

## Correlação entre Resistência do Solo à Penetração e outros Atributos Físicos do Solo<sup>(1)</sup>

**Diego Bortolini<sup>(2)</sup>; Jackson Adriano Albuquerque<sup>(5)</sup>; Rubia Borges Mendes<sup>(3)</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 oriundos do projeto de pesquisa de mestrado da coautora.

<sup>(2)</sup> Estudante de doutorado; Universidade do Estado de Santa Catarina; Lages, SC; <sup>(3)</sup> Estudante de mestrado; Universidade do Estado de Santa Catarina; <sup>(4)</sup> Estudante de doutorado; Universidade do Estado de Santa Catarina; <sup>(5)</sup> Professor do Departamento de Solos, Universidade do Estado de Santa Catarina.

**RESUMO:** A resistência à penetração (RP) está relacionada a vários atributos físicos do solo e procura representar a resistência que o solo oferece ao desenvolvimento radicular. Estudos da RP em distintos solos e em seus horizontes pedogenéticos são raros. O presente estudo objetivou determinar a correlação entre a resistência à penetração e outros atributos físicos de seis Cambissolos do Estado de Santa Catarina. Para cada horizonte pedogenético coletaram-se 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 e a estabilidade de agregados. A análise de correlação foi realizada no software livre WEKA. Os valores de resistência à penetração do solo não se encontraram superiores ao crítico para o desenvolvimento radicular à capacidade de campo do solo. A correlação entre os atributos do solo foi mais elevada quando os horizontes foram analisados separadamente. Os pontos da curva de retenção de água e a condutividade hidráulica saturada do solo apresentaram maior relação com a RP.

**Termos de indexação:** Curva de retenção de água, granulometria, condutividade hidráulica saturada, Cambissolo.

### INTRODUÇÃO

A resistência à penetração (RP) tem sido utilizada em diversas áreas de pesquisa agrônoma (Cunha et al., 2002) e auxilia a avaliar os sistemas de manejo do solo e de cultivo (Freddi, 2006). No entanto, em muitos estudos, os objetivos são avaliar o efeito de tratamentos na RP em um mesmo solo, e sua relação com a produtividade das culturas (Argenton et al., 2005; Assis & Lanças, 2005), com poucos estudos avaliando a relação da RP com os atributos físicos do solo.

Sabe-se que a RP está relacionada com a textura, densidade do solo e umidade do solo

(Gomes & Peña, 1996). Poder quantificar o quanto estas propriedades se relacionam é de grande valia, pois ao afetar uma delas, é possível avaliar o quanto as demais serão afetadas.

A retenção e disponibilidade de água estão grandemente relacionadas com a compactação do solo. Portanto, conhecer estas relações ajuda na tomada de decisão (Iaia et al., 2006). Por exemplo, em solos mais úmidos, a coesão das partículas e a RP são menores (Cunha et al., 2002).

O trabalho objetivou determinar a relação entre a resistência do solo à penetração e outros atributos do solo como: textura, densidade, estabilidade de agregados, curva de retenção de água e condutividade hidráulica em Cambissolos do Estado de Santa Catarina.

### MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletadas amostras de solo em seis pontos do Estado de Santa Catarina: P1: Coxilha Rica: 28°16'3.28"S 50°29'54.38"O Cambissolo Háptico Alítico típico; P2: Coxilha Rica: 28°18'27.79"S 50°23'30.70"O Cambissolo Háptico Alítico típico; P3: São José do Cerrito: 27°32'03,79"S 50°43'12,54"O Cambissolo Háptico Tb Eutroférrico típico; P4: Morrinhos: 27° 55' 48,3" S e 50° 16' 23,8" O Cambissolo Háptico Alumínico úmbrico; P5: Palmeira: 27°38'37,4"S 50°09'51,3"O Cambissolo Húmico Alumínico típico; P6: Palmeira: 27°33'48,9"S 50°14'23,2"O Cambissolo Háptico Alumínico típico. Os solos foram classificados segundo EMBRAPA (2006).

