

O MÉTODO DAS CAVIDADES CILÍNDRICAS
NA DETERMINAÇÃO DA
CONDUTIBILIDADE HIDRÁULICA
E SUA APLICAÇÃO NA DRENAGEM.

por

Helio A. Manfrinato
Engenheiro—Agrônomo

Tese de doutoramento apresentada à
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz",
da Universidade de São Paulo

Piracicaba - Estado de São Paulo
BRASIL
1961

Minha esposa e meus filhos.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Justo Moretti Filho

professor catedrático em exercício da 6a. Cadeira, pelo incentivo que nos proporcionou, pela ajuda inestimável na solução de alguns de nossos problemas e, principalmente, pelo zelo que dispensou na revisão do texto desta tese.

Ao Prof. Dr. Edgar do Amaral Graner

professor catedrático da 4a. Cadeira, pelas facilidades e concessões feitas no que tange a área para a instalação do experimento.

Ao Prof. Dr. Guido Ranzani

professor catedrático da 13a. Cadeira, pelas análises de solo feitas nos laboratórios de Agricultura Geral.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização do presente trabalho.

I · N · D · I · C · E

	Pag.
1- INTRODUÇÃO.	1
1.1- Natureza e Importância do Problema	1
1.2- Importância da Condutibilidade Hidráulica para a Drenagem.	2
1.3- Permeabilidade, Condutibilidade Hidráulica e Infiltração.	6
2-REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.	9
3-MATERIAL E MÉTODO	19
3.1- Material.	19
3.1.1- Área	19
3.1.2- Equipamento.	24
3.2- Métodos.	28
3.2.1- Método para determinação no campo.	28
3.2.2- Método de análise.	35
3.2.3- Particularidades do método	36
4- RESULTADOS OBTIDOS.....	39
4.1- Correção da Condutibilidade Hidráulica á Temperatura de 20°C. ..	46
5- ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	50
5.2- Determinação do Número Mínimo de Amostras. X. X. X. X. X. X. X.	53
5.2.1- Número de amostras nas glebas...	53
5.2.2- Número de amostras por hectare.	53
5.3- A Influência da Relação h/d.	54
6- DISCUSSÃO.	55
7- CONCLUSÕES.	57
8- RESUMO.	59
9- BIBLIOGRAFIA.	61

1. INTRODUÇÃO

1.1-Natureza e importância do problema - A importância do conhecimento da condutibilidade hidráulica do solo se manifesta em vários setores de atividades técnicas que têm íntima relação com o solo.

A construção de estradas pavimentadas, a localização de represas de pequena ou grande capacidade, embasamentos ou fundações e vários outros exemplos, requerem do profissional uma investigação preliminar das condições do solo e subsolo, onde a condutibilidade hidráulica constitui um dos itens a ser considerado, para que o empreendimento seja bem sucedido.

O estudo da drenagem, sob todos os aspectos, tem hoje a condutibilidade hidráulica do solo como um dos fatores mais importantes, podendo, em certas circunstâncias, ser inclusive fator limitante. Por exemplo, a questão do espaçamento e da profundidade dos drenos depende diretamente dessa propriedade. Contudo, a maneira de se determinar essa característica do solo tem evoluído só recentemente, e o seu estudo se deve mais pelas pesquisas sobre drenagem do que pelo conhecimento através da própria definição.

O aproveitamento de extensas áreas para a agricultura tem reclamado dos estudiosos um conhecimento mais profundo do problema. Inúmeros fracassos técnicos têm se verificado em virtude de instalações de sistemas de drenagem, baseados tão somente em conhecimentos empíricos, notadamente obsoletos, para trabalhos de grande envergadura.

Pesquisas preliminares sobre as condições do solo e a maneira de como este responde ao método de drenagem empregado são tão necessárias como o conhecimento da própria técnica em si. Isso equivale a dizer que um não prescinde do

outro. Ambos quando bem entrosados conduzem a resultados se guros e mais eficientes, estimulando inclusive pelo seu lado econômico.

O objetivo do presente trabalho é uma tentativa de proporcionar esclarecimentos através de resultados concre tos, sôbre os mais recentes métodos de determinação da condu tibilidade hidráulica do solo, diretamente no campo. Da revi são bibliográfica sôbre o assunto, selecionamos um método , que julgamos essencialmente simples e prático, o qual empregamos na parte experimental dêste trabalho, observando suas limitações e obtendo algumas conclusões não antes verifica - das.

Embora tenhamos consultado autoridades no assun to, quer nos parecer que o método aqui estudado ainda não se encontre em uso em nosso meio. Todavia, não só através da bi bliografia existente como também de correspondência direta , temos conhecimento de que a determinação da condu tibilidade hidráulica no campo, pelo método que empregamos neste traba lho, é largamente difundida nos EE.UU. e também em alguns - países da Europa.

1.2-A Importância da Condutibilidade Hidráulica para a Drenagem - Como citamos anteriormente, a condu tibilidade hidráulica é um fator de grande valor nos projetos de drenagem, onde o espaçamento e a profundidade dos drenos lhe estão afetos, principalmente o espaçamento.

Do ponto de vista econômico isso é evidente. I magine-se um sistema de drenos paralelos já estabelecidos nu ma gleba, à distância de 20m um do outro, sem que se houvesse determinado convenientemente as possibilidades do solo pa ra êsse espaçamento. Posteriormente examinou-se a sua condu

tibilidade hidráulica, e os cálculos mostraram que tal espaçamento poderia ser em torno de 40m. Isso nos permite concluir que a inversão de capital em material (manilhas, etc.) e mão de obra foi duplicada, no primeiro caso. Casos parecidos a esse não são difíceis de serem encontrados.

Uma das equações mais usadas para determinar-se o espaçamento dos drenos é a que HOOGHOUTD (1937) desenvolveu, baseado na equação da elipse, cuja expressão é a seguinte:

$$E^2 = \frac{4 K (H^2 - h^2)}{v} \quad (1) \quad \text{Onde}$$

- E - distância entre os drenos;
- K - condutibilidade hidráulica;
- H - altura máxima permitida para o lençol; de água a partir da camada impermeável;
- h - idem para a água dos drenos;
- v - precipitação média, por hora, sobre a superfície do solo.

Representação Gráfica

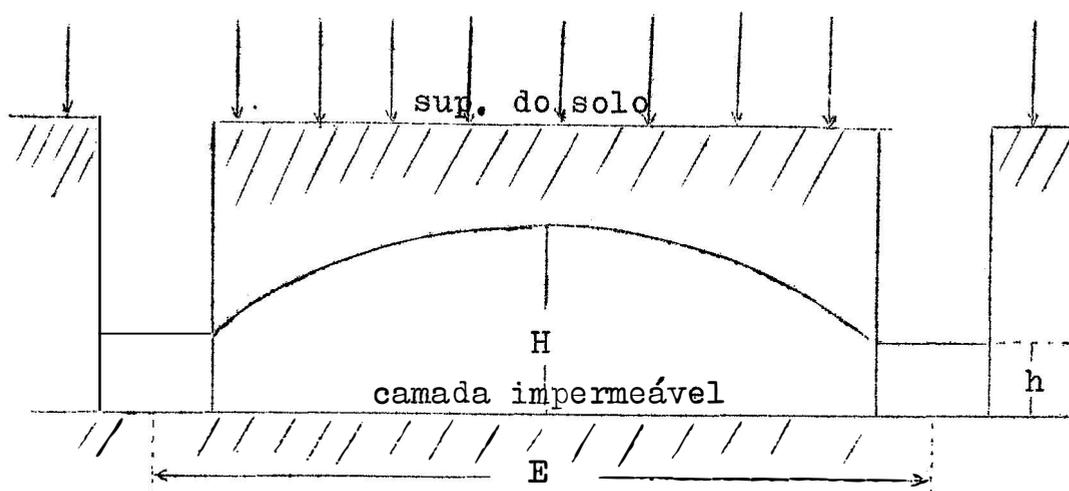


Fig. 1 - O lençol de água assume a forma semi-elíptica.

Atualmente essa equação de Hooghoudt é largamente empregada na Holanda, com bons resultados nos projetos de drenagem, fato esse que tem recomendado o seu uso também para o cálculo da drenagem em áreas irrigadas. Nos Estados Unidos da América do Norte, ela é empregada na Califórnia e, com alguma modificação, em outros estados.

Para evidenciar o valor do fator K da fórmula-- em aprêço, apresentamos os resultados do Quadro I, onde calculou-se o espaçamento dos drenos em função da profundidade-- dos mesmos e da condutibilidade hidráulica, para as classes-- já universalmente estabelecidas (LUTHIN, 1958).

QUADRO Nº 1
 A PROFUNDIDADE E ESPAÇAMENTO PARA DRENOS DE MANILHA

CONDUTIBILIDADE HIDRAULICA (%)	ESTAÇAMENTO EM TUBOS DOS DRENOS DE MANILHA A PROFUNDIDADE DE									
	0,90m	1,20m	1,50m	1,80m	2,10m	2,40m	2,70m	3,00		
Vel.	4,50-9,0	6,0-12,0	7,50-15,0	9,0-18,0	10,5-19,5	10,5-19,5	13,0-26,0	14,5-29,0		
M. Vel.	9,0-18,0	12,0-24,0	15,0-30,0	18,0-36,0	19,5-42,0	19,5-42,0	26,0-52,5	29,0-58,0		
Mod.	18,0-33,0	24,0-43,5	30,0-54,0	36,0-63,5	42,0-73,5	42,0-73,5	52,5-93,0	58,0-102,5		
M. Rep.	33,0-46,5	43,5-61,5	54,0-76,5	63,5-90,0	73,5-104,0	73,5-104,0	93,0-131,5	102,5-146,0		
Rep.	46,5-66,0	61,5-87,0	76,5-108,0	90,0-125,0	104,0-147	104,0-147	131,5-185,0	146,0-205,0		

1.3-Permeabilidade, Condutibilidade Hidráulica e Infiltração - O termo permeabilidade tem sido empregado -- muitas vezes com alguma impropriedade. Ora ela significa uma qualidade de um meio poroso, ora uma quantidade, como o fator de proporcionalidade da lei de Darcy.

Segundo a recomendação da Comissão do "Soil Science Society of America" L.A.RICHARDS (1952), o termo permeabilidade pode ser usado nos dois sentidos: qualitativo e -- quantitativo. De acordo com a definição dos dicionários, Permeabilidade é uma qualidade ou estado de um meio poroso referente a sua presteza em conduzir ou transmitir os fluidos. -- Do ponto de vista quantitativo, aquela Comissão recomendou o termo permeabilidade intrínseca, para a mesma qualidade do meio poroso mas cuja determinação é feita sob condições específicas, Neste caso a permeabilidade tem uma dimensão de comprimento elevada ao quadro $(l)^2$ e é independente do fluido usado em sua determinação. Segundo REEVE R. C. (1957) essa dimensão está relacionada com a forma, tamanho e arranjo das partículas do meio poroso.

Por meio da equação de Darcy, podemos demonstrar essa afirmação:

$$K = Q \frac{2}{\rho g} \cdot \frac{dl}{dh} \cdot \frac{l}{A} \quad (2)$$

$$K = (l^3 t^{-1}) (m l^{-1} t^{-1}) (l^{-1} l^3) (l^{-1} t^2) (l^{-2}) = l^2$$

$$K = l^2$$

Mas, a dimensão da permeabilidade intrínseca -- por ser expressa em cm^2 , não se presta convenientemente para o uso em trabalhos de Engenharia, principalmente com referência à drenagem. Nesse setor, precisamos estudar a permeabilidade encarada como velocidade, na forma dimensional l/t .

Em visto disso, aquela comissão estabeleceu um novo termo que passou a ser a expressão que realmente representa o fator da proporcionalidade, na lei de Darcy; é a condutibilidade hidráulica.

Ela tem uma dimensão de velocidade expressa em m/h ou cm/h, sendo bastante vantajosa porque facilmente podemos relacioná-la com as medidas das precipitações pluviométricas e medições de água. Dessa forma, é necessário levar-se em conta além do fluido usado, a temperatura tomada na ocasião de cada determinação, pois que ambos têm influência marcante sobre o resultado.

A condutibilidade hidráulica pode ser expressa sob a seguinte forma:

$$K = k \frac{\rho g}{\eta},$$

Onde:

K - condutibilidade hidráulica;

k - permeabilidade intrínseca;

- densidade do fluido;

g - força da gravidade;

- viscosidade do fluido.

