

ALTERAÇÃO EM ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM SOLO SOB PASTAGEM APÓS ESCARIFICAÇÃO¹

Changes in soil physical attributes in pasture after chisel plowing

Marcelo José Colet², Cláudio Bianor Sverzut³, Pedro Henrique Weirich Neto⁴, Zigomar Menezes de Souza⁵

RESUMO

A compactação do solo pode ser considerada uma das principais causas de degradação de pastagens. Entre várias técnicas de mobilização do solo para rompimento de camadas compactadas, a escarificação apresenta aspectos positivos para um manejo conservacionista. Objetivou-se, neste trabalho, avaliar as alterações ocorridas na resistência do solo à penetração, porosidade do solo e densidade do solo de um Latossolo Vermelho-Amarelo, sob pastagem mediante sua escarificação. Implementou-se um experimento em uma área de *Brachiaria decumbens* Stapf. em Nova Odessa (SP), utilizando um escarificador com discos de corte e ponteiros aladas. A resistência do solo à penetração foi avaliada utilizando um penetrógrafo hidráulico eletrônico e a densidade do solo e porosidade do solo, a partir de amostras indeformadas. As camadas de solo identificadas por análise multivariada da resistência do solo à penetração foram alteradas pela escarificação. A escarificação do solo reduziu significativamente os valores de resistência do solo à penetração. A escarificação do solo promoveu maiores alterações nos atributos físicos na profundidade de 0,0-0,1 m, na entrelinha da passagem das hastes do escarificador.

Termos para indexação: Compactação do solo, degradação do solo, resistência do solo à penetração.

ABSTRACT

Soil compaction is considered one of the main causes of pasture degradation. Several techniques can be applied to reduce compacted soil layers. Chisel plowing is one of the farming expedients that present the most positive aspects regarding the soil conservation management. The aim of this study was to evaluate the changes in soil penetration resistance, soil porosity and bulk density in an oxisol soil of a pasture field after chisel plowing. The experiment was set up in Nova Odessa (SP) on a *Brachiaria decumbens* Stapf. field, using a chisel plow with cutting discs and winged tips. The soil penetration resistance was evaluated with an electronic hydraulic penetrometer, and the porosity and bulk density with undeformed samples. The soil layers identified by multivariate data analysis of the soil penetration resistance were changed by soil scarification. The soil scarification procedure decreased the soil penetration resistance. The soil scarification showed the highest changes in physical attributes in the layer of 0.0-0.1 m, between the lines of the chisel plow shanks.

Index terms: Soil compaction, soil degradation, soil penetration resistance.

(Recebido em 4 de setembro de 2007 e aprovado em 1 de outubro de 2008)

INTRODUÇÃO

A extensão do problema de degradação de pastagens no Brasil, conforme Bonfim et al. (2003) é evidenciada pela substituição de forrageiras mais exigentes em relação às condições do solo, por espécies menos exigentes, porém, de pior qualidade quanto à nutrição animal. Em estudo visando obter indicadores de degradação de pastagens, Azevedo (2004) avaliou atributos físicos e químicos do solo, qualificando os atributos físicos: densidade do solo, condutividade hidráulica, resistência do solo à penetração, macroporosidade e porosidade total

associados à compactação do solo (CAMARGO & ALLEONI, 1997), como os mais importantes na qualificação da degradação de solos sob pastagem. Estima-se que cerca de 68 milhões de hectares das terras agrícolas do planeta estão em processo de degradação, causado pela compactação (ALAKUKKU et al., 2003).

Visando determinar impedimentos físicos dos solos, a resistência do solo à penetração é um atributo muito empregado para estimar a compactação, bem como localizar camadas do solo compactadas. Entre os atributos físicos utilizados para avaliar a qualidade física do solo, a resistência do solo à penetração tem sido atualmente

¹Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor.

