

Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária

Osmar Conte⁽¹⁾, João Paulo Cassol Flores⁽²⁾, Luís César Cassol⁽³⁾, Ibanor Anghinoni⁽¹⁾, Paulo César de Faccio Carvalho⁽¹⁾, Renato Levien⁽¹⁾ e Cristiane de Lima Wesp⁽¹⁾

⁽¹⁾Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Departamento de Solos, Avenida Bento Gonçalves, nº 7.712, CEP 91540-000 Porto Alegre, RS. E-mail: agriconte@gmail.com, ibanghi@ufrgs.br, paulocfc@ufrgs.br, renatole@ufrgs.br, cristianewesp@yahoo.com.br ⁽²⁾Virginia Tech University, Crop & Soil Environmental Science Department, Blacksburg, VA, 24061, EUA. E-mail: joaof09@vt.edu ⁽³⁾Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco, Via do Conhecimento, Km 1, CEP 85503-390 Pato Branco, PR. E-mail: cassol@utfpr.edu.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito das alturas de pastejo e dos sucessivos ciclos de pastejo sobre os atributos físicos do solo, em um sistema de integração lavoura-pecuária. O experimento foi implantado em 2001, na região do Planalto Médio, RS, em um Latossolo Vermelho, com o cultivo consorciado de aveia-preta (*Lolium multiflorum*) e de aveia-preta (*Avena strigosa*), sob pastejo contínuo, no inverno, e o cultivo de soja (*Glycine max*) no verão. Os tratamentos consistiram de diferentes intensidades de pastejo, definidas pela altura da pastagem (10, 20, 30 e 40 cm), tendo-se utilizado uma área sem pastejo como controle. Foram avaliadas a densidade e a porosidade do solo após o ciclo de pastejo e de cultivo da soja, bem como a resistência mecânica do solo à penetração e a estabilidade de agregados no sétimo ano do experimento. Não houve alterações significativas na densidade e na porosidade do solo após sete anos em integração lavoura-pecuária. A resistência do solo à penetração é maior na camada superficial após o ciclo de pastejo. A agregação do solo aumenta nas áreas pastejadas, independentemente da intensidade de pastejo.

Termos para indexação: densidade do solo, pastejo, porosidade, resistência à penetração, sistemas integrados de produção.

Evolution of soil physical attributes in an integrated crop-livestock system

Abstract – The objective of this work was to assess the effect of sward height and successive grazing cycles over soil physical attributes in an integrated crop-livestock system. The experiment was established in 2001, in the Planalto Médio region, RS, Brazil, in a Rhodic Hapludox (Oxisol), with annual ryegrass (*Lolium multiflorum*) intercropped with black oat (*Avena strigosa*), under continuous grazing, during the winter, and single cropped soybean (*Glycine max*) during the summer. The treatments consisted of different grazing intensities, determined by sward height (10, 20, 30, and 40 cm), and a no-grazing area was used as a control. Soil bulk density and soil porosity were evaluated at the end of the grazing and soybean cycles, as well as soil resistance to mechanic penetration and aggregate stability in the seventh year of the experiment. No significant differences were found on soil bulk density and soil porosity after seven years under crop-livestock integration. Soil resistance to penetration is higher on the superficial layer after the grazing cycle. Soil aggregation increases in grazing areas, regardless of grazing intensities.

Index terms: bulk density, grazing, porosity, resistance to penetration, integrated production systems.

Introdução

Nas últimas décadas, as áreas agrícolas utilizadas em sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) vem se tornando mais expressivas no Brasil, em virtude dos inúmeros benefícios que podem ser obtidos com o uso desse sistema (Macedo, 2009). Apesar de sua crescente adoção, ainda há dúvidas e questionamentos sobre possíveis impactos negativos ligados à degradação do ambiente, sobretudo à degradação física do solo (Flores et al., 2007).

No início dos anos 1990, ainda era possível observar os efeitos dos intensos preparos primários do solo, realizados desde a chamada revolução verde, iniciada no Brasil nos anos 1960 (Denardin, 1984). Até essa época, perdas expressivas de solo por processos erosivos eram comuns, bem como o problema da compactação do solo, que era atribuído, principalmente, ao tráfego de máquinas agrícolas sobre o solo desestruturado, em decorrência do intenso preparo. Com a introdução de animais nos sistemas agrícolas, surgiram preocupações quanto aos possíveis impactos sobre a estrutura física

do solo (Correa & Reichardt, 1995), pois o pisoteio animal poderia levar à sua degradação física, como ocorreu quando se utilizava o preparo intenso do solo, o que poderia novamente causar problemas relacionados à sua compactação. Nesse contexto, o sistema de ILP se expandiu, sobretudo, em solos das regiões dos Planaltos do Paraná, do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, em que as condições são menos favoráveis para a compactação do solo, por se tratar de áreas em sistema de plantio direto (SPD), consolidado pelo longo tempo de adoção.

