



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbcs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

Ortigara, Cícero; Koppe, Ezequiel; Bonini da Luz, Felipe; Kaiser, Douglas Rodrigo;
Rodrigues da Silva, Vanderlei

USO DO SOLO E PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE LATOSSOLO VERMELHO

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 38, núm. 2, 2014, pp. 619-626

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180231134026>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

USO DO SOLO E PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE LATOSSOLO VERMELHO⁽¹⁾

Cícero Ortigara⁽²⁾, Ezequiel Koppe⁽³⁾, Felipe Bonini da Luz⁽²⁾, Altamir Mateus Bertollo⁽³⁾,
Douglas Rodrigo Kaiser⁽⁴⁾ & Vanderlei Rodrigues da Silva⁽⁵⁾

RESUMO

O preparo do solo, o tráfego de máquinas e o pisoteio animal em condições de umidade inadequada (consistência do solo no estado plástico) são alguns fatores que provocam deformações plásticas e não recuperáveis. Os objetivos deste trabalho foram determinar e avaliar as propriedades físicas e mecânicas do solo para caracterizar o estado de compactação e a capacidade de suporte de carga em três áreas com diferentes usos (pastejo rotacionado, mata nativa e preparo convencional). Foram coletadas amostras com estrutura preservada nas camadas de: 0,00-0,05; 0,05-0,10; e 0,10-0,15 m de um Latossolo Vermelho distrófico. O uso do solo provocou alterações nos valores de densidade do solo (de 0,84 Mg m⁻³, na mata nativa, a 1,48 Mg m⁻³, no pastejo rotacionado), pressão de pré-consolidação (de 16,5 kPa, no preparo convencional, a 79,4 kPa, no pastejo rotacionado), índice de compressão (de 0,14, no pastejo rotacionado, a 0,77, na mata nativa), resistência à penetração (de 0,45 MPa, no preparo convencional, a 2,56 MPa, no pastejo rotacionado) e macroporosidade (de 0,35 m³ m⁻³, na mata nativa, a 0,03 m³ m⁻³, no pastejo rotacionado). O pisoteio animal intensivo em área de pastagem causou alterações na estrutura do solo, gerando níveis de compactação restritivos às plantas. As áreas de mata nativa e preparo convencional são as mais suscetíveis à compactação do solo, apresentando elevado índice de compressão e baixa pressão de pré-consolidação e densidade do solo.

Termos de indexação: pastagem rotacionada, resistência à penetração, densidade do solo, pressão de pré-consolidação.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em 3 de junho de 2013 e aprovado em 1º de novembro de 2013.

⁽²⁾ Acadêmico do Curso de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, campus de Frederico Westphalen. Linha Sete de Setembro, s/n, BR386, km 40. CEP 98400-000 Frederico Westphalen (RS). Bolsista PET Ciências Agrárias/FW. E-mail: ciceroortigara@hotmail.com, fe_bonini.luz@hotmail.com

⁽³⁾ Mestrando do Programa de Pós Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, UFSM, campus de Frederico Westphalen. Bolsista CNPq. E-mail: koppe03@hotmail.com, altamirmateus@hotmail.com

⁽⁴⁾ Professor, Universidade Federal da Fronteira Sul, campus de Cerro Largo. Rua Major Antônio Cardoso, 590. CEP 97900-000 Cerro Largo (RS). E-mail: douglasrodrigokaiser@gmail.com

⁽⁵⁾ Professor, Departamento de Ciências Agrônômicas e Ambientais, Tutor do Grupo PET Ciências Agrárias/FW, UFSM, campus de Frederico Westphalen. E-mail: vanderlei@ufsm.br

SUMMARY: SOIL USE AND PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF A RED OXISOL

Soil tillage, machine traffic and animal trampling in unsuitable wet soil conditions (consistency in the plastic state) cause plastic and non-recoverable deformations in the soil. The aim of this study was to determine and evaluate the soil physical and mechanical properties to characterize the level of soil compaction and load bearing capacity in three areas with different land uses (rotational grazing, native forest and conventional tillage). Undisturbed soil samples were collected in layers from 0.00-0.05, 0.05-0.10 and 0.10-0.15 m, with five replications. The different land uses altered soil bulk density (from 0.84 Mg m⁻³ in the native forest to 1.48 Mg m⁻³ in rotational grazing), preconsolidation pressure (from 16.5 kPa in conventional tillage to 79.4 kPa in rotational grazing), compression index (from 0.14 in rotational grazing to 0.77 in native forest), resistance to penetration (from 0.45 MPa in conventional tillage to 2.56 MPa in rotational grazing) and macroporosity (from 0.35 m³ m⁻³ in native forest to 0.03 m³ m⁻³ in rotational grazing). Animal trampling in an intensive grazing area alters soil structure up to levels of compaction restrictive for plants. Native forest and conventional tillage are most susceptible to soil compaction due to their high compression index and low preconsolidation pressure and bulk density.

