O USO DO EVAPOTRANSPIRÔMETRO NO ESTUDO DE ALGUMAS RELAÇÕES ENTRE EVAPOTRANSPIRAÇÃO MEDIDA E ESTIMADA

FRANCISCO NETO DE ASSIS

Engenheiro-Agrônomo
Pesquisador da EMBRAPA

Orientador: Nilson Augusto Villa Nova

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universi-
dade 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

Fevereiro, 1978

Aos meus pais
em suas bodas
de ouro

DEDICO

A minha esposa Vera
Aos meus irmãos e
sobrinhos
Aos meus sogros

OFEREÇO

A G R A D E C I M E N T O S

Ao Prof. Dr. Nilson Augusto Villa Nova pelo apoio, incentivo e orientação objetiva em todas as etapas deste trabalho.

A Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Agrometeorologia.

Ao Engenheiro Agrônomo Paulo Leonel Libardi pelas críticas e sugestões apresentadas.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária pela ajuda financeira.

Aos colegas do Curso de Pós-Graduação em Agrometeorologia pela convivência amigável nos dois últimos anos.

A Srta. Vera Lucia Severino pelo excelente trabalho de dactilografia.

ÍNDICE

	Pág.
LISTA DE TABELAS	i
LISTA DE FIGURAS	vi
RESUMO	vii
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	03
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1. Material	13
3.1.1. Generalidades	13
3.1.2. Medida da Evaporação	13
- Tanque Classe A	15
- Tanque Classe A à Nível Constante	15
3.1.3. Medida da Evapotranspiração	18
3.1.4. Elementos do Clima	22
3.2. Métodos	22
3.2.1. Medida da Evaporação	22
3.2.1.1. Funcionamento do Tanque Classe A à Nível Constante	23
3.2.1.2. Considerações sobre o Efeito da Temperatura do Reservatório de Recarga nas Medidas da Evaporação no Tanque Classe A à Nível Constante	25
3.2.2. Medida da Evapotranspiração	27
3.2.3. Estimativa da Evapotranspiração	28
3.2.4. Elementos do Clima	30
3.2.5. Utilização e Análise dos Dados	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1. Relativos à Comparação entre Evapotranspiração Medida (ETPM) e Estimada (ETPE).....	32
4.2. Relativos à Comparação entre a Evapotranspiração Medida (ETPM) e a Evaporação dos Tanques Classe A (TCA) e Classe A à Nível Constante (TCAM).....	49

4.2.1. O Coeficiente de Tanque Kp	51
4.3. Relativos à Utilização do Tanque Classe A à Nível Constante	54
4.4. Relativos à Utilização do Evapotranspirômetro de Nível D'agua constante e Sistema de Registro	57
5. CONCLUSÕES	60
6. SUMMARY	62
7. LITERATURA CITADA	63
8. APÊNDICE	70

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela I - Valores diários de Evapotranspiração medida (ETPM) e estimada (ETPE), Evaporação dos Tanques Classe A (TCA) e Classe A à nível Constante (TCAM), Precipitação Pluviométrica (PP), Temperatura do Ar (TM), Umidade Relativa do Ar (UR) e Velocidade do Vento a 2,0 m (U_2)	34
Tabela II - Valores médios de pêntricas de Evapotranspiração Medida (ETPM) e Estimada (ETPE), Evaporação dos Tanques Classe A (TCA) e Classe A à nível Constante	46
Tabela III - Análise de Variância dos dados de ETPM e ETPE - Valores Diários e Médios de pêntricas	32
Tabela IV - Análise de Variância dos dados de Evapotranspiração Medida e da Evaporação dos Tanques Classe A e Classe A à Nível Constante	49
Tabela V - Teste t para Comparação dos Parâmetros das Equações de Regressão da Tabela 4	50
Tabela VI - Valores dos Coeficientes de Conversão das Medidas da Evaporação em Tanques para Estimativa da Evapotranspiração Medida em Evapotranspirômetro..	51
Tabela VII - Valores Médios de ETPM e ET utilizados no Cálculo de Kp	52
Tabela VIII - Valores Médios Mensais dos Coeficientes de Conversão das Medidas de Evaporação em Tanques para Estimativa da Evapotranspiração Medida em Evapotranspirômetro	53

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1 - Área Experimental	14
Fig. 2 - Conjunto Tanque Classe A, Poço Tranquilizador, Para fuso Micrométrico e Estrado	16
Fig. 3 - Conjunto Tanque Classe A à Nível Constante, Reserva tório de Recarga	17
Fig. 4 - Esquema do Evapotranspirômetro de THORNTHWAITE com nível d'água constante e Sistema de Registro	19
Fig. 5 - Sistema de Registro do Evapotranspirômetro de nível d'água constante	20
Fig. 6 - Esquema do Tanque Classe A à Nível Constante e Equi líbrio de Pressões	24
Fig. 7 - Curso Anual da Evapotranspiração Medida e Estimada.	23
Fig. 8 - Curvas para Correção das Medidas de Evaporação no Tanque Classe A à Nível Constante	56
Fig. 9 - Diagrama obtido no Evapotranspirômetro em um dia típico	58
Fig. 10 - Diagrama obtido no Evapotranspirômetro em um dia de chuva	59

RESUMO

Trata este trabalho do estudo de algumas relações entre a evapotranspiração medida em Evapotranspirômetro e estimada pela equação de Penman e por tanques de evaporação.

Para medida da evapotranspiração foi adaptado ao Evapotranspirômetro de Thornthwaite de nível d'água constante um sistema de registro diário, descrito no trabalho.

Descreve-se e discute-se uma modificação introduzida no Tanque Classe A baseada na manutenção da superfície evaporante e com dispensa do parafuso micrométrico.

A análise dos dados revelou que a relação entre evapotranspiração estimada (ETPE) e medida (ETPM), em base diária, para as condições da região de Piracicaba - SP, é de 0,81. Este valor foi atribuído à advecção local não computada pela equação de Penman.

Apresentam-se valores médios mensais dos coeficientes de conversão das medidas de evaporação nos Tanques Classe A e Classe A à Nível Constante para estimativa da evapotranspiração.

1. INTRODUÇÃO

A evaporação e a transpiração que ocorre em uma superfície de solo vegetada, frequentemente combinadas no termo evapotranspiração, constitui uma fase importante do ciclo hidrológico.

Um grande número de problemas agrícolas requer, para sua solução, o conhecimento dos valores da evapotranspiração em períodos mensais, diários ou mesmo de poucas horas. Medidas diretas em períodos horários requerem o uso de equipamentos de custo elevado e de complexidade tal que limita seu uso por pessoal especializado a nível de instituições de pesquisa. Eles são utilizados, principalmente, em estudos do entendimento do processo físico da evaporação ou na calibração de outros instrumentos.

Muitas fórmulas teóricas também são passíveis de fornecer estimativas precisas da taxa de evapotranspiração. O problema é que tais fórmulas, desenvolvidas em determinadas condições climáticas e agrônomicas perdem parte de sua precisão quando transportadas para outras áreas, necessitando portanto de correção local.

Neste sentido, equipamentos simples e fórmulas de fácil utilização para medidas e estimativas da evapotranspiração, com precisão

adequada, é o desejável para os projetos agrícolas.

Talvez a maneira mais simples de estimar a evapotranspiração de uma cultura seja multiplicar a evaporação medida em um tanque por um fator adequado ou o coeficiente de cultura.

Em 1957, a Organização Meteorológica e a "International Association of Scientific Hidrology" adotaram o Tanque Classe A como um dos instrumentos de referência para uso nos trabalhos desenvolvidos no Ano Geofísico Internacional, iniciado em julho daquele ano.

Em 1975, a FAO utilizou o Tanque Classe A nos estudos das necessidades d'água para irrigação das culturas.

No Brasil, os estudos sobre evapotranspiração, são quase na totalidade, estimativas pelas fórmulas de Thornthwaite, Blaney e Criddle , Hargreaves e Penman, existindo poucas séries de medidas publicadas.

O objetivo principal deste trabalho é estudar as relações entre a evapotranspiração medida em evapotranspirômetro com nível d'água constante e sistema de registro diário e a evaporação medida em tanque Classe A.

Outro objetivo é estudar uma adaptação efetuada no sistema de medida da evaporação no tanque Classe A.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A evaporação da água do solo e a transpiração pelas plantas constituem a perda d'água pelas superfícies vegetadas denominadas de evapotranspiração. Entretanto a evaporação mais a transpiração determinadas separadamente não são equivalentes a evapotranspiração, sendo mais conveniente considerar esta como uma única perda isolada (GANGOPADHYAYA, 1966).

Segundo THORNTHWAITE e HARE (1965), a evapotranspiração compreende as seguintes fases: 1) movimento da água no perfil do solo em direção à sua superfície e à zona de absorção radicular; 2) movimento da água do sistema radicular para as superfícies das folhas; 3) evaporação da água através da superfície do solo e dos estômatos; 4) evaporação da água da chuva interceptada pelas folhas; 5) remoção do vapor d'água por fluxos turbulentos.

Com a mesma idéia geral, Thornthwaite em 1944 (THORNTHWAITE e HARE, 1965) e PENMAN (1956) introduziram o conceito de evapotranspiração potencial. Para o primeiro autor a evapotranspiração potencial "é a perda d'água de uma superfície de solo úmido, completamente coberta por vegetação (sem especificar o tipo), suficientemente grande para tor

nar desprezível o efeito de oásis. PENMAN (1956) acha desnecessário o termo evapotranspiração e prefere definir "transpiração potencial como a quantidade de água transpirada na unidade de tempo por uma cultura de porte baixo e altura uniforme, cobrindo totalmente o solo em condições ótimas de umidade". Completando a definição Penman acrescenta: "Para uma completa cobertura do solo por plantas de mesma cor, isto é, com o mesmo coeficiente de reflexão, a taxa de transpiração potencial é a mesma independentemente do tipo de planta ou solo, sendo determinada apenas pelas condições do tempo".

A evapotranspiração é uma função de fatores meteorológicos, do solo e da planta (LEMON et alii, 1957; SLATIER e McILROY, 1961). SEGINER (1971) confirmando resultados de Monteith e van Bavel, demonstra que em superfícies de solo ou planta, existe um valor crítico da resistência à difusão de vapor d'água abaixo do qual a evaporação cresce com a velocidade do vento e acima do qual decresce com o aumento da velocidade do vento.

O principal fator meteorológico que influencia a evapotranspiração é a radiação líquida (TANNER e LEMON, 1962; SEGINER, 1969) . Segundo TANNER (1960), a radiação líquida disponível a uma dada superfície vegetada é dividida em três componentes básicos; aquecimento do ar, aquecimento do solo e evapotranspiração. Em regiões bem irrigadas, onde não existe déficit de água, mais de 80% da radiação líquida é utilizada na evapotranspiração (UBING, 1961; LEMON, 1956). Por outro lado, a evapotranspiração pode exceder em muito a radiação líquida em culturas irrigadas circundadas por solo seco (HALSTEAD e COVEY, 1957; McILROY e ANGUS, 1964; EVANS, 1971). TANNER e LEMON (1962), relatam dados demonstrados que, em

cultura irrigada de milho circundada por solo seco, a relação entre a evapotranspiração e a radiação líquida foi 20% maior do que quando a área vizinha foi irrigada. LEMON et alii (1975) encontraram para a mesma relação um valor de 1,65 para o período de 24 horas em cultura de algodão.

Para EAGLEMAN e DECKER (1965), a taxa potencial da evapotranspiração é governada somente pelas condições meteorológicas. A taxa atual, entretanto, é influenciada pela disponibilidade de água e pela demanda evaporativa da atmosfera. Já para VEIHMEYER e HENDCKSON (1965) a taxa de evapotranspiração é máxima, sob certas condições de demanda evaporativa, enquanto o teor da água no solo se mantiver acima do ponto de murcha. Próximo desse ponto a evapotranspiração cai rapidamente passando a ser controlada pelas características do solo. LEMON et alii (1957), são da opinião de que o potencial da água no solo, isoladamente, não influencia a evapotranspiração, no que parece concordar com DENMEAD e SHAW (1962), quando afirmam que a relação entre a evapotranspiração e a umidade do solo varia com a demanda evaporativa da atmosfera.

A determinação da evapotranspiração é um problema compartilhado por várias ciências que estudam o sistema solo-planta-atmosfera. Por causa das dificuldades de medidas diretas, diversos métodos empíricos ou semi-empíricos têm surgido. Assim, Thornthwaite (THORNTHWAITE e HARE, 1965) propôs um método para estimar a evapotranspiração potencial baseado apenas em dados de temperatura média; Blaney e Cridle (PELTON et alii, 1960) desenvolveram um método baseado na correlação entre a temperatura e evapotranspiração com o ajuste de um coeficiente para cada cultura; Hargreaves (HARGREAVES, 1974) apresenta uma fórmula que utiliza dados de umidade relativa do ar, temperatura média do ar e coeficiente de duração do dia e de cultura; Makkink (DODDRENBOS e PRUITT, 1975) baseia-se, principalmen-

te, na radiação solar para estimativa da evapotranspiração potencial; PENMAN, (1948, 1956) faz uso dos conceitos do balanço de energia e do método aerodinâmico no estabelecimento de uma equação que utiliza dados de radiação líquida, temperatura média do ar, umidade relativa e velocidade do vento.

Por meio de estudos de regressão entre valores medidos e estimados de evapotranspiração, DOORENBOS e PRUITT (1977) demonstram que todas as fórmulas empíricas necessitam de correção local.

Os métodos micrometeorológicos (ROSEMBERG, 1975; GOLTS et alii, 1970) apresentam segundo TANNER (1960), a vantagem sobre os demais por permitirem estimativas da evapotranspiração para períodos de uma hora ou menos o que é válido para aferição de outros métodos. GRANT (1975), utilizando lisímetro e sonda de nêutrons como métodos "Padrão" para medida da evapotranspiração em uma cultura de cevada concluiu que, quando a razão de Bowen é pequena, este é o melhor método para medida da evapotranspiração ao longo de todo o ciclo da cultura. Para TANNER (1960) todos os métodos que usam medida de umidade do solo para estimativa da evapotranspiração, não podem ser usados para períodos menores do que cinco dias devido aos erros associados às medidas diárias.