²Engenheiro Agrônomo, Doutorando – Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP – Cidade Universitária Zeferino Vaz, s/n – Cx. P. 6011 – 13083-875 – Campinas, SP – marcelo.colet@feagri.unicamp.br

³Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor – Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP – Cidade Universitária Zeferino Vaz, s/n – Cx. P. 6011 – 13083-875 – Campinas, SP – claudio@feagri.unicamp.br

⁴Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor – Universidade Estadual de Ponta Grossa/UEPG – Av. General Carlos Cavalcanti, 4748 – 84.030-900 – Ponta Grossa, PR – lama1@uepg.br

⁵Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor – Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP – Cidade Universitária Zeferino Vaz, s/n – Cx. P. 6011 – 13085-975 – Campinas, SP – zigomarms@feagri.unicamp.br

priorizada para avaliar sistemas de manejo e qualidade de operações agrícolas, por ser um atributo diretamente relacionado ao crescimento das plantas e de fácil e rápida determinação (STONE et al., 2002). Weirich Neto et al. (2006) propõem o uso de análise multivariada para uma localização mais precisa das camadas de solo com comportamento semelhante quanto à resistência do solo à penetração.

Estudando a viabilidade econômica da recuperação de pastagens degradadas para a produção pecuária bovina de corte, Yokoyama et al. (1999) justificam a mobilização do solo para rompimento de camadas compactadas. O efeito do rompimento de camadas compactadas no rendimento das culturas foi avaliado por Al-Adawi & Reeder (1996), que observaram maior produção das culturas do milho e soja após a escarificação. Gadanha Junior et al. (1991) referem-se ao escarificador como um implemento que promove a desagregação do solo, recomendando sua utilização para o rompimento de camadas compactadas. Avaliando diferentes sistemas de manejo do solo em área de agricultura, Tormena et al. (2002) demonstraram que a escarificação do solo propiciou aumento na sua macroporosidade e porosidade total, bem como redução na resistência do solo à penetração.

Objetivou-se, neste trabalho, avaliar as alterações ocorridas na resistência do solo à penetração, porosidade do solo e densidade do solo de um Latossolo Vermelho-Amarelo, sob pastagem mediante sua escarificação.

MATERIALE MÉTODOS

A área de estudo localiza-se na região central do estado de São Paulo, no município de Nova Odessa-SP, com coordenadas geográficas de 22°45'37" de latitude sul e 47°16'17" de longitude oeste, sendo escolhida uma área sob pastagem de *Brachiaria decumbens* no Instituto de Zootecnia (IZ), onde foram detectados sintomas de compactação do solo pela abertura de trincheiras. O relevo é predominantemente plano a suave ondulado, com declividades médias variando de 3 a 5 % e altitude oscilando entre 570 a 620 m acima do nível do mar. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical chuvoso de bosque com chuvas de verão e estiagem no inverno, e mês mais frio com temperatura média superior a

18 °C (Aw). O solo local foi classificado pelo Instituto Agrônomo de Campinas (1975), enquadrando-se na nova classificação proposta pela Embrapa (1999) como um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura média (Tabela 1).

A pastagem foi implantada na área há 10 anos, onde anteriormente era cultivado milho (*Zea mays* L.) para produção de silagem, em sistema convencional de manejo do solo. O sistema de manejo dos animais na área é de pastejo contínuo, com animais da raça nelore, para fins de corte. Anteriormente à instalação do experimento, o pastejo foi intensificado, utilizando-se 23 novilhas da raça nelore, para reduzir o porte da pastagem, de modo que ela não prejudicasse o trabalho da máquina. Os animais foram retirados da área 15 dias antes da instalação do experimento, que foi mantida sem pastejo durante o período de avaliações.

Foram empregados dois tratamentos, um escarificado e outro não escarificado, em um delineamento experimental inteiramente casualizado, com 12 repetições, em parcelas de 7,5 x 25 m. No tratamento onde foi feita a escarificação do solo, a profundidade de trabalho foi estabelecida em 0,25 m, após avaliação preliminar da resistência do solo à penetração, com umidade próxima da capacidade de campo. O experimento foi implantado no dia 05/11/2005.