Index terms: native forest, penetration resistance, soil bulk density, preconsolidation pressure.

INTRODUÇÃO

A degradação física do solo em áreas com sistema de integração lavoura-pecuária é causada principalmente pelo intenso tráfego de máquinas e implementos agrícolas nos diferentes sistemas de preparo do solo (Mazurana et al., 2011) e pelo pisoteio animal (Collares et al., 2011; Conte et al., 2011), acarretando áreas de maior estado de compactação superficial e também formação de camadas compactadas ao longo do perfil do solo.

A compactação é uma das formas de degradação da estrutura do solo mais estudadas atualmente (Silva et al., 2002; Suzuki et al., 2007; 2008; Collares et al., 2011), sendo o resultado da força e da intensidade de pressões aplicadas, número de atuações de cargas e tempo de permanência da carga sobre o solo (Suzuki et al., 2008; Debiasi, 2008). A existência de camadas compactadas no solo interfere diretamente o crescimento radicular (Camargo & Alleoni, 1997), a capacidade de retenção de água (Moreira et al., 2012) e a taxa de infiltração (Lanzanova et al., 2007; Silva et al., 2009), influenciando no escoamento superficial, na erosão do solo (Julião et al., 2011) e promovendo redução da produtividade das culturas (Camargo & Alleoni, 1997; Imhoff et al., 2001; Beutler et al., 2005; Suzuki et al., 2007).

O preparo do solo e o tráfego de máquinas em condições de umidade inadequada (consistência no estado plástico) provocam deformações plásticas nele (Mazurana et al., 2011) e podem formar zonas de compactação ao longo do seu perfil, reduzindo sua qualidade física determinada em razão da redução da macroporosidade. Isso dificulta as trocas gasosas do solo com a atmosfera externa e provoca o confinamento do sistema radicular. Giarola et al. (2007), em área de produção intensiva de forragem, e Moreira et al. (2012), em área de integração lavoura-pecuária,

afirmaram que as características físicas do solo variam de acordo com o tipo da forrageira, tempo de implantação da pastagem, lotação animal, umidade do solo durante o pisoteio e textura do solo.

A produção de leite nas regiões oeste e norte do Rio Grande do Sul está alicerçada em pequenas e médias propriedades de agricultura familiar, e as áreas destinadas ao pastejo são utilizadas de maneira intensiva, empregando, principalmente, pastagens perenes de grama tifton (*Cynodon* spp.). Em um trabalho na região de Ijuí, RS, com pastejo intensivo de gado leiteiro sobre grama tifton em um Latossolo Vermelho distroférrico, Collares et al. (2011) verificaram que os valores de densidade do solo (DS) apresentavam-se superiores ao limite crítico (DS > 1,40 Mg m⁻³) para esse tipo de solo (Kaiser et al., 2009), o que compromete o fluxo de água nele e a produtividade das culturas.

A hipótese deste trabalho foi que o tráfego de máquinas nas operações de preparo do solo e o pisoteio animal promovem a compactação do solo até limites superiores dos considerados ideais ao crescimento e desenvolvimento das culturas. Frente ao exposto, o trabalho teve por objetivos determinar e avaliar as propriedades físicas e mecânicas do solo para caracterizar o seu estado de compactação e a sua capacidade de suporte de carga em três áreas com diferentes usos - pastejo rotacionado (PR), mata nativa (MN) e preparo convencional (PC).

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na microrregião do Médio Alto Uruguai, abrangendo os municípios de Taquaruçu do Sul e Frederico Westphalen, RS. A área experimental apresenta na camada superficial (0,00-

0,10 m) 650 g kg⁻¹ de argila, e o solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico (Embrapa, 2006).

Os tipos de uso do solo avaliados foram: Pastagem Rotacionada (PR), Lavoura com Preparo Convencional (PC) e Mata Nativa (MN). O uso da PR é conduzido com pastagem rotacionada de grama Tifton 85 (*Cynodon spp.* cv Tifton 85 - Bermudagrass), desde o ano de 2010, utilizada de forma intensiva com bovinos de leite, sob carga animal de 12 animais ha⁻¹, com 450 kg de peso vivo por unidade animal; o da PC, lavoura manejada com preparo convencional, é norteadada há cinco anos com culturas anuais, com aração até 0,20 m utilizando um arado de discos e posteriormente gradagem superficial; e o da MN constitui-se de área de fragmento de mata nativa pertencente à região fitoecológica da Floresta Estacional Decidual (IBGE, 1991).