Quanto ao emprego do termo infiltração como sinônimo de permeabilidade tal como às vezes se encontra em alguns trabalhos, constitui uma impropriedade. Atualmente essa propriedade física do solo está muito bem definida, de forma a não deixar margem a engano.

ROE e AIRES (1954) definem infiltração como sendo o movimento da água através da superfície do solo, penetrando em direção das partes mais profundas. Contudo de um modo geral esta ação não vai além de 30cm de profundidade ,

que seria o nível onde então prevaleceriam as leis da permeabilidade.

Assim sendo, no estudo da drenagem, a infiltração ocupa lugar de pequeno destaque, cabendo à condutibilidade de hidráulica o papel preponderante.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O fato de que os problemas de drenagem envolvem sempre a idéia de um solo encharcado, com o lençol de água - muito superficial foi, provavelmente, o motivo que levou alguns técnicos a pesquisar a condutibilidade hidráulica nessas condições de campo. Com exceção do Método de Muntz, Faure e Laine e mais tarde Donnan, W.W., Aronovici, V.S. e Blaney Harry F., determinações da permeabilidade do solo sempre foram estudadas somente em laboratório, com aparelhos denominados Permeômetros.

O método de MUNTZ, FAURE e LAINE, descrito por RISLER (1931), bastante antigo (1907), deixa muito a desejar principalmente porque se baseia na capacidade de infiltração do solo, ou como RISLER cita, "a aptidão da terra de receber água". Esse fato por si só, demonstra que a não ser pelo seu tido pioneirista na pesquisa de campo o trabalho não apresenta outro valor. Esboçam também nesse trabalho uma classificação da permeabilidade, baseada na natureza do solo.

DONNAN, W.W., ARONOVICI, V.S. e BLANEY, HARRY - F. (1947), conforme citado por ROE e AIRES (1954), estudaram as determinações quantitativas da permeabilidade usando três métodos: determinação no campo, determinação direta em laboratório e determinação indireta em laboratório.

As determinações no campo consistiram em abrir-se uma cavidade no solo até atingir o seu lençol d'água e dispondo-se em volta da mesma um conjunto de piezômetros. Esgotando-se continuamente a cavidade, de uma certa quantidade de água, com auxílio de uma bomba aspirante, o lençol de água, adjacente a cavidade se deprime segundo uma curva descendente. Esta curva é obtida pela linha que liga os níveis-

de água dos piezômetros (linha piezométrica). A permeabilidade seria determinada em função do volume de água bombeado e das alturas piezométricas. Este método exige um equipamento considerável e absorve um tempo apreciável para cada determinação. Devido a isso, e porque um grande número delas é necessário para se obter uma média representativa, o método é pouco recomendável.

As determinações diretas em laboratório se fizeram com permeâmetros, empregando-se amostras de solo tomadas no campo mas sem alteração da sua estrutura natural.

A amostra era colocada num cilindro de metal e sob condições especiais media-se o volume de água capaz de atravessá-la em um determinado tempo. Levando-se em conta o tamanho (altura) da amostra, a carga hidráulica atuando sobre ela, a área da seção transversal do cilindro, de acordo com a lei de Darcy, temos:

$$Q = K \cdot a \cdot H/L,$$

Onde

Q = volume da água que atravessou a amostra na unidade de tempo;

K = coeficiente de permeabilidade;

a = área da seção transversal;

H = carga hidráulica agindo sobre a amostra;

L = comprimento da amostra.

Dai facilmente obtém-se o valor de K.

As determinações indiretas em laboratório consistiram num estudo de correlação entre a permeabilidade e a porcentagem de limo mais argila contida no solo. Dessa forma, procederam à análise granulométrica de um grande número de amostras, bem como a determinação das suas permeabilidades ,

sendo que os resultados mostraram uma correlação concordante, quando os valores de K variavam entre 1 e $30\text{cm}^3/\text{cm}^2/\text{hora}$.

Estes três métodos foram considerados satisfatórios conforme relatório apresentado por aqueles pesquisadores americanos (Donnan e outros, 1954).

KIRKHAM, DON. (1945) propõe a teoria para determinar a condutibilidade hidráulica do solo diretamente no campo onde o lençol de água seja bem superficial.

Logo após vieram a luz outros trabalhos, RICHARD e KIRKHAM (1948), LUTHIN e KIRKHAM (1949) em torno do mesmo assunto, descrevendo três métodos principais:

a) Método do tubo; b) Método do Piezômetro e c) Método das Cavidades Cilíndricas, sendo todos eles de princípios idênticos, que resumidamente obedece o desenvolvimento que se segue.

Em terrenos com lençol de água bem elevado, abre-se uma cavidade ou introduz-se no solo um tubo até certa profundidade. A água imediatamente começa a encher essa abertura até equilibrar-se ao nível do lençol de água. Mede-se a distância desse ponto até a superfície do solo e em seguida retira-se toda a água. Naturalmente forma-se um gradiente hidráulico, dado pela altura que vai do ponto de equilíbrio até o fundo da cavidade. Nessas condições o tempo requerido para a água se elevar é observado a certos intervalos, registrando-se o tempo gasto e o intervalo percorrido. Esses dados são aplicados em uma fórmula apropriada e a condutibilidade hidráulica é determinada.

A diferença marcante entre os três métodos está em que a cavidade cilíndrica é uma simples perfuração no terreno, enquanto que os outros dois, exigem emprego de um tubo de metal que se o introduz no solo. No caso do piezômetro é

se tubo tem 5cm de diâmetro interno, enquanto que para o outro, o diâmetro é de 20cm. Outra diferença entre estes últimos é que no método piezométrico, depois que o tubo é enterrado à profundidade desejada, o operador deve abrir uma cavidade de 10cm de comprimento, no prolongamento inferior do mesmo, com o auxílio de um trado especial que possa penetrar pelo próprio tubo piezométrico. Essa cavidade recebe o fluxo da água que subirá pelo tubo. No caso do método do tubo de maior diâmetro, essa cavidade é dispensada.

O método da determinação da condutibilidade hidráulica no campo, por meio das cavidades cilíndricas foi iniciado na Europa, sendo proposto por E. DISERENS (1934) e aperfeiçoado por S. B. HOOGHOUTT (1936). Ele se baseia no fato de que uma cavidade aberta num local sob as condições supra citadas se encherá de água até a altura do lençol de água estático. Retirando-se essa água por um meio qualquer, a cavidade se encherá novamente depois de decorrido um certo tempo, o que dependerá da condutibilidade hidráulica do solo, a dimensão da cavidade, e altura do lençol de água na mesma. Hooghoudt criou o processo para medir essa Condutibilidade.

Este autor considera em seu trabalho que o lençol de água em volta da cavidade não baixa em sua altura, quando a água é retirada da mesma. Segundo LUTHIN (1957), essa condição não é encontrada depois que a operação foi repetida algumas vezes. Hooghoudt afirma também que a água caminha para a cavidade no sentido horizontal e para o fundo da mesma no sentido vertical.

Realmente, hoje outros experimentadores já provaram que esse movimento da água é curvilíneo. (VAN BAVEL, 1949)

A equação proposta por Hooghoudt é a seguinte:

$$K = \frac{2,3 r S}{(2d + r)t} \cdot \log_{10} \frac{Y_1}{Y_2} \quad (4)$$

$$K = \frac{2,3 r S}{2 dt} \cdot \log_{10} \frac{Y_1}{Y_2} \quad (5)$$

Onde

$$S = 0,19 rd$$

A primeira expressão (4) é aplicada em casos em que a cavidade não atinge a camada impermeável e a segunda - (5), quando o fundo dela atinge essa camada. Os demais valores da equação se representam por:

r - raio da cavidade; d - distância do nível do lençol de água ao fundo da cavidade; Y_1 e Y_2 - duas diferentes alturas da água ao elevar-se na cavidade; t - tempo gasto para a água elevar-se entre essas duas alturas.

Segundo LUTHIN (1957) essas fórmulas são corretas para um erro de 10 a 20% se as leituras são feitas antes que a elevação da água atinja 1/4 do total.

ERNST L. F. (1950) reexaminou o problema das cavidades cilíndricas e com o auxílio de análises numéricas desenvolveu uma equação que pode ser usada na determinação da condutibilidade hidráulica, para os casos em que a camada impermeável se localiza a grandes profundidades abaixo do fundo da cavidade. A fórmula de Ernst é a seguinte:

$$K = \frac{4.000}{(20+h/r) (2-y/h)} \cdot \frac{r}{y} \frac{\Delta y}{\Delta t} \quad (6)$$

Onde

K = condutibilidade hidráulica;

Δy = elevação da superfície da água durante um intervalo de tempo Δt ;

h = profundidade da água na cavidade antes de

esgotá-la;

y = distância entre a elevação da superfície da água na cavidade no instante da leitura e a elevação antes de esgotá-la;

r = raio da cavidade.

De acôrdo com Ernst o valor de K é aproximado , com uma variação de 20% aproximadamente.

Ernst condiciona também que tôdas as determinações devem ser efetuadas antes que o reenchimento da cavidade atinja 25% do seu volume.

KIRKHAM e van BAVEL (1949) têm o mérito de trazer para a América os trabalhos dos pesquisadores europeus e desenvolverem uma teoria mais profunda, aliada a uma técnica de campo mais rigorosa.

Publicaram dois trabalhos naquele ano. No primeiro consideraram que o lençol de água era estático, durante as determinações, isto é, mesmo depois que a água fosse esgotada o lençol mantinha-se inalterado em tórno da cavidade.

Dessa maneira demonstraram que a carga hidráulica se distribui igualmente de alto a baixo da cavidade. Apresentaram então um gráfico que mostra como se distribuem as linhas de cargas hidráulicas iguais (equipotenciais) e as linhas de fluxo, procurando assim explicar o comportamento do gradiente hidráulico, inclusive a sua dissipação ao atingir o lençol de água estático. Por aí verifica-se que o seu valor máximo se localiza nas proximidades do fundo da cavidade. Por êsse motivo concluíram êsses autores que as leituras devem ser efetuadas próximas ao fundo da cavidade.

Quanto às linhas de fluxo, isto é, as que repre

sentam o caminhamento da água às paredes da cavidade e responsáveis pelo reenchimento da mesma, são perpendiculares às equipotenciais. Contudo, a medida que a cavidade vai-se enchendo, as linhas de fluxo tornam-se perpendiculares à parede nessa porção, porque a superfície da parte cheia é considerada uma equipotencial.

No segundo trabalho van BAVEL C.H.M. e DON KIRKHAM (1949), trataram do problema de maneira menos teórica, isto é, apresentaram resultados de testes de campo, realizados com um aparelho dotado de um circuito elétrico. Partindo de algumas deduções que já figuravam no primeiro trabalho - chegaram a uma fórmula matemática para determinar a condutibilidade hidráulica, cuja expressão é a seguinte:

$$K = - \frac{2,303 \pi r^2}{A} \cdot \operatorname{tg} \beta \quad (7)$$

Sendo que os valores de A e $\operatorname{tg} \beta$ devem ser obtidos por meio de cálculos. O fator A se determina por meio da fórmula seguinte, deduzida pelos autores:

$$A = \frac{16 \operatorname{rd}}{\pi (d-h)} F (h/d \cdot r/d) \quad (8)$$

Contudo, para simplificar o cálculo e dar um cunho prático à determinação, os autores oferecem um gráfico onde num sistema de coordenadas o valor de A pode ser obtido rapidamente. Dessa forma a relação r/d é representada no eixo das abcissas e A no eixo das ordenadas. As curvas desse gráfico representam os valores da relação s/d para dois casos: quando $h/d = 0$ (cavidade vazia) e $h/d = 0,5$ (cavidade com metade de água).

KIRKHAM (1955) publicou novo trabalho onde uma equação mais simples é apresentada e que se aplica para determinar a condutibilidade hidráulica em cavidades, cujo fun

do assenta sobre a camada impermeável.

$$K = 0,617 (r/Sd) \cdot \Delta y/\Delta t \quad (9)$$

Onde

S é uma constante geométrica dada por

$$S = \cos \frac{\pi h}{2 d} \cdot \frac{K_1 \left(\frac{\pi r}{2d} \right)}{K_0 \left(\frac{\pi r}{2d} \right)} - \frac{1}{3^2} \cos \frac{3 \pi h}{2 d} \\ \cdot \frac{K_1 \left(\frac{3 \pi r}{2 d} \right)}{K_0 \left(\frac{3 \pi r}{2 d} \right)} + \frac{1}{5^2} \cos \frac{5 \pi h}{2 d} \\ \cdot \frac{K_1 \left(\frac{3 \pi r}{2 d} \right)}{K_0 \left(\frac{5 \pi r}{2 d} \right)} \quad (10)$$

na qual $K_0 (\pi r/2d)$ e $K_1 (\pi r/2d)$ são função Bessel definidas por séries infinitas.

