

- PETERSON, A.E. & ENGELBERT, L.E. - Growing corn in Wisconsin without plowing. *Wisc. Acad. Sci., Arts and Letters*, 48-135-140, 1959.
- RUSSEL, E.J. & RUSSEL, E.W. - Las condiciones del suelo y el desarrollo de las plantas. Madrid, Ed. Aguillar, 1959. 771p.
- SMITH, D.D. & WISCHMEIER, W.H. - Rainfall erosion. *Adv. Agron.*, 14:109-148, 1962.
- THOMPSON, L.M. - El suelo y su fertilidad. Barcelona, Editorial Reverté S.A., 1962. 409p.
- VETTORI, L. - Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969. (Boletim 7).
- WINTERS, E. & SIMONSON, R.W. - The sub-soil. In: NORMAN, A.G., ed. *Adv. Agron.*, 3:1-19. Academic Press, New York, 1951.

PROBLEMÁTICA DA CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS ALUVIAIS PARA FINS DE DRENAGEM SUBTERRÂNEA (1)

P.C.F. GOMES (2) & A.A. MILLAR (3)

RESUMO

Objetivou-se estudar os problemas de interpretação e representatividade de resultados de campo e de condutividade hidráulica de solos aluviais, definir o melhor método para sua caracterização e verificar o procedimento mais adequado para a análise desses resultados, com fins de drenagem subterrânea. O trabalho foi conduzido no Projeto de Irrigação de São Gonçalo, PB, onde se estabeleceu um Campo Piloto de testes de drenagem subterrânea de 1,3 ha. Estudou-se também a variabilidade espacial, horizontal e vertical das propriedades físico-hídricas: textura, densidade global e infiltração básica. Para o estudo da condutividade hidráulica (K) usaram-se três métodos de campo (poço, piezômetro e infiltração básica) e um método indireto baseado na granulometria.

Observou-se grande variação horizontal das propriedades físicas, principalmente devida à mistura de camadas de solo com texturas areia barrenta e barro arenoso, com outras mais adensadas pela alta concentração de sódio. Constatou-se que os dados de densidade global e infiltração básica tendem a ter uma distribuição normal. A variação da densidade aparente foi de 1,45 a 1,77 g/cm³ e a de infiltração básica de 0,06 a 1,28 m/dia. Quanto à condutividade hidráulica, encontrou-se baixa correlação entre valores obtidos pelos diferentes métodos, num mesmo lugar. Através do cálculo da probabilidade de ocorrência, definiu-se que os valores de K seguem a tendência de uma distribuição logarítmica. Com essa metodologia, valores representativos (50% de probabilidade de ocorrência) dos diferentes métodos foram da mesma magnitude. Em virtude de os métodos fornecerem valores de K que representam diferentes camadas do perfil, dando, conseqüentemente, resultados de diferentes magnitudes, sua representatividade necessária seria obtida através da variabilidade espacial horizontal do solo.

Quanto aos métodos tradicionais para determinar K, poço e piezômetro, verificou-se que eles podem ser usados em solos aluviais desde que sujeitos a algumas restrições, como adequada densidade e distribuição de determinações, e dependência da presença ou ausência de estratificação subsuperficial.

SUMMARY: CHARACTERIZATION PROBLEMS OF ALLUVIAL SOILS FOR SUBSURFACE DRAINAGE PURPOSES

The objectives of this work were to study the interpretation and representation problems of field data, to define the best way to characterize the hydraulic properties, and to identify the appropriate method to analyze the data of alluvial soils. Spatial variability of texture, bulk density and water intake rate were studied in an experimental site installed for subsurface drainage studies. The hydraulic conductivity (K) was determined in the field using the auger hole, piezometer and the intake rate methods, and indirectly by particle distribution.

It was observed a great variability in the soil properties mainly due to the texture stratification of the soil profile and the presence of high sodium content. It was found that bulk density and intake rate data follow a normal distribution. The bulk density varied from 1.45 to 1.77 g/cm³ and the intake rate from 0 to 1.28 m/day. It was not found correlation for the hydraulic conductivity obtained by the three field methods in 25 sites. The field data for a same method followed a log-normal distribution. Analyzing the information through plotting in log probability paper it was found that the log mean (50% probability) obtained for the different methods were of the same order of magnitude. It was observed that the necessary data representation is coming from the spatial variability since the K value represents different layers of the soil profile.

The auger hole and piezometer methods can be used in alluvial soils to determine K, but care must be taken to have an adequate density and distribution of determinations. In highly stratified soils, the auger hole method should be preferred because gives an average of flow conditions rather than the property of a single layer.

