

## Equações para estimar a porosidade drenável em Cambissolos Catarinenses <sup>(1)</sup>

**Maria Izabel Warmling<sup>(2)</sup>; Jackson Adriano Albuquerque<sup>(3)</sup>; Rubia Borges Mendes<sup>(4)</sup>; Diego Bortolini<sup>(5)</sup>; Adriano da Costa<sup>(4)</sup>; Cleber Rech<sup>(4)</sup>**

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos oriundos do projeto de pesquisa de mestrado da coautora <sup>(3)</sup>.

<sup>(2)</sup> Estudante de graduação; Universidade do Estado de Santa Catarina; Lages, SC; bel\_warmling@hotmail.com <sup>(3)</sup> Professor Departamento de Solos; Universidade do Estado de Santa Catarina; <sup>(4)</sup> Estudante de mestrado; Universidade do Estado de Santa Catarina; <sup>(5)</sup> Estudante de doutorado; Universidade do Estado de Santa Catarina.

**RESUMO:** A porosidade drenável tem relação com outros atributos do solo e auxilia nas avaliações da qualidade do solo. O trabalho objetivou determinar a porosidade drenável (PD) de alguns Cambissolos do Estado de Santa Catarina; testar modelos matemáticos presentes da literatura para estimar PD; propor uma equação para estimar PD em função de atributos físicos do solo. Foram coletadas amostras indeformadas de seis perfis de Cambissolos no Estado de Santa Catarina a fim de determinar a capacidade de campo, porosidade drenável, densidade e condutividade hidráulica do solo saturado (Ksat). A avaliação da precisão das estimativas para cada equação foi feita a partir da determinação do erro padrão (SD) e, para a obtenção da equação linear a partir de atributos físicos do solo, foi utilizada a função "Linear Regression" – do software livre WEKA. As estimativas obtidas pelas equações de Chossat e Saugnac apresentaram resultados mais satisfatórios em relação às demais equações avaliadas. A equação obtida no trabalho resultou em uma combinação linear de Ksat, conteúdo de areia e densidade do solo.

**Termos de indexação:** capacidade de campo; condutividade hidráulica do solo saturado; regressão linear; erro padrão.

### INTRODUÇÃO

A capacidade de armazenamento de água no solo é uma propriedade fundamental em projetos de irrigação.

Depois de cessada uma chuva e/ou irrigação, a água infiltrada no solo efetua um movimento descendente em resposta aos gradientes de potencial total. Essa distribuição de água ao longo do perfil é conhecida como drenagem.

A água drenável é retida por potenciais matriciais menos negativos, com teores de umidade entre a capacidade de campo e a saturação do solo. Ela representa os poros de um solo que não conseguem reter água contra a força da gravidade e expressa a diferença entre a porosidade total e a

porosidade preenchida com água mesmo após a drenagem (Queiroz et al., 1995).

Dentre os principais parâmetros hidrodinâmicos do solo, destacam-se a condutividade hidráulica saturada (Ksat) e a porosidade drenável (PD).

Juntas, são utilizadas para caracterizar critérios de drenagem. Portanto, uma análise adequada destes parâmetros constitui um aspecto de fundamental importância no planejamento do sistema de drenagem subterrânea (Ribeiro et al, 2007) bem como para avaliar a qualidade do solo para cultivos agrícolas.

O trabalho objetivou determinar a PD de Cambissolos do Estado de Santa Catarina e testar modelos matemáticos presentes da literatura para estimar PD. Além disso, propor uma equação para estimar a PD em função de atributos físicos do solo.

### MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em seis Cambissolos de quatro regiões da Serra Catarinense. Coxilha Rica, dois perfis; São José do Cerrito, um perfil; Morrinhos, um perfil e Palmeira, dois perfis.

As amostras indeformadas de solo foram coletadas na parte mediana de cada horizonte dos perfis selecionados, utilizando-se anéis volumétricos (70,7 cm<sup>3</sup>), com duas repetições em cada horizonte.

Os teores de água no solo foram determinados na saturação e sucção de 6 kPa aplicada em coluna de areia (Reinert e Reichert, 2006).

A condutividade hidráulica do solo saturado foi obtida através do método do permeâmetro de carga constante. Os resultados foram obtidos através do software KSAT.

A porosidade drenável foi calculada através da diferença entre a umidade no solo saturado e a umidade no solo à capacidade de campo determinada na tensão de 6 kPa (ABNT, 1998).