SPANGLER M.G. (1951) tabulou os valores $K_0 (x)$ e $K_1 (x)$ e preparou um gráfico com vários valores de S , em função das relações h/d (no eixo das abcissas) e r/d representada pelas curvas.

Acreditamos que seja esse um dos meios mais simples para a utilização da fórmula que determina a condutibilidade hidráulica.

No entanto, sendo o valor d muito variável, as seis curvas para a relação r/d apresentadas no gráfico de Spangler são insuficientes. Este é o único inconveniente que se nos afigura.

JOHNSON H.P. (1952) e outros, estudando os métodos de determinação da condutibilidade hidráulica, pelas cavidade cilíndrica e pelo piezômetro, propuzeram o emprego da fórmula seguinte:

$$K = \frac{\pi r^2 (L_1 - L_2)}{A (t_2 - t_1) \left[\frac{(L_2 + L_1)}{2} - Lr \right]}, \quad (11)$$

cujos valores são obtidos diretamente das leituras de campo e o fator A, por meio de um gráfico. Esse fator nada mais é do que a constante mencionada por van BAVEL (1949) e, posteriormente por KIRKHAM (1955).

Johnson apresenta um gráfico para determinar o valor de A, bastante prático. Além disso construiu um nomograma, para cálculos mais rápidos da condutibilidade hidráulica, desde que se utilizem das condições por ele especificadas para o método das cavidades cilíndricas.

RENE DONALD C. e DON KIRKHAM (1951), fizeram um estudo comparativo entre os três métodos citados e mais o de laboratório com os aparelhos denominados permeâmetros valendo-se, para este último, de amostras de solo retiradas do campo, preservada a estrutura natural das mesmas. Para calcular a condutibilidade hidráulica pelo método das cavidades cilíndricas aplicou uma fórmula levemente modificada, ou seja:

$$K = \frac{\pi r^2}{A (d-h)} \frac{\Delta h}{\Delta t}, \quad (12)$$

onde o valor de A foi obtido conforme a equação (8) proposta por van Bavel, considerando que s é igual a zero, isto é, que o fundo da cavidade esteja assentado sobre a camada impermeável.

Certamente nem sempre se encontra essa condição no campo, visto que o fundo da cavidade poderá estar, às vezes, acima da camada impermeável, a uma distância s .

Segundo Reeve e Kirkham, se, entretanto, a profundidade d da cavidade (abaixo do lençol de água) é muito grande em relação ao raio r da mesma ($d \gg r$), pode-se considerar s igual a zero para empregar-se a equação (8), a fim de calcular os valores de A.

No estudo comparativo realizado por esses pesquisadores, verificou-se que no mesmo tipo de solo pode-se encontrar uma grande variação de resultados, não só dentro do método como também entre os métodos. As determinações realizadas em laboratório, através de permeômetros, foram as que apresentaram o maior coeficiente de variação.

Duas foram as causas indicadas pelos autores como responsáveis pelas grandes variações nos resultados da condutibilidade hidráulica: anisotropia do solo e a ocorrência de canaliculos formados pelas raízes de plantas. Estes afetam, principalmente, as amostras analisadas em laboratório.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1. - Material

3.1.1 - Área

O material utilizado às nossas observações cons tou de instrumentos vários, alguns dos quais, por nós mesmos con struídos (Figs. ns. 2 e 3). Prestou-se às nossas determi naç ões uma área de terra sem cobertura (Fig. nº 5) situada - às margens do Rio Piracicaba, dentro do perímetro da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", e entregue aos - cuidados da 4ª cadeira, Agricultura Especial. Nessa área e x iste um sistema de drenagem funcionando satisfatòriamente.

Dentro dessa área, de aproximadamente cinco hec tares, destacamos duas glebas que se prestavam para o experi men to, denominando-as de Gleba I e Gleba II, respectivamente. A primeira com 5.560m^2 e a segunda com 5.940m^2 .

Assim o fizemos por dois motivos principais: - primeiro, porque o método por nós empregado exige que o lençol de água esteja bem à superfície; segundo, porque o nosso propósito não era conhecer a área em si, mas estudar o méto do e seu comportamento, em relação à condutibilidade hidráulica.

Verificamos de início, que não podíamos dispor de uma situação muito favorável quanto ao lençol de água, em virtude do prolongado período de seca que atravessávamos. Is so, sem dúvida, veio dificultar nossas observações, limitando as determinações de campo. Devido a isso, procuramos exe cutá-las, antes que os encarregados da manutenção e limpeza

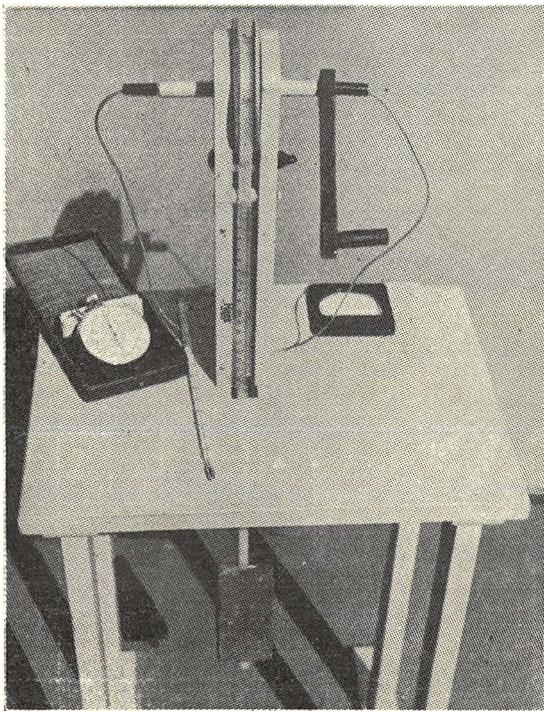


Fig. n. 2 — Ponta de Medida



Fig. n. 3 — Dispositivo para retirada de água da cavidade



Fig. n. 4 — Detalhe do tipo de drenagem existente.
Assinalação do nível atingido pela água, quando da obstrução dos drenos

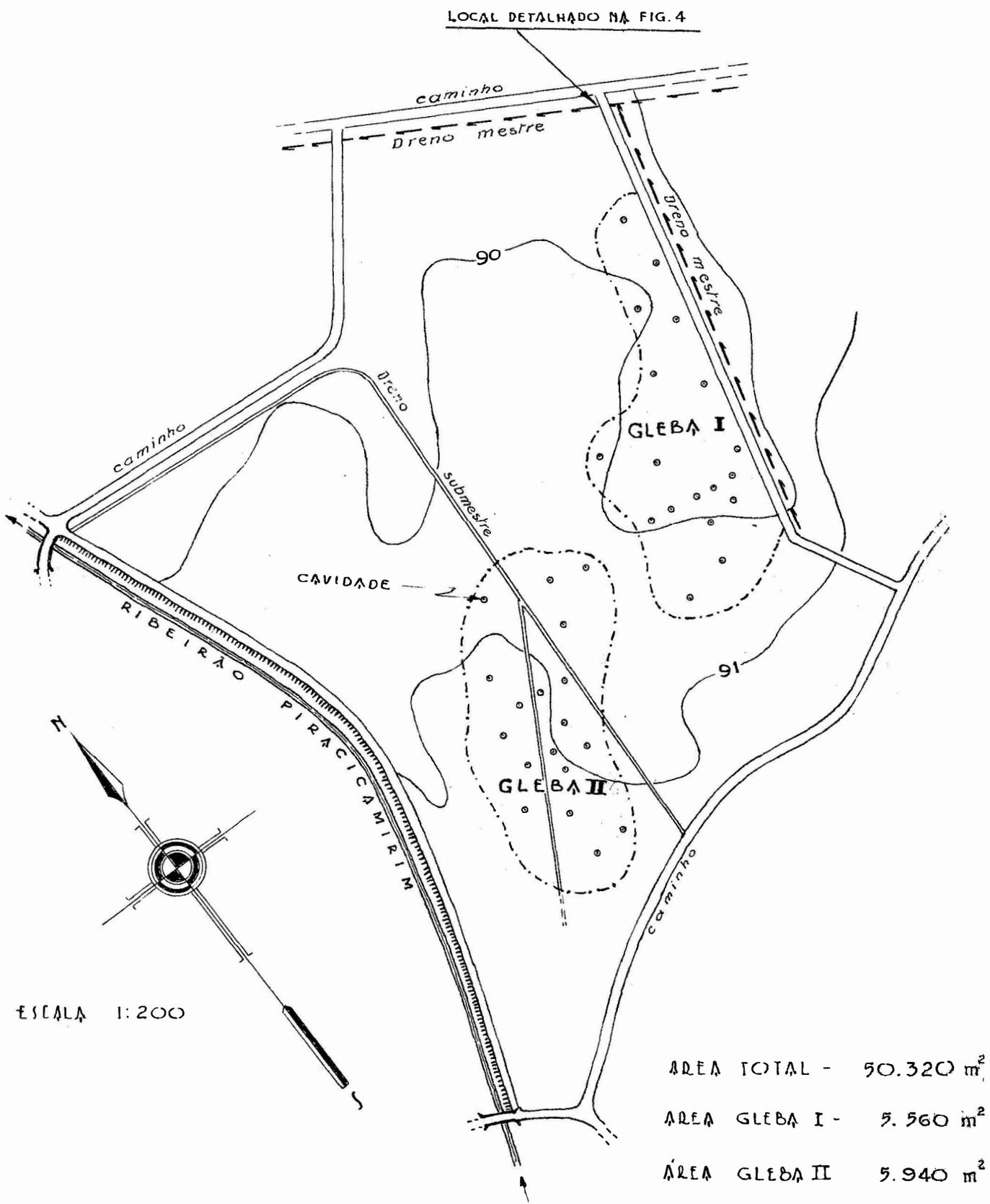


Fig. nº 5 - Planta da área que se prestou às determinações, com destaque das glebas I e II.

dos drenos iniciassem seus trabalhos rotineiros. Dada a obstrução temporária dos canais mestres e submestres, a água se infiltrava pelas adjacências provocando o fenômeno inverso - da drenagem (Fig. nº 4). Dessa forma, tôdas as cavidades foram abertas numa faixa de 20 a 40 metros de cada lado dos drenos, onde, devido ao encharcamento, o lençol de água se apresentava bem elevado.

Devemos esclarecer que em condições normais, na época das chuvas, o lugar indicado para as determinações da condutibilidade hidráulica, num terreno semelhante, através de qualquer método de campo, seria a linha que passasse ao meio da distância entre os dois drenos paralelos (Fig. nº 1). Aí se localiza o ponto mais alto do lençol de água, pois ele forma um arco igual à semi-elipse, cujas extremidades estão nos drenos e a parte mais elevada da curva, na metade da distância entre os mesmos. Todavia, a existência de um sistema de irrigação por aspersão em cafezal da 4ª Cadeira, à montante da Gleba II, veio atenuar os inconvenientes da seca prolongada.

Nos períodos em que se processava a irrigação, a água livre, percolando mais profundamente, escoava-se sobre a camada impermeável, chegando até àquela gleba onde podia quase aflorar.

Quanto às características físicas do solo em que trabalhamos, os dados podem ser apreciados no Quadro nº. 1. A gleba I se apresentava com uma camada turfosa, logo após 30 ou 40cm de solo superficial. Essa camada turfosa, cuja espessura variava de 10 a 50cm ou mais, não era totalmente constituída de matéria orgânica. Esta representava uma porcentagem de 51 a 66%, sendo o restante, matéria mineral. Esse fato garantia uma conformação desejável da cavidade, is

to é, de forma cilíndrica. A despeito de se supor que por ser predominantemente turfosa, seria muito permeável, verificamos, ao computarmos os dados, que nem sempre tal acontecia.

Muitas cavidades que foram abertas deixaram de ser aproveitadas pela falta de consistência das suas paredes, isto porque as camadas de solo existentes a certas profundidades apresentavam um teor elevado de areia grossa. O fluxo de água em direção à cavidade, arrastava consigo essa areia, solapando e comprometendo a forma cilíndrica da cavidade. Em solos dessa natureza tornava-se difícil a determinação da condutibilidade hidráulica pelo método em estudo, e acreditamos seja essa uma das suas limitações.

As delimitações das duas glebas dentro da área em estudo, se fizeram levando-se em conta principalmente, a existência do lençol de água superficial. Foram também determinadas algumas características físicas do solo em laboratório, conforme os dados do Quadro nº 1, enquanto que o lençol de água, por meio de perfurações com um trado próprio para a retirada de amostras.

