

JOSÉ ANTONIO MAIOR BONO

**ALTERAÇÕES EM PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM LATOSSOLO DA
REGIÃO SUDOESTE DOS CERRADOS POR DIFERENTES SISTEMAS DE
USO E MANEJO**

MARINGÁ

PARANÁ – BRASIL

FEVEREIRO – 2007

JOSÉ ANTONIO MAIOR BONO

**ALTERAÇÕES EM PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM LATOSSOLO DA
REGIÃO SUDOESTE DOS CERRADOS POR DIFERENTES SISTEMAS DE
USO E MANEJO**

Tese apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de Doutor.

Maringá - Paraná - Brasil

Fevereiro – 2007

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

Bono, José Antonio Maior

B719a Alterações em propriedades físicas de um latossolo da região sudoeste dos Cerrados por diferentes sistemas de uso e manejo / José Antonio Maior Bono. -- Maringá : [s.n.], 2007.
xiii, 85 f. : il. fots., grafs., tabs.

Orientador : Prof. Dr. Cássio Antonio Tormena.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Maringá. Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2007.

1. Integração lavoura-pecuária. 2. Física do solo. 3. Uso do solo. 4. Manejo do solo. Densidade do solo. 5. Infiltração de água no solo. I. Universidade Estadual de Maringá. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. II. Título.

CDD 21.ed. 631.43

JOSÉ ANTONIO MAIOR BONO

**ALTERAÇÕES EM PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM LATOSSOLO DA
REGIÃO SUDOESTE DOS CERRADOS POR DIFERENTES SISTEMAS DE
USO E MANEJO**

Tese apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 23 fevereiro de 2007

Prof. Dr. **Éder Pereira Gomes**

Ph D. **Manuel Cláudio Motta Macedo**

Prof. Dr. **Marcelo Marques Lopes Müller**

Prof. Dr. **Marcos Rafael Nanni**

Prof. Dr. **Cássio Antonio Tormena**
(Orientador)

DEDICATÓRIA

Á minha mãe Maria Bono Maior, a memória de meu pai José Maior Soto, aos meus filhos Amanda Duboc Maior e Andrei Duboc Bono, aos meus irmãos e a Ivete Maria Pinesso, pelo apoio, carinho, amor e compreensão em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares, que sempre estiveram ao meu lado, apoiando-me e dando-me força.

À Universidade Estadual de Maringá, por fornecer conhecimentos para conclusão deste trabalho.

Ao professor Dr. Cássio Antonio Tormena, pela orientação e apoio.

Ao pesquisador Manuel Cláudio Motta Macedo, pela amizade e pelas orientações na condução do experimento.

À EMBRAPA-Gado de Corte, pelo apoio na elaboração e condução do experimento de tese e nas análises no laboratório de física do solo

À UNIDERP e à Fundação Manoel de Barros, pelo apoio financeiro.

Aos professores Dr. Éder Perreira Gomes, Dr. Marcelo Marques Lopes Müller e Dr. Marcos Rafael Nanni, pelas contribuições neste trabalho.

Ao Engenheiro Agrônomo Mestre Jorge Luiz Machado, pela amizade, presteza e apoio.

Aos funcionários do laboratório de fertilidade do solo e nutrição de planta da Embrapa-Gado de Corte, Roberto, Ernani, Heraldo.

Aos funcionários da Secretaria de Pós-Graduação em Agronomia (PGA) e à Érica, pela presteza e apoio.

BIOGRAFIA

José Antonio Maior Bono, filho de José Maior Soto e Maria Bono Maior, nascido na cidade de Nova Londrina – PR, no dia 27 de fevereiro de 1960. Ingressou no curso de Agronomia da Universidade Federal de Pelotas – UFPel no ano 1981, diplomando-se Engenheiro Agrônomo em 1985. Em setembro de 1985, ingressou na Cooperativa Agrária dos Cafeicultores de Nova Londrina – Copagra, como Agrônomo do entreposto de Taquarussu, no Mato Grosso do Sul. No ano de 1991, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia na Escola Superior de Agronomia de Lavras – ESAL, hoje Universidade Federal de Lavras - UFLA, defendendo dissertação em agosto de 1994. Em maio de 1995, iniciou na Embapa-Gado de Corte como bolsista do CNPq na modalidade de Desenvolvimento Científico Regional – DCR. Em setembro de 1998, iniciou como bolsista do convênio EMBRAPA e Japan International Research Center for Agricultural Sciences – JIRCAS. Em abril 2001, iniciou como professor do curso de Agronomia da Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal – UNIDERP. Em março de 2003, iniciou o curso de Doutorado em Agronomia na Universidade Estadual de Maringá - UEM.

ÍNDICE

	RESUMO	X
	ABSTRACT	xii
1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1	Manejo do solo	3
2.1.1	Manejo do solo com pastagem	3
2.1.2	Manejo do solo com lavoura	5
2.1.3	Manejo do solo com integração lavoura-pecuária	6
2.2	Degradação física do solo	8
2.2.1	Porosidade do solo	8
2.2.2	Densidade do solo	9
2.2.3	Resistência do solo à penetração	10
2.2.4	Infiltração de água no solo	10
2.2.5	Estabilidade de agregados estáveis em água	13
2.3	Indicadores da qualidade física do solo	14
3	MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1	Descrição do local do experimento	16
3.2	Tratamentos	18
3.3	Descrição dos tratamentos	18
3.4	Delineamento estatístico	20
3.5	Implantação e manejo das forrageiras	20

3.6	Propriedades avaliadas	20
3.6.1	Porosidade e densidade do solo	20
3.6.2	Taxa de infiltração estável e infiltração acumulada de água no solo	21
3.6.3	Estabilidade dos agregados estáveis em água	24
3.6.4	Resistência do solo à penetração	25
3.7	Análises Estatística	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1	Densidade do solo	27
4.2	Porosidade do solo	30
4.2.1	Macroporosidade	30
4.2.2	Microporosidade	34
4.3	Resistência do solo à penetração	36
4.4	Estabilidade dos agregados estáveis em água	41
4.4.1	Porcentagem de agregados estáveis em água entre 8 mm a 2 mm	41
4.4.2	Diâmetro médio ponderado dos agregados	42
4.5	Infiltração de água no solo	43
4.5.1	Taxa de infiltração estável	43
4.5.2	Infiltração de água no solo acumulada	50
5	CONCLUSÕES	52
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

RESUMO

BONO, José Antonio Maior. Universidade Estadual de Maringá, fevereiro de 2007. **Alterações em propriedades físicas de um Latossolo Vermelho da região sudoeste dos Cerrados por diferentes sistemas de uso e manejo.** Orientador: Professor Dr. Cássio Antonio Tormena.

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 conseqüências da redução da produtividade. Neste contexto, propriedades físicas do solo como a porosidade, a densidade, a resistência à penetração, a agregação e a taxa de infiltração de água podem ser utilizadas como indicativo da qualidade física do solo. A busca de sistemas de manejo do solo, como aqueles que integram lavoura e pecuária, que visam à recuperação e/ou manutenção das qualidades citadas acima, é fundamental no manejo mais sustentável da agropecuária. A hipótese deste trabalho é que o uso do solo em sistema de integração lavoura–pecuária melhora as suas propriedades físicas, contribuindo desta maneira para uma exploração agrícola sustentável do solo na região sudoeste do Cerrado. O objetivo deste trabalho foi verificar a influência de diferentes sistemas de manejo em algumas propriedades físicas de um solo na região dos Cerrados. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, na região do Cerrado, onde foram avaliados os seguintes sistemas de manejo: a) solo sob vegetação natural; b) solo com implantação de lavoura de soja durante um ano e 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) solo com pastagem continuamente. Foram avaliadas, no período de 1995 a 2002 a infiltração de água no solo, a porosidade do solo, a densidade e a resistência do solo à penetração e, no período de 1995 a 2006, avaliou-se a estabilidade dos agregados em água. Quando comparado ao solo sob vegetação natural, a utilização de forrageira *Brachiaria decumbens* como pastagem contínua proporcionou menor impacto nas propriedades físicas do solo, em relação aos manejos com integração

lavoura-pecuária e lavoura contínua. O manejo do solo em sistema de plantio direto, ao longo dos anos, causa a redução da macroporosidade, aumento da densidade e da resistência do solo à penetração nas camadas superficiais. Em sistema de integração lavoura-pecuária, o efeito do pisoteio animal causa, nas camadas superficiais do solo, redução mais significativa da macroporosidade, aumento da densidade e da resistência do solo à penetração do que os implementos e máquinas utilizados no sistema e plantio direto. O manejo do solo, com lavoura, no Cerrado poderia ser intercalado com períodos de pastagem para melhorar e, ou, manter a qualidade física do solo.

Palavra-chave: Integração lavoura-pecuária. Física do solo. Uso do solo. Manejo do solo.

ABSTRACT

BONO, José Antonio Maior. State University of Maringá, february of 2007. **Changes in the physical properties of Oxisoil in Cerrado region southwest by different use and management system.** Adviser: Professor Dr. Cássio Antonio Tormena

Agricultural activities have caused negative impacts in Cerrado Region, mainly on the quality of the soil and the water. Both in systems of agricultural exploitation or livestock, with different management, the physical degradation of the soil is one of the consequences of the productivity reduction. In this context, physical properties of soil like the porosity, the bulk density, the resistance to the penetration, the aggregation and the water infiltration rate can be used as indicative of physical quality of the soil. The search for systems of soil management, as those that integrate agricultural and livestock, which have aimed at the recuperation and or maintenance of the qualities cited above, is fundamental in the most sustainable management of the livestock. The hypothesis of this work is that the use of soil in the integration agricultural and livestock improves its physical properties, contributing this way, to a sustainable agricultural exploitation of soil in the southwest region of Cerrado. The main purpose of this work was to verify the influence of different systems of management in some physical properties of a soil in the region of Cerrado. In Cerrado region, the soil is classified as dystrophic Oxisoil, where were evaluated the following systems of management: a) soil under natural vegetation; b) soil with soy farming implementation during a year and followed by three years of pastures; c) soil with soy crops implementation during four years, continued by four years of pasture; d) soil with crops of continuous soy in system of under no tillage system; e) soil with pasture continuously. Were evaluated, in the period of 1995 to 2002 the infiltration of water in soil, the porosity of soil, the density and the resistance of soil to the penetration and, in the period of 1995 to 2006, was evaluated the stability of the aggregate in water. When compared to the soil under natural vegetation, the utilization of forage *Brachiaria decumbens* as continuous pasture, provided smaller impact in the physical properties of the soil, related to the management with integration

agricultural and livestock and continuous crops productivity. The management of soil in no-tillage system , over the years , causes the reduction of the macroporosity, increase of the density and of the resistance of soil to the penetration in the superficial layers. In agricultural and livestock integration systems, the effect of pasture trampling causes, in the superficial layers of soil, more significant reduction of the macroporosity, increase of the density and of the resistance of soil to the penetration than the implements and machines utilized in the system and no tillage system. The management of soil, with crops productivity, in Cerrado would be able to be intercalated with periods of pasture to improve and or, maintain the physical quality of the soil.

Key Words: Integration Agricultural and Livestock. Soil Physics. Use Soil. Management Soil.

1. INTRODUÇÃO

A exploração da agropecuária da região sudoeste dos Cerrados, envolvendo o sul de Mato Grosso, sul de Goiás e o Estado de Mato Grosso do Sul, vem apresentando sérios problemas de uso e manejo do solo, causando a queda na produtividade das lavouras (KLUTHCOUSKI e STONE, 2003) e degradação das pastagens (VILELA et al. 2003).

A atividade agropecuária, pressionada pela expansão demográfica e pela diminuição do contingente humano envolvido na atividade, tem buscado maior produtividade, muitas vezes em detrimento da qualidade dos recursos naturais. O solo é um desses recursos mais intensamente afetado. Normalmente, esse recurso tem uma grande capacidade tampão, atenuando, dentro de certos limites, os efeitos do mau uso (LOBATO e SOUZA, 2002).

Potencialmente o sistema de exploração agrícola proporciona maior impacto sobre o solo do que o sistema de exploração pecuário devido, principalmente, à intensa movimentação do solo mediante o seu preparo (SIQUEIRA, 2001).

No entanto, o sistema pastoril também causa alterações significativas nas propriedades do solo devido à presença do animal e às variações nas condições do seu manejo. Na pastagem, o animal é uma carga circulante sobre o solo, que consome a produção primária de biomassa uniformemente distribuída na área, com determinada eficiência de utilização, e com retorno de resíduos desuniformemente distribuídos. Deste modo, a presença do animal na pastagem terá efeito sobre as propriedades físicas e químicas do solo, merecendo destacar o efeito sobre a qualidade do solo em termos de produtividade da pastagem (MACEDO, 2001 e MACEDO, 1993).

Os indicadores da qualidade do solo são muito discutidos; no entanto, a maioria dos autores concorda que eles (os indicadores) devem ter relação com os componentes da qualidade do ambiente e que, de alguma forma, afetam a produtividade e/ou contribuem para a degradação dos agrossistemas (SILVA et al. 2001, SILVA et al., 2004, CASTRO FILHO, 2001).

As propriedades físicas do solo têm um papel muito importante na sua qualidade, principalmente quando mantêm relação com o desenvolvimento das

plantas. Deste modo, a porosidade, a densidade, a compactação do solo, a distribuição dos tamanhos dos agregados nele, a sua disponibilidade de água para as plantas e a taxa de infiltração de água podem ser indicadores da qualidade física do solo.

A hipótese deste trabalho é que o manejo do solo em sistema de integração lavoura–pecuária melhora as suas propriedades físicas, contribuindo para uma exploração agrícola mais sustentável do recurso natural solo, na região do Cerrado.

O objetivo deste trabalho foi verificar a influência de diferentes sistemas de manejo em algumas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico do Cerrado.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Manejo do solo

2.1.1 Manejo do solo com pastagem

As pastagens cultivadas têm sido decisivas no aumento da produtividade da pecuária brasileira. Estima-se que a área atual de pastagens cultivadas do Brasil seja de 100 milhões de hectares e mais de 60 milhões na região dos Cerrados (MACEDO, 2002). A seleção de espécies e cultivares adaptadas de gramíneas forrageiras dos gêneros *Brachiaria*, *Panicum* e *Andropogon* foi fator que teve impacto marcante nesse processo. Dentre as espécies que mais se destacam, estão a *Brachiaria decumbens* cv. basilisk e a *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, as quais ocupam mais de 80% de toda a área plantada (ZIMMER e CORREA, 1999).

No entanto, a degradação das pastagens cultivadas no Cerrado é uma realidade em cerca de 60% da área. Esta degradação é atribuída a diversos fatores, tais como: germoplasma inadequado ao local, má formação inicial da espécie forrageira, ausência ou uso inadequado de práticas conservacionistas, manejo animal na formação e na manutenção (MACEDO, 2001). A degradação das pastagens é, na atualidade um dos maiores problemas da pecuária brasileira por ser esta desenvolvida basicamente em pasto, afetando diretamente a sustentabilidade do sistema agropecuário. Considerando-se apenas a fase de engorda de bovinos, a produtividade de carne de uma pastagem degradada está em torno de 29,38 kg (2 arrobas) $\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$, enquanto que uma pastagem em bom estado pode atingir, em média, 240 kg $\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ (KICHEL, 2000).

