

## Retenção e disponibilidade de água em Cambissolos da Serra Catarinense<sup>(1)</sup>

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

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos do CNPq e CAPES.

<sup>(2)</sup> Professor do Departamento de Solos, CAV-UDESC. Av. Luiz de Camões, 2090, Lages, SC. jackson.irai@gmail.com; <sup>(3)</sup> Estudante de mestrado, CAV-UDESC; <sup>(4)</sup> Estudante de doutorado, CAV, UDESC

**RESUMO:** O manejo correto da água é fundamental em uma agricultura racional, sendo necessário conhecer as variações de umidade e potencial da água. O trabalho objetivou quantificar a água disponível para Cambissolos do Estado de Santa Catarina e verificar suas relações com demais atributos físicos do solo; e avaliar a eficiência das redes neurais artificiais (RNAs) comparada com as obtidas através de regressões lineares múltiplas. Para cada horizonte pedogenético foram coletadas quatro amostras para determinar a curva de retenção de água no solo, porosidade, densidade e condutividade hidráulica saturada, e duas amostras para determinar a RP na capacidade de campo. Também foram determinadas a granulometria, densidade de partículas e a estabilidade de agregados. As curvas de retenção de água foram geradas no SigmaPlot e as redes neurais artificiais foram geradas no software livre WEKA. A retenção de água nos Cambissolos estudados foi maior nos horizontes subsuperficiais, mas o conteúdo de água disponível foi maior nos horizontes superficiais. Nos solos onde o teor de argila aumenta em profundidade, a curva característica demonstrou drenagem mais acentuada. Nos Cambissolos avaliados as RNAs se mostraram mais eficientes na predição dos pontos de saturação, capacidade de campo (10 e 33 kPa) e ponto de murcha permanente (1500 kPa).

**Termos de indexação:** Curva de retenção de água, regressão linear múltipla, redes neurais artificiais.

### INTRODUÇÃO

A água é uma das mais importantes substâncias da crosta terrestre. No entanto, pela qualidade e quantidade disponível para uso humano e na agricultura, tem sido considerada um recurso não renovável. Devido sua importância, o desenvolvimento de modelos sofisticados para descrever o fluxo de água no solo tem sido realizado por vários pesquisadores da física do solo (Schaap & Leij, 1998).

Um manejo correto da água é ponto fundamental em uma agricultura racional, e depende do

conhecimento da curva de retenção de água (CRA) que relaciona o conteúdo de água volumétrico com o potencial matricial com que ela está retida (Hillel, 1998). Medidas diretas do potencial da água são dispendiosas e como alternativas funções de pedotransferência (FPTs) podem ser usadas para prever as propriedades hidráulicas a partir de atributos como textura e densidade do solo (Schaap & Leij, 1998). A avaliação e geração de FPTs para solos catarinenses foram cuidadosamente feitas por Costa (2012), usando modelos de regressões múltiplas.

Em uma breve exposição Tamari et al. (1996) mostraram que o uso de redes neurais artificiais (RNAs) se mostraram mais eficientes que as regressões múltiplas na predição das FPTs.

Objetivou-se quantificar a água disponível para Cambissolos do Estado de Santa Catarina e verificar suas relações com demais atributos físicos do solo; e avaliar a eficiência das RNAs comparada com as obtidas através de regressões lineares múltiplas.

### MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de Cambissolos foram coletadas em quatro municípios do Estado de Santa Catarina: Coxilha Rica (28°16'3.28"S; 50°29'54.38"O), São José do Cerrito (27°32'03.79"S; 50°43'12.54"O), Lages (27°55'48,3"S; 50°16'23,8"O) e Palmeira (27°33'48,9"S; 50°14'23,2"O).

Foram coletados quatro perfis, sendo que em cada um, os horizontes foram separados pelas suas características morfológicas (A, AB, BA e Bi). No centro de cada horizonte foram coletadas quatro amostras indeformadas com anéis volumétricos (70,7 cm<sup>3</sup>), para obtenção dos seguintes atributos: curva de retenção de água no solo em mesa de areia nas sucções de 1, 6 e 10 kPa (Reinert & Reichert, 2006) e em câmaras de Richards nas tensões de 33, 100, 300, 500, 1.000 e 1.500 kPa (Richards, 1949); condutividade hidráulica saturada pelo permeâmetro de carga constante (Daniel, 1994), onde os resultados foram obtidos através do *software* KSAT; densidade do solo pelo método dos anéis volumétricos e densidade de partícula pelo

método do balão volumétrico modificado (Gubiani et al., 2006).

