**“DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CULTURA (k_c)
PARA FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.) PELO MÉTODO
DO BALANÇO HÍDRICO”**

ARIOVALDO LUCHIARI JUNIOR

Engenheiro Agrônomo
Pesquisador da EMBRAPA

Orientador: PROF. DR. KLAUS REICHARDT

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

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Janeiro, 1978

À meus pais,

D E D I C O

À minha esposa Beatriz,

O F E R E Ç O

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

- Ao *Dr. Klaus Reichardt*, orientador e amigo, cuja experiência e incentivo possibilitaram a realização deste trabalho.
- Aos professores *Dr. Afonso Decico*, *Dr. Jesus Marden dos Santos* e *Dr. Nilson Augusto Villa Nova*, pelas sugestões apresentadas durante a elaboração e revisão deste trabalho.
- Ao *M.S. Paulo Leonel Libardi*, pelas críticas e sugestões apresentadas durante a elaboração e revisão deste trabalho.
- Aos colegas do Curso de Agrometeorologia e aos colegas orientados do *Dr. Klaus Reichardt*, pelo auxílio prestado nos trabalhos de campo.
- À *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)*, pela oportunidade concedida.
- À *Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)* pelo apoio financeiro através do Projeto Feijão do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA).
- Aos *Srs. Cleusval Bissi*, pelos serviços de datilografia e *Benedito Herculano Davanzo*, pelos serviços de imprensa.
- Externamos ainda, nossos agradecimentos a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Í N D I C E

	<u>Página</u>
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA.	03
3. MATERIAIS E MÉTODOS.	08
3.1. Teoria do método do balanço hídrico	08
3.2. Caracterização geral do experimento	12
3.2.1. Local	12
3.2.2. Solo	13
3.2.3. Cultura e práticas culturais	15
3.3. Procedimento para determinação das componentes do balanço hídrico	16
3.3.1. Variação do armazenamento de água do solo (ΔA , mm)	16
3.3.2. Drenagem ou percolação profunda (Q_L , mm)	18
3.3.3. Precipitação pluvial (P, mm)	21
3.3.4. Irrigação (I, mm)	21
3.3.5. Deflúvio superficial (R, mm)	22
3.4. Comportamento da cultura.	22
3.5. Medida direta da evaporação (mm.dia^{-1}).	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1. Balanço hídrico	25
4.2. Coeficiente de cultura (K_c)	35

	<u>Página</u>
5. CONCLUSÕES	41
6. RESUMO.	43
7. SUMMARY.	44
8. BIBLIOGRAFIA	45
9. APÊNDICE	51

LISTA DE TABELAS

<u>Tabela</u>	<u>Página</u>
01 - Características físicas do solo em estudo	13
02 - Características químicas do solo em estudo	14
03 - Valores das componentes do balanço hídrico e da % da perda por drenagem profunda e evaporação do tanque Classe A durante o ciclo da cultura do feijão	26
04 - Valores utilizados na análise de regressão linear. . . .	38

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>	<u>Página</u>
01 - Esquema dos processos do balanço hídrico	12
02 - Armazenamento da água do solo A (mm), em função do fluxo de drenagem profunda, q_L (mm dia ⁻¹).	29
03 - Perfis de umidade do solo θ (cm ³ cm ⁻³) para os dias 11/3, 18/3, 25/3, 1/4 e 8/4	31
04 - Perfis de umidade do solo θ (cm ³ cm ⁻³), para os dias 15/4, 22/4, 29/4, 6/5, 13/5 e 20/5	32
05 - Perfis de umidade do solo θ (cm ³ cm ⁻³) para os dias 20/5, 27/5 e 3/6	33
06 - Variação das diversas componentes da equação do balanço hídrico e da evaporação do tanque Classe A, durante o ciclo da cultura do feijão	34
07 - Variação da área foliar do feijoeiro (AF) nos diferentes estágios do ciclo da cultura	35
08 - Curvas de regressão linear para a evapotranspiração real acumulada do feijoeiro E (mm), e para a evaporação corrigida acumulada do tanque Classe A, ETP (mm)	39

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda mundial em produtos agrícolas, especialmente cereais e alimentos protéicos, aliada aos elevados custos de produção, exigem da agricultura atual o emprego de técnicas racionais de cultivo capazes de aumentar os índices de produção, assegurar a produção contra condições climáticas adversas e também possibilitar o quanto possível maior margem de lucro ao produtor. Como a escassez de água de chuva, pode ocasionar perdas significativas na produção de uma cultura, procurar-se hoje em dia, suprimir esta deficiência pelo uso da irrigação, que começa a generalizar-se em nosso meio, embora ainda carente de informações básicas, o que pode levar a um aproveitamento inadequado dos recursos hídricos disponíveis.

Uma das exigências para o êxito desta técnica é o conhecimento da demanda hídrica da cultura. Neste sentido existe uma série de métodos que permitem a determinação direta da evapotranspiração real ou sua estimativa a partir da evapotranspiração potencial por meio de coeficientes apropriados, denominados coeficientes de cultura, os quais são uma função da cultura em estudo.

Este trabalho tem como objetivos principais analisar os problemas envolvidos na determinação direta da evapotranspiração real em cultura de feijão, pelo método do balanço hídrico e determinar o coeficiente de cultura que permita a estimativa da evapotranspiração real da cultura a partir da evapotranspiração potencial de um tanque Classe A.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Segundo TANNER (1968), os métodos de estimativa de evapotranspiração podem ser agrupados em três classes principais: (i) os micrometeorológicos, (ii) os do balanço hídrico e (iii) os empíricos. Os métodos micrometeorológicos e os do balanço hídrico possuem uma base física racional, enquanto que os empíricos precisam ter seus resultados corrigidos em função dos anteriores.

Em estimativas da evapotranspiração atual ou potencial, os métodos micrometeorológicos são os mais precisos, pois possibilitam medidas em intervalos de até 2 ou 3 minutos, necessitando, porém, instrumental sofisticado, pessoal especializado e uma superfície suficientemente grande e homogênea para sua aplicação. Na opinião de VIETS JUNIOR (1976), estes métodos não são viáveis em programas de pesquisa dos países em desenvolvimento. No entanto, estudos realizados por VILLA NOVA (1973), DECICO e SANTOS (1976), mostram sua viabilidade e versatilidade em nossas condições.

Os métodos do balanço hídrico dividem-se basicamente em

dois tipos principais: o que utiliza lisímetro para a estimativa dos processos envolvidos no balanço e aquele em que esta estimativa é feita diretamente num volume de controle de solo.

O método do lisímetro é destes o mais preciso, pois permite estimativas da evapotranspiração desde intervalos horários até mensais ou sazonais em função do tipo do lisímetro empregado (RITCHIE, 1973; VILLA NOVA, 1973; VIETS JUNIOR, 1976), como também possibilita determinações simultâneas e independentes da drenagem profunda e evapotranspiração (BARRADA, 1971). Entretanto seu emprego envolve uma série de problemas, ligados principalmente, a dificuldades de construção e instalação, que podem modificar as propriedades físicas do solo e o meio ambiente normal das plantas do lisímetro, em relação às condições que o rodeiam (SLATYER, 1967; BARRADA, 1971; VIETS JUNIOR, 1976).

O método do balanço hídrico num volume de controle de solo, utilizado neste trabalho, tem sido apresentado por vários autores (ROSE e STERN, 1966; ROSE, 1966; SLATYER, 1967; BARRADA, 1971; REICHARDT, 1975), sendo suas componentes (precipitação, irrigação, deflúvio superficial, percolação profunda, variação do armazenamento de água do solo e evapotranspiração) apresentadas numa forma integral ou diferencial em uma equação geral de balanço de massa.