O único equipamento capaz de medir a evapotranspiração com razoável eficiência é o lisímetro BLACK et alii, (1968), van BAVEL, 1962), recomenda a lisimetria como o único método praticável para determinar a evapotranspiração com precisão adequada. Lisímetros são dispositivos constituídos de um volume de solo isolado do solo circunvizinho de tal modo a medir todos (ou suprimir alguns) termos da equação geral do balanço da água (TANNER, 1968). GANGOPADHYAYA et alii (1966) estabeleceram os princí

pais cuidados na instalação dos lisímetros: 1) o lisímetro deve ser suficientemente grande para assegurar a sua representatividade no que diz respeito a cobertura vegetal e efeito de sua presença; 2) as condições físicas no interior do equipamento devem ser as mesmas da área vizinha; 3) devem ser instalados em locais onde os efeitos de advecção sejam minimizados. KING et alii (1957) chamam a atenção para o fato de que na instalação dos lisímetros, sua superfície se apresente indistinguível da área circundante, igualmente vegetada e com as mesmas condições de umidade. Para SLATIER e McILROY (1961) essa área deve ser pelo menos dez vezes a área do lisímetro.

Lisímetros de precisão, passíveis de fornecerem bons resultados em períodos curtos (1 hora ou menos) são utilizados por um grande número de pesquisadores como PRUITT (1960); McILROY e ANGUS (1963); KING et alii (1957); BLACK et alii (1968); DENMEAD e McILROY (1970); BLAINE e ROSEMBERG (1974) entre outros.

Um tipo de lisímetro foi proposto por Thornthwaite em 1945 (MATHER, 1954), denominado evapotranspirômetro. Consiste de um tanque de quatro metros quadrados com 70 centímetros de profundidade, dotado de dispositivos de suprimento e percolação de água como o nível de água mantido constante por meio de um sistema de válvula e bóia. GANGOPADHYAYA et alii (1966) e MARQUES (1972) apresentam uma revisão relatando e discutindo as sucessivas modificações introduzidas no modelo original de Thornthwaite.

O evapotranspirômetro, basicamente, é um instrumento para medida da evapotranspiração potencial (GANGOPADHYAYA et alii 1961; SLATIER e McILROY, 1961), embora seja também utilizado em estudos de evaporação do solo (MARQUES, 1972).

Os resultados de evapotranspiração potencial obtidos nestes equipamentos só serão válidos, segundo SLATIER e McILROY, (1961) se uma padronização da cultura for utilizada em todas as medidas e se o equipamento estiver instalado em local com a área vizinha no mesmo regime de umidade no solo.

EKERN (1966) utilizando evapotranspirômetros de Thornthwaite com cobertura vegetal de Capim-bermuda, observou valores médios da relação evapotranspiração medida e evapotranspiração de tanques iguais a 0,60, 0,68 e 0,69 para 1957, 1958 e 1959, respectivamente.

CAMARGO (1966), em três localidades do Estado de São Paulo, comparou evapotranspiração medida em um tipo de evapotranspirômetro de THORNTHWAITE modificado e estimada segundo as fórmulas de Thornthwaite, Penman-Bavel, Blaney e Criddle e Blaney e Criddle adaptada para as suas condições, encontrando altas correlações entre os valores medidos e estimados.

Uma alternativa para estimar a evapotranspiração é o uso de tanques. Embora com certa similaridade física o processo de evaporação não é idêntico à evapotranspiração (CHANG, 1971), pois mesmo com total abertura estomática a resistência à difusão do vapor d'água é maior na superfície das folhas do que numa superfície livre de água. Por outro lado, o balanço de energia e a rugosidade aerodinâmica das superfícies de água diferem das vegetadas (TANNER, 1968; FRITSCHEN e SHAW, 1961). Entretanto a evapotranspiração potencial de uma cultura pode ser estimada por tanques de evaporação com o uso de um coeficiente adequado, pré-determinado, como revela a literatura, (PRUITT, 1966; SLATIER e McILROY, 1961; THOMPSON e BOYCE, 1967; McILROY e ANGUS, 1964; BOHNME e GRANCHER, 1973; EAGLEMAN, 1967; YU e

BRUTSAERT, 1967; HANSON e RAUZI, 1977; DILLEY e SHEPHERD, 1972; ARMY e OSTLE, 1957; FRITSCHEN e SHAW, 1961; GORNAT et alii, 1971; PECK et alii, 1968; CLOVER e FORSGATE, 1964; PARMELE e MCGUINESS, 1974; KRISHAMN e KUSHWA, 1973; PHENE e CAMPBELL, 1975; AGUIAR, 1975; PRUITT e DOORENBOS, 1977; DOORENBOS e PRUITT, 1975; SCALOPI, 1972).

A validade da medida de evaporação em tanques para estimativa da evapotranspiração de uma cultura depende do tipo de tanque, calibração e interpretação dos dados em relação ao ambiente (PRUITT, 1966), da precisão da medida do nível da água (PHENE e CAMPBELL, 1975) e da forma de expor o tanque (HANSON e RAUZY, 1977; DOORENBOS e PRUITT, 1965).

Segundo DALE e SCHEERINGA (1977) o tanque Classe A foi adotado pela Organização Meteorológica Mundial e a "International Association of Scientific Hydrology" como um dos instrumentos de referência para o Ano Geofísico Internacional.

DOORENBOS e PRUITT (1975), num estudo realizado para a FAO, utilizam o tanque Classe A e os métodos de Pennam, Blaney e Criddle e Makkink para estimativa da evapotranspiração com vistas a práticas agrícolas. Os mesmos autores fornecem um excelente guia de utilização dos métodos acima citados.

Com a ajuda de um coeficiente que expressa a relação entre a evapotranspiração de uma cultura e a evaporação do tanque Classe A (aqui denominado de K_p), estes dados podem ser utilizados no planejamento de práticas de irrigação. Alguns trabalhos mostram como K_p varia com o estágio de crescimento da planta (DOSS et alii, 1964; EKERN, 1966; van BAVEL, 1962; DOORENBOS e PRUITT, 1975; FRITSCHEN e SHAW, 1961), com a umidade do solo (EAGLEMAN e DECKER, 1965; MAKKING e HEEMST, 1956; SLATIER, 1956; DALE

e SCHEERINGA, 1977) e com a demanda evaporativa da atmosfera em interação com as condições de umidade do solo (BAHRANI e TAYLOR, 1961; LEMON et alii, 1957).

Segundo PRUITT (1977) "embora a evaporação de tanques pareça oferecer uma das melhores estimativas da evapotranspiração potencial em grande variedade de climas, diferenças no local de instalação do tanque bem como valores de velocidade do vento, umidade e radiação podem afetar grandemente os resultados".

DILLEY e SHEPHERD (1972), em Aspendale, Austrália, confirmam a adaptabilidade do tanque Classe A para estimar a evapotranspiração de uma cultura de batata em diversas condições de umidade do solo. O coeficiente de correlação entre a evapotranspiração da cultura computada pela fórmula e de McILROY e a evaporação do tanque foi de 0,94. Quando a correlação foi feita entre a evaporação do tanque e dados de lisímetros com graminha o coeficiente foi maior do que 0,97. Para as mesmas condições de Dilley e Shepherd, McILROY e ANGUS (1964) demonstram que "a evapotranspiração de uma superfície plantada com graminha bem suprida de água pode exceder a evaporação do tanque Classe A (20% anualmente e até 50% em alguns meses) e que cada processo utiliza mais energia do que a disponível no local". "A principal razão para este fato é devida à diferença de rugosidade e nível das duas superfícies no primeiro caso e à magnitude da energia advectiva das áreas relativamente áridas da região, no segundo. Resultados semelhantes foram observados por EVANS (1971) trabalhando com cultura de arroz nas mesmas condições de clima.

THOMPSON e BOYCE (1967) comparam a evapotranspiração lisimétrica da cana-de-açúcar, no Hawai, com estimativas pela fórmula de

Penman e medidas em um tanque Classe A. A melhor relação encontrada foi entre a evapotranspiração medida e a estimada pelo tanque Classe A, sendo obtido um valor de K_p igual a unidade, confirmando resultados de outros pesquisadores. A fórmula de Penman, subestimou a evapotranspiração quando a advecção foi "aparentemente" elevada.

AGUIAR (1975) comparando métodos de estimativa da evapotranspiração potencial em cultura de feijão comum, nas condições de Piracicaba, SP, encontrou um valor de K_p igual a 0,7 em relação à fórmula de Penman, concluindo que a evaporação do tanque Classe A superestimou a evapotranspiração determinada pelos métodos de Penman, Hargreaves, van Bavel e Thornthwaite e, ainda a evaporação do tanque GGI-3000 nos tratamentos irrigados. Nos tratamentos não-irrigados a evaporação dos tanques Classe A e GGI-3000 não apresentou diferença significativa.

SCALOPI (1972), numa cultura de batata, comparou a evapotranspiração medida pelo método gravimétrico com a estimada pela evaporação do tanque Classe A, encontrando valores de K_p de 0,59, 0,68 e 0,69 quando os valores de umidade no solo variaram de 25, 50 e 75% da água disponível, respectivamente. A fórmula de Penman forneceu a estimativa mais aproximada dos valores medidos, principalmente, nos tratamentos com níveis mais elevados de água disponível. SCARDUA (1970) utilizando os mesmos métodos na cultura de milho apresentava valores médios de K_p de 0,56 para os tratamentos não irrigados e 0,80 para os irrigados.

Para FERRAZ (1972), com o auxílio da tanque Classe A, pode-se também acompanhar as variações do teor de água no solo desde que se conheça a relação entre a evaporação real e a evaporação do tanque. Em seu trabalho foi observado que o valor de K_p médio variou de 0,70 para 0,29

quando a tensão da água no solo cresceu de 500 para 1500 mb. A evapotranspiração real foi medida pela técnica de moderação de nêutrons.

Usando a mesma técnica de FERRAZ (1972), CRUCIANI (1972) apresenta resultados de evapotranspiração de uma cultura de cana-de-açúcar e da evaporação do tanque Classe A instalado no meio da cultura. Dividindo a cultura em três estágios de crescimento fixados pelas estações do ano, Cruciani encontrou os seguintes valores de Kp: 1º estágio - outono-inverno - 0,42; 2º estágio - primavera-verão - 0,76 e 3º estágio - outono-inverno - 0,71 sendo o valor central o mais significativo para projetos de irrigação, uma vez que caracteriza o estágio de maior consumo de água pela cultura.

VILLA NOVA (1967) num estudo da evaporação potencial no Estado de São Paulo apresenta um valor médio de Kp em relação a fórmula de Penman igual a 0,84. Já para OLIVEIRA (1971), nas condições de Piracicaba o valor do mesmo coeficiente foi de 0,72.

KRISHAN e KUSHWAHA (1973) com análise de regressão múltipla encontraram coeficientes de correlação altamente significativos entre a evaporação do tanque Classe A e a Radiação Global, Radiação Líquida estimada, velocidade do vento e déficit de saturação à máxima temperatura.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

3.1.1. Generalidades

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos na Estação Meteorológica do Departamento de Física e Meteorologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, São Paulo, que apresenta as seguintes coordenadas geográficas (Fig. 1):

latitude: $22^{\circ}43'$ Sul

longitude: $47^{\circ}38'$ W

altitude :576 m

O solo foi classificado como Terra Roxa Estruturada, série Luiz de Queiroz (Alfisol), segundo RANZANI et alii (1966).

Utilizaram-se dados de evaporação, evapotranspiração medida e estimada, temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento a 2,0 m, insolação e precipitação pluviométrica, obtidos num período de 12 meses, de novembro de 1976 a novembro de 1977.

3.1.2. Medida da Evaporação

1. TCA
2. TCAM
3. GGI-3000
4. YSP
5. Pluviometro
6. Pluviôgrafo
7. Anemômetro (0,5m)
8. Anemômetro (2,0m)
9. Tanque de 20 m²
10. Evapotranspirômetro
11. Sistema de Registro do Evapotranspirômetro
12. Actinôgrafo
13. Heliôgrafo
14. Para-raio
15. Abrigo Meteorológico
16. Anemôgrafo
17. Casa do Observador

Fig 1 - Área Experimental

Os dados relativos a evaporação foram obtidos em tanques com as seguintes características:

- Tanque Classe A - Tanque cilíndrico, fundo plano, construído inteiramente de chapa de ferro galvanizada 22 (AWG), diâmetro de 120 cm e altura de 25 cm; (Fig. 2); são seus principais componentes: a) um poço tranquilizador construído de um tubo de ferro galvanizado, com 20 cm de altura, dotado, em sua base de parafusos niveladores; b) um parafuso micrométrico em forma de gancho que se assenta sobre a borda do tranquilizador, com capacidade de medir variações no nível da água de 0,02 mm. O tanque foi instalado sobre um estrado de madeira convencional construído de caibros com as seguintes dimensões: 10x5x124 centímetros.

- Tanque Classe A à Nível Constante - É um tanque com as mesmas características gerais do tanque Classe A, no que diz respeito às dimensões, construção e instalação; a modificação proposta neste trabalho encontra-se esquematizada na Fig. 3. O reservatório de recarga (A) é construído do mesmo material do tanque, porém pintado de branco. A relação entre a secção do reservatório e a do tanque permite leituras da variação do nível d'água com precisão de 0,05 mm.

FIG 2 - CONJUNTO TANQUE CLASSE A, POÇO TRANQUILIZADOR, PARAFUSO MICROMÉTRICO E ESTRADO

DETALHES DA
FIGURA DOIS

FIG. 3 — CONJUNTO TANQUE CLASSE A A NÍVEL CONSTANTE,
RESERVATÓRIO DE RECARGA.

- A — RESERVATÓRIO DE RECARGA (Ø 27 CM)
- B — TUBO DE NÍVEL COM ESCALA GRADUADA (mm)
- C — TAMPA ROSQUEADA
- D — REGISTRO DO TUBO DE LIGAÇÃO COM O TANQUE
- E — RESPIRO
- F — TRANQUILIZADOR
- G — NÍVEL DA ÁGUA

3.1.3. Medida da Evapotranspiração

As medidas de evapotranspiração foram efetuadas em um evapotranspirômetro tipo Thornthwaite (THORNTHWAITE e HARE, 1965; MATHER, 1954) adaptado para a realização deste trabalho.

