

EPAMINONDAS SANSIGOLO DE BARROS FERRAZ

ENGENHEIRO - AGRÔNOMO

INSTRUTOR JUNTO A CADEIRA N.º 1

FISICA E METEOROLOGIA

E. S. A. "LUIZ DE QUEIROZ" - U. S. P.

**DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL
PELA MODERAÇÃO DE NEUTRONS**

Tese para Doutorado apresentada
a Escola Superior de Agricultura "Luiz
de Queiroz", da Universidade de
São Paulo.

PIRACICABA
ESTADO DE SÃO PAULO BRASIL

- 1968 -

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Admar Cervellini, Catedrático da Cadeira de Física e Meteorologia da E.S.A. "Luiz de Queiroz".
- Ao Prof. Eneas Salati, orientador deste trabalho.
- Ao Prof. Justo Moretti Filho e à Cadeira de Engenharia Rural da E.S.A. "Luiz de Queiroz".
- Aos colegas, funcionários e bolsistas da Cadeira de Física e Meteorologia da E.S.A. "Luiz de Queiroz".
- A todos, que de uma forma ou de outra, concorreram para a realização deste trabalho.

C O N T E U D O

	<u>Página</u>
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DA LITERATURA	3
3. TEORIA	6
3.1. Balanço da Água do Solo	6
3.2. Fluxos Internos	8
3.3. Água Extraída pelas Raízes	9
4. MATERIAL	11
4.1. Campo Experimental e Instalação de Equipamentos	11
4.2. Solo	14
4.2.1. Características Físicas	14
4.2.2. Distribuição do Sistema Radicular ...	16
4.2.3. Determinação da Umidade	18
MÉTODO	19
5.1. Determinação dos Perfís Hídricos	19
5.2. Evapotranspiração Real	19
5.3. Evapotranspiração Potencial	21
5.4. Determinação de R	22
5.5. Determinação de K	23
6. DADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO	24
6.1. Condutividade Hidráulica	24
6.2. A Razão ER/EP	27
6.3. A Razão ER/EV	30
6.4. Água Extraída pelas Raízes	30
7. CONCLUSÕES	36
8. RESUMO	37
9. SUMMARY	38
10. BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	39
APÊNDICE	45

1. INTRODUÇÃO

Os problemas de economia e emprêgo racional da água na agricultura, são de importância capitale por isso mesmo têm merecido especial atenção de técnicos das - mais diversas especialidades.

Particularmente, no caso de perda por evapotranspiração da água pelo solo, muito se tem escrito à repeito e vasta é a literatura, onde os mais variados métodos de cálculos são apregoados. Atualmente, os critérios empregados para se estimar as quantidades de água perdida por um solo vegetado ou não, nos processos de Evapotranspiração, podem ser classificados em 3 grupos: 1) o primeiro dêles reúne os métodos de medida direta, destacando-se entre êles os que empregam lisímetros sob condições de laboratório ou de campo; 2) outro reúne os métodos de cálculo, empregando fórmulas teórico-empíricas, em função de dados meteorológicos; 3) o terceiro reúne os métodos de medida indireta, na pesquisa de determinados parâmetros do solo (geralmente a umidade).

A fim de verificar o que realmente indicam os métodos de cálculo usualmente adotados, surgiu o presente trabalho, no qual se comparam os dados calculados com a perda de água por Evapotranspiração, estimada indiretamente.

Em uma cultura perene e durante um período vegetativo normal, isto é, sem variações sensíveis no seu desenvolvimento, foi estudada a Evapotranspiração Real (ER), para diferentes condições meteorológicas, em função da variação de tensão da água do solo.

São mostrados os dados de ER obtidos num terreno mantido permanentemente coberto de grama, onde diariamente, determinou-se o perfil hídrico, através do emprêgo de uma "sonda de neutrons". Obtiveram-se dados de Evapotranspiração Real (ER), Evapotranspiração Potencial (EP) e de Evaporação (EV) de superfície livre d'água, nas diferentes épocas do ano. Compararam-se as variações de ER em função das condições de clima e de solo. Estudou-se, também, as relações existentes entre as quantidades de água extraída pelas raízes de um elemento de volume de solo situado no meio do perfil, com as tensões de umidade ali reinantes. - Como dado complementar, necessário à obtenção dos valores de ER, foi estudada a condutividade hidráulica do solo.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Sob o ponto de vista de interesse agrônomico, vários autores têm estudado as variações da razão ER/EP em função da umidade do solo e muitas são as contribuições encontradas. THORNTHWAITE (1954 e 1955) em seu estudo sobre balanço hídrico, sugere admitir-se como linear o decréscimo da razão ER/EP em função do decréscimo de umidade do solo (curva A, Fig. 2.1).

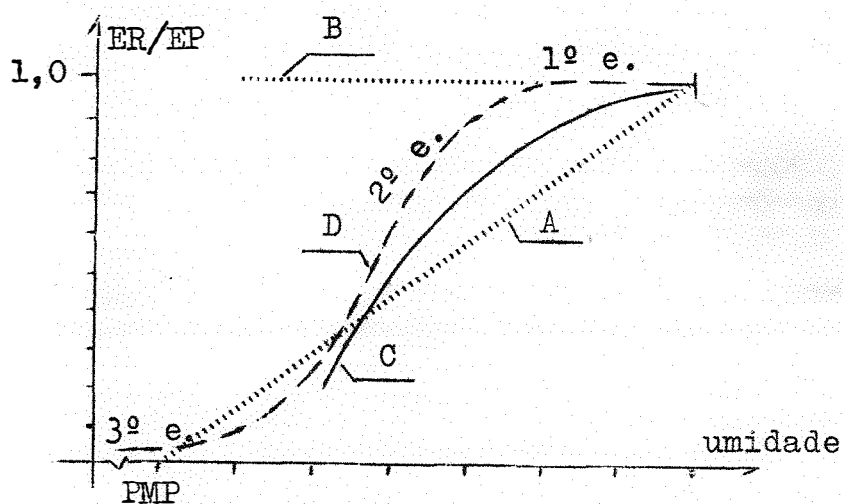


Fig. 2.1 - Variação da razão ER/EP em função da umidade do solo, segundo vários autores.

Por outro lado, VAN BAVEL (1955), VEIHMEYER e HENDRICKSON (1957), admitem ER igual a EP, independente da tensão com que a água se apresenta retida no solo (curva B, Fig. 2.1).

RICHARDS e WADLEIGH (1952) em diversos experimentos de irrigação, comprovaram que durante o processo de secamento, a água requerida pelas culturas não se apresenta igualmente disponível, disponibilidade essa que diminui com o aumento da tensão da água do solo (curva C, Figura 2,1). Esse mesmo fato encontra apóio com as observações de PIERCE (1958).

LEMON (1956) dividiu o processo de evaporação em três estágios: o primeiro, dependente apenas das condições de clima (Evapotranspiração Potencial); o segundo, envolvendo a influência tanto do clima como das características do solo; e o terceiro que, praticamente, depende somente do solo (curva D, Fig. 2,1).

Vários autores comprovaram a teoria de LEMON tais como HOLMES e ROBERTSON (1959 e 1963), HALLAIRE .. (1961), VISSER (1963 e 1964), LOWRY (1959), MARLATT & OUTROS (1961), PHILIP (1957), BAIER & ROBERTSON (1965) e muitos outros, porém um dos trabalhos mais completos é aquele apresentado por DENMEAD & SHAW (1962). Estes autores estudaram a variação da razão ER/EP durante o processo de secamento do solo, quando submetido a diferentes velocidades de evaporação (EP). Demonstraram, então, a grande diferença existente entre as curvas $ER/EP = f(\theta)$ para valores de EP iguais a 2,0 , 3,3 , 4,1 , 3,6 e 6,4 mm por 24 horas, principalmente no que diz respeito à duração do 1º estágio. Quando a velocidade de evaporação é pequena, o primeiro estágio é maior, e portanto, o limite entre este e o segundo estágio corresponde a um valor de umidade muito inferior. Em caso contrário, para velocidades maiores de evaporação, o primeiro estágio é curto e a umidade do solo correspondente ao seu ponto final é mais elevada.

Observa-se, pois, que não existe essa aparente divergência entre os pontos de vista dos diversos autores. Dependendo das condições de Evapotranspiração Potencial em que foram realizadas os experimentos, tanto as curvas de Wadleigh como as de Veihmeyer são válidas (ZUR, - 1966).

Para o cálculo de Evapotranspiração Real vários pesquisadores se utilizam de lisímetros, tais como PIERCE (1958), DENMEAD & SHAW (1962), Mc ILROY & ANGUS, .. (1963), VISSER (1965) e outros mais. Muito embora não se tenha uma precisão tão boa como a do lisímetro, a Evapotranspiração Real pode ser calculada a partir da umidade do perfil. Com o emprêgo cada vez mais freqüente do medidor de umidade de neutrons, BELCHER & OUTROS (1950), GARDNER & KIR KHAN (1962), KNIGHT & WRIGHT (1954), VAN BAVEL & OUTROS, .. (1956, 1961, 1962, 1963, 1965 e 1967), SALATI (1960), Mc GUINNESS & OUTROS (1961), ØLGAARD (1965), BARRADA (1965), BARROS FERRAZ (1966), LONG & FRENCH (1967) e outros e também com o conhecimento mais profundo da física da água do solo, RICHARDS & WEEKS (1953), RICHARDS, GARDNER & OGATA (1956), BRUCE & KLUTE (1956), GARDNER (1958), ROSE, STERN & DRUMOND (1965) e muitos mais, têm surgido recentemente, vários trabalhos nos quais se observa que a ER é calculada a partir da umidade do solo. Nesses moldes, os mais conhecidos, são devidos a DECKER (1961), SLATYER (1966) e ROSE & STERN (1967).

