

ANÁLISE COMPARATIVA DE METODOLOGIAS PARA ESTIMATIVA DA POROSIDADE DRENÁVEL¹

CAVALCANTE JÚNIOR, J.A.H.²; R. N. T. COSTA³; A. T. MEDEIROS⁴

RESUMO: O estudo teve por objetivo proceder a uma análise comparativa de metodologias para estimativa da porosidade drenável. Utilizaram-se as seguintes metodologias: rebaixamento do lençol freático (Taylor, 1959), ABNT (1998) e equação empírica de van Beers (Beltran, 1986). O trabalho foi realizado em um modelo físico de drenagem em área do Laboratório de Hidráulica e Irrigação da UFC. Na implementação da metodologia preconizada pela ABNT utilizaram-se amostras indeformadas. Um permeâmetro de carga constante foi utilizado para o cálculo da condutividade hidráulica do solo saturado (K_o), com vista à estimativa da porosidade drenável por equação empírica proposta por Beers. A análise comparativa dos valores estimados pelas três metodologias foi procedida através de histogramas e dos valores do erro relativo, considerando-se a metodologia preconizada por Taylor como padrão. Os valores de porosidade drenável obtidos pela equação empírica de van Beers apresentaram menores erros relativos no material de solo com maior teor de silte e argila.

PALAVRAS-CHAVE: porosidade drenável, ABNT, equação empírica

SUMARY: The essay had as an aim to estimate the drenable porosity by different methodologies. Were applied methodologies based on the drawdown of the water table, ABNT and empirical equations by van Beers. In the application of the methodology used by ABNT were used underfomable samples. One steady charge permeameter was used to the calculation of K_o and latter the estimate of the drenable porosity by empirical equation proposed by Beers. After the analysis of the results were obtained the following conclusions: The values of drenable porosity obteneid by the empyrical equation of van Beers showed minor errors relatives in the soil matter with greater of silts and clay. The values of drenable porosity estimated by the methodology suggested by ABNT, showed a straight correlation with the amount of silts and clay in matter of soil analysed.

KEYWORDS: drenable porosity, ABNT, empirical equations.

¹ Parte da Monografia de Graduação em Agronomia apresentada na UFC

² Eng° Agr° Mestrando em Irrigação e Drenagem, Bolsista Cnpq, UFC, Av. Mister Hull, S/N, CP 12168, CEP 60455-970 Fortaleza, CE, (85) 40089757, e-mail: cavalcante_junior@hotmail.com

³ Prof. Adjunto Doutor, DENA, UFC, Fortaleza, CE.

⁴ Eng° Agr° Doutor, DENA, UFC, Fortaleza, CE

INTRODUÇÃO: A porosidade drenável, também denominada porosidade livre de água ou porosidade efetiva (f), é definida como o volume de água que é drenada livremente por unidade de volume de solo, através do rebaixamento do lençol freático (Cruciani, 1987). Beltran (1986) e Pizarro (1978) definem porosidade drenável 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.

A porosidade drenável pode ser determinada usando métodos de campo e de laboratório e, ainda, estimada em função de algumas propriedades do solo ou equações empíricas. O valor da porosidade drenável em áreas experimentais de drenagem pode ser obtido por meio de medições simultâneas de cargas hidráulicas e descarga de drenos, sendo os resultados mais representativos das condições reais, por envolver um volume de solo maior, o que contribui para a redução da variabilidade espacial dos dados (Queiroz, 1997).

Na impossibilidade da determinação da porosidade drenável, van Beers sugere estimá-la a partir do valor da condutividade hidráulica do solo saturado (k_o), conforme Beltran (1986). Sua determinação em laboratório é obtida pela diferença entre o conteúdo de água na saturação e na capacidade de campo, sendo esta metodologia sugerida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1998).

A porosidade drenável é um parâmetro hidrodinâmico do solo de grande importância para fins de dimensionamento de sistema de drenagem subterrânea, porquanto, constitui variável necessária ao cálculo do espaçamento entre drenos para condições de fluxo não-permanente, quanto para o cálculo do coeficiente de drenagem subterrânea.

O presente trabalho teve como objetivo estimar a porosidade drenável em duas unidades de solo através do rebaixamento do lençol freático e descarga de drenos e proceder a uma análise comparativa com a metodologia sugerida pela ABNT e equação empírica sugerida por van Beers.

MATERIAL E MÉTODOS: O trabalho foi conduzido no Laboratório de Hidráulica e Irrigação, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará (UFC), no período de agosto a outubro de 2004.