Solos com um histórico em SPD normalmente apresentam densidade e resistência mecânica à penetração de raízes mais elevadas e porosidade mais baixa do que solos em condição de preparo anual (Vieira & Klein, 2007). Essas diferenças podem ser atribuídas à eliminação dos preparos mecânicos e da compactação superficial do solo pelo tráfego agrícola acumulado ao longo dos anos. Portanto, o pisoteio de animais em pastejo direto sobre áreas agrícolas se torna pouco impactante, pois os atributos de solo que poderiam ser afetados já apresentam um estado semelhante ao que seria alcançado pela ação do pisoteio dos animais em pastejo.

Com base nos resultados obtidos em diversos trabalhos (Tanner & Mamaril, 1959; Trein et al., 1991; Correa & Reichardt, 1995; Flores, 2008; Spera et al., 2010), é possível afirmar que os solos de áreas sob pastejo sofrem alterações físicas, de maior ou menor intensidade, pela ação do pisoteio dos animais. Essa situação é agravada quando o solo está com umidade na faixa mais favorável à deformação plástica, o que ocorre imediatamente acima do seu limite de friabilidade. No entanto, o pisoteio animal e o tráfego de máquinas apresentam características distintas, o que influi no seu potencial de causar compactação do solo. As pressões exercidas por pneus agrícolas podem se expressar mais profundamente no perfil do solo, já que a profundidade de ação dessa pressão é diretamente proporcional à área de contato com o solo e inversamente proporcional à resistência do solo (Soehne, 1958; Raper, 2005). Assim, não é esperado encontrar compactação do solo por pisoteio animal abaixo de 10 cm de profundidade, em áreas manejadas em SPD. O tempo e a frequência de tráfego de máquinas em um ano agrícola são reduzidos, em comparação ao pisoteio animal, quando o pastejo é realizado por um período estendido ou quando os animais permanecem sobre a área durante toda a

estação de pastejo. Sistemas sem preparo primário de solo, como o SPD, cuja mobilização do solo é realizada por sulcadores de semeadoras-adubadoras na linha de semeadura, são uma possibilidade de manejar solos com compactação na camada superficial, para que as culturas possam expressar o seu potencial produtivo (Conte et al., 2008).

As alterações nos atributos físicos do solo resultantes do pisoteio animal, em poucos casos, refletiram-se negativamente no desempenho produtivo das culturas (Flores et al., 2007; Lopes et al., 2009). Isso pode ser atribuído, principalmente, à pequena magnitude dos impactos sobre a estrutura física do solo, que podem ser revertidos por processos naturais que ocorrem no solo, como a alternância de ciclos de umedecimento e de secagem, o que está relacionado à resiliência do solo. Outro fator que favorece a recomposição de eventuais impactos negativos do pisoteio animal é o fato de esse processo ocorrer na superfície do solo, geralmente na camada de 0–10 cm de profundidade (Spera et al., 2009), o que facilita ações para restabelecer a condição prévia do solo, por agentes naturais e por operações na semeadura, como o preparo localizado na linha.

Atualmente, há conhecimento de poucos resultados de pesquisas sobre atributos físicos do solo em lavouras manejadas em ILP, sobretudo em experimentos com longo histórico de avaliação. O desafio principal reside em avaliar se as alterações causadas por animais estão em um nível capaz de comprometer a produtividade e a sustentabilidade do sistema produtivo e do ambiente.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito das alturas de pastejo e dos sucessivos ciclos de pastejo sobre os atributos físicos de solo, em um sistema de integração lavoura-pecuária.

Material e Métodos

O experimento foi implantado, em maio de 2001, em área pertencente à Fazenda do Espinilho, localizada no Município de São Miguel das Missões, RS, a 29°03'S, 53°50'W e a 465 m de altitude, na região fisiográfica do Planalto Médio Gaúcho. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distroférico (Santos et al., 2006).

A área total do experimento, de 21,3 ha, foi dividida em três blocos, com quatro parcelas de tamanho variável (Figura 1). Entre os blocos, foi deixada uma

faixa de 10 m de largura, sem pastejo, com o mesmo manejo aplicado às demais parcelas, para a pastagem no inverno e para a cultura da soja no verão. Os tratamentos consistiram de diferentes alturas de pastagem de inverno: 10, 20, 30 e 40 cm e de uma área sem pastejo, considerada como o tratamento testemunha do experimento. Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições, à exceção da área sem pastejo, com duas. O acompanhamento da altura do pasto foi feito a um intervalo aproximado de 14 dias, com bastão graduado “sward stick” (Bircham, 1981). A altura do pasto foi controlada pelo manejo da carga animal nas parcelas, a qual era variável, tendo-se utilizado animais reguladores que eram colocados ou retirados das parcelas, conforme necessário.