3. TEORIA

3.1. Balanço da Água do Solo

Num solo vegetado, a variação da quantidade de água, em um dado volume de solo, durante um período de tempo considerado, é a soma algébrica das quantidades por êle recebidas ou perdidas, nos processos de Precipitação - (P), Irrigação (I), Evaporação (E), Extração de água pelas raízes das plantas (R) e de Fluxos internos de água do solo (V) em vários sentidos.

$$Q = P + I - E - R \pm V \dots\dots\dots (1)$$

Essa quantidade de água perdida ou ganha durante o intervalo de tempo $t_2 - t_1$ pelo volume de solo, compreendido entre os planos horizontais às profundidades 0 e z, pode ser determinada integrando-se de t_1 a t_2 e de 0 a z, as variações de umidade ($d\theta$) (SLATYER, 1966):

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} \int_0^z \left(\frac{\partial \theta}{\partial t} \right) dz dt \dots\dots\dots (2)$$

Segundo ROSE & STERN a equação (1) de equilíbrio pode ser escrita da seguinte forma:

$$\int_{t_1}^{t_2} \int_0^z \left(\frac{\partial \theta}{\partial t} \right) dz dt = \int_{t_1}^{t_2} (p + i - e \pm v) dt - \int_{t_1}^{t_2} \int_0^z r dt dz \dots (3)$$

Para o sistema C.G.S. de unidades considere-se a simbologia seguinte:

- t_1, t_2 = instantes de tempo em segundos;
- z = profundidade em centímetros;
- θ = umidade em cm^3 de água por cm^3 de solo;
- p = precipitação em centímetros por segundo;
- i = irrigação em centímetros por segundo;
- e = evaporação na superfície do solo em centímetros por segundo;
- v = fluxo ou fluxos internos em centímetros por segundo;
- r = extração da água pelas raízes em centímetros por segundo.

Se considerarmos um dado volume de solo, de forma hipotética paralelepípeda para facilidade de demonstração (Fig. 3.1), situado entre os planos z_1 e z_2 , onde $z_1 > 0$, os termos p , i e e deixarão de existir e a equação (3) poderá ser escrita da forma seguinte:

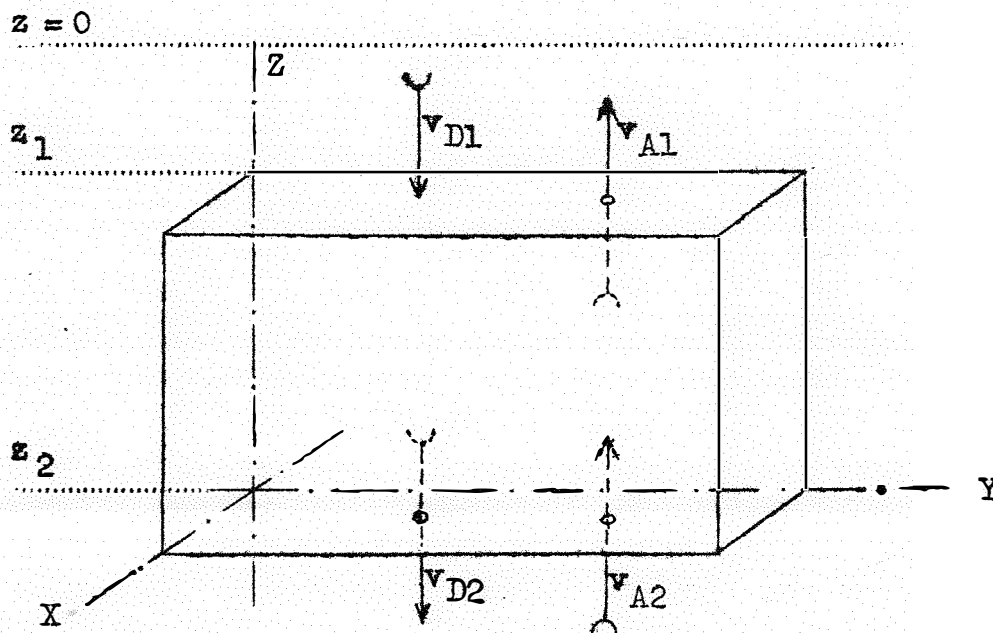


Fig. 3.1 - Elemento de volume de solo, situado entre os planos z_1 e z_2 .

$$\int_{t_1}^{t_2} \int_{z_1}^{z_2} \left(\frac{\partial \theta}{\partial t} \right) dz dt = + \int_{t_1}^{t_2} v dt - \int_{t_1}^{t_2} \int_{z_1}^{z_2} r dt \cdot dz \dots (4)$$

3.2. Fluxos Internos

Segundo a equação de Darcy, o fluxo de água no solo pode ser descrito pela equação mais geral:

$$\mathbf{v} = -K \left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial \theta}{\partial y} \mathbf{j} + \frac{\partial \theta}{\partial z} \mathbf{k} \right) \dots (5)$$

Supondo um solo formado por camadas horizontais no qual existam apenas fluxos verticais ao longo do eixo z, a equação (5) ficará reduzida simplesmente a:

$$\mathbf{v}_z = -K_z \frac{\partial \phi}{\partial z} \mathbf{k} \dots (6)$$

onde,

- \mathbf{v}_z = fluxo perpendicular ao plano z em cm/seg;
- K_z = condutividade hidráulica na profundidade z;
- ϕ = potencial total da água do solo.

O sinal negativo é colocado no segundo membro da equação (6) em virtude do fluxo ter o sentido contrário ao do gradiente de potencial.

O fluxo vertical (\mathbf{v}_z) pode ser ascendente (\mathbf{v}_a) ou descendente (\mathbf{v}_d), dependendo do sentido do gradiente. Como o potencial total (ϕ) é a soma dos potenciais gravitacional (Z) e matricial (ψ), pode-se considerar dois casos isoladamente:

1º) Fluxo descendente (\mathbf{v}_d)

Nesse caso os potenciais matricial e gravitacional têm o mesmo sinal, pois considera-se como positivo o fluxo no sentido de cima para baixo (ROSE & OUTROS, 1965):

$$\phi = -Z - \psi \dots (7)$$

Substituindo-se na equação (6) fica:

$$v_D = -K \frac{\partial}{\partial z} (-\psi - z)$$

ou

$$v_D = K + K \frac{\partial \psi}{\partial z} \text{ (cm/seg) } \dots\dots\dots (8)$$

2º) Fluxo ascendente (v_A)

Agora, os potenciais matricial e gravitacional não têm o mesmo sinal, como se convencionou à princípio:

$$\phi = z - \psi \dots\dots\dots (9)$$

Substituindo-se em (6) resulta:

$$v_A = -K \frac{\partial}{\partial z} (\psi - z)$$

ou

$$v_A = -K + K \frac{\partial \psi}{\partial z} \text{ (cm/seg) } \dots\dots\dots (10)$$

3.3. Água Extraída pelas Raízes

Sabendo-se que tanto o plano z_1 como o plano z_2 admitem fluxos ascendentes e descendentes, como sugere a Fig. 3.1, a equação de equilíbrio (4) poderá ser expressa da seguinte forma:

$$\int_{t_1}^{t_2} \int_{z_1}^{z_2} \frac{\partial \theta}{\partial t} dz dt = \int_{t_1}^{t_2} (v_{D1} + v_{A2} - v_{D2} - v_{A1}) dt - \int_{t_1}^{t_2} \int_{z_1}^{z_2} r dt dz \quad (11)$$

De (11) tirando-se o valor de R, obtem-se:

$$\int_{t_1}^{t_2} \int_{z_1}^{z_2} r dt \cdot dz = \int_{t_1}^{t_2} (v_{D1} + v_{A2} - v_{D2} - v_{A1}) dt - \int_{t_1}^{t_2} \int_{z_1}^{z_2} \frac{\partial \theta}{\partial t} dz dt \quad (12)$$

sendo que $v_{D1} - v_{A1}$ e $v_{D2} - v_{A2}$ representam os fluxos líquidos perpendiculares aos planos $Z1$ e $Z2$, respectivamente.

Em resumo, pode-se dizer que a quantidade de água extraída pelas raízes das plantas (R) de um elemento de volume de solo, é igual à soma algébrica dos fluxos que entram (v_E) e saem (v_S) desse volume, menos a variação da quantidade de água do solo observada $(\theta_1 - \theta_2)Z$:

$$R = v_E - v_S - (\theta_1 - \theta_2)Z \quad (\text{cm/seg}) \quad \dots (13)$$

sendo, θ_1 e θ_2 as umidades médias observadas nos instantes t_1 e t_2 , respectivamente.

4. MATERIAL

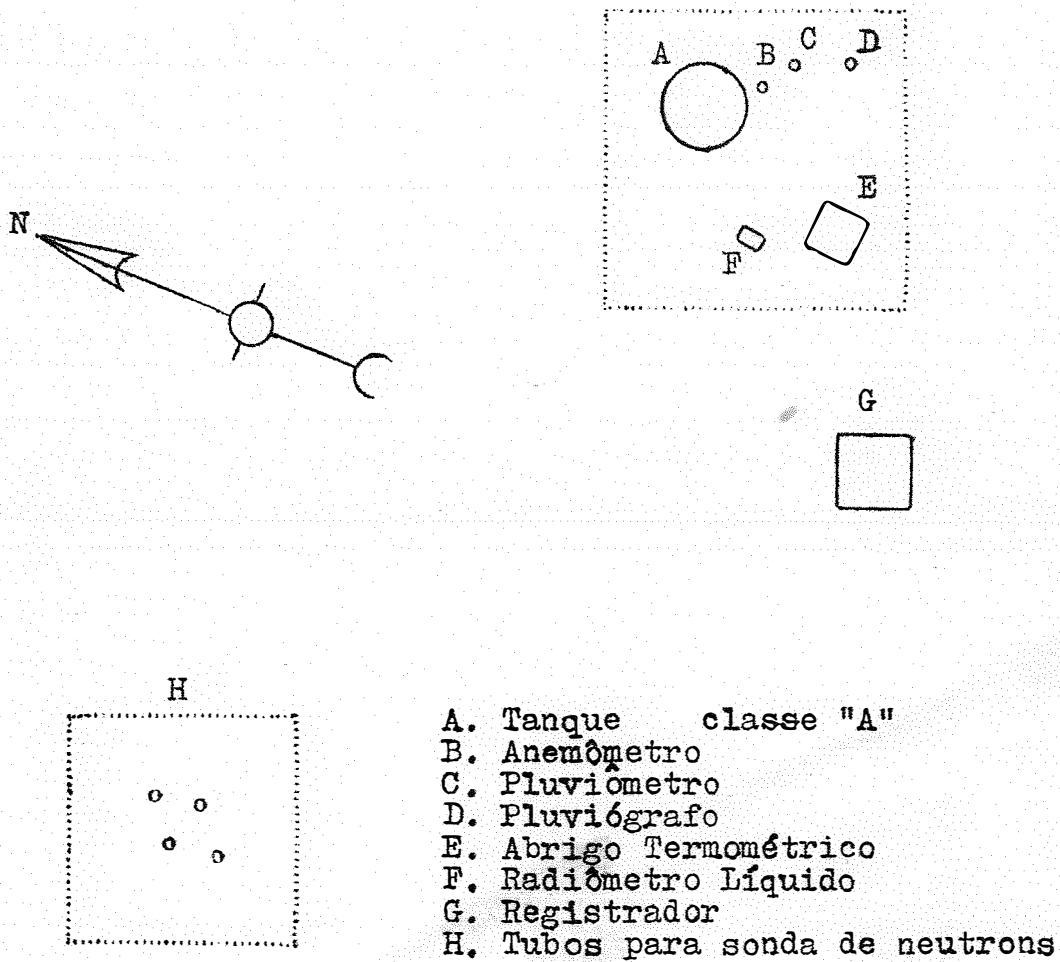
4.1. Campo Experimental e Instalação de Equipamentos

Para a instalação do experimento foi escolhido um terreno plano, de homogeneidade satisfatória, próximo ao Pavilhão de Engenharia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", inteiramente coberto com "Paspalum notatum" (Flügge), grama de Batatais. Trata-se de uma vegetação que vem ocupando o referido local desde há muitos anos, sendo seu sistema radicular intenso e profundo.

