que seu valor é mínimo.

No Quadro F, onde se analisam as regressões $\overline{ET}_{012}$ x diferentes métodos para períodos de pentadas, observa-se que o valor de $\overline{ET}_{012}$ x Radiação Solar ($r = 0,934$) foi o que apresentou maior grau de correlação, resultado este que vai de encontro ao esperado de que a melhor correlação seria com o tanque Classe A onde obteve-se um $r = 0,893$, devendo atribuir-se isso ao erro experimental ocorrido talvez pelo pequeno número de dados analisado. Os demais resultados obtidos para os métodos restantes apresentaram pela ordem o seguinte grau de correlação: Penman modificado ($r = 0,877$), Penman convencional ($r = 0,830$) e Thornthwaite ($r = 0,513$). De acordo com o teste F, todos os métodos apresentaram-se como significativos ao nível de 1%, exceto o de Thornthwaite (5%). Por estes resultados e pe

la dispersão dos pontos em torno das retas de regressão (vide Figura B), acreditamos como viável para estimativas de evapotranspiração potencial qualquer um destes métodos, à exceção do método de Thornthwaite, que como demonstra a prática, é utilizado apenas para fins de obtenção de índices climáticos, em estimativas mensais.

Fig. A-Representação gráfica das regressões, evapotranspiração estimada pelo conjunto evaporimétrico ($\overline{ETO}_{12}$) x evaporação estimada pelos diferentes métodos propostos (valores diários).

Fig. B - Representação gráfica das regressões, evapotranspiração estimada pelo conjunto evaporimétrico ($\overline{ETo}_{12}$) x evaporação estimada pelos diferentes métodos propostos, (valores de pentadas).

7. CONCLUSÕES

7.1. - A análise preliminar dos dados obtidos em dias de medidas simultâneas de evaporação realizadas pelo Tanque Classe A modificado e pelo Tanque Classe A nos permite concluir que:

7.1.1. - É perfeitamente viável a utilização do sistema de medida de evaporação apresentado em substituição ao processo micrométrico convencional, pois o sistema de medida utilizado no Tanque Classe A modificado nos sugere as seguintes vantagens sobre o processo convencional:

- a) Permite a leitura da evaporação em dias de chuva, mesmo naqueles nos quais ocorre o transbordamento do tanque convencional;

- b) As leituras sendo realizadas em uma escala linear simples, deverão minimizar os frequentes erros operacionais detectados na prática, devido ao baixo nível operacional requerido.

7.2.- O confronto entre métodos de estimativa de evapotranspiração, tendo como padrão o método do Tanque Classe A, operado pelo conjunto evaporimétrico, nos demonstrou que:

7.2.1 - Os diferentes métodos utilizados no trabalho, para estimar evapotranspiração potencial, quando confrontados com o padrão proposto, apresentam menor desvio e melhor correlação para valores de pentadas, do que para valores diários.

7.2.2 - As melhores concordâncias dos resultados de estimativa de evapotranspiração potencial calculados por meio de fórmulas com o do Tanque Classe A modificado foram, pela ordem: método da radiação solar, Penman simplificado e Penman convencional, com níveis de significância semelhantes. O método de Thornthwaite discordou acentuadamente, indicando não ser recomendada sua utilização, para períodos de 5 dias.

8 - BIBLIOGRAFIA

ALBERIO, I.A. de S., 1979. Estudo sobre modificações introduzidas no tanque Classe A e no método de Penman. Piracicaba, ESALQ/USP, 91 p. (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. 73 p. (Dissertação de Mestrado).

ASSIS, F.N. de e H.J. VIEIRA, 1981. Estimativa da evaporação do tanque Classe A durante o ciclo de crescimento das culturas de verão em Pelotas-RS. In: Resumos Ampliados dos Trabalhos apresentados nas Sessões Técnicas do II CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. Pelotas. pp. 94-96.

BERLATO, M.A. e L.C.B. MOLION, 1981. Evaporação e Evapotranspiração. Boletim Técnico. IPAGRO, nº 7. p. 95.