Macedo (2000) conceitua o processo de degradação que ocorre nas pastagens cultivadas na região do Cerrado, como um processo evolutivo no qual acontece, primeiro, a perda da qualidade da forragem e em seguida, a perda da sua produtividade. Ele coloca ainda a degradação do solo como parte desse mesmo processo, o que resulta na degradação das pastagens. A

degradação do solo está relacionada à sua deterioração física, resultantes de alterações de sua estrutura, evidenciada pela compactação, redução das taxas de infiltração (BONO e MACEDO, 1996 e BONO et al. 1995) e da capacidade de retenção de água (MACEDO, 2002). Em pastagens, a compactação do solo merece atenção especial, pois é um dos primeiros sinais visíveis do processo de degradação e traz, como conseqüências, mudanças bruscas nas relações solo-ar-água, tais como: movimentação da água e crescimento radicular (KLUTHCOUSKI e STONE, 2003).

A lotação animal nas áreas de pastagens cultivadas, acima da sua capacidade de suporte, tem ocasionado de compactação do solo, principalmente na estação chuvosa. Esse manejo tem provocado a compactação superficial do solo, reduzindo a sua permeabilidade (CANTARUTTI et al. 2001), além de diminuir-lhe a proteção contra o impacto das gotas de chuvas e aumentar a temperatura nas camadas superficiais do solo (PRIMAVESI, 1986). Peixoto et al. (1997) relatam que a dimensão da degradação física deve ser atribuída também à dependência da disponibilidade de nutrientes e do clima após os pastejos. O processo de degradação física do solo é de difícil descrição e mensuração, mas o conceito mais freqüente está relacionado com o impedimento à penetração de raízes e ao movimento da água no solo (COSTA e BORGES, 1992, VEPRASKAS, 1994 e STONE et al., 2003).

As gramíneas forrageiras, quando bem manejadas, deixam resíduos vegetais sobre a superfície do solo, os quais por possuírem maior conteúdo de lignina, possibilita o aumento dos ácidos graxos carboxílicos e ácidos húmicos nos substratos (PRIMAVESI, 1982), favorecendo a estruturação e a estabilidade dos agregados, tornando o solo menos suscetível à compactação (FASSBENDER e BORNEMIZA, 1994). Silva e Mielniczuk (1997) relatam que os efeitos benéficos das gramíneas perenes na formação e estabilidade dos agregados são devidos à alta densidade de raízes, a intensa renovação radicular e a distribuição uniforme dos exsudatos.

2.1.2 Manejo do solo com lavoura

A ocupação dos Cerrados, após a abertura das áreas com a pecuária, a aplicação de novas técnicas culturais e o uso de cultivares melhorados permitem uma grande expansão para algumas culturas tais como milho, soja e, mais recentemente, o algodão, as quais ocupam cerca de 12 milhões de hectares (RESK, 2002). Nessas áreas predominam os Latossolos, ordem de solo que ocupa 46% das áreas de Cerrado (ADAMOLI et al.1986).

Com relação ao manejo do solo, os produtores, no sistema de pequeno convencional, têm realizado o preparo do solo com uso excessivo de grade. Assim, extensas áreas de cultivo têm apresentado uma deterioração das propriedades físicas do solo (KLUTHCOUSKI e STONE, 2003). Uma das conseqüências é a redução da taxa de infiltração de água no solo devido a perda de parte da macroporosidade (SILVA e KATO, 1997 e ALVES e CABEDA, 1999).

O sistema plantio-direto (PD) foi desenvolvido buscando a sustentabilidade da produção agrícola, sendo comprovadamente eficiente no controle de erosão (RESCK, 1999) e especialmente adequado para as regiões tropicais (ROMEIRO,1998) .O plantio direto evita a exposição do solo à intensa ação do sol e da chuva. Por outro lado, a reduzida movimentação do solo, restrita à linha de semeadura, ocasiona aumento da densidade podendo acarretar, então, a redução na produtividade das culturas (LAL et al.,1989).

A compactação do solo tem-se constituído um dos principais problemas da área agrícola, tendo como conseqüência a queda na produtividade das culturas, devido, principalmente, ao impedimento mecânico do crescimento das raízes (TORMENA e ROLOFF, 1996; GOEDERT et al., 2002). Tal fato tem motivado alguns agricultores, ainda que temporariamente, a retornar ao preparo convencional, visando corrigir essa limitação.

Segundo Freitas Júnior e Luchiari Júnior (1994), a compactação do solo é considerada a maior limitação à produção agrícola em todo o mundo, pois afeta diretamente o crescimento das raízes, diminui a infiltração de água no solo, reduz a translocação de nutrientes, estabelecendo um menor volume do solo a ser explorado pelas raízes.

Na região do Cerrado, com a implementação do plantio direto, quando bem conduzido, a degradação física do solo tende a diminuir (RESK, 1998 e EMBRAPA, 2003). No entanto, esse sistema exige rotação de culturas, com espécies que façam uma boa cobertura do solo e/ou suprimento de palha. O efeito da cobertura do solo se estabelece no controle da erosão (FREITAS, 1992), atenuação da temperatura e manutenção da umidade do solo (CASTRO et al. 1987) e reciclagem de nutrientes (BLANCANEUX, 1993).

Um dos desafios do plantio direto no Cerrado está na produção de palhada, devido às restrições climáticas, como período seco prolongado. Sistemas conservacionistas, principalmente que permite aumento dos teores de carbono do solo, como plantio direto e pastagem, devem fazer parte de um programa que busque o aumento da produtividade de grãos e carne, preservando a qualidade ambiental (RESK, 2002).

No cerrado, a cobertura morta resultante dos restos culturais e/ou plantas daninhas é, geralmente, insuficiente para a plena cobertura e proteção do solo, podendo comprometer a qualidade do plantio direto (KHUTHCOUSKI e STONE, 2003). Os trabalhos de Lopes et al. (1987) e Saraiva e Torres (1993) consideram que 1,2 e 1,4 t/ha de matéria seca de resíduo vegetal cobrem cerca 20% e 40%, respectivamente, da superfície do solo. Esses autores ainda concluem que seriam necessários, pelo menos, 7 t/ha de matéria seca de resíduos, com distribuição uniforme, para cobrir 100% da superfície do solo.

Estudos na região dos Cerrados indicam que a melhor espécie para a produção de resíduos é a *Brachiaria*, destacando as espécies *Brachiaria decumbens* cultivar Basilisk e a *Brachiaria brizantha* cultivar Marandu (BROCH et al 1997, ROOS, 2000, AIDAR, 2000, OLIVEIRA 2001, KLUTHCOUSKI et al 2001 e TEIXEIRA NETO, 2002). Estas espécies são amplamente adaptadas e disseminadas no Cerrado, e seus resíduos podem persistir na superfície do solo até 112 dias na estação chuvosa e até 140 dias na estação mais seca (AIDAR et al., 2000).

2.1.3 Manejo do solo com integração lavoura-pecuária

Macedo (2001) cita a integração lavoura - pecuária não é um sistema novo, sendo praticada há anos em muitos países, como por exemplo a

utilização de resíduos de culturas na alimentação dos animais ou o pastejo das restebas de lavouras.

Do ponto de vista das propriedades químicas do solo, há uma melhoria na fertilidade pela ciclagem dos nutrientes, devido a pastagem beneficiar do efeito residual dos fertilizantes, utilizado nas lavouras. As alterações nas propriedades físicas se refletem no aumento da estabilidade dos agregados, na diminuição da densidade do solo ou compactação e aumento da taxa de infiltração de água. Experimentos de longa duração em ecossistemas tropicais e subtropicais foram efetuados na Austrália e no Uruguai. Elliot e Jardine (1972), em estudos realizados no sudoeste da Austrália, por 29 anos (1940 a 1968), mostraram as vantagens da integração pecuária-lavoura sobre a produtividade do trigo.

No Cerrado, trabalhos de Kichel e Macedo (1994), Gilioli (2000), Kluthcouski et al. (2000), Pitol et al. (2001), demonstram que a integração lavoura-pecuária tem aumentado a produtividade das lavouras e das pastagens quando comparada a sistemas contínuos, refletindo também no aumento na rentabilidade.

A exploração de cultivos anuais, com intensa mecanização, resulta na degradação das propriedades físicas do solo; por outro lado, as pastagens exaurem do solo os nutrientes residuais da exploração lavoureira, mas podem reciclar os nutrientes das camadas mais profundas, graças à abundância e profundidade de exploração de seu sistema radicular, incorporando mais matéria orgânica no sistema. Na integração destas atividades pode-se dizer que existe um benefício, em relação a explorações isoladas.

Neste contexto, a integração dos sistemas de produção de grãos e pecuária, juntamente com o sistema de plantio direto no Cerrado, se apresentam como opção viável, para reduzir riscos de degradação, melhorando as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (VILELA et al., 2003)

2.2 Degradação física do solo

2.2.1 Porosidade do solo

A porosidade do solo pode ser conceituada como o volume do solo não ocupado pelas partículas sólidas, o qual é ocupado pelo ar e água. Esta porosidade pode ser arbitrariamente dividida em macroporosidade e microporosidade (HILLEL, 1982). A macroporosidade é constituída pelos poros que não são capazes de reter água, enquanto que microporosidade constitui-se de poros capazes de reter água por capilaridade (CURI et al, 1993).

Durante o desenvolvimento radicular, as plantas exploram a porosidade do solo ou forçam a abertura de novos poros, superando a resistência do mesmo (DEXTER, 1988). A macroporosidade (poros com raio superior a 0,03 mm) é mais facilmente afetada e é por onde o movimento do ar e da água é normalmente rápido e o crescimento radicular ocorre sem restrições (CAMARGO e ALLEONI, 1997). Hillel (1982) também considera que as reduções significativas ocorrem principalmente no volume de macroporos, enquanto que os microporos permanecem praticamente inalterados. Para este autor os microporos alteram pouco seu volume pela compactação, devido a retenção de água, que funciona como um amortecimento do efeito da compactação .

A alteração da porosidade do solo está na redução de seu volume e por conseqüência, um aumento de sua densidade (DIAS JÚNIOR, 2000) e na infiltração de água no solo (ALVARENGA et al., 1983, OLIVEIRA et al., 1983 e REICHERT et al., 2004).

No sistema de plantio direto, as principais causas da compactação são: o tráfego de máquinas em operações de semeadura, tratos culturais e colheita. Esta compactação pode ocorrer na camada superficial do solo devido à pressão de inflação de ar dos pneus e subsuperficial pela carga por eixo (SALIRE et al., 1994; HAKANSSON e VOORHEES, 1997).

Cantarutti et al. (2001) relatam que a compactação do solo em pastagem resulta de forças externas, tais como o tráfego de máquinas e pisoteio animal e as forças internas (ciclos de umedecimento e secamento do solo).

Trabalhos de Pinzón e Amezquita (1991), Sheath e Carlson (1998), Singleton e Adison (1999) e Almeida et al. (2000) demonstram que, em geral, a compactação devido ao pisoteio animal no solo sob pastagem ocorre na camada entre 0,03 m até 0,15 m de profundidade.

2.2.2 Densidade do solo

A densidade do solo (D_s) corresponde à massa de sólidos por unidade de volume, ou seja, incluindo o espaço poroso (CURI et al., 1993). Este conceito está relacionado com a porosidade do solo, ou seja, a redução do espaço poroso tem como consequência o aumento da densidade do solo. As alterações provocadas pela compactação afetam o fluxo de água e de gases, principalmente o oxigênio e o dióxido de carbono, de nutrientes e de calor, que podem limitar o crescimento e desenvolvimento das plantas (REICHERT et al., 2004). Jennings (1998) atribui ao aumento da densidade do solo como consequência da redução da porosidade do solo, à diminuição da infiltração de água, que resulta na principal causa da perda da produtividade.

Reinert e Reichert (1999) propuseram valores de densidade do solo críticos para solos em sistema de plantio direto. Assim, solos com mais de 550 g kg⁻¹ de argila, a densidade do solo de 1,45 Mg m⁻³, solos com textura média, com argila entre 20 e 55 g kg⁻¹, de 1,55 Mg m⁻³ e textura arenosa com menos de 20 g kg⁻¹ de argila de 1,65 Mg m⁻³.

Silva et al. (1992) trabalhando com diferentes espécies forrageiras, entre elas *Panicum maximum* indicam valores críticos de densidade do solo seria de 1,25 Mg m⁻³. Martinez e Zinck (2004) trabalhando com diferentes idades de estabelecimento da forrageira *Brachiaria decumbens*, em solos com 360 g kg⁻¹ de argila, verificaram que os valores de densidade do solo críticos de 1,19 Mg m⁻³ para pastagem com 3 anos de implantadas e de 1,25 Mg m⁻³ para pastagem de 10 anos, indicando que o tempo de implantação da forrageira interfere na densidade do solo crítica.

Estudos mais recentes têm quantificado o conceito do intervalo hídrico ótimo (IHO), a partir do qual se define a densidade do solo crítica (TORMENA et al., 1998, LEÃO, 2002 e REICHERT et al., 2004)

2.2.3 Resistência à penetração

A resistência do solo à penetração é uma medida para avaliar o impedimento mecânico no solo, definida como sendo a quantidade de pressão que os penetrômetros exercem ao penetrarem através solo (TORRES e SARAIVA, 1999).

A resistência do solo à penetração é avaliada pelo uso de penetrômetros (CARMARGO e ALLEONI, 1997). É muito utilizado para relacionar a resistência do solo à elongação radicular (WHITELEY et al., 1981, DEXTER, 1987, DEXTER, 2004, VEPRASKAS, 1994, SILVA et al., 2000 e REICHERT et al., 2004). A resistência do solo é afetada pela textura (Mantovani, 2002) e pela densidade e teor de água (BUSSCHER et al., 1997).

Taylor e Gardner (1963) verificaram que em resistência superior a 2 MPa a uma forte redução do desenvolvimento de raízes de plantas de algodão. Nesmith (1987) observou valores similares de RP como impeditiva para a cultura da soja. Valores entre 2 e 3,5 MPa foram considerados restritivos para a cultura do trigo (MEROTTO e MUNDSTOCK, 1999) e de 3,03 MPa para a cultura da soja (MIELNICZUK et al., 1985)

2.2.4 Infiltração de água no solo

A infiltração da água no solo pode ser considerada como o processo pelo qual a água penetra no solo (REICHARDT e TIMM, 2004).

Durante o processo de infiltração, quando inicia com o solo seco, a quantidade de água que entra no solo tendem a decrescer até atingir valores constantes ou menos estável, conhecido como capacidade de infiltração (LIBARDI, 1995); velocidade de infiltração básica (BERNARDO, 1989); velocidade final de infiltração básica (VIP) (FABIAN; OTTONI FILHO, 1997) e taxa de infiltração estável (BRANDÃO et al., 2003). Curi et al. (1993) definem

infiltração cumulativa ou acumulada como o volume de água infiltrada durante um período de tempo especificado. O processo de infiltração de água no solo é de grande importância, pois a água que não consegue infiltrar no solo é responsável pelo escoamento superficial, podendo ocasionar perdas de solo por erosão hídrica (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990). O conhecimento da capacidade de infiltração de água no solo e suas relações com as propriedades do solo é de fundamental importância para o eficiente manejo do solo e da água (REICHARDT e TIMM, 2004).