No local foram introduzidos, verticalmente, no interior do solo, 4 (quatro) tubos de alumínio de 2,50 metros de comprimento, deixando-se 10 cm acima da superfície, distantes 1,0 metro um do outro. Esses tubos de acesso para a sonda de neutrons têm as extremidades inferiores vedadas com solda de alumínio. Seu diâmetro interno é de ... 41,3 mm e sua parede de 3,2 mm de espessura.

A 15 metros de distância dos tubos estão instalados os equipamentos necessários à obtenção dos dados climatológicos, para os cálculos de Evaporação e de Evapotranspiração, conforme é mostrado nas Figs. 4.1 e 4.3^(*).

(*) Trata-se de parte do equipamento do Posto para Estudos de Evaporação e Evapotranspiração, pertencente à Cadeira nº 6, Engenharia Rural, ESALQ.



E S C A L A 1:200

Fig. 4.1.- Planta do campo experimental.

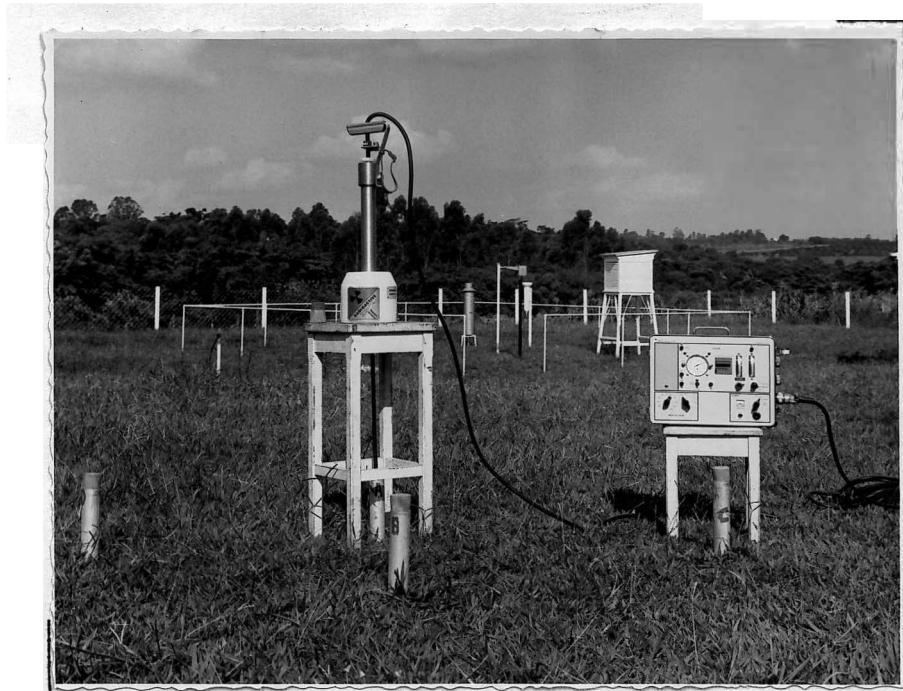


Fig. 4.2 - Aspecto do equipamento utilizado para as determinações das umidades do perfil de solo.



Fig. 4.3 - Vista do aparelhamento empregado nos estudos de Evaporação e de Evapotranspiração Potencial.

O experimento foi instalado em maio de 1967 e as determinações de ER (Evapotranspiração Real) se prolongaram até fevereiro de 1968. A primeira fase do trabalho iniciou-se logo após um período de irrigação e de chuvas, durante os meses de maio e junho, sendo então coletados duas séries de dados num período de seca que perdurou cerca de 90 dias. A segunda fase foi realizada em pequenos períodos sem chuvas, nos meses de dezembro de 1967 e janeiro e fevereiro de 1968.

4.2. Solo

4.2.1. Características Físicas

Trata-se de um perfil da série "Luiz de Queiroz", segundo RANZANI & OUTROS (1966), com profundidade de 2,20 metros, tendo a análise mecânica revelado a média de 45,38% de Argila, 35,15% de Areia e 19,47% de Limo, sendo, portanto, classificado na classe textural "Argila". Dados detalhados da análise do perfil podem ser observados no Quadro I^(*).

QUADRO I

Análise Mecânica do Perfil de Solo Estudado

Profundidade	Argila %	Areia %	Limo %
30	40,94	39,57	19,49
60	46,00	37,83	16,17
90	46,43	36,04	17,53
120	45,66	36,04	18,30
150	44,06	34,72	21,22
180	47,96	31,85	20,19
210	46,61	30,00	23,39

(*) Dados fornecidos pela Cadeira nº 13, Solos e Agrotecnia, da E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP.

A densidade aparente média do perfil é de $1,49 \text{ g/cm}^3$ e foi determinada pelo método de "espalhamento de Radiação Gama" conforme BELCHER & OUTROS (1950) e VOMOCIL (1954). No Quadro II podem ser observados os valores de densidades aparentes encontrados.

Determinou-se a relação entre tensão (ψ) e umidade (θ) (Fig. 4.4) através dos dados do Quadro III, os quais se obtiveram com o auxílio de "panela de pressão" e de "placa de Richards", de fabricação "Soil Moisture Eq. Co."^(*).

QUADRO II

Densidade Aparente do Perfil

Profundidade (cm)	d_a (g/cm^3)
20	1,57
40	1,53
60	1,51
80	1,44
100	1,43
120	1,44
140	1,45
160	1,46
180	1,51
200	1,53
d_a (média) = $1,49 \text{ (g/cm}^3\text{)}$	

^(*) Pertencentes à Cadeira nº 6, Engenharia Rural, da ESALQ.

QUADRO IIIValores de Tensão e Umidade

θ ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)	ψ (mb)
0,2308	15.500
0,2874	775
0,3160	362
0,3750	103

4.2.2. Distribuição do Sistema Radicular

Para se conhecer a distribuição do sistema radicular, foram retiradas amostras em diversos níveis até a profundidade de 2,00 m. Para a amostragem foi usado o anel volumétrico ($0,3475 \text{ dm}^3$), ou seja, o mesmo empregado - para as determinações de densidade aparente, conforme MAERTENS & OUTROS (1965).

QUADRO IVDensidade de Raízes

Profundidade (cm)	Raízes g/dm^3
10	3,04
20	2,16
40	1,76
60	1,21
80	1,13
100	1,24
120	1,04
140	0,95
160	0,13
180	~ 0

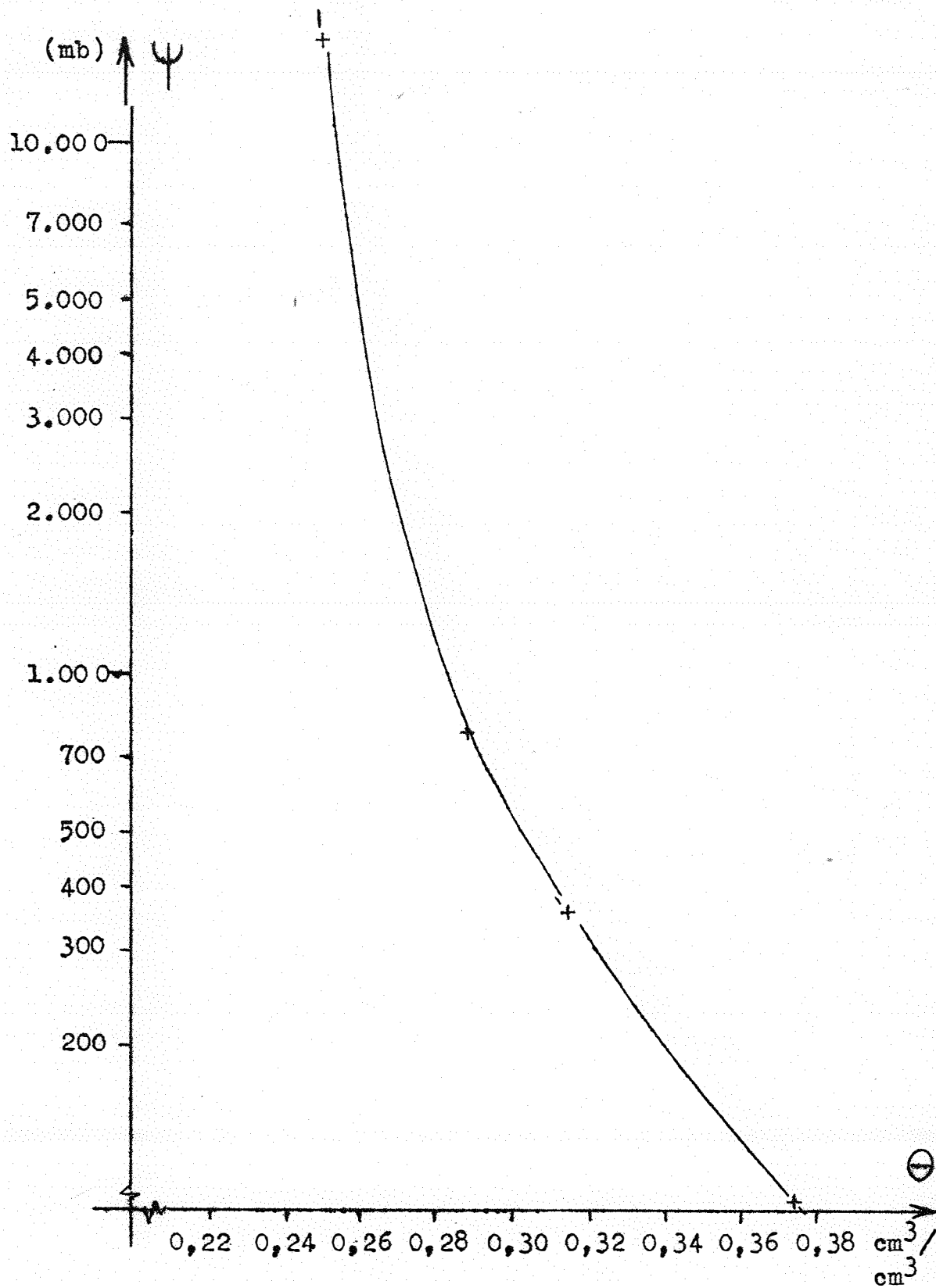


Fig. 4.4 - Relação entre a tensão e a umidade.