(1) Contribuição conjunta do CPATSA/EMBRAPA, SUDENE e DNOCS. (Convênio EMBRAPA/SUDENE/DNOCS). Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, São Luiz, MA - Julho 1977. Recebido para publicação em outubro de 1977 e aprovado em abril de 1978.

(2) Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido. CPATSA/EMBRAPA, Petrolina, PE.

(3) Projeto BRA/74/008, FAO/PNUD. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido. CPATSA/EMBRAPA, Petrolina-PE.

INTRODUÇÃO

A maioria dos problemas de drenagem encontra-se em solos aluviais que se caracterizam por apresentar estratificações texturais no perfil. Essa anisotropia determina grande variação nas suas propriedades hidráulicas (Maasland, 1956). Do ponto de vista de drenagem subterrânea de uma área, a grande heterogeneidade dos perfis de solo apresenta problemas para a definição de certas características hidrodinâmicas que se constituem em fatores de delineamento dos sistemas subterrâneos. O problema da variabilidade das características hídricas, especialmente condutividade capilar em solos não saturados, tem sido discutido por alguns autores (Nielsen *et alii*, 1973; Reichardt *et alii*, 1976a).

A condutividade hidráulica em solos saturados é um dos fatores de maior importância na delimitação de áreas que requerem diferentes delineamentos e espaçamentos de drenos (Weseling, 1973). Para sua determinação no campo usam-se vários métodos, os quais têm diversos propósitos e são aplicáveis para certas situações, por exemplo, em presença ou ausência do lençol (Boerma, 1965a, 1965b). Contudo, os métodos tradicionais para sua determinação no campo são os de poço e de piezômetro. No caso de solos aluviais muito estratificados, estes métodos apresentam problemas de interpretação e de representatividade de seus valores.

Normalmente, em pesquisa de campo, em solos com perfis homogêneos, e dependendo da extensão da área em estudo, as determinações de condutividade hidráulica se reduzem a uma por hectare. Esta densidade de informação pode não representar as condições reais, quando se trata de solos aluviais estratificados e com problemas de sódio, como é o caso do Perímetro de Irrigação de São Gonçalo, PB (Hidroservice, 1970a). Nesse projeto, visando gerar informação para definir o sistema de drenagem, a Hidroservice (1970b), determinou a condutividade hidráulica mediante uso de piezômetros espaçados de 1 km entre si, numa área aproximadamente 3.000 ha.

Do exposto se deduz a importância de conhecer a representatividade e a relação entre os resultados obtidos com os métodos mais tradicionais quando usados em solos aluviais.

Neste trabalho foram empregados três métodos de campo e um método indireto para determinar a condutividade hidráulica, numa área restrita de solos aluviais e com problemas de sódio, estudar os problemas de representatividade de seus valores, e definir o melhor método para sua caracterização e o procedimento mais apropriado para análises dos resultados.

MATERIAL E MÉTODOS

1. **Localização e descrição da área** - Estabeleceu-se um campo de testes de drenagem subterrânea de 1,3 ha, no Projeto de Irrigação de São Gonçalo, no Estado da Paraíba. Maiores detalhes sobre esse Campo Piloto são apresentados por Millar e Gomes (1978).

O perímetro irrigado de São Gonçalo está localizado

no Município de Souza, no sertão da Paraíba. Segundo a Hidroservice (1970a), o clima da região é seco de estepe, semi-árido quente; as precipitações concentram-se no trimestre fevereiro, março e abril, alcançando a marca de 66% do total anual. A média das precipitações é de 590 mm por ano. O trimestre mais seco é agosto, setembro e outubro, correspondendo a 28% do total anual. A temperatura média é de 27°C, sendo junho e julho os meses mais frios, e novembro e dezembro os mais quentes. A umidade relativa média é de 64% e a evaporação média anual do tanque classe A é de 7,5 mm/dia. Os solos predominantes no perímetro são de origem aluvial, existindo pequena fração de vertissolo.

2. **Parâmetro e métodos** - A determinação da condutividade hidráulica foi feita utilizando vários métodos de campo, em 25 parcelas de 100 m², demarcadas na área, do Campo Piloto. A análise das propriedades físicas e químicas do solo foi executada no laboratório de solos e águas do CPATSA/EMBRAPA, em Petrolina, PE, sendo que as amostras foram coletadas em 13 perfis do Campo Piloto.

A análise granulométrica do solo foi feita através do método da pipeta descrito por Day (1965), tendo como agente dispersante a solução de Calgon a 5%. A densidade das partículas do solo foi determinada em terra fina seca ao ar pelo método do picnômetro usando álcool etílico, e a densidade global, segundo a metodologia do torrão parafinado. A curva de retenção de água no solo foi determinada pelo método da panela de pressão e placa porosa de acordo com Richards (1954).