Os solos, quando cultivados intensamente ao longo do tempo, podem tornar-se compactados e susceptíveis à perda de solo por erosão como demonstrado por Skidmore et al. (1975), Laina (1979) e Lal (1984), bem como terem redução na sua permeabilidade (FREITAS JÚNIOR e LUCHIARI JÚNIOR, 1994 e MARTINES e ZINCK, 2004).

Várias propriedades do solo podem interferir no processo de infiltração, entre elas podemos destacar a densidade do solo e a distribuição tamanhos dos poros (CHEN e WAGENET, 1992). Brandão et al (2003) destacam 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, COSTA et al., 2002, KLUTHCOUSKI e STONE, 2003) ocasionando redução na infiltração de água no solo. Silva e Kato (1997), verificaram que a redução da macroporosidade do solo do Cerrado virgem de $0,39 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ para $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ no sistema de plantio direto, reduziu a infiltração de 26 mm h^{-1} para $1,3 \text{ mm h}^{-1}$.

Kertzmann (1996) encontrou uma taxa constante de infiltração em solo sob mata de 1.396 mm h^{-1} , enquanto que na área cultivada com plantio direto por 15 anos foi de 63 mm h^{-1} . Esses resultados demonstraram que houve uma drástica redução na velocidade de infiltração, ou seja, mais de 20 vezes, em função do manejo e cultivo adotado.

Bertol et al. (2001) verificaram a 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* obteve-se valores superiores aos solos em que as culturas de nabo forrageiro, aveia ou milho antecederam a soja. Estes autores concluem que a agregação do solo provocada pelas raízes das forrageiras influenciaram positivamente na 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 e Macedo (1996), trabalhando com diversos sistemas de recuperação de pastagem com *Brachiaria decumbens* encontraram relação positiva entre a infiltração de água no solo e quantidade de raízes até 0,6 m de profundidade. Silva e Kato (1998) e Oliveira (2001) verificaram um 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.

A infiltração de água no solo é medida, basicamente, por dois métodos: a) aqueles que utilizam simuladores de chuva e aqueles que dispõem do infiltrômetro de anel ou duplo anel. O método de infiltrômetro de anel consiste de dois anéis concêntricos instalados na superfície do solo e cravados no solo por percussão ou pressão (REICHERT et al., 1992) até aproximadamente 0,05 m e 0,10 m. O anel externo tem como finalidade reduzir o efeito da dispersão lateral da água infiltrada no anel interno (BRANDÃO et al., 2003).

Vários modelos matemáticos são utilizados para descrever o processo de infiltração de água do solo, entre eles destacam-se os modelos de Kostiakov, Kostiakov-Lewis, Horton, Holtan, Green e Ampt e Philip (Brandão et al., 2003). Fabian e 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 todas ajustaram adequadamente os valores de infiltração obtidos, a exceção do modelo de Horton. Esses autores consideraram que a equação de Kostiakov, não seria adequada para descrever infiltração com longo tempo de duração e sugerem a equação de Philip, que é caso particular da equação de Kostiakov-Lewis, como a preferida.

2.2.5 Estabilidade dos agregados em água

A agregação do solo é definida como a interação entre as forças físicas, químicas e biológicas entre as partículas (CASTRO FILHO, 2001) e o agregado que é estável sob a ação da água, que seja na forma de impacto de gota ou sob agitação, é denominado de agregação estável em água (CURI et al., 1993).

Outros benefícios da agregação estão na proteção da matéria orgânica do solo, seu principal agente cimentante. Os macroagregados (agregados > 0,25 mm) formados principalmente devido às raízes e à atividade dos microorganismos (RESCK, 1996), dando a proteção física aos macroagregados do solo, enquanto que os microagregados (agregados < 0,25 mm) são protegido quimicamente pelos compostos resistentes à decomposição, como a lignina e os polifenóis (RESK, 1993).

O sistema radicular é o principal responsável pelo incremento de matéria orgânica no solo (URQUIAGA et al., 1998 e CORRÊA et al., 1999 e MATTEW et al., 2001), o que confere ao manejo do solo sob pastagem a capacidade de incrementar matéria orgânica ao solo devido a abundância do seu sistema radicular.

O efeito benéfico das gramíneas sobre a agregação do solo é relatado no trabalho de Silva e Mielniczuk (1997), atribuído ao fato das raízes promoverem a aproximação das partículas, pela constante absorção de água e redução de potencial da água no solo, e pela liberação de exsudatos ao solo (STONE et al., 2003). Solos sob pastagem, por apresentarem maior densidade de raízes comparado aos solos cultivados com lavouras anuais, apresentam maior capacidade de agregação do solo (AYARZA et al., 1983).

Salton et al. (1999) observaram que áreas com pastagem apresentaram tamanhos de agregados maiores na camada de 0 a 0,10 m em relação à área em sistema de plantio direto com lavouras anuais. Guedes et al. (1996) comparando solos sob Cerrado, pastagem e eucalipto, com solos sob plantio direto e preparo convencional, verificaram que os agregados do solo mais alterados foram aqueles com diâmetro acima de 2 mm.

2.3 Indicadores da qualidade física do solo

A exploração da agropecuária em solos de Cerrado tem apresentado ruptura na sustentabilidade dos recursos naturais, em face da deterioração física do solo (COSTA et al., 2002 e KLUTHCOUSKI e STONE, 2003) podendo em alguns casos comprometer a qualidade das águas dos mananciais (LAL, 1998). A busca da sustentabilidade do processo de exploração agrícola demanda necessariamente o manejo adequado dos solos. Neste sentido, deve-se ressaltar que as práticas agrícolas adotadas sempre vêm acompanhadas de alterações do ambiente (RESENDE et al., 1996), exemplo desta alteração a redução na capacidade de retenção de água de água no solo, afetando o potencial matricial, a aeração do solo, a resistência do solo à penetração das raízes, a estabilidade dos agregados e a condutividade hidráulica.

Assim, a busca da qualidade do solo, identificando as limitações que o mesmo oferece ao crescimento das plantas, é um dos principais objetivos dos pesquisadores em física do solo, como demonstram trabalhos de Kay (1990), Tormena et al. (1998b) e Silva et al. (2001). Andrews et al. (2002), sem especificar nenhuma propriedade física do solo, destacam que a qualidade do solo provém dos componentes da qualidade do ambiente, afetando a produtividade e contribuindo para a degradação do agrossistema.

Para Kay et al. (1994) a qualidade física do solo estaria na relação entre a estrutura do solo e o crescimento de plantas e sugere as propriedades do solo como porosidade total, densidade, compactação relativa, distribuição dos tamanhos dos agregados e disponibilidade de água como indicativos desta qualidade. Brandão et al. (2003) e Drewry e Paton (2005) indicam que a estrutura influencia a infiltração de água. Portanto, também seria um dos indicadores da qualidade do solo. Hussain et al. (1997) indicam a porosidade, a densidade do solo e a estabilidade de agregados como indicadores da qualidade física do solo.

A maioria das avaliações das propriedades físicas do solo, como índice de qualidade, é realizada em determinados momentos, não considerando sua dinâmica ao longo do tempo. Os acompanhamentos temporais destas propriedades e em diferentes sistemas de manejo podem determinar, de

maneira mais conclusiva, a importância destas propriedades na avaliação da qualidade dos solos na região do Cerrado.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição do local do experimento

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 seguintes coordenadas geográficas: latitude 20° 25' 03" e longitude 54° 42' 20", a 559 m acima do nível do mar. O clima segundo a classificação de Köppen, situa-se na faixa de transição entre o sub-tipo Cfa – mesotérmico úmido sem estiagem, em que a temperatura do mês mais quente é superior a 25°C, tendo o mês mais seco menos de 30 mm de precipitação média e o sub-tipo Aw – tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno (SEPLAN, 1990).

O solo foi descrito como Latossolo Vermelho distrófico (Embrapa, 1999). O local foi desmatado entre 1972 - 1973, no qual havia a uma vegetação típica de cerrado (FERRI, 1977). Em outubro de 1987, foi realizada uma gradagem pesada, retirada das raízes, calagem (1,0 t ha⁻¹ - PRNT-100%) e adubação da área (350 kg ha⁻¹ de superfosfato simples, 100 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio e 40 kg ha⁻¹ de FTE), incorporados com grade niveladora. A partir daí, até o ano de 1993, o local foi utilizado pelo Centro para manutenção geral do rebanho. Nessa época, o solo apresentava as seguintes características químicas (Quadro 1) e granulométricas (Quadro 2).

A calagem foi efetuada entre setembro e outubro de 1993, para atingir uma saturação por bases entre 40 a 45% e realizada em duas etapas sendo 2/3 antes da aração e 1/3 após a aração com arado de aiveca a 0,30 a 0,35 m, conforme o sistema inverso do solo (SEGUY et al., 1984). Em seguida, foi feita uma gradagem niveladora para uniformização da área e incorporação do 1/3 restante do calcário.

Quadro 1. Características químicas e do solo da área em estudo antes da implantação do experimento, na camada de 0 a 0,20m e 0,20m a 0,40m. Métodos descritos em Embrapa (1997).

Parâmetro	unidade	0,0 a 0,20 m	0,2 a 0,40 m
pH em água		5,14	5,02
pH em CaCl ₂ 0,01M		4,11	4,32
Fósforo disponível	mg dm ⁻³	1,50	1,0
Potássio trocável		43	25
Cálcio trocável		0,55	0,34
Magnésio trocável	cmol ₊ dm ⁻³	0,27	0,19
Alumínio trocável		0,95	1,1
Alumínio e hidrogênio trocáveis		7,24	6,55
Matéria orgânica	g dm ⁻³	32,0	21,0
Saturação por bases	%	8,2	8,3

Quadro 2. Características granulométricas, argila dispersa em água e grau de floculação do solo da área em estudo antes da implantação do experimento (camada de 0 a 0,60 m). Determinações conforme Embrapa (1997).

Parâmetro	Profundidade (m)	unidade	Valores
Argila			380
Silte			100
Areia	0 – 0,10	g kg ⁻¹	520
Argila dispersa em água			80
Grau de floculação			780
Argila			387
Silte			98
Areia	0,10 – 0,20	g kg ⁻¹	515
Argila dispersa em água			100
Grau de floculação			742
Argila			410
Silte			120
Areia	0,20 – 0,40	g kg ⁻¹	470
Argila dispersa em água			110
Grau de floculação			732
Argila			412
Silte			119
Areia	0,40 – 0,60	g kg ⁻¹	469
Argila dispersa em água			115
Grau de floculação			711

Após a calagem foi realizada uma adubação fosfatada (80 kg ha^{-1} de P_2O_5), utilizando-se como fonte o superfosfato simples aplicado a lanço e incorporado com grade niveladora.

3.2 Tratamentos

Neste trabalho foram considerados cinco tratamentos de manejo do solo:

- CERR - Solo com vegetação natural;
- 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;
- L4P4 - Solo com quatro anos com lavoura de soja, e quatro anos sob pastagem com *Panicum Maximum* cultivar Tanzânia-1;
- 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. Nas áreas de lavoura de soja utilizou-se as cultivares de BR 16 no anos de 95/96, 96/97 e 97/98, cultivar BRSMS Carandá nos anos de 98/99 e 99/00, cultivar BR 9 (Savana) nos anos de 00/01, 01/02 e a cultivar BRSMS (Tuíuiu) nos anos de 02/03, 03/04 e 04/05.

3.3 Descrição dos tratamentos

No tratamento PCCA, a implantação da pastagem *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk foi feita em parcelas com dimensões de $140 \text{ m} \times 50 \text{ m}$ (7.000 m^2) e adubada a cada dois anos. As adubações utilizadas equivaleram ao uso de 400 kg ha^{-1} do formulado 0- 20-20, aplicado a lanço e realizada nos meses de novembro; a partir de 2000/2001, a pastagem passou a receber anualmente 50 kg ha^{-1} de nitrogênio, tendo como fonte à uréia, sendo realizada entre dezembro e janeiro.

No tratamento com lavoura contínua, em sistema de plantio direto (LCPD), as parcelas com dimensões de 110 m 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. O cultivo de inverno, utilizou-se milho e sorgo como cultura para formar palhada. Na área, foi efetuada aplicação superficial de calcário nos anos de 1998 e 2002, para manter saturação por bases entre 50-60%. A média da produtividade de soja, no período estudado ficou em 2435 kg ha⁻¹.

No tratamento L1P3, utilizaram-se parcelas de 140 m x 50 m, com um ano de 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 neste sistema foi a *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. A soja recebeu adubação de acordo com a recomendação da Embrapa (1994), a partir da análise do solo. Na pastagem, foi aplicada adubação anual de manutenção com 200 kg ha⁻¹ da fórmula 0-20-20 e 80 kg ha⁻¹ ano de N, utilizando a uréia como fonte. A calagem também foi realizada para manter a saturação por bases entre 50%-60% nos anos de 1997 e 2003 na dose de 1500 kg ha⁻¹. A partir de 1997 o manejo do solo foi em sistema de plantio direto, tanto da lavoura como da pastagem. A média da produtividade de soja, no período estudado ficou em 2520 kg ha⁻¹.

No tratamento manejo do solo L4P4, as parcelas foram de 140 m x 50 m (7.000 m²). A área foi utilizada com a cultura da soja por quatro anos, seguidos por quatro anos de pastagem utilizando-se a forrageira *Panicum maximum* cv. Tanzânia-1. No período de 1993 até 1996, o plantio da cultura da soja foi feito em solo preparado com grade e, a partir de 1996, plantio foi feito sem o preparo do solo (plantio direto). A cultura da soja recebeu adubação de acordo com a recomendação da Embrapa (1994), conforme análise de solo. A pastagem recebeu adubação anual de manutenção composta de 200 kg ha⁻¹ da fórmula 0-20-20, e 100 kg ha⁻¹ ano de N, utilizando a uréia como fonte. A calagem também foi realizada para manter a saturação por bases entre 50%-

60% nos anos de 1997 e 2003 na dose de 1500 kg ha⁻¹. A média da produtividade de soja, no período estudado ficou em 2705 kg ha⁻¹.

3.4 Delineamento estatístico

O delineamento estatístico foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições, sendo as épocas de avaliações consideradas como parcelas subdivididas, para as variáveis densidade do solo, resistência a penetração, porosidade do solo e taxa de infiltração de água no solo.

3.5 Implantação e manejo das forrageiras

As pastagens utilizadas foram a *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e *Panicum maximum* cv. Tanzânia-1. A semeadura das gramíneas foi feita a lanço, nas quantidades de 1,8, 3,0 e 2,0 kg de sementes puras viáveis por hectare, respectivamente para *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria brizantha* e *Panicum maximum*.

As forrageiras foram pastejadas em sistema contínuo, com uma taxa de lotação variável de acordo com a disponibilidade de forragem, pré-estabelecida entre 2500 a 3000 kg Matéria seca total ha⁻¹, utilizando como categoria animal bezerras da raça nelore com peso vivo entre 200 a 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 1,60 unidade animal (UA). Para as áreas com *Panicum maximum* a carga média anual foi de 1,70 UA.

