

INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO EM UM LATOSSOLO VERMELHO DA REGIÃO SUDOESTE DOS CERRADOS COM DIFERENTES SISTEMAS DE USO E MANEJO⁽¹⁾

José Antonio Maior Bono⁽²⁾, Manuel Claudio Motta Macedo⁽³⁾, Cássio Antonio Tormena⁽⁴⁾, Marcos Rafael Nanni⁽⁴⁾, Eder Pereira Gomes⁽⁵⁾ & Marcelo Marques Lopes Müller⁽⁶⁾

RESUMO

Na região do Cerrado, as atividades agrícolas têm provocado impactos negativos, principalmente, na qualidade do solo e da água. Tanto em sistemas de exploração agrícola ou de pecuária, com diferentes manejos, a degradação física do solo é uma das consequências da redução da produtividade. O objetivo deste trabalho foi verificar a infiltração de água no solo sob influência de diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Vermelho distrófico na região dos Cerrados. Os tratamentos foram os seguintes sistemas de manejo: a) solo sob vegetação nativa; b) solo com implantação de lavoura de soja durante um ano, seguido de três anos de pastagens; c) solo com implantação de lavoura de soja durante quatro anos, seguidos por quatro anos de pastagem; d) solo com lavoura de soja contínua em sistema de plantio direto; e e) solo com pastagem continuamente. Foram avaliadas, no período de 1995 a 2002, a velocidade de infiltração básica (VIB) e a infiltração de água acumulada no solo, utilizando o método de duplos anéis concêntricos. Os usos do solo com sistema de lavoura contínua, pecuária contínua e integração lavoura-pecuária tiveram a velocidade de infiltração básica e infiltração acumulada reduzidas em relação ao solo com vegetação nativa na região do Cerrado. Entre os sistemas estudados, o sistema

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Estadual de Maringá. Recebido para publicação em 10 de fevereiro de 2012 e aprovado em 03 de outubro de 2012.

⁽²⁾ Professor Titular da Universidade Anhanguera - UNIDERP, Unidade Agrárias. Rua Alexandre Herculano, 1400, Jardim Veraneio. CEP 79037-280 Campo Grande (MS). E-mail: lfsolo@unierp.br

⁽³⁾ Pesquisador da Embrapa Gado de Corte, BR 262 km 04. CEP 79002-970 Campo Grande (MS). E-mail: macedo@cnpqc.embrapa.br

⁽⁴⁾ Professor Associado do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Maringá - UEM. Av. Colombo, 5790. CEP 87020-900 Maringá (PR). E-mail: catormena@uem.br

⁽⁵⁾ Professor da Universidade Federal da Grande Dourados, Faculdade de Ciências Agrárias. Caixa Postal 533. Rod. Dourados-Itahum, km 12. CEP 79804-970 Dourados (MS). E-mail: edergomes@ufgd.edu.br

⁽⁶⁾ Professor Adjunto, Departamento de Agronomia, Universidade Estadual do Centro Oeste - UNICENTRO. Rua Simeão Camargo Varela de Sá, 3. Cascavel. CEP 85040-080 Guarapuava (PR). E-mail: mmuller@unicentro.br

de integração lavoura-pecuária foi o que apresentou valores mais próximos aos do solo sob vegetação nativa.

Termos de indexação: integração lavoura-pecuária, física do solo, uso do solo e manejo do solo.

SUMMARY: WATER INFILTRATION INTO AN OXISOL IN THE SOUTH-WEST CERRADO REGION UNDER DIFFERENT USE AND MANAGEMENT SYSTEMS

In the Cerrado region, agricultural activities have caused negative impacts mainly on the soil and water quality. Both in crop and livestock systems, with different managements, the soil physical degradation has led to reduced productivity. The objective of this study was to investigate water infiltration into a Dystrophic Red Latosol of the Cerrado region under different managements. The treatments consisted of the management systems: a) soil under native vegetation, b) soil with soybean for one year followed by three years of grazing, c) soil with implantation of soybean for four years, followed by four years of grazing, d) soil with continuous soybean in no-till system, e) soil with continuous grazing. From 1995 to 2002, the infiltration rate and accumulated water infiltrated in the soil were evaluated, using the concentric ring method. In the land use systems continuous crop, continuous livestock and crop-livestock integration, the infiltration rate and cumulative infiltration into the soil were lower than in soil under native Cerrado vegetation. Of the systems studied, the values of the integrated crop livestock system were closest to the soil under native vegetation.

Index terms: crop-livestock integration, soil physics, land use, soil management

INTRODUÇÃO

A exploração da agropecuária da região sudoeste dos Cerrados, envolvendo o sul de Mato Grosso, o sul de Goiás e o Estado de Mato Grosso do Sul, vem apresentando sérios problemas de uso e manejo do solo, causando queda na produtividade das lavouras (Kluthcouski & Stone, 2003) e degradação das pastagens (Vilela et al., 2003), o que é atribuído a diversos fatores, entre eles a perda da qualidade física do solo. Nesse sentido, deve-se ressaltar que as práticas agrícolas adotadas sempre vêm acompanhadas de alterações do ambiente (Resende et al., 1996). Exemplo dessa alteração é a redução na capacidade de retenção de água no solo, alterando o potencial matricial, a aeração do solo, a resistência do solo à penetração das raízes, a estabilidade dos agregados e a condutividade hidráulica.