As amostras foram coletadas entre os meses de outubro e novembro de 2011, com estrutura preservada utilizando anéis metálicos com altura média de 0,050 m e diâmetro médio de 0,048 m. A inserção dos anéis no solo foi realizada manualmente com a utilização de um extrator e um martelo pedológico. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, realizado em esquema fatorial 3 × 3, sendo os três tipos de uso o fator principal e as três camadas amostradas de solo, o secundário. A amostragem foi realizada nas camadas de 0,00-0,05; 0,05-0,10; e 0,10-0,15 m, constituídas por cinco repetições.

Em laboratório, as amostras foram saturadas com água por capilaridade e sua umidade equilibrada para -6 kPa em mesa de tensão (Reinert & Reichert, 2006). Posteriormente, as amostras foram submetidas a ensaios de compressão uniaxial, utilizando uma prensa de compressão uniaxial automatizada (CNTA-IHM/BR-001/07). Esse ensaio é composto basicamente pela aplicação contínua e sucessiva de pressões preestabelecidas na amostra de solo com estrutura preservada, seguindo o método de Silva et al. (2007). As pressões (0; 25; 50; 100; 200; 400; 800; e 1.600 kPa) foram aplicadas por meio de ar comprimido em uma prensa uniaxial com registro automático das deformações, até obtenção de 90 % da deformação máxima em cada carga.

A curva de compressão foi ajustada por meio do *software* Compress (método 3 de Casagrande), obtendo a pressão de pré-consolidação do solo (σ_p), índice de vazios (IV), índice de compressão (Cc), densidade máxima (DS_{max}) e densidade relativa (DS_{rel}) do solo.

O valor de DS_{max} foi calculado pela deformação do solo na pressão de 1.600 kPa, durante o ensaio de compressão uniaxial. A DS_{rel} foi calculada dividindo-se a densidade inicial do solo (DS), antes do ensaio de compressão, pela DS_{max} (Equação 1):

$$DS_{rel} = DS / DS_{max}, \quad (1)$$

em que: DS_{rel} = densidade relativa do solo; DS = densidade do solo (Mg m⁻³); e DS_{max} = densidade máxima (Mg m⁻³).

A resistência mecânica do solo à penetração (R_p) foi medida em laboratório utilizando um penetrômetro de bancada (modelo MA 933 Marconi) sobre as amostras coletadas nos anéis metálicos. A umidade do solo foi equilibrada a -6 kPa em mesa de tensão. O diâmetro da base do cone utilizado foi de 4 mm e ângulo de 60°; a velocidade de inserção foi de 20 mm min⁻¹, conforme descrito por Tormena et al. (1998).

Após os ensaios, as amostras foram secas em estufa a 105 °C por 24 h para a determinação da umidade do solo. Os resultados foram submetidos à análise de comparação de populações ($p \leq 0,05$), utilizando o programa estatístico *Statistical Analysis System* (SAS, 1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Densidade do solo e resistência à penetração

A densidade do solo (DS) foi alterada pelo uso do solo (Quadro 1). A área com PR apresentou os maiores valores de DS , indicando que o pisoteio animal influenciou negativamente no estado de compactação desse solo. Valores semelhantes foram encontrados por Lanza et al. (2007) em um Argissolo Vermelho-Amarelo com 280 g kg⁻¹ de argila, onde constataram aumento da compactação da camada superficial do solo, quando submetido ao pisoteio animal. Petean et al. (2010), ao avaliarem intensidades de pisoteio animal em área de integração lavoura-pecuária, encontraram valores de DS de 1,32 Mg m⁻³ em Latossolo Vermelho com teores médios de 850 g kg⁻¹ de argila. Já Collares et al. (2011) verificaram valores de densidade superiores a 1,45 Mg m⁻³ em áreas com integração lavoura-pecuária, que são considerados críticos ao crescimento e desenvolvimento radicular (Kaiser et al., 2009).

Os menores valores de DS_{max} foram verificados na MN por causa da elevada quantidade de raízes, folhas e material orgânico em decomposição, o que dificulta a compressão do solo, dissipando a energia de compactação (Braida et al., 2006). Os valores de DS_{max} no uso com PR foram cerca de 16 % superiores aos verificados na MN. Essas diferenças entre os usos do solo interferiram nos valores da DS_{rel} . Valores acima de 0,85 foram verificados na PR e essa diferiu em todas as camadas analisadas para a MN e apenas na camada superficial para o uso com PC, indicando que a DS_{rel} aumentou em razão do estado de compactação do solo. Beutler et al. (2005) e Suzuki et al. (2007) verificaram que os valores ideais de DS_{rel} para um bom rendimento da soja situa-se entre 0,80 e 0,86. Klein (2006) observou que valores acima de 0,88 são limitantes para a produção de grãos. Neste estudo, notou-se que os valores de DS_{rel} estão próximos aos limites críticos citados por Klein (2006).