- BROWN, P.L. e A.L. HALLSTED, 1952. Comparison of evaporation data from standard weather bureau and plant industry type evaporation pans. Agronomy Journal, Wash, D.C. 44(2): 100-101.
- CAMARGO, A.P. de, 1961. Contribuição para a determinação de evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. Piracicaba, ESALQ/USP. 49 p. (Tese de Doutorado),
- CAMPBELL, R.B. e C.J. PHENE, 1976. Estimating potential evapotranspiration from screened pan^N evaporation. Agricultural Meteorology, 16: 343-352.
- CHANG, H.; H.S. WANG e F.W. HO, 1968. The effect of different pan ratio for controlling irrigation of sugarcane in Taiwan. 13 Th Congr. ISSCT. Tainan. Proc, 13: 652-663.
- CHAPAS, L.C. e A.R. REES, 1963. Evaporation and evapotranspiration in Southern Nigeria. Quant. J.R. Met. Soc. p. 313-319.
- CRUCIANI, D.E., 1972. Balanço hídrico em solo cultivado com cana-de-açúcar, utilização do método da moderação de neutrons. Boletim Científico, CENA (BC-006). 35 p.
- DALE, R.F. e K.L. SCHEERINGA, 1977. The effect of soil moisture on pan evaporation. Agricultural Meteorology, 18: 463-474.
- DENMEAD, O.T. e R.H. SHAW, 1959. Evapotranspiration in relation to the development of the corn crop. Agron. J. 51(12): 725-726.
- DOSS, B.D.; O.L. BENNETT e D.A. ASHLEY, 1974. Evapotranspiration by Irrigated Corn. Soil Sci.: 54(6): 497-498.

- EARLY, A.C. e R.P. GREGORIO, 1971. Consumptive use of Water by Sugarcane in the Philippines. 14 Th Congr. ISSCT. Louisiana. Proc. 14: 813-826.
- EKERN, P.C., 1966. Evapotranspiration by Bermuda-grass Sod (*Cynodon dactylon*, L. Pers.), in Hawaii. Agronomy Journal. Madison, 58(4): 387-390.
- EMBRAPA, 1978. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão, Goiânia. Relatório de Pesquisas com Feijão, 1976-77. p. 70 (Mimeografado).
- ENCARNAÇÃO, C.R.F. de, 1980. Estudo da Demanda de Água do Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.) Var. Goiano Precoce. Piracicaba, ESALQ/USP. 62 p. (Dissertação de Mestrado).
- EVANS, G.N., 1971. Evaporation from Rice at Griffith. New South Wales. Agr. Meteorol. 8(2): 117-127.
- FAO, 1975. Crop Water Requirements. J. DOORENBOS e W.O. SMITT. Irrigation and Drainage Paper 24. Rome. p. 179.
- FAO, 1976. Agro-Meteorological Field Stations. J. DOORENBOS. Irrigation and Drainage Paper 27. Rome. p. 94.
- FAO, 1979. Yield Response to Water. J. DOORENBOS e A.H. KASSANS. Irrigation and Drainage Paper 33. Rome. p. 193.
- FERREIRA, W.A., 1972. Utilização da Evaporação "Piche" na Estimativa da Evapotranspiração Potencial. Botucatu, F.C.M.B.B. p. 67. (Tese de Doutorado).

FRITSCHEN, L.J. e R.H. SHAW, 1961. Evapotranspiration for corn as related to pan evaporation. Agron. J. 53(3): 149-150.

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

FUCHS, M.; I. HAUSENBERG e G. STANHILL, 1964. A field test of the control of cotton irrigation practice from Classe A pan data. J. Agric. Res. Israel, 14: 237-239.

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

HANSON, C.L. e F. RANZI, 1977. Class A pan evaporation as affected by shelter and daily prediction equation. Agricultural Meteorology. Amsterdam, 18: 27-35.

JENSEN, M.C. e H.R. HAISE, 1963. Estimating evapotranspiration from solar radiation. J. Irrig. Drain. Dice. A, Soc. Cice. Engrs. 89 (IR4): 15-41.

JONES, C.A., 1980. A review of evapotranspiration studies in irrigated sugar cane in Hawai. Publication of the Experiment Station. Hawaiian Sugar Planters Association 59(9): 195-214.

JUNIOR, A.L., 1978. Determinação do coeficiente de cultura (kc) para feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) pelo método do balanço hídrico. Piracicaba, ESALQ/USP. 59 p. (Dissertação de Mestrado).