O conhecimento da capacidade de infiltração de água no solo e suas relações com as propriedades do solo são de fundamental importância para o eficiente manejo do solo e da água (Reichardt & Timm, 2004). Os solos, quando cultivados intensamente ao longo do tempo, podem tornar-se compactados e suscetíveis à perda de solo por erosão, como demonstrado por Lal (1984), bem como apresentar redução na sua permeabilidade (Freitas Júnior & Luchiari Júnior, 1994).

Várias propriedades do solo podem interferir no processo de infiltração, entre as quais se destacam a densidade do solo e a distribuição do tamanho dos poros

(Chen & Wagenet, 1992). Brandão et al. (2003) salientam que nas condições de clima tropical e dos solos do Cerrado brasileiro, em que predominam os óxidos de ferro e alumínio em relação às argilas silicatadas, a estrutura do solo tem mais influência na infiltração do que a textura. Embora os solos do Cerrado do Brasil apresentem naturalmente boas condições físicas, o manejo pode alterar as suas propriedades físicas (Vezzani, 2001; Pagotto, 2001), ocasionando redução na infiltração de água no solo. Silva & Kato (1997) verificaram que o solo de Cerrado virgem teve redução da macroporosidade de 0,39 para 0,20 cm³ cm⁻³ quando cultivado no sistema de plantio direto; a infiltração de água no solo passou de 26 para 1,3 mm h⁻¹, respectivamente.

Bertol et al. (2001) verificaram redução de infiltração de água no solo sob pastagens compactadas pelo pisoteio animal em relação ao solo com vegetação natural, atribuída ao aumento da densidade e redução da macroporosidade do solo.

Salton et al. (1999), avaliando a infiltração de água em solo em sistema de plantio direto sob diferentes coberturas do solo, verificaram que em solo no qual a soja foi implantada após *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria brizantha* foram obtidos valores superiores aos dos solos em que as culturas de nabo forrageiro, aveia ou milho antecederam a soja. Esses autores concluem que a agregação do solo provocada pelas raízes das forrageiras influenciou positivamente a infiltração de água no solo.

Para Pruski et al. (1997), o sistema radicular das plantas cria caminhos que favorecem a movimentação de água no solo. Bono & Macedo (1996), trabalhando com diversos sistemas de recuperação de pastagem com *Brachiaria decumbens*, encontraram relação positiva entre a infiltração de água no solo e a quantidade de raízes até 0,6 m de profundidade. Silva & Kato (1997) constataram aumento da infiltração de água no solo devido às coberturas vegetais, que proporcionaram aumento na macroporosidade, e redução do impacto da gota de chuva direto com a superfície do solo.

Vários modelos matemáticos são utilizados para descrever o processo de infiltração de água do solo, destacando-se os de Kostiakov, Kostiakov-Lewis, Horton, Holtan, Green e Ampt e Philip (Brandão et al., 2003). Fabian & Ottoni Filho (1997) testaram os modelos de Kostiakov, Kostiakov-Lewis, Philip e Horton em dados de infiltração coletados com infiltrômetro de anéis e concluíram que todos ajustaram adequadamente os valores de infiltração obtidos, à exceção do modelo de Horton.

O objetivo deste trabalho foi verificar a influência de diferentes sistemas de manejo sobre a infiltração de água no solo em um Latossolo Vermelho distrófico da região dos Cerrados.

MATERIAL E MÉTODOS

A área utilizada para o experimento está localizada no Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte - Embrapa Gado de Corte, em Campo Grande, Estado de Mato Grosso do Sul, nas coordenadas geográficas: latitude de 20° 25' 03" e longitude de 54° 42' 20", cujo solo foi descrito como Latossolo Vermelho distrófico (Embrapa, 1997).

O local foi desmatado entre 1972 e 1973, no qual havia vegetação típica de cerradão (Ferri, 1977); foram implantadas pastagens de *Brachiaria decumbens*, que foi utilizada para pastejo na alimentação do rebanho da Embrapa Gado de Corte. Em outubro de 1987, foi realizada uma gradagem pesada, retirada das raízes, calagem (1,0 t ha⁻¹, PRNT 100 %) e adubação da área com 63 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato simples), 60 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio), 1,2 kg ha⁻¹ de Zn, 0,4 kg ha⁻¹ de B, 0,8 kg ha⁻¹ de Mn e 0,4 kg ha⁻¹ de Cu (FTE), incorporados com grade niveladora. No período de 1973 a 1987, o solo apresentava as seguintes características químicas (Quadro 1) e granulométricas (Quadro 2) de acordo com métodos descritos em Embrapa (1997).

Novas calagem e adubação foram efetuadas entre setembro e outubro de 1993: a calagem, para atingir uma saturação por bases entre 40 e 45 %; em seguida, uma gradagem niveladora para uniformização da área e incorporação do calcário. Após a calagem, foi realizada uma adubação fosfatada (80 kg ha⁻¹ de P₂O₅),

utilizando-se como fonte o superfosfato simples aplicado a lanço e incorporado com grade niveladora.

Descrição dos tratamentos

Neste trabalho foram considerados cinco tratamentos de manejo do solo: CERR - solo com vegetação nativa; PCCA - solo com pastagem *Brachiaria decumbens* cultivar Basilisk contínua e adubada; L1P3 - solo com um ano sob lavoura de soja e três anos sob pastagem com *Brachiaria brizantha* cultivar Marandu; L1P3 - solo com um ano sob lavoura de soja e três anos sob pastagem com *Brachiaria brizantha* cultivar Marandu; L4P4 - solo com quatro anos com lavoura de soja e quatro anos sob pastagem com *Panicum maximum* cultivar Tanzânia-1; e LCPD - lavoura contínua de soja em sistema de plantio direto. As amostragens nos tratamentos iniciaram-se a partir de julho de 1995, após dois anos da sua implantação.