Situações de manejo e, ou, usos do solo que tendem a aumentar os valores de densidade refletem em menor

intervalo de umidade do solo, onde as condições físicas são adequadas ao desenvolvimento das plantas (Imhoff et al., 2001). Os valores de resistência do solo à penetração de raízes (Rp) aumentaram de forma exponencial e positiva com o aumento da DS (Figura 1), concordando com vários modelos verificados na literatura (Moraes et al., 2012).

A intensidade do pisoteio animal em PR aumentou os valores de Rp, quando comparado à PC e MN (Quadro 1). O sistema de manejo PR apresenta a maior Rp, chegando a valores superiores a 2,5 MPa nas camadas de 0,00-0,05 e de 0,05-0,10 m, sendo considerados por alguns autores (Camargo & Alleoni,

1997; Petean et al., 2010) valores limitantes ao crescimento radicular. No entanto, outros autores afirmaram que valores a partir de 2 MPa já se tornam limitantes ao crescimento radicular (Taylor et al., 1966; Tormena et al., 1998). Conte et al. (2011) encontraram em área de integração lavoura-pecuária, imediatamente após o pastejo, valores de RP semelhantes a este estudo, sendo explicados pelo intenso pisoteio de animais na área, causando compactações adicionais. Moreira et al. (2012), em experimento realizado com sistema integração lavoura-pecuária com histórico de oito anos, salientaram que o pisoteio de animais em pastejo, sobre forrageira com

Quadro 1. Valores médios de densidade do solo (DS), densidade do solo máxima (DS_{max}), densidade do solo relativa (DS_{rel}), resistência à penetração (Rp), Umidade volumétrica do solo a -6 kPa, pressão de pré-consolidação (σ_p), índice de compressão (CC) e índice de vazios (IV) em três sistemas de usos do solo e em três camadas

Camada ⁽¹⁾	PR ⁽²⁾	PC	MN
m			
		Densidade do solo (Mg m ⁻³)	
0,00-0,05	1,48 (1,42-1,55)	1,03 (0,97-1,10)	0,84 (0,77-0,90)
0,05-0,10	1,47 (1,41-1,54)	1,25 (1,19-1,32)	0,89 (0,83-0,96)
0,10-0,15	1,42 (1,35-1,48)	1,28 (1,22-1,35)	0,98 (0,92-1,05)
		Densidade do solo máxima (Mg m ⁻³)	
0,00-0,05	1,70 (1,62-1,77)	1,52 (1,44-1,59)	1,36 (1,29-1,44)
0,05-0,10	1,70 (1,62-1,79)	1,60 (1,53-1,68)	1,48 (1,38-1,57)
0,10-0,15	1,66 (1,58-1,73)	1,59 (1,51-1,66)	1,51 (1,42-1,59)
		Densidade do solo relativa	
0,00-0,05	0,87 (0,83-0,91)	0,68 (0,65-0,72)	0,61 (0,58-0,65)
0,05-0,10	0,86 (0,82-0,90)	0,79 (0,75-0,82)	0,61 (0,57-0,66)
0,10-0,15	0,85 (0,82-0,89)	0,81 (0,77-0,84)	0,65 (0,61-0,69)
		Resistência à penetração (MPa)	
0,00-0,05	2,56 (2,35-2,77)	0,44 (0,23-0,64)	0,42 (0,20-0,62)
0,05-0,10	2,56 (2,35-2,77)	0,88 (0,67-1,09)	0,51 (0,30-0,72)
0,10-0,15	2,05 (1,84-2,25)	1,75 (1,55-1,96)	0,50 (0,29-0,71)
		Umidade volumétrica do solo a -6 kPa (m ³ m ⁻³)	
0,00-0,05	0,43 (0,40-0,47)	0,38 (0,34-0,41)	0,41 (0,37-0,44)
0,05-0,10	0,43 (0,39-0,46)	0,41 (0,37-0,44)	0,38 (0,34-0,41)
0,10-0,15	0,44 (0,40-0,47)	0,43 (0,39-0,46)	0,39 (0,35-0,42)
		Pressão de pré-consolidação (kPa)	
0,00-0,05	43,3 (29,7-57,0)	16,5 (4,3-28,7)	26,8 (11,1-42,6)
0,05-0,10	79,8 (66,2-93,4)	18,7 (6,5-30,9)	16,7 (4,5-28,8)
0,10-0,15	60,0 (47,8-72,2)	26,5 (14,3-38,7)	24,0 (11,8-36,2)
		Índice de compressão	
0,00-0,05	0,13 (0,06-0,21)	0,43 (0,36-0,50)	0,76 (0,67-0,85)
0,05-0,10	0,16 (0,08-0,24)	0,21 (0,14-0,28)	0,62 (0,55-0,69)
0,10-0,15	0,17 (0,10-0,24)	0,22 (0,15-0,29)	0,53 (0,46-0,60)
		Índice de vazios	
0,00-0,05	0,79 (0,60-0,97)	1,44 (1,26-1,63)	2,18 (2,00-2,37)
0,05-0,10	0,80 (0,61-0,98)	1,08 (0,89-1,26)	2,00 (1,81-2,18)
0,10-0,15	0,87 (0,69-1,06)	1,07 (0,88-1,25)	1,68 (1,50-1,87)