As propriedades químicas do solo não têm influência nos fatores de delinamento dos sistemas de drenagem, mas são importantes na definição do tipo de material a ser usado na instalação do sistema. Contudo, conhecendo a alta incidência de problemas de solos sódicos e salino-sódicos na área do Projeto de Irrigação, fizeram-se as determinações químicas necessárias para definir o tipo de solo existente no Campo Piloto.

Na determinação da condutividade hidráulica do perfil do solo, em cada uma das 25 parcelas do Campo Piloto, empregaram-se 3 métodos de campo, para a condição de o lençol freático estar a certa profundidade. Os métodos foram: método do poço, do piezômetro e o da determinação através de dados de infiltração básica do solo. Também foi utilizado um método indireto, baseado no conhecimento da granulometria do solo. a. **Método do poço** - É o procedimento mais simples e tradicionalmente usado em pesquisas de drenagem subterrânea. Consiste em perfurar um poço até uma profundidade superior ao lençol freático e, logo que se obtenha a estabilização do lençol, extrair a água e medir o tempo de recuperação do nível freático. Tais medições são realizadas dentro do primeiro quarto de recuperação do nível da água. Para o controle das medições usou-se uma sonda elétrica transistorizada, descrita por Millar (1977). A condutividade hidráulica é calculada diretamente através de fórmulas derivadas para a situação do fluxo para o poço (Van Bavel e Kirkham, 1949; Luthin, 1957), ou através de nomogramas (Van Beers, 1963; Bouwer e Jackson, 1974).

b. **Método do piezômetro** - Usou-se o procedimento descrito por Luthin e Kirkham (1949). Foram instalados, em cada parcela, tubos de 2 polegadas de diâmetro até profundidade de 1,4 m, construindo-se uma cavidade de 7,5 cm abaixo do extremo inferior do tubo. Extraíu-se a água dos tubos, mediante uma bomba manual e mediu-se a recuperação do nível freático em função do tempo, com a sonda elétrica. A condutividade hidráulica foi calculada usando a fórmula de Kirkham (1946).

c. **Método da infiltração básica** - Consiste em determinar a taxa de infiltração básica no solo, pelo método de cilindros infiltrômetros, e relacioná-la com a profundidade de umedecimento e pressão capilar (Nesterov, citado por Palácios, 1969). Este método é muito usado na União Soviética e pouco conhecido no Ocidente. Segundo Palácios (1969), a taxa de infiltração básica é aproximadamente igual à da condutividade hidráulica, mas um cálculo mais aproximado, considerando a profundidade de umedecimento e a pressão capilar, é feito pela seguinte fórmula: $K = V_i P / (P + H + H_k)$, onde K é a condutividade hidráulica (m/dia), V_i é a taxa de infiltração básica (m/dia), P é a profundidade de umedecimento (m), tomada a partir do fundo do cilindro infiltrômetro, que é determinada após o teste de infiltração, H é a altura média de água no infiltrômetro, e H_k é a pressão capilar (m), a qual depende da textura, como segue: areia grossa: 0,1 H_k ; areia média: 0,1-0,2 H_k ; areia fina: 0,2-0,3 H_k ; silte: 0,3-0,5 H_k ; e argila: 0,5-1 H_k .

Os testes de infiltração com cilindros duplos foram feitos em cada parcela, de acordo com o procedimento descrito por Haise *et alii* (1956). A carga de água no cilindro foi mantida constante, pela inversão de uma garrafa de volume conhecido, previamente calibrada. d. Método indireto - A relação entre condutividade hidráulica, determinada em permeâmetro com amostra de estrutura não deformada e a sua granulometria foi obtida a nível de área do Campo Piloto.

Para estudar a informação de campo obtida pelos diferentes métodos foram feitos cálculos de probabilidade de ocorrência, com a finalidade de definir os valores mais representativos de cada método. Este procedimento é recomendado por Dieleman e Trafford (1976), para o caso da definição de valores representativos de condutividade hidráulica. Tais valores não são normalmente distribuídos, mas, seguem tendência de distribuição logarítmica normal de tal forma que, usando papel log de probabilidade deve-se obter linhas retas, sendo a média logarítmica definida por uma probabilidade de ocorrência de 50% corresponde ao valor mais representativo (Dieleman e Trafford, 1976).