Uma vez retiradas as amostras, foram separadas as raízes e pesadas. Os resultados expressos em gramas de raízes por decímetro cúbico de solo podem ser observados no Quadro IV.

4.2.3. Determinação da Umidade

Foi empregado um medidor de Unidade de Neutrons, de procedência Dinamarquesa, fabricado pela Danish Isotope Centre (Fig. 4.2). A calibragem foi realizada no campo tal como recomendam VAN BAVEL & OUTROS (1961), sendo que a Sensibilidade Relativa, isto é, a razão entre a variação relativa de contagens (dr/r) e a variação relativa de umidade ($d\theta/\theta$), segundo a UNO, FAO/IAEA (1966). Obteve-se o resultado de sensibilidade,

$$S = 1,084$$

Especial atenção foi dada à precisão das leituras a pequenas profundidades conforme é observado por MAERTENS & OUTROS (1965), LONG & FRENCH (1967) e outros mais. Para tanto, determinaram-se os raios da esfera de importância "in situ" a diversos teores de umidade e, posteriormente, foram comparados com os dados obtidos através das fórmulas propostas por VAN BAVEL (1956) e HAAHR & ØLGAARD (1965). Introduziram-se, convenientemente, fatores de correção para as leituras a 20 cm.

5. MÉTODO

5.1. Determinação dos Perfís Hídricos

Conduziram-se as determinações de umidade do solo com o auxílio de uma sonda de neutrons, através de leituras diárias a 20, 40, 60, 80, 100, 140, 160, 180, 200 e 220 cm de profundidade, em cada tubo, obtendo-se então, um valor médio para cada nível. Com os dados de umidade, foram elaborados, diariamente, os perfís hídricos. A Fig. 5.1 ilustra os aspectos dos referidos perfís para as épocas mais interessantes do experimento.

5.2. Evapotranspiração Real

A Evapotranspiração Real do perfil foi calculada com o auxílio da equação (2), levando-se em conta a influência ora positiva ou negativa, dos fluxos verticais. Nessas condições, a equação (2) se apresenta sob a forma seguinte:

$$\int_{t_1}^{t_2} ER dt = \int_{t_1}^{t_2} \int_0^z \frac{\partial \theta}{\partial t} dz dt \pm \int_{t_1}^{t_2} v dt \dots \dots \dots (14)$$

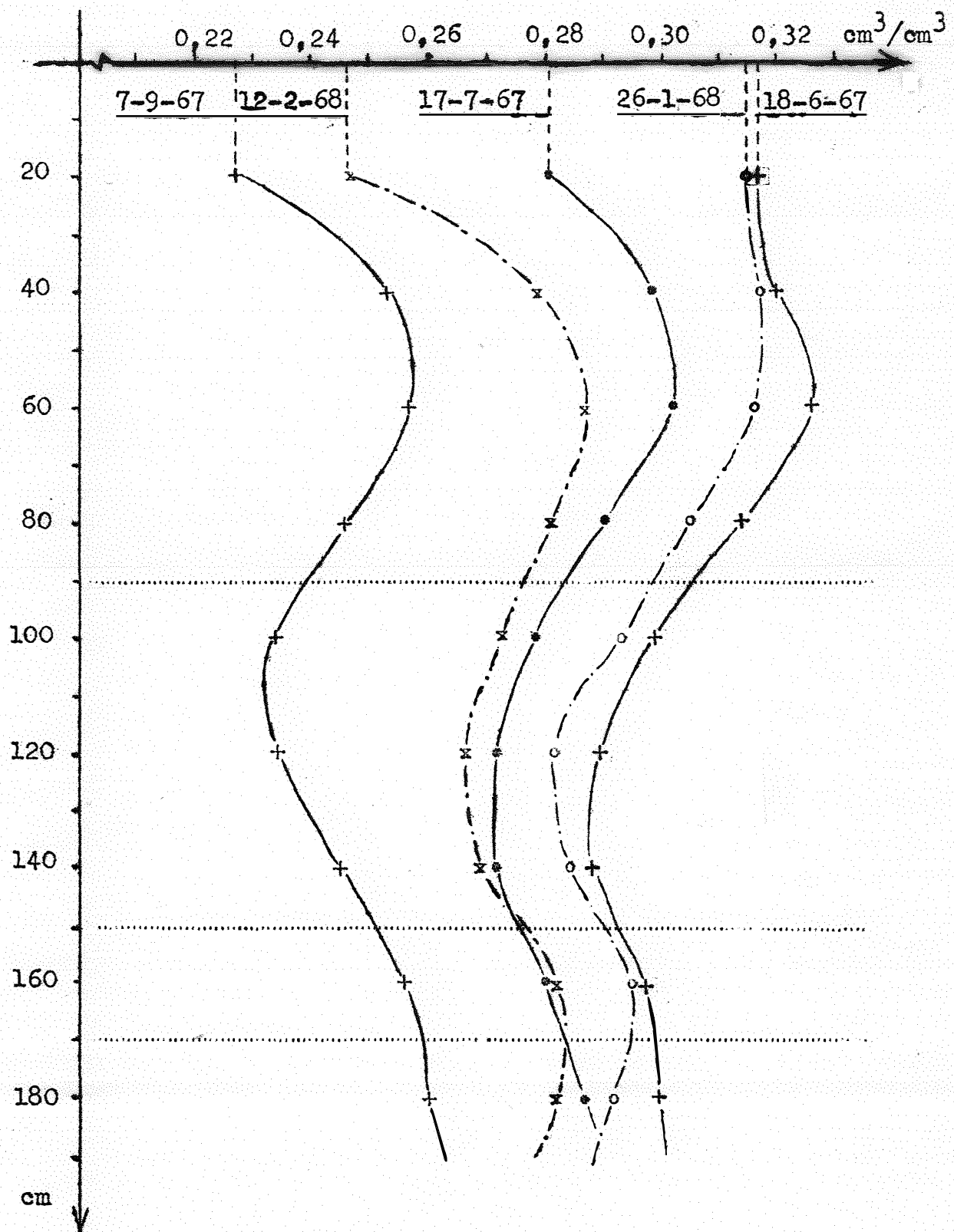


Fig. 5.1 - Evolução do perfil hídrico.

Os valores de \underline{y} à profundidade \underline{z} se calcularam pelas equações (8) e (10).

Considerou-se a profundidade \underline{z} de 170 cm, como o limite da zona de exploração das raízes (Quadro IV).

Muito embora os dados coletados fossem diários, os valores de ER foram calculados para períodos de 2, 3 ou mais dias, visando com isso uma uniformidade dos resultados, através de uma média mais representativa.

Os primeiros dias logo após os períodos de chuva, foram desprezados, pois que o solo se encontrava saturado em suas primeiras camadas, havendo portanto, escoamento e drenagem. Aproveitaram-se os cálculos de ER a partir do período citado.

5.3. Evapotranspiração Potencial

Procedeu-se ao cálculo da Evapotranspiração Potencial (EP) empregando o Método de Penman (1948), conforme a relação:

$$EP = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} \cdot \frac{H}{59} + RE_a}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1} \quad (\text{mm/dia}) \dots\dots\dots (15)$$

onde,

- EP — Evapotranspiração Potencial (mm/dia).
- $\Delta = \frac{de}{dt}$ — Tangente à curva de saturação de vapor, no ponto $t = t_a$ (mmHg/°C).
- γ — Constante Psicrométrica (0,5 mmHg/°C).
- H — Energia líquida (cal/cm². dia).
- RE_a — Poder evaporante do ar à sombra:

$$RE_a = 0,35 \left(1,0 + \frac{U}{160} \right) (e_s - e_a) \quad (\text{mm/dia}) \dots (16)$$

sendo,

U = velocidade do vento (Km/dia).

e_s = tensão de saturação à temperatura média do ar ...
(mm Hg).

e_a = tensão atual de vapor (mm Hg).

Para as determinações de valores de H utilizou-se de um Radiômetro Líquido, fabricação Beckman and Whitley, modelo N-188-19, série 282; obteve-se um registro contínuo mediante a instalação de um Potenciógrafo Philips modelo PR-2210.

Os valores de U foram obtidos através de um anemômetro integrador, instalado a 2,00 m de altura do solo.

Os dados de Temperatura e de Umidade Relativa se conseguiram através de Termômetro de Máxima, Termômetro de Mínima, Psicrometro e Termo-Higrógrafo, instalados em abrigo Termométrico Padrão.

Como equipamento auxiliar incluíram-se um Tanque de Evaporação "Classe A", dotado de parafuso micrométrico para leituras e também um pluviômetro a 1,50 m do solo. Além de explorar-se a finalidade principal do Tanque, confrontaram-se os dados obtidos com os resultados conseguidos segundo Penman.

Subordinou-se a instalação do equipamento meteorológico necessário para os cálculos de Evapotranspiração e Evaporação às normas recomendadas pela W.M.O. (1965).

5.4. Determinação de R

Com o auxílio da equação (12) calculou-se a quantidade de água extraída pelas raízes (R) de um volume de solo, durante um intervalo de tempo. Para tanto, determinaram-se as variações de θ ao longo do perfil considerado e também os fluxos que entram e saem desse volume, tal como sugere a equação generalizada (13).

Com esse método, foram estudadas as quantidades de água extraída pelas raízes, estando a água do solo a diferentes potenciais. O volume de solo em estudo foi

aquele situado entre os níveis $z_1 = 90$ cm e $z_2 = 150$ cm. Foi escolhida essa região devido à sua homogeneidade em textura, densidade aparente e densidade de raízes (Vide Quadros I, II e IV).

5.5. Determinação de K

Para o cálculo de ER segundo a equação (14), bem como para o cálculo de R, equações (12) e (13), ha necessidade de se conhecer os valores de condutividade hidráulica (K), para se empregar as equações (8) e (10). Pela equação de DARCY (6) foi possível determinar-se o valor do fluxo de água pela variação de umidade.

$$K_z = -vz \frac{\partial \psi}{\partial z} \dots\dots\dots (17)$$

sendo que o gradiente de ψ se obteve através do gradiente de θ pelo uso da função $\psi = f(\theta)$.