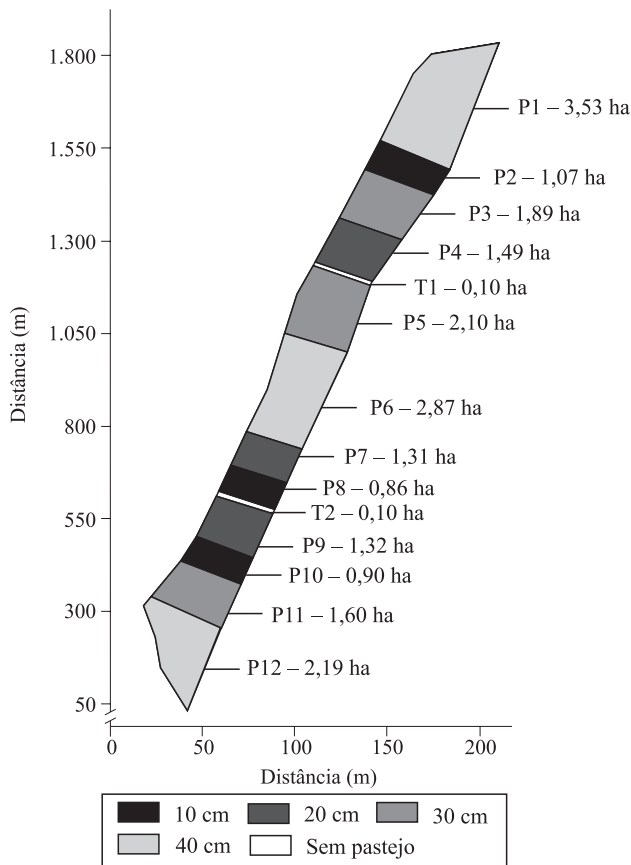


Figura 1. Croqui da área experimental da Fazenda do Espinilho, em São Miguel das Missões, RS, com a divisão e o tamanho, em hectares, das parcelas (P1 a P12), com os tratamentos de diferentes alturas de pastagem de inverno: 10, 20, 30 e 40 cm e dos blocos separados pelas faixas sem pastejo (T1 e T2).

Adotou-se o sistema de pastejo contínuo com bovinos de aproximadamente um ano de idade e peso médio de 200 a 250 kg, sem padrão racial definido. A entrada dos animais na área experimental para pastejo ocorreu quando a oferta de massa de forragem era de aproximadamente 2.000 kg ha⁻¹ de matéria seca (em torno de 25 cm de altura), o que normalmente ocorria em meados do mês de julho. Os animais permaneceram em pastejo na área até metade de novembro, o que totalizou um período de 110 a 120 dias. Após a saída dos animais das parcelas, eram feitas amostragens de solo, para detectar possíveis alterações nas propriedades físicas do solo, em virtude do pastejo.

Uma semana após a colheita da soja, realizou-se a semeadura da pastagem com 100 kg ha⁻¹ de aveia-preta e 25 kg ha⁻¹ de azevém, em plantio direto. Cerca de 30 dias após a semeadura, foi feita uma aplicação de 45 kg ha⁻¹ de nitrogênio, na forma de ureia. Esses procedimentos foram repetidos nos demais anos do experimento, com pequenas alterações nas datas de início e de final dos ciclos de pastagem e da soja.

O solo foi amostrado pela primeira vez em maio de 2001, antes da entrada dos animais, para a sua caracterização inicial. A segunda amostragem foi realizada após o primeiro período de pastejo, em dezembro de 2001. Novas amostragens foram realizadas em novembro, na saída dos animais da pastagem, e em maio de 2004 e de 2005, no momento da colheita da soja, cerca de cinco meses após o final do período de pastejo.

Foram determinadas a densidade do solo, a macro e a microporosidade, e a porosidade total do solo, nas camadas de 0–2,5, 2,5–5,0 e 5,0–10,0 cm de profundidade. As amostras foram obtidas com auxílio de anéis volumétricos, com 2,5 cm de altura e 6,3 cm de diâmetro.

Os procedimentos laboratoriais para a determinação da densidade do solo e da porosidade (macro, micro e total) foram realizados de acordo com a metodologia para análise física do solo proposta por Claessen (1997).

A estabilidade de agregados em água foi determinada ao final da estação de pastejo em 2007, em amostras de solo nas camadas de 0–10 e de 10–20 cm de profundidade, tendo-se seguido o método descrito por Kemper & Chepil (1965). Após o peneiramento em água, obteve-se a distribuição das classes de agregados (>4,76, 4,76–2, 2–1, 1–0,5, 0,5–0,25 e <0,25 mm), das quais foi separada a fração areia. A partir destes valores,

foi calculado o diâmetro médio ponderado (DMP), conforme a equação:

$$\text{DMP} = \sum_{i=1}^n (x_i \times w_i)$$

em que: w_i é a proporção (%) de cada classe em relação ao total, e x_i , o diâmetro médio das respectivas classes (mm).