No estudo utilizou-se um modelo físico constituído por dois tanques de alvenaria, medindo-se 1,5m de altura, 2,0m de largura e 1,5m de comprimento. Foi utilizada uma classe textural de solo com composições granulométricas diferenciadas (Tabela 1). Colocaram-se duas entradas de água junto ao fundo do tanque, ambas ligadas a um registro, que permitia o enchimento individual dos tanques. Na parte externa, instalou-se na parede frontal, um tubo de PVC $\frac{3}{4}$ com quatro saídas de água, a intervalos consecutivos regulares de 0,20m, acoplado

a um dreno na parte inferior. O modelo físico foi projetado com vista a permitir a saturação do solo por fluxo ascendente.

Tabela 1. Análise granulométrica do material de solo dos tanques de drenagem 1 e 2.

Tanques	Horizonte	Composição Granulométrica (g/kg)					Classificação Textural
	Prof (m)	Areia Grossa	Areia Fina	silte	Argila	Argila Natural	
1	0,0 – 0,2	858,0	104,5	21,5	15,6	5,2	Areia
	0,2 – 0,4	868,0	108,0	8,0	16,0	2,4	
	0,4 – 0,6	872,5	100,5	7,2	19,8	8,2	
2	0,0 – 0,2	425,5	478,5	79,0	17,0	7,2	
	0,2 – 0,4	364,0	525,5	80,5	30,0	15,8	
	0,4 – 0,6	465,0	418,5	84,1	32,4	18,6	

A estimativa da porosidade drenável do solo em base ao volume de água drenada ao respectivo rebaixamento do lençol freático, foi estimada pela equação proposta por (Taylor, 1959) Expressão 1. Os tanques receberam inicialmente uma recarga com os drenos fechados, no intuito de se elevar o lençol freático até a superfície do solo. Atingida essa condição, a recarga era suspensa, procedendo-se às medições da água drenada nas diferentes camadas de estudo. No intuito de acompanhar a posição do lençol freático por ocasião das coletas de dados, instalou-se em cada tanque, um poço de observação (Cordeiro et. 1986). O volume de água era aferido em um recipiente cilíndrico calibrado.

$$f_n(z) = \frac{Va}{A(Z_n - Z_{n-1})} \quad (1)$$

sendo:

A: área da secção transversal do perfil de solo drenado;

Z_n e Z_{n-1} : profundidade final e inicial do nível de água.

A porosidade drenável estimada pela metodologia sugerida da ABNT e pelo uso de equação empírica de van Beers, foram utilizadas amostras indeformadas, coletadas nas camadas correspondentes de 0,0-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6m. As amostras foram coletadas com auxílio de um trado de Uhland e um extrator de solo. Pela ABNT as amostras forma saturadas, aplicadas uma tensão de 6kPa obtida através de um funil de Haine e por diferença de umidade estimou-se a porosidade drenável. Já pela equação empírica de van Beers a porosidade drenável foi estimada a partir do valor da condutividade hidráulica do solo saturado Equação 2. A condutividade hidráulica do solo saturado foi obtida através do meto do permeâmetro de carga constante, sendo a própria experiência de Darcy.

$$f = \sqrt{k_0} \quad (2)$$

em que:

f : porosidade drenável, %

k_0 : condutividade hidráulica do solo saturado (cm.dia⁻¹).

No estudo foi calculado o desvio ou erro relativo. Na análise dos valores de porosidade drenável considerou-se o valor determinado pela metodologia preconizada por Taylor (1959) como padrão, conforme o United States of Berau Reclamtion (USBR (1978).

O valor do erro relativo foi calculado por meio da seguinte expressão:

$$E_r = \frac{S_e - S}{S} \quad \text{sendo,} \quad (3)$$

E_r : erro relativo, adimensional;

S_e : porosidade drenável estimada pela equação proposta por van Beers e pela metodologia do funil de Haines

S : porosidade drenável medida em base ao rebaixamento do lençol freático.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Na Tabela 1 são apresentados os valores médios de porosidade drenável nas camadas de solo analisadas, através das metodologias preconizadas por Taylor (1959), equação de van Beers e ABNT.

Tabela 1. Valores médios de porosidade drenável em porcentagem obtidos pelos três métodos utilizados.