Utilizou-se uma bateria de 3 evapotranspirômetros dos cinco já instalados na Estação Meteorológica da ESALQ em 1956. Cada unidade consta de um tanque de alvenaria, convenientemente impermeabilizada, enterrado, de forma retangular nas seguintes dimensões: 135 x 185 cm e com 70 cm de profundidade; tem no fundo uma zona de drenagem constituída de uma camada de brita nº 1 e outra de areia grossa. Um tubo de ferro galvanizado de 4,0 cm de diâmetro que vai ter a outro tanque com as mesmas dimensões; o solo utilizado no enchimento dos tanques, obedecendo o perfil natural, foi do mesmo tipo da área onde está instalado o equipamento; o revestimento vegetal é constituído de gramínea (*Paspalum notatum*, Flegg) mantida, por meio de cortes periódicos, à cerca de 10 cm de altura.

As três unidades selecionadas foram ligadas entre si por meio de tubos plásticos flexível, que partindo dos tubos de drenagem foram ajustados a uma cruzeta construída de tubos de ferro igual aqueles de drenagem; o quarto ramo da cruzeta foi, de modo igual, ligado a uma caixa de ferro galvanizado nº 22 (AWG). (Fig. 4). No lado da caixa oposto a ligação com a cruzeta foi adaptada uma válvula do mesmo tipo da utilizado em carburador de automóvel, controlada por uma bóia de plástico. A saída da válvula foi ligada com tubo plástico flexível ao reservatório de recarga. Este era cilíndrico, contruído de chapa de ferro galvanizado nº 22 (AWG) pintada de branco e com as seguintes dimensões: 55 cm de diâmetro e 80 cm de altura; era dotado de sifão instalado de tal modo que a extremidade do seu

FIG. 4 — ESQUEMA DO EVAPOTRANSPIROMETRO COM NIVEL D'ÁGUA
CONSTANTE SISTEMA DE REGISTRO

- A — SISTEMA DE REGISTRO
- B — TANQUE DE ALVENARIA
- C — VALVULA COM BOIA
- D — NIVEL D'ÁGUA
- E — BOIA

Fig. 5 - Sistema de Registro do Evapotranspirômetro

ramo interno, com 3 cm de comprimento, fica a 10 cm da base superior do reservatório.

A principal adaptação proposta neste trabalho consta de um sistema de registro contínuo da evapotranspiração (Fig. 5). Tal sistema era constituído de um mecanismo de relógio e uma pena que traçava sobre um gráfico especial uma curva cumulativa da evapotranspiração em um dado período. O mecanismo de relógio utilizado foi do mesmo tipo do termo-higrógrafo de marca Fuess de giro diário, com a altura do cilindro convenientemente aumentada para receber o papel registrado; o mecanismo de relógio foi instalado sobre uma base triangular de chapa de latão, dotada de parafusos niveladores simplesmente apoiados sobre a base do reservatório. A pena, com depósito de tinta, foi adaptada ao eixo de uma bóia de latão. Para o sistema assim constituído foi construído um abrigo de chapa de ferro galvanizado. O papel registrador (Fig. 9) com divisão de uma hora no sentido vertical e com linhas espaçadas de uma distância igual a 0,1 mm de evapotranspiração, na horizontal, foi impresso em papel sulfite e tratado com uma solução a 10% de parafina em benzina. A montagem assim descrita, esquematizada na Figura 4, permite o funcionamento do evapotranspirômetro com nível d'água constante.

3.1.4. Elementos do Clima

A temperatura do ar foi obtida por meio de termômetros de máxima e mínima de marca Fuess com sensibilidade de $0,2^{\circ}\text{C}$ instalados em abrigo meteorológico. A umidade relativa do ar foi registrada, continuamente, em um termo-higrógrafo de marca Fuess, de rotação diária, apresentando precisão de 5% para UR.

A velocidade do vento a 2,0 metros de altura foi medida em anemômetro integrador marca Fuess modelo 92b que fornece uma leitura acumulada em Km até um total de 9999,99.

Os dados de precipitação foram obtidos em um pluviógrafo marca Fuess, modelo 95 com sifonação e registro diário. Apresenta um diagrama com variação de 10 mm e divisão de 0,1 mm de precipitação.

O heliógrafo usado na obtenção dos dados de insolação foi de marca Fuess, modelo 26c.

3.2. Métodos

3.2.1. Medidas da Evaporação

As medidas de evaporação foram efetuadas diariamente as 7 horas, em duas repetições. Adotou-se como critério só computar os dados nos dias de pouca precipitação.

O nível da água no tanque Classe A foi inicialmente deixado a 5,0 cm da borda e restabelecido quando se aproximasse ou atingisse 7,5 cm. As leituras foram efetuadas com o parafuso micrométrico. A evaporação computada em um período de 24 horas era obtida pela diferença entre a leitura do dia anterior eventualmente acrescida da precipitação obtida no

pluviôgrafo.

No tanque Classe A a Nível Constante, o nível da água foi mantido a 6,2 cm da borda. Isto foi possível graças a modificação efetuada no método de leitura.

3.2.2. Funcionamento do Tanque Classe A a Nível Constante

A montagem proposta para o tanque Classe A está esquematizada na Figura 6. Baseia-se na manutenção do nível da superfície evaporante. Estando o reservatório de recarga com água e o tanque com água até a altura "h", a pressão nos pontos "A" e "B" será igual a pressão atmosférica e o nível no tanque permanecerá constante na ausência de evaporação. Assim o peso da coluna "L", no reservatório, será equilibrado pela pressão atmosférica. Quando ocorre evaporação um desnível " Δh " ocorre no nível da água do tanque provocando a formação de um menisco no respiro "B". Continuando a evaporação, o menisco aumenta até formar uma bolha de ar que se desprende e vai ocupar o espaço "vazio" na parte superior do reservatório. Como consequência a coluna de água do reservatório é reduzida de um valor " ΔL ". O volume de água " $s\Delta L$ ", corresponde a diminuição da coluna, será utilizado no restabelecimento do nível "h" no tanque. Deste modo, o nível "h" permanecerá constante independentemente do comprimento da coluna "L". A montagem assim descrita tem seu funcionamento expresso pela relação

$$H = f \frac{s\Delta L}{S} \quad (1)$$

onde os termos significam:

H = somatório dos $n\Delta h$ ocorridos num intervalo de tempo = evaporação do período (mm).

FIG. 6 -- ESQUEMA DO TANQUE CLASSE A À NÍVEL CONSTANTE E EQUILÍBRIO DE PRESSÕES
(SIGNIFICADO DOS SÍMBOLOS NO TEXTO).

ΔL = variação do comprimento da coluna d'água no reservatório (mm).

S = secção do tanque = superfície evaporante (mm^2).

s = secção do reservatório (mm^2).

f = fator de conversão dependente de S e s

3.2.2.1. Considerações sobre o efeito da Temperatura do Reservatório de Recarga nas Medidas da Evaporação

Observações num modelo reduzido do conjunto Tanque-Reservatório de Recarga, demonstraram que a câmara livre (Fig. 6) se expande ou se contrai com a variação da sua temperatura. Deste modo as medidas da altura da coluna d'água (L) podem conter ~~um~~ erro devido a este efeito.

Na Figura 6 é apresentado o equilíbrio de pressões, sendo

P_o = pressão atmosférica

H_o = altura da câmara relativa as condições T_o , P_{u_o}

H = altura da câmara relativa as condições T , P_u

P_{u_o} = pressão do ar úmido no interior da câmara na condição de T_o

P_u = pressão do ar úmido no interior da câmara na condição de T

T = temperatura do ar úmido na leitura atual

T_o = temperatura do ar úmido na leitura anterior

A correção de leitura, resultante, de acordo com exposto deverá ser então

$$\Delta H = H - H_o$$

3.1.

De acordo com equação de estado podemos escrever para o momento da leitura que

$$\frac{P_{u_o} \cdot H_o}{T_o} = \frac{P_u H}{T} \quad 3.2.$$

isolando H_o teremos

$$H_o = H \cdot \frac{P_u}{P_{u_o}} \cdot \frac{T_o}{T} \quad 3.3.$$

como nos interessa, H_o a relação 3.3. torna-se, depois das transformações necessárias

$$\Delta H = H \left(1 - \frac{P_u}{P_{u_o}} \cdot \frac{T_o}{T} \right) \quad 3.4.$$

Substituindo $\frac{P_u}{P_{u_o}}$ da equação 3.4. por um valor K , teremos

$$\Delta H = H \left(1 - K \frac{T_o}{T} \right) \quad 3.5.$$

Como pode-se observar na Fig. 6, a pressão do ar úmido no interior da câmara livre do reservatório, num determinado instante é igual a pressão atmosférica (P_o) menos a altura da coluna d'água L , ou seja

$$P_{u_o} = P_o - L_o \quad 3.6.$$

$$P_u = P_o - L \quad 3.7.$$

Através de 3.6 e 3.7. pode-se verificar que o valor K da expressão 3.5. é praticamente igual a unidade porque a diferença $L_o - L$ é muito pequena em relação ao valor de P_o . Deste modo a expressão 3.5. resultará em

$$\Delta H = H \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) \quad 3.8.$$

Deve-se lembrar ainda que a secção do reservatório é 20 vezes menor do que a secção do tanque. Assim o erro de medida de evaporação no tanque será:

$$\Delta H = H \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) \quad 3.9.$$

De acordo com a relação 3.9. tem-se então as seguintes condições:

- 1) - se $T_0 = T$ $\Delta H = 0$
- 2) - se $T_0 < T$ $\Delta H > 0$
- 3) - se $T_0 > T$ $\Delta H < 0$

3.2.3. Medida da Evapotranspiração

O nível da água no evapotranspirômetro foi mantido constante a cerca de 30 cm abaixo da superfície do solo.

O papel registrador foi trocado diariamente às 7 horas. Para "zerar" o instrumento, colocava-se água no reservatório até o sifão ser acionado, de modo que, ao cessar a sifonação, a pena estava na linha zero do gráfico, na hora ajustada.

O funcionamento do instrumento é descrito com base no esquema da Figura 4. Na ausência de evapotranspiração, o nível "H" da água no tanque permanece constante e a válvula fechada. Ocorrendo evapotranspiração ocorreria também um abaixamento do nível "H", abertura da válvula e simultâ

neo abaixamento da altura da coluna d'água "h" no reservatório. Em consequência a pena sofrerá um deslocamento igual a variação de "h", traçando-o sobre o papel registrado. O movimento do mecanismo de relógio conjugado ao deslocamento da pena resultará numa curva cumulativa do tipo mostrada na Figura 9 para um determinado intervalo de tempo.

Para evitar variações no armazenamento d'água no evapotranspirômetro, os tanques foram protegidos da chuva quando necessário.

3.2.4. Estimativa da Evapotranspiração

A evapotranspiração foi estimada pela equação proposta por Penman (1948).

$$ETDE = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} \cdot H}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1} + \frac{Ea}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1} \quad 3.10.$$

Os termos da equação foram determinados em função dos elementos de clima com o uso de um programa em linguagem FORTRAN processado em computador IBM-1130.

a) $\frac{\Delta}{\gamma}$ foi determinado em função da temperatura do ar, média diária, e calculado segundo VILLA NOVA (1967).

γ = constante psicrométrica = 0,57 (mm Hg . °C⁻¹)

Δ = tangente à curva de saturação de vapor, determinada pela expressão 3.11 (mm.°C⁻¹).

$$\Delta = e_s \left(\frac{6886}{T_a^2} - \frac{5,31}{T_a^2} \right) \quad 3.11.$$

T_a = temperatura do ar, média diária ($^{\circ}\text{K}$)

e_s = tensão de saturação de vapor sobre água, em milímetros, calculada se
gundo a relação.

$$e_s = (6,11 \cdot 10^{\frac{A \cdot t}{B+t}}) \cdot 0,75 \text{ (mm.Hg)} \quad 3.12$$

$A = 7,5$

$B = 237,5$

H = balanço de energia diário, determinado pela relação ($\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$)

$$H = \frac{K\downarrow\downarrow}{59} (a + bn/N)(1-r) - \frac{T_a^4}{59} (0,56 - 0,09 \sqrt{e})(0,1 + 0,9n/N) \quad 3.13.$$

$K\downarrow\downarrow$ = radiação solar global recebida na ausência da atmosfera por uma su
perfície unitário e horizontal ($\text{cal.cm}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$). (Ver apêndice)

n = insolação diária em horas e décimos

N = duração máxima da insolação em horas e décimos (Apêndice)

r = albedo médio para superfícies vegetadas, tomado como 0,25 segundo

PENMAN

σ = constante de Stefan-Boltzman ($1,1707 \cdot 10^{-7} \text{ cal.cm}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$)

T_a = temperatura do ar, média diária ($^{\circ}\text{K}$)

e = tensão parcial de vapor, valor médio diário, em milímetros de Hg.da
do pela expressão

$$e = UR/100 \cdot e_s \quad 3.14$$

UR = umidade relativa do ar (%)

c) E_a = poder evaporante do ar, determinado pela expressão

$$E_a = 0,35 (1 + 0,54U_2) (e_s - e) \quad (\text{mm.dia}^{-1}) \quad 3.15.$$

U_2 = velocidade do vento a 2,0 metros de altura (m.s^{-1})

Foram obtidos valores diários de ETPE para todos os dias do ano. Entretanto foram utilizados apenas aqueles dias em que foi possível comparar com a Evapotranspiração medida com o evapotranspirômetro a nível constante e a evaporação medida em Tanques.

3.2.5. Elementos do Clima

A umidade relativa do ar, média diária, foi determinada pela média aritmética dos valores horários registrados pelo termo-higrógrafo.

A temperatura do ar, média diária, foi obtida de acordo com a expressão:

$$T_m = \frac{T_{mx} + T_{min}}{2} \quad 3.16$$

A velocidade do vento a 2,0 metros de altura, total diário, foi computada pela diferença entre duas leituras consecutivas fornecida pelo anemômetro.