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (Gee & Bauder, 1986), a partir de amostras deformadas de solo, coletadas em sacos plásticos após a retirada dos anéis, nos mesmos horizontes citados anteriormente. A estabilidade de agregados em água foi mensurada (Kemper & Chepil, 1965) e representada pelo diâmetro médio ponderado (DMP). Para resistência a penetração os anéis foram previamente submetidos a uma tensão de 10 kPa em mesa de areia (Reinert & Reichert, 2006), e a medição realizada com penetrógrafo de bancada da marca Marconi (MA933) usando-se um cone de 4 mm de diâmetro e velocidade constante de 30 mm min<sup>-1</sup>. Após, os anéis foram secos em estufa a 105 °C por 48 h para determinação da densidade do solo.

Foram geradas as curvas de retenção de água a partir do *software* SigmaPlot, ajustando-as à equação de van Genuchten (1980).

O desenvolvimento das redes neurais foi realizado através do *software* WEKA (Witten & Eibe, 2005), que disponibiliza funções para treinamento de RNAs, denominada *Backpropagation*, usando a rede *MultiLayer Perceptron* (MLP).

Para avaliar o desempenho das FPTs geradas usando RNAs utilizou-se o coeficiente de correlação de Pearson e a Raiz do Erro Quadrático Médio (Angelotti Neto, 2007).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resultados da análise granulométrica (Tabela 1) mostram que os Cambissolos têm textura argilosa, e com baixo incremento de argila em profundidade. A DS variou de 0,79 a 1,16 kg dm<sup>-3</sup>, sendo maior nos horizontes mais profundos, com exceção do perfil P4, com menor densidade no horizonte Bi (Tabela 3).

A distribuição de tamanho de poros e a porosidade total do solo variaram (PT = 0,57 a 0,66 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) entre os horizontes e os solos. O volume de macroporos variou entre 0,05 a 0,30 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>. Segundo Reichert et al. (2003), quando a porosidade de aeração é inferior ao nível crítico (0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) é limitante para o desenvolvimento da maioria das culturas.

A Ksat variou entre os horizontes, o que é característico dos Cambissolos, pois apresentam drenagem imperfeita (Tabela 3). A relação existente entre a Ksat e a macroporosidade deve ser descrita considerando as diferentes distribuições das variáveis, por isso foi adotado o logaritmo de Ksat (Mesquita & Moraes, 2004). Ainda, para Hurtado (2004), a variabilidade de Ksat se deve às várias propriedades físicas do solo, uma vez que aquela é influenciada por todas as propriedades que afetam

a distribuição, o tamanho e a forma dos poros da matriz do solo, tais como textura e estrutura.

Apesar de todos os solos pertencerem a mesma ordem e subordem, foi observado comportamento distinto na retenção de água. Nos perfis P1 e P3 as curvas têm declividade suave, no entanto, P2 e P4 tem declividade mais acentuada (Figura 1). Estes solos apresentaram a maior Ksat e maior macroporosidade em relação aos demais. Tão logo estes macroporos foram esvaziados, a mudança brusca ocorre, já que em solos argilosos e com melhor distribuição dos poros a água drena mais lentamente (Hillel, 1998).

A CRA do solo P1 indica uma drenagem maior de água nos horizontes superficiais e maior retenção de água nos subsuperficiais. Nestes horizontes, o teor de argila é maior em relação aos superficiais. O declive mais acentuado no P2 indica maior drenagem no horizonte superficial. A retenção de água é maior no horizonte Bi2, onde também é maior o teor de argila.

Para o perfil P3, o comportamento das curvas é semelhante àquele ocorrido no P1, com maior retenção de água nos horizontes subsuperficiais.

Já o perfil P4 apresenta declive brusco e baixa retenção de água tanto nos horizontes superficiais quanto nos subsuperficiais. É baixo o incremento de argila neste solo e o volume de macroporos é superior aos demais. Segundo Hillel (1998), o conteúdo de água retido a baixas sucções (4 0 a 100 kPa) depende principalmente do efeito de capilaridade e distribuição de tamanho de poros.

A água disponível (AD) – conteúdo de água entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente foi maior nos horizontes superficiais (0,09 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) e menor nos horizontes subsuperficiais (0,06 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>). Uma maior capacidade de retenção de água dos solos não resulta necessariamente em maiores conteúdos de água disponível (Costa, 2012).

As redes foram configuradas com 6 neurônios na camada escondida, seguindo proposta de Schaap e Bouten (1996) e com 10 dobras para validação cruzada (Angelotti Neto, 2007).

As RNAs mostraram melhor desempenho que a regressão para estimar os pontos da CRA (Tabela 2).

