

# UM NOVO MÉTODO DE CÁLCULO DA POROSIDADE DRENÁVEL

José Elenildo Queiroz<sup>1</sup>

## RESUMO

Um modo alternativo para cálculo da porosidade drenável a partir de medidas simultâneas de taxas de descarga ( $q$ ) e altura do lençol freático acima do nível do drenos ( $h$ ) é apresentado e discutido. A porosidade drenável foi calculada a partir de medidas feitas por Queiroz (1987) e de dados obtidos no campo experimental de drenagem da ESALQ/USP. O procedimento proposto permite que se estime a porosidade drenável com precisão e relativa facilidade, podendo ser aplicado em substituição ao procedimento gráfico utilizado na literatura de drenagem, em condições de regime variável.

**Palavras-chave:** porosidade drenável, descargas de drenos, drenagem

## A NEW METHOD TO COMPUTE DRAINABLE POROSITY

### ABSTRACT

An alternative way to compute the drainable porosity from measurements of drain discharge rates ( $q$ ) and height of water table above drain axis ( $h$ ) is presented and discussed. The drainable porosity was computed from measurements of field obtained by Queiroz (1987) and data obtained at experimental drainage field of the ESALQ/USP. The proposed procedure can be used to estimate the drainable porosity, with accuracy and relative facility, in substitution to the graphic procedure used in the drainage literature, to transient conditions.

**Key words:** drainable porosity, drain discharge rates, drainage

## INTRODUÇÃO

A porosidade drenável ( $\mu$ ), também denominada macroporosidade ou porosidade efetiva, representa a proporção de macroporos responsáveis pela drenagem e aeração do solo (Kiehl, 1979). Pizarro (1978) e Beltran (1986) definem  $\mu$  como uma fração da porosidade total na qual a água se move livremente, cujo valor equivale ao conteúdo de ar presente no solo na capacidade de campo. Para Skaggs et al. (1973) a porosidade drenável é uma fração do volume de solo drenado durante o processo de rebaixamento do lençol freático. Por esta definição, observa-se que o solo não deve, necessariamente, ter atingido a capacidade de campo. Neste caso, o valor de  $\mu$  é dado pela razão entre o volume de água drenado livremente e o volume de solo envolvido.

Em condições de regime variável a porosidade drenável é utilizada, juntamente com a condutividade hidráulica do solo

saturado ( $K$ ), para cálculo do espaçamento entre linhas de dreno. Sua determinação em laboratório é obtida pela diferença entre o conteúdo de água na saturação e na capacidade de campo (Pizarro, 1978; Coelho, 1985; Machado, 1988) ou através do ajuste da curva de retenção da água no solo, conforme proposto por Queiroz (1995a). O pouco volume de solo envolvido nesses procedimentos constitui um problema a ser considerado quando da definição de um valor representativo para dimensionamento do sistema de drenagem subterrânea.

A determinação da porosidade drenável em campos experimentais de drenagem ou em modelos reduzidos de laboratório pode ser feita através de medições simultâneas de descarga de drenos ( $q$ ) e cargas hidráulicas ( $h$ ). Os resultados obtidos por este procedimento são mais representativos das condições reais estudadas, por envolver um volume maior de solo nas determinações, o que contribui para a redução da variabilidade espacial dos dados; entretanto, a estimativa da  $\mu$

<sup>1</sup>Eng. Agrícola, Dr., Prof. Adjunto., Departamento de Engenharia Florestal/Campus VII/UFPb, CP. 64, 58700-970, Patos, PB, fones: (083)421-3397 e 422-1520. Fax: (083)422-2352.

é feita, comumente, por trabalhosos procedimentos gráficos, mediante a aplicação da teoria de Glover-Dumm, desenvolvida para a condição de regime variável (Dieleman & Trafford, 1976; Queiroz, 1987; Millar, 1988) o que conduz a estimativas com mais possibilidades de erro que um procedimento matemático e estatístico.

No presente trabalho apresenta-se um modo alternativo de cálculo da porosidade drenável a partir de medidas de taxas de descarga e de cargas hidráulicas, sem necessidade de utilização de processos gráficos.

## MATERIAL E MÉTODOS

No desenvolvimento da equação para cálculo da porosidade drenável, duas hipóteses básicas foram consideradas:

1ª) a taxa de descarga varia exponencialmente com o tempo, isto é,  $q(t) = m \cdot e^{nt}$ , em que  $q(t)$  é a taxa de descarga unitária ( $L^2 \cdot T^{-1}$ ),  $t$  o tempo (T) e  $m$  e  $n$  os parâmetros empíricos obtidos por regressão linear;

2ª) o rebaixamento do lençol freático no intervalo de tempo considerado ocorre de maneira uniforme e horizontalmente.