As amostras com estrutura preservada para obtenção da curva de retenção de água, condutividade hidráulica saturada, densidade e resistência à penetração foram coletadas na parte mediana de cada horizonte do perfil, utilizando-se anéis volumétricos (6 cm de diâmetro x 2,5 cm de altura) com quatro repetições em cada horizonte. Para determinação da resistência à penetração foram utilizados anéis volumétricos (6 cm de diâmetro x 5 cm de altura) com duas repetições em cada horizonte.

A análise granulométrica e de estabilidade de agregados foram feitas a partir de amostras deformadas de solo, coletadas em sacos plásticos após a retirada dos anéis, em cada horizonte do perfil.

Os teores de água no solo foram determinados na saturação e em diferentes sucções: 1, 6 e 10 kPa aplicadas em coluna de areia (Reinert & Reichert, 2006) e 33, 100, 300, 500 e 1.500 kPa, em câmaras de Richards (Richards, 1949).

A condutividade hidráulica saturada foi obtida através do método do permeâmetro de carga constante, após os anéis terem sido saturados. Os resultados foram obtidos através do *software* KSAT (Gubiani et al., 2008).

Para resistência a penetração os anéis foram previamente submetidos a uma tensão de 10 kPa em mesa de areia (Reinert & Reichert, 2006). A resistência à penetração do solo foi obtida através do 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.

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta segundo Gee & Bauder (1986).

A estabilidade de agregados em água foi mensurada conforme Kemper & Chepil (1965) e representada pelo diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG).

Foi avaliada a correlação entre os atributos separando os perfis dos solos em dois modelos através do *software* livre WEKA (Witten & Eibe, 2005). No primeiro modelo (Modelo I) utilizaram-se os perfis sem separação por horizontes. No segundo modelo (Modelo II), os perfis foram separados em horizontes superficiais, que abrangem o horizonte A e suas subdivisões, e os subsuperficiais, que abrangem o horizonte B e suas subdivisões.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Modelo I

A distribuição do tamanho das partículas e a densidade do solo não variaram sensivelmente entre os solos, mas a resistência à penetração não diferiu entre os Cambissolos estudados (Tabela 1), ficando geralmente dentro do limite de 2,0 MPa, que segundo Silva et al. (1994) é o limiar para o desenvolvimento radicular. A RP foi baixa, pois a análise foi realizada na capacidade de campo de cada solo, e neste ponto o conteúdo de água ficou acima de 0,44 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>.

Na tabela 2 são apresentados os resultados das correlações obtidas entre a resistência à penetração

e os atributos físicos dos solos analisados.

**Tabela 1** – Resumo estatístico dos 6 perfis de solo analisados.

Atributo	Média	DesvP	Mín	Máx
IC, MPa	1,3	0,5	0,3	2,3
g kg <sup>-1</sup> areia	17,96	7,2	5,8	33
g kg <sup>-1</sup> silte	27,37	5,7	16,8	41,1
g kg <sup>-1</sup> argila	54,63	11	38,8	71,8
DS m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	1,03	0,1	0,8	1,2

DesvP – Desvio Padrão; IC – Resistência à penetração (Índice de Cone); DS – Densidade do solo.

Em nenhum deles houve uma correlação alta, tendo a CRA a maior correlação com a resistência a penetração (0,68). Em relação a umidade do solo, Busscher et al. (1997) encontraram que a resistência varia inversamente com o conteúdo de água. Para a textura (teor de argila do solo) e estabilidade de agregados a correlação com a resistência à penetração foi significativa e negativa (-0,6343 e -0,7244, respectivamente). Isto indicou que o aumento da resistência à penetração esteve atrelado também a redução do tamanho de agregados e a redução do conteúdo de argila no solo.