No tratamento PCCA, o sistema foi de pastagem contínua, sendo implantada a forrageira *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk em parcelas com dimensões de 140 x 50 m (7.000 m²) e adubada a cada dois anos. As adubações utilizadas equivaleram ao uso de 400 kg ha⁻¹ do formulado 00-20-20, aplicado a lanço e incorporado na camada de 0-10 cm na implantação e, após, somente superficial, realizada nos meses de novembro; a partir de 2000/2001, a pastagem passou a receber anualmente 50 kg ha⁻¹ de N, tendo como fonte a ureia, o que foi feito entre dezembro e janeiro.

No tratamento LCPD, manejo com lavoura contínua, em sistema de plantio direto, em parcelas com dimensões de 110 x 12 m (1.320 m²), o preparo inicial foi feito como descrito anteriormente. No ano agrícola de 94/95, iniciou-se o plantio de soja como cultura de verão, não ocorrendo mais o preparo do solo. A adubação do solo era feita na cultura de verão, utilizando-se 400 a 450 kg ha⁻¹ do formulado 00-20-20. No cultivo de inverno, foram utilizados o milho e o sorgo como culturas para formação de palhada. Na área, foi efetuada nova aplicação superficial de calcário no ano de 1998, para manter a saturação por bases a 60 %, na dose de 1.800 kg ha⁻¹. A média da produtividade de soja no período estudado ficou em 2.435 kg ha⁻¹.

No tratamento L1P3, o sistema de manejo foi de um ano com lavoura de soja, seguido por três anos de pastagem. Com exceção do ano de 1993, no qual a lavoura de soja foi introduzida com o preparo convencional do solo, o plantio da soja foi realizado sem o preparo do solo (plantio direto), assim como o plantio da forrageira. A forrageira utilizada nesse sistema foi a *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. Na pastagem, foi aplicada adubação anual de manutenção, com 200 kg ha⁻¹ da fórmula 0-20-20 e 80 kg ha⁻¹ de N, utilizando ureia como fonte. Nova calagem foi realizada para manter a saturação por bases a 60 % no ano de 1997, na dose de 1.500 kg ha⁻¹. A partir de 1997 o manejo do solo foi em sistema de plantio direto, tanto da lavoura como da pastagem. A

Quadro 1. Características químicas do solo da área em estudo antes da implantação do experimento, nas camadas avaliadas

Prof. ⁽¹⁾	pH (H ₂ O)	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	MO	V
m		mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³			g dm ⁻³	%
0,0-0,20	5,14	1,5	43	0,55	0,27	0,95	7,24	32,0	11,4
0,2-0,40	5,02	1,0	25	0,34	0,19	1,00	6,55	21,0	8,2

⁽¹⁾ Profundidade**Quadro 2. Características granulométricas, argila dispersa em água (ADA) e grau de floculação (GF) do solo da área em estudo antes da implantação do experimento**

Prof. ⁽¹⁾	Argila	Silte	Areia	ADA	GF
m	g kg ⁻¹				
0,00-0,10	380	100	520	80	789
0,10-0,20	387	98	515	100	742
0,20-0,40	410	120	470	110	732
0,40-0,60	412	119	469	115	721

⁽¹⁾ Profundidade

média da produtividade de soja no período estudado ficou em 2.520 kg ha⁻¹.

No tratamento L4P4, as parcelas foram utilizadas com a cultura da soja por quatro anos, seguidos por quatro anos de pastagem utilizando a forrageira *Panicum maximum* cv. Tanzânia-1. No período de 1993 a 1996, o plantio da soja foi feito em solo preparado com grade; a partir de 1996, o plantio foi feito sem o preparo do solo (plantio direto). A cultura da soja recebeu adubação de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 80 kg ha⁻¹ de K₂O, utilizando o formulado 00-20-20 para cultivo. A pastagem recebeu adubação anual de manutenção composta de 200 kg ha⁻¹ da fórmula 00-20-20 e 100 kg ha⁻¹ de N, utilizando ureia como fonte. Nova calagem foi realizada para manter a saturação por bases em 60 % no ano de 1997, na dose de 1.500 kg ha⁻¹. A média da produtividade de soja no período estudado foi de 2.705 kg ha⁻¹.

Delineamento estatístico

O delineamento estatístico foi o de blocos ao acaso distribuídos em parcelas experimentais em delineamento de blocos inteiramente casualizados com quatro repetições, sendo os tratamentos considerados como parcela principal, e os anos, como parcelas subdivididas.

Manejo das forrageiras

As pastagens utilizadas foram *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e *Panicum maximum* cv. Tanzânia-1. A semeadura das gramíneas foi em 1994, no mês de

outubro, a lanço, nas quantidades de 1,8, 3,0 e 2,0 kg ha⁻¹ de sementes puras viáveis, respectivamente para *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria brizantha* e *Panicum maximum*.

As forrageiras foram pastejadas em sistema contínuo, com taxa de lotação variável de acordo com a disponibilidade de forragem, preestabelecida entre 2.500 e 3.000 kg ha⁻¹ de matéria seca total, utilizando como categoria animal bezerras da raça nelore com peso vivo entre 200 e 220 kg por animal. A carga animal média anual para as áreas com *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria brizantha*, durante o período estudado, ficou em torno de 1,6 unidade animal (UA). Para as áreas com *Panicum maximum*, a carga média anual foi de 1,7 UA.