As RNAs não excluem nenhum atributo de entrada; o erro é corrigido pelo algoritmo *Backpropagation* que ajusta os pesos visando diminuir o erro a cada iteração. As variáveis de entrada para rede foram textura, distribuição e tamanho de poros (macro, micro e porosidade total de cada horizonte), condutividade hidráulica saturada, resistência à penetração, estabilidade de agregados e densidade do solo e de partículas.

A configuração padrão destas RNAs geradas se mostraram melhores que as regressões, e um melhor ajuste pode ainda ser feito, através de

tentativas e erros até encontrar a melhor combinação dos parâmetros: camadas intermediárias, taxa de aprendizagem, *momentum* e tempo de treinamento das redes.

### CONCLUSÕES

A retenção de água nos Cambissolos estudados é maior nos horizontes subsuperficiais e o conteúdo de água disponível é maior nos horizontes superficiais.

A distribuição do tamanho de poros afeta a condutividade hidráulica saturada, bem como a retenção e disponibilidade de água.

Nos solos onde o teor de argila aumenta em profundidade, a curva característica tem drenagem mais acentuada.

RNAs são mais eficientes na predição dos principais pontos da CRA.

### REFERÊNCIAS

ANGELOTTI NETO, A. Estimativa da retenção de água no solo a partir do uso de equipamentos não convencionais, redes neurais artificiais e funções de pedotransferência. Tese. Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos, 2007. 167p.

COSTA, A. Retenção e disponibilidade de água em solos de Santa Catarina: avaliação e geração de funções de pedotransferência. Tese. Centro de Ciências Agroveterinárias – UDESC, Lages, 2012. 423p.

DANIEL, D.E. State-of-the-art: Laboratory hydraulic conductivity tests for saturated soils. Hydraulic Conductivity and Waste Contaminant Transport in Soil, ASTM, Philadelphia. 1994.

GUBIANI, P.I.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Método alternativo para a determinação da densidade de partículas do solo - exatidão, precisão e tempo de processamento. Ci. Rural, 36:664-668, 2006.

HILLEL, D. Environmental soil physics. San Diego: Academic Press, 1998. 781p.

HURTADO, A.L.B. Variabilidade da condutividade hidráulica do solo em valores fixos de umidade e de potencial matricial. 2004, 100 f. Tese. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D. & WHITE, J.L., eds. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.499-510.

MESQUITA, M.G.B.F & MORAES, S.O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. Ci. Rural, 34:963-969, 2004.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. Ciência & Ambiente, 28:29-48, 2003.

REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo: protótipos e teste. Ci. Rural, 36:1931-1935, 2006.

RICHARDS, L. Methods of measuring moisture tension. Soil Science, 58:95-112, 1949.

SCHAAP, M.G & BOUTEN, W. Modeling water retention curves of sandy soils using neural network. Water Resour. Res., 32:3033-3040, 1996.

SCHAAP, M.G. & LEIJ, F.J. Using neural networks to predict soil water retention and soil hydraulic conductivity. Soil Till. Res., 47:37-42, 1998.

TAMARI, S.; WOSTEN, J.H.M. & RUIZ-SUÁREZ, J.C. Testing an artificial neural network for predicting soil hydraulic conductivity. Soil Sci. Soc. Am. J. 60:1732-1741, 1996.

van GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 44:892-897, 1980.

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

**Tabela 1** – Teores de areia, argila e silte.

Perfil/ Horizontes	camada (cm)	Areia	Argila	Silte
		-----g/kg-----		
P1	A1 (0-10)	270	424	306
	A2 (10-21)	270	432	298
	AB (21-47)	127	590	282
	BA (47-60)	105	675	219
	Bi1 (60-80)	131	668	201
	Bi2 (80-102)	108	685	207
P2	A (0-22)	182	407	411
	Bi2 (45-75/85)	58	718	224
P3	A (0-23/27)	243	422	335
	Bi (23/27-40/47)	142	692	165
P4	A (0-22)	261	464	275
	AB (22-42)	238	491	270
	Bi (42-75)	199	524	277

Cambissolo Háplico Alítico típico – P1; Cambissolo Háplico Tb Eutroférico típico – P2; Cambissolo Háplico Aluminico úmbrico – P3 e Cambissolo Háplico Aluminico típico – P4