Utilizou-se um escarificador da marca Tatu Marchesan, modelo AST/MATIC 450, que apresenta um disco de corte, posicionado anteriormente a cada haste sulcadora do tipo reta com ponteira inclinada, e um rolo destorroador. Foram utilizadas ponteiras aladas desenvolvidas por Santos (1994), que apresentam largura da ponta de 0,0762 m, envergadura da asa de 0,152 m, ângulo de ataque da ponta igual a 23°, ângulo de ataque da asa igual a 25°, ângulo de envergadura da asa igual a 15° e ângulo de abertura igual a 120°. Conforme o autor, essa ponteira emprega menor quantidade de energia por volume de solo mobilizado em relação à ponteira estreita distribuída pelo fabricante da máquina. Para tracionar o escarificador, utilizou-se um trator da marca Valtra modelo BM 120, com tração dianteira auxiliar, na velocidade de 1,0 m s⁻¹. A distância entre as hastes do escarificador foi de

Tabela 1 – Análises química e granulométrica do solo da área experimental, na profundidade de 0,0-0,2 m.

pH	H + Al	Al	Ca	Mg	K	CTC	P	MO	V	Areia	Silte	Argila
(CaCl ₂)	mmol _c dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³			mg m ⁻³	g dm ⁻³	%	g kg ⁻¹			
4,2	42,0	0,0	6,0	2,0	0,8	50,8	2,0	27	17	614	140	246

0,35 m, obedecendo ao intervalo de 1,25 a 1,5 vezes a profundidade, proposto por Justino et al. (1995).

As avaliações de resistência do solo à penetração, porosidade e densidade do solo foram realizadas 60 dias após a instalação do experimento. A resistência do solo à penetração foi obtida em 4 locais por parcela e, em cada local, foram efetuadas 3 medidas da resistência do solo à penetração, totalizando 12 medidas por parcela até a profundidade de 0,4 m, sendo fracionadas nas camadas de 0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,3 m. Durante as avaliações de resistência do solo à penetração foram coletadas amostras para determinação do teor de água do solo pelo método gravimétrico (EMBRAPA, 1997), nas camadas de 0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,3 m, com auxílio de um trado holandês.

A resistência do solo à penetração foi realizada nas entrelinhas de trabalho das hastes do escarificador, empregando-se um penetrógrafo hidráulico eletrônico (PHE) desenvolvido por Silva et al. (1995), acionado por um trator agrícola convencional. Utilizou-se haste e cone tipo "B", conforme norma da ASABE (2006), com diâmetro da haste de 9,5 mm, diâmetro da base do cone de 12,83 mm ($0,2 \text{ pol}^2$ de área) e ângulo do cone de 30° . A taxa de aquisição de dados empregada foi de 400 Hz e velocidade de penetração de $0,10 \text{ m s}^{-1}$, recomendada por Silva (1999) para esse equipamento, por fornecer dados com maior correlação com a densidade do solo. Os valores de força medidos pelo penetrômetro, obtidos em kgf, foram transformados para pressão, em MPa, dividindo-os pela área da base da ponteira ($1,29 \text{ cm}^2$) e multiplicando-os pela constante 0,098 (1 kgf cm^{-2} equivale a 0,098 MPa).

Para a determinação da densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade, foram coletadas amostras indeformadas empregando-se a metodologia do anel volumétrico, nas camadas de 0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,3 m. A determinação da microporosidade foi realizada por secagem (tensão de 0,006 MPa), em câmaras de pressão de Richards, com placa porosa (KLUTE, 1986), porosidade total segundo Danielson & Sutherland (1986) e a macroporosidade foi obtida por diferença entre a porosidade total e a microporosidade. Os valores de massa obtidos após retirar as amostras da estufa a 105°C foram utilizados para calcular a densidade do solo, conforme a metodologia proposta pela Embrapa (1997).

Os dados de resistência do solo à penetração foram submetidos à análise multivariada do tipo fatorial, com extração de fatores por componentes principais e rotação por método Varimax, conforme proposto por Weirich Neto et al. (2006). Essa metodologia permite identificar com precisão a localização vertical de camadas, com valores de resistência do solo à penetração semelhante. Foi necessário

inicialmente calcular a média da resistência do solo à penetração para camadas eqüidistantes de 0,005 m, a partir dos 20 valores correspondentes amostrados, para cada ponto amostral da resistência, totalizando 144 repetições para cada tratamento.