- KALMA, J.D. e G. STANHILL, 1969. Transpiration, evaporation and deep drainage losses from an orange plantation. J. Agric. Res. Israel, 19(1): 11-24.
- KRUTMAN, S., 1963. Método para indicação de regas. Evapotranspiração da Cana e Evaporação, IPEANE, Recife, 22: 1-18.
- LOMAS, J. e E. SCHLESINGER, 1970. The influence of a windbreak on evapotranspiration. Agr. Meteorol. 8: 107-115.
- MATZANUER, R.; S.L. WESTPHALEN; H. BERGAMASCHI e V.R. SUTILI, 1981. Evapotranspiração do milho (*Zea mays* L.) e sua relação com a evaporação do tanque Classe A. In: RESUMOS AMPLIADOS DOS TRABALHOS APRESENTADOS NAS SESSÕES TÉCNICAS DO II CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. Pelotas, p. 11-16.
- OLIVEIRA, A.S., 1971. Estudos comparativos da evaporação potencial estimada por tanques e pelo método de Penman. Piracicaba, ESALQ/USP. 113 p. (Tese de Livre Docência).
- OMETTO, J.C., 1968. Estudos das relações entre: Radiação Solar Global, Radiação Líquida e Insolação. Piracicaba, ESALQ/USP. 64 p. (Tese de Doutorado).
- PENMAN, H.L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Roy. Soc. of London, Ser. A, 193: 120-145.
- PENMAN, H.L., 1956. Evaporation: an introductory survey. Neth. J. Agric. Sci. 4(1): 9-29.
- SCARDUA, R., 1970. Evapotranspiração real da cultura do milho como base aos projetos de irrigação. Piracicaba, ESALQ/USP. 160 p. (Tese de Doutorado).

- SILVA, W.J. da; G.C. SEDIYAMA e D.T.C.S. BERNARDO, 1981. Estimativa da evaporação potencial em condições de campo, usando tanque "Classe A" modificado. In: RESUMOS AMPLIADOS DOS TRABALHOS APRESENTADOS NAS SESSÕES TÉCNICAS DO II CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. Pelotas, p. 119-121.
- STANHILL, G., 1958. An irrigation gage for commercial use in field and glasshouse practice. J. Agric. Engr. Res., Wellesbourn, 3(4): 292.
- STANHILL, G., 1961. A comparison of methods of calculating potential evapotranspiration from climatic data. J. Agric. Res. Israel 11(3/4): 159-171.
- STANHILL, G., 1962. The use of Piche evaporimeter in the calculation of evaporation. Quart. J. Roy. Met. Soc. 88: 80-82.
- TANNER, C.B., 1968. Evaporation of water from plants and soil. In: KOZLOWAKI, T.T. (ed.) Water deficits and plant growth (vol. 1). Nova York, Academic Pres. p. 73-76.
- THOMPSON, G.D., 1965. The relationship of potential evapotranspiration of sugarcane to environmental factors. 12 Th. Congress ISSCT, Puerto Rico, 12: 3-9.
- THOMPSON, G.D. e J.P. BOYCE, 1967. Daily measurement of potential evapotranspiration from fully canopied sugar cane. Agric. Meteorol. 4: 267-279.
- THORNTHWAITE, C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review. Nova York, 38: 55-94.

- THORNTHWAITE, C.W. e J.R. MATHER, 1955. The water balance. Publ. in Climatology 8(1) Lab. of Climatology. Centerton, N.J.
- TOVEY, R.; J.S. SPENCER e D.C. MUCKEL, 1969.. Turfgrass evapotranspiration. Agronomy J. 61(6): 863-867.
- VILLA NOVA, N.A., 1967. A estimativa da evaporação potencial no Estado de São Paulo. Piracicaba, ESALQ/USP. 66 p. (Tese de Doutoramento).
- VILLA NOVA, N.A. e J.C. OMETTO, 1981. 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.
- WARTENA, L. e A.J.W. BORGHORST, 1960. The energy balance of an evaporation pan and the measurement of the reflectivity of its bottoms. Quartely Journal of the Royal Meteorological Society 87(372): 245-249.
- W.M.O., 1966. Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration. Technical note 83. p. 121.

Tabela I - Coeficiente de tanque (Kp) para Tanque Classe A para diferentes coberturas vegetais e Níveis de Umidade Relativa Média e Vento em 24 horas (FAO, 1979).