QUADRO Nº 1

ALGUMAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO								
Gleba	Camadas	Mat. Org.	Umid. Equiv.	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA				
				>2mm	2-0,2	0,2-0,02	0,02-0,002	<0,002
I	-	-	-	14,54%	17,81%	22,36%	8,54%	36,75%
I	Turfosa	58,5%	50,3%	-	-	-	-	-
I	Mineral	-	-	8,45	21,73	41,43	3,66	24,73
II	-	-	19,3%	-	34,60	30,40	6,63	28,37

A Análise Granulométrica mostra os diâmetros dos constituintes do solo: > 2mm - cascalho fino; 2 - 0,2mm - areia grossa; 0,2 - 0,002 - areia fina; 0,02 - 0,002 - limo; <0,002 - argila.

3.1.2 - Equipamento

O equipamento para as determinações constou do seguinte: a) trado de 10cm de diâmetro; b) dispositivo para esgotar à água da cavidade; c) ponta de medida; d) cronômetro; - e) termômetro comum; f) trena de aço de 2 metros.

O trado usado para as nossas perfurações tem a mesma forma e dimensão daqueles mencionados nos trabalhos realizados por van BAVEL e KIRKHAM (1949) ou seja, de 10cm de diâmetro. Embora Van Bavel e Kirkham tenham usado também trado de 20cm de diâmetro, concluíram que o primeiro oferece maior facilidade, com resultados igualmente satisfatórios. A haste do trado deve ter extensões que permitam trabalhar a profundidades maiores.

O dispositivo para retirar à água da cavidade - pode ser uma bomba aspirante premente manual, como usaram os experimentadores anteriormente citados, ou qualquer outro que possibilite essa operação. Não pudemos conseguir bons resultados com a bomba, principalmente porque as primeiras porções de água retiradas, acompanhadas de grande quantidade de lama, obstruíam as tubulações, chegando mesmo a bloquear o pistão.

Experimentamos então um sistema diferente e que nos possibilitou a operação de modo mais rápido e eficiente - (Fig. nº 3). Com uma chapa galvanizada e bem fina construímos um tubo de um metro de comprimento e de diâmetro um pouco menor do que o da cavidade. A extremidade que se dirigia ao fundo da cavidade era fechada por meio de uma arruela de borracha, à guisa de válvula, colocada internamente ao tubo. Na outra extremidade aberta, soldamos uma haste de metal, tendo 1,50m de comprimento, por meio da qual o tubo era introduzido na cavidade. Dessa forma, a água fazendo pressão de baixo para cima, a-

bria a válvula e penetrava no tubo. Quando este era retirado, o próprio peso da água fechava a válvula e, assim o esgotamento da cavidade tornou-se mais fácil e mais rápido do que com a bomba. Visser, professor da Netherlands Agricultural University, foi o primeiro a usar um dispositivo semelhante na Holanda e posteriormente, KIRKHAM (1952), trabalhando com piezômetros.

Para o nosso caso, esse dispositivo sofreu uma pequena simplificação no que concerne à válvula.

Ponta de Medida (Fig. nº 2) - Consideramos a ponta de medida a parte mais importante do nosso equipamento. Constituída, principalmente, de um circuito elétrico, sua função é medir a elevação da água na cavidade. Um cronômetro complementa essa medida, pois que ele marca o tempo necessário para a água se elevar na cavidade de um nível a outro (acusados e lidos pela ponta de medida).

Foi construída nos moldes descritos por van BAVEL e KIRKHAM (1949) sendo contudo introduzidas algumas modificações que reputamos vantajosas. O circuito elétrico (Fig. nº. 6) é constituído de um fio elétrico duplo flexível de 3,5m de comprimento, revestido de matéria plástica, conectado numa das extremidades, a duas pilhas, de 1,5 volts cada uma, ligadas em série. Na outra extremidade, as duas pontas do fio ficam expostas, permanecendo assim o circuito aberto. Um micro-amperímetro, montado em série, intercala o circuito, sendo ele suficientemente sensível para que o ponteiro do mostrador efetue uma rápida deflexão no momento em que as duas pontas do fio toquem algo susceptível de fechar o circuito, tal como a água. Utilizamos com grande vantagem o cabo de 300 ohms, que é usado para antena de televisão.

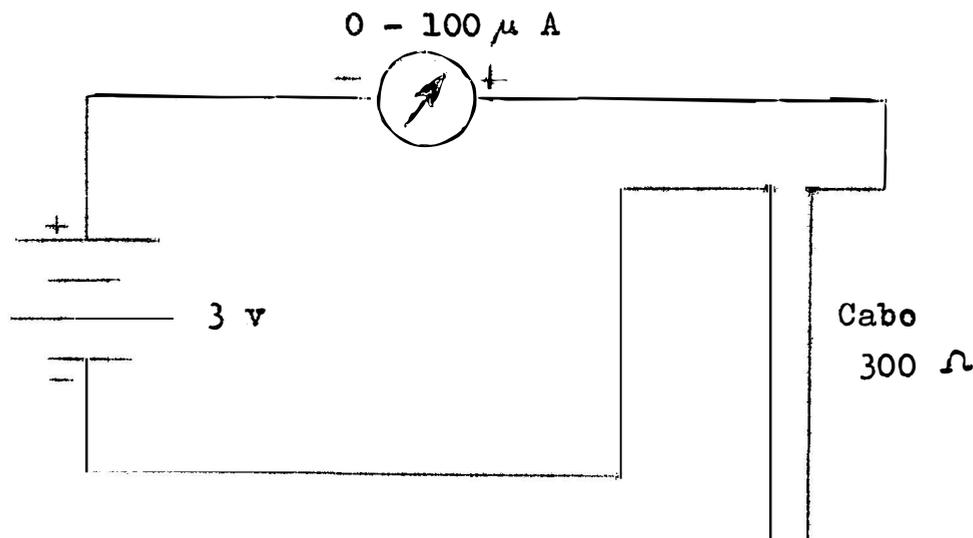


Fig. nº 6 Esquema do circuito elétrico.

O conjunto de fios, pilhas e micro-amperímetro, é montado sobre uma armação de madeira, constituída de um tabuleiro de 40 x 40cm, apoiado sobre quatro pés.

Sobre a parte central do tabuleiro acha-se convenientemente fixado um suporte de 30cm de altura, que sustenta um carretel de 10cm de diâmetro e de eixo solidário a uma manivela. Acionando-se a manivela, o fio plástico pode ser enrolado ou desenrolado no carretel. Assim disposto esse fio, fixamos uma massa de 1,5kg na sua extremidade livre (correspondente àquela que adentra a cavidade e que vai fechar o circuito elétrico, quando do contacto com a água), suficiente para garantir a verticalidade do mesmo, durante o uso do aparelho. A outra extremidade se prende ao eixo do carretel, onde é separada em duas, dirigindo-se uma ponta para cada lado desse eixo. Daí, por meio de ligações apropriadas completamos o circuito até o conjunto de pilhas passando pelo micro-amperímetro.

Na extremidade livre, retiramos o capeamento plástico protetor, deixando expostas as pontas do fio do circuito elétrico. Exatamente a partir das pontas assim preparadas, estampamos no plástico do fio uma graduação de cinco em cinco milímetros até a extensão de três metros. Uma escala mi-

límetrada de matéria plástica transparente, foi justaposta e fixada ao suporte do carretel, ficando imediatamente abaixo - deste. A referência zero (0) desta escala está exatamente a 80 cm de altura do nível de apoio, aos pés de armação.

Dessa forma, desenrolando-se o fio do carretel e fazendo-o passar por trás da escala transparente, a marca de 80cm nele gravada, coincidirá exatamente com a referência zero da escala, quando suas pontas expostas tocarem o plano de base de assento do aparelho. Se esse plano for representado por uma película de água, então o circuito se fechará, provocando uma deflexão no ponteiro do micro-ampérímetro. Este é, em resumo, o funcionamento da ponta de medida.

3.2 - Métodos

3.2.1 - Método para a determinação no campo

O método que adotamos para o estudo da determinação da condutibilidade hidráulica nas glebas escolhidas, foi o das cavidades cilíndricas, descrito por H.P. JOHNSON, R.K. - PREVERT e D.D. EVANS (1952) e foi desenvolvido como segue.

Com o trado de 10cm de diâmetro fizemos perfurações ao acaso nas duas glebas citadas, à profundidades que variavam de acordo com a camada impermeável.

Antes de abrir cada cavidade, tomamos o cuidado de raspar a superfície do solo, eliminando a vegetação e deixando uma área de 50 x 50cm bem nivelada, assim preparada para receber a armação da ponta de medida. No centro dessa pequena-área procedia-se à abertura da cavidade com o auxílio do trado, com todo o cuidado indispensável para não desviar-se da direção vertical. Ao lado dela, cravava-se uma estaca de 50cm de altura com um número correspondente para a identificação. Constatamos pelo exame do fundo dos canais mestres de drenagem existentes na área em estudo, que os mesmos se localizavam sobre uma camada bastante argilosa, o que nos fez suspeitar de que se tratasse da camada impermeável ou então, que ela estaria bem próxima dali. De fato as sucessivas perfurações que praticamos nos indicaram que essa camada raramente ia além de 2m de profundidade. Por outro lado, esse fato nos facilitaria-nos cálculos, conforme veremos adiante.

Efetuada a cavidade, a água livre começava a surgir através das paredes da mesma, depositando-se no fundo, e enchendo gradativamente a cavidade. Estas primeiras águas digamos assim, eram retiradas duas ou três vezes, a fim de evi -

tar a formação de lama proveniente do solo que restava no fundo da cavidade. Essa lama obstruía os poros das paredes da cavidade, impedindo o extravasamento da água.

À medida que íamos esgotando essa lama, a água ia se tornando mais limpa e era o momento em que permitíamos - que o seu nível se elevasse até ao de equilíbrio hidrostático do lençol de água. O tempo necessário para atingir esse nível de equilíbrio variava de conformidade com a condutibilidade hidráulica do solo. Em alguns casos esperamos dois a três dias. No caso mais geral era suficiente esperar-se 24 horas.

Orientávamos então a ponta de medida sôbre o centro da cavidade e desenrolavamos vagarosamente o fio do carretel. A ponta pròpriamente dita, assim ingressava na cavidade e ia ganhando profundidade até o momento em que tocasse a água, o que era evidenciado pelo deslocamento brusco do ponteiro do micro-amperímetro do circuito elétrico.

Tomando por base a referência do zero da escala milímetrada transparente, anotávamos a leitura correspondente a essa altura, lida na graduação estampada no fio plástico, com aproximação de um milímetro. Chamamos a essa altura, correspondente à do lençol de água, de L_r .

Em seguida, a água era retirada com o auxílio do dispositivo já descrito (vide 3.1.3). A ponta de medida era baixada novamente, até quase o fundo da cavidade, onde sempre restava um pouco de água (cêrca de 2 a 5cm de altura) (Fig. nº 7).

Neste ponto a altura L_1 , era anotada, e com auxílio do cronômetro, marcávamos também o momento exato t_1 , em que essa leitura foi observada. A ponta era então elevada a uma altura Δh , que podia variar entre 3 até 40 milímetros, dependendo da menor ou maior condutibilidade hidráulica do solo.