Os dados de insolação, em horas e décimos, foram obtidos pela cotação da fita do heliógrafo assim como os dados de precipitação a partir do diagrama do pluviôgrafo.

Valores astronômicos da duração do dia foram calculados pela expressão 3.17. com o auxílio de um programa de computador

$$N = 0,133 \text{ arc cos } (-\text{tg} \gamma \text{ tg} \phi) \quad 3.17$$

Os valores de radiação solar extra-terrestre para uso na equação de Penman foram obtidos do trabalho de SALATI et alli (1967). (Ver apêndice).

3.2.6. Utilização e Análise dos Dados

A análise dos dados foi dividida em duas partes:

- 1º) Estudo das relações entre Evapotranspiração Medida estimada,
- 2º) Relações entre Evapotranspiração Medida e a Evaporação dos tanques Classe A e Classe A a nível Constante.

A análise dos dados foi feita em base diária e por média de pêntricas. Para cálculo das médias de pêntricas considerou-se apenas a sequência de cinco dias sem interrupção nas medidas.

Para cálculo dos coeficientes de conversão da evaporação em tanques para estimativa da Evapotranspiração medida os dados diários foram divididos em seis combinações de Umidade Relativa do Ar (2) e Velocidade do Vento (3), conforme metodologia de DOORENBOS e PRUITT (1975).

As equações de regressão e os coeficientes de correlação simples foram obtidos em computador IBM-1130 com o uso de um programa, em linguagem FORTRAN, já existente no Departamento de Matemática da ESALQ.

Na comparação dos parâmetros das equações de regressão obtidas foi empregado o teste "t". A estimativa dos graus de liberdade necessários para testar os contrastes foram obtidos pela fórmula de Satterthwaite de acordo com GOMES (1970).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Relativos à Comparação entre Evapotranspiração Medida (ETPM) e Evapotranspiração Estimada (ETPE).

O curso anual da ETPM e ETPE é mostrado na Figura 7. Os dados utilizados na construção da figura são apresentados na Tabela I. Na Tabela II são encontrados os valores médios de pântadas. A Tabela III apresenta a análise de variância efetuada.

Tabela III - Análise de variância dos dados de ETPM e ETPE - Valores diários e médios de pântadas.

Períodos (dias)	C. da Variação	G.L.	G.M.	Eq. de Regressão	R
1	Dev. a Regressão	1	180.0137**		
	Desvio	182	0.6541	ETPE = 0,64+0,66 ETPM	0,78***
5	Dev. a Regressão	1	33.500**		
	Desvio	28	0.5368	ETPE = 0,03+0,81 ETPM	0,83***

** significativo ao nível de 1%

*** significativo ao nível de 0,1%

FIG 7 - CURSO ANUAL DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO MEDIDA E ESTIMADA E DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

TABELA I - Valores diários de Evapotranspiração Medida (ETPM) e Estimada (ETPE), Evaporação dos Tanques Classe A (TCA) e Classe A a Nível Constante (TCAM), Precipitação Pluviométrica (PP), Temperatura Média (Tm), Velocidade do Vento a 2,0 metros (U₂) e Umidade Relativa do Ar (UR).

Mês: Janeiro/1977

Dia	TCAM mm/dia	TCA mm/dia	ETPM mm/dia	ETPE mm/dia	PP mm/dia	Tm °C	UR %	U ₂ km/dia
01	-	-	-	3,34	18,2	23,4	86,3	92,62
02	-	-	-	3,77	12,6	23,8	88,7	105,63
03	-	-	-	4,66	9,3	23,3	80,9	155,09
04	-	-	-	3,65	19,4	24,3	84,2	149,53
05	-	-	-	2,63	8,6	22,7	85,3	93,40
06	-	-	-	2,49	47,7	22,5	90,7	134,51
07	-	-	-	2,31	11,7	21,3	92,0	60,92
08	-	-	-	4,58	15,5	24,7	77,0	82,36
09	6,30	6,02	4,66	3,70	-	23,4	77,5	66,24
10	6,10	6,12	4,07	4,39	-	25,5	74,5	157,27
11	7,48	7,25	-	4,71	-	24,7	77,6	53,55
12	5,45	5,82	-	5,03	-	24,4	71,3	99,77
13	8,90	8,10	-	5,24	-	25,6	73,3	98,08
14	-	-	-	4,26	26,0	25,1	79,7	126,21
15	4,18	3,84	-	3,08	23,4	23,8	81,4	35,94
16	-	-	-	3,14	1,3	23,6	89,3	141,36
17	-	-	-	2,54	14,0	23,1	86,0	29,84
18	-	-	-	2,76	20,5	23,3	81,3	75,93
19	-	-	-	3,32	14,0	23,1	76,8	152,94
20	7,90	7,89	-	5,05	1,4	23,3	81,5	253,71
21	9,80	8,20	5,43	5,12	-	23,2	76,3	153,71
22	4,70	4,14	-	4,15	-	23,8	81,6	93,88
23	5,33	5,45	4,30	4,16	0,6	24,6	83,3	71,61
24	-	-	-	4,05	16,9	25,0	87,2	71,61
25	5,20	4,91	-	3,85	2,2	25,6	88,9	85,14
26	-	-	-	2,42	1,5	24,8	90,6	-
27	-	-	-	2,70	23,4	24,8	93,0	15,69
28	-	-	-	2,82	3,5	25,0	91,3	88,75
29	-	-	-	3,24	-	25,1	90,5	47,16
30	4,10	3,85	-	4,42	2,6	25,6	87,0	125,92
31	-	-	-	-	28,4	23,8	93,6	125,86

Mês: Fevereiro/1977

Dia	TCAM mm/dia	TCA mm/dia	ETPM mm/dia	ETPE mm/dia	PP mm/dia	Tm °C	UR %	U ₂ km/dia
01	-	-	-	-	1,2	24,6	75,4	198,49
02	7,08	6,55	-	5,86	-	24,4	73,3	229,81
03	8,28	7,09	5,87	5,07	-	24,2	79,5	135,36
04	4,00	4,05	4,33	3,72	-	25,1	88,4	77,47
05	5,15	5,82	5,57	4,65	-	26,2	84,4	57,52
06	9,18	7,57	6,23	4,53	-	26,7	78,7	33,34
07	5,38	4,76	-	4,69	25,4	26,7	79,3	86,54
08	6,30	5,49	5,60	4,62	-	26,8	80,5	97,53
09	8,45	6,98	7,13	4,86	-	27,0	72,6	46,05
10	8,13	7,01	6,20	4,09	-	26,6	77,3	61,88
11	7,50	8,44	6,93	5,00	-	26,8	73,3	62,79
12	7,58	7,04	6,30	5,00	-	25,4	70,6	61,37
13	7,78	7,82	6,63	5,93	-	26,0	73,4	90,62
14	6,33	5,27	4,97	3,40	-	24,9	80,3	56,41
15	7,75	6,41	5,10	4,04	-	25,6	76,1	129,50
16	8,63	8,54	7,00	5,31	-	26,2	74,5	176,32
17	8,93	8,95	7,87	5,34	-	25,7	63,3	113,15
18	7,85	6,38	7,01	4,94	-	26,4	71,8	104,90
19	7,65	8,32	-	4,91	-	25,9	73,9	125,51
20	8,10	7,50	-	4,81	-	26,2	73,7	107,17
21	9,10	7,41	5,77	4,64	-	25,5	72,8	97,19
22	8,03	6,43	6,16	4,73	-	25,4	74,8	85,08
23	8,55	7,47	6,31	4,49	-	25,3	75,8	120,93
24	7,65	8,08	-	4,96	-	25,5	71,7	77,32
25	-	-	-	4,07	10,7	25,0	81,1	71,58
26	7,37	6,78	2,90	4,45	-	24,6	75,1	90,60
27	9,68	8,16	6,94	5,10	-	26,3	71,6	80,01
28	7,45	6,45	7,00	4,82	-	26,4	69,1	65,12

Mês: Março/1977

Dia	TCAM mm/dia	TCA mm/dia	ETPM mm/dia	ETPE mm/dia	PP mm/dia	Tm °C	UR %	U ₂ km/dia
01	7,83	9,02	7,07	5,19	-	27,0	66,1	119,02
02	9,13	8,48	6,80	4,34	-	25,4	80,8	157,52
03	5,88	5,33	5,50	3,23	-	23,4	83,1	94,31
04	-	-	-	3,56	11,8	24,8	87,5	136,34
05	-	-	5,13	3,89	14,1	25,2	81,6	85,02
06	10,68	7,15	-	4,40	-	24,0	76,9	54,67
07	6,63	6,17	8,06	4,26	0,90	25,6	77,5	99,61
08	9,73	9,10	7,00	4,76	-	25,8	73,5	116,00
09	5,35	6,73	-	4,57	-	25,1	78,0	79,31
10	8,38	7,61	-	4,65	-	25,4	77,0	128,44
11	9,43	8,70	6,65	4,65	-	25,6	73,4	145,91
12	5,78	6,95	6,40	3,97	-	25,4	79,0	96,69
13	-	6,39	6,10	4,31	-	24,8	72,5	65,99
14	7,85	6,99	4,90	3,44	-	25,6	83,3	74,49
15	6,75	6,40	5,80	4,25	-	27,1	75,3	61,93
16	4,38	5,40	5,20	3,30	8,5	26,4	85,9	119,20
17	8,15	7,82	6,00	4,19	-	24,5	78,5	178,67
18	-	-	2,50	2,31	-	21,5	87,7	74,93
19	-	-	4,80	3,29	5,50	23,5	87,9	101,13
20	-	-	4,00	3,47	8,00	23,8	87,7	156,52
21	-	-	-	2,66	13,20	24,9	95,4	98,37
22	-	-	2,30	3,09	6,00	24,0	88,0	91,50
23	-	-	1,70	2,73	71,80	22,9	94,4	117,92
24	5,60	5,37	5,10	3,42	-	23,4	83,4	45,77
25	5,18	4,80	4,40	3,13	-	24,2	87,9	55,54
26	7,48	6,06	5,00	3,97	-	24,9	83,1	83,88
27	5,88	5,60	4,80	3,30	-	24,5	80,1	63,42
28	6,85	6,21	4,20	3,04	-	24,0	83,3	75,87
29	-	-	3,00	2,61	13,20	23,8	89,1	-
30	-	-	1,40	2,10	42,40	23,4	94,5	68,08
31	-	-	1,80	2,30	6,50	23,6	92,3	81,68

Mês: Abril/1977

Dia	TCAM mm/dia	TCA mm/dia	ETPM mm/dia	ETPE mm/dia	PP mm/dia	T _m °C	UR %	U ₂ km/dia
01	-	-	1,95	2,21	11,1	20,7	87,2	193,16
02	-	-	3,45	2,88	-	19,8	81,7	331,32
03	-	-	3,90	2,47	0,8	20,6	85,5	131,64
04	-	-	1,50	1,72	13,8	22,2	98,5	55,03
05	5,65	4,39	4,00	3,18	-	21,4	84,8	96,92
06	6,93	6,93	4,85	3,40	-	19,8	76,7	149,34
07	5,95	4,71	4,50	3,10	-	20,4	82,2	82,46
08	-	-	2,50	2,47	37,90	19,5	91,1	149,34
09	-	-	-	1,52	32,10	19,3	98,9	115,88
10	-	-	2,30	2,14	13,40	22,0	90,3	156,84
11	3,98	3,82	4,00	2,82	-	20,3	85,7	44,56
12	3,50	3,28	3,25	2,34	-	21,8	94,2	67,10
13	3,88	3,81	3,30	2,77	-	24,3	87,9	43,63
14	7,13	5,62	3,70	3,37	-	24,3	80,9	39,40
15	6,23	5,49	3,90	3,32	-	24,0	80,6	55,13
16	5,43	5,22	3,90	3,07	-	24,2	84,2	90,46
17	5,40	8,14	3,90	3,13	-	24,7	85,6	75,93
18	-	-	3,70	2,64	-	23,9	94,8	72,99
19	4,90	-	2,90	2,51	1,00	25,1	89,0	115,57
20	-	-	1,00	1,32	23,30	19,2	99,3	60,87
21	3,03	3,21	1,70	2,26	-	20,9	90,4	122,07
22	2,93	2,97	2,40	1,86	-	19,5	89,7	77,06
23	5,13	4,73	3,00	2,86	-	22,0	84,8	142,58
24	7,43	5,23	3,70	2,67	-	20,1	88,0	136,97
25	5,83	5,21	3,85	2,82	-	20,6	83,3	143,04
26	-	-	3,90	2,76	-	20,6	82,0	113,76
27	5,50	5,33	4,00	2,97	-	20,7	71,7	126,56
28	6,13	5,12	-	2,63	-	19,6	79,4	128,84
29	6,00	4,72	3,80	2,37	-	18,7	79,5	102,18
30	3,05	2,77	2,60	1,80	-	18,1	83,5	68,18