⁽¹⁾ Médias e valores de mínima e máxima variação iguais não diferem entre si ($p < 0,05$). ⁽²⁾ PR: pastagem rotacionada intensiva (Tifton 85); PC: lavoura de preparo convencional; e MN: mata nativa.

7 cm de altura, apresentou maiores valores de R_p até a profundidade de 5 cm. A intensidade de pastejo resultou na redução da qualidade física do solo e o incremento da DS é diretamente proporcional ao aumento da R_p (Figura 1).

Na PC, ocorreu aumento da R_p em profundidade, identificando a formação de camadas compactadas chamadas de pé de arado e pé de grade; enquanto, na superfície, foi verificada menor R_p por causa do revolvimento do solo, corroborando com Reichert et al. (2009). A área com MN apresentou os menores valores de R_p em todo o perfil de solo amostrado (Quadro 1).

Parâmetros de capacidade de suporte do solo

O revolvimento do solo no sistema de PC provocou uma frágil condição estrutural do solo, observada pelos menores valores de pressão de pré-consolidação (Quadro 1).

O pisoteio animal elevou os valores de pressão de pré-consolidação (σ_p) no sistema de pastagem rotacionada, em relação aos sistemas com revolvimento do solo e mata nativa. Quando se comparou a σ_p em profundidade no tratamento PR, observaram-se diferenças apenas na camada intermediária (0,05-0,10 m) em relação à superfície. A camada de 0,00-0,05 apresentou menor capacidade de suportar deformações (42,0 kPa), quando comparadas com a camada de 0,05-0,10 m (79,4 kPa), porém não diferindo em relação à camada de 0,10-0,15 m (60,0 kPa). Esses resultados se justificam pelo fato de o pisoteio animal gerar zonas de compactação em camadas mais superficiais, dificilmente abaixo dos 10 cm da superfície do solo (Miguel et al., 2009; Debiasi & Franchini, 2012).

Na superfície (0,00-0,05 m), os valores medianos de σ_p podem ser atribuídos a uma maior exposição do perfil superior nos ciclos de umedecimento e secagem

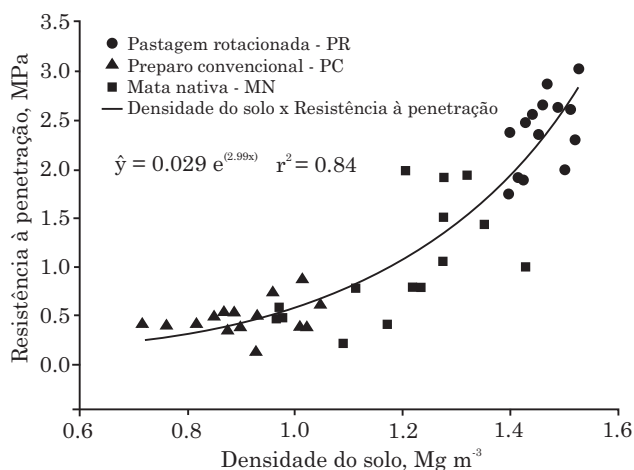


Figura 1. Valores de resistência à penetração, nos três sistemas de uso do solo, em função do estado de compactação do solo.

(Conte et al., 2011), havendo tempo hábil para o solo se reestruturar. Já para o perfil de solo em camadas mais profundas é explicado por causa de o pisoteio gerar camadas compactadas adjacentes à superfície (Giarola et al., 2007; Lanzasova et al., 2007).

Os valores de σ_p para MN e PC não diferiram entre si, o que pode ser explicado pela ausência de tráfego na área de MN e conseqüentemente não ter havido nenhuma pressão anterior, em que pudesse explicar uma alta capacidade de suporte de carga. Na área de PC, por causa do preparo de solo anterior à coleta, que promoveu o rompimento de camadas compactadas e destruição da estrutura do solo, houve menor capacidade de suporte do solo e menor pressão de pré-consolidação (Debiasi, 2008).