As equações matemáticas analisadas foram as seguintes:

Beers (1965):

$$PD = K_{sat}^{1/2} \quad (1)$$

onde PD é a porosidade drenável em % e Ksat é a condutividade hidráulica do solo saturado em cm d<sup>-1</sup>.

Chossat & Saugnac apud Beltran (1986):

$$PD = 0,025 + 0,006K_{sat} \quad (2)$$

$$PD = 0,0153 + 0,017K_{sat}^{1/2} \quad (3)$$

$$PD = 0,033K_{sat}^{0,289} \quad (4)$$

em que PD é a porosidade drenável em cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> e Ksat é a condutividade hidráulica do solo saturado em m d<sup>-1</sup>.

Otto (1988):

$$PD = 6,37238 + 0,457879K_{sat}^{1/2} \quad (5)$$

$$PD = 2,53619K_{sat}^{0,309505} \quad (6)$$

em que PD é a porosidade drenável em cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> e Ksat é a condutividade hidráulica do solo saturado em cm d<sup>-1</sup>.

Poulsen et al. (1999a, 1999b):

$$PD = 0,066137 * K_{sat}^{\frac{1}{3,15}} * \theta_s^{2/3} \quad (7)$$

$$PD = 10^{[(\log K_{sat} - 4,3)/2,8]} \quad (8)$$

em que PD é a porosidade drenável (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>), Ksat é a condutividade hidráulica do solo saturado (cm d<sup>-1</sup>), e  $\theta_s$  é a umidade de saturação (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>).

A avaliação da precisão das estimativas para cada equação foi feita a partir da determinação do erro padrão (SD), que mede a dispersão entre os valores observados e estimados.

Para obter a equação a partir de atributos físicos do solo, foi utilizada a função Linear Regression do software livre WEKA (Witten & Eibe, 2005), utilizando dados da textura, densidade do solo e de partículas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resultados da granulometria, densidade do solo e de partículas são mostradas na tabela 1.

Os solos são classificados como de textura argilosa. A densidade do solo e de partículas variou e foi dependente da textura do solo.

A PD estimada através dos modelos e a medida em laboratório (Figura 1) foi plotada para analisar a capacidade de estimativa da porosidade drenável pelos modelos apresentados, estabelecendo-se a linha 1:1 como critério de avaliação (Ajuste estatístico para dispersão).

As estimativas obtidas pelas equações 2 e 3 de

Chossat e Saugnac foram as que melhor estimaram a porosidade drenável dos solos estudados. E, ao contrário do observado por Ribeiro et. al. (2007), trabalhando com Latossolos de Minas Gerais, com clima, vegetação, etc. bem distintos daqueles estudados por aqueles autores, que desenvolveram suas equações a partir de solos da França.

As equações sugeridas por Beers (1) e Otto (5 e 6) não são adequadas para estimar a PD, com elevado SD. Segundo Queiroz (1997), o pequeno volume de solo utilizado para determinar de Ksat constitui um problema a ser considerado na estimativa da PD.

O erro padrão de estimativa, em porcentagem, para cada modelo, e o coeficiente de correlação são apresentados na tabela 2.

Como o coeficiente de correlação foi semelhante para todos os modelos, este serviu apenas para avaliar a precisão da equação obtida para cada regressão linear, observando quais as equações tiveram o maior coeficiente.

Na figura 2 estão plotados os valores de PD estimados através da equação de regressão versus os valores de PD observados em laboratório.

Uma combinação linear de Ksat, conteúdo de areia e densidade do solo resultou no melhor ajuste para estimar PD.

Como a PD representa os poros de um solo que não conseguem reter água contra a força da gravidade, o resultado mostrou-se coerente, pois poros maiores que constituem a porosidade drenável são os mesmos que drenam e melhor conduzem água, aumentando Ksat(Queiroz et al., 1995).

A densidade do solo é importante para avaliar a compactação de um solo, portanto, também um bom estimador da PD, pois em solos compactados, menor é a drenagem de água. Marques et al. (2008), avaliando a Ksat em solo da Bacia Amazônica, encontraram que a densidade do solo e o teor de argila são inversamente proporcionais a Ksat, podendo a compactação do solo alterar os resultados obtidos.

## CONCLUSÕES

As equações 2 e 3 de Chossat e Saugnac apresentam resultados satisfatórios para estimar a porosidade drenável para os Cambissolos avaliados, enquanto as equações sugeridas por Beers (1) e Otto (5 e 6) não são adequadas.