Mês: Maio/1977

Dia	TCAM mm/dia	TCA mm/dia	ETPM mm/dia	ETPE mm/dia	PP mm/dia	Tm °C	UR %	U ₂ km/dia
01	2,88	-	2,20	1,55	0,5	18,5	89,7	97,49
02	2,93	3,59	3,40	2,11	-	21,2	91,1	68,60
03	4,93	4,65	3,60	2,70	-	21,6	84,6	118,28
04	5,03	2,39	3,80	2,68	-	21,5	82,5	101,03
05	5,33	4,14	3,70	2,60	-	23,3	83,4	39,10
06	5,10	4,63	3,70	2,38	-	20,7	79,9	72,19
07	4,13	4,71	3,70	2,45	-	19,7	82,3	118,97
08	2,75	2,85	2,90	2,02	-	20,0	86,5	80,89
09	4,00	2,62	3,40	1,60	-	22,0	88,1	80,13
10	4,58	4,16	3,70	2,23	-	21,3	83,2	56,16
11	5,88	4,71	3,70	2,40	-	21,8	79,9	54,98
12	5,58	4,21	3,40	2,15	-	20,1	83,4	95,10
13	4,15	4,08	3,60	2,22	-	19,3	76,2	87,91
14	4,68	4,12	3,60	2,34	-	19,9	74,2	69,98
15	4,93	4,42	3,40	2,28	-	19,3	66,0	72,74
16	2,45	2,63	1,90	1,84	0,3	16,9	81,9	213,63
17	3,40	3,42	2,90	1,61	-	9,4	72,0	147,83
18	3,43	2,92	2,80	1,60	-	13,6	82,8	157,78
19	3,70	3,15	2,90	1,68	-	14,7	77,9	96,80
20	3,05	3,42	3,00	1,61	-	14,3	76,6	69,12
21	3,05	3,03	2,80	1,64	-	14,0	75,3	101,54
22	3,83	3,04	3,00	1,66	-	14,3	73,6	79,45
23	-	3,09	1,80	1,20	-	13,8	83,0	19,43
24	4,38	3,96	2,90	1,90	-	17,7	75,4	89,58
25	3,30	2,27	3,70	1,62	-	18,1	80,4	43,10
26	2,60	2,63	-	1,65	-	18,6	80,2	73,61
27	2,65	4,98	3,40	2,13	-	19,5	74,2	101,32
28	5,00	4,26	3,40	2,09	-	18,8	75,3	123,11
29	5,45	3,93	3,40	2,02	-	18,7	73,0	92,57
30	5,03	-	2,10	1,86	-	20,1	79,8	86,50
31	3,50	3,10	-	-	-	18,4	80,0	114,43

Mês: Junho/1977

Dia	TCAM mm/dia	TCA mm/dia	ETPM mm/dia	ETPE mm/dia	PP mm/dia	Tm °C	UR %	U ₂ km/dia
01	-	-	-	1,31	3,3	17,2	87,4	89,43
02	-	-	-	1,54	-	18,0	82,8	75,61
03	-	-	-	1,14	2,50	17,1	90,5	36,80
04	-	-	-	1,18	35,90	18,2	91,5	61,99
05	-	-	-	1,22	5,00	18,4	91,8	42,52
06	2,88	2,78	-	1,57	-	18,1	84,0	56,93
07	2,48	2,20	1,95	1,41	-	16,8	84,4	72,02
08	3,33	2,14	1,90	1,33	-	15,7	81,8	36,36
09	2,48	2,30	2,30	1,43	-	16,6	80,3	40,10
10	3,48	3,00	2,10	1,38	-	15,3	78,9	46,58
11	-	-	2,50	1,67	-	15,8	78,8	144,71
12	-	-	-	1,32	-	14,3	79,8	57,88
13	-	-	1,80	1,51	-	18,0	82,7	80,67
14	-	-	1,60	1,28	-	18,6	86,5	41,63
15	2,15	1,25	1,90	1,67	-	19,7	82,1	96,65
16	-	2,11	1,50	1,32	-	18,2	85,6	70,31
17	-	-	2,30	1,87	0,8	19,8	74,3	110,72
18	-	-	2,75	2,05	-	20,2	78,3	131,02
19	2,45	-	2,85	2,06	-	20,7	78,3	137,88
20	4,20	-	2,25	1,73	-	19,4	78,4	79,77
21	3,90	3,64	2,90	2,15	-	20,3	73,0	133,00
22	3,25	-	1,70	1,34	-	17,9	84,3	58,77
23	-	2,39	2,10	1,42	-	18,5	85,5	61,28
24	-	-	2,10	2,02	-	19,8	75,4	29,99
25	3,95	3,85	-	1,86	-	19,7	81,4	118,18
26	2,75	2,64	2,10	1,70	-	19,9	80,5	50,87
27	3,30	2,52	2,10	1,48	-	18,4	83,7	33,01
28	5,50	4,85	2,50	1,95	-	18,9	67,7	91,81
29	3,55	3,53	2,40	1,58	-	16,3	75,2	81,05
30	4,15	4,35	2,60	1,95	-	17,8	75,8	167,69

Mês: Julho/1977

Dia	TCAM mm/dia	TCA mm/dia	ETPM mm/dia	ETPE mm/dia	PP mm/dia	Tm °C	UR %	U ₂ km/dia
01	4,98	4,44	1,80	2,36	-	22,4	71,3	160,48
02	5,35	4,46	3,00	2,01	-	16,8	70,7	166,19
03	5,08	4,80	3,00	2,06	-	17,5	72,2	171,73
04	4,45	4,05	2,95	1,84	-	17,6	73,1	107,12
05	4,60	4,47	2,95	1,89	-	18,3	70,3	90,49
06	3,93	5,00	3,25	2,17	-	18,6	70,0	151,30
07	6,60	6,42	2,95	2,27	-	18,1	68,5	179,35
08	3,80	2,48	3,00	1,81	-	17,7	69,7	74,00
09	3,43	3,08	2,30	1,78	-	18,1	71,8	72,53
10	4,65	4,75	2,90	2,18	-	18,6	68,1	132,92
11	3,38	-	3,10	2,14	-	19,5	70,9	114,35
12	4,68	4,48	3,00	2,70	-	19,0	69,7	132,54
13	6,03	5,63	3,30	2,85	-	19,4	55,3	191,17
14	6,10	6,20	3,20	2,33	-	19,5	69,2	145,41
15	5,45	5,67	3,35	2,56	-	20,1	60,5	144,23
16	2,48	2,08	2,10	1,56	0,2	19,0	78,6	42,14
17	3,20	3,58	2,70	2,02	0,4	20,3	80,3	110,81
18	3,90	2,58	2,00	1,79	-	19,2	81,7	103,08
19	-	4,73	2,80	1,97	-	18,0	78,9	131,61
20	-	3,46	2,75	1,83	-	17,2	76,0	95,75
21	-	7,42	3,00	3,56	-	18,4	58,3	342,25
22	4,15	-	2,10	2,89	2,90	22,2	68,2	210,99
23	4,15	5,75	2,45	2,91	-	23,0	65,5	145,96
24	4,20	2,91	2,35	2,69	-	22,5	72,8	203,93
25	2,63	2,59	1,95	1,80	2,00	19,5	80,2	68,12
26	4,85	4,81	2,50	2,30	-	20,8	73,7	93,57
27	3,75	4,23	3,00	2,49	-	21,2	68,2	100,04
28	-	4,86	3,20	2,51	-	21,1	67,2	99,85
29	-	5,49	3,30	2,43	-	20,4	61,6	113,78
30	-	6,58	3,65	2,91	-	19,9	55,7	166,62
31	5,65	5,76	3,70	-	-	20,5	62,2	-

Mês: Agosto/1977

Dia	TCAM mm/dia	TCA mm/dia	ETPM mm/dia	ETPE mm/dia	PP mm/dia	Tm °C	UR %	U2 km/dia
01	6,75	6,47	3,80	3,10	-	21,9	58,7	147,61
02	6,95	5,26	3,20	2,50	-	19,9	78,6	202,47
03	3,63	3,33	2,70	1,99	-	19,3	79,1	107,11
04	5,38	5,27	3,50	2,81	-	21,0	69,9	143,55
05	4,50	4,50	3,40	2,53	-	21,2	69,4	67,57
06	4,88	5,51	4,30	3,02	-	21,8	62,0	125,82
07	7,88	7,58	-	3,20	-	22,1	57,0	130,50
08	6,00	-	-	2,84	-	20,6	61,6	112,70
09	5,58	5,12	-	2,68	-	20,6	78,6	180,38
10	4,53	4,28	-	2,51	-	19,2	71,5	92,60
11	5,50	7,41	-	3,65	-	20,8	59,8	246,25
12	5,33	6,15	-	3,92	-	24,5	62,0	146,58
13	10,53	9,07	-	4,46	-	24,4	50,4	237,55
14	7,03	6,40	-	2,94	-	21,9	80,5	191,57
15	4,35	4,19	-	2,38	-	19,6	78,5	93,79
16	6,15	5,42	-	3,00	-	22,2	67,7	96,79
17	9,15	9,33	-	4,29	-	21,7	61,8	321,14
18	7,18	6,27	-	2,82	-	17,0	72,2	209,95
19	5,43	4,98	-	2,40	-	14,9	76,3	203,33
20	6,43	5,83	-	2,68	-	16,2	69,2	163,73
21	5,70	5,37	-	2,72	-	17,8	69,7	111,95
22	5,78	5,66	-	2,90	-	17,9	63,7	122,50
23	6,20	6,79	-	2,86	-	19,5	52,5	55,76
24	6,83	6,17	-	3,76	-	21,0	60,0	233,12
25	5,45	4,14	-	2,76	-	19,0	72,3	189,97
26	6,70	6,15	-	3,04	-	18,3	67,8	138,25
27	4,50	5,07	4,05	3,01	-	18,8	68,3	125,71
28	5,32	5,66	3,60	-	-	20,0	-	103,84
29	-	-	2,10	1,72	4,3	17,3	85,3	90,39
30	-	-	2,10	1,59	15,4	18,2	93,0	149,12
31	6,05	5,75	3,40	3,26	-	21,2	73,8	145,37

Mês: Setembro/1977

Dia	TCAM mm/dia	TCA mm/dia	ETPM mm/dia	ETPE mm/dia	PP mm/dia	Tm °C	UR %	U ₂ km/dia
01	6,35	5,28	-	1,96	2,8	17,0	86,0	241,40
02	5,35	5,33	-	2,61	-	16,3	77,4	239,72
03	5,80	5,01	3,00	3,02	-	18,9	72,6	138,72
04	7,20	6,58	3,00	3,45	-	20,9	72,3	119,90
05	5,38	5,24	3,05	3,18	-	19,2	70,2	163,76
06	-	-	-	2,03	6,10	18,5	88,8	168,11
07	-	-	-	2,83	27,40	19,9	85,4	287,34
08	5,73	5,17	-	-	-	20,9	-	137,14
09	5,98	5,01	2,40	3,57	-	23,1	70,4	70,76
10	8,28	8,04	3,75	4,30	-	23,8	60,6	145,99
11	7,48	7,83	3,45	4,06	-	23,2	48,4	119,84
12	-	6,15	4,05	3,90	-	22,6	59,9	106,41
13	8,20	7,33	4,35	4,12	-	23,0	59,0	123,18
14	8,10	7,06	4,50	4,19	-	23,9	61,0	120,74
15	7,73	6,35	4,20	3,79	-	23,8	64,6	100,87
16	-	-	3,75	3,94	-	23,9	73,2	184,57
17	5,40	-	3,60	3,30	0,40	23,6	81,3	205,50
18	-	-	-	2,78	12,00	22,1	81,3	81,91
19	6,45	-	-	2,38	-	21,6	83,2	97,09
20	-	-	-	3,09	12,9	21,7	83,7	220,26
21	6,00	5,40	2,55	3,23	-	21,9	79,6	145,57
22	5,45	3,85	-	3,44	1,00	22,4	79,6	120,84
23	-	-	-	4,23	19,6	23,1	80,4	162,16
24	-	-	-	2,33	9,2	19,6	89,6	124,63
25	-	-	3,00	3,20	-	19,8	73,2	192,12
26	4,63	4,90	3,00	3,52	-	17,8	69,3	99,92
27	6,18	6,45	3,00	3,68	-	20,0	69,6	67,11
28	7,20	6,49	3,75	4,29	-	22,1	60,8	105,30
29	6,20	7,10	4,05	4,93	-	23,4	66,7	263,93
30	8,00	7,75	3,90	4,33	-	22,1	70,8	310,84

Mês: Outubro/1977

Dia	TCAM mm/dia	TCA mm/dia	ETPM mm/dia	ETPE mm/dia	PP mm/dia	Tm °C	UR %	U ₂ km/dia
01	-	-	-	2,44	46,5	21,7	86,2	134,23
02	5,93	6,00	-	3,76	-	22,2	82,4	167,90
03	6,28	-	-	3,50	-	19,7	77,7	166,91
04	5,00	6,20	3,15	4,14	-	21,4	76,5	242,30
05	7,25	7,80	3,60	4,32	0,2	21,8	74,8	240,50
06	9,50	7,80	4,20	4,77	-	22,0	72,5	225,70
07	6,45	7,30	4,80	4,38	-	22,6	70,2	197,22
08	6,50	7,90	5,41	4,85	-	22,3	67,9	192,22
09	6,58	7,05	5,26	4,38	-	22,0	66,1	96,00
10	-	-	5,26	4,30	-	22,4	67,0	91,09
11	8,13	9,25	6,01	5,28	-	24,4	58,6	175,19
12	8,70	8,20	5,56	4,94	-	24,1	74,0	288,98
13	6,38	6,65	5,26	4,27	-	23,2	79,3	246,59
14	8,93	8,75	6,31	4,80	-	24,5	72,2	147,21
15	8,08	8,65	6,01	5,00	-	24,6	66,7	163,71
16	-	-	-	3,32	14,2	23,4	75,2	211,63
17	3,65	3,20	-	2,49	-	20,1	85,4	220,71
18	6,40	6,55	-	3,23	-	20,9	82,5	171,27
19	8,00	8,75	3,60	5,21	-	22,5	72,5	229,98
20	-	8,50	4,05	4,90	-	22,5	69,6	176,07
21	7,35	11,20	-	4,86	-	23,5	68,8	146,21
22	8,55	7,25	5,40	5,00	-	22,9	64,6	122,10
23	9,25	9,20	6,15	5,53	-	25,3	59,3	110,00
24	9,35	9,80	6,15	5,57	-	25,6	52,6	168,40
25	8,75	7,55	5,10	5,98	-	27,8	53,8	162,76
26	10,55	11,40	5,85	5,63	0,3	27,8	70,1	251,41
27	-	-	-	-	1,5	22,8	86,2	-
28	-	-	-	3,17	3,5	23,4	82,4	125,96
29	-	-	6,75	3,45	-	23,9	79,5	191,28
30	7,78	7,32	4,35	3,04	-	24,7	70,4	67,68
31	8,55	8,78	5,10	4,89	-	25,1	64,0	115,76