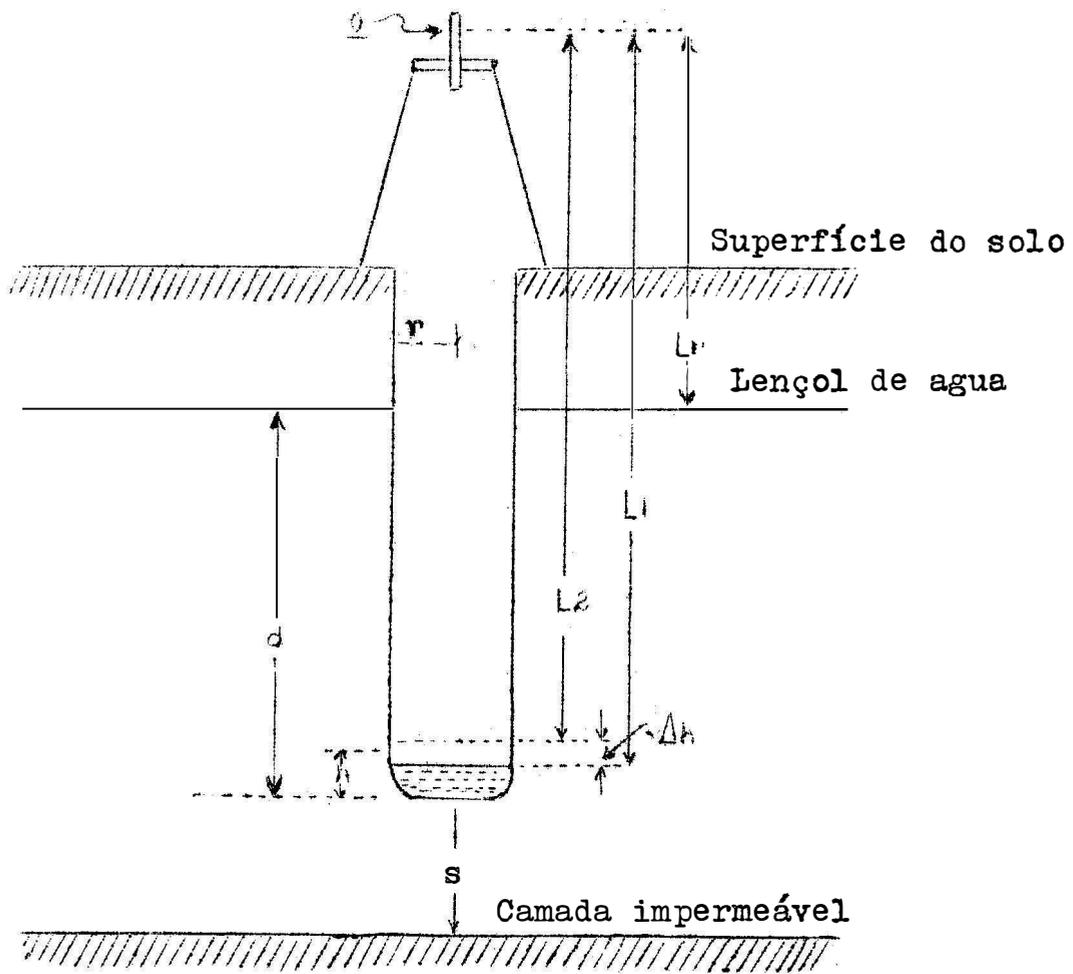


Fig. nº 7 - Diagrama da cavidade cilíndrica

A água subindo pela cavidade, e percorrendo essa distância Δh , atingia novamente a ponta a uma altura L_2 , ao fim de um tempo t_2 . Elevávamos novamente a ponta da posição anterior à seguinte, correspondente ao mesmo incremento Δh , e repetíamos o processo por três ou quatro vezes, sempre anotando os valores de L e de t .

Segundo as teorias apresentadas em nossa revisão bibliográfica, todas as determinações devem ser feitas antes que a água atinja um nível, onde a relação $h/d = 0,2$, em que h é a altura média da água, acima do fundo da cavidade, durante qualquer incremento Δh , e d é a altura do lençol de água, contada a partir do fundo da cavidade. Para verificarmos até onde seria correta essa recomendação, resolvemos proceder determinações também onde essa relação fosse maior do que $0,2$. Dessa forma um grande número de cavidades foi observado sob esse aspecto e os resultados foram então comparados, como veremos adiante.

Os dados obtidos com a ponta de medida foram posteriormente, empregados numa fórmula, para convertê-los num valor que pudesse exprimir a condutibilidade hidráulica do solo. Naturalmente esse valor se prendeu à média de três ou quatro incrementos.

A fórmula que adotamos foi aquela (nº 11) apresentada por H.P. JOHNSON (1952) e outros, porque julgamos ser a de mais fácil aplicação na prática. É a seguinte:

$$K = \frac{\pi r^2 (L_1 - L_2)}{A (t_2 - t_1) \left\{ \frac{(L_1 + L_2)}{2} - Lr \right\}}$$

-Na qual:

K = coeficiente de condutibilidade hidráulica;

$L_1 - L_2 = \Delta h$ = incremento de elevação da água na cavidade;

$t_2 - t_1 = \Delta t$ = incremento de tempo necessário para a elevação;

r = raio da cavidade;

$(L_1 + L_2)/2 - Lr$ = altura média do nível da água, abaixo do lençol de água, durante Δt ;

A = fator que depende de r , d , h e s , sendo s a distância do fundo da cavidade à camada impermeável, r o raio da cavidade, d a profundidade da cavidade abaixo do lençol de água, h a altura média do nível da água, durante qualquer Δt .

Fator A. Para a determinação do fator A , empregamos o mesmo gráfico apresentado no método descrito por Johnson e outros. No entanto, para isso foi necessário convertê-lo ao sistema métrico, uma vez que no original os valores de A são dados em polegadas. Construímos então o gráfico (Fig. nº 3) num sistema de coordenadas em que na abcissa estão os valores dados pela relação r/d e na ordenada, os valores de A em centímetros. As curvas dadas pela relação s/d são em número de cinco, ou sejam, $s/d = 0$; $s/d = 0,2$; $s/d = 0,5$; $s/d = 1$ e $s/d =$

O valor de s é dado pela distância que vai do fundo da cavidade à camada impermeável (Fig. nº 3). Como em nosso caso todas as perfurações atingiram essa camada, o valor de s é igual a zero (0) e portanto a relação $s/d = 0$. O valor de d é obtido pela diferença entre a profundidade P da cavidade e a distância do lençol de água Lr .

Todos os valores aplicados na fórmula foram convertidos à unidade do sistema métrico, e o tempo expresso em horas. Nessas condições K é obtido em m/h ou cm/h.

Considerando que certos valores são constantes,

a fórmula aplicada ao nosso caso, em que o diâmetro da cavidade é de 10cm pode ser reduzida a seguinte expressão:

$$K = \frac{\pi r^2 (L_1 - L_2)}{A (t_2 - t_1) \left\{ \frac{(L_1 + L_2)}{2} - Lr \right\}}$$

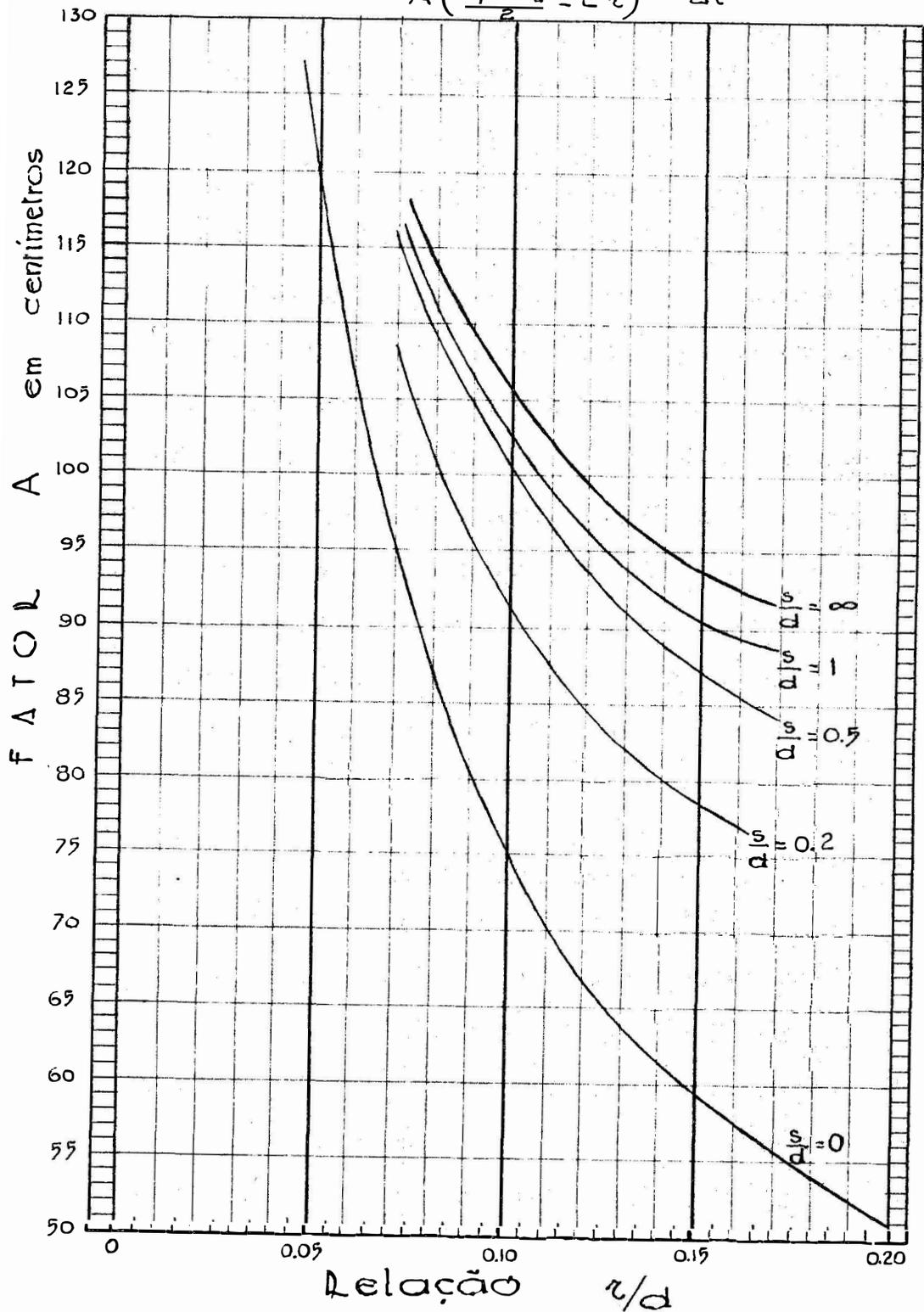
$$K = \frac{5655 \Delta h}{A \cdot \Delta t (L_1 + L_2 - 2 Lr)} \quad (13)$$

Tôdas as determinações foram procedidas da tomada de temperatura da água em cada cavidade, para posterior correção da viscosidade, a uma temperatura padrão de 20°C.

Para medir profundidade, usamos a fita métrica - pois o contacto da ponta de medida com o fundo da cavidade (solo) trazia sérios inconvenientes quanto à sensibilidade do aparelho.

Fig. 8 - Determinação do fator "A" da fórmula da condutibilidade hidráulica

$$K = \frac{\pi r^2}{A \left(\frac{L_1 + L_2}{2} - L r \right)} \frac{\Delta h}{\Delta t}$$



3.2.2 - MÉTODO DE ANÁLISE

3.2.2.1 - Coefficiente de variação - procedemos à determinação desse coeficiente para sabermos se o nosso experimento estava dentro de uma precisão considerada aceitável. Alguns autores (KIRKHAM - 1955) e (RONALD REEVE e KIRKHAM - 1951) estudando esse detalhe têm mencionado que há discrepantes diferenças nos resultados obtidos, resultando daí altos valores para o coeficiente de variação.

A anisotropia do solo, trincas ou rachaduras - bem como orifícios deixados pelas raízes das plantas, têm provocado essas extremas variações, que podem ir desde 2,5 - ou 3% até 40 ou 50% em alguns casos, conforme o método usado. As determinações da condutibilidade hidráulica em laboratório, têm revelado absurdos com mais de 1.000% (CHRISTIAN - SMITH - 1944), enquanto que AYERS (1951) fazendo determinações no campo com piezômetros, encontrou valores cujo coeficiente de variação era igual a 115%, ambos citados por KIRKHAM (1955).

3.2.2.2 - Determinação do número de amostras - o primeiro obstáculo com que se depara o técnico ao iniciar as suas determinações, é saber quantas amostras seriam suficientes para obter uma média representativa da área problema. Naturalmente esse número deverá ser o menor possível, não só pela perda de tempo na obtenção de um número excessivo de amostras assim como, e principalmente, pelas dificuldades inerentes às próprias determinações.

Dessa forma, tomando por base a média dos dados obtidos (quadro 4) em cada gleba e com uma porcentagem de erro da média, admissível, isto é, que na prática possa ser a

ceita como boa podemos chegar ao número de amostras suficientes para representar a gleba. Exemplo semelhante é citado por PIMENTEL GOMES (1960), cujo trabalho nos serviu de guia para a solução desse problema.

Adotamos em nosso trabalho um erro da média igual a 10% da mesma, como sendo um valor aceitável na prática. No capítulo Discussões procuraremos justificar este detalhe.

3.2.2.3 - A relação h/d - o estudo da influência da relação h/d nos resultados da condutibilidade hidráulica dos solos foi verificado pelo teste F, comparando dados obtidos com onze cavidades (quadro 5), nas quais fizemos leituras abaixo e acima da relação $h/d = 0,2$. Por meio deste teste pudemos saber se as diferenças eram ou não significativas.