O estado inicial de compactação do solo está diretamente relacionado com os valores de σ_p (Silva et al., 2002), independentemente do manejo de solo adotado (Figura 2). Quanto maiores os valores de DS, maiores serão os valores de σ_p . Semelhantemente a R_p , os valores de σ_p aumentam de forma exponencial em razão do aumento do estado inicial de compactação, ou seja, aumentos de DS.

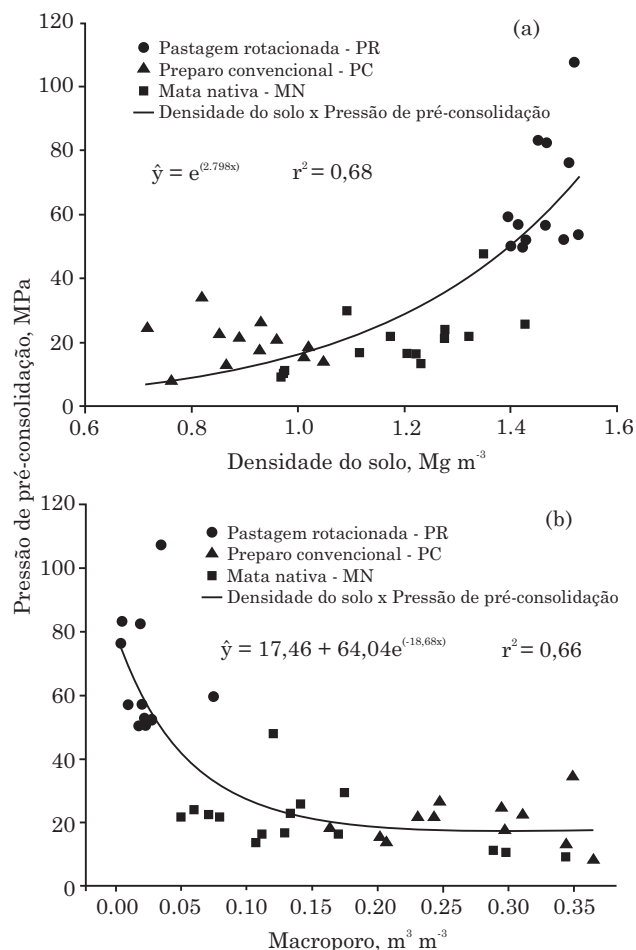


Figura 2. Relação entre a pressão de pré-consolidação e densidade do solo (a) e macroporosidade (b), em três sistemas de uso do solo.

Tanto na PC quanto na PR houve decréscimo nos valores de macroporosidade, principalmente nas camadas inferiores do solo, quando comparado com a MN (Figura 2). A diminuição nos valores de macroporos implica em sérias restrições nos fluxos de ar e de infiltração de água (Miguel et al., 2009). A área de MN possuiu um solo com estrutura mais preservada, uma abundante fauna edáfica (Drescher et al., 2011), além de grande quantidade de raízes, fatores esses que proporcionam estrutura e sustentação ao solo.

Para o sistema com PR, observou-se redução drástica na macroporosidade e porosidade total (Pt) em relação à área de MN, redução essa explicada pelo pisoteio animal ocorrente na área. Resultados semelhantes foram observados por Collares et al. (2011), os quais encontraram em área de pastagem aumentos mais significativos da densidade nas camadas superficiais do solo, ocorrendo nessas os efeitos mais acentuados da redução da macroporosidade.

O Índice de Compressão (CC) indica a inclinação da reta virgem de compressão e relaciona-se inversamente com os valores de DS e Rp (Figura 3).