VENTO km/dia	TANQUE COLOCADO EM ÁREA CULTIVADA COM VEGETAÇÃO BAIXA				TANQUE COLOCADO EM ÁREA NÃO CULTIVADA			
	Tamanho da bordadura (grama) m		Umid.Rel.Média %		Tamanho da bordadura (solo nu) m		Umid.Rel.Média %	
	baixa <40	média 40-70	alta >70		baixa <40	média 40-70	alta >70	
Leve <175	1	0,55	0,65	0,75	1	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
	1.000	0,75	0,85	0,85	1.000	0,50	0,60	0,70
Moderado 175 - 425	1	0,50	0,60	0,65	1	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
	1.000	0,70	0,80	0,80	1.000	0,45	0,55	0,60
Forte 425-700	1	0,45	0,50	0,60	1	0,60	0,65	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	10	0,50	0,55	0,65
	100	0,60	0,65	0,70	100	0,45	0,50	0,60
	1.000	0,65	0,70	0,75	1.000	0,40	0,45	0,55
Muito Forte >700	1	0,40	0,45	0,50	1	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
	1.000	0,55	0,60	0,65	1.000	0,35	0,40	0,45

Tabela II - Valores de R_A (radiação extra terrena) em mm de evaporação equivalente por dia (FAO, 1979).

LATITUDE S	Jan.	Fev.	Mar.	Abb.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
40°	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 III - Valores do fator de ponderação (W) para o efeito da radiação solar ET_o 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

Tabela IV-A - Valores de evapotranspiração potencial diária estimados em função da temperatura média diária e temperatura média anual.

TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA (°C)	TEMPERATURA MÉDIA NORMAL ANUAL DA REGIÃO °C		
	20,5	21,0	21,5
10,0	0,5	0,5	0,4
10,5	0,6	0,5	0,5
11,0	0,6	0,6	0,6
11,5	0,7	0,7	0,6
12,0	0,7	0,7	0,7
12,5	0,8	0,7	0,7
13,0	0,9	0,9	0,9
13,5	1,0	1,0	0,9
14,0	1,1	1,0	1,0
14,5	1,2	1,1	1,0
15,0	1,3	1,2	1,1
15,5	1,4	1,3	1,3
16,0	1,5	1,4	1,4
16,5	1,6	1,5	1,5
17,0	1,7	1,7	1,6
17,5	1,8	1,7	1,7
18,0	2,0	1,9	1,8
18,5	2,1	2,0	1,9
19,0	2,2	2,1	2,0
19,5	2,3	2,2	2,2
20,0	2,4	2,3	2,3
20,5	2,6	2,5	2,5
21,0	2,7	2,7	2,7
21,5	2,9	2,9	2,8
22,0	3,0	3,0	3,0
22,5	3,5	3,4	3,4
23,0	3,6	3,6	3,6
23,5	3,8	3,7	3,7
24,0	3,9	3,8	3,8

Tabela IV-B - Valores do fator de correção diário f , para latitude de $22^{\circ}43'$, ao longo do ano.

MESES	FATOR DE AJUSTE (f)
Janeiro	1,116
Fevereiro	1,075
Março	1,016
Abril	0,96
Maio	0,913
Junho	0,890
Julho	0,900
Agosto	0,948
Setembro	1,00
Outubro	1,055
Novembro	1,110
Dezembro	1,132

Tabela V - Valores de Δ/γ entre 1 e 40°C (VILA NOVA, 1967).

t	Δ/γ	t	Δ/γ
1	0,6	21	2,2
2	0,8	22	2,4
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	3,2
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

Quadro II - Valores simultâneos medidos de evaporação de tanque (mm/dia), no tanque padrão A (E_p), tanque modificado 1 (E_1), tanque modificado 2 (E_2) e média de E_1 e E_2 ($\bar{E}_{12}$) em dias sem chuva. Piracicaba, SP. 1981.