3.6. Propriedades do solo avaliadas

3.6.1 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 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 um amostrador.

Nas amostras coletadas foram determinadas a densidade de partícula do solo (D_p) pelo método do balão volumétrico; densidade do solo (D_s) pelo método do anel volumétrico e volume total de poros (VTP), através das densidades do solo e de partículas, conforme 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 e Silva (1984). A macroporosidade (M_a) foi obtida pela diferença entre VTP e a M_i (Embrapa, 1997).

3.6.2 Taxa de infiltração estável 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, sendo que o anel interno com um diâmetro de 0,3 m foi cravado no solo até 0,10 m e o externo de 0,6 m de diâmetro foi cravado no solo até 0,05 m (FORSYTTHE, 1985). Para regular a entrada de água nos anéis e manter a mesma carga hidráulica no anel interno, adaptou-se uma estrutura de madeira conforme Figura 1.



Figura 1. Detalhe dos anéis e da estrutura utilizada na determinação da taxa de infiltração estável e infiltração acumulada de água no solo.

Dentro de cada parcela experimental, determinou-se uma área útil de 300 m² para realização dos testes (Figura 2). Na área útil foi avaliada a infiltração em quatro locais, para cada ano, conforme Figura 2. Os testes de infiltração duraram, em média, seis horas de duração. Os testes foram realizados com solo seco, entre os meses de julho a 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 deste 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.

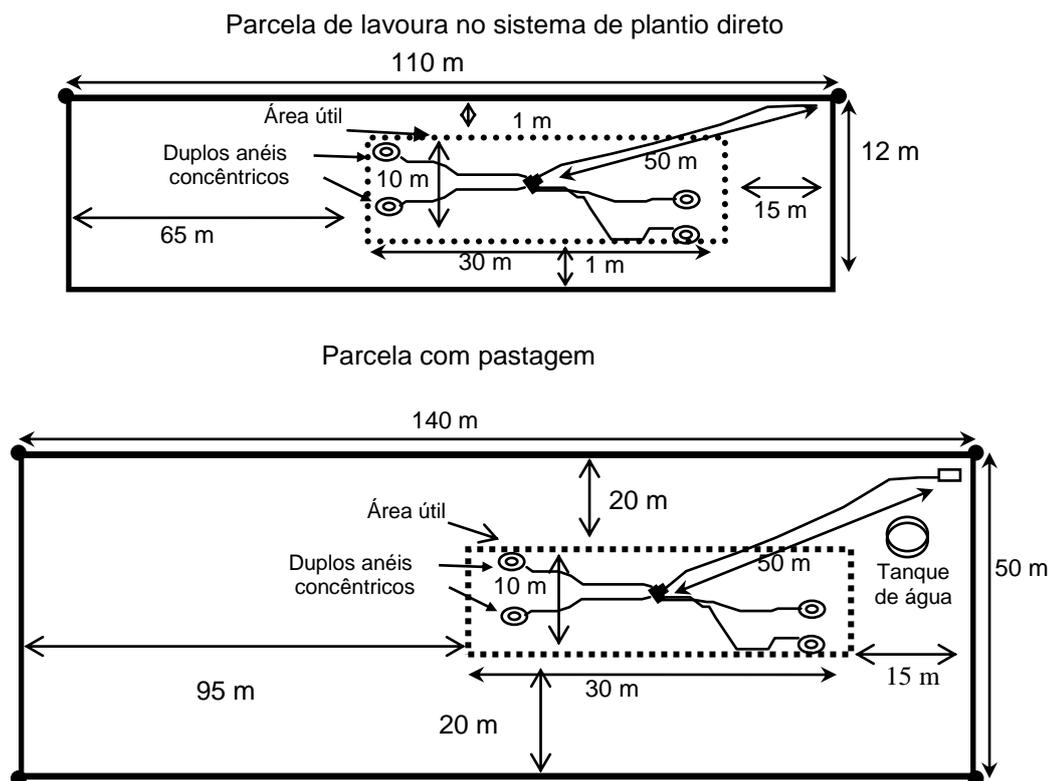


Figura 2. Esquema utilizado para avaliação da infiltração estável e a infiltração de água de água no solo nos tratamentos de lavoura contínua, pastagem contínua e integração lavoura-pecuária.

Os valores de infiltração foram obtidos através da equação 1, conforme Embrapa (1979).

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

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

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

Sendo:

VI = velocidade de infiltração;

$(cm \ h^{-1})$; T = tempo (horas); e

“ a ” e “ b ” são os parâmetros de ajuste do modelo.

Para determinar a infiltração acumulada (IA), os dados foram ajustados à equação (3) abaixo:

$$IA = cT^{0,5} + d$$

Onde:

IA = infiltração acumulada (cm);

T = tempo (horas) e

“c” e “d” são os parâmetros do modelo.

3.6.3 Estabilidade dos agregados do solo em água

Em dezembro de 1995, novembro de 2000 e fevereiro de 2006, foram coletadas amostras de solo em quatro locais nas camadas de 0 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m. As amostras foram passadas em peneira com 8 mm de abertura de malha e coletadas na peneira de 2 mm, conforme Guedes et al. (1996) e após seca ao ar. Em seguida, procedeu-se a análise de estabilidade de agregados, em peneiramento por via úmida, pelo método proposto por Yoder e modificado por Kemper e Chepil (1965). Utilizou-se 100 g de agregados seco ao ar, umedecidos por capilaridade, colocando-os 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 e agitando-as verticalmente com 46 oscilações verticais por minuto dentro da água, durante 10 minutos. 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 – 05; 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-se a equação 4, conforme Kemper e Chepil (1965).

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

Em que:

w_i = proporção de cada classe em relação ao total;

x_i = diâmetro médio das classes expressa em mm.

3.6.4 Resistência do solo à penetração

A resistência do solo à penetração foi avaliada em março de 1996, 1997, 1999, 2000, 2002 e 2006, nas camadas de 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30; 0,35; 0,40 e 0,45 m. Foi utilizado um penetrógrafo modelo SC-60 munido de um cone de diâmetro da base de 0,01 m. Em cada parcela estabeleceram-se duas linhas e 10 pontos de amostragem por linha. As linhas ficaram eqüidistantes 10 m e os pontos 10 m entre si nos anos de pastagem. Nas parcelas sob plantio direto as linhas ficaram eqüidistantes 4 m e os pontos entre 10 m, conforme Figura 3. Simultaneamente a avaliação da resistência, e nas mesmas profundidades coletavam-se amostras de solo para a determinação da umidade pelo método gravimétrico, conforme Embrapa (1997).

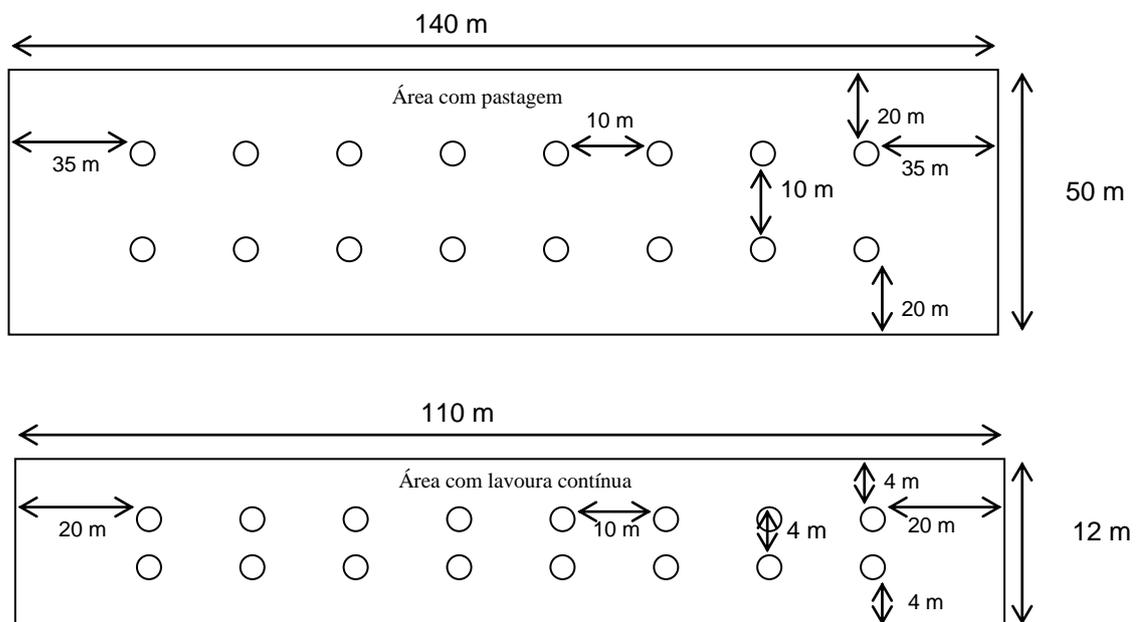


Figura 3. Esquema utilizado para determinação da resistência do solo a penetração nas áreas de pastagem e nas áreas de lavoura contínua.

As medidas de resistência do solo à penetração foram feitas após chuvas acima de 30 mm, suficientes para saturar o solo até 0,45 m, entre 24 a 48 horas após a precipitação. A umidade no período da medição da resistência variou entre 0,3263 a 0,1762 g g⁻¹.

A correção dos valores de resistência e relação a umidade foi feita utilizando-se o modelo proposto por Busscher et al. (1997). Este ajuste utiliza-se de dois modelos matemáticos (equação 5 e 6):

$$C = aW^b \quad (5)$$

Em que:

C = resistência medida (MPa);

W = umidade gravimétrica;

a e b são parâmetros do modelo ajustado.

$$C_c = C_o + \frac{dC}{dW}(W_c - W_o) \quad (6)$$

Sendo:

C_c = Resistência do solo corrigida (MPa);

C_o = Resistência do solo observada (MPa); $\frac{dC}{dW}$ = derivada primeira da equação 5 em relação a umidade;

W_c = umidade para a qual os dados foram corrigidos (média da umidade de 0,226 g);

W_o = umidade gravimétrica determinada em cada ponto de medida.

3.7 Análises estatísticas

Os valores das variáveis microporosidade, macroporosidade, velocidade de infiltração, infiltração acumulada, resistência do solo à penetração, agregados estáveis em água, foram interpretados utilizando-se a análise de variância, e, para comparar as médias aplicou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nas variáveis microporosidade, macroporosidade, resistência do solo à penetração e de agregados estáveis em água, realizou-se análise de variância e teste de médias para cada profundidade, conforme Vivaldi (1999).

Os valores de macroporosidade, microporosidade e percentagem de agregados, não apresentaram uma distribuição normal, então procedeu-se a transformação, conforme recomendação de Banzatto e Kronka (1992), pela expressão:

$$\text{arc sen } \sqrt{\frac{x}{100}}$$

Foi realizado estudo de correlação entre densidade do solo e resistência a penetração, taxa de infiltração estável e porosidade do solo e taxa de infiltração estável e diâmetro médio geométrico, conforme Pimentel-Gomes e Garcia (2002).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Densidade do solo

Os valores médios da densidade do solo nos diferentes sistemas de manejo nos diferentes períodos de avaliação são apresentados no Quadro 3. Houve efeito significativo da interação entre tratamento e ano ($P < 0,01$). O desdobramento da interação foi realizado avaliando o efeito do tratamento em cada ano e que foram feitas as medidas (Quadro 3).

Quadro 3. Densidade do solo (Mg m^{-3}) de diferentes sistemas de manejo do solo em função dos anos e profundidades. CV= coeficiente de variação (a) para subparcelas (Anos) e (b) para parcelas (Tratamento). Letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tratamentos	Ano					Média	CV(%)	
	1996	1999	2000	2001	2002		a	b
0 - 0,10 (m)								
CERR	1,18 a	1,20 a	1,19 a	1,21 a	1,20 a	1,20	6,27	4,46
PCCA	1,25 a	1,26 a	1,24 a	1,22 a	1,23 a	1,24		
L1P3	1,28 b	1,33 a	1,34 a	1,33 a	1,32 ab	1,32		
L4P4	1,22 c	1,23 bc	1,28 a	1,27ab	1,29 a	1,26		
LCPD	1,31 b	1,34 ab	1,36 a	1,35 ab	1,37 a	1,35		
0,10 - 0,20 (m)								
CERR	1,18 a	1,19 a	1,18 a	1,19 a	1,18 a	1,18	4,64	4,05
PCCA	1,26 a	1,25 a	1,26 a	1,24 a	1,24 a	1,25		
L1P3	1,25 b	1,35 a	1,36 a	1,33 a	1,35 a	1,33		
L4P4	1,26 a	1,29 a	1,25 a	1,24 a	1,25 a	1,26		
LCPD	1,30 b	1,35 a	1,34 ab	1,34 ab	1,35 a	1,34		
0,20 - 0,30 (m)								
CERR	1,24 a	1,25 a	1,25 a	1,26 a	1,25 a	1,25	4,68	3,90
PCCA	1,26 a	1,26 a	1,24 a	1,23 a	1,24 a	1,25		
L1P3	1,24 a	1,27 a	1,29 a	1,26 a	1,27 a	1,27		
L4P4	1,23 b	1,28 a	1,26 ab	1,24 b	1,25 b	1,25		
LCPD	1,27 b	1,32 a	1,33 a	1,32 a	1,33 a	1,31		
0,30 - 0,40 (m)								
CERR	1,21 a	1,20 a	1,21 a	1,21 a	1,20 a	1,21	4,56	3,81
PCCA	1,23 a	1,24 a	1,23 a	1,23 a	1,22 a	1,23		
L1P3	1,23 a	1,22 a	1,24 a	1,24 a	1,23 a	1,23		
L4P4	1,25 a	1,24 a	1,23 a	1,23 a	1,24 a	1,24		
LCPD	1,24 a	1,28 a	1,28 a	1,27 a	1,27 a	1,27		

CERR= solo com vegetação natural; PCCA= solo com pastagem contínua e adubada; L1P3= solo com lavoura de soja um ano e 3 anos com pastagem de *Brachiaria brizantha*; L4P4= solo com lavoura 4 anos e 4 anos com pastagem de *Panicum maximum* e LCPD= solo com lavoura de soja em sistema de plantio direto.

No tratamento L4P4 até 0,10 m, L1P3 até 0,2 m e o LCPD até 0,30 m de profundidade ocorreram alterações significativas da densidade no período estudado, em relação ao solo sob vegetação de Cerrado.

No tratamento L4P4, o aumento da densidade do solo ao longo dos anos ocorreu na camada de 0,0 a 0,10 m. Este aumento ocorreu até o ano 2000 e depois estabilizou em 1,28 kg dm⁻³. Neste tratamento, mesmo com quatro anos de lavoura, portanto mais trânsito de máquinas e implementos, a densidade média do solo ficou abaixo de L1P3. As maiores densidades, nas camadas superficiais do solo, no L1P3, devem-se ao pisoteio animal e ao hábito de crescimento da forrageira *B. brizantha*, que deixa o solo mais exposto em relação às forrageiras *B. decumbens* e Tanzânia. Esses dados sugerem que o aumento da densidade do solo atribuído ao pisoteio dos animais pode ser significativo do que a movimentação de tratores, máquinas e implementos na área. Souza et al. (1998) relatam que a pressão aplicada ao solo por bovinos de 400 kg é de 190,3 KPa, o que é bem superior a 92,1 KPa exercida por um trator com peso de aproximadamente de 2900 kg.