RESULTADOS, DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A Figura 1 mostra esquematicamente o Campo Piloto, indicando os tipos de solos presentes na área. Encontrou-se alta estratificação nos perfis estudados, com presença de horizontes sódicos e salino-sódicos, de acordo com a classificação normalmente usada (Richards, 1954). A maior parte do campo piloto apresenta perfis com camadas sódicas em posições intermediárias, nas profundidades de 30 a 120 cm. O mapa esquemático (Fig. 1) mostra subdivisões de áreas com diferenças características de densidade global e infiltração básica do solo. Observou-se grande variação horizontal dessas propriedades, especialmente quanto a infiltração básica.

A Figura 2 apresenta a probabilidade de ocorrência de densidade global e infiltração básica na área do Campo Piloto. Os valores de densidade global em 20 determinações variam entre 1,45 e 1,77 g/cm³. O valor representativo de densidade global, determinado com probabilidade de 50% é de 1,53 g/cm³. A variação da infiltração básica foi muito maior, flutuando entre 0,06 a 1,28 m/dia, com um valor representativo de 0,4 m/dia. Por outro lado, observa-se que os valores dos parâmetros incluídos na Figura 2 tendem a ter distribuição normal, o que se deduz pela quase linearidade no gráfico de probabilidade em escala normal, o qual também foi evidenciado por Reichardt *et alii* (1976b).

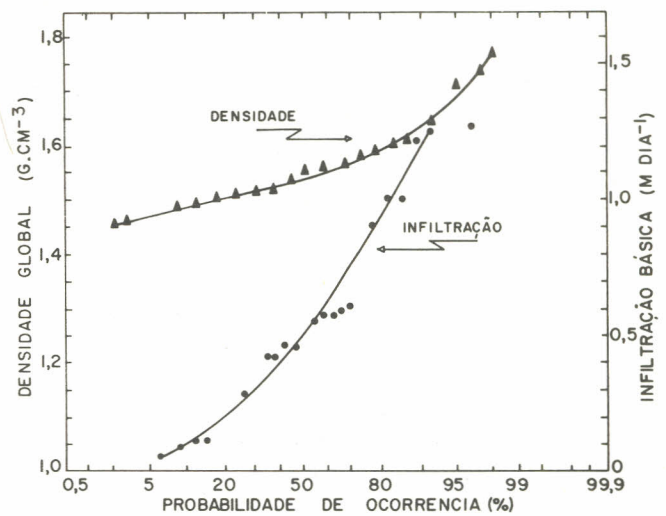


Figura 2. Probabilidade de ocorrência de valores de densidade global e infiltração básica do solo na área do Campo Piloto.

A grande variação de densidade global e infiltração básica é devida à presença de alternância de camadas de solo de texturas areia-barrenta e barro-arenosa, com outras mais adensadas, pela alta concentração de sódio. O campo piloto apresenta as mesmas características gerais do projeto, tornando-se, assim, representativo das condições prevalecentes na área total.

A Figura 3 apresenta os valores de condutividade hidráulica (K) obtidos pelo método do poço para o Campo Piloto e para uma área de 150 ha do Projeto, em papel logarítmico de probabilidade. No caso do Campo Piloto, com uma densidade de 12 determinações por hectare, o valor representativo de K é de 0,25 m/dia, definido com probabilidade de 50%. No caso da área de 150 ha do Projeto, com uma densidade de um teste para cada 3 ha, o valor representativo de K é de 1,2 m/dia. O valor representativo de K fora do Campo Piloto foi 4,8 vezes maior, o que se deve à presença de solos mais arenosos na área testada, correspondente à estação experimental e setores 4 e 5 do Projeto localizados à beira do rio Piranhas.

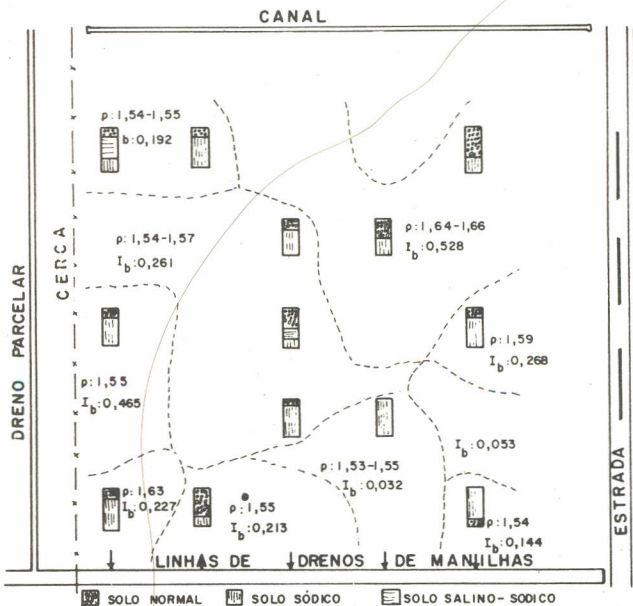


Figura 1. Mapa esquemático do Campo Piloto mostrando subdivisões de áreas com diferentes características de densidade global, p (g cm⁻³) e infiltração básica do solo, I_b (m dia⁻¹).