A resistência mecânica do solo à penetração (RP) foi avaliada na saída dos animais da pastagem e ao final do ciclo da cultura da soja, o que permitiu uma análise da variabilidade espacial e temporal. Para análise da RP no final do período de pastejo, momento da implantação da soja, safra 2007/2008, o número de pontos de amostragem era de 241, e, na amostragem após o cultivo da soja, foram obtidas 130 amostras. Utilizou-se uma malha amostral para cobrir toda a área experimental, com os diferentes tratamentos, o que permitiu expressar a RP em termos de distribuição espacial e em diferentes profundidades do solo. Para as avaliações da RP, foi utilizado um penetrômetro eletrônico (Falker, Porto Alegre, RS) com especificações técnicas para parâmetros construtivos e procedimento de amostragem segundo a normatização ASAE S 313.3 (American Society of Agricultural Engineers, 2004), em que cada ponto de amostragem foi composto por três subamostras até 20 cm de profundidade, de 0–10 e de 10–20 cm.

Foram comparados os tratamentos de altura de manejo do pasto e as camadas amostradas. Quando não houve efeito da altura de manejo do pasto, as camadas foram comparadas aos dados de densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade, em cada época de amostragem (final do pastejo e final do ciclo da soja). Para o diâmetro médio ponderado de agregados, foram comparadas as alturas da pastagem e as camadas amostradas. As médias foram submetidas à análise de variância e comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Os dados referentes à RP foram submetidos à análise descritiva, seguida de análise geoestatística, tendo-se usado semivariogramas para verificar a dependência espacial desta variável; posteriormente, procedeu-se à interpolação espacial por krigagem ordinária. As análises foram feitas com o programa GS+ (Robertson, 2008), e a krigagem e o mapeamento, com a construção dos mapas de isolinhas de RP, com o programa Surfer 9.

Resultados e Discussão

Não houve influência da altura de pastejo sobre os atributos físicos do solo avaliados ao final de cada ciclo de pastejo e após a colheita da soja, ao longo de sete anos de avaliação. Verificou-se apenas aumento nos valores de densidade (Ds) e redução na porosidade total do solo em profundidade (Tabela 1). Resultados semelhantes foram obtidos por Spera et al. (2009) após dez anos do estabelecimento de sistemas de produção com a integração de culturas produtoras de grãos, pastagens de inverno e forrageiras perenes. Os autores observaram que a compactação resultante do pisoteio animal interferiu nos atributos físicos do solo, ao elevar a densidade e a microporosidade do solo e diminuir a macroporosidade e a porosidade total, na fase pastagem; porém, sem atingir níveis capazes de causar a degradação do solo.

As alterações na Ds e na porosidade do solo observadas em sistemas de integração lavoura-pecuária (Trein et al., 1991; Spera et al., 2004, 2009; Flores et al., 2007) são geralmente de pequena magnitude e não atingem níveis críticos ao crescimento das raízes das plantas cultivadas, pois a pressão aplicada pelas patas dos animais não é superior à resistência do solo à deformação plástica (Dias Junior & Pierce, 1996), o que permite que o solo recupere a sua estrutura.

Não foram observados efeitos dos tratamentos de altura de pastejo sobre os atributos físicos avaliados em qualquer época de amostragem. Portanto, não é possível afirmar que ocorram alterações significativas nesses atributos em decorrência do manejo de áreas em ILP. Segundo Préchac (1992), as propriedades físicas do solo se degradam com o uso contínuo do solo sob lavoura e podem ser recuperadas com o plantio de pastagens de gramíneas, que, quando produtivas, influenciam positivamente a produção de culturas anuais nos cultivos subsequentes. Em áreas em ILP, são poucos os relatos na literatura de reflexos negativos do período de pastejo sobre os atributos físicos do solo e a produtividade das culturas subsequentes (Spera et al., 2004, 2009; Flores et al., 2007; Lunardi et al., 2008), o que indica o potencial do uso desses sistemas mistos de produção.

Os valores de DMP de agregados mostram que os tratamentos de altura de pastejo e a profundidade de amostragem afetaram o estado de agregação do solo (Tabela 2). Na camada de 0–10 cm, obteve-se maior

DMP de agregados nos tratamentos com pastejo, e não houve diferenciação entre as intensidades de pastejo. Isso indica que a presença dos animais pode contribuir para a estabilização de agregados pelo efeito do pisoteio, ao promover a aproximação de partículas minerais. Assim, o aumento da densidade do solo pode proporcionar agregados mais estáveis (Veiga et al., 2009).