Para a identificação de camadas de resistência do solo à penetração, a análise multivariada do tipo fatorial considera cada uma das camadas de 0,005 m como uma variável, em que a extração de fatores, por componentes principais, agrupa variáveis conforme sua covariância, apresentando como resultado uma tabela de fatores gerados pela análise e os escores das respectivas variáveis correlacionadas, pela análise da covariância. A rotação por método Varimax apenas propicia uma melhor identificação das camadas, por ajustar os fatores de forma a obter escores mais elevados para as variáveis, dentro de cada fator. A análise da variância relativa de cada fator associada ao escore da variável (intervalo de profundidade) permite a identificação das camadas conforme a resistência do solo à penetração. Posteriormente, calculou-se a média da resistência do solo à penetração para cada camada identificada. As análises foram efetuadas pelo programa computacional MINITAB Release 12.2® (Direitos reservados Minitab Inc.).

Para comparação estatística de médias, calculou-se a média da resistência à penetração a partir das 12 medidas efetuadas por parcela, a cada 0,1 m de profundidade, correspondente às profundidades amostradas para determinação da densidade e porosidade do solo. Assim, os tratamentos foram comparados por análise de variância e teste de médias (Tukey, 5%) pelo programa computacional STATGRAPHICS Plus for Windows 4.1® (Direitos reservados Statistical Graphics Corporation.).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das análises multivariadas apresentadas para a avaliação após a implantação do experimento, calculou-se a média da resistência do solo à penetração, para obtenção de um valor representativo de cada camada (Tabela 2). Considerando que a avaliação da resistência do solo à penetração foi feita nas entrelinhas onde passaram as hastes do escarificador, verifica-se que na profundidade não alcançada pela haste do escarificador a resistência do solo à penetração foi semelhante à área não escarificada. Resultados semelhantes foram observados por Weirich Neto et al. (2006), em um estudo de análise multivariada da resistência do solo à penetração, sob plantio direto.

Tabela 2 – Médias dos valores de resistência do solo à penetração, para as camadas identificadas a partir da análise multivariada.

Não Escarificado		Escarificado	
Profundidade (m)	Resistência do solo à penetração (MPa)	Profundidade (m)	Resistência do solo à penetração (MPa)
0,00-0,020	3,698	0,00-0,040	1,595
0,020-0,09	3,493	0,040-0,110	1,007
0,090-0,155	2,582	0,110-0,185	1,351
0,155-0,235	2,037	0,185-0,235	1,707
0,235-0,300	1,761	0,235-0,300	1,758

Evidencia-se o efeito benéfico da escarificação, pois, além da redução considerável dos valores resistência do solo à penetração em relação à área não escarificada, esses ficaram abaixo dos valores de 2,0 MPa (MEROTTO & MUNDSTOCK, 1999) e 2,38 MPa para solos de textura média (BEUTLER & CENTURION, 2004), apresentados como restritivos ao crescimento do sistema radicular.

Nas áreas em que utilizou-se o escarificador, a análise multivariada indica modificação nos intervalos de profundidade das camadas de resistência do solo à penetração, até a camada de 0,185 a 0,235 m, profundidade limite de trabalho da haste do escarificador, a partir da qual não ocorreram modificações pelo ângulo lateral de ação das hastes (Tabela 2). As camadas subsuperficiais à profundidade de trabalho (aproximadamente 0,250 m) não apresentaram alterações, caracterizando um trabalho eficiente do escarificador, pela desestruturção do solo, conforme Figura 1, porém, sem inversão do solo. Segundo Weirich Neto et al. (2006), o uso da análise multivariada na escolha de profundidades, para determinação da resistência do solo à penetração diminui os erros em relação ao uso de valores médios.

Concomitantemente com a avaliação da resistência do solo à penetração, efetuou-se amostragem para determinação do teor de água do solo (Tabela 3). A análise de variância das médias do teor de água do solo entre os tratamentos, para mesmas profundidades, não indica diferenças estatísticas significativas, permitindo assim a comparação dos valores de resistência do solo à penetração entre os tratamentos, uma vez que a resistência à penetração é altamente influenciada pelo teor de água no solo.