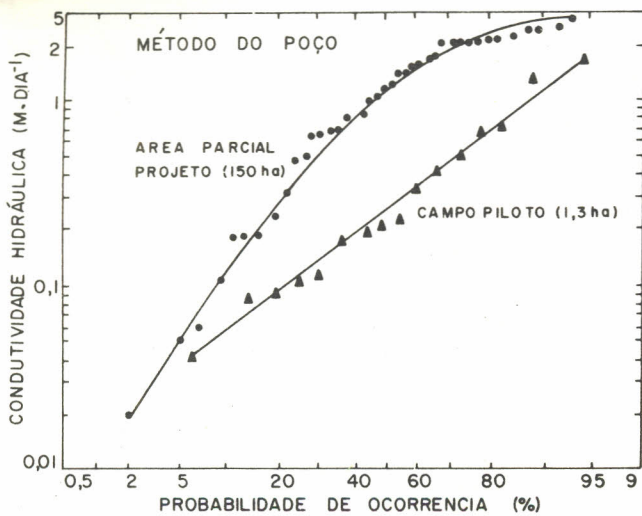


Figura 3. Probabilidade de ocorrência de valores de condutividade hidráulica pelo método do poço, numa área parcial do projeto de irrigação e no Campo Piloto.

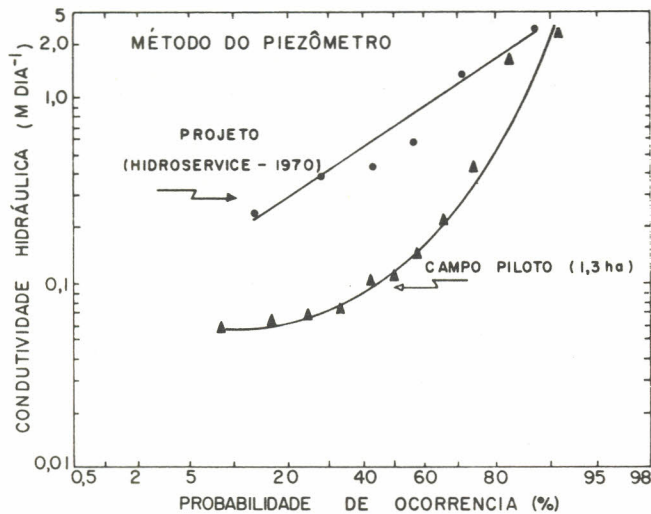


Figura 4. Probabilidade de ocorrência de valores de condutividade hidráulica pelo método do piezômetro na área do Campo Piloto.

A Figura 4 mostra os dados de campo obtidos pelo método do piezômetro para a área do campo piloto e, para comparação, são incluídos dados obtidos pela Hidroservice (1970a). No Campo Piloto, com uma densidade de 8,45 determinações por hectare, o valor representativo de K é de 0,11 m/dia, definido com probabilidade de ocorrência de 50%, entretanto na área do projeto o valor representativo é de 0,7 m/dia. Estas duas populações de informação apresentam diferenças fundamentais, por exemplo, os piezômetros do Campo Piloto foram instalados até profundidade de 1,4 m, a qual corresponde à profundidade de instalação das linhas de drenos subterrâneos. Segundo análise dos solos, a

maior parte dos perfis apresentaram camadas de textura barro-argilosa e barro argilo-arenosa nessa profundidade. No caso da informação da Hidroservice (1970a) os piezômetros, com espaçamento de 1 km, foram instalados a uma profundidade de 3,2 m, atingindo a camada de areia presente sobre o folhelho em toda a área do projeto. Daí a obtenção de valores mais altos neste último caso.

Os dados de K obtidos pelo método da infiltração básica no Campo Piloto são apresentados na Figura 5. Os dados apresentam uma densidade de 15 determinações por hectare. O valor representativo de K por esse método, determinado com probabilidade de ocorrência de 50%, é de 0,18 m/dia.