Segundo WIND (1961) e WESSELING (1961), - existe uma relação linear entre o logaritmo de K e o logaritmo de ψ :

$$\log \frac{K_1}{K_2} = n \log \frac{\psi_2}{\psi_1} \dots\dots\dots (18)$$

A equação (18) foi testada, determinando-se o valor do coeficiente n.

6. DADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

6.1. Condutividade Hidráulica

Conforme o descrito em 5.5, foram obtidos 16 valores para K, correspondentes a 16 valores de Ψ , de acordo com o Quadro VI.

QUADRO VI

Valores de K obtidos

Ψ (mb)	K . 10 ⁹ (cm/s)
501,0	616,570
547,5	744,900
578,5	478,160
692,1	222,310
733,4	122,556
785,1	89,070
805,7	81,015
888,4	24,766
929,7	49,533
1012,3	59,354
1136,3	84,850
1213,8	33,040
1342,9	11,926
1549,5	25,563
1776,8	8,171
3130,0	14,290

Tomando os logaritmos dos valores de Ψ e de K do referido quadro, procedeu-se a uma análise de regressão linear, obtendo-se os resultados que constam do Quadro VII.

QUADRO VII

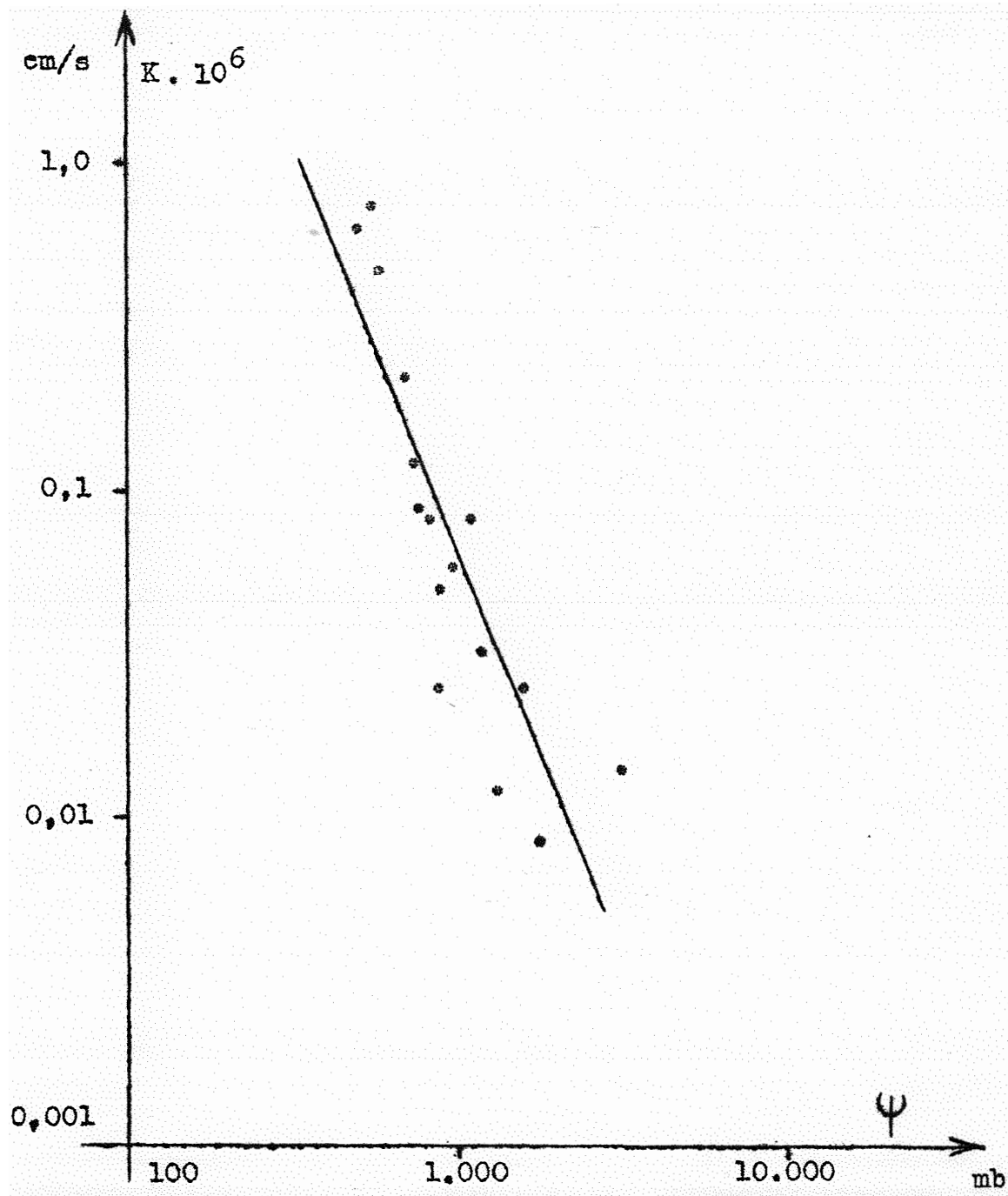
Regressão Linear

$x = \log \Psi$	$y = \log K \cdot 10^9$
2,69984	2,79000
2,73838	2,87210
2,76230	2,67961
2,84017	2,34694
2,86536	2,08814
2,89493	1,94973
2,90617	1,90856
2,94858	1,39379
2,96834	1,69487
3,00518	1,77343
3,05538	1,92865
3,08422	1,51904
3,12807	1,07640
3,19019	1,40756
3,24960	0,91227
3,49554	1,15503

Análise da Variância

Causa da Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão linear	1	4,13403	4,13403	44,115
Resíduo	14	1,31191	0,09371	(**)
Total	15	5,44594		

$$Y = 9,37679 - 2,51984 \cdot X$$



A partir desses dados construiu-se o gráfico da Fig. 6.1, que mostra a dependência entre a Tensão e a Condutividade. É de se notar que o resultado assim obtido não difere daqueles encontrados por ROSE & OUTROS (1965) e por VISSER (1963) e (1964) em solos argilosos. Aliás, esse último autor afirma que para tal tipo de solo o valor do coeficiente n da fórmula (18) oscila entre 2 e 3, sendo que em casos práticos, pode ser tomado igual a 2, porque esse valor não induz a erros grosseiros nos cálculos. O valor de n encontrado foi de 2,52.

6.2. A Razão ER/EP

Conforme o descrito em 5.2 e 5.3, determinaram-se os valores de Evapotranspiração Real (ER) e Potencial (EP) em três condições: para valores médios de EP iguais a 0,216 cm/dia, 0,316 cm/dia e 0,520 cm/dia. Os Quadros VIII, IX e X mostram os dados obtidos de umidade média (θ) ao longo do perfil, bem como os valores calculados da razão ER/EP correspondentes.

QUADRO VIII

Dados da Razão ER/EP para $\overline{EP} = 0,216$ cm/dia

Período (dias)	θ ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)	ER/EP
3	0,299	~ 1,000
3	0,296	0,996
3	0,294	0,951
3	0,290	0,873
3	0,288	0,823
3	0,287	0,739
4	0,285	0,822
2	0,284	0,652
4	0,268	0,410

QUADRO IX

Dados da Razão ER/EP para $\overline{EP} = 0,316$ cm/dia

Período (dias)	θ (cm ³ . cm ⁻³)	ER/EP
3	0,302	~ 1,000
3	0,292	0,825
3	0,283	0,530
4	0,281	0,633
4	0,278	0,516
5	0,275	0,467
5	0,271	0,416

QUADRO X

Dados da Razão ER/EP para $\overline{EP} = 0,520$ cm/dia

Período (dias)	θ (cm ³ . cm ⁻³)	ER/EP
2	0,300	0,834
2	0,297	0,765
2	0,293	0,665
2	0,288	0,672
2	0,287	0,572
2	0,284	0,497
2	0,277	0,430
3	0,275	0,421

Com os dados dos Quadros VIII, IX e X construíram-se as curvas da Fig. 6.2. Nesta figura, observam-se os três estágios do processo de perda de água do solo por Evapotranspiração. O primeiro estágio, onde a razão ER/EP é uma constante igual à unidade, compreende diferentes durações para diferentes valores de EP, como era de se

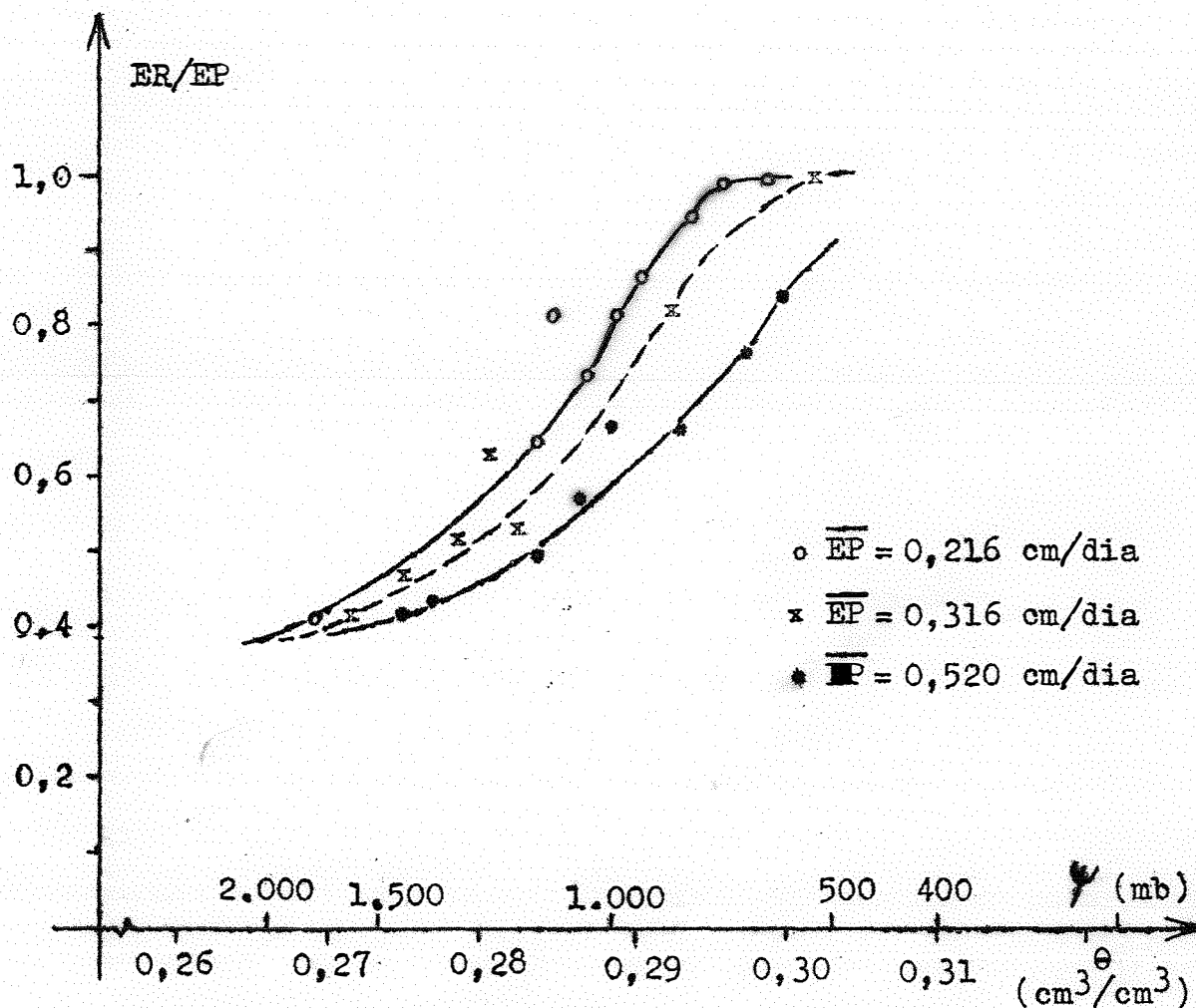


Fig. 6.2 - Relação existente entre a razão ER/EP em função da unidade e tensão médias do perfil, para 3 valores de EP médios.