Analisando os valores de resistência do solo à penetração apresentados na Tabela 3, verifica-se diferença estatisticamente significativa para as profundidades de 0,0-0,1 m e 0,1-0,2 m, sendo que na profundidade de 0,2-0,3 m os valores não diferiram estatisticamente. Assim, é possível inferir que a energia a ser utilizada pela planta, para o crescimento do sistema radicular será menor no tratamento

escarificado, em relação ao não escarificado, possibilitando que esse tenha um maior desenvolvimento. Esses resultados corroboram os de Abreu et al. (2004) em que a resistência máxima ocorreu na profundidade de 0,18 m não afetada pela mobilização. Porém, Cohron (1971), descrevendo as ações de ferramentas estreitas no solo, observou que esse tipo de implemento pode gerar compactação localizada abaixo da linha escarificada.

Os valores médios encontrados para a resistência do solo à penetração na área não escarificada (Tabela 3) estão compreendidos na classe alta nas profundidades de 0,0-0,1 m e 0,1-0,2 m de acordo com Soil Survey Staff (1993). Observa-se que houve uma redução da resistência do solo à penetração da profundidade de 0,0-0,1 m para 0,1-0,2 m, com valores considerados restritivos ao desenvolvimento radicular segundo Arshad et al. (1996), pois afirmam que valores, que estão compreendidos entre 2,0 a 4,0 MPa, dificultam o desenvolvimento radicular das culturas. Os valores médios da densidade do solo na área não escarificada (Tabela 3) foram superiores 1,40 kg dm⁻³ em todas as profundidades estudadas e, segundo Arshad et al. (1996), densidade do solo acima desse valor restringe o crescimento radicular em solo de textura média a argilosa. Para a macroporosidade, os valores médios estão abaixo de 0,1 m³ m⁻³, valores considerados muito baixos por Arshad et al. (1996).

Os valores observados para a densidade do solo, resistência do solo à penetração, porosidade total e macroporosidade, apresentam-se em condições semelhantes aos de Azevedo (2004), avaliando atributos do solo em pastagem degradada sobre um Latossolo Vermelho e um Latossolo Vermelho Amarelo de textura média, evidenciando uma situação de degradação estrutural na área em estudo, pela compactação do solo. Segundo Warren et al. (1986), a compactação do solo pelo uso de práticas inadequadas de manejo das pastagens modifica os atributos físicos do solo, promovendo redução no desenvolvimento do sistema radicular e na produtividade das pastagens.

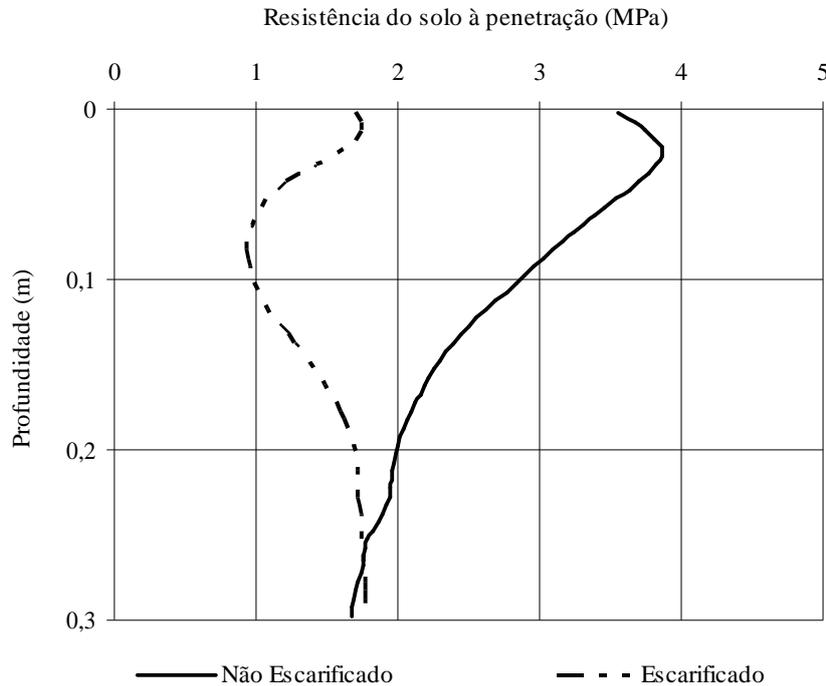


Figura 1 – Média da resistência do solo à penetração avaliada.