A determinação destas componentes é feita por técnicas e meios diferentes. Precipitação e irrigação são normalmente as mais facilmente estimadas, através de pluviômetros e/ou pluviôgrafos e pelo controle da água de irrigação, respectivamente (ROSE, 1966; SLATYER, 1967;

REICHARDT, 1975). O erro envolvido na determinação destas componentes varia de 1 a 5%, desde que técnicas corretas sejam empregadas (DOWNEY, 1972).

O deflúvio superficial é medido através de técnicas e estruturas apropriadas para tal fim, mas, às vezes, particularmente devido ao volume de água envolvido, medidas diretas se tornam difíceis (ROSE, 1966). Isto obriga o emprego de técnicas alternativas para sua avaliação. Assim, CRUCIANI (1972), comparou os dados de intensidade de precitação pluvial obtidos de um pluviôgrafo, com os de capacidade de infiltração do solo, obtidos de um infiltrômetro Muntz modificado, enquanto que PEREIRA et alii (1974) o consideraram nulo em função das condições topográficas da área em estudo (declividade inferior a 3%).

O armazenamento de água pelo solo é determinado a partir da integração de perfis de umidade do solo. Este pode ser obtido gravimetricamente (VAN BAVEL et alii, 1967), pela moderação de neutrons (BARROS FERRAZ, 1967; CRUCIANI, 1972; REICHARDT et alii, 1974) ou pela combinação dos dois (STONE et alii, 1973b, SAXTON et alii, 1974). O erro que ocorre nas medidas de umidade está ao redor de 10%, devido às determinações de densidade do solo (TAYLOR, 1961, citado em DOWNEY, 1972).

A drenagem profunda é a componente do balanço hídrico, que apresenta as maiores dificuldades em sua determinação, motivo pelo qual tem sido freqüentemente desprezada e incluída como parte do armazenamento ou evapotranspiração (ROSE, 1967). Muitos pesquisadores têm proposto metodologias para sua determinação. BLACK et alii (1970, 1970b) a deter

minaram em solos nus e vegetados através da utilização da equação de Darcy e por meio de lisímetros, verificando que os resultados obtidos pelo primeiro processo em relação ao segundo foram superiores em 11%. GIESEL et alii (1970), propuseram o método do plano de fluxo zero, visando dar mais precisão às estimativas da drenagem profunda e evapotranspiração. STAMMERS et alii (1973), compararam este procedimento com o que estima a drenagem numa determinada profundidade, através da equação de Darcy, não encontrando diferenças significativas entre elas. Estes autores concluíram ainda que: se esta componente for desprezada, os erros envolvidos não serão maiores do que os associados às determinações da umidade. No entanto, pelos trabalhos de VACHAUD et alii (1973), STONE et alii (1973a e b), PEREIRA et alii (1974) e REICHARDT et alii (1974), esta componente não é sempre desprezível podendo constituir 30% ou mais do balanço hídrico total, principalmente quando o estudo é feito em regiões de clima tropical.

Segundo JENSEN (1967), ainda que todas as componentes do balanço hídrico sejam determinadas, uma outra fonte de erros é o intervalo de tempo considerado para o balanço. Este autor cita que, para intervalos de 3 a 5 dias, erros de 15-30% podem ocorrer nas estimativas da evapotranspiração.

Dos métodos empíricos, o uso de tanques de evaporação, como índice da evapotranspiração potencial das culturas é de larga utilização, principalmente em áreas de condições advectivas relativamente uniformes, durante a estação de crescimento das culturas (HARGREAVES, 1974).

Entretanto, para estimativa da evapotranspiração atual

das culturas, os valores da evapotranspiração potencial devem ser corrigidos por coeficientes próprios, denominados coeficientes de cultura (JENSEN et alii, 1970, HARGREAVES, 1974). DOORENBOS e PRUITT (1975), tecem considerações gerais sobre os fatores que afetam esses coeficientes, relatando como principais os seguintes: características específicas de cada cultura, época de plantio, taxa de crescimento relativo, duração da estação de crescimento, condições climáticas predominantes durante o início de desenvolvimento e frequência de chuva e irrigação.

PETRASOVIC (1971) e KANEMASU et alii (1973) empregaram o método de análise de crescimento, para auxiliar na estimativa do coeeficiente de cultura em algodão e sorgo, respectivamente, sendo que o primeiro, além disso, considera a área foliar também como um índice que expressa as influências da planta e do sistema de cultivo sobre o consumo de água para a cultura em estudo.

A determinação do coeficiente de cultura, através do método do balanço hídrico num volume de controle de solo e do tanque Classe A, foi feito por CRUCIANI (1972) para a cana-de-açúcar, o qual considerou três estágios do ciclo vegetativo da cultura: 1º) de 2 a 6 meses, 2º) de 6 a 12 meses e 3º) de 12 a 16 meses, obtendo os valores 0,42; 0,76 e 0,79, respectivamente.

KRENTOS et alii (1974) empregando o mesmo procedimento, determinaram os coeficientes para a cultura de alfafa irrigada, obtendo valores maiores que a unidade durante os meses de verão e entre 0,7 e 0,8 para os meses de inverno e períodos frios.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Teoria do método do balanço hídrico

A equação que descreve o balanço hídrico num elemento de volume de solo, de profundidade Z , de 0 a L , durante um intervalo de tempo Δt , fundamenta-se na lei da conservação das massas. Esta equação escrita na forma detalhada abaixo, nos diz que a soma algébrica das quantidades de água que entram (+) e saem (-) do elemento de volume considerado é igual à variação da quantidade de água nele armazenada no intervalo de tempo $t_2 - t_1$.

$$\int_{t_1}^{t_2} p \, dt + \int_{t_1}^{t_2} i \, dt - \int_{t_1}^{t_2} e \, dt \pm \int_{t_1}^{t_2} q_L \, dt - \int_{t_1}^{t_2} r \, dt = \pm \int_0^L \int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial \theta}{\partial z} \, dt \, dz \dots (1)$$

(a) (b) (c) (d) (e) (f)

onde: p , i , e , q_L e r , representam os fluxos $[LT^{-1}]$ de precipitação, irrigação, evapotranspiração, percolação profunda em $Z = L$, e deflúvio superficial, respectivamente. θ representa a umidade do solo ($\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O} \text{cm}^{-3} \text{ solo}$).

Analisando as integrais do primeiro membro da equação(1), observamos que as duas primeiras, identificadas por (a) e (b), representam as quantidades de água que chegam à superfície ($Z = 0$) do volume de controle, na forma de precipitação pluvial (P) e irrigação (I), respectivamente, isto é:

$$\int_{t_1}^{t_2} p \, dt = P \quad (2)$$

e

$$\int_{t_1}^{t_2} i \, dt = I \quad (3)$$

O termo (c), diz respeito à quantidade de água que sai do volume de controle em ($Z = 0$), devido à evaporação do solo somado à transpiração vegetal, denominando-se evapotranspiração (E), ou seja:

$$- \int_{t_1}^{t_2} e \, dt = -E \quad (4)$$

O termo (d) representa a quantidade de água (Q_L) que entra ou sai, pelo limite inferior ($Z = L$) do volume de controle, denominando-se drenagem profunda se negativo ou ascensão capilar se positivo, ou seja:

$$\pm \int_{t_1}^{t_2} q_L \, dt = \pm Q_L \quad (5)$$

A estimativa do fluxo q_L , pode ser obtida aplicando-se a equação de Darcy ao movimento vertical da água no solo, na forma:

$$q_L = -K(\xi) \left(\frac{\partial \psi}{\partial Z} \right)_L \dots \dots \dots (6)$$

onde: $K(\xi)$ = condutividade hidráulica do solo $[LT^{-1}]$ que é função do potencial matricial da água do solo $[L]$.