Velocidade de infiltração básica (VIB) e infiltração acumulada de água no solo

A infiltração de água no solo foi determinada pelo método do infiltrômetro de duplo anel. Os anéis foram cravados no solo por percussão, de forma concêntrica; o anel interno com diâmetro de 0,3 m foi cravado no solo até 0,10 m, e o externo de 0,6 m de diâmetro, até 0,05 m (Forsyth, 1985). Para regular a entrada de água nos anéis e manter a mesma carga hidráulica no anel interno, adaptou-se uma estrutura de madeira e boias (Figura 1).

Dentro de cada parcela experimental, determinou-se uma área útil de 300 m² para realização dos testes (Figura 2). Na área útil foram demarcados quatro locais, que serviram de pontos onde se realizaram os testes de infiltração nos anos de 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001 e 2002. Os testes de infiltração duraram, em média, 6 h e foram realizados com solo seco entre os meses de julho e agosto - os mais secos do ano na região de Campo Grande (MS).

Para iniciar os testes, adicionava-se água simultaneamente nos dois anéis até a altura de 0,075 m de lâmina de água. A partir desse momento, começava-se a contagem do tempo, mantendo a carga hidráulica de 0,075 m no anel interno e 0,05 m no anel externo.

Os valores de infiltração foram obtidos por meio da equação 1:

$$\text{Infiltração (cm h}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Volume infiltrado (cm}^3\text{)}}{\text{Área do anel interno (cm}^2\text{)} \times \text{tempo (h)}} \quad (1)$$

Aos dados ajustou-se o modelo matemático proposto por Philip (Equações 2 e 3), conforme Forsythe (1985) e Brandão et al. (2003), para determinar a velocidade de infiltração básica e a infiltração acumulada no solo:

$$VI = aT^{0,5} + b \quad (2)$$



Figura 1. Detalhe dos anéis, da estrutura e das boias utilizadas na determinação da velocidade de infiltração básica (VIB) e infiltração acumulada de água no solo.

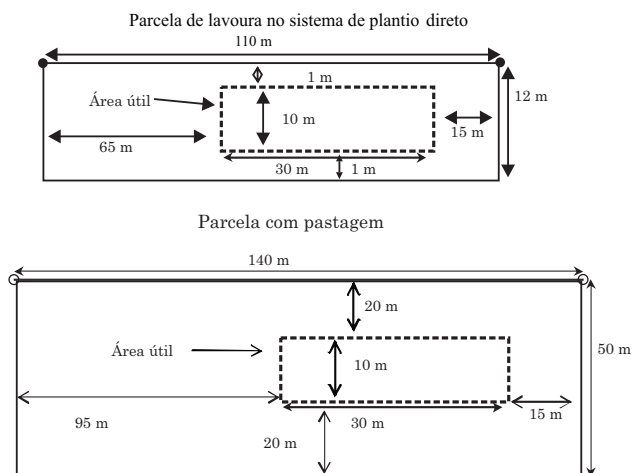


Figura 2. Esquema utilizado para avaliação da infiltração estável e da infiltração de água no solo nos tratamentos de lavoura contínua, pastagem contínua e integração lavoura-pecuária.

em que, VI = velocidade de infiltração básica (cm h^{-1}); T = tempo (h); e “ a ” e “ b ” = parâmetros de ajuste do modelo.

Para determinar a infiltração acumulada (IA), os dados foram ajustados utilizando a equação:

$$IA = cT^{0,5} + d \quad (3)$$

em que, IA = infiltração acumulada (cm); T = tempo (h) e “ c ” e “ d ” = parâmetros do modelo.

Porosidade e densidade do solo

Em dezembro de 1996, 1999, 2000, 2001 e 2002 foram coletadas amostras indeformadas, em quatro locais dentro de cada parcela, utilizando-se anéis metálicos de capacidade de $0,0001 \text{ m}^3$, em quatro profundidades: 0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3 e 0,3-0,4 m. Os anéis foram introduzidos no solo por percussão, utilizando amostrador para amostra indeformada.

Nas amostras coletadas foram determinadas: a densidade de partícula do solo (D_p), pelo método do balão volumétrico; a densidade do solo (D_s), pelo método do anel volumétrico; e o volume total de poros (VTP), por meio das densidades do solo e de partícula (Embrapa, 1997). A microporosidade (M_i) foi determinada pela água retida na tensão de 0,006 MPa, utilizando o método da centrífuga adaptado por Freitas Júnior & Silva (1984). A macroporosidade (M_a) foi obtida pela diferença entre VTP e a M_i (Embrapa, 1997).

Estabilidade dos agregados do solo em água

Em dezembro de 1995, novembro de 2000 e fevereiro de 2002, foram coletadas amostras de solo em quatro locais nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m. As amostras foram passadas em peneira com 8 mm de malha e coletadas na peneira de 2 mm, conforme Guedes et al. (1996), sendo posteriormente secas ao ar. Em seguida, procedeu-se ao agitar das amostras, em peneiramento por via úmida (Kemper & Chepil, 1965). Utilizaram-se 100 g de agregados secos ao ar, umedecidos por capilaridade, os quais foram colocados na parte superior de um conjunto de cinco peneiras com diâmetro de abertura da malha de 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,105 mm, agitando-as verticalmente com 46 oscilações verticais por min dentro da água, durante 10 min. Nas amostras dos agregados secos ao ar, determinou-se a umidade pelo método gravimétrico (Embrapa, 1997), para corrigir a massa nos agregados submetidos ao tamisamento. Em função dos diâmetros de malha das peneiras utilizadas, os agregados foram distribuídos nas seguintes classes de diâmetro equivalente: 8-2; 2-1, 1-0,5; 0,5- 0,25 e 0,25-0,105 e abaixo de 0,105 mm.