Observou-se uma semelhança dos valores de densidade do solo e porosidade no solo escarificado em relação ao solo não mobilizado, concordando com os resultados obtidos por Abreu et al. (2004). Segundo os autores, esse fato deve-se, possivelmente, ao processo de reconsolidação do solo, ocorrido no período entre a mecanização e a determinação dos atributos físicos do solo. Bordin et al. (2005) estudando o efeito da escarificação no sistema radicular e nos atributos físicos do solo em plantas cítricas, verificaram que a escarificação não alterou a quantidade de raízes, a densidade e a porosidade total do solo nas entrelinhas do pomar, independente da profundidade e a da posição em relação à planta.

Os valores de resistência do solo à penetração na área não escarificada são menores na profundidade de 0,0-0,1 m (Tabela 3). Segundo Pinzón & Amézquita (1991), em geral, o pisoteio dos animais compacta o solo nos primeiros 0,10 m, ocasionado provavelmente por superpastejo reduzindo a cobertura vegetal e consequentemente o teor de matéria orgânica promovida pela gramínea, e com isso, o seu efeito amortecedor é reduzido fazendo com que o solo fique mais suscetível à compactação.

A escarificação do solo aumentou a macroporosidade e a porosidade e reduziu a densidade do solo, na profundidade de 0,0-0,1 m da entrelinha da passagem das hastes do escarificador (Tabela 3). Resultados

semelhantes foram observados por Tormena et al. (2004), os quais relatam que o aumento da porosidade total e macroporosidade em áreas escarificadas se deve às fissuras criadas pela passagem das hastes do escarificador, que propiciam o aumento da velocidade de infiltração de água no solo, aumentando a intensidade dos ciclos de molhamento e secagem do solo. Pires et al. (2005) relacionam os ciclos de molhamento e secagem com a reestruturação do solo, definindo nova porosidade ao mesmo.

A escarificação não afetou a macroporosidade, microporosidade e densidade do solo na profundidade de 0,1-0,2 m; resultados semelhantes foram observados por Tormena et al. (2002), pois não foi constatado efeito significativo do sistema de preparo, na densidade e porosidade do solo em um latossolo. A escarificação reduziu a macroporosidade na profundidade de 0,2-0,3 m. É possível que as hastes do escarificador impusessem uma pequena compactação do solo lateralmente à passagem das hastes, pelo uso de ponteiros aladas, considerando que tais ponteiros apresentam uma maior área de distúrbio do solo (SANTOS, 1994), bem como a posição de coleta do anel nas entrelinhas tenha sido na região próxima às asas laterais das ponteiros. Machado et al. (1996), estudando o efeito da escarificação em atributos físicos em solos de várzea, verificaram compactação localizada abaixo da linha escarificada.

Tabela 3 – Comparação das médias para o efeito da escarificação do solo para as variáveis macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo, teor de água e resistência do solo à penetração.