A compactação do solo pelo pisoteio animal atingiu até a profundidade de 0,20 m, no tratamento L1P3, superior a 0,07 a 0,10 m registrada por Silva et al. (1997). Esta compactação nos primeiros centímetros do solo também é verificada nos trabalhos de Almeida et al. (2000); Pinzon e Amesquita (1991); Sheat e Carlson (1998); Singleton e Adison (1999) e Kondo e Dias Júnior (1999).

Deve-se ressaltar que o tratamento PCCA, que estava sob pastejo, não influenciou a densidade do solo. Espécies forrageiras que cobrem bem o solo, e com abundância do sistema radicular, suportam carga animal de até 1,60 UA, sem aumentar a densidade do solo. Espécies forrageiras de hábito de crescimento prostrado (*B. decumbens*), que proporcionam uma maior cobertura do solo (Kanno et al., 2004), amenizam a compactação superficial ocasionada pelo pisoteio animal.

As mudanças mais significativas foram registradas no sistema de manejo com plantio direto. O aumento da densidade do solo no sistema de lavoura contínua sob plantio direto ocorreu até a camada de 0,30 m, superando as indicações de Reichert et al. (2004) que registram compactação entre 0,08 a

0,15 m de profundidade. Daniel e Maretti (1990) relatam que o efeito da compactação devido às máquinas e implementos agrícolas pode chegar até 0,5 m de profundidade, dependendo da massa total das máquinas.

A compactação superficial do solo no sistema de plantio direto pode ser considerada normal segundo Reinert (1990), Hakansson e Medvedev (1995) e Silva et al. (2002) e pode não ter conseqüências na produtividade de culturas. Este fato é reforçado nos dados de Macedo et al. (2004) registrando que a produtividade da soja, neste mesmo experimento e no período estudado, continuou estável em 2.585 kg ha⁻¹.

4.2 Porosidade do solo

4.2.1 Macroporosidade

Os valores médios da macroporosidade do solo nos diferentes sistemas de manejo e diferentes períodos de avaliação são apresentados no Quadro 4. Verificou-se efeito significativo para a interação entre tratamento e ano ($P < 0,01$). A interação foi desdobrada, avaliando-se os efeitos dos anos dentro de cada tratamento (Quadro 4).

Quadro 4. Médias da macroporosidade ($m^3 m^{-3}$) dos tratamentos em função dos anos e profundidade. CV= coeficiente de variação (a) para parcelas e (b) para subparcelas. Letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tratamento s	Ano					Média	CV(%)	
	1996	1999	2000	2001	2002		a	b
0 a 0,10 (m)								
CERR	0,23 a	0,22 a	0,23 a	0,24 a	0,23 a	0,23		
PCCA	0,13 b	0,16 b	0,18 a	0,22 a	0,23 a	0,18		
L1P3	0,16 a	0,14 ab	0,12 bc	0,10 c	0,10 c	0,12	24,1	18,1
L4P4	0,14 ab	0,11 b	0,14 ab	0,16 a	0,17 a	0,14		
LCPD	0,18 a	0,13 b	0,10 b	0,10 b	0,10 b	0,12		
0,10 a 0,20 (m)								
CERR	0,24 a	0,26 a	0,23 a	0,23 a	0,25 a	0,24		
PCCA	0,12 b	0,14 b	0,19 a	0,18 a	0,21 a	0,17		
L1P3	0,17 a	0,15 ab	0,13 bc	0,11 c	0,11 c	0,13	23,7	20,9
L4P4	0,13 bc	0,12 c	0,15 ab	0,18 a	0,18 a	0,15		
LCPD	0,16 a	0,14 ab	0,11 bc	0,10 c	0,10 c	0,12		
0,20 a 0,30 (m)								
CERR	0,26 a	0,27 a	0,25 a	0,24 a	0,26 a	0,26		
PCCA	0,14 b	0,14 b	0,16 ab	0,19 a	0,19 a	0,16		
L1P3	0,16 a	0,17 a	0,16 a	0,15 a	0,15 a	0,16	24,8	23,8
L4P4	0,16 c	0,15 c	0,15 c	0,17 bc	0,20 a	0,17		
LCPD	0,18 a	0,17 ab	0,14bc	0,13 c	0,12 c	0,15		
0,30 a 0,40 (m)								
CERR	0,27 a	0,28 a	0,26 a	0,28 a	0,29 a	0,28		
PCCA	0,17 c	0,19 bc	0,22 ab	0,23 a	0,23 a	0,21		
L1P3	0,18 a	0,17 a	0,17 a	0,16 a	0,16 a	0,17	23,7	20,9
L4P4	0,16 b	0,15 b	0,17 b	0,18 b	0,22 a	0,18		
LCPD	0,18 a	0,16 a	0,18 a	0,16 a	0,17 a	0,17		

CERR= solo com vegetação natural; PCCA= solo com pastagem contínua e adubada; L1P3= solo com lavoura de soja um ano e 3 anos com pastagem de *Brachiaria brizantha*; L4P4= solo com lavoura 4 anos e 4 anos com pastagem de *Panicum maximum* e LCPD= solo com lavoura de soja em sistema de plantio direto.

Os resultados indicam que independente do manejo do solo adotado e da profundidade estudada, a remoção da vegetação natural e a introdução de pastagem e/ou lavoura causou uma redução da macroporosidade do solo. Nos tratamentos PCCA e L4P4, para todas as profundidades, ocorreram aumentos significativos da macroporosidade no decorrer dos anos. Este aumento deve ser atribuído à presença e renovação do sistema radicular das forrageiras *B. decumbens* e *P. maximum*, que proporcionaram incremento na biomassa radicular influenciando positivamente a macroporosidade. Os resultados de

Stone e Silveira (2001) e Stone et al (2003) também mostram relação positiva entre solo sob pastagem e a macroporosidade do solo.

No tratamento PCCA e Cerrado não foram verificadas diferenças na macroporosidade, independente da profundidade. Estes dados são similares aos de Nascimento e Alves (2004) que também verificaram num latossolo vermelho-amarelo que a macroporosidade do solo não diferiu entre solo cultivado com pastagens de *Brachiaria decumbens* e solo sob mata nativa. Por outro lado, Martinez e Zink (2005) verificaram que a macroporosidade do solo teve redução em pastagem implantada de *Brachiaria decumbens*.

No tratamento L1P3, para as profundidades de 0 a 0,10 m e 0,10 m a 0,20 m, houve uma redução da macroporosidade no decorrer dos anos, embora o solo manejado que também utilizava pastagem tenha apresentado a mesma tendência dos tratamentos PCCA e L4P4. Provavelmente, estes resultados estão associados ao hábito cespitoso de crescimento da espécie *Brachiaria brizantha*, utilizada no L1P3, que expõe mais a superfície do solo ao pisoteio, reduzindo a macroporosidade, principalmente nas camadas de 0,0 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m.

Para o tratamento LCPD, houve uma redução significativa da macroporosidade até a camada de 0,20 a 0,30 m. Tormena et al. (2004), Kihl et al. (2005) e Tormena et al. (1998a) também constataram alteração na macroporosidade em sistema de plantio direto. Considerando o valor proposto por Taylor e Ashcroft (1972) e Greenland (1981), de se manter a macroporosidade acima de 0,10 ($m^3 m^{-3}$) para permitir as trocas gasosas necessárias ao crescimento das raízes, no tratamento LCPD, a macroporosidade poderia estar comprometida a partir do ano 2000 para a profundidade 0,0 a 0,10 m e a partir de 2001 também na camada de 0,10 a 0,20 m. No tratamento L1P3 esta limitação da macroporosidade estaria ocorrendo a partir do ano de 2001 na camada 0,0 - 0,10 m. Os tratamentos CERR e PCCA foram os que proporcionaram a maior macroporosidade do solo e também as menores densidades.

A relação entre a macroporosidade e a densidade do solo pode ser verificada na Figura 4.

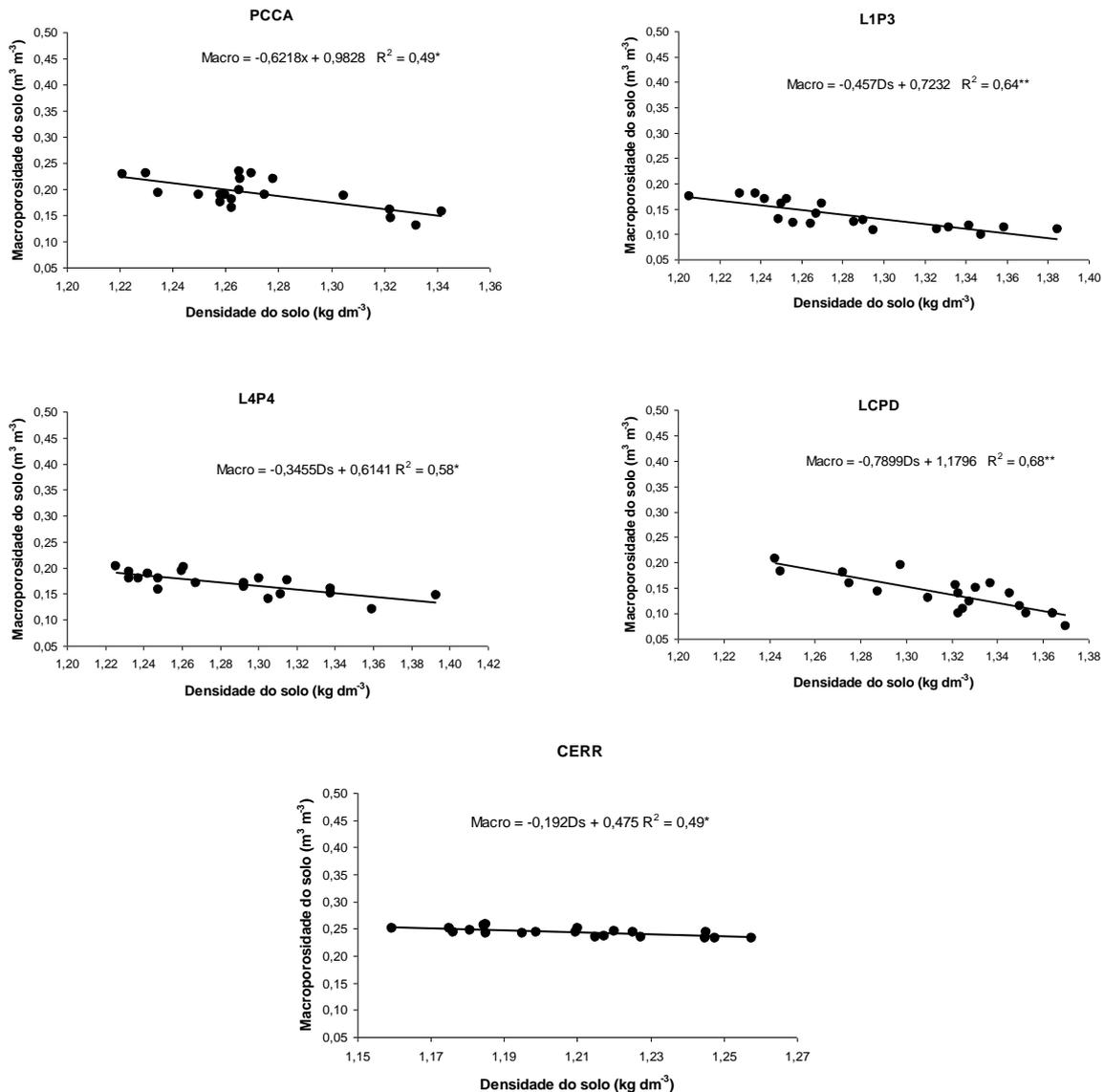


Figura 4. Relação entre a densidade e a macroporosidade do solo em diferentes sistemas de manejo no Cerrado. *significativo a 5% e ** significativo a 1%. CERR= solo com vegetação natural; PCCA= solo com pastagem contínua e adubada; L1P3= solo com lavoura de soja um ano e 3 anos com pastagem de *Brachiaria brizantha*; L4P4= solo com lavoura 4 anos e 4 anos com pastagem de *Panicum maximum* e LCPD= solo com lavoura de soja em sistema de plantio direto.

Considerando o coeficiente angular das equações de ajustadas entre a macroporosidade e densidade do solo, verificamos que todos os tratamentos tiveram redução da macroporosidade com o aumento da densidade, o que corrobora os trabalhos de Nascimento e Alves (2005), Kihl et al. (2005) e Stone e Silveira (2001).

Esta relação foi mais significativa no LCPD, ou seja, o tráfego de máquinas na superfície do solo aumenta a densidade, o que implica na redução da macroporosidade.

4.2.2 Microporosidade

Os valores médios da microporosidade do solo nos diferentes sistemas de manejo e períodos de avaliação são apresentados no Quadro 5. Não houve efeito significativo para a interação entre tratamento e ano ($P > 0,01$).

Verifica-se efeito significativo para os tratamentos ($P < 0,01$). Qualquer manejo adotado aumentou de maneira significativa a microporosidade em relação ao tratamento CERR em todas as profundidades (Quadro 5). Estes resultados concordam com os de Trein et al (1991), Albuquerque et al (2001), e Mello (2001) os quais também verificaram maiores alterações na macroporosidade em relação à microporosidade provocada pelo manejo do solo.

A não interação entre tratamento e ano pode ser atribuída às menores alterações impostas pelo manejo do solo na microporosidade, conforme pode ser observado na Figura 5. O aumento da densidade do solo não acarretou alterações significativas para a microporosidade, contrário à macroporosidade, confirmando os dados obtidos por Spera et al. (2004).

Quadro 5. Médias da microporosidade ($m^3 m^{-3}$) dos tratamentos em função dos anos e profundidade. CV= coeficiente de variação (a) subparcelas (anos) e (b) parcelas (Tratamento). Letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tratamentos	Ano					Média	CV(%)	
	1996	1999	2000	2001	2002		a	b
0 a 0,10 (m)								
CERR	0,32	0,32	0,29	0,28	0,27	0,30 b	12,8	6,7
PCCA	0,36	0,36	0,37	0,36	0,36	0,36 a		
L1P3	0,36	0,37	0,34	0,33	0,32	0,34 ab		
L4P4	0,40	0,40	0,34	0,33	0,32	0,36 a		
LCPD	0,32	0,32	0,36	0,30	0,30	0,32 b		
0,10 a 0,20 (m)								
CERR	0,31	0,31	0,27	0,27	0,26	0,28 c	12,1	9,2
PCCA	0,37	0,37	0,36	0,39	0,37	0,37 a		
L1P3	0,35	0,38	0,36	0,33	0,32	0,35 a		
L4P4	0,36	0,36	0,37	0,31	0,30	0,34 ab		
LCPD	0,32	0,32	0,35	0,33	0,33	0,33 b		
0,20 a 0,30 (m)								
CERR	0,30	0,32	0,29	0,28	0,28	0,29 b	7,5	8,4
PCCA	0,35	0,35	0,37	0,35	0,35	0,35 a		
L1P3	0,34	0,36	0,36	0,35	0,34	0,35 a		
L4P4	0,34	0,34	0,38	0,33	0,34	0,35 a		
LCPD	0,34	0,32	0,35	0,37	0,37	0,35 a		
0,30 a 0,40 (m)								
CERR	0,29	0,28	0,28	0,29	0,25	0,27 b	7,1	8,0
PCCA	0,35	0,35	0,36	0,34	0,33	0,34 a		
L1P3	0,36	0,37	0,37	0,33	0,32	0,35 a		
L4P4	0,35	0,35	0,36	0,32	0,33	0,34 a		
LCPD	0,35	0,34	0,35	0,34	0,33	0,34 a		

CERR= solo com vegetação natural; PCCA= solo com pastagem contínua e adubada; L1P3= solo com lavoura de soja um ano e 3 anos com pastagem de *Brachiaria brizantha*; L4P4= solo com lavoura 4 anos e 4 anos com pastagem de *Panicum maximum* e LCPD= solo com lavoura de soja em sistema de plantio direto.