A partir da massa dos agregados estáveis em água retidos nas peneiras, determinou-se o diâmetro médio ponderado (DMP) utilizando a equação 4, conforme Kemper & Chepil (1965).

$$DMP = \sum_i^n (x_i w_i) \quad (4)$$

em que, w_i = proporção de cada classe em relação ao total; e x_i = diâmetro médio das classes, expresso em mm.

Análises estatísticas

Os valores das variáveis velocidade de infiltração básica e infiltração acumulada foram interpretados utilizando-se a análise de variância; para comparar as médias, aplicou-se o teste de Tukey a 5 %. Na infiltração acumulada, realizou-se análise de variância para cada hora do teste.

Foi realizado estudo de correlação conforme Pimentel-Gomes & Garcia (2002) entre a densidade do solo, macro e microporosidade e diâmetro médio ponderado com a taxa de velocidade de infiltração básica, com os valores médios para as duas camadas de solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Velocidade de infiltração básica (VIB)

Os valores médios da velocidade de infiltração básica (VIB) do solo nos diferentes sistemas de manejo encontram-se no quadro 3. A VIB apresentou interação significativa para tratamentos e ano ($p > 0,01$). A interação foi desdobrada, analisando-se o efeito de ano dentro de cada tratamento (Quadro 3).

O solo com vegetação nativa não teve variação na taxa de infiltração estável de água no solo ao longo dos sete anos do estudo e foi o que apresentou o maior valor em relação aos demais sistemas de manejo. Esses resultados confirmam os obtidos por Bertol et al.

(2001), sendo indicativo das boas condições físicas dos solos do Cerrado sob vegetação nativa.

A remoção da vegetação natural e a introdução, seja de pastagem ou de lavoura, trazem como consequência a redução na velocidade de infiltração básica de água no solo, confirmando os resultados encontrados por Silva & Kato (1998).

Na comparação entre o PCCA e o LCPD, observou-se que o sistema de lavouras apresenta menor VIB. Stone et al. (2001) verificaram que a gramínea *Brachiaria decumbens*, quando fertilizada, pode proporcionar maior estruturação do solo, aumentando sua permeabilidade. No entanto, no tratamento L1P3, a VIB foi a mais baixa entre os tratamentos, na média dos anos da avaliação. Essa menor taxa de infiltração no L1P3 é atribuída ao tipo de crescimento cespitoso da *Brachiaria brizantha*, o que deixa o solo exposto (Zimmer et al., 1994), e isso faz com que se manifeste o efeito dos cascos dos animais na superfície do solo, compactando-o, e, conseqüentemente, a taxa de infiltração. Os resultados apresentados em Bertol et al. (1997) e Lanzanova et al. (2005) confirmam a influência do pisoteio animal na redução de infiltração de água no solo.

Deve-se ressaltar que no sistema de manejo PCCA, devido ao sistema radicular muito agressivo dessa espécie, o que proporciona maior produção de matéria seca da parte aérea e de raízes, cobrindo bem a superfície do solo, pode ter reduzido o efeito do pisoteio. A relação direta entre a produção de biomassa radicular e a de biomassa verde na *Brachiaria decumbens* pode ser observada no trabalho de Silva et al. (1998) e Kanno et al. (1999), com este último trabalhando no mesmo experimento do presente estudo.

No sistema de L4P4, verificou-se redução da infiltração de 46,75 cm h⁻¹ em 1995 para 18,12 cm h⁻¹ em 1998, período em que o solo foi cultivado com a cultura da soja em sistema convencional. A partir de

Quadro 3. Valores médios obtidos de velocidade de infiltração básica (VIB) no solo em diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado

Ano	CERR	L1P3	L4P4	LCPD	PCCA
cm h ⁻¹					
1995	86,12 a	24,75 a	46,75 a	59,62 a	26,5 d
1996	85,50 a	16,62 b	24,12 bc	37,00 b	38,11 a
1997	93,87 a	17,62 b	19,62 c	21,62 c	29,25 c
1998	88,00 a	11,50 c	18,12 c	14,00 d	34,37 ab
1999	90,37 a	11,75 c	27,50 b	15,87 d	39,50 a
2001	92,62 a	13,62 c	27,50 b	14,87 d	36,12 ab
2002	85,37 a	11,75 c	29,37 b	11,37 d	32,25 bc
Média	88,83	15,37	27,56	24,90	33,72

CERR: solo com vegetação natural; PCCA: solo com pastagem contínua e adubada; L1P3: solo com lavoura de soja de um ano e três anos com pastagem de *Brachiaria brizantha*; L4P4: solo com lavoura de quatro anos e quatro anos com pastagem de *Panicum maximum*; LCPD: solo com lavoura de soja em sistema de plantio direto. Valores com letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

1998 houve a introdução da forrageira *Panicum maximum* cv. Tanzânia-1, e a adubação residual deixada pelo manejo da lavoura favoreceu o estabelecimento da forrageira, proporcionando sistema radicular mais abundante e profundo, o que contribuiu para aumentar a VIB a partir de 1999.