O volume de água drenado ( $V_d$ ) num intervalo de tempo entre dois instantes  $t_1$  e  $t_2$ , pode ser expresso como:

$$V_d = \ell \int_{t_1}^{t_2} q(t) dt \quad (1)$$

sendo  $\ell$  o comprimento ao longo da linha de dreno.

Da primeira hipótese e resolvendo-se a integral da equação (1), deduz-se que:

$$V_d = \frac{\ell m}{n} (e^{nt} - 1) \quad (2)$$

Como a relação entre o  $V_d$  e o volume de solo  $V$  é a porosidade drenável, resulta que:

$$\mu = \frac{\ell m}{Vn} (e^{nt} - 1) \quad (3)$$

Considerando-se a segunda hipótese,  $V = A \ell = S \Delta h \ell$ , sendo  $A$  a área seccional de solo drenado,  $\Delta h$  é a diferença de carga hidráulica no intervalo de tempo considerado e  $S$  o espaçamento entre drenos (experimental, isto é, para determinação da  $\mu$ ); assim, substituindo-se  $V$  por  $S \Delta h \ell$  na equação (3) e se expressando  $\mu$  em porcentagem, resulta:

$$\mu(\%) = \frac{100m}{nS\Delta h} (e^{nt} - 1) \quad (4)$$

Portanto, determinando-se os coeficientes  $m$  e  $n$  por análise de regressão e tendo-se os valores de  $S$  e de  $\Delta h$ , obtém-se  $\mu$ . Para aplicação do procedimento proposto foram utilizados dados de campo obtidos por Queiroz (1987) e dados medidos no campo experimental de drenagem do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Dados de taxas de descargas e cargas hidráulicas acima do nível dos drenos

Queiroz (1987)			Campo experimental de drenagem da ESALQ/USP		
$t_i$ (dias)	$q_i$ ( $m^2 \cdot dia^{-1}$ )	$h_i$ (m)	$t_i$ (dias)	$q_i$ ( $m^2 \cdot dia^{-1}$ )	$h_i$ (m)
0,250	0,1355	0,473	0,000	0,1079	1,000
0,458	0,1119	0,403	0,333	0,0951	-
1,000	0,0668	0,285	1,000	0,0832	0,950
1,500	0,0495	0,216	1,292	0,0677	0,921
2,042	0,0345	0,212	2,333	0,0482	0,673
2,500	0,0288	0,188	3,291	0,0385	0,595
3,083	0,0208	0,174	4,000	0,0350	0,565
-	-	-	5,000	0,0310	0,540

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Da análise de regressão, tipo exponencial, para taxas de descarga em função do tempo, isto é,  $q = q(t)$ , resultou um coeficiente de determinação ( $r^2$ ) igual a 0,983 para os dados obtidos por Queiroz (1987) e 0,965 para os dados do campo experimental de drenagem da ESALQ/USP (Figura 1) o que demonstra bom ajuste dos dados, confirmando que a primeira hipótese pode ser assumida.

Os coeficientes empíricos  $m$  e  $n$  para os dados obtidos por Queiroz (1987) foram 0,14373 e -0,65624, respectivamente. No caso dos dados do campo experimental da ESALQ/USP, esses coeficientes foram 0,10093 e -0,26250, respectivamente.

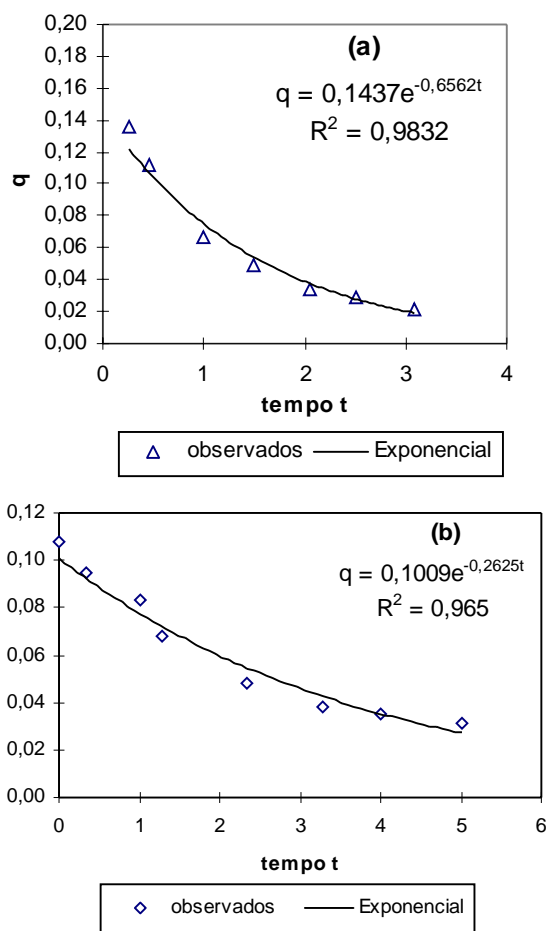


Figura 1. Taxas de descarga  $q$  ( $m^2 \text{ dia}^{-1}$ ) em função do tempo (dias) para os dois conjuntos de dados utilizados: (a) dados obtidos por Queiroz (1987) e (b) dados obtidos no campo experimental de drenagem da ESALQ/USP.