### Modelo II

Na tabela 3 encontram-se os resultados das correlações entre resistência à penetração e os atributos do solo, considerando o horizonte superficial e o subsuperficial. Neste modelo a correlação foi maior e positiva no horizonte superficial e negativo para o subsuperficial. E se percebe que os modelos matemáticos (figura 1) tem melhor ajuste quando se retira a densidade do solo. Isto pode ser devido a grande sensibilidade do parâmetro RP com a densidade do solo, sendo que em altos valores de densidade do solo a RP é um fator limitante na umidade do solo (Klein & Libardi, 2000).

A correlação linear (figura 1) entre IC medido e predito na camada superficial do solo mostra que a equação de regressão linear gerada pelo *software* tem desempenho razoável para prever a resistência à penetração do solo.

Pereira et al. (2002) encontraram que a RP tem relação significativa com o teor de água do solo, levando em consideração a profundidade do perfil. No mesmo trabalho, os autores mostram que a RP aumenta com o aumento de água sob um mesmo



tipo de cultivo.

Este resultado é confirmado pelo presente estudo, mostrando a forte relação da RP com o teor de água no solo, bem como a estrutura do mesmo.

## CONCLUSÕES

A resistência do solo à penetração, medida quando o solo está na capacidade de campo, não é superior ao valor crítico para desenvolvimento radicular, considerado por muitos autores como sendo de 2 MPa.

Os atributos que tiveram maior correlação com a resistência a penetração foram: retenção de água e condutividade hidráulica saturada.

Nos horizontes superficiais a correlação é maior do que nos subsuperficiais.

## REFERÊNCIAS

- ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C. et al. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo
- ASSIS, R.L. & LANÇAS, K.P. 2005 Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférrico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:515-522, 2005.
- BUSSCHER, W.J.; BAUER, P.J.; CAMP, C.R. et al. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. *Soil Till. Res.*, 43:205-217, 1997.
- CUNHA, J.P.A.R. da; VIEIRA, L.B. & MAGALHÃES, A.C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v.10, n.1-4, p.1-7, 2002.
- EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- FREDDI, O. S.; CARVALHO, M. P. & VERONESI JÚNIOR, V. et al. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, v.26, n.1, p.113-121, jan./abr. 2006.
- GEE, G.W. & BAUDER, J.W. Particle-size analysis. in: KLUTE, A., Ed. *Methods of Soil Analysis*. part 1. Madison, p.343-411, 1986.
- GOMES, A.S. & PEÑA, Y.A. Caracterização da compactação através do uso do penetrômetro. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v.49, p.18-20, 1996.
- GUBIANI, P.I.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. *KSat* 2008. UFSM. Santa Maria, 2008
- IAIA, A.M.; MAIA, J.C.S. & KIM, M.E. Uso do penetrômetro eletrônico na avaliação da resistência do solo cultivado com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.10, n. 2, p. 523-530, 2006
- KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L., eds. *Methods fo soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.499-510.
- KLEIN, V.A. & LIBARDI, P.L. Faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e sua relação com a densidade do solo ao longo do perfil de um Latossolo Roxo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.30, n.6, p.959-964, 2000.
- PEREIRA, J.O., SIQUEIRA, J.A.C., URIBE-OPAZO, M.A. et al.. Resistência do solo à penetração em função do sistema de cultivo e teor de água do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n. 1, p.171-174, 2002.
- REINERT, D.J. & REICHERT, J.M.L. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo: protótipos e teste. *Ciência Rural*, v. 36, n.6, p. 1931-1935, 2006.
- RICHARDS, L. *Methods of measuring moisture tension*. *Soil Science*, v. 58, p. 95-112, 1949.
- SILVA, A.P.; KAY, B.D. & PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. *Soil Science Society of America Journal*, v.58, p.1775-1781, 1994.
- Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:425-435, 2005.
- WITTEN, I. H. & EIBE, F. *Data Mining: Practical machine learning tools and techniques*. 2.ed. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2005. 525p.

**Tabela 2** – Correlação entre a resistência à penetração e os atributos físicos do solo, Ksat – condutividade hidráulica saturada, Textura, Estabilidade de Agregados, CRA – Curva de Retenção de Água, DS e os atributos somados.