Kanno et al. (2001) registram que a forrageira *Panicum maximum*, em solo com níveis adequados de nutrientes, apresenta capacidade de produção de biomassa, tanto da parte aérea como das raízes, superior à de *Brachiaria decumbens*. Bono et al. (1995), utilizando forrageiras dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum* e dois níveis de adubação e calcário, registraram aumento na condutividade hidráulica do solo sob as doses mais altas de adubação e de calcário.

No quadro 4 encontram-se as correlações entre a velocidade de infiltração básica (VIB) e a porosidade em diferentes sistemas de manejo do solo. Verifica-se relação positiva e significativa da VIB e a macroporosidade do solo e todos os sistemas de manejos estudados. A dependência entre as variáveis foi mais efetiva para o sistema PCCA, observada pelo maior coeficiente angular do modelo linear ajustado entre a VIB e a macroporosidade, nesse tratamento.

As correlações significativas entre taxa de infiltração e macroporosidade, independentemente do

Quadro 4. Correlação entre a velocidade de infiltração básica (VIB) de água e a macro e microporosidade, e entre o diâmetro médio ponderado (DMP) em diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado

Tratamento		Equação de correlação	R ²
CERR	Macro	$\hat{y} = 0,0713 + 0,0019 x$	0,56*
	Micro	$\hat{y} = 0,2849 + 3E-05 x$	0,00001 ^{ns}
	DMP	$\hat{y} = 2,066 + 0,008 x$	0,18 ^{ns}
PCCA	Macro	$\hat{y} = -0,0647 + 0,0074 x$	0,77**
	Micro	$\hat{y} = 0,3382 + 0,0006 x$	0,042 ^{ns}
	DMP	$\hat{y} = -0,387 + 0,0983 x$	0,65**
L1P3	Macro	$\hat{y} = 0,0829 + 0,0037 x$	0,51*
	Micro	$\hat{y} = 0,3388 + 0,0006 x$	0,031 ^{ns}
	DMP	$\hat{y} = 1,5782 + 0,0078 x$	0,30 ^{ns}
L4P4	Macro	$\hat{y} = 0,0929 + 0,0026 x$	0,71**
	Micro	$\hat{y} = 0,3387 + 0,0003 x$	0,0085 ^{ns}
	DMP	$\hat{y} = 1,2865 + 0,0205 x$	0,56*
LCPD	Macro	$\hat{y} = 0,1013 + 0,0016 x$	0,56*
	Micro	$\hat{y} = 0,3368 - 6E-05 x$	0,003 ^{ns}
	DMP	$\hat{y} = 0,7304 + 0,0231x$	0,42 ^{ns}

CERR: solo com vegetação natural; PCCA= solo com pastagem contínua e adubada; L1P3: solo com lavoura de soja de um ano e três anos com pastagem de *Brachiaria brizantha*; L4P4: solo com lavoura de quatro anos e quatro anos com pastagem de *Panicum maximum*; LCPD: solo com lavoura de soja em sistema de plantio direto. ^{ns} = não significativo, * e ** significativo a 5 e 1 %, respectivamente.

sistema de manejo adotado (Quadro 4), confirmam a afirmação de Reichert et al. (2005), de que a infiltração de água no solo é um bom indicador dos efeitos da compactação do solo em função dos sistemas de manejo. Para os tratamentos PCCA e L4P4 a correlação foi positiva, confirmando a boa estruturação do solo neste sistema.

A correlação entre a velocidade de infiltração básica (VIB) e o diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP) do solo em diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado encontram-se no quadro 4. Os tratamentos PCCA e L4P4 foram os que apresentaram relação positiva da VIB com o diâmetro médio geométrico, indicando que as pastagens contribuem para a agregação do solo. Deve-se ressaltar que no tratamento L1P3, onde ocorreu pastagem a cada três anos, a relação não significativa da VIB com o DMP poderia ser explicada pelo fato de que os três anos de pastagem não teriam sido suficientes para aumentar o diâmetro médio de maneira significativa. A participação relativa da infiltração acumulada do L1P3, que foi baixa entre os tratamentos (Quadro 5), poderia corroborar essa ideia. No CERR também não ocorreu relação significativa da VIB com o DMP, fato atribuído ao sistema radicular das espécies arbóreas, profundo, que poderia estar influenciando a infiltração de água, independentemente das condições físicas do solo. Os altos valores da VIB e da infiltração acumulada do tratamento CERR reforçam a tese de que no solo natural, além das condições físicas, o sistema radicular das plantas contribui para o processo de infiltração de água no solo.

Infiltração acumulada de água no solo

Os valores médios de infiltração acumulada de água no solo dos diferentes sistemas de manejo são mostrados no quadro 5. Não houve efeito significativo da interação entre tratamento e ano ($p > 0,01$), porém verificou-se efeito significativo dos tratamentos ($p < 0,01$).

Os maiores valores de infiltração acumulada foram verificados no solo sob vegetação natural de Cerrado. Considerando os valores relativos, entre os sistemas de manejo com interferência antropogênica, o PCCA foi o que apresentou a maior taxa de infiltração, especialmente após 2 h de teste. Todavia, ainda assim, seus resultados sempre foram menores que os do CERR. O maior valor do PCCA foi apenas 59,5 % do CERR (0,5 h de teste).

O sistema de manejo L1P3, a partir do tempo de 1 h de teste, e o LCPD, a partir de 3 h, foram os que apresentaram a menor infiltração acumulada. No L1P3, essa redução é atribuída ao pisoteio animal, confirmando os dados obtidos por Lanzanova et al. (2005). No LCPD essa redução deve-se ao efeito do tráfego de máquinas e implementos na compactação do solo. Esses efeitos são discutidos nos trabalhos de Derpsch et al. (1997) e Stone & Silveira (2001).