esperar. A "umidade crítica", ou seja, o ponto limite entre o primeiro e o segundo estágios é de aproximadamente $0,297 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$, $0,301 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$, respectivamente para os EP médios de $0,216 \text{ cm/dia}$ e $0,316 \text{ cm/dia}$. O segundo estágio do processo pode ser perfeitamente observado nas três condições de Evapotranspiração Potencial. Aquí, as características do sistema solo-planta se fazem sentir, além das condições climáticas. O terceiro estágio, onde a água perdida, praticamente, independe de EP, também pode ser observado pela tendência das curvas para um valor constante de $ER/EP \approx 0,38$.

6.3. A Razão ER/EV

Conforme já se descreveu anteriormente, foram tomados os dados de Evaporação do Tanque "Classe A". Nos Quadros XI, XII e XIII observam-se os valores da razão ER/EV encontrados para três valores médios de EV, em função das tensões da água do solo. A Fig. 6.3 representa gráficamente essa dependência.

Em ambas as extremidades de cada uma das curvas, nota-se uma tendência para valores constantes de ER/EV. As extremidades da direita, marcam o início do terceiro estágio, enquanto que aquelas da esquerda indicam o fim do primeiro estágio. Convém notar também, que os valores constantes da razão ER/EV referentes ao primeiro estágio, indicam a correspondência entre os valores de EV e EP, pois alí pode-se considerar $ER = EP$.

6.4. Água Extraída pelas Raízes

O conteúdo do item 5.4 circunstancia determinações das quantidades de água extraídas pelas raízes (R), em função da tensão de água do solo. O Quadro XIV mostra os dados obtidos e a Fig. 6.4 o gráfico correspondente.

QUADRO XI

Dados da Razão ER/EV para $\overline{EV} = 0,32$ cm/dia

Período (dias)	θ (cm ³ . cm ⁻³)	ER/EV
3	0,299	0,705
3	0,296	0,715
3	0,294	0,691
3	0,290	0,618
3	0,289	0,572
3	0,287	0,579
4	0,285	0,589
2	0,284	0,515
4	0,268	0,294

QUADRO XII

Dados da Razão ER/EV para $\overline{EV} = 0,41$ cm/dia

Período (dias)	θ (cm ³ . cm ⁻³)	ER/EV
3	0,302	0,765
3	0,292	0,635
3	0,283	0,378
3	0,281	0,513
4	0,278	0,430
5	0,275	0,362
5	0,271	0,296

QUADRO XIIIDados da Razão ER/EV para $\overline{EV} = 0,70$ cm/dia

Período (dias)	θ ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)	ER/EV
2	0,300	0,625
2	0,298	0,578
2	0,293	0,500
2	0,288	0,499
2	0,286	0,475
2	0,284	0,373
2	0,277	0,305

QUADRO XIVÁgua extraída pelas raízes a diferentes
tensões de água do solo

R (cm/dia)	(mb)
0,116	886
0,109	985
0,104	1071
0,098	1155
0,094	1234
0,073	1326
0,076	1395
0,074	1438
0,054	1481
0,056	1524
0,051	1603
0,037	1715
0,026	1845
0,021	2018
0,015	2214
0,011	2463

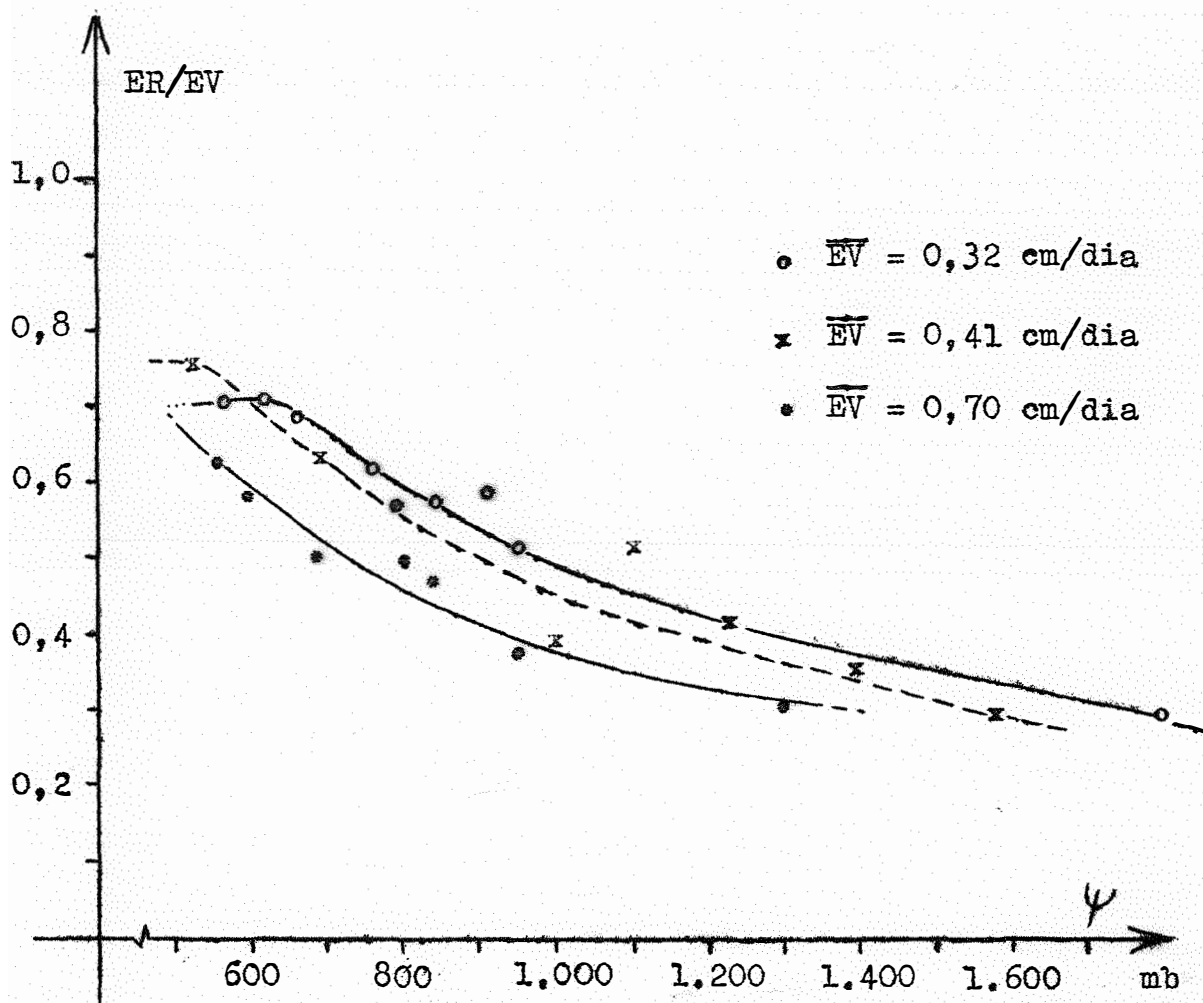


Fig. 6.3 - Variação da razão ER/EV em função da tensão média do perfil, para três valores médios de EV.