$\left(\frac{\partial \psi}{\partial Z} \right)_L$ = gradiente do potencial total da água ψ na profundidade $Z = L$. O potencial total da água ψ é considerado como a soma da componente matricial ξ e da gravitacional z .

O sentido de q_L é dado pelo sinal do gradiente de potencial em $Z = L$, daí a origem dos sinais (+) e (-) da equação (5), que indicam que q_L pode ser ascendente ou descendente.

O último termo, (e), do primeiro membro da equação (1), é:

$$- \int_{t_1}^{t_2} r \, dt = -R \dots \dots \dots (7)$$

onde R representa parte da quantidade de água que chega à superfície do solo ($Z = 0$) sob forma de precipitação pluvial (P), mas não infiltra no volume de controle, escoando superficialmente. Esta componente, denominada deflúvio superficial (R), depende da capacidade atual do solo em permitir a infiltração e o armazenamento de água, como também da intensidade e quantidade da precipitação e da declividade do terreno.

O segundo membro da equação (1),

$$\pm \int_0^L \int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial \theta}{\partial t} dt dz = \pm \Delta A \quad (8)$$

indica que a somatória das variações do conteúdo da água do solo θ no intervalo de tempo $(t_2 - t_1)$ integradas ao longo da profundidade de 0 a L é igual à variação da quantidade da água armazenada pelo solo (ΔA), que ocorreu no mesmo intervalo de tempo. Esta componente do balanço hídrico (ΔA) pode ser positiva ou negativa de acordo com a magnitude dos outros termos da equação (1).

O termo ΔA como os demais P, I, E, Q_L e R, tem dimensões de comprimento [L] e, desde que expressas no mesmo sistema de unidades pode-se escrever a equação (1) na forma integral:

$$P + I \pm Q_L - R \pm \Delta A = E \quad (9)$$

que para efeito de balanço hídrico é a mais comumente empregada. Entretanto, para seu uso em solos cultivados, é necessário que a profundidade (L) do elemento de volume do solo, confine a zona efetiva do sistema radicular da cultura em estudo.

A Figura 1 mostra, de forma esquemática, todos os processos envolvidos no balanço hídrico.

Figura 1 - Esquema dos processos do balanço hídrico.

3.2. Caracterização geral do experimento

3.2.1. Local

O presente ensaio foi desenvolvido em área experimental pertencente ao campus da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, localizada próximo ao Posto Agro-Meteorológico do Departamento de Física e Meteorologia, em Piracicaba, Estado de São Paulo, cujas coordenadas são:

Latitude: $22^{\circ}42'S$

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

Altitude: 576 metros

3.2.2. Solo

Classificado por RANZANI et alii (1966) ao nível de grande grupo como Terra Roxa Estruturada (alfissol de acordo com a 7a. aproximação).

As principais características físicas desse solo, determinadas por REICHARDT e LIBARDI (1974), encontram-se detalhadas para as camadas de interesse neste estudo, na Tabela 1.

Tabela 1 - Características físicas do solo em estudo.

Camadas (cm)	Análise mecânica			Densidade global g/cm ³
	areia %	limo %	argila %	
0 - 5				1,30
5 - 10				1,30
10 - 15				1,40
15 - 20	23	17	60	1,50
20 - 25				1,60
25 - 30				1,60
30 - 35				1,50
35 - 40	14	23	63	1,45
40 - 60				1,35
60 - 90	19	26	55	1,30
90 - 120	22	26	52	1,20

Na Tabela 2 encontram-se as características químicas des-
se solo determinadas por GROHMANN et alii (1976).

Tabela 2 - Características químicas do solo em estudo.

Profundidade (cm)	pH	%C orgânico	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺
15	5,34	1,13	2,46	0,67	0,23
45	5,68	0,97	2,19	0,64	0,27
75	5,70	1,08	2,05	0,39	0,12
105	5,91	0,59	2,20	0,41	0,12
135	5,84	0,61	2,06	0,37	0,09

3.2.3. Cultura e práticas culturais

A cultura utilizada foi feijão comum, planta da família Leguminosae, sub-família Papilionoidea, gênero Phaseolus e espécie *Phaseolus vulgaris* L. Utilizou-se o cultivar "Rosinha" de hábito de crescimento indeterminado, ciclo médio de 90 dias, com 90% do seu sistema radicular situado até a profundidade de 30 cm.

No preparo da área, além dos trabalhos normais de aração e gradagem, recomendados à cultura, foi aplicado o herbicida Eptan, na dose de 6 l/ha, em pré-plantio e incorporado com enxada rotativa. Essa operação visou o controle à tiririca (*Cyperus rotundus* L.), planta daninha de ocorrência generalizada na área, concorrendo também para um melhor preparo do solo à instalação da cultura.

A semeadura foi realizada manualmente em 9 de março/1977, estando as sementes previamente tratadas com Benlate para combate a fungos. O espaçamento foi de 40 cm entre linhas, com 3 sementes a cada 20 cm na linha. A cultura foi adubada por ocasião do plantio recebendo 100 kg N/ha (sulfato de amônio), 100 kg P₂O₅/ha (superfosfato simples) e 100 kg K₂O/ha (cloreto de potássio).

Quinze dias após plantio, realizou-se o desbaste deixando-se 2 plantas a cada 20 cm na linha de plantio.

Durante o desenvolvimento da cultura, foram efetuadas 3 aplicações de Benlate + Folidol, sob forma de pulverização, nas doses respectivas de 3,5 g + 1 cm³ por litro de H₂O, para combate à molés-

tias e pragas.

A colheita foi realizada manualmente em 8 de junho de 1977.

3.3. Procedimento para determinação das componentes do balanço hídrico

No presente estudo foi considerado um elemento de volume de solo de profundidade $L=120$ cm no qual foram determinadas as diversas componentes do balanço hídrico.

3.3.1. Variação do armazenamento de água do solo (ΔA , mm)

Esta componente foi estimada a partir de perfis consecutivos de umidade do solo θ ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$) a qual foi determinada pelos métodos gravimétricos e da moderação de neutrons rápidos, descritos em REICHARDT (1975).

a) Método gravimétrico

Foi empregado na determinação da umidade até a profundidade de 40 cm. Para tal utilizou-se um trado tipo sonda-CEPEC, que possibilitou a retirada de uma única amostra até a profundidade desejada. Esta, posteriormente, foi fracionada em pedaços representativos das cama-

lizado para cada profundidade foi a média aritmética das quatro determinações.

Para estimativa dos armazenamentos A foi empregada a fórmula:

$$A = \left(\sum_{i=1}^8 \theta_i \right) \cdot e_1 + \theta_9 \cdot e_2 + \theta_{10} \cdot e_3 + \theta_{11} \cdot e_4 \dots \dots \dots (11)$$

onde: θ_i = umidade média das camadas de solo, 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-35 e 35-40 cm, de espessura $e_1 = 5$ cm.

θ_9 , θ_{10} e θ_{11} = umidade média das camadas de solo, 40-75, 75-105 e 105-120 cm, e de espessuras $e_2 = 35$ cm, $e_3 = 30$ cm e $e_4 = 15$ cm, respectivamente.