Nos tratamentos PCCA e L4P4, embora apresentando valores médios de VIB de,

Quadro 5. Infiltração acumulada de água no solo de diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado (média de sete anos) e a participação relativa de cada sistema em relação ao Cerrado

Tempo	Infiltração acumulada					Participação relativa			
	PCCA	LCPD	L4P4	L1P3	CERR	PCCA	LCPD	L4P4	L1P3
h	mm					%			
0,5	56,86 b	35,80 b	49,64 b	29,09 b	95,60 a	59,48	37,45	51,93	30,43
1,0	110,02 b	69,02 b	95,09 b	55,00 c	189,95 a	57,79	36,34	50,06	28,96
2,0	207,34 b	131,40 cd	176,20 bc	101,43 d	374, 23 a	55,40	35,11	47,08	27,10
3,0	295,34 b	182,70 c	249,84 b	143,11 c	554,53 a	53,26	32,95	45,05	25,81
4,0	376,30 b	230,00 c	316,18 b	179,73 c	723,66 a	52,00	31,78	43,69	24,84
5,0	451,70 b	274,70 cd	376,17 c	213,05 d	911,47 a	49,56	30,14	41,27	23,37
6,0	520,84 b	316,87 d	432,64 c	244,02 d	1089,10 a	47,82	29,10	39,73	22,41

CERR: solo com vegetação natural; PCCA: solo com pastagem contínua e adubada; L1P3: solo com lavoura de soja de um ano e três anos com pastagem de *Brachiaria brizantha*; L4P4: solo com lavoura de quatro anos e quatro anos com pastagem de *Panicum maximum*; e LCPD: solo com lavoura de soja em sistema de plantio direto. Letras iguais na linha (dentro de cada hora) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

respectivamente, 33,72 e 27,56 cm h⁻¹, a infiltração acumulada foi maior para o tratamento PCCA a partir de 5 h de teste. Assim, o manejo de solo com pastagem de *Brachiaria decumbens* de forma contínua apresenta menor risco ao escoamento superficial em relação aos demais sistemas de manejo do solo, com exceção do tratamento CERR.

CONCLUSÕES

1. O uso do solo com sistema de lavoura contínua, pecuária contínua e integração lavoura-pecuária tem a velocidade de infiltração básica e infiltração acumulada reduzida em relação ao solo com vegetação natural na região do Cerrado.

2. O uso do solo com pastagens causa menos impactos na capacidade deste em infiltrar água e na infiltração acumulada, quando comparado a sistema de integração lavoura-pecuária e lavoura contínua.

3. *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, quando introduzida em sistema direto após soja, não tem a mesma capacidade de manter a qualidade física do solo em relação a *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk com adubação de manutenção e *Panicum maximum* cv. Tanzânia introduzida após quatro anos de soja.

LITERATURA CITADA

BERTOL, I.; GOMES, K.E.; DENARDIN, R.B.N.; ZAGO, L.A. & MARASCHIN, G.E. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem numa pastagem nativa. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35:25-38, 1997.

BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D. & BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. *Sci. Agric.*, 58:555-560, 2001.

BONO, J.A.M. & MACEDO, M.C.M. Sistemas de recuperação de pastagens degradadas sob um Latossolo Roxo e alterações na taxa de infiltração de. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., Águas de Lindoia, 1996. Anais... Águas de Lindoia, SBCE/USP/SLCS/CEA/SBM, 1996. CD-ROM.

BONO, J.A.M.; MACEDO, M.C.M.; & EUCLIDES, V.P.B. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Escuro, sob pastagem, alterações em função do manejo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995, Viçosa, Anais... Viçosa: SBCE/UFV, 1995. p.1893-1895.

BRANDÃO, V.S.; PRUSKI, F.F. & SILVA, D.D. Infiltração da água no solo. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2003. 98p.

CHEN, C. & WAGENET, R.J. Simulations of water and chemicals in macropore soil. Part 1. Representation of the equivalent macropore influence and its affect on soil water flow. *J. Hydrol.*, 130:105-126, 1992

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N. & HEINZMANN, F.X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. *Pesq. Agropec. Bras.*, 20:761-773, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FABIAN, A.J. & OTTONI FILHO, T.B. Determinação de curvas de infiltração usando câmara de fluxo. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:325-333, 1997.

FERRI, M.G. Ecologia dos Cerrados. In: FERRI, M.G., coord. SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, Bases para utilização agropecuária. São Paulo, USP/Itatiaia, 1977. p.15-33.