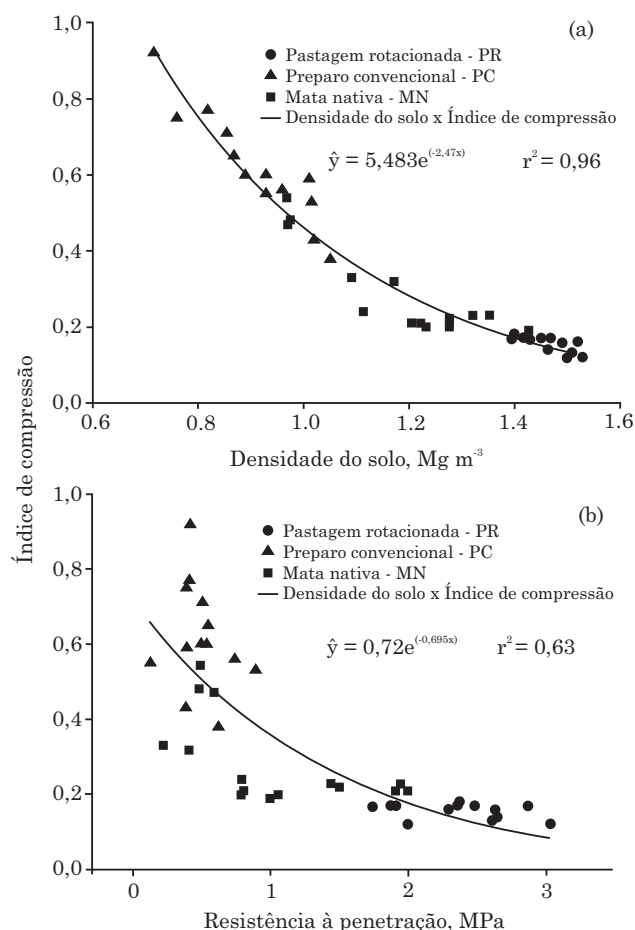


Figura 3. Relação entre o índice de compressão e densidade do solo (a) e resistência à penetração (b), em três sistemas de uso do solo.

Nas situações em que o solo já apresenta um elevado estado de compactação, como o uso de PR, os valores do CC são menores do que no PC e na MN.

Analisando os valores de CC juntamente com a σ_p , verificou-se que as áreas sob PC e MN apresentaram, na camada superficial, maior probabilidade de compactar-se por ter baixo valor de capacidade de suporte de carga (σ_p) e valores de CC acima de 0,43. Suzuki et al. (2008), estudando a suscetibilidade de diferentes tipos de solos à compactação, verificaram valores médios de CC de 0,31 para um solo similar ao deste estudo, cultivado com culturas anuais em sistema plantio direto.

O índice de vazios (IV) possui relação direta com o estado de compactação e os maiores valores foram verificados na MN (Quadro 1). O uso com PR possui os menores valores de IV. Analisando os diferentes usos do solo, percebeu-se redução exponencial do IV em relação à Rp (Figura 4), corroborando com os resultados encontrados por Vogelmann et al. (2012), ao avaliar tráfego e escarificação de um Argissolo no município de Santa Maria, RS.

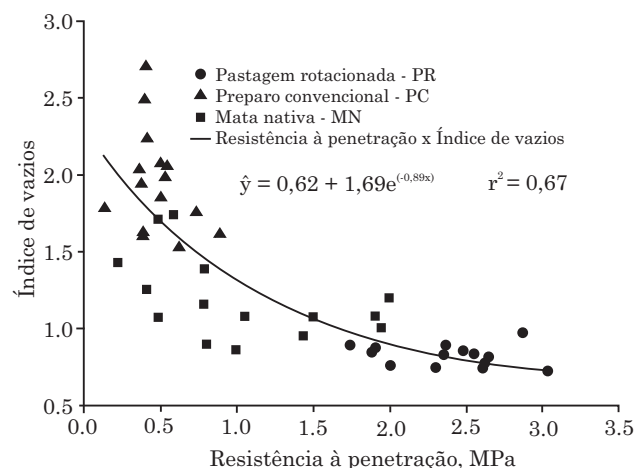


Figura 4. Relação entre o índice de vazios e a resistência à penetração do solo, em três sistemas de uso do solo.

CONCLUSÕES

1. O pisoteio animal intensivo na área de pastagem rotacionada perene é causador de alterações na estrutura do solo, proporcionando aumentos nos valores da pressão de pré-consolidação, densidade do solo e resistência à penetração e redução dos índices de compressão, índice de vazios e macroporosidade.

2. As áreas de Mata Nativa e sob Lavoura de Preparo Convencional são mais suscetíveis à compactação do solo, em razão do elevado índice de compressão e da baixa pressão de pré-consolidação e densidade do solo.