O pastejo altera a composição do pasto e promove o incremento, de massa por área, do sistema radicular das plantas forrageiras (Souza et al., 2010). Além disso, altera as funções que as raízes exercem no solo, como a agregação (Salton et al., 2008), o que pode determinar o aumento da estabilidade de agregados do solo que, neste caso, é medida pelo DMP de agregados em água. Contudo, o aumento do DMP de agregados em áreas sob pastejo não é um indicador de melhoria no estado de agregação do solo, pois solos compactados podem apresentar elevada estabilidade de agregados em água e, conseqüentemente, maiores valores de DMP, mas

apresentar relações na distribuição entre microporos, macroporos e porosidade total alteradas (Carpenedo & Mielniczuk, 1990) e em proporções inadequadas para o desenvolvimento de culturas comercialmente exploradas (Paladini & Mielniczuk, 1991). É provável que, neste trabalho, os agregados promovidos pela deformação plástica do solo, em virtude do pisoteio animal, não apresentam características estruturais desejáveis em solos considerados bem estruturados, mas sejam mais estáveis em água do que os agregados encontrados na área sem pastejo.

De acordo com Préchac et al. (2004), a estabilidade de agregados pode aumentar rapidamente com a inclusão de pastagens na rotação com culturas, por meio da combinação de três efeitos principais: ausência de preparo durante o ciclo da pastagem; presença de abundante sistema radicular, que atua como agente de agregação; e aumento da atividade da macrofauna do solo em pastagens. O aumento no DMP é comumente observado em solos utilizados em sistemas de manejo

Tabela 1. Evolução da densidade, da macroporosidade, da microporosidade e da porosidade total de um Latossolo Vermelho distroférico em diferentes épocas de amostragem, em sistema de integração lavoura-pecuária, sob plantio direto, com pastejo no inverno e cultivo de soja no verão⁽¹⁾.

Camada de solo (cm)	Inicial Maio/2001	Pós-pastejo Dez./2001	Pós-pastejo Nov./2004	Pós-soja Maio/2005	Pós-pastejo Nov./2006	Pós-soja Maio/2007	Média
Densidade (Mg dm ⁻³)							
0-2,5	1,21	1,29b	1,28b	1,26b	1,28b	1,22b	1,26
2,6-5,0	1,36	1,39a	1,35a	1,35a	1,35a	1,32a	1,35
5,0-10	1,35	1,36a	1,40a	1,36a	1,40a	1,36a	1,37
Média	1,31	1,35	1,34	1,32	1,34	1,30	1,33
CV (%)	6,40	3,8	4,50	4,17	4,50	5,55	
Macroporosidade (dm ³ dm ⁻³)							
0-2,5	0,13	0,10a	0,14a	0,15a	0,13a	0,15a	0,14
2,6-5,0	0,11	0,09a	0,10b	0,08b	0,09b	0,11b	0,10
5,0-10	0,11	0,09a	0,09b	0,05b	0,08b	0,10b	0,09
Média	0,12	0,09	0,10	0,09	0,10	0,12	0,10
CV (%)	9,62	6,42	26,46	57,02	26,46	22,05	
Microporosidade (dm ³ dm ⁻³)							
0-2,5	0,39	0,44a	0,41b	0,42	0,44	0,40	0,42
2,6-5,0	0,40	0,42b	0,43a	0,44	0,44	0,40	0,42
5,0-10	0,40	0,40c	0,40b	0,45	0,45	0,41	0,42
Média	0,40	0,42	0,41	0,44	0,44	0,40	0,42
CV (%)	1,44	4,76	3,73	3,47	1,31	1,44	
Porosidade total (dm ³ dm ⁻³)							
0-2,5	0,52	0,55a	0,56a	0,57a	0,57a	0,55a	0,55
2,6-5,0	0,51	0,52b	0,53b	0,52b	0,53b	0,51b	0,52
5,0-10	0,51	0,49c	0,50c	0,50b	0,53b	0,51b	0,51
Média	0,51	0,52	0,53	0,53	0,54	0,52	0,53
CV (%)	1,13	5,77	5,66	6,80	4,28	4,44	

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

que promovem grande adição de biomassa, o que aumenta o teor de carbono do solo, com a presença de espécies que tenham sistema radicular abundante, principalmente de gramíneas, já que a formação e a estabilidade dos macroagregados estão ligadas ao crescimento das raízes e à dinâmica da matéria orgânica do solo (Silva & Mielniczuk, 1997; Salton et al., 2005).

Ao se compararem as camadas de amostragem, foi observado decréscimo no DMP de agregados na camada de 10–20 cm em relação à camada superficial (Tabela 2). Na camada de 10–20 cm, o tratamento com a menor altura de pastejo apresentou menor DMP, tendo-se equiparado à área sem pastejo. A presença de agregados com maior diâmetro na camada mais superficial pode ser atribuída, principalmente, ao fato de o sistema radicular das espécies forrageiras anuais, aveia-preta e azevém, concentrar-se na camada superficial do solo, até 10 cm de profundidade (Souza et al., 2010).