3.3.2. Drenagem ou percolação profunda (Q_L , mm)

Na área experimental foram instalados dez tensiômetros à profundidade de 105 cm e dez à profundidade de 135 cm. Estes tinham seus manômetros ligados à uma cuba de mercúrio comum a todos, que se encontrava num abrigo de madeira, localizado à margem do campo experimental. Este procedimento facilitou a leitura dos tensiômetros, a qual era feita diariamente entre 7:00 e 9:00 horas da manhã, evitando também a entrada no interior do campo experimental.

A sequência empregada para estimativa do fluxo de drena-

gem profunda, no limite inferior do elemento de volume, $Z = 120$ cm, pela aplicação da equação (6), é a seguinte:

a) Média das leituras dos tensiômetros a profundidade Z ,

$\bar{H}_Z$ (cm Hg):

$$\bar{H}_Z = \frac{\sum_{i=1}^n H_{i,z}}{N} \dots \dots \dots (12)$$

onde, $z = 105$ ou 135 cm.

N = número de tensiômetros a profundidade considerada.

$H_{i,z}$ = leituras dos tensiômetros na profundidade Z (cm Hg).

b) Determinação do potencial matricial médio a profundidade Z , $\bar{\xi}_Z$:

A partir da média das leituras dos tensiômetros, $\bar{H}_Z$, a determinação de $\bar{\xi}_Z$, em cm H_2O é feita por:

$$\bar{\xi}_Z = - 12,6 \bar{H}_Z + h_c + Z \dots \dots \dots (13)$$

onde, h_c = altura da cuba de mercúrio em relação à superfície do solo, 45 cm.

Z = profundidade das cápsulas porosas, 105 e 135 cm.

c) Determinação do gradiente de potencial total da água,

$$\text{em } Z = 120 \text{ cm, } \left. \frac{\partial \psi}{\partial Z} \right|_{120}$$

$$\left. \frac{\partial \psi}{\partial Z} \right|_{120} \approx \frac{\Delta \psi}{\Delta Z} \bigg|_{120} = \frac{-12,6 (\bar{H}_{135} - \bar{H}_{105})}{30} \dots \dots \dots (14)$$

onde, $\psi = \xi + z$ = potencial total da água no solo (cm H₂O), sendo ξ = potencial matricial (cm H₂O) e z = potencial gravitacio-nal (cm H₂O).

$\Delta \psi$ = diferença de potencial total entre $Z = 135$ cm e $Z = 105$ cm.

$\Delta Z = 30$ cm, distância entre os tensiômetros.

$\bar{H}_{135}$ e $\bar{H}_{105}$ = média das leituras dos tensiômetros, instalados em $Z = 135$ cm e $Z = 105$ cm, respectivamente.

d) Fluxo de drenagem profunda em $Z = 120$ cm.

Este foi determinado através da equação de Darcy (equa-ção 6), a qual, em termos da média das leituras dos tensiômetros, pode ser escrita como:

$$q_{120} = K(\bar{\xi}_{120}) \frac{-12,6(\bar{H}_{135} - \bar{H}_{105})}{30} \dots \dots \dots (15)$$

Como a determinação do fluxo de drenagem profunda deve ser feita em $Z = 120$ cm, através da média das leituras em $Z = 105$ cm e da média das leituras em $Z = 135$ cm, obtidas pela equação (12), calcu-lou-se, por meio da equação (16), o potencial matricial médio em $Z=120$ cm,

isto é:

$$\bar{\xi}_{120} = \frac{\bar{\xi}_{135} + \bar{\xi}_{105}}{2} \dots \dots \dots (16)$$

Os valores de $K(\bar{\xi}_{120})$ foram obtidos graficamente a partir de uma curva de K vs $\bar{\xi}_{120}$, obtida para esse solo por SAUNDERS (1977).

3.3.3. Precipitação pluvial (P, mm)

Os dados de precipitação foram obtidos por meio de um pluviôgrafo marca Fuess, modelo 95, com sifonação e registro diário, instalado no Posto Agro-Meteorológico do Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ/USP.

3.3.4. Irrigação (I, mm)

A irrigação da área experimental foi efetuada na forma de aspersão, utilizando-se o seguinte equipamento: uma eletro-bomba de 0,5 HP, uma mangueira de pvc flexível de uma polegada de diâmetro e um aspersor tipo chuveiro. Esse conjunto possibilitou uma vazão de 6500 ℓ/hora .

Visando dar maior uniformidade à distribuição de água, dividiu-se a área em partes iguais que recebiam o mesmo tempo de irrigação.

3.3.5. Deflúvio superficial (R, mm)

Esta componente foi estimada com base no seguinte: 1) a capacidade de armazenamento máxima (AM) desse perfil de solo, foi determinada em condições de campo por SAUNDERS (1977), como sendo de 420 mm de H_2O ; 2) a capacidade de infiltração do solo também determinada em condições de campo por SAUNDERS (1977), foi de $0,07 \text{ mm seg}^{-1}$.

Como o armazenamento do solo era frequentemente calculado, (armazenamento atual - AA), toda a quantidade do total de precipitação, que ultrapassou a diferença existente entre AM e AA, foi considerada como escoada, ou seja, considerada como R. Assim como toda precipitação de intensidade superior a $0,07 \text{ mm min}^{-1}$.

3.4. Comportamento da cultura

Foi efetuado através de análise de crescimento, realizando-se amostragens periódicas de 10 plantas. Essas, após coletadas ao acaso, foram levadas ao laboratório para separação de raízes, caules, folhas, flores e frutos.

Para determinação da área foliar foram escolhidas, ao acaso, vinte folhas de cada amostragem e tomados o comprimento e a maior largura de cada lâmina totalmente expandida. Em seguida, as folhas foram colocadas em estufa de aeração forçada a 70°C , até peso constante.

A área foliar (AF) foi estimada por:

$$AF_{20} = \sum_{i=1}^n (CL) J + \sum_{i=1}^n (CL) E \dots \dots \dots (17)$$

$$AF_T = AF_{20} \frac{M_{tf}}{M_{20}} \dots \dots \dots (18)$$

onde: C = comprimento da folha (dm).

L = largura da folha (dm).

J e E = fatores de correção para área foliar do feijoeiro obtidos por LATANZE et alii (1976), sendo J = 0,707 (folhas cor-diformes) e E = 0,595 (folhas elípticas).

AF_{20} = área foliar de 20 folhas (dm^2).

AF_T = área foliar da amostra (dm^2).

M_{20} = massa seca de 20 folhas (g).

M_{tf} = massa seca total das folhas (g).

3.5. Medida direta da evaporação ($mm.dia^{-1}$)

Para medida desse parâmetro foram utilizados dois tanques Classe A, instalados sobre grama batatais (*Paspalum notatum*) no Posto Agro-Meteorológico, de acordo com as normas preconizadas pela Organização Meteorológica Mundial (W.M.O., 1966).

Diariamente, às 7:00 horas da manhã, eram feitas leituras dos tanques, sendo a evaporação diária considerada como a média

aritmética dos valores obtidos pelos dois tanques. Nos dias em que houve precipitação pluviométrica até 3 mm, os dados foram corrigidos pelas medidas do pluviôgrafo, enquanto que para precipitações maiores foram corrigidos com o auxílio de um evapotranspirôgrafo que acha-se instalado no Posto Agro-Meteorológico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Balanço hídrico

O balanço hídrico foi efetuado durante todo o ciclo da cultura do feijão, em 12 períodos com 7 dias de intervalo e 1 de 5 dias, sendo este último na fase final do ciclo, onde a cultura encontrava-se próxima ao ponto de colheita.