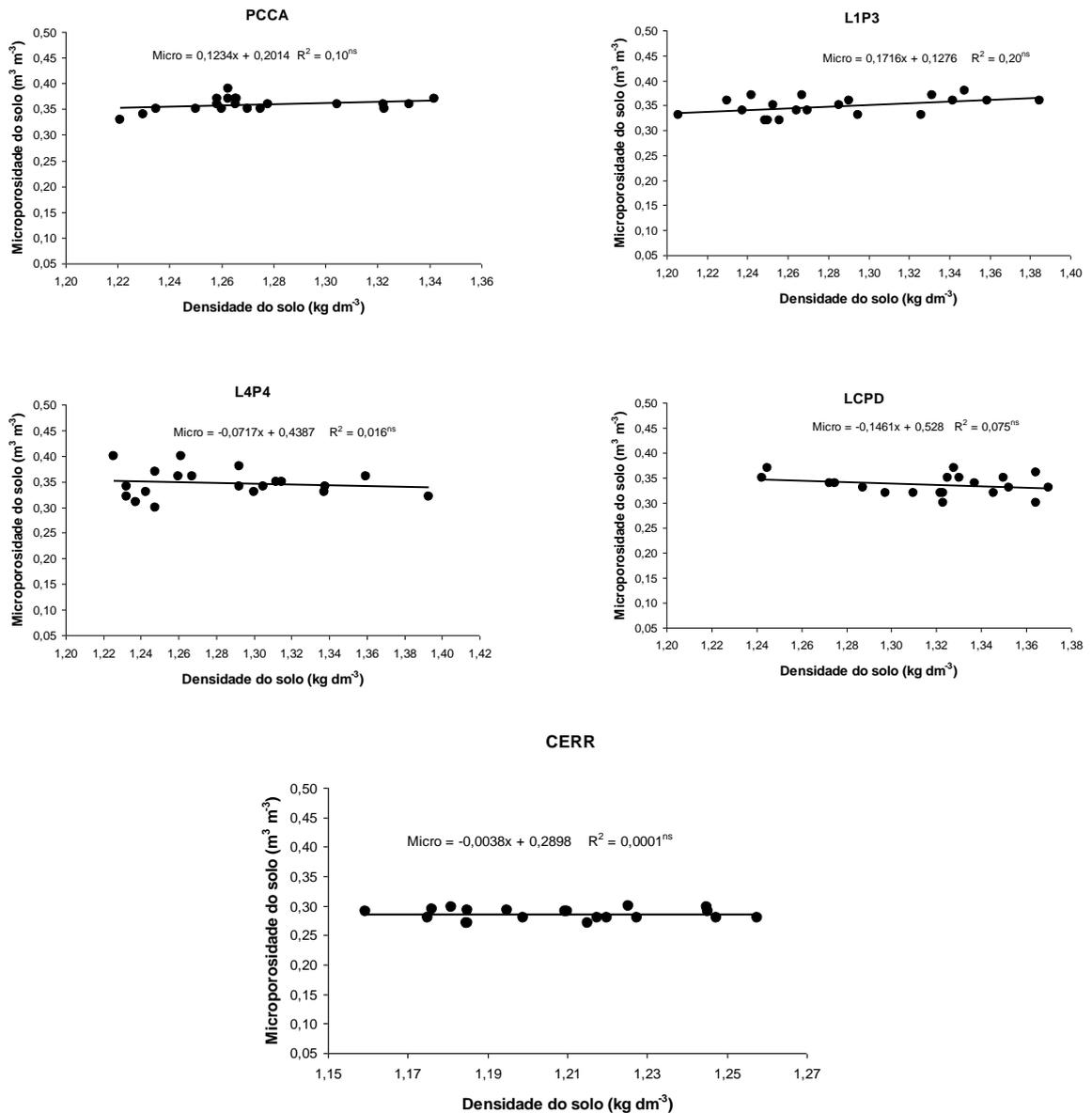


Figura 5. Relação entre a densidade do solo e a microporosidade do solo nos diferentes sistemas de manejo no Cerrado (ns= não significativo). CERR= solo com vegetação natural; PCCA= solo com pastagem contínua e adubada; L1P3= solo com lavoura de soja um ano e 3 anos com pastagem de *Brachiaria brizantha*; L4P4= solo com lavoura 4 anos e 4 anos com pastagem de *Panicum maximum* e LCPD= solo com lavoura de soja em sistema de plantio direto.

4.3 Resistência do solo à penetração

Os valores médios da macroporosidade do solo nos diferentes sistemas de manejo e períodos de avaliação são apresentados no Quadro 6. Verificou-se efeito significativo para a interação entre tratamento e ano ($P < 0,01$). A interação foi desdobrada avaliando-se os efeitos dos anos dentro de cada tratamento (Quadro 6).

A resistência do solo seguiu a mesma tendência da macroporosidade e da densidade, ou seja, houve interação significativa para sistema de manejo (tratamento) e ano ($P > 0,01$). A interação foi desdobrada, analisando o efeito de ano dentro de cada tratamento (Quadro 6).

Em qualquer sistema de manejo estudado verificou-se um aumento da resistência do solo em relação ao solo com vegetação natural (CERR), independentemente da profundidade. No tratamento PCCA, independente da profundidade, não se verificou alteração significativa da resistência do solo, ao longo de 12 anos de pastagem. A *B. decumbens* utilizada como pastagem no PCCA, quando bem fertilizada e manejada, apresenta intenso crescimento e renovação radicular e, como consequência, maior teor de matéria orgânica no solo, mais resíduos vegetais sobre ele, protegendo-o, assim, da ação compressiva e cisalhante dos cascos dos animais. A influência do sistema de pastagem na qualidade física do solo também foi verificada nos trabalhos de Fassbender e Bornemiza (1994), Silva e Mielniczuk (1997), Kanno et al (1999) e Santos et al. (2005).

Quadro 6. Resistência do solo à penetração (MPa) de diferentes sistemas de manejo, em função dos anos e profundidades. CV= coeficiente de variação (a) subparcelas (anos) e (b) parcelas (Tratamento). Letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Trat	1996	1997	1999	2000	2002	2006	Média	CV	
								a	b
0,05 m									
CERR	1,52 a	1,47 a	1,36 a	1,31 a	1,32 a	1,44 a	1,40		
PCCA	1,91 a	1,93 a	1,94 a	1,99 a	2,00 a	2,03 a	1,97		
L1P3	1,95 b	2,05 ab	2,11 ab	2,14 a	2,21 a	2,23 a	2,12	27,90	25,80
L4P4	1,08 d	1,31 d	2,21ab	2,05 bc	1,98 c	2,25 a	1,81		
LCPD	1,76 b	1,96 b	2,14 ab	2,16 a	2,17 a	2,21 a	2,07		
0,10 m									
CERR	1,59 a	1,56 a	1,37 a	1,32 b	1,37 a	1,34 a	1,43		
PCCA	1,92 a	1,94 a	1,92 a	1,95 a	1,96 a	1,97 a	1,94		
L1P3	1,86 b	2,10 a	2,08 a	2,04 a	2,16 a	2,08 a	2,05	25,61	21,09
L4P4	1,15 d	1,41 c	2,10 a	2,00 a	1,71 b	2,06 a	1,74		
LCPD	1,64 c	1,86 b	2,05 a	2,12 a	2,16 a	2,18 a	2,00		
0,15 m									
CERR	1,52 ab	1,65 a	1,37 ab	1,35 b	1,42 ab	1,41 ab	1,46		
PCCA	1,95 a	1,95 a	1,93 a	1,94 a	1,91 a	1,90 a	1,93		
L1P3	2,02 b	2,19 ab	2,21 ab	2,23 a	2,22 a	2,25 a	2,19	24,19	20,00
L4P4	1,22 d	1,51 c	2,17 a	1,94 b	1,73 c	2,04 ab	1,77		
LCPD	1,74 b	1,83b	1,96 b	2,05 ab	2,15 a	2,23 a	1,99		
0,20 m									
CERR	1,64 a	1,65 a	1,58 a	1,53 a	1,57 a	1,66 a	1,61		
PCCA	1,89 a	1,85 a	1,87 a	1,83 a	1,88 a	1,87 a	1,86		
L1P3	2,19 a	2,21 a	2,22 a	2,19 a	2,22 a	2,24 a	2,21	27,46	19,52
L4P4	1,29 c	1,62 c	2,24 a	1,89 b	1,75 b	1,83 b	1,77		
LCPD	1,85 b	1,80 b	1,87 b	1,86 b	2,14 a	2,24 a	1,96		
0,25 m									
CERR	1,86 a	1,83 a	1,79 a	1,74 a	1,72 a	1,93 a	1,81		
PCCA	1,91 a	1,94 a	1,92 a	1,92 a	1,97 a	1,91 a	1,93		
L1P3	1,89 a	1,91 a	1,92 a	1,89 a	1,90 a	1,93 a	1,91	23,58	19,70
L4P4	1,36 c	1,72 b	2,31 a	1,84 b	1,78 b	1,80 b	1,80		
LCPD	1,73 c	1,77 c	1,79 bc	1,89 bc	1,98 b	2,18 a	1,89		
0,30 m									
CERR	1,65 a	1,63 a	1,69 a	1,64 a	1,62 a	1,63 a	1,64		
PCCA	1,63 a	1,62 a	1,68 a	1,68 a	1,69 a	1,65 a	1,66		
L1P3	1,75 a	1,72 a	1,71 a	1,73 a	1,70 a	1,72 a	1,72	26,83	19,48
L4P4	1,93 a	1,92 a	1,94 a	1,81 a	1,87 a	1,93 a	1,90		
LCPD	1,93 a	1,94 a	1,96 a	1,98 a	1,95 a	1,97 a	1,96		

CERR= solo com vegetação natural; PCCA= solo com pastagem contínua e adubada; L1P3= solo com lavoura de soja um ano e 3 anos com pastagem de *Brachiaria brizantha*; L4P4= solo com lavoura 4 anos e 4 anos com pastagem de *Panicum maximum* e LCPD= solo com lavoura de soja em sistema de plantio direto.

No tratamento L1P3 houve um aumento significativo da resistência a penetração até 1997 para as camadas 0,05 m e 0,10 m e, até 1999, para a camada 0,15 m.

No sistema de manejo L4P4, a resistência do solo à penetração até a camada de 0,25 m, apresentou valores inferiores nos anos de 1996 e 1997 em relação aos demais anos. A partir de 1999, os valores de resistência do solo à penetração tiveram um aumento significativo. Os menores valores de RP, nos anos de 1996 e 1997, devem-se ao preparo do solo com grade (sistema convencional). A partir de 1998 é que se iniciou o sistema de plantio direto e, como consequência, houve o aumento da resistência do solo. Esses dados confirmam os obtidos por Albuquerque et al. (2001), Imhoff et al. (2000) e Secco et al. (2004), ou seja, no plantio direto, o tráfego de máquinas e implementos causa o aumento da resistência do solo.

Nos tratamentos L1P3 e L4P4, a introdução de pastagem em 1999 e 2000 e a introdução de lavoura em sistema de plantio direto sobre pastagem em 2002, independente da profundidade, não causaram alterações na resistência do solo. Este fato indica que a implantação de plantio direto de lavoura sobre pastagem e/ou plantio direto de pastagem, condiciona uma melhor qualidade física do solo às culturas.

No tratamento LCPD houve aumento significativo da resistência do solo a penetração até a profundidade de 0,25 m. A resistência do solo passou a ser significativa a partir do quinto ano de plantio direto, nas camadas 0,05 e 0,10 m; no sexto ano, para a camada 0,15 m; oitavo ano, para a camada 0,20 m e no décimo segundo ano, para a camada 0,25 m. Esses resultados sugerem que o efeito do tráfego de máquinas e implementos sobre a superfície do solo, com o passar do tempo, foi transmitido para as camadas mais profundas. Os sistemas de manejo do LCCD e L1P3 podem estar comprometendo o crescimento do sistema radicular das plantas, por apresentarem resistência do solo acima de 2,0 MPa, valor considerado crítico segundo Taylor et al. (1966), Imhoff et al. (2001) e Reichert et al. (2004).