Mês: Novembro/1976/77

Dia	TCAM mm/dia	TCA mm/dia	ETPM mm/dia	ETPE mm/dia	PP mm/dia	Tm °C	UR %	U ₂ km/dia
01	-	-	4,50	5,23	4,20	28,1	70,5	247,45
02	7,48	6,95	3,30	4,92	1,00	24,2	74,0	116,37
03	8,25	7,75	4,80	5,50	-	26,2	69,5	186,57
04	7,83	9,60	3,50	5,77	-	24,6	74,0	249,68
05	10,25	9,60	6,31	5,58	-	23,7	64,5	243,77
06	-	-	3,12	3,12	4,20	20,2	76,5	165,15
07	-	-	4,99	4,99	-	21,6	71,7	225,95
08	-	-	-	4,82	-	22,7	72,8	165,15
09	7,38	6,83	-	4,39	-	22,8	71,4	121,14
10	12,23	8,65	-	5,12	-	22,2	72,6	185,91
11	8,53	8,64	-	5,16	-	23,3	68,6	145,15
12	6,85	7,60	-	4,98	-	25,5	74,2	123,64
13	4,40	3,89	-	4,34	-	22,3	78,2	92,60
14	10,55	8,29	-	4,79	-	22,0	67,0	171,61
15	9,78	9,08	-	5,58	-	24,5	66,2	176,64
16	-	6,62	-	4,81	0,6	25,6	77,4	162,79
17	6,83	7,63	-	5,14	-	24,6	74,9	167,65
18	10,30	8,33	-	5,50	-	26,4	74,7	184,73
19	-	-	-	3,55	6,3	25,5	82,5	193,51
20	4,88	3,44	-	3,57	-	23,3	86,9	268,57
21	-	-	-	2,62	60,6	19,1	85,2	188,48
22	9,58	8,13	5,60	5,43	-	22,0	66,0	175,81
23	10,78	7,58	4,70	5,13	-	23,5	66,4	91,62
24	4,33	7,40	4,00	5,26	-	25,8	71,0	120,10
25	8,20	7,66	4,70	4,46	-	26,2	71,7	145,08
26	6,43	4,94	3,70	3,02	0,4	23,5	85,0	132,63
27	6,43	5,72	4,70	3,85	-	23,9	79,3	129,50
28	5,20	4,99	4,00	3,58	1,5	23,0	82,7	185,26
29	8,23	8,40	4,60	5,40	-	24,2	69,4	147,53
30	12,55	10,85	8,10	6,13	-	23,6	64,0	267,18

Mês: Dezembro/1976

Dia	TCAM mm/dia	TCA mm/dia	ETPM mm/dia	ETPE mm/dia	PP mm/dia	Tm °C	UR %	U ₂ km/dia
01	-	-	-	2,64	16,4	22,8	89,2	187,82
02	-	-	-	3,63	5,1	22,5	84,7	136,92
03	-	-	-	5,40	-	25,9	77,9	152,06
04	3,53	3,28	-	-	-	24,0	80,8	126,73
05	-	-	-	3,69	40,1	23,3	87,1	168,06
06	5,80	5,39	5,07	4,08	-	18,6	75,8	83,91
07	6,08	6,25	6,56	2,83	-	19,6	73,5	100,28
08	-	-	-	3,12	43,0	20,9	90,6	164,39
09	-	-	-	3,00	12,2	22,7	80,3	166,51
10	5,70	6,40	5,70	3,80	-	22,3	78,2	220,12
11	4,05	4,61	6,24	3,26	-	23,3	80,7	105,75
12	4,50	3,73	5,50	2,85	-	25,5	84,5	107,13
13	8,93	8,27	6,50	4,55	-	22,3	74,4	121,30
14	6,83	8,72	7,37	4,90	-	22,0	79,7	293,78
15	-	-	-	2,64	4,00	24,5	92,2	231,00
16	-	-	-	3,09	1,00	25,6	86,3	246,12
17	3,95	3,05	3,80	3,29	4,70	24,6	83,7	114,95
18	7,03	7,24	-	4,30	-	26,4	78,0	230,97
19	9,28	8,11	-	5,30	-	25,5	76,6	135,12
20	-	-	-	3,64	16,60	23,2	84,4	136,90
21	4,30	6,61	3,86	3,60	-	19,1	80,9	101,68
22	-	-	-	3,31	2,60	22,0	85,6	115,48
23	-	-	-	3,81	20,00	23,5	83,2	179,08
24	-	-	-	2,98	3,20	25,8	90,0	83,96
25	-	-	-	2,93	8,00	26,2	91,6	95,46
26	-	-	-	3,06	5,20	23,5	88,7	66,21
27	-	-	-	3,39	93,0	23,9	87,4	114,98
28	-	-	-	3,09	-	23,0	81,7	197,48
29	8,99	8,57	7,10	5,41	-	24,2	76,0	265,38
30	8,08	6,68	5,67	6,23	-	23,6	76,7	142,37
31	-	-	-	-	-	-	82,3	-

TABELA II - Valores médios de Pentadas de Evapotranspiração Medida (ETPM) e Estimada (ETPE), Evaporação dos Tanques Classe A (TCA) e Classe A a Nível Constante (TCAM).

Período	TCAM	TCA	ETPM	ETPE
09/01 - 13/01	6,83	6,68	-	4,61
02/02 - 06/02	6,74	6,22	5,40	4,77
08/02 - 12/02	7,59	6,99	6,43	4,71
13/02 - 17/02	7,88	7,40	6,31	4,59
19/02 - 23/02	8,29	7,43	-	4,72
06/03 - 10/03	8,15	7,35	-	4,53
11/03 - 15/03	7,24	7,09	5,97	4,12
24/03 - 28/03	6,20	5,61	4,70	3,37
11/04 - 13/04	4,94	4,40	3,63	2,92
21/04 - 25/04	4,87	4,27	2,93	2,49
26/04 - 30/04	5,17	4,49	3,60	2,44
02/05 - 06/05	4,66	3,88	3,64	2,49
07/05 - 11/05	4,27	3,81	3,48	2,14
12/05 - 16/05	4,36	4,01	3,24	2,17
17/05 - 21/05	3,33	3,19	2,88	1,63
24/05 - 28/05	3,99	3,62	3,02	1,88
06/06 - 10/06	2,93	2,48	2,03	1,42
26/06 - 30/06	3,85	3,38	2,34	1,73
01/07 - 05/07	2,84	4,44	2,74	2,07
06/07 - 10/07	4,48	4,35	2,88	2,05
12/07 - 16/07	4,95	4,81	2,99	2,30
23/07 - 27/07	3,92	4,06	2,45	2,44
01/08 - 05/08	5,44	4,97	3,32	2,59
06/08 - 10/08	5,77	5,70	-	2,85
11/08 - 15/08	6,47	6,64	-	3,38
16/08 - 20/08	6,87	6,37	-	3,04
21/08 - 25/08	3,99	5,63	-	3,00
01/09 - 05/09	6,02	5,49	-	2,84
09/09 - 13/09	7,22	6,87	3,60	3,99
26/09 - 30/09	6,44	6,54	3,54	4,15
04/10 - 08/10	6,94	7,40	4,23	4,53
11/10 - 15/10	8,04	8,30	5,83	4,86
22/10 - 26/10	9,29	9,04	5,73	5,54
01/11 - 05/11	6,76	6,78	4,48	5,40
09/11 - 13/11	7,88	7,12	4,84	4,84
22/11 - 26/11	7,86	7,14	4,54	4,66
27/11 - 30/11	8,10	7,49	5,35	4,75
10/12 - 14/12	6,00	6,35	6,26	3,87

A análise de variância mostrou alta significância para regressão linear tanto para períodos diários quanto para períodos de cinco dias.

Comparando-se os parâmetros das retas então obtidas verifica-se que não diferem entre si nos níveis de 5% e 1% de probabilidade, embora para períodos de cinco dias tenha se observado um coeficiente de correlação maior.

Testando-se os coeficientes lineares das equações observa-se que apenas o da referente a períodos de cinco dias não difere de zero.

Tendo em vista a análise de variância assim efetuada, conclui-se que apenas uma única equação relaciona ETPM com ETPE na forma

$$ETPE = 0,81 ETPM$$

4.1.

com um coeficiente de correlação de 0,83, altamente significativo.

Dos 184 dados diários comparados, observa-se que os valores de ETPM correpondentes a dias subsequentes a chuva (cerca de 30) praticamente igualaram-se aos de ETPE. Nos dados restantes, relativos a períodos de baixa umidade no solo adjacente, notaram-se sempre, valores de ETPM maiores do que ETPE. Este fato deve ser explicado como um efeito local de advecção que não é computado pela fórmula de cálculo utilizada. Confirmando estas observações, o potencial da água no evapotranspirômetro (camada de 0 a 15 cm) praticamente não variou de 0,1 atm durante todo o período de medida enquanto a região esteve sujeita a severos períodos de falta de chuva.

4.2. Relativos à Comparação entre a Evapotranspiração Medida (ETPM) e a Evaporação dos Tanques Classe A (TCA) e Classe A à Nível Constante (TCAM).

Os dados referentes à ETPM, TCA e TCAM para períodos diários e de cinco dias, são apresentados nas Tabelas I e II, respectivamente. Na Tabela IV encontra-se o resultado da Análise de Variância.

Tabela IV - Análise de variância dos dados de evapotranspiração de medida e da evaporação dos tanques Classe A e Classe A à nível constante.

Períodos (dias)	Causa da Variação	G.L.	Q.M.	Equação de Regressão	R
1 (A)	Dev. à Regressão Linear	1	222,3202**	ETPM = 1,04+0,53 TCAM	0,73***
	Desvio	182	1,0739		
5 (B)	Dev. à Regressão Linear	1	35,0382**	ETPM = 0,25+0,65 TCAM	0,83***
	Desvio	28	0,5423		
1 (C)	Dev. à Regressão Linear	1	237,1678**	ETPM = 1,12+0,54 TCA	0,73***
	Desvio	182	1,0472		
5 (D)	Dev. à Regressão Linear	1	34,4525**	ETPM = 0,56+0,65 TCA	0,83***
	Desvio	28	0,5632		

** significativo ao nível de 1%

*** significativo ao nível de 0,1%

A análise da Variância mostrou alta significancia para regressão linear, confirmando resultados da literatura de que existe uma relação linear entre evapotranspiração medida e evaporação de uma superfície livre de água (RIJTEMA, s/d).

Tabela V - Teste t para comparação dos parâmetros das equações de regressão da Tabela IV.

Contrastes	G.L.	Limites para t		$t_{(a)}$	$t_{(b)}$
		5%	1%		
A - B	155,11	1,96	2,58	1,44 ns	1,37 ns
A - C	363,92	1,96	2,58	0,26 ns	1,19 ns
B - D	55,98	2,00	2,66	0,45 ns	0,15 ns
C - D	149,06	1,96	2,58	1,08 ns	1,00 ns

O teste "t" aplicado na comparação dos parâmetros das retas então obtidas (Tabela V) revelou que não existe diferença "significativa" entre as equações A, B, C e D. Entretanto, como se observa na Tabela IV, melhores estimativas de ETPM a partir de ET, parecem ser obtidas em períodos de cinco dias, pois nestas condições os coeficientes de correlação são maiores e os valores dos coeficientes lineares tendem para zero.

4.2.1. O Coeficiente de Tanque (Kp)

Os valores dos coeficientes de conversão das medidas de Evaporação em Tanques para estimativa da Evapotranspiração Medida, são apresentados na Tabela V.

Tabela VI - Valores dos Coeficientes de Conversão das Medidas de Evaporação em Tanques para Estimativa da Evapotranspiração Medida em Evapotranspirômetro.

Kp = ETPM/ET				
Velocidade do Vento (Km.dia ⁻¹)	TCAM		TCA	
	Umidade Relativa do Ar (%)			
	50 - 75	> 75	50 - 75	> 75
< 75 fraco	0,73	0,78	0,80	0,87
	R = 0,81** N = 12	R = 0,86*** N = 32	R = 0,75* N = 12	R = 0,92*** N = 32
75 - 150 moderado	0,68	0,78	0,69	0,86
	R = 0,74*** N = 51	R = 0,59*** N = 47	R = 0,75*** N = 51	R = 0,66*** N = 47
>150 forte	0,60	0,73	0,60	0,75
	R = 0,82*** N = 28	R = 0,78** N = 14	R = 0,80*** N = 28	R = 0,93*** N = 14

N = número de observações

R = coeficiente de correlação

* significativo ao nível de 5%

** significativo ao nível de 1%

*** significativo ao nível de 0,1%

Os coeficientes de correlação simples entre ETPM e evaporação dos tanques, nas diversas combinações de umidade relativa do Ar com velocidade do vento, também são apresentados na Tabela V.

Estes resultados são coerentes com aqueles apresentados por DOORENBOS e PRUITT (1975) e PRUITT e DOORENBOS (1977) para um tanque Classe A instalado no centro de um gramado com 10 metros de raio. Isto é, para um mesmo nível de UR os valores de Kp decrescem com o aumento da velocidade do vento. Tendência contrária a esta é observada quando a UR cresce num dado nível de velocidade do vento.

A variação observada nos valores de Kp é mais devida à variação dos valores de evaporação dos tanques do que da evapotranspiração. Isto pode ser observado através dos dados da Tabela VII. Ali são apresentados os valores médios de ETPM e ET usados no cálculo de Kp.

Tabela VII - Valores médios de ETPM e ET utilizados na determinação de Kp.

Velocidade do Vento Km. dia ⁻¹		Kp = $\overline{ETPM}/\overline{ET}$			
		TCAM		TCA	
		Umidade Relativa do Ar (%)			
		50 - 75	> 75	50 - 75	> 75
< 75	$\overline{ETPM}$	4,40	3,72	4,40	3,72
	$\overline{ET}$	6,02	4,77	5,52	4,28
75 - 150	$\overline{ETPM}$	4,39	4,07	4,39	4,07
	$\overline{ET}$	6,69	5,21	6,41	4,74
> 150	$\overline{ETPM}$	4,51	4,64	4,51	4,64
	$\overline{ET}$	7,51	6,32	7,45	6,15

Como se pode notar os valores médios de ETPM são bem semelhantes, tanto no sentido do aumento de UR como no da velocidade do vento. Por outro lado, os valores médios de ET aumentam ou diminuem conforme seja fixado um dado nível de UR ou de velocidade do vento, respectivamente.