A equação sugerida é uma combinação linear de Ksat, conteúdo de areia e densidade do solo, com r<sup>2</sup>=0,84, sendo, portanto adequada para estimar a porosidade drenável dos Cambissolos.

## REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Norma Técnicas. Requisitos para elaboração de projetos de drenagem subterrânea para fins agrícolas. Rio de Janeiro, ABNT, 1998, 3p. NBR 14144: 1998.

BELTRAN, J.M. Drenaje agrícola. Madri: Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario, 1986. 239p.

MARQUES, J.D.O; TEIXEIRA, W.G.; REIS, A.M.; CRUZ JUNIOR, O.F. & MARTINS, G.C. Avaliação da condutividade hidráulica do solo saturada utilizando dois métodos de laboratório na topossequência com diferentes coberturas vegetais no Baixo Amazonas. Acta Amazonas, 38(2):193-206, 2008.

OTTO, S.R.L. Estimativa da porosidade drenável em função das propriedades de solo orgânico. Viçosa: UFV, 1988. 89p. Dissertação Mestrado.

POULSEN, T.G.; MOLDRUP, P.; YAMAGUCHI, T. & JACOBSEN, O.H. Predicting saturated and unsaturated hydraulic conductivity in undisturbed soils from soil water characteristics. Soil Science, 164(2):877-887, 1999b.

POULSEN, T.G.; MOLDRUP, P.; YAMAGUCHI, T.; SCHJONNING, P. & HANSEN, J.A. Predicting soil-water and soil-air transport properties and their effects on soil vapor extraction efficiency. Ground Water Monit. Remediation, 19:61-69, 1999a.

QUEIROZ, J.E. Um novo método de cálculo da porosidade drenável. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 1:117-119, 1997.

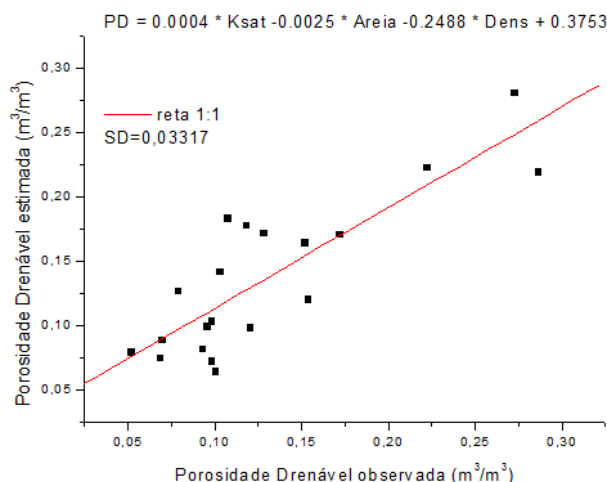
QUEIROZ, J.E.; CRUCIANI, D.E. & LIBARDI, P.L. Estimativa da porosidade drenável de um solo de várzea a partir da tensão de água no solo. Sci. Agric., 52(3):469-475, 1995.

REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.L. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo: protótipos e teste. Ciência Rural, 36(6):1931-1935, 2006.

RIBEIRO, K.D.; NASCIMENTO, J.M.S.; GOMES, N.M.; LIMA, L.A & MENEZES, S.M. Relações matemáticas entre porosidade drenável e condutividade hidráulica do solo saturado. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 11(6):600-606, 2007.

van BEERS, W.F.J. Some homographs for the calculation of drain spacings. Wageningen: International Institute for Land Reclamation and Improvement, 1965. 48p.

WITTEN, I.H. & EIBE, F. Data Mining: Practical machine learning tools and techniques. 2.ed. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2005. 525p.



**Figura 2** – Porosidade drenável estimada equação de regressão versus porosidade drenável observada

**Tabela 1** – Distribuição granulométrica, densidade do solo (Ds) e de partículas (DP) para os seis perfis de solos amostrados

Perfil	Areia	Argila	Silte	Ds	DP
	-----g/kg-----			---kg m <sup>-3</sup> ---	
P1	168	579	252	1.07	2.61
P2	214	525	261	1.07	2.67
P3	120	563	317	1.08	2.88
P4	193	557	250	1.08	2.86
P5	135	565	299	1.04	2.63
P6	232	493	274	0.89	2.60

P1 – Cambissolo Háplico Alfélico típico; P2 – Cambissolo Háplico Alfélico típico; P3 – Cambissolo Háplico Tb Eutroférrico típico; P4 – Cambissolo Háplico Aluminico úmbrico; P5 – Cambissolo Húmico Aluminico típico; P6 – Cambissolo Háplico Aluminico típico.