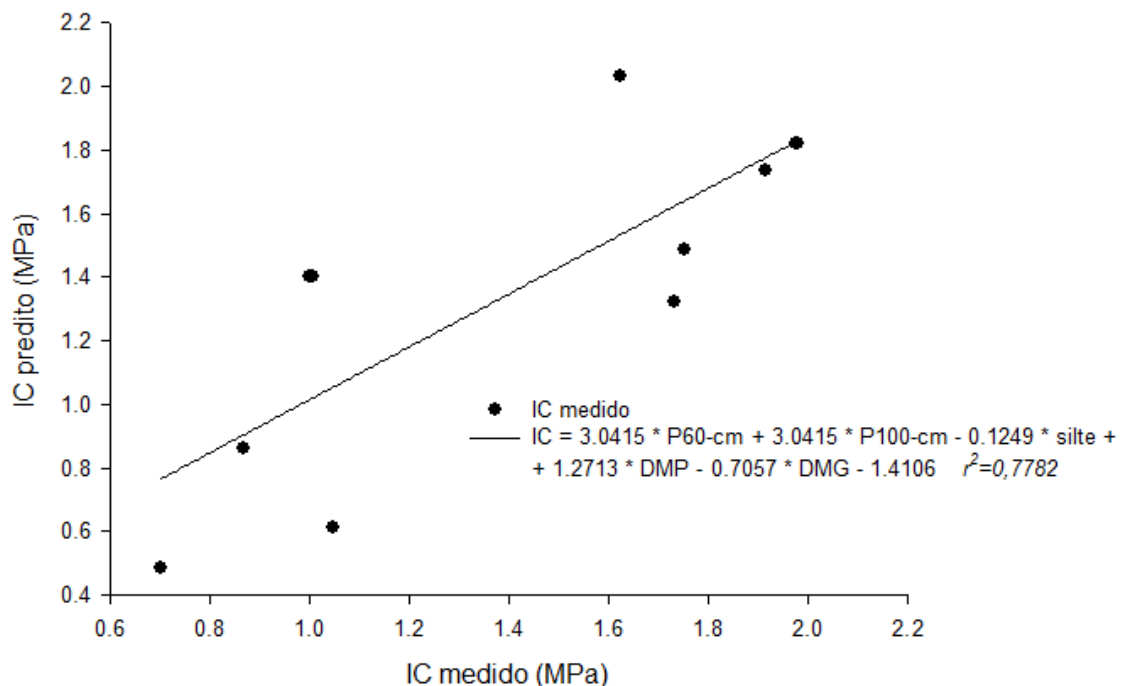
	Ksat	Textura	Estabilidade	CRA	DS	Atributos
R <sup>2</sup>	0,3966	-0,6343	-0,7244	0,6835	-0,1602	0,1616
REQM	0,4684	0,578	0,5287	0,3686	0,5362	0,5723
REQMR (%)	88,333	109,3226	100	72,9965	101,4175	108,2378

R<sup>2</sup> – Correlação linear; REQM – Raiz do erro quadrático médio; REQMR – Raiz do erro quadrático médio relativo.

**Tabela 3** – Correlação entre a resistência à penetração e os atributos físicos do solo, incluindo apenas o horizonte superficial e o horizonte subsuperficial.

	Superficial		Subsuperficial	
	Com DS	Sem DS	Com DS	Sem DS
R <sup>2</sup>	-0,5488	0,7782	-0,5611	-0,6817
REQM	0,5025	0,319	0,6139	0,6131
REQMR (%)	105,4056	62,9681	99,7789	99,656

DS – Densidade do solo; R<sup>2</sup> – Correlação linear; REQM – Raiz do erro quadrático médio; REQMR – Raiz do erro quadrático médio relativo.



**Figura 1** – Valores de IC determinado em penetrômetro de bancada e predito com regressão linear simples.