A RP mostrou espacialmente o efeito do pisoteio animal sobre a estrutura do solo. O semivariograma para RP, na camada de 0–10 cm, ajustou-se ao modelo esférico para as duas épocas avaliadas. Já na camada de 10–20 cm, ajustou-se ao modelo exponencial e gaussiano para pós-pastejo e pós-colheita da soja, respectivamente, o que indica a dependência espacial da RP. Assim, foi possível interpolar os dados por krigagem e construir os mapas de contorno da RP. Ao se comparar a camada superficial nas duas épocas de avaliação, observou-se que a proporção de área com maiores valores de RP é maior imediatamente após o pastejo e menor na avaliação após a colheita da soja (Figura 2 A e B). Quanto às camadas de 0–10 e de 10–20 cm, imediatamente após o pastejo, houve maior proporção de área com valores de RP acima de 1.200 kPa na primeira camada, diferentemente do observado na avaliação pós-soja, quando houve

maior proporção de área com maior RP na camada de 10–20 cm, o que é considerado um fenômeno natural. Esses resultados corroboram os encontrados por Albuquerque et al. (2001) e Conte et al. (2008), ao estudar a RP em Nitossolo Vermelho e em Latossolo Vermelho distrófico, respectivamente.

A avaliação da RP é fortemente dependente do teor de água do solo no momento da determinação no campo e aumenta exponencialmente com a redução do teor de água no solo (Klein et al., 1998). Portanto, elevados teores de água no solo podem reduzir acentuadamente os valores absolutos da medida de RP. Os valores de RP encontrados no presente trabalho podem ser considerados baixos quando comparados às avaliações em anos anteriores, no mesmo experimento (Conte et al., 2007). Isso pode ser atribuído ao elevado teor de água no solo que, na média dos tratamentos para a camada de 0–20 cm, foi de 250 g kg⁻¹, na avaliação de novembro de 2007, e de 270 g kg⁻¹, na avaliação de abril de 2008, o que corresponde a um grau de saturação de 63 e 67%, respectivamente. O elevado teor de água do solo também contribuiu para reduzir o efeito dos tratamentos de altura de pastejo, e não foi possível distinguir diferenças entre os tratamentos nas camadas de 0–10 e 10–20 cm, nos mapas de RP. A distribuição espacial da RP foi aleatória e, provavelmente, influenciada por outros fatores que não os tratamentos nesta época de avaliação.

A RP indica que as avaliações de Ds, determinadas na camada de 0–10 cm, são adequadas para a caracterização do efeito do pisoteio animal sobre a compactação do solo, já que esse efeito normalmente se restringe a essa camada.

Ao fazer uma análise conjunta das variáveis analisadas neste trabalho (Ds, porosidade, agregados e RP), pode-se concluir que o pisoteio animal afeta alguns atributos físicos do solo, principalmente na

Tabela 2. Diâmetro médio ponderado de agregados estáveis em água (mm) submetidos a diferentes intensidades de pastejo, e em camadas de um Latossolo Vermelho distrófico, em sistema de integração lavoura-pecuária, sob plantio direto⁽¹⁾.

Camada de solo (cm)	Intensidades de pastejo					CV (%)
	Sem pastejo	P-40	P-30	P-20	P-10	
0–10	2,85aB	3,54aA	3,52aA	3,92aA	3,59aA	9,8
10–20	2,16bB	2,78bA	3,05bA	2,57bA	2,30bB	10,3
Média	2,50	3,16	3,28	3,33	2,94	

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. P-10, P-20, P-30 e P-40 representam os tratamentos 10, 20, 30, 40 cm de altura de pastejo, respectivamente.