Março				
DIAS	E_p	E_1	E_2	$\bar{E}_{12}$
20	4,8	3,3	5,2	4,2
21	5,5	6,9	6,6	6,7
22	6,9	7,6	7,2	7,4
23	5,6	6,3	6,0	6,2
24	5,2	5,9	5,5	5,7
25	5,5	6,7	5,1	5,9
26	5,8	6,5	6,1	6,3
30	4,9	4,4	4,6	4,5
31	5,8	5,7	6,0	5,8

Abril				
DIAS	E_p	E_1	E_2	$\bar{E}_{12}$
1	5,7	5,2	6,1	5,6
2	4,9	6,0	5,3	5,6
5	4,3	3,4	4,6	4,0
6	5,2	5,5	5,3	5,4
7	4,5	5,1	5,7	5,4
8	4,7	5,3	5,1	5,2
9	5,7	5,2	5,7	5,5
10	5,5	5,3	5,7	5,5
11	4,2	4,3	4,2	4,3
12	4,3	5,1	4,9	5,0
13	4,1	3,3	3,7	3,5
14	3,5	2,7	3,2	3,5
19	3,5	2,9	3,8	3,4
21	3,3	3,5	3,4	3,5
22	4,0	3,9	3,4	3,6
23	1,4	1,1	1,0	1,1
25	3,3	3,6	2,8	3,2
26	4,2	3,5	3,0	3,3
28	1,4	1,2	0,9	1,1
29	2,3	1,9	2,1	2,0
30	3,8	3,6	3,4	3,5

Quadro II - (Continuação).

Maio				
DIAS	E_p	E_1	E_2	$\bar{E}_{12}$
1	2,0	2,4	3,7	3,1
2	2,7	3,1	2,1	2,6
4	2,7	2,8	2,6	2,7
5	2,5	2,0	2,6	2,3
6	3,2	2,9	3,2	3,1
7	3,1	4,0	2,4	3,2
8	3,2	2,2	3,4	2,8
9	3,4	2,8	3,3	3,1
10	3,4	4,7	4,1	4,4
11	3,4	4,0	3,8	3,9
12	3,2	2,5	3,1	2,8
13	3,3	3,3	3,7	3,5
14	4,3	3,3	4,1	3,7
15	3,1	3,0	3,5	3,3
16	1,9	2,8	1,9	2,4
17	3,7	3,3	4,8	4,1
19	2,9	2,4	2,8	2,6
20	2,4	1,5	2,3	1,9
21	2,4	1,8	1,9	1,8
22	3,8	5,0	4,2	4,6
23	3,0	3,6	3,3	3,5
24	3,1	4,9	2,9	3,9
25	3,2	3,0	3,2	3,1
26	3,3	4,5	3,0	3,7
27	2,6	1,1	2,6	1,8
28	2,3	2,5	2,9	2,7
29	2,9	4,0	3,4	3,7
30	3,5	3,4	3,5	3,5
31	3,1	4,0	3,2	3,6

Quadro II - (Continuação).

Junho				
DIAS	E_p	E_1	E_2	$\bar{E}_{12}$
1	3,2	2,2	3,1	2,6
2	4,3	3,8	4,1	3,9
3	1,5	2,4	1,3	1,8
4	1,4	2,1	2,5	2,3
5	2,3	2,2	2,3	2,3
7	1,4	1,0	1,2	1,1
8	1,5	1,6	1,9	1,7
9	2,3	1,8	2,3	2,1
10	2,5	2,5	2,9	2,7
11	2,7	2,3	3,1	2,7
12	3,1	5,1	3,7	4,4
13	1,5	1,0	1,1	1,1
14	2,5	1,1	2,7	1,9
17	2,3	1,0	1,5	1,3
18	2,6	1,8	2,2	2,0
19	1,4	1,8	2,0	1,9
20	1,8	1,0	2,2	1,6
21	2,0	2,7	2,5	2,6
22	2,1	1,6	2,0	1,8
23	2,3	2,4	2,4	2,4
24	2,1	2,0	2,0	2,0
25	2,1	1,9	2,0	1,9
26	2,7	2,3	2,8	2,6
27	3,0	3,1	3,2	3,2
28	2,1	1,0	2,0	1,5
29	3,2	3,4	4,6	4,0
30	3,3	3,5	3,6	3,6

Julho				
DIAS	E_p	E_1	E_2	$\bar{E}_{12}$
1	2,3	2,5	2,4	2,5
2	1,1	1,6	2,2	1,9
3	3,5	2,4	3,1	2,8
4	4,5	4,5	4,3	4,4
5	4,2	4,0	3,8	3,9

Quadro III - Valores simultâneos acumulados (mm/3 dias) de evaporação de tanque, no tanque padrão A (E'_p), tanque modificado 1 (E'_1), tanque modificado 2 (E'_2) e média de E'_1 e E'_2 ($\bar{E}'_{12}$), em dias sem chuva. Piracicaba, SP, 1981.