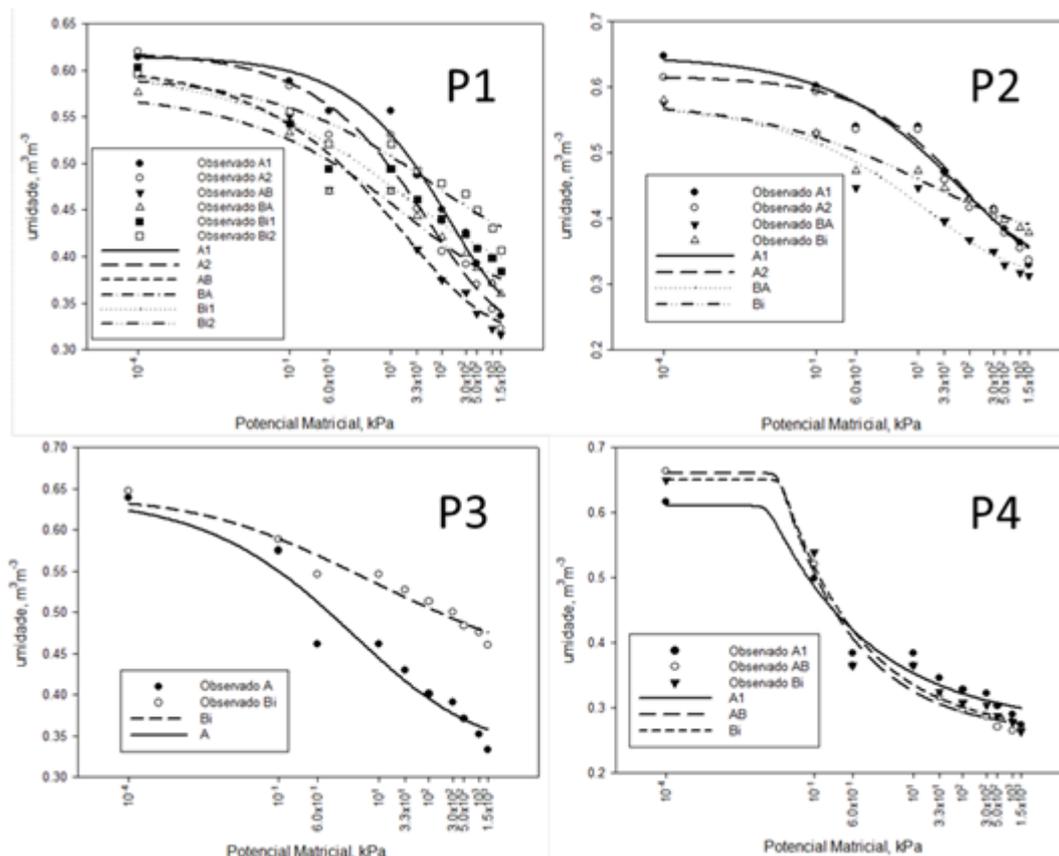
**Tabela 2** – Coeficiente de correlação (R) e raiz do erro médio quadrático (REMQ) das FPTs desenvolvidas através de regressão múltipla (RM) e redes neurais (RNA)

Tensão kPa	R		REMQ (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	
	RM	RNA	RM	RNA
0	0,39	0,44	0,039	0,044
10	0,60	0,98	0,055	0,012
33	0,75	0,88	0,044	0,033
1500	0,79	0,80	0,036	0,037

**Tabela 3** – Densidade do Solo (DS), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic), porosidade total (Pt), condutividade hidráulica do solo saturado (Ksat) e diâmetro médio ponderado (DMP) para os perfis de solo avaliados.

Perfil/ Horizontes	DS kg dm <sup>-3</sup>	Mac m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	Mic m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	Pt	logKsat mm/dia	
P1	A1	0,97	0,05	0,56	0,61	1,49
	A2	0,96	0,09	0,53	0,62	2,16
	AB	1,05	0,14	0,47	0,61	1,58
	BA	1,12	0,10	0,47	0,57	1,49
	Bi1	1,15	0,12	0,49	0,61	1,33
	Bi2	1,16	0,07	0,52	0,59	1,58
P2	A	1,06	0,18	0,46	0,64	2,14
	Bi2	1,11	0,10	0,55	0,65	1,59
P3	A	1,05	0,16	0,50	0,66	2,45
	Bi	1,12	0,14	0,51	0,65	2,44
P4	A	0,97	0,24	0,38	0,62	2,59
	AB	0,92	0,30	0,36	0,66	2,52
	Bi	0,79	0,28	0,37	0,65	2,58

Cambissolo Háplico Alítico típico – P1; Cambissolo Háplico Tb Eutroférico típico – P2; Cambissolo Háplico Aluminico úmbrico – P3 e Cambissolo Háplico Aluminico típico – P4



**Figura 1** – Curvas de retenção de água para o Cambissolo Háplico Alítico típico (P1), Cambissolo Háplico Tb Eutroférico típico (P2), Cambissolo Háplico Aluminico úmbrico (P3) e Cambissolo Háplico Aluminico típico (P4).