Camadas (m)	Tanque de Drenagem 01			Tanque de Drenagem 02		
	Métodos					
	Taylor (1959)	Van Beers	ABNT	Taylor (1959)	Van Beers	ABNT
0,00 – 0,20	13,22	48,98	20,25	3,03	14,86	26,91
0,20 – 0,40	21,08	58,67	16,42	12,38	13,21	28,66
0,40 – 0,60	22,65	47,55	15,87	19,54	9,04	19,24

Os maiores valores de porosidade drenável obtidos através das metodologias de Taylor e ABNT, nas três camadas de solo analisadas foram observados no material de solo contido no Tanque de Drenagem 01, o qual apresenta uma maior percentual da fração granulométrica areia grossa, comparativamente ao valor desta fração granulométrica no Tanque de Drenagem 02.

O baixo valor de porosidade drenável obtido na camada de 0 – 0,20 m do material de solo contido no Tanque de Drenagem 02, provavelmente deve ter sido influenciada por uma elevada incidência de “ervas daninhas” (*Cyperus rotundus* – tiririca), a qual deve ter contribuído para reduzir o espaço poroso drenável do solo.

Na metodologia preconizada por Taylor, a qual se baseia na movimentação do lençol freático, observou-se uma tendência de incremento nos valores de f com a profundidade nos dois materiais de solo analisados. Provavelmente estes incrementos devem estar associados à contribuição de água proveniente da franja capilar das camadas superiores de solo.

Os resultados evidenciam maiores valores de porosidade drenável associadas às condições de maior drenabilidade do material de solo (tanque 1.), todavia a amplitude de valores de porosidade drenável entre os dois materiais analisados, superior a 400% para a camada de 0,40 m – 0,60 m, não pode ser explicada pela diferença entre as respectivas frações granulométricas.

Os maiores valores de umidade volumétrica do solo saturado do material de solo acondicionado no Tanque de Drenagem 02 se comparado ao material de solo do Tanque de Drenagem 01, foram determinantes no valor final da porosidade drenável (f), proporcionando assim valores para esta variável numa relação inversa ao esperado a priori.

Na Tabela 3 são apresentados os valores de erro relativo ou desvio em relação à metodologia preconizada por Taylor (1959).

Tabela 3. Erro relativo referente ao material de solo dos Tanques de Drenagem 01 e 02..

Camadas (m)	Tanque de Drenagem 01		Tanque de Drenagem 02	
	Erro relativo (%)		Erro relativo (%)	
	ABNT	van Beers	ABNT	van Beers
0,00 – 0,20	53,2	278,1	-	-
0,20 – 0,40	-22,1	178,3	131,5	9,9
0,40 – 0,60	-29,9	109,9	-1,5	-53,7

Os resultados demonstraram uma tendência de valores de f com maior desvio ou erro relativo ao utilizar-se à metodologia baseada na equação empírica de van Beers, no entanto, o reduzido número de determinações limita de alguma forma esta generalização. Há de se convir, porém, que a metodologia preconizada pela ABNT deva ser a sugerida, carecendo, porém, de estudos adicionais que contemple maiores valores de tensões para solos com maior teor de argila, ao invés de um valor único de -6 kPa independente da textura de solo.

CONCLUSÕES: A incidência de “ervas daninhas” reduziu a porosidade drenável ou espaço poroso do solo no material de solo com maior presença de silte e argila; A metodologia de van Beers não se mostrou adequada para o material de solo com maior teor da fração granulométrica areia grossa (superior a 80%); A metodologia sugerida pela ABNT demonstrou ser mais adequada que a equação empírica de van Beers, sobretudo para solos com maior teor de areia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Requisitos para elaboração de projetos de drenagem subterrânea para fins agrícolas. Rio de Janeiro, ABNT, 1998, 3p. NBR 14144:1998.
- BETRÁN, J.M. **Drenaje agrícola**. Madrid: Ministério de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1986. v. 1. 239p.
- CORDEIRO, G. G.; SUGUINO, H. H.; CALDAS JÚNIOR, W.; VALDIVIESO, C. R. Parâmetros de drenagem subterrânea nos latossolos do perímetro irrigado de Bebedouro. **VII Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem**, Brasília. p. 607-619. 1986.
- CRUCIANI, D.E. **A drenagem na agricultura**. 4 ed. São Paulo, Nobel, 1989. 337p.
- LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. 1. ed. Piracicaba, 1995, 497p.
- PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos**. Madrid, Editorial Agrícola Española, 1978, 521p.
- QUEIROZ, J. E. Parâmetros hidrodinâmicos de um solo de várzea para fins de drenagem subterrânea. Piracicaba, 1995. 167p. Tese Universidade de São Paulo. – ESALQ.
- TAYLOR, G. S. Drainable porosity evaluation from outflow measurements and its use in drawdown equations. **Soil Science**, Ohio, **90**(6): 338-43, 1959.