Março				
DIAS	E'_p	E'_1	E'_2	$\bar{E}'_{12}$
20-22	17,2	17,8	19,0	18,3
23-25	16,3	18,9	16,6	17,8
24-26	16,5	19,1	16,7	17,9
30-01/04	16,4	15,3	16,7	15,9
Abril				
DIAS	E'_p	E'_1	E'_2	$\bar{E}'_{12}$
31/03-2	16,4	17,0	17,4	17,0
5-7	14,0	14,0	15,6	14,8
8-10	15,9	15,8	16,5	16,2
11-13	12,6	12,7	12,8	12,8
12-14	11,9	11,1	11,8	12,0
21-23	8,7	8,5	7,8	8,2
28-30	7,5	6,7	6,4	6,6
Maio				
DIAS	E'_p	E'_1	E'_2	$\bar{E}'_{12}$
30/04-2	8,5	9,1	9,2	9,2
4-6	8,4	7,7	8,4	8,1
7-9	9,7	9,0	9,1	9,1
10-12	10,0	11,2	11,0	11,1
13-15	10,7	9,6	11,3	10,5
16-18	8,7	10,3	9,7	10,1
19-21	7,7	5,7	7,0	6,3
22-24	9,9	13,5	10,4	12,0
25-27	9,1	8,6	8,8	8,6
28-30	8,7	9,9	9,8	9,9

Quadro III - (Continuação).

Junho				
DIAS	E'_p	E'_1	E'_2	$\bar{E}'_{12}$
31/05-2	10,6	10,0	10,4	10,1
3-5	5,2	6,7	6,1	6,4
7-9	5,2	4,4	5,4	4,9
10-12	8,3	9,9	9,7	9,8
12-14	7,1	7,2	7,5	7,4
17-19	6,3	4,6	5,7	5,2
20-22	5,9	5,3	6,7	6,0
23-25	6,5	6,3	6,4	6,3
26-28	7,8	6,4	8,0	7,3
29-1/7	8,8	9,4	10,6	10,1

Julho				
DIAS	E'_p	E'_1	E'_2	$\bar{E}'_{12}$
2-4	9,1	8,5	9,6	9,1
3-5	12,2	10,9	11,2	11,1

Quadro IV - Valores simultâneos de evaporação corrigida (E_{pc}), evaporação dos tanques modificados 1 e 2 (E_1 e E_2) e precipitação pluviométrica (P).

DATAS	LEIT. MICROMETRO		P (mm)	E_{pc} (mm)	E_1 (mm)	E_2 (mm)
	Inicial	Final				
27/03	65,69	69,66	5,0	1,03	1,6	1,3
28/03	69,66	69,71	2,1	2,05	1,5	1,7
29/03	69,71	74,42	7,7	2,99	1,7	1,3
03/04	69,52	75,38	5,1	-0,76	1,4	1,6
04/04	75,38	79,71	8,4	4,07	1,4	1,5
15/04	transbordou		49,2	-	1,1	1,4
24/04	79,38	77,34	5,8	2,44	1,5	2,6
27/04	69,90	74,68	7,7	2,92	1,9	2,4
03/05	transbordou		28,9	-	2,8	4,3
06/06	transbordou		46,6	-	1,3	1,1
15/06	63,88	73,74	12,1	2,24	2,5	1,8
16/06	73,74	82,94	9,3	0,1	1,0	1,1

Quadro V - Valores de evapotranspiração potencial estimada pelos diferentes métodos considerados: evapotranspiração potencial estimada pelos tanques modificados ($\overline{ET}_{012}$); evapotranspiração potencial estimada pelo método do tanque A padrão (ET_{03}); evapotranspiração estimada pelo método de radiação solar (ET_{04}); evapotranspiração estimada pelo método de Penman convencional (ET_{05}); evapotranspiração estimada pelo método de Penman modificado (ET_{06}) e evapotranspiração estimada pelo método de Thornthwaite (ET_{07}).