Na Tabela 3 é apresentado o balanço hídrico, para os períodos acima citados, cujas componentes foram obtidas conforme a metodologia descrita em Materiais e Métodos. A porcentagem de perda por drenagem profunda ($Q_L\%$) e os valores médios por período, da evaporação do tanque Classe A, também encontram-se nesta tabela.

Tabela 3 - Valores das componentes do balanço hídrico e da % de perda por drenagem profunda e evaporação do tanque Classe A durante o ciclo da cultura do feijão.

Período	Dia	A mm	ΔA mm	I mm	P mm	R mm	Q _L mm	E mm	Classe A E mm	Q _L (%)
1	11/3	344,420	+24,810	30,38	5,60	---	1,134	10,04	6,71	10,15
2	18/3	369,230	+26,355	---	106,60	53,90	1,308	26,00	4,38	1,61
3	25/3	395,585	+18,885	---	74,20	20,70	5,728	28,90	5,28	10,35
4	01/4	414,470	-21,795	---	54,00	30,00	9,557	36,24	5,53	12,61
5	8/4	392,675	- 1,085	---	20,00	---	10,634	10,45	3,55	50,43
6	15/4	391,590	+14,790	8,82	23,40	---	3,763	13,67	3,80	21,59
7	22/4	406,380	-36,855	---	---	---	2,619	34,24	4,87	6,99
8	29/4	369,525	- 1,225	19,90	0,50	---	1,801	19,82	3,39	8,37
9	6/5	368,300	- 1,745	12,90	---	---	0,886	13,76	4,08	6,05
10	13/5	356,555	-11,435	13,40	0,40	---	0,573	24,66	3,69	2,27
11	20/5	345,120	- 2,495	12,50	---	---	0,282	14,71	3,10	1,88
12	27/5	342,625	+ 2,245	---	5,3	---	---	3,06	3,66	0
13	3/6	344,870	+30,855	---	40,7	---	---	9,85	2,37	0
	8/6	375,725								

De acordo com JENSEN (1967), a precisão do método do balanço hídrico é função do intervalo de tempo considerado. Baseado nos limites de erro adotados por estes autores, o erro envolvido nas determinações da evapotranspiração do presente estudo é menor que o nível mínimo por eles citado, uma vez que o intervalo de tempo adotado (7 dias) foi maior, exceto para o período 13 (5 dias), onde o erro provavelmente situa-se ao redor de 15%, tendo sido sempre consideradas todas as componentes do balanço hídrico.

Por outro lado, levanta-se a hipótese da possibilidade de diminuir esse intervalo, principalmente nos períodos em que as componentes P , I e R são nulas. Nestas condições, a componente A seria a principal fonte de erros, pois Q_L pode ser obtido diariamente pelo emprego da equação de Darcy. Como A é obtida a partir da umidade do solo θ , que por sua vez, varia de ponto para ponto do terreno em estudo, o problema ficaria reduzido a um estudo de amostragem, no qual determinar-se-ia o número mínimo de amostras necessárias para se obter a menor amplitude de variação para um determinado intervalo de tempo. Complementando o raciocínio acima, podemos ainda dizer que o número de amostras varia em função das características físicas do solo em estudo (densidade, textura, etc.), de forma que, para o mesmo intervalo de tempo, o número de amostras necessárias variaria de solo para solo.

Pela análise da Tabela 3, observa-se ainda que a drenagem profunda Q_L , não pode ser desprezada, pois durante o ciclo da cultura, ela foi responsável por cerca de 10% das perdas totais de água, atingindo no período 5 (8 a 15/4), 50%, o que viria a mascarar completamen-

te os valores da evapotranspiração deste período. Tal fato vem corroborar a afirmação de REICHARDT et alii (1974), que a drenagem profunda é importante nos estudos de balanço hídrico com solos tropicais.

Analizando o apêndice 2, nota-se que os valores diários de q_L (cm dia^{-1}), apresentam flutuações, às vezes grandes, dentro de um período. Isto indica que em estudos de balanço hídrico, quando se utiliza a equação de Darcy, para a determinação desta componente, o melhor procedimento é obter a somatória dos valores diários, pois caso se utilize, para o período, o valor de um único dia de leitura, poderemos estar incorrendo em erros. No presente trabalho, foi adotado o primeiro procedimento.

Comparando-se os valores do armazenamento (Apêndice 1) com os de fluxo de drenagem profunda (Apêndice 2), através da Figura 2, verifica-se que à medida que q_L (mm dia^{-1}) aumenta, A ($\text{mm H}_2\text{O}$) também aumenta até atingir um valor máximo que corresponderia à máxima capacidade de retenção de água pelo perfil de solo e a um alto valor de q_L devido ao aumento do valor do gradiente de potencial e/ou da condutividade hidráulica em $Z = L$. Os pontos que fogem à curva traçada (altos valores de A para baixos valores de q_L), só podem ser devidos ao fato de o armazenamento ter sido maior apenas nas primeiras camadas do solo, ou seja, a água que chegou ao volume de controle de solo, ainda está se redistribuindo no perfil.

As componentes P e I (Tabela 3), são as responsáveis pelos menores erros no balanço hídrico, uma vez que as medidas da precipi-

Figura 2 - Armazenamento da água do solo A (mm), em função do fluxo de drenagem profunda, q_L (mm dia⁻¹).

tação pluvial foram obtidas no próprio local do experimento e houve um bom controle na distribuição do volume de água aplicado e do tempo de irrigação.

Quanto à componente R, apesar de não ter sido medida diretamente, sua estimativa pelo método adotado parece estar condizente com os resultados obtidos no balanço geral. Todavia, reconhece-se que esta não é a melhor maneira de determiná-la, mas devido às dificuldades de obtenção de equipamento adequado e à declividade praticamente nula do terreno, lançou-se mão deste procedimento.

Nas Figuras (3, 4 e 5) são apresentados os perfis de umidade (θ vs Z), correspondentes aos dias considerados para o balanço hídrico. Por estas figuras pode-se observar que os valores de θ nas primeiras camadas do solo, apresentam variações não uniformes, respondendo rapidamente às entradas e/ou saídas de água no volume de controle. Este fato justifica o uso combinado dos métodos gravimétrico e da moderação de neutrons, pois a sonda de neutrons utilizada não permite medidas eficientes de θ nos primeiros quinze centímetros de solo. Torna-se então, evidente que, com este procedimento foi eliminada uma possível fonte de erros, que ocorreria se fosse empregado somente o método da moderação de neutrons para determinação do armazenamento.

A variação das diversas componentes do balanço hídrico, durante todo ciclo da cultura (plantio à colheita), é mostrada na Figura 6, onde:

$\bar{A}$ = armazenamento médio por período.

Figura 3 - Perfis de umidade do solo $\theta(\text{cm}^3 \text{cm}^{-3})$ para os dias 11/3, 18/3, 25/3, 1/4 e 8/4.

Figura 4 - Perfis de umidade do solo $\theta(\text{cm}^3 \text{cm}^{-3})$, para dos dias 15/4, 22/4, 29/4, 6/5, 13/5 e 20/5.

Figura 5 -- Perfis de umidade do solo $\theta(\text{cm}^3 \text{cm}^{-3})$ para os dias 20/5, 27/5 e 3/6.

Períodos do balanço

Figura 6 - Variação das diversas componentes da equação do balanço hídrico e da evaporação do tanque Classe A, durante o ciclo da cultura do feijão.

Figura 7 - Variação da área foliar do feijoeiro (AF) nos diferentes estágios do ciclo da cultura.