Na Figura 6 observa-se a relação a resistência à penetração e a densidade do solo. Verifica-se que a resistência do solo foi positivamente relacionada com a densidade nos sistemas de manejo L1P3, L4P4 e LCPD, em concordância com os trabalhos de Albuquerque et al. (2001) e Tormena et al. (2002). Para os tratamentos CERR e PCCA não foi constatada dependência significativa da resistência do solo à penetração em relação à densidade do solo (Figura 6), provavelmente associada à maior macroporosidade, resultante

da menor degradação da estrutura do solo e da maior atividade radicular, que mantêm uma bioporosidade mais contínua e estável sob estes sistemas de manejo. Outros autores também verificaram comportamento semelhante como pode ser observado nos trabalhos de Bayer e Mielniczuk (1999) e Salton et al. (2005)

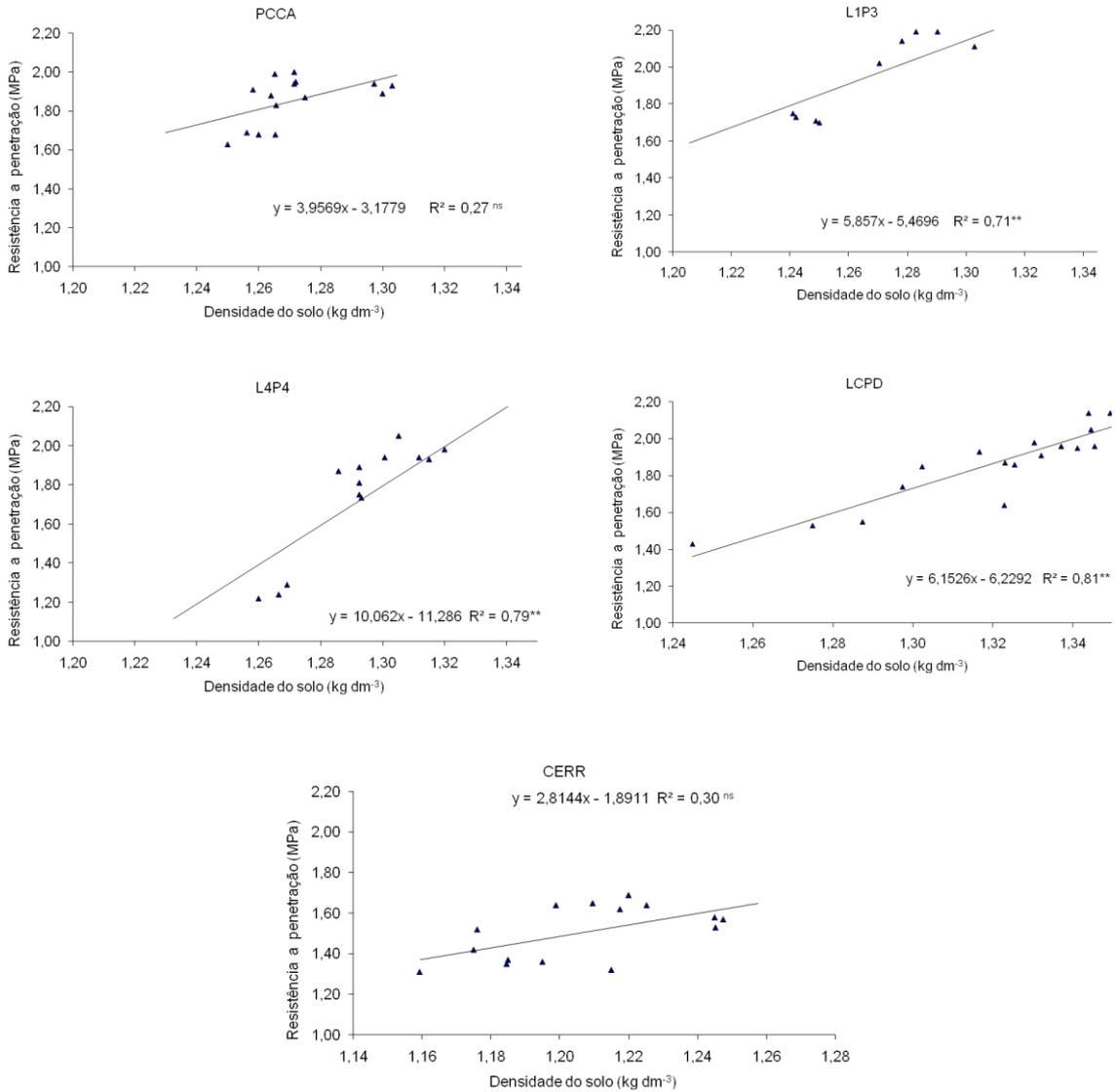


Figura 6. Relação entre a resistência do solo à penetração com a densidade do solo em diferentes sistemas de manejo no Cerrado (ns= não significativo, * significativo a 5% e ** significativo a 1%). CERR= solo com vegetação natural; PCCA= solo com pastagem contínua e adubada; L1P3= solo com lavoura de soja um ano e 3 anos com pastagem de *Brachiaria brizantha*; L4P4= solo com lavoura 4 anos e 4 anos com pastagem de *Panicum maximum* e LCPD= solo com lavoura de soja em sistema de plantio direto.

4.4 Estabilidades dos agregados em água

4.4.1 Porcentagem de agregados estáveis entre 8 mm a 2 mm

No Quadro 7, encontram-se os valores médios da porcentagem de agregados entre 8 mm a 2 mm nas camadas 0,0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m. Verificou-se efeito significativo da interação tratamento e ano ($P>0,01$), para as duas profundidades estudadas (Quadro 7). O desdobramento da interação seguiu o mesmo procedimento realizado para densidade do solo e para a resistência do solo à penetração.

Quadro 7. Porcentagem de agregados estáveis entre 8 mm a 2 mm de diferentes sistemas de manejo do solo em função dos anos e profundidades. CV= coeficiente de variação (a) subparcelas (anos) e (b) parcelas (Tratamento). Letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Trat.	1995	2000	2006	Média	CV (%)	
					a	b
0,0 a 0,10 m						
CERR	42,0 a	46,4 a	45,0 a	44,5		
PCCA	23,7 c	47,8 b	63,8 a	45,1		
L1P3	25,9 b	31,1 a	32,2 a	29,7	18,5	15,6
L4P4	8,6 c	19,3 b	29,4 a	19,1		
LCPD	5,7 b	8,5 b	17,9 a	10,7		
0,10 a 0,20 m						
CERR	32,9 a	35,5 a	30,2 a	32,9		
PCCA	22,4 c	44,7 b	58,4 a	41,8		
L1P3	14,5 b	28,7 a	19,3 ab	20,8	16,2	13,3
L4P4	7,4 b	15,1 a	18,2 a	13,6		
LCPD	5,3 b	9,6 ab	12,7 a	9,2		

CERR= solo com vegetação natural; PCCA= solo com pastagem contínua e adubada; L1P3= solo com lavoura de soja um ano e 3 anos com pastagem de *Brachiaria brizantha*; L4P4= solo com lavoura 4 anos e 4 anos com pastagem de *Panicum maximum* e LCPD= solo com lavoura de soja em sistema de plantio direto.

As menores porcentagens de agregados estáveis registradas em 1995, independentemente da profundidade em todos os tratamentos, com exceção do CERR, são associadas ao preparo do solo no início do experimento, utilizando-se arado de aiveca de disco e grade niveladora e aradora. O efeito

do preparo do solo na sua agregação, para solos do Cerrado é bem discutido no trabalho de Resck et al. (1991).

O tratamento PCCA apresentou ao longo dos anos os maiores valores do porcentual de agregados entre 8 mm a 2 mm, na camada 0 m - 0,10 m, superando os valores do solo com vegetação natural. Estes resultados discordam dos trabalhos de Ayarza et al. (1993) e Alvarenga e Davide (1999) que relatam que solo cultivado com pastagem apresenta o mesmo porcentual de agregados em relação a solo naturais. Esta agregação no PCCA deve ser atribuída à fertilização do solo e ao manejo animal, que propicia intensa rebrota e conseqüentemente a renovação da biomassa radicular, que associada à ausência de preparo do solo, contribui para a formação de agregados de maior tamanho (CORAZZA et al., 1999 e SIX et al., 2004).

Entre os tratamentos estudados, o LCPD foi o que apresentou os menores valores de porcentual de agregação, atribuídos ao estoque de carbono no solo, corroborando os dados de Salton et al. (2005). No tratamento L4P4, a agregação do solo começou a ser significativa a partir de 2000. Este fato é devido ao preparo convencional do solo com grade aradora e niveladora para plantio da soja até 1998, e a fertilização durante quatro anos nesta cultura propiciou a intensa brotação e produção de biomassa radicular da forrageira *P. maximum*, refletindo na agregação.

4.4.2 Diâmetro médio ponderado dos agregados do solo

Os valores médios do diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados do solo da camada 0 m - 0,10 e 0,10m - 0,20 m encontram-se no Quadro 8. O DMP seguiu o mesmo comportamento verificado para a fração de agregados estáveis entre 8 mm a 2 mm, ou seja, verificou-se efeito significativo da interação tratamento e ano ($P>0,01$), para as duas profundidades estudadas.

O maior DMP nos tratamentos PCCA e L4P4 é reflexo da maior agregação nos agregados com diâmetro menor que 2 mm, ou seja, 2 mm a 1 mm; 1 mm a 0,5 mm; 0,5 mm a 0,25 mm e 0,25 mm a 0,105 mm, independente da camada. Estes dados corroboram com Salton et al. (2005) que verificaram em um Latossolo Vermelho Distrófico sob pastagem de *Brachiaria decumbens*

apresentava um diâmetro médio ponderado dos agregados superior ao solo com vegetação natural.

Quadro 8. Diâmetro médio ponderado (DMP) em mm de diferentes sistemas de manejo do solo em função dos anos e profundidades. CV= coeficiente de variação (a) subparcelas (anos) e (b) parcelas (Tratamento). Letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Trat.	1995	2000	2006	Média	CV (%)	
					a	b
0,0 a 0,10 m						
CERR	2,86 a	2,96 a	3,13 a	2,98		
PCCA	1,59 c	2,79 b	3,44 a	2,60		
L1P3	1,73 b	2,05 a	1,90 a	1,89	18,5	15,6
L4P4	0,81 c	1,39 b	2,25 a	1,48		
LCPD	0,64 b	0,78 b	1,12 a	0,85		
0,10 a 0,20 m						
CERR	2,45 a	2,64 a	2,52 a	2,54		
PCCA	1,57 c	2,57 b	3,18 a	2,44		
L1P3	1,23 b	1,52 a	1,37 ab	1,37	16,2	13,3
L4P4	0,79 c	1,32 b	1,85 a	1,32		
LCPD	0,66 b	0,91 a	1,06 a	0,88		

CERR= solo com vegetação natural; PCCA= solo com pastagem contínua e adubada; L1P3= solo com lavoura de soja um ano e 3 anos com pastagem de *Brachiaria brizantha*; L4P4= solo com lavoura 4 anos e 4 anos com pastagem de *Panicum maximum* e LCPD= solo com lavoura de soja em sistema de plantio direto.

O aporte de C ao solo pelas raízes e a ação mecânica decorrente do crescimento associado a crescente exsudação de substâncias, ajudam na agregação do solo. Leal e De-Polli (1999) afirmam que a produção de carbono acompanha a produção de massa da parte aérea e esta é pontualmente relacionada com massa de raízes, o que explica o elevado potencial das pastagens na agregação do solo.

A introdução da lavoura de soja em sistema de plantio direto sobre a forrageira *P. maximum*, (L4P4) - o que ocorreu em 2002, 2003, 2004 e 2005 - não causou alterações no diâmetro médio ponderado dos agregados do solo, nas camadas 0 m a 0,1 m (Figura 8) ou na camada 0,1 m a 0,2 m (Figura 9). A ausência do preparo do solo, que impede a perda de C associada à ruptura dos agregados (Six et al 2004), pode justificar a ocorrência de maior proporção de agregados maiores em 2006 comparado ao ano de 2000.

As pastagens, *Brachairia decumbens* cv. Basilisk e *Panicum maximum* cv. Tanzânia, podem ser consideradas como promotoras da agregação do solo em virtude da elevada produção de biomassa radicular. As observações de Kanno et al. (2004) indicam que as forrageiras citadas quando introduzidas na área após a cultura da soja apresentam maior capacidade de produção de biomassa do sistema radicular em relação a soja, justificando a influência positiva nos resultados mostrados no Quadro 8.

No entanto, nem todos os sistemas de manejo que envolvem gramíneas forrageiras podem melhorar a agregação, o que pode ser verificado no tratamento L1P3, no qual se utilizou a forrageira *Brachiaria brizantha*. Verifica-se que o DMP praticamente não foi alterado ao longo dos anos (Quadro 8). Este menor DMP neste tratamento é atribuído à menor fertilização da *Brachiaria brizantha* em relação aos outros tratamentos e a seu hábito de crescimento cespitoso, que tende a formar touceiras, e como consequência pode ter deixado pouco resíduo vegetal sobre o solo, a baixa produção e renovação da biomassa radicular.

Dentro dos sistemas estudados, o LCPD, foi o sistema de manejo que proporcionou os menores valores de DMP. A dificuldade de produção de cobertura morta e por consequência de biomassa radicular, pode explicar esta menor eficiência no aumento do DMP. Estes dados confirmam os obtidos por Guedes et al. (1996) e Lilienfein et al. (1996) na região do Cerrado.

4.5 Infiltração de água no solo

4.5.1 Taxa de infiltração estável

Os valores médios da taxa de infiltração estável do solo nos diferentes sistemas de manejo encontram-se no Quadro 9. A taxa de infiltração estável apresentou interação significativa para tratamentos e ano ($P > 0,01$). A interação foi desdobrada analisando o efeito de ano dentro de cada tratamento (Quadro 9).

O solo com vegetação natural não teve variação na taxa de infiltração de água estável no solo ao longo dos anos e foi o que apresentou o maior valor

em relação aos demais sistemas de manejo. Estes resultados confirmam os obtidos por Kertzmann (1996), Klein (1998) e Bertol et al. (2001), e são indicativo das boas condições físicas dos solos do Cerrado sob vegetação natural.

Quadro 9. Valores médios obtidos de taxa de infiltração estável no solo (cm h^{-1}) em diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado. Valores com letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

ANO	CERR	L1P3	L4P4	LCPD	PCCA
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	15,87d	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 um ano e 3 anos com pastagem de *Brachiaria brizantha*; L4P4= solo com lavoura 4 anos e 4 anos com pastagem de *Panicum maximum* e LCPD= solo com lavoura de soja em sistema de plantio direto.

A remoção da vegetação natural, e introdução, sejam de pastagem ou de lavoura, traz como conseqüência a redução das taxas de infiltração de água no solo, confirmando os resultados encontrados por Silva e Kato (1997), Macedo (1997), Silva e Kato (1998) e Oliveira et al. (2004).

Na comparação entre o PCCA, com o LCPD, verificamos que o sistema de lavouras apresenta menor taxa de infiltração estável, devido ao aumento da densidade do solo (Quadro 3) e redução da macroporosidade (Quadro 4). Associado a este fato, deve-se ressaltar o efeito da gramínea *Brachiaria decumbens*, quando é fertilizada, proporciona uma maior estruturação do solo, aumentando sua permeabilidade, conforme verificado também por Stone et al. (2001).

No entanto, no tratamento L1P3, a taxa de infiltração estável foi a mais baixa entre os tratamentos, na média dos anos da avaliação. Esta menor taxa de infiltração no L1P3 deve-se ao crescimento cespitoso, o que deixa o solo

exposto (ZIMMER et al. 1994) e o contato direto dos cascos dos animais na superfície do solo, diminuindo a macroporosidade (Quadro 4) e, conseqüentemente, a taxa de infiltração. Os resultados apresentados em Silva et al. (1997), Bertol et al. (1997) e Lanzasova 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 não foi observado o efeito do pisoteio animal diretamente na superfície do solo. Este fato é 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, e amortecendo o efeito do pisoteio. Uma relação direta entre a produção de biomassa radicular e biomassa verde na *Brachiaria decumbens* pode ser observada nos trabalhos de Silva et al. (1998) e Kanno et al. (1999).

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 de preparo do solo. A partir de 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 um sistema radicular mais abundante e profundo, que contribuiu para aumentar as taxas de infiltrações a partir de 1999 (Quadro 7).

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

Na Figura 7, é mostrada a relação entre a taxa de infiltração estável e a porosidade em diferentes sistemas de manejo do solo. Verifica-se uma relação positiva e significativa da taxa de infiltração estável e a macroporosidade do solo e todos os sistemas de manejos estudados. A dependência entre as variáveis foi mais efetiva para o sistema PCCA - observado pelo maior coeficiente angular do modelo linear ajustado entre a taxa de infiltração estável e a macroporosidade, nesse tratamento. As regressões significativas entre taxa

de infiltração e macroporosidade, independente do sistema de manejo adotado (Figura 7), 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.