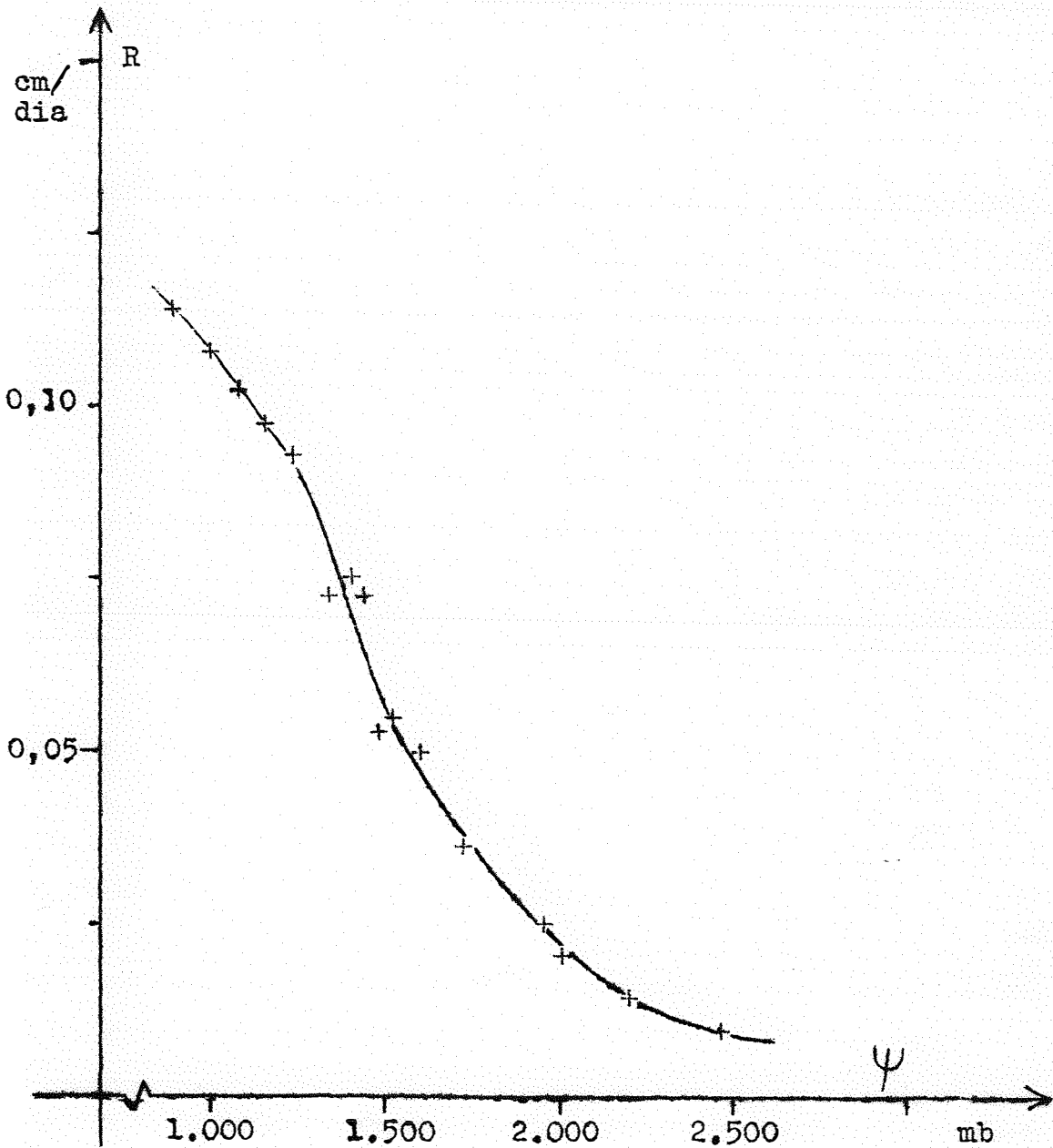


Fig. 6.4 - Água extraída pelas raízes, a diferentes tensões de água do solo.

Observando-se a Fig. 6.4 nota-se em ambos os extremos da curva, tendências para valores constantes de R. A extremidade da direita, bem mais definida que a da esquerda, mostra que, para tensões superiores a 2.500 mb, a planta consegue retirar uma quantidade de água bastante pequena, tendendo a zero.

7. CONCLUSÕES

Dos estudos realizados, permite-se concluir que:

- 1) Pelo método exposto, é possível a determinação da Evapotranspiração Real "in situ".
- 2) As curvas de ER/EP podem ser usadas para a obtenção de um fator de correção para cálculo da Evapotranspiração Real, a partir da Potencial, para as condições de solo e planta semelhantes às estudadas.
- 3) Com o auxílio de um tanque de evaporação, pode-se acompanhar as variações do teor de água do solo, desde que se conheça a relação existente entre ER/EV e a umidade (θ).
- 4) É possível acompanhar-se o processo de extração de água em uma determinada zona de exploração das raízes.
- 5) O método empregado permite a determinação em campo da condutividade hidráulica. Para o solo em estudo, o valor do coeficiente "n" da fórmula (18) é de 2,52.

8. RESUMO

O presente trabalho procura mostrar como pode ser estudada a Evapotranspiração Real num solo vegetado, através do emprêgo de uma Sonda de Neutrons para a medida da umidade. São calculadas as quantidades de água perdidas por um perfil ou por um elemento de volume dêsse solo, mediante a determinação das variações de umidade e dos fluxos de água observados durante o período considerado. Os dados de Evapotranspiração Real são comparados com os de Evapotranspiração Potencial obtidos através de fórmula teórico-empírica e de Evaporação de superfície livre d'água em três períodos diferentes: inverno, primavera e verão. Demonstra-se dessa forma que é possível se acompanhar o processo de perda de água do solo por Evapotranspiração.

9. SUMMARY

This paper shows how Actual Evapotranspiration can be studied in a soil covered with grass, employing a Neutron Meter to measure the moisture content. The quantities of water lost by a soil profile or by an element of volume of this soil, are calculated through the moisture changes and the water fluxes observed and determined during a certain period. The Actual Evapotranspiration dates thus obtained are compared to meteorological records at three different periods: winter, spring and summer.

10. BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA

- BAIER, W. & ROBERTSON, G.W. "A New Versatile Soil Moisture Budget". Can. J. Plant. Sci., 46:299-315, 1966.
- BARRADA, Y. "Applications of the Neutron Moisture Meter". Proc. Symp. Isotopes and Radiation in Soil-Plant Nutrition Studies. ANKARA, 1965.
- BARROS FERRAZ, E.S. "Determinação da Umidade do Solo por Moderação de Neutrons com Contadores Proporcionais". Nota Prévia apresentada na XVIII Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), Blumenau, SC., 1966.
- BELCHER, D.J., CUYKENDALL, T.R. & SACK, H.S. "The Measurement of Soil Moisture and Density by Neutron and Gamma-Ray Scattering". Civil Aeronautical Administration Tech. Div. Rept. 127, Washington, D.C., 1950.
- BRUCE, R.R. & KLUTE, A. "The Measurement of Soil Moisture Diffusivity". Soil Sci. Soc. Am. Proc. 20:458-462, 1956.
- DECKER, W.L. "Total Energy Budget of the Plant Canopy and Its Relationship to Evapotranspiration from Corn".

Research Bulletin 854, Univ. of Missouri, College of Agriculture, Columbia, Missouri, 1961.

DENMEAD, O.T. & SHAW, R.H. "Availability of Soil Water to Plants as Affected by Soil Moisture Content and Meteorological Conditions". Agron.J. 54:385-389, 1962.

GARDNER, W.R. "Some Steady-State Solutions of the Unsaturated Moisture Flow Equation with Application to evaporation from a Water Table". Soil Sci. 85:228-232, 1958.

GARDNER, W. & KIRKHAN, D. "Determination of Soil Moisture by Neutron Scattering". Soil Sci. 73:391-401, 1952.

HAAHR, V. & ØLGAARD, P.L. "Comparative Experimental and Theoretical Investigations of the Neutronic Method for Measuring the Water Content in Soil". Proc.Symp. Isotopes and Radiation in Soil-Plant Nutrition Studies, ANKARA, 1965.

HALLAIRE, M. "Irrigation et Utilization des Réserves Naturelles". Ann. Agron., 12, 1961.

HOIMES, R.M. & ROBERTSON, G.W. "A Modulated Soil Moisture Budget". Monthly Weather Rev. 87:1-5, 1959.

————— & ————— "Application of the Relation between Actual and Potencial Evapotranspiration in Dryland Agriculture". Trans. Am. Soc. Agr. Eng., 6: 65-67, 1963.

KNIGHT, A.H. & WRIGHT, T.W. "Soil Moisture Determination by Neutron Scattering". Radioisotope Conference II:111-121, 1954.

LEMON, E.R. "The Potentialities for Decreasing Soil Moisture Evaporation Loss". Soil Sci. Soc. Am.Proc. 20: 120-125, 1956.

LONG, I.F. & FRENCH, B.K. "Measurement of Soil Moisture in the Field by Neutron Moderation". Journal of Soil

- Science, 18, nº 1, 1967.
- LOWRY, W.P. "The Falling Rate Phase of Evaporative Soil - Moisture Loss - A Critical Evaluation". Bull.Am.Met. Soc., 40:605-608, 1959.
- MAERTENS, C., MORIZET, J. & STUDER, R. "Modalités D'Utilisation en Agronomie d'un Humidimètre a Ralentissement de Neutrons". Ann. Agron., 16(I):5-23, 1965.
- MARLATT, W.E., HAVENS, A.V., WILLITS, N.A. & BRILL, G.O. - "A Comparison of Computed and Measured Soil Moisture Under Snap Bens". J. Geophys. Res. 66:535-541, 1961.
- MCGUINNESS, J.L., DREIBELBIS, F.R. & HARROLD, L.L. "Soil Moisture Measurement with the Neutron Method Supplement Weighing Lysimeters". Soil Sci. Soc.Am.Proc. , 25:339-342, 1961.
- McILROY, I.C. & ANGUS, D.E. "The Aspendale Multiple Weighed Lysimeter Instalation". Div. of Meteor. Phys. Tech. Paper No. 14. Australia, 1963.
- ØLGAARD, P.L. "On the Theory of the Neutronic Method for Measuring the Water Content in Soil". Riso Report No. 97, Danish Atomic Energy Commission, 1965.
- PENMAN, H.L. "Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass". Roy. Soc. London Proc. Ser. A 193: 120-145, 1948.
- PHILIP, J.R. "Evaporation and Moisture and Heat Field in the Soil". J. Meteorol., 14:354-366, 1957.
- PIERCE, L.T. "Estimating Seasonal and Short-Term Fluctuations in Evapotranspiration from Meadow Crops". Bull. of Am. Met. Soc., 39:73-78, No. 2, 1958.
- RANZANI, G., FREIRE, O. & KINJO, T. "Carta de Solos do Município de Piracicaba". Centro de Estudos de Solos, ESALQ-USP., Piracicaba, 1966.

RICHARDS, L.A. & WADLEIGH, C.H. "Soil Water and Plant Growth. In Soil Physical Conditions and Plant Growth, 73-251. Academic Press, New York, 1952.

—————, GARDNER, W.R. & OGATA, G. "Physical Processes Determining Water Loss from Soil". Soil Sci. Soc. Am. Proc., 20:310-314, 1956.

RICHARDS, S.J. & WEEKS, L.V. "Capillary Conductivity Values from Moisture Yield and Tension Measurement on Soil Columns". Soil Sci. Soc. Am. Proc., 17:206-209, ... 1953.

ROSE, C.W., STERN, W.R. & DRUMOND, J.E. "Determination of Hydraulic Conductivity as a Function of Depth and Water Content for Soil in Situ". Australian J. of Soil Res. 3:1-9, 1965.

————— & ————— "Determination of Withdrawal of Water from Soil by Crop Roots as a Function of Depth and Time". Australian J. of Soil Res. 5:11-19, 1967.

SALATI, E. "Introdução ao Estudo da Água do Solo pela Moderação de Neutrons". Tese apresentada para Concurso de Livre-Docência na Cadeira de Física e Meteorologia, ESALQ, Piracicaba (SP), 1960.

SLATYER, R.O. "The Use of Soil Water Balance Relationships in Agroclimatology". Symp. on Methods in Agroclimatology, Paris, França, UNESCO/AVS/NR/207, 1966.