- FORSYTHE, W. Física de solos: Manual de laboratório. San José, IICA, 1985. 212p.
- FREITAS JÚNIOR, E. & SILVA, E.M. Uso da centrífuga para determinação da curva de retenção de água no solo, em uma única operação. *Pesq. Agropec. Bras.*, 19:1423-1428, 1984.
- FREITAS JÚNIOR, E. & LUCHIARI JÚNIOR, A. Manejo: Aspectos físicos. In: PEREIRA, V.P.; FERREIRA, M.E. & CRUZ, M.C.P., eds. Solos altamente suscetíveis à erosão. Jaboticabal, FCAV-UNESP/SBCS, 1994. 253p.
- GUEDES, H.M.; RESCK, M.V.S.; PERREIRA, I.S.; SILVA, J.E.; CASTRO, L.H.R. Caracterização da distribuição do tamanho de agregados de diferentes sistemas de manejo e seu conteúdo de carbono em Latossolo Vermelho-Escuro na região dos cerrados, Brasil In: PERREIRA, R.C. & NASSER, L.C.B. eds. SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 7, 1996, INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TROPICAL SAVANNAS, 1, BRASÍLIA, 1996. Anais... Planaltina: EMBRAPA-CPAC. 1996. p.329-333.
- KANNO, T.; MACEDO, M.C.M.; UOZUMI, S.; EUCLIDES, V.P.B.; BONO, J.A.M.; YOSHIMURA, Y.; CORREA, M.R. & SANTOS Jr., J.D.G. Development of grassland management Technology for sustainable agropastoral systems in the sub-tropical zone in Brazil. In: KANNO, T. & MACEDO, M.C.M., eds. WORKSHOP ON AGROPASTORAL SYSTEM IN SOUTH AMERICA, Campo Grande, 2001. Proceedings... Campo Grande, JIRCAS/Embrapa Gado de Corte, 2001. p.63-73.
- KANNO, T.; MACEDO, M.C.; EUCLIDES, V.P.B.; BONO, J.A.; SANTOS, J.D.G.; ROCHA, M.C. & BERETTA, L.G.R. Root biomass of five tropical grass pastures under continuous grazing in brazilian savannas. *Grassland Sci.*, 45:9-14, 1999.
- KEMPER, W.D. & CHEPIL W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.499-510.
- KLUTHCOUSKI, J. & STONE, L.F. Manejo sustentável dos solos dos Cerrados. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F. & AIDAR, H., eds. Integração lavoura-pecuária. Goiânia, Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p.61-104.
- LAL, R. Soil erosion from tropical arable lands and its control. *Adv. Agron.*, 37:183-247, 1984.
- LANZANOVA, M.E.; LOVATO, T.; NICOLOSO, R.S.; GIRADELLO, V.; SILVA, V.L. & BRAGAGNOLO, J. Efeito do pisoteio bovino na infiltração de água de um Argissolo Vermelho-Amarelo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., Recife, 2005. Anais... Recife, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. CD-ROM.
- PAGOTTO, D.S. Comportamento do sistema radicular, reservas orgânicas e mineralização líquida do nitrogênio do solo em pastagem irrigada de capim Tanzânia submetida a diferentes intensidades de pastejo. Piracicaba, Escola Superior Agricultura Luiz de Queiroz, 2001. (Tese de Mestrado).
- PIMENTEL-GOMES, F. & GARCIA, C.H. Estatística aplicada a experimentos agrônomicos e florestais. Piracicaba, Escola Superior Agricultura Luiz de Queiroz, 2002. 309p.
- PRUSKI, F.F.; VENDRAME, V.; OLIVEIRA, E.F.; BALBINO, L.C.; FERREIRA, P.A.; WERLANG, L. & CARVALHO, L.T. Infiltração da água num Latossolo Roxo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 32:77-84, 1997.
- REICHARDT, K. & TIMM, L.C. Solo, planta e atmosfera: Conceitos, processos e aplicações. Barueri, Manole, 2004. 478p.
- REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; CASSOL, E.A. & SILVA, V.R. A infiltração da água no solo sob manejo conservacionista. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., Recife, 2005. Anais... Recife, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. CD-ROM.
- RESENDE, M.; KER, J.C. & BAHIA, A.F.C. Desenvolvimento sustentado do cerrado. In: ALVAREZ, V.H. & FONTES, L.E.; FONTES, M.P.F. eds. O solo nos grandes domínio morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado, Viçosa, SBCS/UFV, 1996. p.169-199.
- SALTON, J.C.; HERNANI, L.C.; BROCH, D.L. & FABRÍCIO, A.C. Alterações em atributos físicos do solo decorrentes da rotação soja-pastagem, no sistema plantio direto. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 1999. 5p. (Comunicado Técnico, 10)
- SILVA, C.L. & KATO, E. Avaliação de modelos para previsão da infiltração de água em solos sob Cerrados. *Pesq. Agropec. Bras.*, 33:1149-1158, 1998.
- SILVA, C.L. & KATO, E. Efeito do selamento superficial na condutividade saturada da superfície de um solo sob Cerrado. *Pesq. Agropec. Bras.*, 32:213-220, 1997.
- SILVA, M.L.N.; BLANCANEUX, P.; CURTI, N.; LIMA, J.M.; MARQUES, J.J.G.S. & CARVALHO, A.M. Estabilidade e resistência de agregados de Latossolo Vermelho-Escuro cultivado com sucessão milho-adubo verde. *Pesq. Agropec. Bras.*, 33:97-103, 1998.
- STONE, L.F. & SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:395-401, 2001.
- VEZZANI, F.M. Qualidade do sistema solo na produção agrícola. Porto Alegre, Universidade Federal Rio Grande do Sul, 2001. 184p. (Tese de Doutorado)
- VILELA, L. MACEDO, M.C.M.; MARTHA JÚNIOR, G.B. & KLUTHCOUSKI, J. Degradação de pastagens e indicadores de sustentabilidade, In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F. & AIDAR, H. eds. Integração Lavoura-pecuária, Goiânia: Embrapa- Arroz e Feijão, 2003. p.107-127.
- ZIMMER, A.H.; MACEDO, M.C.M.; BARCELLOS, A.O. & KICHEL, A.N. Estabelecimento e recuperação de pastagem de *Brachiaria*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 11., Piracicaba, 1994. Anais... Piracicaba, Escola Superior Agricultura Luiz de Queiroz, 1994. p.153-208.