3.2.3 - PARTICULARIDADES DO MÉTODO

Durante o desenvolvimento dos trabalhos de campo, várias observações puderam ser feitas, que julgamos dignas de registro, para orientação daqueles que venham a se utilizar deste método.

A cavidade deve ser aberta, levando em conta a maior perfeição possível, a qual depende principalmente de dois fatores: operador e solo.

O operador deve manejar o trado procurando mantê-lo sempre na posição vertical, pois qualquer desvio poderá dificultar depois o emprego da ponta de medida, que deverá penetrar a cavidade tal como um fio de prumo. Se o operador trabalhar somente de um lado da cavidade, haverá a tendência de serem acumulados os erros de inclinação para esse-

lado. Recomendamos, por isso, que a sua posição seja distribuída durante a abertura, em vários pontos à volta da cavidade.

O solo por sua vez, tem grande influência na obtenção de uma boa cavidade. Camadas de areia podem ocorrer - mais ou menos profundamente. Essas camadas são susceptíveis de serem solapadas pelo fluxo de água ou mesmo pela sua pouca consistência aglutinante, formando bolsas de maior ou menor tamanho nas paredes da cavidade onde ocorrem. Nessas condições, tais cavidades não podem ser aproveitadas, pois essa deformação modifica completamente o resultado. Como sabemos, a fórmula de Johnson e outros leva em conta o raio da cavidade.

De qualquer maneira, a perfeição total é difícil de ser conseguida. Mesmo tomando todas as devidas precauções, a própria natureza do trabalho e a heterogeneidade do material não permitem paredes perfeitamente lisas, que seria o ideal.

Para que tais irregularidades não venham afetar muito o resultado, o método recomenda que os incrementos (Δh) sejam os menores possíveis.

Naturalmente, o menor possível para um solo muito permeável, será bem diferente de um solo pouco permeável. Na prática do método, verificamos que no primeiro caso, o incremento $\Delta h = L_1 - L_2$ deve ser maior, ou seja em torno de 30mm. Isso se prende ao fato de que a água se elevando muito rapidamente na cavidade, precisamos dar um espaçamento maior entre L_1 e L_2 , a fim de facilitar a cronometragem e anotação dos dados. No segundo caso, podemos usar incrementos de 5mm, porque haverá tempo suficiente para esse trabalho.

Em qualquer dos casos, contudo, o incremento de

elevação deve ser constante, isto é, iniciadas as leituras - em um valor, este deve se conservar até a última leitura.

Um dos grandes inconvenientes que julgamos nesse método é a obediência rigorosa à relação h/d igual ou menor do que 0,2, conforme evidenciamos antes. Quando o solo é de condutibilidade hidráulica relativamente baixa isso é possível, porém no caso oposto é quase impraticável. Ao colocarmos a ponta de medida para procedermos às leituras, essa relação já fôra ultrapassada.

Dai a razão em dedicarmos alguma atenção nêssesentido a fim de verificar se as medidas tomadas acima dessa relação, diferem significativamente daquelas tomadas abaixo.

4 - RESULTADOS OBTIDOS

Foram executadas em t \ddot{o} da a \acute{a} rea de observa \tilde{c} o , 36 determina \tilde{c} oes, embora tivesse sido maior o n \acute{u} mero de cavi \tilde{d} ades. Muitas delas foram desprezadas por apresentarem irregularidades tais como solapamento e outros defeitos, que alterariam o resultado normal.

Dessas 36 determina \tilde{c} oes, 18 pertencem \grave{a} Gleba I e as restantes \grave{a} Gleba II, as quais apresentamos nos quadros 2 e 3 respectivamente, onde indicamos: P = profundidade da cavidade; Lr = profundidade do len \tilde{c} ol de \acute{a} gua; Δt = m \acute{e} dia dos incrementos de tempo necess \acute{a} rios \grave{a} eleva \tilde{c} o do n $\acute{ı}$ vel da \acute{a} gua, correspondente \grave{a} m \acute{e} dia dos incrementos de altura (Δh).

T \ddot{o} das as alturas (P, Lr e Ln) foram tomadas em rela \tilde{c} o ao ponto de refer \acute{e} ncia zero na escala da ponta de medida.

Procedemos \grave{a} s leituras obedecendo sempre que poss $\acute{ı}$ vel a rela \tilde{c} o h/d igual ou em t \ddot{o} rno de 0,2 conforme van BAVEL e KIRKHAM (1949), ERNST (1950), LUTHIN (1957), e , preferivelmente valores abaixo d \acute{e} sse limite.

Embora tenhamos verificado a possibilidade de leituras acima dessa rela \tilde{c} o, procuramos nesta primeira parte, atender a recomenda \tilde{c} o daqueles autores. Contudo, surgiram casos que devido a alta condutibilidade hidr \acute{a} ulica do solo, n \tilde{a} o permitiram o tempo suficiente para obtermos no campo, leituras correspondentes a valores abaixo dessa rela \tilde{c} o. Justificamos assim o fato de anotarmos aqui algumas leituras que escapam ao limite da citada recomenda \tilde{c} o.

Com base nas leituras de campo (Quadros ns. 2 e 3), obtivemos os dados que figuram no Quadro n $^{\circ}$ 4. Estes re-

presentam a necessária adaptação das leituras, a qual nos permitiu aplicar a fórmula (nº 11) para a obtenção do valor do coeficiente K (condutibilidade hidráulica). Assim, nas duas últimas colunas do Quadro nº 4 (Dados Calculados) apresentamos os valores da condutibilidade hidráulica, obtidos para cada cavidade. Na última coluna, os valores de K se acham corrigidos à temperatura padrão de 20°C, correspondente àquela em que a viscosidade dinâmica da água se aproxima da unidade. Procedemos essa correção conforme as indicações que constam nos Quadros 5 e 6.

Os resultados obtidos assim preparados, foram submetidos à análise estatística que virá em seguida.

Para que pudessemos estudar a influência da relação h/d sobre os resultados das determinações da condutibilidade hidráulica, tomamos também o cuidado de anotar as leituras nas condições em que o nível médio da água se apresentava acima da relação $h/d = 0,2$. Dessa forma para que os dados fossem examinados em igualdade de condições, essas leituras se fizeram no mesmo momento, isto é, logo em seguida, daquelas subordinadas à relação $h/d = 0,2$.

Reunimos os dados de onze cavidades (Quadro nº. 7) e calculamos o valor de K, os quais podem, agora, ser comparados com aqueles obtidos na mesma cavidade quando o nível da água se mantinha abaixo da relação $h/d = 0,2$

Nestas condições, o estudo das limitações impostas pela relação h/d na obtenção dos dados para se calcular o valor da condutibilidade hidráulica resumiu-se no seguinte tomamos onze cavidades (das 36 estudadas), sendo seis da Gleba I e cinco da Gleba II e nelas fizemos leituras tanto abaixo (Quadros ns. 2 e 3) como acima (Quadros ns. 7 e 8) do valor 0,2 para a relação h/d .

Convertidas as leituras em condutibilidade hidráulica, podemos comparar os respectivos valores (Quadro nº 9) e proceder à análise estatística (teste F), para verificar se as diferenças eram significativas.

CAVIDADES DA GLEBA I

CAVID. Nº	1	2	3	4	5	6
Leit.	P= 151,0 Lr= 090,4	153,0 085,5	160,0 096,5	175,0 098,5	180,0 105,5	168,0 130,3
L ₁ L ₂	145,5 143,5	141,0 139,0	152,0 150,0	167,0 165,0	174,5 172,5	162,0 161,5
L ₃ L ₄	142,5 140,5	137,5 135,5	149,0 147,0	164,0 162,0	172,0 170,0	161,5 161,0
L ₅ L ₆	139,5 137,5	134,5 132,5	146,0 144,0	161,5 159,5	169,5 167,5	160,5 160,0
Δt	138	187	155	117	156	103

NOTA. Tomem-se as leituras em cm, e o tempo (t) em seg.

CAVID. Nº	7	8	9	10	11	12
Leit.	P= 152,0 Lr= 091,2	160,0 126,5	168,5 122,0	188,0 092,8	152,5 110,5	176,0 114,5
L ₁ L ₂	152,0 150,0	179,0 178,0	163,5 163,0	179,0 178,0	146,0 145,5	170,0 169,0
L ₃ L ₄	149,0 147,0	178,0 177,0	163,0 162,5	177,0 176,0	145,0 144,5	169,0 168,0
L ₅ L ₆	146,5 144,5	176,0 175,0	162,5 162,0	174,0 173,0	144,5 144,0	167,0 166,0
Δt	141	105	87	40	96	94

CAVID. Nº	13	14	15	16	17	18
Leit.	P= 153,0 Lr= 097,2	180,0 119,5	188,0 125,0	181,0 092,5	170,0 118,0	158,0 103,5
L ₁ L ₂	146,5 145,5	173,5 172,5	181,0 180,0	172,0 171,0	163,0 162,0	148,0 147,0
L ₃ L ₄	144,5 143,5	172,5 171,5	179,0 178,0	168,5 167,5	162,0 161,0	145,0 144,0
L ₅ L ₆	142,5 141,5	170,5 169,5	177,0 176,0	164,0 163,0	160,0 159,0	143,5 142,5
Δt	76	102	81	43	100	106

CAVIDADES DA CLREBA II

CAVID. Nº	1	2	3	4	5	6
Leit.	P= 195,0 Lr= 111,7	180,0 107,5	171,0 119,5	171,0 096,8	167,0 092,0	168,0 105,7
L ₁ L ₂	166,0 164,0	168,0 166,0	164,0 162,0	163,0 161,0	155,0 153,0	160,0 158,0
L ₃ L ₄	160,0 158,0	165,0 163,0	161,0 159,0	160,0 158,0	153,0 151,0	157,0 155,0
L ₅ L ₆	152,0 150,0	162,0 160,0	159,0 157,0	157,0 155,0	- -	- -
Δt	32	32	74	41	40	51

NOTA. Tomem-se as leituras em cm, e o tempo (t) em seg.

CAVID. Nº	7	8	9	10	11	12
Leit.	P= 165,5 Lr= 112,5	177,0 104,5	163,0 099,6	168,5 092,8	180,0 096,3	180,0 105,0
L ₁ L ₂	159,0 157,0	170,0 168,0	152,0 150,0	154,0 152,0	169,0 167,0	170,0 168,0
L ₃ L ₄	156,0 154,0	163,5 161,5	145,0 143,0	151,0 149,0	166,5 164,5	167,0 165,0
L ₅ L ₆	150,0 148,0	158,0 156,0	142,0 140,0	144,0 142,0	164,5 162,5	- -
Δt	53	41	44	43	25,5	28

CAVID. Nº	13	14	15	16	17	18
Leit.	P= 196,0 Lr= 113,0	206,8 115,5	158,8 102,5	175,0 110,5	155,0 117,8	162,5 114,5
L ₁ L ₂	170,0 166,0	179,0 175,0	153,0 152,0	168,0 167,0	149,0 148,0	153,0 152,0
L ₃ L ₄	165,0 161,0	169,0 165,0	150,0 149,0	165,0 164,0	148,0 147,0	150,0 149,0
L ₅ L ₆	160,0 156,0	165,0 161,0	147,0 146,0	163,5 162,5	147,0 146,0	146,0 145,0
Δt	72	63	27	26	62	59

QUADRO Nº 4

RESULTADOS FINAIS PARA GLEBA I

D A D O S O B S E R V A D O S					
Cavidade Nº	P	Lr	d = P-Lr	Δh	Δt
	cm	cm	cm	cm	seg.
1	151,0	090,4	060,6	002,0	138
2	153,0	085,5	057,5	002,0	137
3	160,0	096,5	063,5	002,0	155
4	176,0	098,5	077,5	002,0	117
5	180,0	105,5	074,5	002,0	156
6	168,0	130,3	037,7	000,5	103
7	160,0	091,2	068,8	002,0	141
8	182,0	126,5	055,5	001,0	105
9	168,5	122,0	046,5	000,5	87
10	188,0	092,8	095,2	001,0	40
11	152,5	110,5	042,0	000,5	96
12	176,0	114,5	061,5	001,0	94
13	153,0	097,2	055,8	001,0	76
14	180,0	119,5	060,5	001,0	102
15	188,0	125,0	063,0	001,0	81
16	181,0	092,5	088,5	001,0	43
17	170,0	118,0	052,0	001,0	100
18	158,0	103,5	054,5	001,0	106