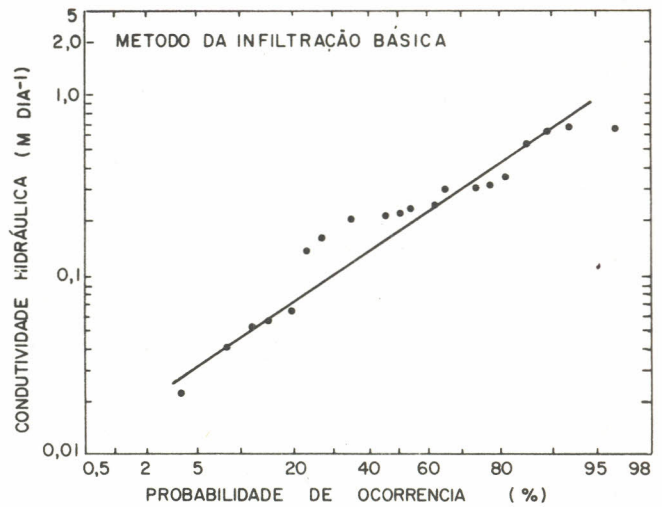


Figura 5. Probabilidade de ocorrência de valores de condutividade hidráulica pelo método da infiltração básica na área do Campo Piloto.

Usando a relação entre os dados de K obtidos pelo método do permeâmetro de altura constante, em amostras com estrutura não deformada, e as características granulométricas da amostra, como feito por Rodas (1970), verificou-se que a condutividade hidráulica estava mais bem relacionada com a porcentagem de areia ou de silte + argila, presente nela. Essas relações foram derivadas, a partir de dados coletados pela Hidroservice (1970a), para toda a área do projeto, e são apresentadas na Figura 6.

As relações da Figura 6 foram usadas para obter dados de K no Campo Piloto, a partir de seus dados granulométricos. Para obter K , foram utilizados dados granulométricos das camadas de 60-90 e 90-120 cm, cujos valores foram colocados em papel logarítmico de probabilidade, apresentados na Figura 7. O valor representativo da condutividade hidráulica por esse método indireto, correspondente a 50% de probabilidade, é de 0,68 m/dia.

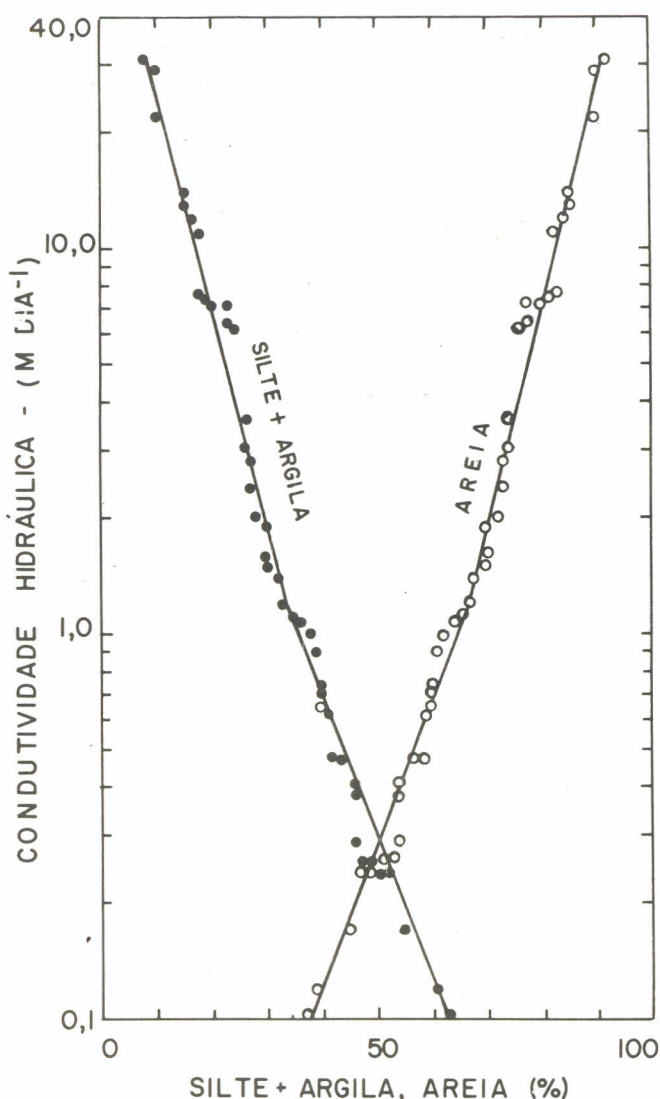


Figura 6. Condutividade hidráulica em função da porcentagem da areia e silte + argila. Estas relações foram derivadas de dados obtidos pela Hidroservice (1970a), para toda a área do Projeto de Irrigação.