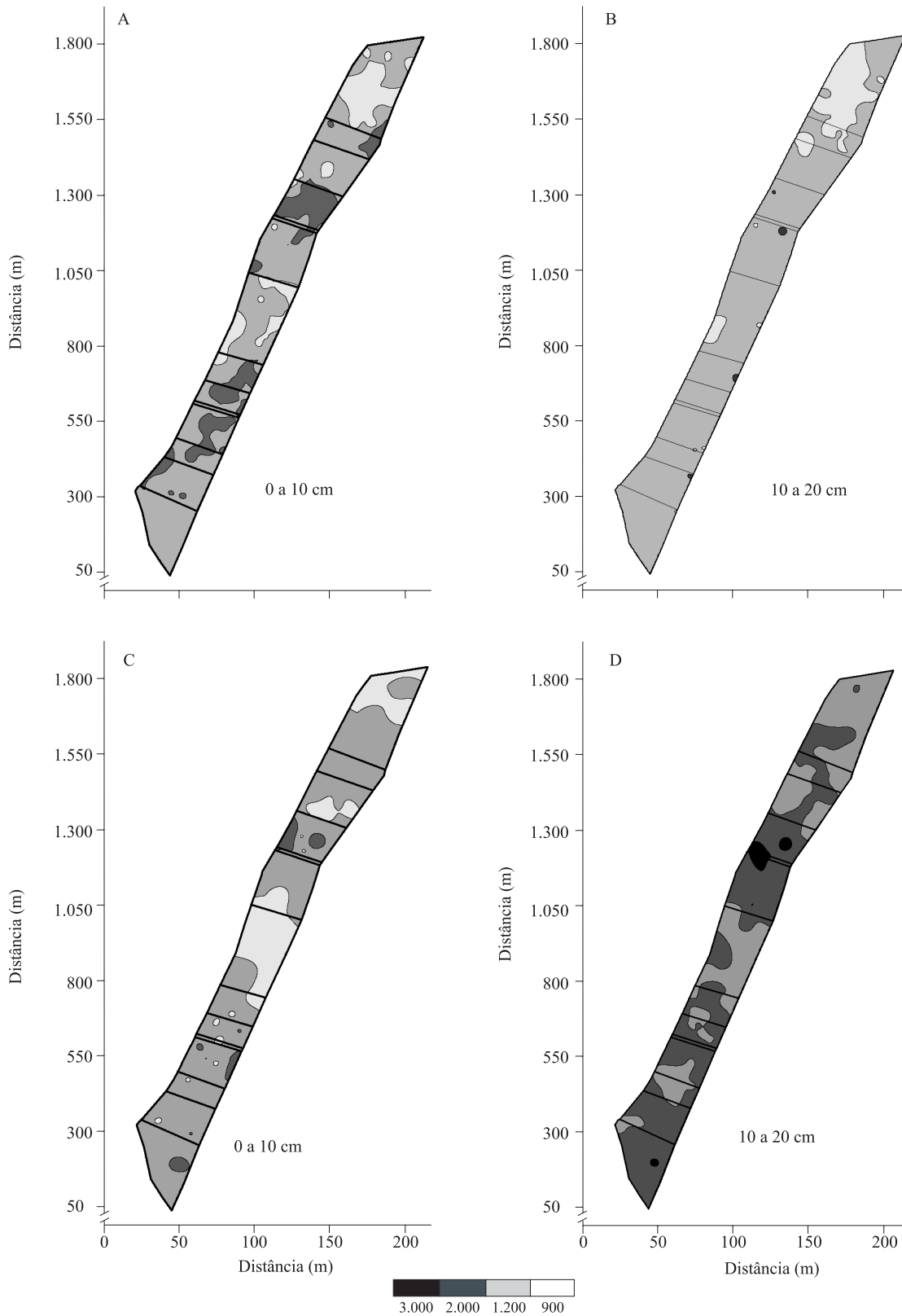


Figura 2. Resistência mecânica do solo à penetração (kPa) no final do ciclo de pastejo, em novembro de 2007 (A e B), e após a colheita da soja, em abril de 2008 (C e D), nas camadas de 0–10 e de 10–20 cm, em sistema de integração lavoura-pecuária, sob plantio direto, em Latossolo Vermelho distroférico.

camada de 0–10 cm. Porém, a sua magnitude não se reflete na produtividade da cultura subsequente ao pastejo, neste caso, a soja, a qual é avaliada anualmente. No período avaliado, não foram constatadas diferenças entre os tratamentos, conforme também verificado nos trabalhos de Flores et al. (2007), Lopes et al. (2009) e Carvalho et al. (2010).

Conclusões

1. Não há alterações significativas na densidade e na porosidade do solo após sete anos de aplicação de tratamentos de altura de pastejo, em sistema de integração lavoura-pecuária.

2. A presença de animais nas áreas sob pastejo provoca aumento da resistência mecânica do solo à penetração, na camada de 0–10 cm, imediatamente após o ciclo de pastejo.

3. O diâmetro médio ponderado dos agregados estáveis em água é maior nas áreas sob pastejo, e a agregação do solo aumenta nas áreas pastejadas, independentemente da intensidade de pastejo.

Agradecimentos

À Cabanha Cerro Coroado, por disponibilizar a área experimental; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, à Fundação Agrisus, e ao Ministério do Desenvolvimento Agrário, pelo apoio financeiro.