D A D O S C A L C U L A D O S					
Cavidade Nº	r/a	A	L_1+L_2-2Lr	$Kx^{\circ} C$	$K 20^{\circ} C$
		cm	cm	cm/h	cm/h
1	0,083	084,2	101,8	0,95	1,00
2	0,087	081,5	102,3	0,72	0,76
3	0,105	075,0	100,3	0,94	0,99
4	0,065	100,5	129,3	0,74	0,74
5	0,067	099,0	128,5	0,56	0,62
6	0,132	063,0	061,6	0,71	0,71
7	0,073	093,0	113,9	0,75	0,75
8	0,090	081,0	076,0	0,87	0,96
9	0,110	070,0	081,3	0,57	0,60
10	0,050	119,0	166,4	0,71	0,71
11	0,119	067,0	068,8	0,64	0,64
12	0,081	086,0	107,3	0,65	0,65
13	0,090	080,0	093,9	0,99	0,99
14	0,083	084,2	104,3	0,63	0,63
15	0,080	087,0	107,0	0,75	0,75
16	0,056	110,0	149,8	0,79	0,79
17	0,096	077,5	086,0	0,85	0,85
18	0,092	079,0	083,0	0,80	0,88

QUADRO Nº 5

RESULTADOS FINAIS PARA GLEBA II

D A D O S O B S E R V A D O S					
Cavidade Nº	P	Lr	d	Δh	Δt
	cm	cm	cm	cm	seg.
1	195,0	111,7	083,3	002,0	32
2	180,0	107,5	072,5	002,0	32
3	171,0	119,5	051,5	002,0	74
4	171,0	096,8	074,2	002,0	41
5	167,0	092,0	075,0	002,0	40
6	168,0	105,7	062,3	002,0	51
7	165,5	112,5	053,0	002,0	53
8	177,0	104,5	072,5	002,0	41
9	163,0	099,6	063,4	002,0	44
10	168,5	092,8	075,7	002,0	43
11	180,0	096,3	083,7	002,0	25,5
12	180,0	105,0	075,0	002,0	28
13	196,0	113,0	083,0	004,0	72
14	206,8	115,5	091,3	004,0	63
15	158,8	102,5	056,3	001,0	26
16	175,0	110,5	064,5	001,0	26
17	155,0	117,8	037,2	001,0	62
18	162,5	114,5	048,0	001,0	59

D A D O S C A L C U L A D O S					
Cavidade Nº	r/d	A	L_1+L_2-2Lr	$K \times 0^\circ$	$K 20^\circ$
		cm	cm	cm/h	cm ² /h
1	0,060	106,0	093,3	3,57	3,40
2	0,069	096,0	116,0	3,17	3,02
3	0,097	076,0	081,7	2,46	2,34
4	0,067	097,0	124,4	2,28	2,17
5	0,066	099,5	122,0	2,32	2,26
6	0,080	087,0	103,6	2,46	2,40
7	0,094	078,0	082,0	3,34	3,26
8	0,069	096,0	116,8	2,46	2,40
9	0,078	088,0	092,8	3,14	3,06
10	0,066	099,5	125,0	2,93	2,86
11	0,060	106,0	138,9	3,01	2,94
12	0,066	099,5	125,0	3,24	3,09
13	0,060	106,0	100,0	2,96	2,82
14	0,054	113,0	107,0	2,92	2,78
15	0,088	086,0	092,1	2,66	2,97
16	0,078	088,0	109,5	2,25	2,49
17	0,130	063,5	059,4	2,42	2,42
18	0,104	072,5	068,0	1,95	1,91

4.1 CORREÇÃO DA CONDUTIBILIDADE HIDRÁULICA À TEMPERATURA DE 20° C.

A correção à temperatura padrão de 20° C, foi feita usando-se a fórmula:

$$K_{20^{\circ}} = K_{x^{\circ}} \frac{n_{x^{\circ}}}{n_{20^{\circ}}}$$

Na qual:

$K_{x^{\circ}}$ - condutibilidade hidráulica à temperatura no momento da leitura;

x° - temperatura no momento da leitura;

n - viscosidade da água.

Antes de procedermos à análise dos resultados procuramos colocar todos os dados em condições idênticas, isto é, corrigindo-se a temperatura padrão.

Os quadros 6 e 7 reúnem os dados das Glebas I e II respectivamente, mostrando os valores antes e depois de corrigidos.

QUADRO Nº 6

SÉRIA I

Cavidade Nº	Cond. Hidr. K x ^o	Temp. x ^o	Viscosid. n x ^o	C.H. Corrig. K 20 ^o
1	0,95	18 ^o	1,056	1,00
2	0,72	18 ^o	1,056	0,76
3	0,94	18 ^o	1,056	0,99
4	0,74	20 ^o	1,005	0,74
5	0,56	16 ^o	1,111	0,62
6	0,71	20 ^o	1,005	0,71
7	0,75	20 ^o	1,005	0,75
8	0,87	16 ^o	1,111	0,96
9	0,57	18 ^o	1,056	0,60
10	0,71	20 ^o	1,005	0,71
11	0,64	20 ^o	1,005	0,64
12	0,65	20 ^o	1,005	0,65
13	0,99	20 ^o	1,005	0,99
14	0,63	20 ^o	1,005	0,63
15	0,75	20 ^o	1,005	0,75
16	0,79	20 ^o	1,005	0,79
17	0,85	20 ^o	1,005	0,85
18	0,80	16 ^o	1,111	0,88

QUADRO Nº 7

SÉRIA II

Cavidade Nº	Cond. Hidr. K x ^o	Temp. x ^o	Viscosid. n x ^o	C.H. Corrig. K 20 ^o
1	3,57	22 ^o	0,9579	3,40
2	3,17	22 ^o	0,9579	3,02
3	2,46	22 ^o	0,9579	2,34
4	2,28	22 ^o	0,9579	2,17
5	2,32	21 ^o	0,9810	2,26
6	2,46	21 ^o	0,9810	2,40
7	3,34	21 ^o	0,9810	3,26
8	2,46	21 ^o	0,9810	2,40
9	3,14	21 ^o	0,9810	3,06
10	2,93	21 ^o	0,9810	2,86
11	3,01	21 ^o	0,9810	2,94
12	3,24	22 ^o	0,9579	3,09
13	2,96	22 ^o	0,9579	2,82
14	2,92	22 ^o	0,959	2,78
15	2,66	16 ^o	1,111	2,94
16	2,25	16 ^o	1,111	2,49
17	2,42	20 ^o	1,005	2,42
18	1,95	21 ^o	0,9810	1,90

QUADRO Nº 8

INFLUENCIA DA RELAÇÃO h/d DETERMINAÇÕES FEITAS ONDE $h/d > 0,2$

Gleba Nº 1

Cavidade Nº		1	3	4	5	7	13
Leit.	P	151,0	160,0	176,0	180,0	160,0	153,0
	Lr	090,4	096,5	098,5	105,5	091,2	097,2
L ₇ L ₈	-	137,0	141,0	159,0	164,5	144,0	141,5
		135,0	139,0	157,0	162,5	142,0	140,5
L ₉ L ₁₀	-	134,5	138,5	156,5	162,0	140,0	140,0
		132,5	136,5	154,5	160,0	138,0	139,0
L ₁₁ L ₁₂	-	129,5	133,0	151,5	159,5	-	138,0
		127,5	131,0	149,5	157,5	-	137,0
Δt	-	209	189	154	209	165	88

Gleba Nº 2

Cavidade Nº		3	4	5	11	15
Leituras	P	171,0	171,0	167,0	180,0	158,0
	Lr	119,5	096,8	092,0	096,3	102,5
L ₇ L ₈	-	157,0	154,0	149,0	161,5	139,5
		155,0	152,0	147,0	159,5	138,5
L ₉ L ₁₀	-	153,0	151,0	146,0	156,0	138,0
		151,0	149,0	144,0	154,0	137,0
L ₁₁ L ₁₂	-	149,0	147,0	143,0	150,0	135,0
		147,0	145,0	141,0	148,0	134,0
Δt	-	88	48	47	30	32

NOTA. Tomam-se as leituras em centímetro e o tempo (t) em segundos.

QUADRO Nº 9

RESULTADOS FINAIS DO ESTUDO DA RELAÇÃO h/d

DADOS OBSERVADOS							DADOS CALCULADOS			
Gl. Nº	Cav. Nº	P cm	Lr cm	d cm	Δh cm	Δt seg	r/d -	Λ cm	L_1+L_2-Lr cm	K cm/h
I	1	151,0	90,4	60,6	02,0	209	0,083	84,2	84,5	0,76
I	3	160,0	96,5	63,5	02,0	189	0,105	75,0	80,0	0,89
I	4	176,0	98,5	77,5	02,0	154	0,065	100,5	112,3	0,65
I	5	180,0	105,5	74,5	02,0	209	0,067	99,0	111,0	0,49
I	7	160,0	91,2	68,8	02,0	165	0,073	93,0	99,6	0,74
I	13	153,0	97,2	55,8	1,0	88	0,090	80,0	84,3	0,94
II	3	171,0	119,5	51,5	02,0	88	0,097	76,0	75,0	2,23
II	4	171,0	96,8	74,2	02,0	48	0,067	97,0	105,7	2,29
II	5	167,0	92,0	75,0	02,0	47	0,066	99,5	106,0	2,28
II	11	180,0	96,3	83,7	02,0	30	0,060	106,0	117,1	3,03
II	15	158,0	102,5	56,3	01,0	32	0,088	86,0	70,0	2,57

QUADRO Nº 10

COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DA
CONDUTIBILIDADE HIDRÁULICA (em cm/h)

Cav. Nº h/d	GLEBA I						GLEBA II				
	1	3	4	5	7	13	3	4	5	11	15
0,2	0,95	0,94	0,74	0,55	0,75	0,97	2,46	2,28	2,32	3,01	2,60
0,2	0,76	0,89	0,65	0,49	0,74	0,94	2,23	2,29	2,28	3,03	2,57

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 - Coefficiente de variação - para determinar-
ios o coeficiente de variação, precisamos conhecer a média -
(\bar{x}) e o erro padrão (s). Partindo dos dados corrigidos -
dos quadros 6 e 7, temos:

G L E B A I

G L E B A II

1,00	3,40
0,76	3,02
0,99	2,34
0,74	2,17
0,62	2,26
0,71	2,40
0,75	3,26
0,96	2,40
0,60	3,06
0,71	2,86
0,64	2,94
0,65	3,09
0,99	2,82
0,63	2,78
0,75	2,94
0,79	2,49
0,85	2,42
0,88	1,90

G L E B A I

a) média (\bar{X})

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

$$\bar{X} = \frac{14,02}{18}$$

$$\bar{X} = 0,7788 \quad (1)$$

b) Erro médio

$$s^2 = \sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N}}{N - 1}}$$

$$s^2 = \sqrt{\frac{11,2346 - 10,92}{17}}$$

$$s = 0,1363 \quad (2)$$

c) Coeficiente de variação

$$C.V. = \frac{s}{\bar{X}} \times 100$$

$$C.V. = \frac{0,1363}{0,7788} \times 100$$

$$C.V. = 17,5 \% \quad (3)$$

G L E B A II

a) média (\bar{X})

$$\bar{X} = \frac{48,55}{18}$$

$$\bar{X} = 2,70 \quad (1)$$

b) Erro médio

$$s^2 = \sqrt{\frac{133,85 - 130,95}{17}}$$

$$s = 0,413 \quad (2)$$

c) Coeficiente de variação

$$C.V. = \frac{0,413}{2,70} \times 100$$

$$C.V. = 15,3 \% \quad (3)$$

5.2 Determinação do número mínimo de amostras.

5.2.1 Número de amostras nas glebas.

Tomando por base um erro da média igual a 10% - da mesma, teremos:

G L E B A I

$$s(\bar{x}) = 0,10 \times 0,7788 = 0,0779$$

$$s(\bar{x}) = \frac{s}{\sqrt{N}} \text{ portanto } 0,0779 = \frac{0,1363}{\sqrt{N}}$$

$$\sqrt{N} = 1,75$$

$$N = 3,06$$

G L E B A II

$$s(\bar{x}) = 0,10 \times 2,7 = 0,27$$

$$0,27 = \frac{0,413}{\sqrt{N}}$$

$$\sqrt{N} = 1,53$$

$$N = 2,34$$

5.2.2 Número de amostras por hectare

As Glebas I e II (Fig. nº 5) têm respectivamente 5.560m² e 5.940m². Conforme o cálculo anterior (Cap. 7,2) o número de amostras necessárias para cada uma dessas glebas são 3,06 e 2,34. Dessa forma fácil será calcularmos para um hectare (10.000m²).