Considerando-se o intervalo de tempo entre as primeira e última medidas, as diferenças de carga hidráulica foram:  $\Delta h_1 = 0,2987$  m e  $\Delta h_2 = 0,46$  m. Com estes valores e os espaçamentos experimentais  $S_1 = 16$  m (sistema-piloto de drenagem instalado no Município de Sumé, Estado da Paraíba) e  $S_2 = 10$  m (sistema instalado no campo experimental da ESALQ/USP, Município de Piracicaba, Estado de São Paulo), respectivamente, utilizando-se a equação (4), foram obtidos os seguintes valores de porosidade drenável:  $\mu_1 = 3,87\%$  e  $\mu_2 = 6,10\%$ .

Na área-piloto do Município de Sumé, Queiroz (1987) utilizando os procedimentos gráficos sugeridos por Dieleman & Trafford (1976) obteve porosidade drenável de 5,2%, o que representa 34% acima do valor de  $\mu_1$  obtido pelo método aqui proposto. Essa diferença se deve, provavelmente, a erros de aproximações gráficas no método utilizado por Queiroz (1987). No caso dos dados do campo experimental de drenagem da ESALQ/USP, Queiroz (1995b) obteve valor médio igual a 6,413%, a partir de 84 determinações de laboratório o que corresponde a uma diferença de 5%, aproximadamente, acima do valor de  $\mu_2$ . Vale ressaltar que no método de laboratório, o pequeno volume amostral é um fator que contribui para aumentar a variância dos dados, sendo preferível, para fins de drenagem subterrânea, o uso dos métodos de campo, os quais são representativos de um volume maior de solo, o que diminui o efeito da variabilidade espacial.

O método proposto, embora apresente erros de estimativa devido à análise de regressão envolvida,  $q = q(t)$ , constitui alternativa para o cálculo da porosidade drenável a partir de medidas de  $q$  e de  $h$ , podendo-se utilizá-lo em substituição ao método gráfico convencional, que apresenta maiores possibilidades de erro nas estimativas.

## CONCLUSÕES

O procedimento proposto constitui alternativa para estimativa da porosidade drenável, a partir de medidas de descarga e cargas hidráulicas acima do nível dos drenos, com maior precisão e facilidade de cálculos em relação ao procedimento gráfico utilizado nos manuais de drenagem agrícola, em condições de regime variável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELTRAN, J.M. **Drenaje agrícola**. Madrid:Iryda, 1986. v.1, 239p.
- COELHO, E.F. **Desempenho de algumas equações de drenagem e dos drenos abertos e cobertos em condições de campo**. Viçosa: UFV, 1984. 80 p. (Dissertação de Mestrado).
- DIELEMAN, P.J. & TRAFFORD, B.D. **Ensayos de drenaje**. Rome: FAO, 1976. 140 p. (Estudios FAO: Riego y Drenaje, n° 28).
- KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262p.
- MACHADO, R.V. **Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos em uma hidrossequência de solos bem a mal drenados**. Lavras: ESAL, 1994. 88p. (Dissertação de Mestrado).
- MILLAR, A.A. **Drenagem de terras agrícolas: bases agronômicas**. São Paulo: Editerra, 1988. 306p.
- PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos**. Madrid: Agrícola Espanhola, 1978. 525p.
- QUEIROZ, J.E. **Avaliação do desempenho hidráulico de dois sistemas-piloto de drenagem subterrânea usando-se manilhas de barro, no perímetro irrigado de Sumé, PB**. Campina Grande: UFPb, 1987. 98p. (Dissertação de mestrado).
- QUEIROZ, J.E. Estimativa da porosidade drenável de um solo de várzea em função da tensão da água no solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.52, n.3, p.469-475, Set.Dez. 1995a.
- QUEIROZ, J.E. **Parâmetros hidrodinâmicos de um solo de várzea para fins de drenagem subterrânea**. Piracicaba: ESALQ, 1995b. 167p. (Tese de Doutorado).
- SKAGGS, R.W. ; KRIZ, G.J.; BERNAL, R.F. Field evaluation of transient drain spacing equations. **Transactions of the ASAE**, v.16, n.3, p.590-595, 1973.