Referências

- ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeito da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.717-723, 2001.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Soil cone penetrometer –ASAE S 313.3**. Saint Joseph: ASAE, 2004. 2p.
- BIRCHAM, J.S. **Herbage growth and utilization under continuous stocking management**. 1981. 384p. Thesis (Ph.D) – University of Edinburgh, Edinburgh.
- CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.99-105, 1990.
- CARVALHO, P.C. de F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A. de; SOUZA, E.D. de; SULC, R.M.; LANG, C.R.; FLORES, J.P.C.; LOPES, M.L.T.; SILVA, J.L.S. da; CONTE, O.; LIMA WESP, C.; LEVIEN, R.; FONTANELI, R.S.; BAYER, C. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.88, p.259-273, 2010.
- CLAESSEN, M.E.C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPq, 1997. 212p. (Embrapa-CNPq. Documentos, 1).
- CONTE, O.; LEVIEN, R.; TREIN, C.R.; CEPIK, C.T.C.; DEBIASI, H. Demanda de tração em haste sulcadora na integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo e sua relação com o estado de compactação do solo. **Engenharia Agrícola**, v.27, p.220-228, 2007.
- CONTE, O.; LEVIEN, R.; TREIN, C.R.; MAZURANA, M.; DEBIASI, H. Resistência mecânica do solo e força de tração em hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras em sistema de integração lavoura-pecuária. **Engenharia Agrícola**, v.28, p.730-739, 2008.
- CORREA, J.C.; REICHARDT, K. Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um Latossolo Amarelo da Amazônia Central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, p.107-114, 1995.
- DENARDIN, J.E. Manejo adequado do solo para áreas motomecanizadas. In: SIMPÓSIO DE MANEJO DO SOLO E PLANTIO DIRETO NO SUL DO BRASIL, 1.; SIMPÓSIO DE CONSERVAÇÃO DE SOLO DO PLANALTO, 3., 1983, Passo Fundo. **Anais**. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 1984. p.107-123.
- DIAS JUNIOR, M.S.; PIERCE, F.J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.175-182, 1996.
- FLORES, J.P.C. **Atributos físicos e químicos do solo e rendimento de soja sob integração lavoura-pecuária em sistemas de manejo**. 2008. 102p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- FLORES, J.P.C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L.C.; CARVALHO, P.C.F. de; LEITE, J.G.D.; FRAGA, T.I. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.771-780, 2007.
- KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v.1, p.499-510.
- KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L.; SILVA, A.P. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e conteúdo de água. **Engenharia Agrícola**, v.18, p.45-54, 1998.
- LOPES, M.L.T.; CARVALHO, P.C.F. de; ANGHINONI, I.; SANTOS, D.T. dos; AGUINAGA, A.A.Q.; FLORES, J.P.C.; MORAES, A. de. Sistema de integração lavoura-pecuária: efeito do manejo da altura em pastagem de aveia preta e azevém anual sobre o rendimento da cultura da soja. **Ciência Rural**, v.39, p.1499-1506, 2009.
- LUNARDI, R.; CARVALHO, P.C. de F.; TREIN, C.R.; COSTA, J.A.; CAUDURO, G.F.; BARBOSA, C.M.P.; AGUINAGA, A.A.Q.

- Rendimento de soja em sistema de integração lavoura pecuária: efeito de métodos e intensidades de pastejo. **Ciência Rural**, v.38, p.795-801, 2008.
- MACEDO, M.C.M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.133-146, 2009.
- PALADINI, F.L. dos S.; MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um solo Podzólico Vermelho-Escuro afetado por sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.135-140, 1991.
- PRÉCHAC, F.G. Propriedades físicas y erosion in rotaciones de cultivos y pasturas. **Revista Inia Investigaciones Agronomicas**, n.1, p.127-140, 1992.
- PRÉCHAC, F.G.; ERNST, O.; SIRI-PRIETO, G.; TERRA, J.A. Integrating no-till into crop-pasture rotations in Uruguai. **Soil and Tillage Research**, v.77, p.1-13, 2004.
- RAPER, R.L. Agricultural traffic impacts on soil. **Journal of Terramechanics**, v.42, p.259-280, 2005.
- ROBERTSON, G.P. **GS+**: geostatistics for the environmental sciences. Plainwell: Gamma Design Software, 2008.
- SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.11-21, 2008.
- SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C. **Matéria orgânica do solo na integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2005. 58p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 29).
- SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; OLIVEIRA, J.B. de; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- SILVA I.F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de planta na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.113-117, 1997.
- SOEHNE, W. Fundamentals of pressure distribution and soil compaction under tractor tires. **Agricultural Engineering**, v.39, p.276-281, 1958.
- SOUZA, E.D. de; COSTA, S.E.V.G. de A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C. de F.; OLIVEIRA, E.V.F. de; MARTINS, A.P.; CAO, E.; ANDRIGHETTI, M. Soil aggregation in a crop-livestock integration system under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1362-1374, 2010.
- SPERA, S.T.; SANTOS, H.P. dos; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. Atributos físicos de um Hapludox em função de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP), sob plantio direto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.32, p.37-44, 2010.
- SPERA, S.T.; SANTOS, H.P. dos; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. Avaliações de alguns atributos físicos de solo em sistemas de produção de grãos, envolvendo pastagens sob plantio direto. **Ciência Rural**, v.9, p.23-31, 2004.
- SPERA, S.T.; SANTOS, H.P. dos; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.129-136, 2009.
- TANNER, C.B.; MAMARIL, C.P. Pasture soil compaction by animal traffic. **Agronomy Journal**, v.51, p.329-331, 1959.
- TREIN, C.R.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo, na rotação aveia+trevo/milho, após pastejo intensivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.105-111, 1991.
- VEIGA, M.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Aggregate stability as affected by short and long-term tillage systems and nutrient sources of a Hapludox in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.767-777, 2009.
- VIEIRA, M.L.; KLEIN, V.A. Propriedades físico-hídricas de um Latossolo vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1271-1280, 2007.

Recebido em 30 de julho de 2010 e aprovado em 27 de setembro de 2011