$\bar{E}$ = evapotranspiração real média diária, obtida dividindo-se os valores da Tabela 3, pelo número de dias correspondentes aos períodos.

$\bar{Q}_L$ = drenagem profunda média diária, obtida da mesma forma que $\bar{E}$.

P = precipitação pluvial, valores do apêndice 3.

I = irrigação, valores do apêndice 4.

$\overline{ECA}$ = evaporação média diária do tanque Classe A.

Na Figura (7) encontram-se os valores da área foliar AF (dm²) e a indicação dos diferentes estágios do ciclo do feijoeiro.

Numa análise conjunta destas figuras (6 e 7), se comprova que a evapotranspiração da cultura, está associada à frequência de chuvas e irrigações, ao armazenamento da água no solo, à demanda evaporativa da atmosfera e ao estágio de crescimento da planta.

4.2. Coeficiente de cultura (K_c)

O coeficiente de cultura (K_c) é definido a partir da relação:

$$K_c = \frac{E}{ECA K_p} = \frac{E}{ETP} \dots \dots \dots (22)$$

onde: E = evapotranspiração real.

ECA = evaporação do tanque Classe A.

K_p = coeficiente de tanque, obtido pela metodologia proposta por DOORENBOS e PRUITT (1975), que para as condições do período experimental foi de 0,85.

ETP = evapotranspiração potencial.

Como (a) o ciclo da cultura do feijão é de aproximadamente 90 dias, (b) o método empregado para determinação de E tem boa precisão a intervalos de 7 dias, (c) o tanque Classe A apresenta uma inércia térmica, e (d) devido a grande variabilidade nas frequências de chuvas e irrigações, torna-se difícil determinar o K_c em cada estágio do desenvolvimento da cultura. Por estas razões determinou-se um K_c médio, entre os períodos de 2 a 11 do balanço hídrico, relacionando as curvas dos valores acumulados de E e ETP, ambas obtidas por análise de regressão linear com o tempo, pela expressão:

$$K_c = \frac{b_1}{b_2} \dots \dots \dots (23)$$

onde, b_1 = coeficiente angular da curva de E acumulada.

b_2 = coeficiente angular da curva de ETP acumulada.

Os valores acumulados de E e ETP, empregados para obtenção das curvas de regressão linear, durante o período considerado, bem como as respectivas equações e coeficientes de correlação encontram-se na Tabela 4. Na Figura 8 são apresentadas as curvas obtidas.

Tabela 4 - Valores utilizados na análise de regressão linear.

t (Dias)	E (mm)	ETP (mm)
7	26,00	26,01
14	54,90	57,47
21	91,14	90,38
28	101,59	111,50
35	115,26	134,11
42	149,50	163,09
49	169,32	183,26
56	183,08	207,54
63	207,74	229,50
70	222,45	247,90
$E = 14,263 + 3,061 t \quad r = 0,995$ $ETP = 10,700 + 3,490 t \quad r = 0,998$

Figura 8 - Curvas de regressão linear para a evapotranspiração real acumulada do feijoeiro E (mm), e para a evaporação corrigida acumulada do tanque Classe A, ETP (mm).

O K_c obtido a partir da expressão (23) foi de 0,88, valor esse muito próximo ao fornecido por HARGREAVES (1974), para ser usado em escalas de irrigação, que é de 0,90.

Com efeito, o K_c obtido, pode ser de utilidade, para fins de irrigação em feijão das secas, uma vez que foi determinado entre o início do desenvolvimento vegetativo (período 2) e o estágio de maturação dos frutos (período 11), sendo que a partir deste último a cultura não necessitaria mais de irrigações.

5. CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos em função da metodologia empregada e pela análise e discussão apresentada, pode-se concluir que:

- a) *em estudos de balanço hídrico, que se utilizem da lei da conservação das massas, aplicada diretamente num volume de controle de solo, em condições de campo, deve-se considerar e medir, todas as componentes envolvidas no processo, para não se incorrer em erros nas estimativas da evapotranspiração.*
- b) *desde que a água contida no volume de controle de solo, esteja uniformemente distribuída no perfil, nota-se existir uma correlação entre a quantidade de água armazenada e o fluxo de drenagem profunda.*
- c) *a equação que descreve a evapotranspiração real acumulada do feijoeiro, $E = 14,263 + 3,061 t$, pode ser empre-*

gada na estimativa deste parâmetro, desde que se consi
dere períodos iguais ou superiores a 7 dias e em con-
dições semelhantes em que foi desenvolvido o experi-
mento.

- d) a evapotranspiração real média da cultura do feijão das
secas, desde o plantio até a fase de maturação dos fru-
tos, foi de $3,06 \text{ mm dia}^{-1}$.
- e) o coeficiente de cultura (K_c) obtido foi de 0,88, va-
lor esse que pode ser usado para estimar a evapotrans-
piração real do feijoeiro, a partir da evaporação mē-
dia diária corrigida do tanque Classe A, para períodos
iguais ou superiores a 7 dias.

6. RESUMO

Através da aplicação da lei da conservação das massas num volume de controle de solo, este trabalho analisa os principais problemas envolvidos na estimativa da evapotranspiração real em feijão das secas cultivado em Terra Roxa Estruturada.

Os valores de evapotranspiração real obtidos foram correlacionados com os da evaporação corrigida de um tanque Classe A, visando a determinação de um coeficiente que possibilitasse a estimativa da evapotranspiração da cultura, utilizando apenas o tanque de evaporação.

Esse coeficiente, denominado coeficiente de cultura (K_c), foi obtido na fase de desenvolvimento da cultura (desde a germinação até a maturação dos frutos) resultando num valor médio de 0,88, que pode ser considerado como básico para fins de irrigação do feijoeiro.

7. SUMMARY

By using the mass conservation law in a control volume of soil, the principal problems involved in the estimation of actual evapotranspiration of a bean crop were analyzed.

The values of actual evapotranspiration obtained by this procedure were correlated with data obtained from a Class A pan, with the objective of determining a coefficient that could make the estimation of the evapotranspiration from the crop possible, using only the evaporation pan.

This coefficient, called crop coefficient (K_c), was obtained during the whole growing season and the resulting mean value was 0,88. This number can be taken as a basic factor for irrigation purposes of the bean crop.

8. BIBLIOGRAFIA

- BARRADA, Y., 1971. Water balance studies. *In*: Water use seminar. Damascus. Roma, FAO, p.90-96 (Irrigation and Drainage Paper, nº 13).
- BARROS FERRAZ, E.S., 1968. Determinação da evapotranspiração real pela moderação de neutrons. Piracicaba, ESALQ/USP. 48p. (Tese de Douto-ramento).
- BLACK, T.A.; W.R. GARDNER e C.B. TANNER, 1970a. Water storage and drainage under a row crop on a sand soil. *Agron. J.*, 62:48-51.
- BLACK, T.A.; W.R. GARDNER e C.B. TANNER, 1970b. Evaporation from a snap bean crop. *Agron. J.*, 62:66-69.
- CRUCIANI, D.E., 1972. Balanço hídrico em solo cultivado com cana-de-açúcar - Utilização de método da moderação de neutrons. Piracicaba, CENA. 35p. (Boletim Científico, nº 6).