Março						
DIAS	$\overline{ET}_{012}$	ET_{03}	ET_{04}	ET_{05}	ET_{06}	ET_{07}
21	3,6	4,0	5,2	4,1	4,9	
21	5,4	4,4	5,6	3,7	4,9	
22	5,8	5,5	5,3	4,0	5,0	
23	4,8	4,5	5,7	4,3	5,2	
24	4,5	4,2	6,2	4,6	5,5	
M	4,8	4,5	5,5	5,1	5,1	3,0
25	5,0	4,7	4,2	3,9	4,7	
26	5,1	4,6	6,4	4,4	5,2	
27	0,4	0,9	1,8	1,8	2,7	
28	0,5	1,7	1,9	1,9	2,7	
29	0,4	2,5	3,8	3,1	3,7	
M	2,3	2,9	3,2	3,0	3,4	3,4
30	3,6	3,9	4,7	3,9	4,9	
31	4,7	4,6	4,8	4,0	5,4	
01/04	4,5	4,5	5,0	3,1	3,4	
02/04	4,5	3,9	4,3	2,9	3,2	
03/04	0,4	-	4,4	3,0	3,0	
M	3,5	4,2	4,6	3,1	3,1	2,7

Quadro V - (Continuação).

Abril						
DIAS	$\overline{ET}_{O_{12}}$	ET_{O_3}	ET_{O_4}	ET_{O_5}	ET_{O_6}	ET_{O_7}
4	0,4	3,4	3,5	2,7	2,7	
5	3,2	3,5	4,0	2,9	3,4	
6	4,3	4,1	5,9	3,3	3,5	
7	4,4	3,6	5,9	3,2	3,4	
8	4,2	3,7	4,7	3,0	3,3	
M	3,3	3,6	4,5	3,0	3,2	1,7
9	4,4	4,5	4,6	2,9	3,4	
10	4,4	4,4	4,6	3,0	3,4	
11	3,4	3,4	4,6	2,8	3,3	
12	4,0	3,4	4,7	2,8	3,2	
13	2,8	3,3	4,4	2,8	3,4	
M	3,8	3,8	4,6	2,9	3,4	1,9
19	2,6	2,8	4,4	2,6	3,0	
20	-	-	4,5	2,5	3,0	
21	2,7	2,6	4,7	2,8	3,4	
22	2,9	3,2	4,0	2,7	3,2	
23	0,8	1,2	1,9	2,0	2,1	
M	2,3	2,4	3,9	2,6	3,0	1,6
24	1,0	2,1	1,8	1,8	2,2	
25	2,7	2,8	3,2	2,8	2,9	
26	2,6	3,3	4,0	3,3	3,4	
27	1,0	2,5	2,7	2,3	2,5	
28	0,3	1,2	1,8	1,7	2,0	
M	1,5	2,4	2,6	2,4	2,6	2,9
29	1,7	1,9	1,8	1,9	2,1	
30	2,9	3,1	4,4	4,7	2,9	
01/05	2,5	1,6	3,8	1,8	2,4	
02/05	2,2	2,3	3,2	2,0	2,4	
03/05	2,2	-	3,3	2,5	2,7	
M	2,3	2,1	3,3	1,9	2,4	1,6

Quadro V - (Continuação)