Estes resultados estão relacionados às diferenças entre as duas superfícies (gramado e água livre) tanto do ponto de vista aerodinâmico quanto ao de resistência à difusão de vapor d'água (TANNER, 1968; FRITSCHEN e SHAW, 1961).

Em função dos dados de Velocidade do Vento e Umidade Relativa do Ar observados neste trabalho, os valores de Kp esperados para os diversos meses do ano são mostrados na Tabela VIII.

Tabela VIII - Valores Médios Mensais dos coeficientes de Conversão das Medidas de Evaporação em Tanques para estimativa da Evapotranspiração Medida em Evapotranspirômetro.

Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Umidade Relativa do Ar (%)	> 75					50 - 75					> 75	
Velocidade do Vento (km/dia)	75 - 150							> 150				
Kp=ETPM/TCAM	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,66	0,66	0,60	0,60	0,60	0,60	0,73
Kp=ETPM/TCA	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,69	0,69	0,60	0,60	0,60	0,60	0,75

4.3. Relativos à Utilização do Tanque Classe A à Nível Constante

A montagem proposta para o Tanque Classe A, neste trabalho, foi descrita nos parágrafos 3.1.2 e 3.2.2.

De um modo geral a nova montagem exigiu mais cuidados na sua operação e manutenção do que a convencional. Como descrito em 3.2.2, o nível da superfície evaporante deve ser o mesmo do respiro do reservatório onde se efetuam as medidas. De modo que, quer durante a limpeza e renovação da água do tanque, quer durante a recarga do reservatório deve-se esperar um tempo para que os níveis se restabeleçam normalmente.

O tubo plástico que liga o tanque ao reservatório de recarga, exigiu observação constantes e trocas periódicas devido ao crescimento de algas e deposição de limo com consequente entupimento.

Por outro lado, a operação de medida na montagem proposta é mais fácil do que na convencional, principalmente por ocasião de ventos fortes, quando o poço tranquilizador, para uso do parafuso micrométrico, não se mostrou tão eficiente.

A partir da equação 3.9. (parágrafo 3.2.2) construiu-se as curvas da Figura 8 através das quais se obtém o erro de medida de evaporação no TCAM, em função da altura da câmara do reservatório e da diferença de temperatura entre duas leituras consecutivas. Referimo-nos à temperatura do ar úmido no interior da câmara, considerada em fase com a temperatura do ar medida em abrigo meteorológico.

Por facilidade as curvas foram construídas em função do quociente entre a diferença de temperatura em duas leituras consecutivas e a temperatura na leitura atual. O valor 0,10 no eixo horizontal correspon

de a um $\frac{\Delta T}{T} = \frac{30^{\circ}\text{C}}{273+7}$ aproximadamente. Naturalmente um ΔT desta magnitude é de ocorrência pouco provável, principalmente porque as medidas são sempre efetuadas no mesmo horário. Deste modo, observando-se as temperaturas na hora de medida em todo o período de duração do experimento, o valor máximo de ΔT encontrado foi de 12°C em apenas um dia do ano. Todos os outros valores foram inferiores a 3°C . Assim o valor mais frequente de $\Delta T/T$, está em torno de 0,00 e 0,01. Neste intervalo de variação de $\Delta T/T$ o erro máximo provável de medida é de 0,38 mm.

Fig. 8 - Curva para Correção das Medidas de Evaporação no Tanque Classe A à Nível Constante

4.4. Relativos a Utilização do Evapotranspirômetro com Nível D'Água Constante e Sistema de Registro.

A adaptação no evapotranspirometro de THORNTHWAITE, descrita nos parágrafos 3.1.3 e 3.2.3 revelou-se de fácil operação para as seguintes condições.

Durante todo o período de observação (1 ano) o principal problema surgido foi o da manutenção do tubo de borracha que liga o sistema de bóia e válvula ao sistema de registro. Trocas periódicas (intervalos de 90 dias aproximadamente) foram necessários devido ao crescimento de algas e deposição de limo com consequente entupimento.

Um gráfico típico, fornecido pelo sistema de registro é mostrado na Fig. 9 . Na Figura 10 é apresentado um diagrama obtido em dia de chuva que dá uma idéia da sensibilidade do instrumento. Poucos instantes antes do início da chuva os tanques foram protegidos.

Fig. 9 - Diagrama obtido no Evapotranspirômetro em um dia típico

Fig. 10 - Diagrama obtido no Evapotranspirômetro em um dia de chuva

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente trabalho, suportam as seguintes conclusões:

1. O Evapotranspirômetro de nível d'água constante com sistema de registro diário acoplado, apresenta características suficientes para ser utilizado em estudos de evapotranspiração em escala diária.

2. A análise de regressão simples revelou que a relação entre valores estimado (ETPE) e medidas (ETPM) de evapotranspiração, em base diária, nas condições da região de Piracicaba, é da forma

$$ETPE = 0,81 ETPM$$

3. A evapotranspiração medida no Evapotranspirômetro é influenciada pela advecção local não computada pela fórmula de estimativa (Penman).

4. A adaptação efetuada no método de leitura da evaporação no Tanque Classe A (nível d'água constante com reservatório de recarga) mostrou-se praticável para as nossas condições.

5. As medidas de evaporação no Tanque Classe A à Nível Cons

tante são influenciadas pela temperatura do ar úmido no interior da câmara livre do reservatório de recarga.

6. O erro de medida da evaporação devido ao efeito da temperatura no reservatório de recarga do Tanque Classe A à Nível Constante pode ser estimado, sendo praticamente desprezível nas condições do experimento.

7. Houve correlação altamente significativa entre valores (diários e médios de pântadas) de evaporação medidos nos Tanques Classe A e Classe A à Nível Constante e a evapotranspiração medida no evapotranspirometro.

8. As relações entre evapotranspiração medida e a evaporação dos Tanques Classe A e Classe A à Nível Constante, em períodos médios de pântadas não diferem daquelas em períodos diários, embora para períodos de pântadas os coeficientes de correlação simples sejam aparentemente maiores.

9. As medidas de evaporação obtidas no Tanque Classe A à Nível Constante não diferem, significativamente, daquelas obtidas no Tanque Classe A (convencional).

6. SUMMARY

This work deals with the study of some relations among evapotranspiration measured in evapotranspirometers and evaporation pans, and estimated by Penman's equation.

The measurement of evapotranspiration was made through a Thornthwaite evapotranspirometer with a constant water level, in which a daily record system was adapted. A modification of the Class A pan based on the maintenance of the evaporation surface by a constant water level, hence with out micrometric screw, is described and discussed.

The analysis of the data showed that the ratio between estimated and measured evapotranspiration, on a daily basis, was 0,81, for the région of Piracicaba - SP. This value was attributed to local advection that is not computed in Penman's equation.

Monthly average values of conversion coefficients from measurement of evapotranspiration obtained by traditional Class A pans and Class A with Constant water level device are presented.

7. LITERATURA CITADA

- AGUIAR, M.J.N. 1975 - Evapotranspiração em feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) estimada por evaporímetros e fórmulas empíricas. Piracicaba , ESALQ-USP, 55p. (Dissertação Mestre).
- ARMY, T.J.; OSTLE, B. 1957 - The association between free-water. evaporation and evapotranspiration of spring wheat under the prevailing climatic conditions of the plains of Montana. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 21(5):469-472.
- BAHRANI, B.; TAYLOR, S.A. 1961 - Influence of soil moisture potential and evaporative demand on the actual evapotranspiration from alfafa field. Agron. J. 53(4):233-237.
- BLACK, T.A.; THURTELL, G.W.; TANNER, C.B. 1968 - Hydraulic loadcell lysimeter construction, calibration and tests. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32(5):623-629.
- BLAINER, B.L.; ROSEMBERG, N.J. 1974 - Lysimetric calibration of the Bowen ration-energy balance methods for evapotranspiration estimation in the central great plains. J. Appl. Meteorol. 13(2):227-236.
- BOHOMME, R.; GRANCHER, C.V. 1973 - Measurements and estimation of , evapotranspiration in french west Indies. In: Annual Meeting of the Caribbean Food Crops Society, 11º, Barbados, July, 1-7, 6p.
- CAMARGO, A.P. 1966 - Contribuição para a determinação da evapotranspira^çao potencial no Estado de São Paulo. Campinas, IAC, 54p. (BC-161).
- CHANG, J.H. 1968 - Climate and agriculture - an ecological survey. Chicago, Aldine, 296 p.

- CRUCIANI, D.E. 1972 - Balanço hídrico em solo cultivado com cana-de-açúcar - Utilização do método da moderação de nêutrons. Piracicaba, CENA, 36p. (BC-006).
- DALE, R.F.; SCHCERINGA, K.L. 1977 - The effect of soil moisture on pan evaporation. Agric. Meteorol. 18:463-474.
- DENMEAD, O.T.; McILROY, I.C. 1970 - Measurements of non-potential evaporation from wheat. Agric. Meteorol, 7:285-302.
- DENMEAD, O.T.; SHAW, R.H. 1962 - Availability of soil water to plants as affected by soil-moisture content and meteorological conditions. Agron. J. 54(5):385-390.
- DILLEY, A.C.; SHEPHERD, W. 1972 - Potential evaporation from pastures and potatoes at Aspendale. Agric. Meteorol. 10:283-300.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.D. 1975 - Guidelines for predicting crop water requirements, ROMA, FAO, 180p. (Irr. and Drainage Paper 24).
- DOSS, B.D.; BENNETT, O.L.; ASHLEY, D.A. 1964 - Moisture net by forage species as related to pan evaporation and net radiation. Soil Sci., 98(5):322-327.
- EAGLEMAN, J.R. 1967 - Pan evaporation, potential and actual evapotranspiration. J. Appl. Meteorol. 6:482-488,
- EAGLEMAN, J.R.; DECKER, W.I. 1965 - The role of soil moisture in evapotranspiration. Agron. J. 57:626-629.
- EKERN, P.C. 1966 - Evapotranspiration by bermuda-grass sod, *Cinodon dactylon* L. Pers. Agron. J. 58(4):387-390.
- EVANS, G.N. 1971 - Evaporation from rice at griffith new south wales. Agric. Meteorol. 8:117-127,

- FERRAZ, E.S.B. 1972 - Estudo da evapotranspiração real através da medida de umidade do solo por moderação de nêutrons. Piracicaba, CENA, 40p. (BC-005).
- FRITSCHEN, L.J.; SHAW, R.H. 1961 - Evapotranspiration for corn as related to pan evaporation. Agron. J. 53(3):149-150.
- GANGOPADHYAYA, M. et alli. 1966 - Measurements and estimation of evaporation and evapotranspiration. Geneva, WMO, 121p. (Technical Note 83).
- GLDVER, J.; FDRSGATE, J. 1964 - Transpiration from short grass. Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. 90(385):320-324.
- GOLTZ, S.M.; TANNER, C.B.; THURTELL, G.W. 1970 - Evaporation measurements by an eddy correlation methods. Water Resources Res. 6(2):440-446.
- GOMES, F.P. 1970 - Curso de estatística experimental. São Paulo, Nobel. 431p.
- GORNAT, B.; GOLDBERG, D.; SADAN, D. 1971 - Changes in the ratio between sugar beet evapotranspiration and pan evaporation during the growing season. Agron. J. 63(2):256-258.
- GRANT, D.R. 1975 - Comparison of evaporation measurements using different methods. Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. 101(429):543-550.
- HALSTEAD, M.H.; COVEY, W. 1957 - Some meteorological aspects of evapotranspiration. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 21(5):461-464.
- HANSON, C.L.; RAUZI, F. 1977 - Class A pan evaporation as affected by shelter and daily prediction equation. Agric. Meteorol. 18:27-35.

- HARGREAVES, G.H. 1974 - Potential evapotranspiration and irrigation requirements for northeast Brazil. Salt Lake City, Utah State University. 55p.
- KING, K.H.; TANNER, C.B.; SUOMI, V.E. 1957 - A floating lysimeter and its evaporation recorder. Trans. Amer. Geophys. Union 37:738-742. and discussion 38:765-768.
- KRISHNAN, A.; KUSHAWAHA, R.S. 1973 - A multiple regression analysis of evaporation during the growing season of vegetation in the arid zone of India. Agric. Meteorol. 12:297-307.
- LEMON, E.R. 1956 - The potentialities for decreasing soil moisture evaporation loss. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 20(1):120-125.
- LEMON, E.R.; GLASER, A.H.; SATTERWHITE, L.E. 1957 - Some aspects of the relationship of soil, plant and meteorological factors to evapotranspiration. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 21(5):464-468.
- MAKKINK, G.E.A.; HEEMST, H.O.J. 1956 - The actual evapotranspiration as a function of the potential evapotranspiration and the soil moisture tension. Neth. J. Agric. Sci. 4(1):67-72.
- MARQUES, V.S. 1972 - Sobre as limitações dos evapotranspirômetros São Carlos, Escola de Engenharia, 56p. (Dissertação Mestre).
- McILROY, I.C.; ANGUS, D.E. 1964 - Grass, water and soil evaporation at Aspendale. Agric. Meteorol. 1:201-224.
- OLIVEIRA, A.S. 1971 - Estudos comparativos da evaporação potencial estimada por tanques e pelo método de Penman. Piracicaba, ESALQ-USP, 90p. (Tese Livre Docência).
- PARMEIE, L.H.; McGUINNESS, J.L. 1974 - Comparison of measured and

estimates daily potential evapotranspiration in a humid region.

J. of Hydrology, 22(3/4):239-251.

- PECK, N.H.; VITTUM, M.T.; GIBBS, G.H. 1968 - Evapotranspiration rates for irrigated crops at Geneva, New York. Agron. J. 60(1):23-26.
- PELTON, W.L.; KING, K.M.; TANNER, C.B. 1960 - An evaluation of the Thornthwaite and mean temperature methods for determining potential evapotranspiration. Agron. J. 52(7):387-395.
- 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.
- PHENE, C.J.; CAMPBELL, R.B. 1975 - Automating pan evaporation measurements for irrigation control. Meteorol. 15:181-191.
- PRUITT, W.O. 1966 - Empirical methods of estimating evapotranspiration using primarily evaporation pans. Proc. Conf. Evapotranspiration, Amer. Soc. Agric. Eng., Chicago, pp 57-61.
- PRUITT, W.O.; ANGUS, O.E. 1960 - Large weighing lysimeter for measuring evapotranspiration. Amer. Soc. Agr. Eng. Trans. 3:13-15.
- PRUITT, W.O.; DOORENBOS, J. 1977 - Empirical calibration a requisite for evapotranspiration formulae based on daily or longer mean climatic data? In: International Round Table Conference on Evapotranspiration, Budapest, May 26-28.
- RANZANI, G.O.; FREIRE, O.; KINJO, T. 1966 - Carta de solos do município de Piracicaba, Piracicaba, ESALQ, 85p.