LITERATURA CITADA

- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; ROQUE C.G. & FERRAZ, M.V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. R. Bras. Ci. Solo, 29:843-849, 2005.
- BRAIDA, J.A.; REICHERT, J.M.; VEIGA, M. & REINERT, D.J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. R. Bras. Ci. Solo, 30:605-614, 2006.
- CAMARGO, O.A. & ALLEONI, S. Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas. Piracicaba, Degaspari, 1997. 132p.
- COLLARES, G.L.; REINERT D.J.; REICHERT J.M. & KAISER, D.R. Compactação superficial de Latossolos sob integração lavoura: pecuária de leite no noroeste do Rio Grande do Sul. Ci. Rural, 41:246-250, 2011.
- CONTE, O.; FLORES, J.P.C.; CASSOL, J.C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F.; LEVIEN, R. & WESP, C.L. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. Pesq. Agropec. Bras., 46:1301-1309, 2011.
- DEBIASI, H. Recuperação física de um Argissolo compactado e suas implicações sobre o sistema solo-máquina-planta. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008. 288p. (Tese de Doutorado)
- DEBIASI, H. & FRANCHINI, J.C. Atributos físicos do solo e produtividade da soja em sistema de integração lavoura-pecuária com braquiária e soja. Ci. Rural, 42:1180-1186, 2012.
- DRESCHER, M.S.; ROVEDDER, A.P.M.; ANTONIOLLI, Z.I.; ELTZ, F.L.F. & DRESCHER, G.L. Fauna epigeica em sistemas de produção de *Nicotiana tabacum* L. R. Bras. Ci. Solo, 35:1499-1508, 2011.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.
- GIAROLA, N.F.B.; TORMENA, C.A. & DUTRA, A.C. Degradação física de um Latossolo Vermelho utilizado para produção intensiva de forragem. R. Bras. Ci. Solo, 31:863-873, 2007.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Manual técnico da vegetação brasileira. Rio de Janeiro, 1991.
- IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; DIAS JUNIOR, M.S. & TORMENA, C.A. Quantificação de pressões críticas para o crescimento das plantas. R. Bras. Ci. Solo, 25:11-18, 2001.
- JULIÃO, L.G.F.; LIMA J.M.; DIAS JÚNIOR, M.S.; OLIVEIRA G.C.; RIBEIRO B.T.R. & MAGALHÃES, C.A.S. Atributos mecânicos e erosão por salpimento em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo sob efeito de vinhaça. Ci. Agropec., 35:19-27, 2011.
- KLEIN, V.A. Densidade relativa - um indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho. R. Ci. Agrovet., 5:26-32, 2006.
- LANZANOVA, M.E.; NICOLOSO, R.S.; LOVATO, T.; ELTZ, F.L.F.; AMADO, T.J.C. & REINERT, D.J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 31:1131-1140, 2007.
- MAZURANA, M.; LEVIEN R.; MÜLLER, J. & CONTE, O. Sistemas de preparo de solo: Alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. R. Bras. Ci. Solo, 35:1197-1206, 2011.
- MIGUEL, F.R.M.; VIEIRA, S.R. & GREGO, C.R. Variabilidade espacial da infiltração de água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio. Pesq. Agropec. Bras., 44:1513-1519, 2009.
- MORAES, M.T.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C. & SILVA, V.R. Correction of resistance to penetration by pedofunctions and a reference soil water content. R. Bras. Ci. Solo, 36:1704-1713, 2012.
- MOREIRA, W.H.; BETIOLI JUNIOR, E.; PETEAN, L.P.; TORMENA, C.A.; ALVES, S.J.; COSTA, M.A.T. & FRANCO, H.H.S. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico em sistema de integração lavoura-pecuária. R. Bras. Ci. Solo, 36:389-400, 2012.
- PETEAN, L.P.; TORMENA, C.A. & ALVES, S.J. Intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférrico sob plantio direto em sistema de integração lavoura-pecuária. R. Bras. Ci. Solo, 34:1.515-1.526, 2010.
- REICHERT, J.M.; KAISER, D.R.; REINERT, D.J. & RIQUELME, U.F.B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. Pesq. Agropec. Bras., 44:310-319, 2009.
- 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.
- KAISER, D.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; COLLARES, G.L. & KUNZ, M. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um latossolo sob diferentes níveis de compactação. R. Bras. Ci. Solo, 33:845-855, 2009.
- SAS INSTITUTE - Statistical Analysis System. SAS/STAT User's Guide 8.0. Cary, 1999.
- SILVA, R.B.; LANÇAS, K.P. & MASQUETTO, R.J. Consolidômetro: Equipamento pneumático-eletrônico para avaliação do estado de consolidação do solo. R. Bras. Ci. Solo, 31:617-615, 2007.
- SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. & SOARES, J.M. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. I. Estado inicial de compactação. R. Bras. Ci. Solo, 26:1-8, 2002.
- SILVA, V.R.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BORTOLUZZI, E.C. Soil water dynamics related to the degree of compaction of two Brazilian Oxisols under no-tillage. R. Bras. Ci. Solo, 33:1097-1104, 2009.
- SUZUKI, L.E.A.S.; REICHERT J.M.; REINERT D.J. & LIMA C.L.R. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. Pesq. Agropec. Bras., 42:1159-1167, 2007.

- SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. & LIMA, C.L.R. Estimativa da suscetibilidade à compactação e do suporte de carga do solo com base em propriedades físicas de solos do Rio Grande do Sul. R. Bras. Ci. Solo, 32:963-973, 2008.
- TAYLOR, H.M.; ROBERTSON, G.M. & PARKER, J.J. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. Soil Sci., 102:18-22, 1966.
- TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. & LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 22:573-581, 1998.
- VOGELMANN, E.S.; MENTGES, M.I.; REICHERT, J.M.; ROSA, D.P.; BARROS, C.A.P. & REINERT, D.J. Compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo trafegado e escarificado. Ci. Rural, 42:291-297, 2012.