**Tabela 2** – Erro padrão de estimativa (SD) e correlação linear (r<sup>2</sup>) para as equações estudadas

	SD (%)	r <sup>2</sup>
1	232,3	0,75
2	11,2	0,80
3	1,0	0,75
4	0,9	0,72
5	106	0,75
6	236,1	0,72
7	3,6	0,75
8	107,5	0,72
Regressão (Weka)	3,3	0,84

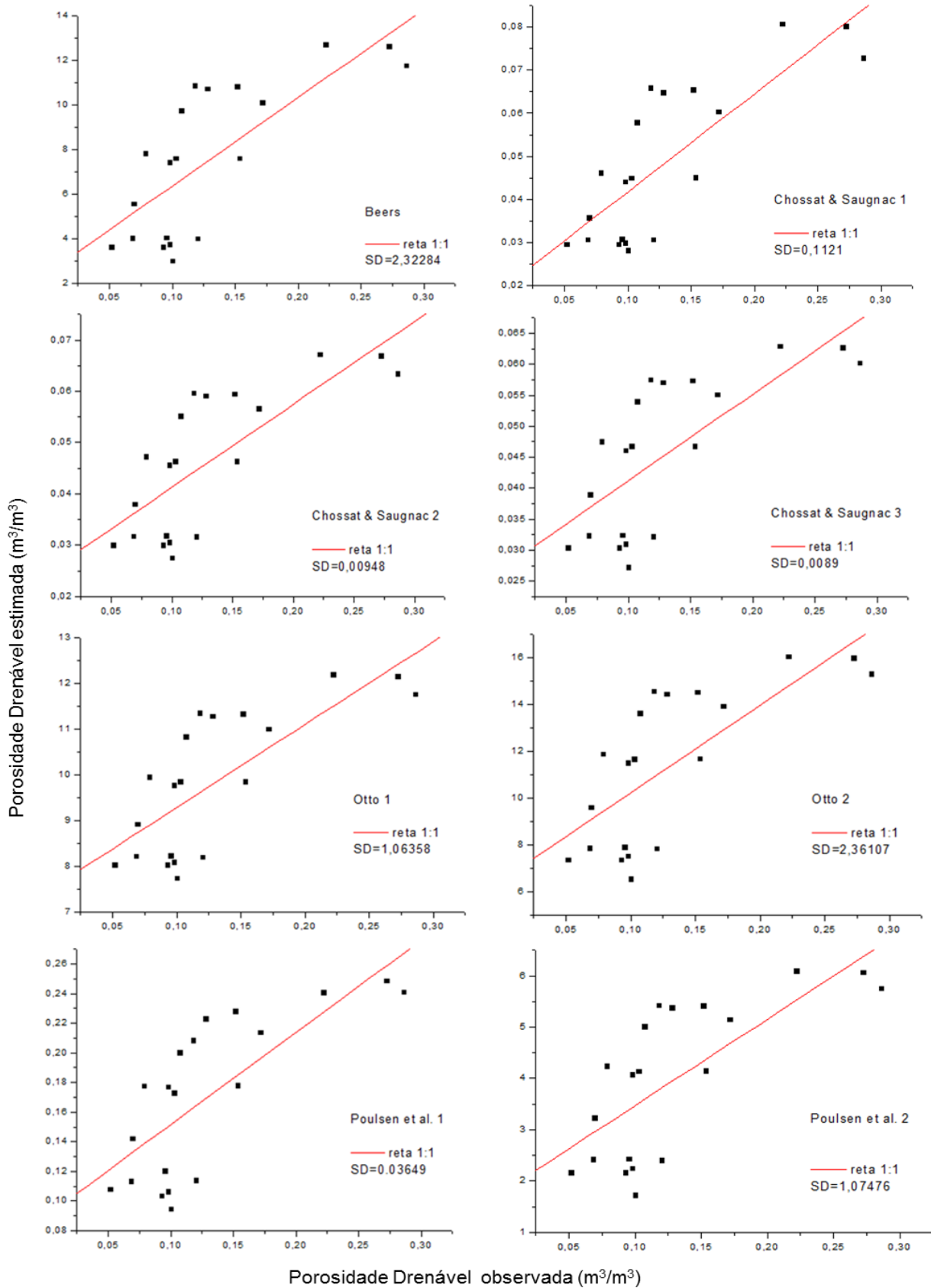


Figura 1 – Porosidade drenável estimada pelos modelos propostos versus porosidade drenável observada