- DECICO, A. e J.M. SANTOS, 1976. Estudos dos parâmetros micrometeorológicos de uma cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*). In: Reunião Anual da SBPC, 28a. Brasília, 1976. *Resumos*. p.241.
- DOORENBOS, J. e W.O. PRUITT, 1975. Crop water requirements. Roma, FAO. 179p. (Irrigation and Drainage Paper, nº 24).
- DOWNEY, L.A., 1972. Water-yield relation for nonforage crops. *J. of the Irrig. and Drain.* 98:107-115.
- GIESEL, W.; S. LORCH e M. RENGGER, 1970. Water-flow calculation by means of gamma-absorption and field measurements in the unsaturated soil profile. In: I.A.E.A. Isotopes hydrology, 1970. Vienna, p.663-672.
- GROHMANN, F.; K. REICHARDT,; P.L. LIBARDI e S.V. QUEIROZ, 1976. Spatial variability of physical properties of a tropical soil: I- Geometric properties. Piracicaba, CENA, 27p. (Boletim Técnico, nº 004).
- HARGREAVES, G.H., 1974. Estimation of potential and crop evapotranspiration. *Trans. of the ASAE* 17: 701-705.
- I.A.E.A., 1970. Neutron moisture gauges. Vienna, p.75-80 (Technical Reports series, nº 112).
- JENSEN, M.E., 1967. Evaluating irrigation efficiency. *J. of the Irrig. and Drain.* 95:83-98.

- JENSEN, M.E.; D.C. ROBB e E. FRAZOY, 1970. Scheduling irrigation using climate-crop-soil data. *J. of the Irrig. and Drain.* 96:25-38.
- KANEMASU, E.T.; I.D. TEARE; W.L. POWERS e H.S. JACOBS, 1973. Water use efficiency and its relation to crop canopy area, stomatal regulation, and root distribution. *Agron. J.* 65:207-210.
- KRENTOS, V.D.; Y. STYLANOV e C.H. METOCHIS, 1974. Field water balance in cropped lucerne plots. Nicosia, Agricultural Research Institute, 19p. (Technical Bulletin, nº 17).
- LATANZE, R.J.; M.M.P. BENINCASA; M. BENINCASA e M.T.G. JUNQUETTI, 1976. Método não destrutivo para estimativa da área foliar de *Phaseolus vulgaris* (feijoeiro). Jaboticabal, *Científica* 4:43-48.
- PEREIRA, A.R.; E.S.B. FERRAZ; K.REICHARDT e P.L. LIBARDI, 1974. Estimativa da evapotranspiração consuntiva e da drenagem profunda em cafezais cultivados em solos podzolizados Lins-Marília. Piracicaba, CENA. 13p. (Boletim Científico, nº 5).
- PETRASOVIC, I., 1971. Study of water consumption of cotton in Euphrates Valley. In: Water use seminar, Damascus. Roma, FAO, p.111-122 (Irrigation and Drainage Paper, nº 13).
- RANZANI, G.; O. FREIRE e T. KINJO, 1966. Cartas de Solos do Município de Piracicaba, ESALQ/Centro de Estudos de Solos. 85p.

REICHARDT, K. e P.L. LIBARDI, 1974. An analysis of soil water movement in the field: I- Hidrological field site characterization. Piracicaba, CENA (Boletim Científico, nº 021).

REICHARDT, K.; P.L. LIBARDI e J.M. SANTOS, 1974. An analysis of soil water movement in the field. II- Water balance in a snap bean crop. Piracicaba, CENA (Boletim Científico, nº 022).

REICHARDT, K., 1975. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. São Paulo, FUNDAÇÃO CARGIL, Piracicaba, CENA. 286p.

RITCHIE, J.T., 1973. Influence of soil water status and meteorological conditions on evaporation from a corn canopy. *Agron. J.* 65:893-897.

ROSE, C.W., 1966. Agricultural Physics. Oxford, Pergamon Press. 230p.

ROSE, C.W. e W.R. STERN, 1966. Determination of withdrawal of water from soil by crop roots as a function of depth and time. *Aust. J. Soil Research* 15:11-19.

SAUNDERS, L.C.V., 1977. Condutividade hidráulica de um alfissol em condições de campo. Piracicaba, ESALQ/USP (Tese de Doutorado, no prelo).

SAXTON, K.E.; H.P. JOHNSON e R.H. SHAW, 1974. Modeling evapotranspirations and soil moisture. *Trans. of ASAE* 17:673-677.

SLATYER, R.O., 1967. Plant-water relationships. New York, Academic Press. 366p.

STONE, L.R.; M.L. HORTON e T.C. OLSON, 1973a. Water loss from an irrigated sorghum field: I- Water flux within and below root zone. *Agron. J.* 65:492-495.

STONE, L.R.; M.L. HORTON e T.C. OLSON. 1973b. Water loss from an irrigated sorghum field: II- Evaporation and root extration. *Agron. J.* 65:495-497.

STAMMERS, W.N.; O.G. IGWE e H.R. WASTELEY, 1973. Calculation of evapotranspiration from measurements of soil water and the soil water characteristic. *Canadian Agric. Eng.* 15:2-5.

TANNER, C.B., 1968. Evaporation of water from plants and soil. In: KOLOWSKI, T.T., Ed. *Water deficits and plant growth*. New York, Academic Press, p.74-106.

VACHAUD, G.; J. TEHEL; J.M. ROYER e R. BOCALATO, 1973. Controle automatique "in situ" des transferte d'eau das la zone non saturée. In: I.A.E.A. Isotope and radiation techniques in soil physics and irrigation studies. Vienna, p.1-5.

VAN BAVEL, C.H.M.; J.E. NEWMAN e R.H. HILGEMAN, 1967. Climate and estimated water use by an orange orchard. *Agric. Met.* 4:27-37.

VIETS JUNIOR, F.G., 1976. Efficiency of water use on semi arid land.

In: I.A.E.A. Efficiency of water and fertilizer use in semi-arid regions. Vienna, p.123-133.

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

W.M.O., 1966. Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration. Geneva, p.9. (Technical note, nº 83).

--000ooo000--

9. APÊNDICE

Apêndice 1 - Valores do armazenamento de água no solo.

Data	A mm	Data	A mm
11/03	344,420	27/04	378,465
14/03	366,975	29/04	369,525
16/03	358,965	02/05	370,190
18/03	369,230	04/05	361,200
21/03	395,285	06/05	368,300
23/03	412,170	09/05	357,950
25/03	395,585	11/05	357,435
28/03	393,265	13/05	356,555
30/03	414,420	16/05	351,155
01/04	414,470	18/05	347,455
04/04	399,485	20/05	345,120
06/04	399,335	23/05	348,955
08/04	392,675	25/05	347,240
11/04	411,350	27/05	342,275
13/04	402,750	30/05	342,150
15/04	391,590	01/06	338,420
18/04	377,335	03/06	344,870
20/04	400,465	06/06	378,535
22/04	406,380	08/06	375,525
25/04	393,420		

Apêndice 2 - Valores utilizados no cálculo de drenagem profunda.

D a t a	$\bar{H}_{105}$ (cm Hg)	$\bar{H}_{135}$ (cm Hg)	K (cm dia ⁻¹)	q_L (mm dia ⁻¹)
março - 11	23,42	29,74	0,0055	0,146
12	23,88	29,65	0,0053	0,128
13	23,33	29,56	0,0057	0,149
14	23,29	29,48	0,0058	0,152
15	23,69	29,03	0,0059	0,132
16	21,10	28,79	0,0087	0,281
17	23,26	28,79	0,0063	0,146
18	23,22	28,65	0,0065	0,148
19	24,16	30,65	0,0046	0,126
20	24,50	30,67	0,0044	0,115
21	24,84	30,69	0,0043	0,106
22	24,90	30,78	0,0042	0,103
23	21,92	28,21	0,0083	0,219
24	19,76	25,56	0,0202	0,491
25	18,85	25,16	0,0279	0,739
26	19,13	25,26	0,0255	0,657
27	19,33	25,27	0,0240	0,600
28	19,53	25,29	0,0228	0,550
29	19,64	24,96	0,0255	0,570
30	18,11	25,10	0,0380	1,116
31	17,68	23,96	0,0567	1,496
abril - 01	17,04	23,20	0,0889	2,301
02	17,53	22,81	0,0863	1,916
03	18,05	23,03	0,0665	1,392
04	18,57	23,25	0,0523	1,028
05	18,40	23,02	0,0596	1,157
06	18,73	23,23	0,0503	0,952
07	19,00	23,33	0,0446	0,811

Continua

Apêndice 2 (Continuação).