Para as condições da Gleba I, um número mínimo de 6 amostras por hectare é necessário a fim de se obter uma média representativa, enquanto que para a Gleba II, esse número é 4.

É interessante observar que os valores da Gleba-

I têm um coeficiente de variação maior, numa gleba menor, exigindo portanto um número maior de amostras, por unidade de área.

5.3 A influência da relação h/d

O Quadro nº 10 mostra os dados que foram obtidos nas duas situações distintas, que podemos considerar tratamento A e B, respectivamente quando $h/d < 0,2$ e $h/d > 0,2$.

Os resultados dos cálculos com a aplicação do teste F podem ser vistos no quadro abaixo.

QUADRO Nº 11

	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Glebas	1	16,2369	16,2369	290,46***
Tratamentos	1	0,0229	0,0229	0,41
Resíduo	19	1,0625	0,0559	
Total	21	17,3223		

Verificamos, portanto, que houve um efeito significativo ao nível de $1/1000$ para as glebas, PEARSON e HARTLEY (1956), o que era de se esperar, por serem elas completamente diferentes.

Para os tratamentos não houve diferença significativa, isto é, A não difere de B, PIMENTEL GOMES (1960).

6. DISCUSSÃO

Vejamos o que significa um erro da média igual a 10% da mesma, quando aplicado num problema prático. Determinemos por exemplo, o espaçamento para um sistema de drenos na Gleba II, cuja condutibilidade hidráulica média K é igual a 2,7 cm/h e cuja camada impermeável esteja a 1,5m de profundidade. Suponhamos que os demais dados sejam: $H = 100\text{cm}$, $h = 30\text{cm}$ e $v = 0,025\text{cm/h}$, que podem ser aplicados na fórmula (1) já conhecida.

$$E^2 = \frac{4 \times 2,7 (10000 - 900)}{0,025}$$

$$E^2 = 3.931$$

$$E = 19,83\text{m}$$

Tomando o valor de K acrescido de 10% teríamos:

$$E^2 = \frac{4 \times 2,97 \times 9,100}{0,025}$$

$$E = 4324795$$

$$E = 20,79\text{m}$$

Verificamos que para uma variação em 10% na condutibilidade hidráulica o espaçamento variou de apenas 0,96m, ou seja um aumento menor do que 5%. Se usarmos uma variação maior ou menor do que 10%, vamos notar que quando aplicados para o caso de espaçamento de drenos, essa proporcionalidade é sempre mantida. Esse aspecto tem um valor prático muito interessante, porquanto o técnico poderá avaliar a priori até quanto poderá errar no espaçamento dos drenos de acordo com a sua tomada de amostras.

As análises dos resultados nos mostraram que quando optamos por uma porcentagem de erro da média igual a 10%, deve-se tomar para casos idênticos às Glebas I e II, um mínimo de 6 e 4 amostras por hectare.

O coeficiente de variação para os nossos resultados está dentro de uma precisão aceitável para trabalhos de campo. Este fato contudo poderá não se repetir em outras áreas, conforme já salientaram alguns experimentadores

Dentro de uma gleba de alta condutibilidade hidráulica podem ocorrer pequenas manchas de solo, que por razões quaisquer, dão valores baixos, provocando uma variação muito grande. Estes casos são mais ou menos comuns em pesquisas desse tipo, trazendo sérios embaraços para as análises estatísticas.

A ponta de medida, por ser o equipamento de maior precisão nestas determinações de campo deve ser aferida antes de cada operação. Para tanto faz-se baixar o fio com as duas pontas expostas sobre uma superfície metálica, boa condutora de eletricidade, sobre a qual se assenta a armação. No momento exato em que as duas pontas tocam a superfície, o ponteiro do micro-amperímetro se desloca bruscamente, indicando o circuito fechado; nessa ocasião a referência zero da escala transparente deverá permitir uma leitura de 80cm de altura na graduação do fio do circuito elétrico. Colocando-se a ponta propriamente dita, a diversas alturas previamente medidas pode-se aferir vários pontos do fio.

7. CONCLUSÕES

1. Ao empregar-se o método das cavidades cilíndricas, o número de amostras a ser tomado - por hectare, necessário à obtenção de uma média - representativa de uma área em estudo, é variável - de acôrdo com as características físicas do solo. Não se pode estabelecer, rigidamente, um número - para todos os solos.
2. No caso das glebas estudadas I e II , de características definidas, para se obterem as médias representativas da condutibilidade hidráulica foram necessárias e suficientes seis e quatro amostras por hectare, respectivamente.
3. Quanto à influência da relação h/d :
 - a) não houve diferença significativa - entre os valores obtidos nas determinações efetuadas abaixo ou acima da relação h/d igual a 0,2.
 - b) julgamos carecer de importância o rigor recomendado por um grande número de pesquisadores para que as leituras sejam efetuadas enquanto o nível de água se mantém abaixo da relação h/d igual a 0,2.
 - c) as leituras poderão ser efetuadas - até que a relação h/d seja aproximadamente igual - a 0,4 ou seja, quando a água já tenha se elevado - a quase 50% na cavidade.
 - d) este fato é particularmente vanta - joso para determinações em solos de alta conduti-

bilidade hidráulica, nos quais a água se eleva - muito rapidamente nas cavidades, não oferecendo - tempo que possibilite leituras dentro daquele limite.

4. Dada a rusticidade da ponta de medida que empregamos, porém capaz de proporcionar leituras acuradas, recomendamos o seu emprego na obtenção dos dados preliminares da condutibilidade hidráulica, necessários aos projetos de drenagem.

8. RESUMO

A condutibilidade hidráulica é um fator de gran de importância para a instalação de um sistema de drenagem. A sua determinação tem sido estudada recentemente nos Esta - dos Unidos e na Holanda, diretamente no campo, por meio de diferentes métodos.

Dos vários métodos estudados, julgamos ser o das cavidades cilíndricas um dos mais simples e práticos. A condição essencial para que possa ser empregado, é a existência de lençol de água bem elevado no terreno onde se deseja executar as determinações.

Nessas condições, fazem-se perfurações no solo com um trado de 10cm de diâmetro, procurando obtê-las o mais verticalmente possível. A profundidade dependerá, principalmente, do ponto até onde se deseja conhecer a condutibilidade hidráulica do solo.

Praticada a cavidade, a água vai-se elevando ne la, até equilibrar-se a altura do lençol de água. O fundamento do método é determinar o tempo gasto para essa ascensão, a diferentes intervalos, o que se pode fazer com auxílio de uma ponta de medida e um cronômetro,

Os dados obtidos são aplicados em uma fórmula a apropriada e convertidos em condutibilidade hidráulica do solo, a qual representa a média das leituras para cada cavidade.

A análise dos resultados obtidos em duas glebas (I e II) estudadas, revelou-nos que são necessárias e suficientes seis e quatro amostras, respectivamente, para se obter um valor médio representativo para aquelas glebas.

Verificou-se também que a recomendação existente em vários trabalhos (KIRKHAM e van BAVEL, 1949; ERNST , 1950; LUTHIN, 1957), para que as leituras sejam feitas antes que a água se eleve acima da relação $h/d = 0,2$, poderá ser alterada para um limite maior, isto é, em tórno de 0,4.

Embora as médias obtidas apresentem um coeficiente de variação aceitável para dados de campo, é comum encontrar-se resultados mais discrepantes, motivados principalmente pela falta de uniformidade nas características físicas do solo.

9. BIBLIOGRAFIA

AYERS, H.D. - 1951. "Soil Permeability as a Factor in the Translocation of Salts on Irrigated-Land" Scientific Agriculture, vol. 31 , pp 383 - 395.

DISERENS, E. - 1934. Beitrag zur Bestimmung des Durchlassigkeit des Bodens in natuerlicher Bodenlagerung. Schweizerische Lauds. Monatshefte, vol. 12 n^o 12:188 - 198; 204-212.

DONNAN, W.W., ARONOVICI, V.S. e BLANEY, H.F. - 1947. - "Report on Drainage Investigations in Irrigated Areas of Imperial Valley , California" (Mimeo.)

HOOGHOUDT, S.B. - 1936. Bijdraigen tot de kennis van eenige natuurkundige grootheden van den grond, 4. Verslagen van Landb., 42 (13)-B: 449-541. Algemeene Laudsdruckerij, The Hague.

HOOGHOUDT, S.B. - 1937. Bijdragen tot de kennis van eenige natuurkundige grootheden van den grond, 6. Bepaling van de doorlatendheid in gronden van de tweed soort; theorie - en toepassing van de kwantitatieve strooming van het water in ondiep gelegen - grondlagen, vooral in verband met ontwaterings - en infiltratievraagstukken. - Versl. Landb. Ond. 43: 461 - 676 Algemeene Landsdrukkery, The Hague.

JOHNSON H.P. FREVERT R.K. and D.D. EVANS. - 1952. "Sim

- plified Procedure for the Measurement and Computation of Soil Permeability Below the water Table." Agric. Engineering, Vol. 33, n^o 5 pp. 283 - 286.
- KIRKHAM, DON. - 1945. Proposed Method for Field Measurement of Permeability of Soil Below the water table, Soil Sci. Soc. America Proc. 10: 58 - 68.
- KIRKHAM, DON and van BAVEL, C.H.M. - 1949. Theory of seepage into auger holes, Soil Science Soc. Amer. Proc. 13: 75 - 82.
- KIRKHAM, DON. - 1955. Measurement of the Hydraulic Conductivity of soil in place. Symposium on Permeability of Soils, Amer. Soc. Test. Mat. Spec. Tech. Pub. 163: 80 - 97.
- LUTHIN J.N. and KIRKHAM, DON. - 1949. "A piezometer Method for Measuring Permeability of Soil in situ Below a water Table", Soil Science, vol. 68, n^o 5 pp. 349 - 358 (1949).
- LUTHIN J.N. - 1957. "Measurement of Hydraulic Conductivity in situ". Agronomy, Vol. 7 Drainage of Agricultural Lands Chapt IV, pp. 420-439.
- PEARSON, E.S. and HARTLEY, H.D. - 1956. Biometrika Tables for Statisticians, Biometrika Trustees, University Press, Cambridge.
- PIMENTEL GOMES, F. - 1960. Curso de Estatística Experimental. E.S.A. "Luiz de Queiroz", Piracicaba.
- RICHARDS, L.A. - 1952. "Report of the subcommittee on Permeability and Infiltration, Committee

on Terminology", Soil Science Society of America, Proceedings, Soil Science Soc.- Am., Vol. 16, nº 1, pp. 85 - 88.

RICHARD K. FREVERT and KIRKHAM, DON. - 1948. A Field - Method for Measuring the Permeability of Soil Below a water Table", Proceedings - Highway Research Board, vol. 28, pp. 443 - 442 (1948).

REEVE R.C. - 1957. "Flow equation and basic relationships" Agronomy Vol. 7 - Drainage of Agricultural Lands, Chapter IV, pp. 396 - 401.

REEVE R.C. and KIRKHAM, DON. - 1951. Soil Anisotropy - and Some Field Methods for Measuring Permeability. Transactions Am. Geoph. Un. - vol. 32, nº 4 Aug.

RISLER E. y WERY G. - 1931. Drenage y saniamiento de las Tierras 2a. d. Salvat. Editors, Barcelona, pp. 23 - 30.

SPANGLER M.G. - 1951. Soil Engineering International - Textbook Co. Scranton, Pa. Chapter X.

van BAVEL C.H.M. and KIRKHAM, DON. - 1949. "Field Measurement of soil Permeability using Auger Holes". Soil Sci. Soc. Amer. Proc. - 13 - 90 - 96.

E R R A T A

Página	§	Linha	Onde se lê:	Leia-se:
6	2	11	quadro (1) ²	quadrado (1) ²
35	4	2	obtidos (quadro) em cada	obtidos em cada
36	2	4	cavidades (quadro 5) nas	cavidades, nas
51	-	1	Erro medio	Erro padrão
52	-	1	Erro medio	Erro padrão
55	1	14	E = 4324795	E ² = 4324795

Citações bibliográficas omitidas:

4	2	11	LUTHIN, J.N., 1958 - Apostila do Curso de Irrigação da Universidade da California, Davis (Mimeo.)
25	-	6	KIRKHAM, DON and de ZEEUW, J.W. - 1952. "Field Measurements for Tests of Soil Drainage Theory", Soil Sci. Amer. Proc. Vol. 16, Nº 3 pp. 286 - 293.
35	-	14	CHRISTIAMSEM, J.E. - 1944. "Effect of Trapped Air on Soil Permeability", Soil Science, Vol. 58, Nº 5, pp. 355 - 365.