Atributo	Profundidade (m)	Tratamento			
		Não Escarificado		Escarificado	
		Média	CV (%)	Média	CV (%)
Macroporosidade (m ³ m ⁻³)	0,0-0,1	*0,04 B	15,38	0,08 A	18,54
Microporosidade (m ³ m ⁻³)		0,30 A	5,35	0,29 A	5,56
Porosidade Total (m ³ m ⁻³)		0,34 B	3,60	0,37 A	5,02
Densidade do solo (kg dm ⁻³)		1,57 A	2,85	1,44 B	2,45
Teor de água no solo (g g ⁻¹)		0,12 A	19,56	0,13 A	16,60
Resistência à penetração (MPa)		3,33 A	14,83	1,24 B	18,86
Macroporosidade (m ³ m ⁻³)	0,1-0,2	0,04 A	16,85	0,04 A	15,94
Microporosidade (m ³ m ⁻³)		0,29 A	7,25	0,29 A	8,07
Porosidade Total (m ³ m ⁻³)		0,33 A	5,55	0,32 A	6,11
Densidade do solo (kg dm ⁻³)		1,61 A	2,95	1,63 A	3,17
Teor de água no solo (g g ⁻¹)		0,14 A	11,23	0,15 A	12,69
Resistência à penetração (MPa)		2,23 A	16,70	1,37 B	22,80
Macroporosidade (m ³ m ⁻³)	0,2-0,3	0,04 A	16,93	0,02 B	17,54
Microporosidade (m ³ m ⁻³)		0,29 A	5,91	0,29 A	3,75
Porosidade Total (m ³ m ⁻³)		0,33 B	7,16	0,31 A	5,25
Densidade do solo (kg dm ⁻³)		1,57 A	3,43	1,44 A	2,42
Teor de água no solo (g g ⁻¹)		0,14 A	11,23	0,15 A	12,51
Resistência à penetração (MPa)		1,82 A	14,67	1,75 A	19,13

* Letras iguais indicam não haver diferença estatística significativa entre os tratamentos.

Naeth et al. (1990) trabalhando com impactos da compactação provocados pelo pisoteio animal, sugerem que os profissionais que trabalham com o manejo de pastagens, poderiam utilizar regimes de pastejo seletivos, que mantivesse a superfície do solo em condições de suportar as forças de compactação promovidas pelo pastejo, evitando-se com isso alterações na densidade e na resistência do solo à penetração, danosas ao desenvolvimento das plantas. Segundo os autores, esses regimes de pastejo mantêm altos níveis de matéria orgânica no solo e cobertura vegetal, promovendo um efeito amortecedor efetivo entre o solo e o pisoteio animal e minimizando os principais fatores da compactação.

CONCLUSÕES

A localização das camadas de solo identificadas por análise multivariada da resistência do solo à penetração foi alterada pela escarificação, na profundidade de trabalho. A escarificação do solo reduziu significativamente os valores de resistência à penetração na profundidade de trabalho.

A escarificação do solo promoveu maiores alterações nos atributos físicos na profundidade de 0,0-0,1 m da entrelinha da passagem das hastes do escarificador.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 519-531, 2004.
- AL-ADAWI, S. S.; REEDER, R. C. Compaction and subsoiling effects on corn and soybean yields and soil physical properties. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 39, n. 5, p. 1641-1649, 1996.
- ALAKUKKU, L.; WEISSKOPF, P.; CHAMEN, W. C. T.; TIJINK, F. G. J.; LINDEN, J. P. van der; PIRES, S.; SOMMER, C.; SPOOR, G. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review: part I: machine/soil interactions. **Soil and Tillage Research**, v. 73, n. 1/2, p. 145-160, 2003.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **Soil cone penetrometer:** ASABE standards. Saint Joseph, 2006. SAE R313.3.

ARSHAD, M. A.; LOWER, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Eds.). **Methods for assessing soil quality.** Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 123-141. (Special publication, 49).

AZEVEDO, E. de. **Uso da geoestatística e de recursos de geoprocessamento no diagnóstico da degradação de um solo argiloso sob pastagem no estado de Mato Grosso.** 2004. 141 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Resistência à penetração em latossolos: valor limitante à produtividade de arroz de sequeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1973-1800, 2004.

BONFIM, E. R. P.; PINTO, J. C.; SALVADOR, N.; MORAIS, A. R.; ANDRADE, I. F.; ALMEIDA, O. C. Efeito do tratamento físico associado à adubação em pastagem degradada de braquiária, nos teores de proteína bruta, fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 4, p. 912-920, 2003.

BORDIN, I.; NEVES, C. S. V. J.; AIDA, F. T.; SOUZA, W. R.; DAVOGLIO JÚNIOR, A. C.; FURLANETO, T. L. R.; TAVARES FILHO, J. Sistema radicular de planta cítrica e atributos físicos do solo em um latossolo argiloso submetido à escarificação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 4, p. 820-825, 2005.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas.** Piracicaba: [s.n.], 1997. 132 p.