STONE, J.F., KIRKHAN, D. & READY, A.A. "Soil Moisture Determination by a Portable Neutron Scattering Moisture Meter". Soil Sci. Soc. Am. Proc., 19:419-423, 1965.

THORNTHWAITE, C.W. & HALSTEAD, M.H. "Micrometeorology of the Surface Layer of the Atmosphere, the Flux of Momentum, Heat and Water Vapor". Publications in Climatology, 1(2), Lab. of Clim., Seabrook, N.Y., 1954.

————— & MATHER, J.R. "The Water Budget and Its

Use in Irrigation". Water - The Yearbook of Agriculture, U.S. Dep. of Agric. 346-358, 1955.

UNO, FAO/IAEA "Summary of Discussions and Recommendations of a Meeting on Neutrons Soil Moisture Gauges". Held at the IAEA., Vienna, 16-18, 1966.

VAN BAVEL, C.H.M. "Estimation of Soil Moisture Conditions and Time for Irrigation with the Evapotranspiration Method". Agric. Res. Serv., Soils Dep., US. Dep. of Agric., North Carolina Agric. Exp. Station, Raleigh, N.C., 1955.

_____, UNDERWOOD, M. & SWANSON, R.W. "Soil Moisture Measurement by Neutrons Moderation". Soil Sci., 82:29-42, 1956.

_____, NIELSEN, D.R. & DAVIDSON, J.M. "Calibration and Characteristics of Two Neutron Moisture Probes". Soil Sci. Amer. Proc., 25:329-334, 1961.

_____ "Light-Weight Rate Meter for Neutron Soil Moisture Measurement". Note, Soil Sci. 94:418-419, 1962.

_____, NIXON, P.R. & HANSER, V.L. "Soil Moisture Measurement with the Neutron Method". US. Dept. Agric. ARS - 41-70, 1963.

_____ "Humidity and Moisture", Vol. 4, Chap. 22:171-184. Arnold Wexler Editor Reinhold Publ. Corp., New York, 1965.

_____ & STIRK, G.B. "Soil Water Measurement with an Am²⁴¹-Be Neutron Source and on Application to Evaporimetry". Journal of Hydrology, 5:40-46, 1967.

VEIHMEYER, F.J. & HENDRICKSON, A.H. "Use of Black and White Atmometers for Measuring the Use of Water by Crops, Evaporation and Solar Radiation". Third Congress of International Committee on Irrigation and Drainage, San Francisco, Cal., 1957.

VISSER, W.C. "Soil Moisture Content and Evapotranspiration".
Inst. for Land and Water Manag. Res., Tech. Bull. No.
31, Wageningen, Holanda, 1963.

————— "Moisture Requeriments of Crops and Rate of
Moisture Depletion of the Soil". Inst. for Land and
Water Manag. Res., Tech. Bull. nº 32, Wageningen, Ho
landa, 1964.

————— "A Method of Determining Evapotranspiration in
Soil Monolits". Miscell. reprints nº 25, Inst. for
Land and Water Manag. Res., Wageningen, Holanda, ...
1965.

VOMOCIL, J.A. "In Situ Measurement of Bulk Density of Soil
by Gamma-Ray Absorption Technique". Soil Sci. 77(4):
341-342, 1954.

WIND, G.P. "Capillary Rise some Applications of the Theory of
Moisture Movement in Unsaturated Soils". Inst. for
Land and Water Manag. Res. Techn. Bull. 23, Wagenin-
gen, Holanda, 1961.

WISSELING, J. "Principles of the Unsaturated Flow and Their
Application to the Penetration of Moisture into the
Soil". Inst. for Land and Water Manag. Res., Techn.
Bull. nº 23, Wageningen, Holanda, 1961

W.M.O. - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - "Guide to Hydro-
meteorological Practices", First Edition, Geneva, -
Swetzerland, 1965.

ZUR, B. "Selected Topics in Soil Physics". Mimeog. na Ca-
deira de Física e Meteorologia, ESALQ-USP., 1966.

A P Ê N D I C E

Sensibilidade do Método de Determinação da Evapotranspiração Real pela Sonda de Neutrons

A fim de se conhecer a precisão das medidas de umidade do solo, feitas através da sonda de neutrons, e também a sensibilidade do método de determinação da quantidade de água perdida pelo perfil pelo mesmo instrumento, dois experimentos complementares foram instalados, e os resultados que dêles se obtiveram se relatam a seguir.

A.1 - Erros na Determinação da Umidade

No mesmo local e com o mesmo método adotado para o experimento principal, foram feitas várias leituras em número de 12, a uma mesma profundidade (100 cm) a fim de se verificar a variação dos valores obtidos. No Quadro A.I pode-se observar êsses valores.

QUADRO A.I

Repetições Nº	θ ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)
1	0,2919
2	0,2934
3	0,2909
4	0,2918
5	0,2907
6	0,2933
7	0,2928
8	0,2932
9	0,2911
10	0,2956
11	0,2955
12	0,2940

média = 0,29285 cm³/cm³
desvio padrão = ± 0,00165 cm³/cm³
coeficiente de variação = 5,64%

A.2 - Precisão das Determinações da Evapotranspiração Real

Para saber-se do significado das determinações de ER com o método empregando a sonda de neutrons, foram comparados os dados assim obtidos com os de um lisímetro de pesagem.

Um recipiente de 0,15 m³ de volume, tendo no meio um tubo para acesso à sonda de neutrons, foi colocado sobre uma balança. Encheu-se o recipiente com solo compactado naturalmente ($d_a = 1,3 \text{ g/cm}^3$) e adicionou-se cerca de 40 litros d'água. O conjunto ficou exposto à radiação (EP $\approx 0,3 \text{ cm/dia}$) e por isso submetido a um processo de evaporação. Tomaram-se periodicamente as leituras de contagens por minuto com a sonda de neutrons; através da balança determinava-se o total de litros d'água remanescentes no recipiente. Os dados obtidos encontram-se no Quadro A.II, bem como a análise de regressão linear realizada. A figura A.1 ilustra a reta dos valores assim obtidos.

QUADRO A.II

Relação existente entre o número de contagens por minuto e a quantidade de água existente no recipiente

(x) Água (litros)	(y) Contagem (c.p.m.)
37,8	22.750
35,6	21.223
33,4	19.996
30,7	19.466
28,5	18.645
26,2	17.736
23,8	17.074
21,9	15.741
20,1	15.241
18,4	14.925
17,0	14.166
15,9	13.621
14,9	12.992
14,0	12.522
13,1	12.360
11,6	11.919
10,2	10.961

Causa da Variação	GL	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F
Regressão linear	1	198.123.119	198.123.119	2701,87
Resíduo	15	1.099.923	73.328	(xxx)
Total	16	199.223.042		

$$Y = 7.127 + 402,47 \cdot X$$

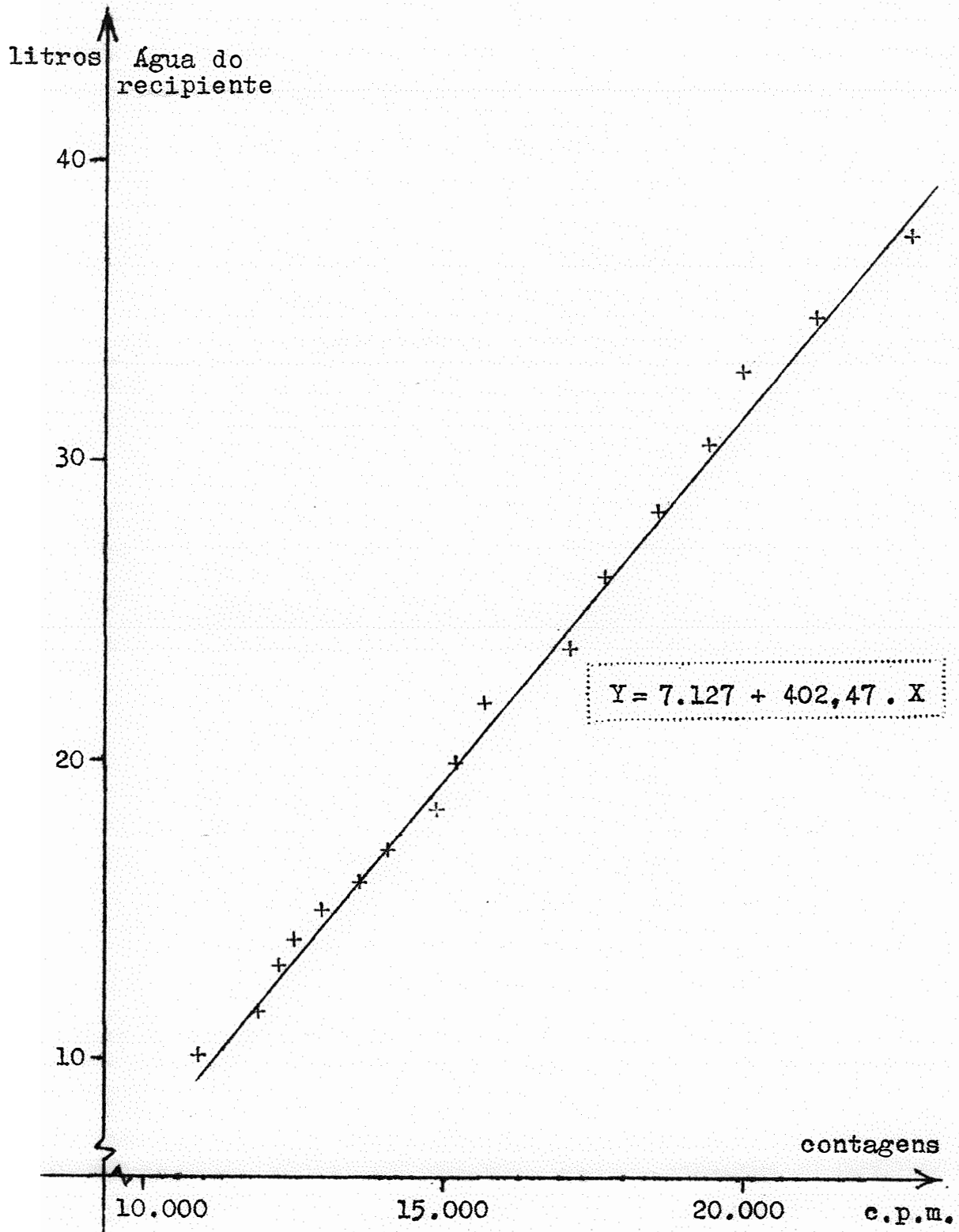


Fig. A-1 - Litros de água existentes num recipiente com solo, em função do número de contagens por minuto obtidos pela sonda de neutrons.