- RIJTEMA, P.E. (s/d) - Derived meteorological transpiration. In: UNESCO, Agroclimatological methods. Proc. of the Readings Syposium.
- RITCHIE, J.T.; BURNET, E. 1968 - A precision weighting lysimeter for row crop water studies. Agron. J. 60(5):545-549.
- ROSEMBERG, N.J. 1974 - Microclimate . Chicago, John Willy & Sons , 301p.
- SALATI, E. et alli. 1967 - Estimativa da radiação solar que atinge uma área horizontal unitária, admitindo-se a ausência da atmosfera. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura. (BC-6).
- SCALOPI, E.J. 1972 - Métodos climatológicos para avaliar a evapotranspiração. Piracicaba, ESALQ-USP. 71p. (Dissertação Mestre).
- SCARDUA, R. 1970 - Evapotranspiração real da cultura do milho como base aos projetos de irrigação. Piracicaba, ESALQ-USP. 160p. (Tese Doutorado).
- SEGINER, I. 1969 - The effect of albedo on the evapotranspiration rate Agric. Meteorol. 6:5-31.
- SEGINER, I. 1971 - Wind effect on the evaporation rate. J. Appl. Meteorol. 10(2):215-220.
- SLATIER, R.O. 1956 - Evapotranspiration in relation to soil moisture Neth. J. Agric. Sci. 4(1):73-76.
- SLATIER, R.O.; McILROY, I.C. 1961 - Evaporation and the principles of its measurements. In: Practical Microclimatology - with special reference to the water factors in soil-plant-atmosphere relationships Australia, C.S.I.R.O. - UNESCO, pp 47-134.
- TANNER, C.B. 1960 - Energy balance approach to evapotranspiration crops. Soil Sci Soc. Amer. Proc. 24(1):1-9.

- TANNER, C.B. 1968 - Evaporation of water from plants and soil. In:
KOSLOWSKI, T.T. Water deficits and plant growth (vol. I) New York,
Academic Press. pp. 73-186.
- TANNER, C.B.; LEMON, E.R. 1962 - Radiant energy utilized in
evapotranspiration. Agron. J. 54(3):207-212.
- THOMPSON, G.D.; BOYCE, J.P. 1967 - Daily measurement of potential
evapotranspiration from fully canopied sugar cane. Agric. Meteorol.
4:267-279.
- THORNTHWAITE, C.W.; HARE, F.K. 1965 - The loss of water to the air
Meteorol. Monographs 6:163-170.
- UBIING, P.W.S. 1961 - Solar and net radiation, available energy and its
influence on evapotranspiration from grass. Neth J. Agric. Sci.
9(2):81-93.
- Van BAVEL, S.H.M.; HARRIS, D.C. 1962 - Evapotranspiration rates from
bermuda grass and corn at Raleigh North Carolina. Agron. J. 54(4):
319-322.
- VEIHMEYER, F.J.; HENDRICKSON, A.H. 1955 - Does transpiration decrease
as the soil moisture decreases? Trans. Amer. Geophys. Union 36:425-448.
- VILLA NOVA, N.A. 1967 - A estimativa da evaporação potencial no Estado
de São Paulo, Piracicaba, ESALQ-USP. 66p. (Tese Doutorado).
- YU, S.L.; BRUTSAERT, W. 1967 - Evaporation from very shallow pans.
J.Appl. Meteorol. 6(2):265-271.

8. APÊNDICE

TABELA I - Tensão máxima do vapor, sobre água, em milímetros.

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

TABELA II- Radiação Solar Global recebida por uma Superfície Horizontal, unitária, na Ausência da Atmosfera ($\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) na Latitude de $22^{\circ}43'$ Sul.

Dia	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1	1012	978	903	778	656	551	534	600	720	845	947	998
2	1011	976	896	774	649	549	535	604	725	849	949	999
3	1011	974	894	771	645	548	535	604	730	853	950	1000
4	1011	972	893	767	640	547	537	612	734	857	954	1001
5	1011	970	891	762	637	544	538	614	738	861	956	1002
6	1009	968	887	758	632	543	539	618	742	865	958	1003
7	1009	966	882	754	628	541	540	621	746	868	960	1004
8	1008	964	880	749	624	540	542	625	750	871	963	1005
9	1007	961	875	745	622	539	543	628	755	876	965	1006
10	1007	959	872	740	619	537	545	632	759	879	967	1007
11	1007	956	870	736	616	536	546	636	763	883	969	1008
12	1005	954	865	731	612	535	548	639	767	887	971	1009
13	1005	951	865	726	605	534	560	643	771	889	973	1008
14	1003	949	854	720	609	534	552	647	776	894	975	1008
15	1002	946	850	714	601	533	554	651	781	897	977	1008
16	1001	943	846	710	597	532	556	655	785	900	978	1008
17	1000	940	842	705	592	531	558	659	789	904	979	1009
18	999	937	838	703	588	531	560	663	793	907	982	1009
19	998	935	834	699	586	531	562	667	797	910	983	1009
20	997	932	832	694	584	530	565	671	802	913	985	1009
21	995	928	828	690	580	530	567	675	806	916	987	1009
22	994	926	824	685	576	530	570	679	810	920	988	1010
23	993	923	818	681	573	530	572	683	814	922	989	1010
24	992	920	815	677	530	575	687	817	817	928	989	1010
25	990	917	811	673	568	529	578	691	822	965	992	1010
26	988	913	806	669	566	529	580	695	826	930	993	1010
27	986	910	800	665	563	529	583	700	830	933	995	1010
28	985	907	796	663	560	531	586	704	834	936	996	1010
29	983	-	791	656	558	531	589	708	838	939	998	1010
30	981	-	787	652	556	532	592	712	841	941	999	1010
31	980	-	782	-	553	-	596	717	-	944	-	1010

TABELA III-Duração Máxima da Insolação Diária, em Horas, nos Vários Meses do Ano e Latitude de 22°43'Sul.

Dia	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1	13,36	12,98	12,39	11,77	11,14	10,70	10,63	10,95	11,55	12,16	12,79	13,23
2	13,36	12,98	12,39	11,77	11,14	10,70	10,63	11,02	11,60	12,16	12,79	13,23
3	13,29	12,91	12,33	11,72	11,14	10,70	10,70	11,02	11,60	12,16	12,85	13,29
4	13,29	12,91	12,33	11,72	11,14	10,70	10,70	11,02	11,60	12,22	12,85	13,29
5	13,29	12,91	12,33	11,66	11,08	10,70	10,70	11,08	11,66	12,22	12,85	13,29
6	13,29	12,85	12,28	11,66	11,08	10,70	10,70	11,08	11,66	12,28	12,85	13,29
7	13,29	12,85	12,28	11,66	11,08	10,70	10,70	11,08	11,66	12,28	12,91	13,29
8	13,29	12,85	12,22	11,60	11,02	10,70	10,70	11,08	11,72	12,28	12,91	13,29
9	13,29	12,85	12,22	11,60	11,02	10,70	10,70	11,14	11,72	12,33	12,91	13,29
10	13,29	12,79	12,22	11,60	11,02	10,63	10,70	11,14	11,77	12,33	12,98	13,29
11	13,23	12,79	12,16	11,55	11,02	10,63	10,70	11,14	11,77	12,33	12,98	13,29
12	13,23	12,74	12,11	11,49	10,95	10,63	10,76	11,20	11,83	12,39	12,98	13,36
13	13,23	12,74	12,11	11,49	10,95	10,63	10,76	11,20	11,83	12,39	12,98	13,36
14	13,23	12,74	12,11	11,49	10,95	10,63	10,76	11,20	11,83	12,45	13,04	13,36
15	13,23	12,74	12,11	11,49	10,95	10,63	10,76	11,20	11,83	12,45	13,04	13,36
16	13,23	12,68	12,05	11,43	10,89	10,63	10,76	11,26	11,88	12,45	13,04	13,36
17	13,16	12,68	12,05	11,43	10,89	10,63	10,76	11,26	11,88	12,50	13,04	13,36
18	13,16	12,68	12,00	11,43	10,89	10,63	10,76	11,26	11,94	12,50	13,10	13,36
19	13,16	12,62	12,00	11,37	10,89	10,63	10,83	11,31	11,94	12,50	13,10	13,36
20	13,16	12,62	12,00	11,37	10,89	10,63	10,83	11,31	11,94	12,56	13,10	13,36
21	13,16	12,56	12,00	11,37	10,83	10,63	10,83	11,31	12,00	12,56	13,10	13,36
22	13,10	12,56	12,00	11,31	10,83	10,63	10,83	11,37	12,00	12,62	13,16	13,36
23	13,10	12,56	12,00	11,31	10,83	10,63	10,83	11,37	12,00	12,62	13,16	13,36
24	13,10	12,50	11,94	11,31	10,83	10,63	10,89	11,37	12,00	12,62	13,16	13,36
25	13,10	12,50	11,94	11,26	10,83	10,63	10,89	11,37	12,00	12,68	13,16	13,36
26	13,04	12,50	11,88	11,26	10,76	10,63	10,89	11,43	12,05	12,68	13,16	13,36
27	13,04	12,45	11,88	11,26	10,76	10,63	10,89	11,43	12,05	12,68	13,23	13,36
28	13,04	12,45	11,88	11,20	10,76	10,63	10,89	11,49	12,05	12,74	13,23	13,36
29	13,04	12,39	11,83	11,20	10,76	10,63	10,95	11,49	12,11	12,74	13,23	13,36
30	12,98	0,00	11,83	11,20	10,76	10,63	10,95	11,49	12,11	12,74	13,23	13,36
31	12,98	0,00	11,77	0,00	10,76	0,00	10,95	11,55	0,00	12,79	0,00	13,36

TABELA IV - Razão de Insolação Diária.

Dia	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1	0,23	0,69	0,74	0,05	0,05	0,01	0,86	0,83	0,02	0,09	0,41	0,00
2	0,38	0,87	0,58	0,17	0,51	0,33	0,91	0,65	0,36	0,64	0,76	0,34
3	0,60	0,78	0,32	0,28	0,84	0,00	0,87	0,33	0,68	0,57	0,70	0,71
4	0,25	0,39	0,41	0,05	0,86	0,00	0,85	0,84	0,91	0,65	0,85	0,40
5	0,00	0,64	0,51	0,75	0,74	0,14	0,84	0,81	0,62	0,67	0,69	0,33
6	0,00	0,57	0,82	0,85	0,72	0,67	0,88	0,84	0,17	0,87	0,11	0,67
7	0,00	0,58	0,61	0,85	0,87	0,37	0,88	0,91	0,42	0,73	0,73	0,00
8	0,55	0,55	0,76	0,50	0,52	0,46	0,88	0,81	0,78	0,87	0,69	0,25
9	0,31	0,65	0,82	0,05	0,00	0,53	0,51	0,71	0,80	0,85	0,65	0,00
10	0,33	0,41	0,76	0,14	0,66	0,61	0,91	0,86	0,87	0,78	0,80	0,22
11	0,63	0,71	0,69	0,77	0,77	0,75	0,88	0,74	0,63	0,81	0,78	0,15
12	0,68	0,78	0,53	0,43	0,63	0,61	0,89	0,65	0,81	0,64	0,65	0,00
13	0,70	0,66	0,75	0,50	0,79	0,35	0,83	0,80	0,84	0,56	0,65	0,59
14	0,41	0,27	0,41	0,84	0,81	0,04	0,86	0,75	0,81	0,76	0,61	0,61
15	0,15	0,35	0,63	0,82	0,63	0,38	0,64	0,62	0,63	0,74	0,76	0,00
16	0,18	0,72	0,32	0,53	0,05	0,00	0,14	0,77	0,60	0,06	0,55	0,00
17	0,02	0,79	0,63	0,69	0,49	0,20	0,65	0,87	0,37	0,00	0,69	0,14
18	0,01	0,66	0,12	0,56	0,46	0,89	0,44	0,82	0,34	0,31	0,68	0,23
19	0,08	0,67	0,50	0,32	0,57	0,71	0,82	0,66	0,12	0,91	0,15	0,69
20	0,68	0,66	0,53	0,00	0,61	0,57	0,67	0,22	0,37	0,82	0,24	0,30
21	0,77	0,63	0,27	0,44	0,37	0,82	0,52	0,88	0,45	0,79	0,03	0,44
22	0,49	0,72	0,42	0,24	0,72	0,11	0,48	0,88	0,58	0,88	0,85	0,25
23	0,49	0,59	0,38	0,71	0,00	0,35	0,81	0,85	0,90	0,95	0,79	0,30
24	0,46	0,82	0,65	0,84	0,71	0,73	0,40	0,57	0,23	0,67	0,68	0,10
25	0,38	0,56	0,48	0,84	0,42	0,79	0,38	0,30	0,29	0,74	0,34	0,09
26	0,01	0,67	0,78	0,84	0,24	0,73	0,75	0,90	0,87	0,59	0,08	0,18
27	0,11	0,84	0,49	0,82	0,83	0,66	0,77	0,83	0,86	0,02	0,31	0,24
28	0,10	0,74	0,51	0,73	0,84	0,78	0,78	0,62	0,87	0,19	0,23	0,01
29	0,25	-	0,34	0,68	0,88	0,77	0,00	0,02	0,72	0,17	0,75	0,64
30	0,55	-	0,13	0,24	0,49	0,72	0,00	0,02	0,45	0,86	0,78	0,69
31	0,09	-	0,19	-	0,25	-	0,00	0,73	-	0,62	-	0,44