DIAS	Maio					
	ET _{O12}	ET _{O3}	ET _{O4}	ET _{O5}	ET _{O6}	ET _{O7}
4	2,3	2,3	2,0	1,5	1,8	
5	1,9	2,1	3,0	1,8	2,2	
6	2,5	2,6	3,8	2,1	2,5	
7	2,6	2,5	3,3	2,0	2,6	
8	2,4	2,7	3,1	1,9	2,5	
M	2,3	2,5	2,9	1,9	2,3	1,7
9	2,6	2,9	3,1	1,4	2,6	
10	3,6	2,7	3,9	2,1	2,8	
11	3,1	2,7	3,9	2,1	2,7	
12	2,3	2,5	3,3	1,9	2,6	
13	2,8	2,6	3,9	2,0	2,7	
M	2,9	2,7	3,3	2,0	2,7	1,8
14	2,9	3,4	2,7	2,3	3,2	
15	2,6	2,5	2,9	1,9	2,4	
16	2,0	1,6	1,8	1,6	2,1	
17	3,1	2,7	2,7	2,2	2,6	
18	3,2	2,9	3,0	2,3	3,0	
M	2,8	2,6	3,0	2,1	2,6	1,8
19	2,1	2,3	2,8	2,0	2,4	
20	1,6	2,1	2,4	1,9	2,3	
21	1,6	2,0	2,7	1,8	2,3	
22	3,7	3,0	3,5	2,0	2,6	
23	2,7	2,4	3,0	1,9	2,4	
M	2,3	2,5	2,7	1,9	2,4	1,8
24	3,1	2,5	3,0	1,7	2,4	
25	1,6	2,6	3,4	1,8	2,6	
26	3,0	2,7	4,6	1,8	2,6	
27	1,5	2,1	3,1	1,9	2,4	
28	2,3	2,0	2,2	1,7	2,1	
M	2,3	2,3	3,1	1,8	2,4	1,2
29	2,9	2,4	3,8	1,9	2,5	
30	2,8	2,8	3,7	3,0	2,8	
31	2,9	2,5	3,9	1,9	2,7	
01/06	2,2	2,6	2,4	1,6	2,3	
02/06	3,2	3,4	3,7	2,1	3,1	
M	2,8	2,7	3,1	2,5	2,7	1,1

Junho						
DIAS	$\overline{ET}_{012}$	ET_{03}	ET_{04}	ET_{05}	ET_{06}	ET_{07}
3	1,6	1,2	0,9	1,1	1,3	
4	1,8	1,1	3,0	1,6	2,1	
5	1,9	2,0	2,5	1,5	2,2	
6	0,2	-	0,9	0,9	0,8	
7	0,2	1,2	1,6	1,4	1,9	
M	1,1	1,4	1,7	1,3	1,8	0,9
8	1,5	1,3	0,9	1,0	1,2	
9	1,6	1,8	2,4	1,3	2,0	
10	2,2	2,0	2,7	1,3	2,2	
11	2,2	2,2	3,0	1,6	2,6	
12	3,5	2,4	2,4	1,6	2,3	
M	2,2	1,9	2,4	1,4	2,1	0,6
13	0,8	1,2	1,1	1,2	1,4	
14	1,6	2,1	2,6	1,3	2,2	
15	1,0	1,9	2,1	1,5	2,0	
16	0,1	0,1	0,9	0,8	0,7	
17	0,7	1,9	1,5	1,1	1,8	
M	1,8	2,0	1,7	1,2	1,6	0,8
18	1,0	2,1	1,9	1,1	1,8	
19	0,8	1,2	1,2	1,6	1,3	
20	1,3	1,5	2,1	1,3	1,9	
21	2,1	1,6	2,9	1,5	2,0	
22	1,6	1,8	2,3	1,4	2,0	
M	1,4	1,6	2,1	1,2	1,8	0,4
23	2,0	1,8	2,3	1,4	2,0	
24	1,6	1,6	1,8	1,6	2,0	
25	1,7	1,7	1,1	1,4	1,9	
26	2,0	2,2	3,1	1,6	2,4	
27	2,6	2,4	3,4	1,7	2,6	
M	2,0	1,9	2,6	1,2	2,2	1,2
28	1,2	1,6	2,2	1,7	2,1	
29	3,2	2,6	3,5	1,8	2,7	
30	2,9	2,6	3,6	2,0	3,0	
01/07	2,0	2,0	2,2	2,0	2,5	
02/07	1,6	0,9	1,9	1,6	2,2	
M	2,2	1,9	2,9	2,0	2,4	1,8

Figura 1. Nomograma para cálculo da Evapotranspiração Potencial pelo método de Penman simplificado

Utilizável no período outubro a março (primavera-verão) entre latitudes 20° a 25° Sul
 [VILLA NOVA e OMETTO (1981)]

Figura 2. Nomograma para cálculo da Evapotranspiração Potencial pelo método de Penman simplificado

— Utilizável no período abril a setembro (ou -
tono - inverno) entre latitudes 20° a 25° Sul
[VILLA NOVA e OMETTO (1981)]

Figura 3. Estimativa de ET_{04} em função do produto wRs para diferentes níveis de Umidade relativa (%) e velocidade média diurna de vento (m/s).