Resumindo a situação para os diferentes métodos, observa-se que os valores representativos de K , derivados de um gráfico de probabilidade logarítmica, são da mesma magnitude para todos os métodos usados. Usando o método de descarga de drenos, que integra as condições subterrâneas de toda a área, Millar e Gomes (1978) encontraram que K foi da ordem de 0,1 m/dia, informação esta muito semelhante à obtida através do método do piezômetro. Isso não é surpreendente porque, com o conhecimento prévio da profundidade dos drenos subterrâneos da área, instalaram-se os piezômetros à mesma profundidade. Dessa forma, os piezômetros, assim como os drenos subterrâneos, receberam contribuição de fluxo de água em torno daquela profundidade.

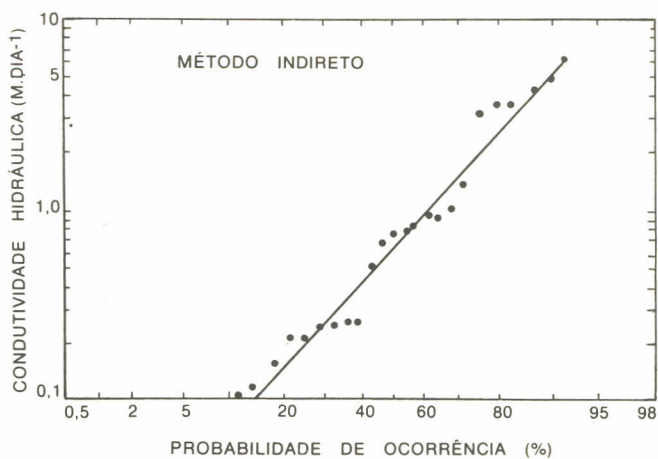


Figura 7. Probabilidade de ocorrência de valores de condutividade hidráulica pelo método indireto na área do Campo Piloto.

Ainda que os valores representativos de K obtidos pelos diferentes métodos sejam da mesma magnitude, os valores individuais para as mesmas parcelas não apresenta boa correlação. Isso também foi evidenciado por Reeve e Kirkhan (1951). A falta de correlação se deve, principalmente ao fato de os valores de K representarem a condição de fluxo de diferentes camadas do perfil do solo. Assim, o método da infiltração básica atinge só uma camada superficial de até 50 cm, dependendo da textura, enquanto o piezômetro dá a média da condição de fluxo de água numa camada em torno de sua profundidade de instalação (1,4 m em nosso caso), e o método do poço dá a média da condição de fluxo de água numa camada de 80 a 140 cm, que é a camada de flutuação do lençol freático durante a determinação de K . Não obstante os valores de K representarem diferentes partes do perfil num mesmo lugar, não existindo correlação significativa entre métodos, a variação horizontal das propriedades na área, permite obter, pelos diferentes métodos, dados representativos de K , semelhantes quando analisados através de gráficos de probabilidade logarítmica.

De todo o exposto deduz-se que os métodos, especialmente de poço e de piezômetro, poderiam ser usados em solos aluviais, desde que sujeitos a algumas restrições. Em primeiro lugar, o número de determinações por área deverá ser bem maior e estas mais bem distribuídas que no caso de solos normais, especialmente no caso do piezômetro que gera informação de uma camada restrita do solo. Quando se tem conhecimento prévio da profundidade de instalação dos drenos subterrâneos, a determinação de K através do piezômetro naquela profundidade poderá dar melhor caracterização do fluxo. Contudo, o método do poço, pelas suas características de simplicidade, facilidade de instalação e rapidez nas determinações, é o mais indicado, porque, além dessas características, dá uma média das condições de transmissão da água numa camada de solo bem maior que no caso do piezômetro. Dada a sua rapidez de determinação,

permite obter maior número de dados numa área por igual tempo, em relação aos outros métodos. Ainda que o valor representativo de K obtido pelo método da infiltração básica tenha sido da mesma magnitude, os outros métodos devem ser preferidos, dada a sua condição de determinação em ausência do lençol e em virtude de gerar informação para camadas superficiais. A presença de uma camada superficial uniforme e de camadas desuniformes em profundidade invalida o uso dos dados para a caracterização do movimento da água nas camadas subsuperficiais; seu uso é mais adequado e gera dupla informação no caso de solos de perfil homogêneo (Palácios, 1969).

O método indireto, através da granulometria, não é o mais adequado para a caracterização prévia ao delineamento de sistemas porque requer a calibração de um método direto que já dá conhecimento das características hidráulicas. Tal calibração poderá ser de utilidade em etapas posteriores, ainda que a acumulação de sais mude a permeabilidade (Richards, 1954), podendo invalidá-la.