D a t a	$\bar{H}_{105}$ (cm Hg)	$\bar{H}_{135}$ (cm Hg)	K (cm dia ⁻¹)	q_L (mm dia ⁻¹)
abril - 08	19,24	23,34	0,0412	0,710
09	18,52	22,88	0,0602	1,102
10	17,79	22,41	0,0916	1,777
11	17,07	21,95	0,1496	3,066
12	17,59	22,11	0,1130	2,145
13	18,64	23,33	0,0503	0,991
14	18,87	23,74	0,0412	0,843
15	19,18	23,97	0,0358	0,721
16	19,47	24,38	0,0293	0,604
17	19,64	24,54	0,0271	0,558
18	19,82	24,70	0,0245	0,502
19	19,99	24,86	0,0226	0,462
20	20,13	24,95	0,0213	0,431
21	19,92	24,88	0,0233	0,485
22	20,41	24,97	0,0200	0,383
23	20,23	25,00	0,0209	0,419
24	20,32	25,02	0,0202	0,399
25	20,41	25,05	0,0198	0,385
26	20,56	25,12	0,0189	0,362
27	20,67	25,10	0,0185	0,344
28	20,78	25,15	0,0178	0,327
29	20,86	25,17	0,0174	0,315
30	21,06	25,58	0,0153	0,290
maio - 01	21,00	25,20	0,0169	0,298
02	21,02	25,00	0,0174	0,291
03	21,18	25,17	0,0162	0,272
04	22,48	28,22	0,0076	0,183
05	23,08	28,31	0,0069	0,152

Continua

Apêndice 2 (Continuação).

D a t a		$\bar{H}_{105}$ (cm Hg)	$\bar{H}_{135}$ (cm Hg)	K (cm dia ⁻¹)	q_L (mm dia ⁻¹)
maio -	06	23,20	27,90	0,0071	0,140
	07	23,11	27,72	0,0074	0,143
	08	23,30	28,00	0,0070	0,138
	09	23,44	28,18	0,0067	0,133
	10	23,99	28,16	0,0062	0,109
	11	23,78	28,06	0,0065	0,117
	12	24,00	28,00	0,0063	0,106
	13	23,99	27,89	0,0065	0,107
	14	24,20	27,31	0,0068	0,089
	15	24,30	27,60	0,0064	0,089
	16	24,54	27,75	0,0061	0,082
	17	24,87	27,36	0,0061	0,063
	18	25,07	28,39	0,0054	0,075
	19	25,26	28,39	0,0052	0,068
	20	25,44	28,58	0,0050	0,066
	21	25,60	28,60	0,0049	0,062
	22	25,90	28,65	0,0047	0,054
	23	26,42	28,61	0,0045	0,041
	24	27,20	28,40	0,0042	0,021
	25	26,48	28,42	0,0046	0,038
	26	28,79	31,34	0	0
	27	28,73	31,43	0	0
	28	28,76	31,49	0	0
	29	28,80	31,50	0	0
	30	28,90	31,50	0	0
	31	28,84	31,50	0	0

Continua

Apêndice 2 (Continuação).

D a t a	$\bar{H}_{105}$ (cm Hg)	$\bar{H}_{135}$ (cm Hg)	K (cm dia ⁻¹)	q_L (mm dia ⁻¹)
junho - 01	28,93	31,58	0	0
02	28,70	31,44	0	0
03	28,77	31,44	0	0
04	28,87	31,52	0	0
05	28,80	31,60	0	0
06	28,41	31,54	0	0
07	27,98	31,24	0	0
08	28,31	31,44	0	0

Apêndice 3 - Precipitações - Dados do Pluviôgrafo.

Dia	Horas e minutos		Altura (mm)	Duração (min)	Intensidade (mm/min)
	Início	Final			
16/03	0:00	0:20	0,2	20	0,010
17/03	16:05	16:08	1,0	3	0,330
	20:20	21:20	2,3	60	0,038
	22:18	23:10	0,8	52	0,015
	23:45	24:00	1,3	15	0,086
19/03	0:00	3:15	7,3	195	0,037
	8:30	9:10	0,1	40	0,002
20/03	14:10	14:40	0,6	30	0,020
	4:55	5:50	2,8	55	0,051
	7:12	7:50	1,4	38	0,037
21/03	8:35	10:50	8,4	135	0,062
22/03	14:40	14:55	6,0	15	0,400
	4:50	7:45	48,9	175	0,280
	8:25	11:10	22,9	165	0,140
24/03	14:47	14:50	0,3	3	0,100
	22:35	24:00	7,9	95	0,083
28/03	0:00	3:00	2,0	180	0,011
29/03	21:30	24:00	13,0	150	0,087
	0:00	3:20	4,9	200	0,024
	6:17	8:50	20,2	153	0,132
	14:08	14:20	0,2	12	0,017
30/03	18:12	21:10	17,1	178	0,096
	0:18	2:20	1,3	122	0,010
31/03	17:20	19:00	4,6	100	0,046
	19:37	20:10	0,6	33	0,018
	0:30	3:00	8,2	150	0,055
	4:00	5:40	2,1	100	0,021

Continua

Apêndice 3 (Continuação).

Dia	Horas e minutos		Altura (mm)	Duração (min)	Intensidade (mm/min)
	Início	Final			
01/04	16:15	18:20	0,8	125	0,006
03/04	2:20	6:20	2,2	240	0,009
04/04	9:18	9:40	0,7	22	0,032
	12:00	13:10	2,9	70	0,041
	14:30	16:10	8,0	100	0,080
05/04	15:15	24:00	37,2	525	0,070
07/04	0:00	2:10	2,2	130	0,016
09/04	9:55	10:20	4,0	25	0,160
	10:50	14:30	16,0	220	0,072
10/04	14:30	18:20	13,2	230	0,057
	21:20	22:20	0,2	60	0,003
19/04	23:00	24:00	1,0	60	0,017
	0:00	6:30	2,1	210	0,010
20/04	11:00	15:00	1,8	240	0,007
	16:50	19:20	18,5	150	0,123
02/05	19:20	20:10	0,5	50	0,010
17/05	15:00	15:45	0,4	45	0,009
02/06	13:55	14:40	2,0	45	0,044
	15:30	16:50	1,1	80	0,015
03/06	17:30	19:00	2,2	90	0,024
04/06	17:25	18:20	11,0	55	0,200
	19:00	22:20	21,4	200	0,107
	22:50	24:00	3,5	70	0,050
	0:00	0:40	1,4	40	0,035
	2:10	5:50	0,9	220	0,005
05/06	10:15	10:50	1,2	35	0,034
	11:40	12:30	1,3	50	0,026

Apêndice 4 - Irrigações

Data	I mm
12/03	9,80
13/03	11,76
16/03	8,82
19/04	8,82
30/04	8,80
05/05	11,10
10/05	12,90
13/05	13,40
20/05	12,50