COHRON, G. T. Force's causing soil compaction. In: BARNES, K. K. **Compaction of agricultural soils.** Michigan: ASAE, 1971. cap. 4, p. 106-124.

DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis.** 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. part 1, p. 443-461.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo.** Brasília, DF, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília, DF, 1999. 412 p.

GADANHA JUNIOR, C. D.; MOLIN, J. P.; COELHO, J. L. D.; UAHAN, C. H.; TOMIMORI, S. M. A. W. **Máquinas e implementos agrícolas do Brasil.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1991. 468 p.

INSTITUTO AGRÔNOMICO DE CAMPINAS. **Levantamento de solos do Centro Experimental Central do Instituto de Zootecnia.** Campinas: IAC, 1975.

JUSTINO, A.; WEIRICH NETO, P. H.; LUCIANO, J. M. Avaliação da mobilização de quatro tipos de solo pela ação do arado escarificador em diferentes profundidades de trabalho e espaçamentos ente hastes. **Publicatio UEPG - Ciências Exatas e da Terra**, Ponta Grossa, v. 3, n. 1, p. 19-55, 1995.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: _____. **Methods of soil analysis.** 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. part. 1, p. 635-662.

MACHADO, R. L. T.; TURATTI, A. L.; MACHADO, L. T.; ALONÇO, A. S. R. Estudo de parâmetros físicos em solo de várzea, antes e após escarificação. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 2, n. 3, p. 175-178, 1996.

MEROTTO, A.; MUNDSTOCK, C. M. Wheat root growth as affected by soil strength. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 197-202, 1999.

NAETH, M. A.; PLUTH, D. J.; CHANASYK, D. S.; BAILEY, A. W.; FEDKENHEUER, A. W. Soil compacting impacts of grazing mixed prairie and fescue grassland ecosystems of alberta. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 70, n. 2, p. 157-167, 1990.

PINZÓN, A.; AMEZQUITA, E. Compactacion de suelos por el pisoteo de animales en pastoreo en el piedmonte amazónico de Colombia. **Pasture Tropical**, Cali, v. 13, n. 2, p. 21-26, 1991.

- PIRES, L. F.; BACCHI, O. O. S.; REICHARDT, K. Gamma ray computed tomography to evaluate wetting/drying soil structure changes. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research**, North-Holland, v. 229, p. 443-456, 2005.
- SANTOS, J. C. **Avaliação do desempenho de um escarificador**. 1994. 53 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1994.
- SILVA, M. L. L. **Modelagem matemática na estimativa da densidade de um latossolo vermelho escuro textura argilosa, pelo índice de cone**. 1999. 161 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.
- SILVA, M. L. L.; SVERZUT, C. B.; MANTOVANI, E. C. **Desenvolvimento e utilização de um penetrógrafo hidráulico com aquisição eletrônica de dados**. Viçosa, MG: SBEA, 1995. 27 p.
- SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual**. Washington, DC: USDA-SCS, 1993. 437 p. (Handbook, 18).
- STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, A. A. J. Compactação do solo na cultura do feijoeiro I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 207-212, 2002.
- TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em um latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 795-801, 2002.
- TORMENA, C. A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num latossolo vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 1023-1031, 2004.
- WARREN, S. D.; NEVILL, M. B.; GARZA, N. E. Soil response to trampling under intensive rotation grazing. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 50, n. 5, p. 1336-1341, 1986.
- WEIRICH NETO, P. H.; BORGHI, E.; SVERZUT, C. B.; MANTOVANI, E. C.; GOMIDE, R. L.; NEWES, W. L. C. Análise multivariada da resistência do solo à penetração sob plantio direto. **Ciência rural**, Santa Maria, v. 36, n. 4, p. 1186-1192, 2006.
- YOKOYAMA, L. P.; VIANA FILHO, A.; BALBINO, L. C.; OLIVEIRA, I. P.; BARCELLOS, A. O. Avaliação econômica de técnicas de recuperação de pastagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 8, p. 1335-1345, 1999.