LITERATURA CITADA

- BOERMA, L. - Field measurement of hydraulic conductivity below a water table. *In: Black C.A. et alii*, ed. Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Madison, American Society of Agronomy. 1965a. p. 222-223.
- BOERMA, L. - Field measurement of hydraulic conductivity above a water table. *In: Black, C.A. et alii*, ed. Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties including statistics of measurement and sampling. Madison, American Society of Agronomy. 1965b. p. 234-252.
- BOUWER, H. & JACKSON, R.D. - Determining soil properties. *In: Van Schilfhaarde, J.*, ed. Drainage for agriculture. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy. 1974. p. 611-672.
- DAY, P.R. - Particle fractionation and particle-size analysis. *In: Black C.A. et alii*, ed. Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties including statistics of measurement and sampling. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p. 545-567.
- DIELEMAN, P.J. & TRAFFORD, B.D. - Drainage testing. Roma, FAO/ONU, 172p. 1976. (Irrigation and drainage paper n.º 28).
- HAISE, H.; DONNAN, W.W.; PHELAN, J.T.; LAWHON, L.F. & SHOCKLEY, D.G. - The use of cylinder infiltrometers to determine the intake characteristics of irrigated soil. Washington, D.C., USDA, 1956. 10p. (ARS 41-7).
- HIDROSERVICE, Engenharia de Projetos Ltda. - Recuperação hidroagrícola da Bacia de Irrigação de São Gonçalo. Levantamento detalhado de solos. São Paulo, 1970.a. V.1, 180p.
- HIDROSERVICE, Engenharia de Projetos Ltda. - Recuperação hidroagrícola da Bacia de Irrigação de São Gonçalo. Estudos básicos para irrigação e drenagem. São Paulo, 1970b. V.3, 72p.
- KIRKHAM, D. - Proposed method for field measurement of permeability of soil below the water table. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 10:58-68. 1946.
- LUTHIN, J.N. - Measurement of hydraulic conductivity in situ. General description of method and theory. *In: Luthin, J.N.*, ed. Drainage of Agricultural Lands. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1957. p. 420-445.
- LUTHIN, J.N. & KIRKHAM, D. - A piezometer method for measuring permeability of soil in sites below a water table. *Soil Sci.* 68:349-358. 1949.
- MAASLAND, M. - Measurement of hydraulic conductivity by the auger method in anisotropic soil. *Soil Sci.* 81: 379-388. 1956.
- MILLAR, A. - Drenagem de Terras Agrícolas. São Paulo, Mc-Graw Hill do Brasil, 1977. 308p. (no prelo).
- MILLAR, A.A. & GOMES, P.C.F. - Determinação das propriedades hidráulicas em solos aluviais através da descarga de drenos subterrâneos. *R. Bras. Ci. Solo.* 2. 1978. (neste número).
- NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. & ERH, K.T. - Spatial variability of field measured soil-water properties. *Hilgardia* 42:215-259. 1973.
- PALÁCIOS, O. - Apuntes sobre algunos problemas de drenaje y ensalitramiento de terrenos agrícolas. Chapingo, México. Escuela Nacional de Agricultura, Colegio de Post-Graduados, 1969. 244p. (Serie de Apuntes n.º 14).
- REEVE, R.C. & KIRKHAM, D. - Soil anisotropy and some field methods for measuring permeability. *Trans. Amer. Geophys. Union* 32:582-590. 1951.
- REICHARDT, K.; GROHMANN, F.; LIBARDI, P.L. & QUEIROZ, S.V. - Spatial variability of physical properties of a tropical soil. I: Geometric properties. CENA, BT 004, Piracicaba (SP). 1976a.
- REICHARDT, K.; GROHMANN, F.; LIBARDI, P.L. & QUEIROZ, S.V. - Spatial variability of physical properties of a tropical soil. II: Soil water retention curves and hydraulic conductivity. CENA, BT 005, Piracicaba (SP). 1976b.
- RICHARDS, L.A., ed. - Diagnóstico e rehabilitación de suelos salinos e sódicos, USDA, 1954. 172p. (Manual de Agricultura n.º 60).
- RODAS, A. - Determinación de la conductividad hidráulica em muestra de suelo inalteradas. Lima, Peru, Centro de Drenaje y Recuperación de Tierras (CEN-DRET), 1970. 118p.
- VAN BAVEL, C.H.M. & KIRKHAM, D. - Field measurement of soil permeability using auger holes. *Soil Sci. Soc. Proc.* 13:90-96. 1949.
- VAN BEERS, W.F.J. - The auger hole method. A field measurement of the hydraulic conductivity of soil below the water table. Wageningen, the Netherlands, International Institute for Land Reclamation and Improvement. 1963. 32p. (Bulletin 1).
- WESSELING, J. - Theories of field drainage and watershed runoff. 8. Subsurface flow into drains. Wageningen, Holanda, IILRI, 1973, V.2, pp. 2-56 (Publication 16).