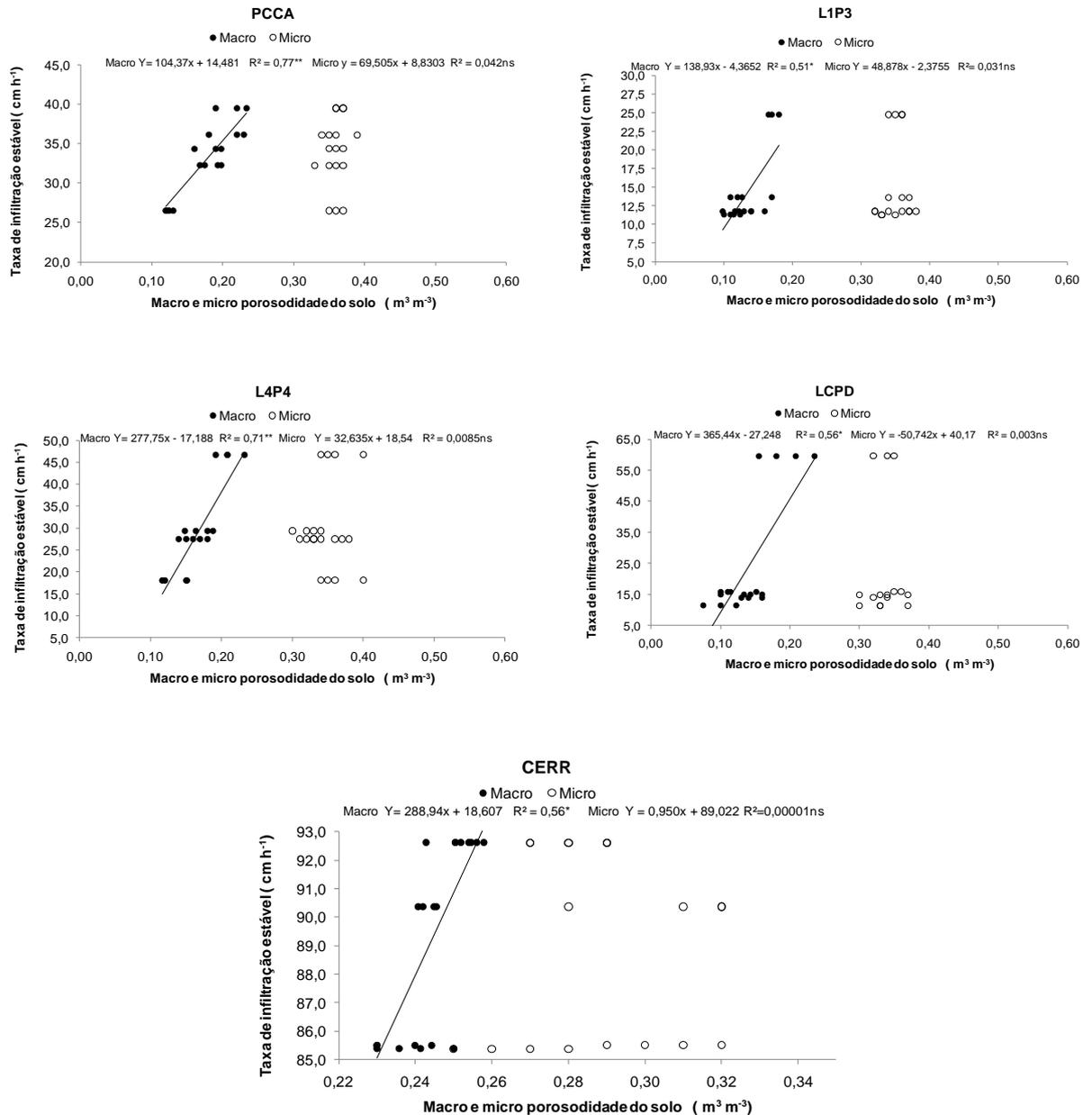


Figura 7. Relação entre a taxa de infiltração estável de água e a porosidade total em diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado (ns= não significativo, * significativo a 5% e ** significativo a 1. CERR= solo com vegetação natural; PCCA= solo com pastagem contínua e adubada; L1P3= solo com lavoura de soja um ano e 3 anos com pastagem de *Brachiaria brizantha*; L4P4= solo com lavoura 4 anos e 4 anos com pastagem de *Panicum maximum* e LCPD= solo com lavoura de soja em sistema de plantio direto.

Na Figura 8 encontra-se a relação entre a taxa de infiltração estável e o diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP) do solo em diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado.

Para os tratamentos PCCA e L4P4 a relação foi positiva, confirmando a boa estruturação do solo neste sistema. A relação não significativa entre a taxa de infiltração estável e o DMP, para os tratamentos L1P3 e LCPD (Figura 8), sugere que o aumento da densidade (Quadro 3) e a redução da macroporosidade (Quadro 4) nas camadas 0,05 m a 0,10 m explicam a redução na taxa de infiltração estável.

Nos manejos L1P3 e LCPD, macroporosidade do solo abaixo de 0,12 ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), densidade $> 1,34$ (kg dm^{-3}) poderiam estar comprometendo a qualidade física do solo, tendo como consequência uma redução na taxa de infiltração estável de água no solo.

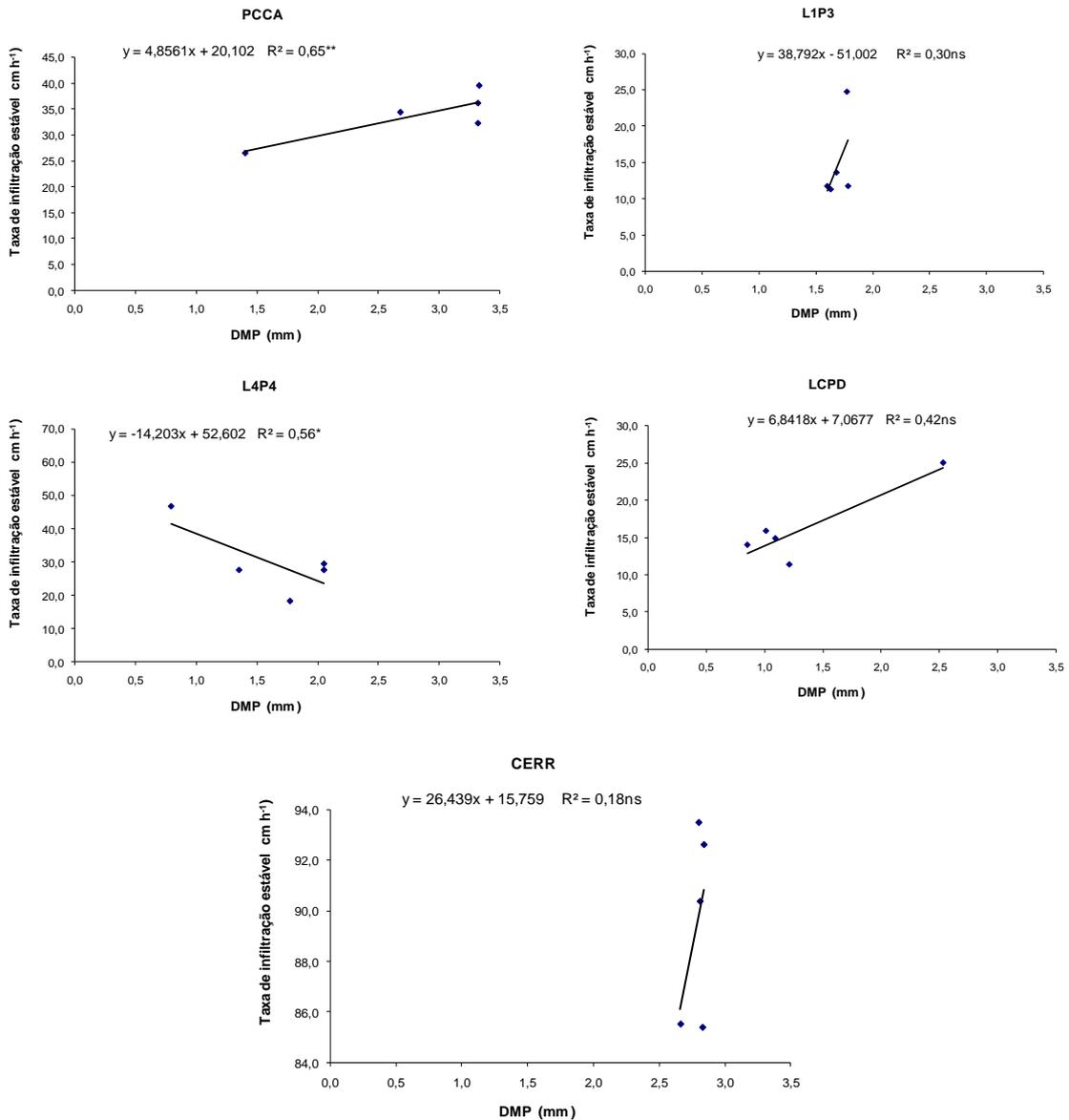


Figura 8. Relação entre a taxa de infiltração estável e o diâmetro médio ponderado (DMP) em diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado (ns= não significativo, * significativo a 5% e ** significativo a 1%). CERR= solo com vegetação natural; PCCA= solo com pastagem contínua e adubada; L1P3= solo com lavoura de soja um ano e 3 anos com pastagem de *Brachiaria brizantha*; L4P4= solo com lavoura 4 anos e 4 anos com pastagem de *Panicum maximum* e LCPD= solo com lavoura de soja em sistema de plantio direto.

4.5.2 Infiltração acumulada de água no solo

Os valores médios das taxas de infiltração acumulada de água no solo dos diferentes sistemas de manejo são mostrados na Figura 9. Não houve efeito significativo da interação entre tratamento e ano ($P > 0,01$), mas verificou-se efeito significativo dos tratamentos ($P < 0,01$). Os maiores valores de infiltração acumulada foram verificados no solo sob vegetação natural de Cerrado.

O sistema de manejo L1P3, a partir do tempo de uma hora de teste, e o LCPD a partir de três horas, foram os que apresentaram a menor infiltração acumulada. No L1P3, esta redução é fato atribuído ao pisoteio animal, confirmando os dados obtidos por Lanzasova et al. (2005). No LCPD esta redução é devida ao efeito do tráfego de máquinas e implementos na compactação do solo. Tais efeitos são discutidos nos trabalhos de Derpsch et al. (1997) , Centurion e Demattê (1992), Mahboubi et al. (1993), Tormena e Roloff (1996), Stone e Silveira (2001) e Muzzilli (2004). Nos tratamentos PCCA e L4P4, embora apresentando valores médios de taxa de infiltração estável de, respectivamente, 33,72 e 27,56 (cm h^{-1}), a infiltração acumulada foi maior para o tratamento PCCA a partir de cinco horas de teste.

Assim, o manejo de solo com pastagem de *Brachiaria decumbens*, apresenta menor risco ao escoamento superficial em relação aos demais sistemas de manejo do solo, a exceção do tratamento CERR.

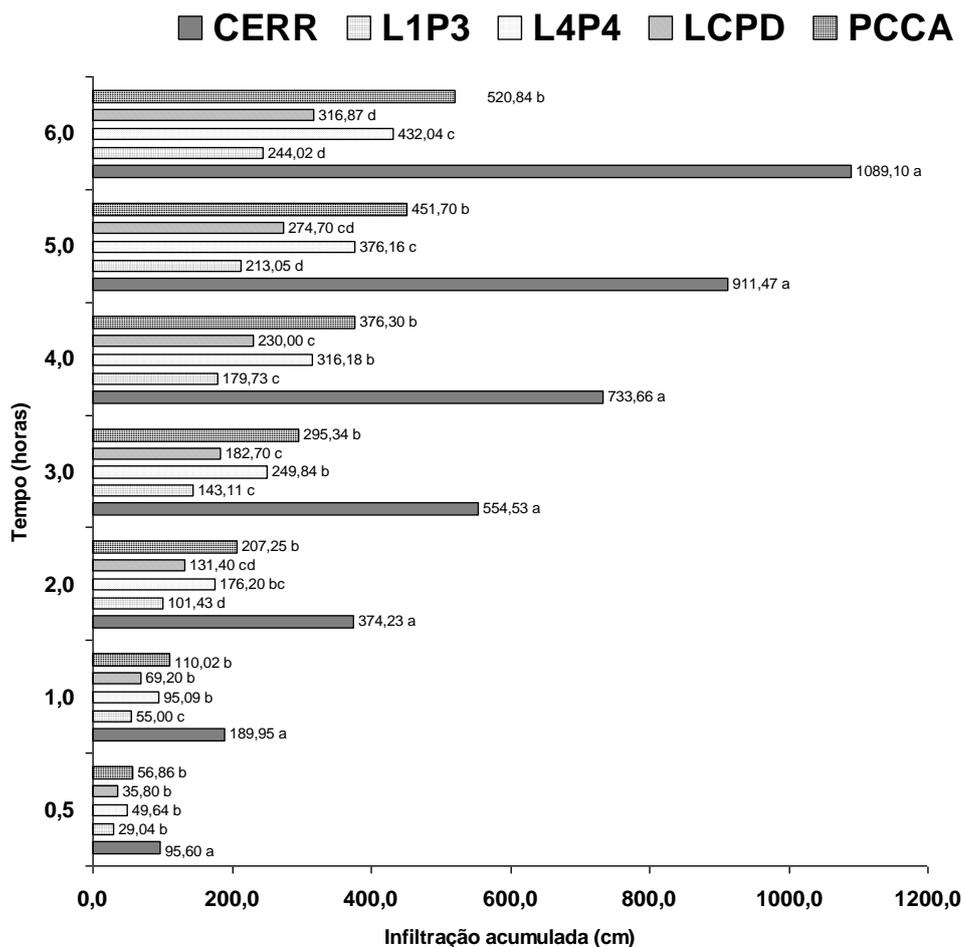


Figura 9. Infiltração acumulada de água no solo de diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado (média de sete anos). Letras iguais na coluna, dentro de cada hora, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CERR= solo com vegetação natural; PCCA= solo com pastagem contínua e adubada; L1P3= solo com lavoura de soja um ano e 3 anos com pastagem de *Brachiaria brizantha*; L4P4= solo com lavoura 4 anos e 4 anos com pastagem de *Panicum maximum* e LCPD= solo com lavoura de soja em sistema de plantio direto.

5. CONCLUSÕES

Os sistemas de manejo que causam menor impacto nas propriedades físicas do solo foram os sistemas de pastagem contínua com adubação a cada dois anos e o sistema com quatro anos de lavoura de soja e quatro anos de pastagem com *P. maximum* cv. Tanzânia;

O pisoteio animal (lotação até 1,6 UA) não influencia a macroporosidade, a densidade do solo e resistência do solo à penetração, sob manejo que utiliza pastagem *Brachiaria decumbens*, com adubação de manutenção a cada dois anos;

O sistema de plantio direto na região do Cerrado promove redução da macroporosidade e aumento da densidade do solo e da resistência do solo à penetração nas camadas de 0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m, tendo como consequência a redução das taxas de infiltração estável e da infiltração acumulada.

A *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 à *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk com adubação de manutenção e *Panicum maximum* cv. Tanzânia, introduzida após quatro anos de soja.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMOLI, J.; MACEDO, J. AZEVEDO, J.G.; NETTO, J.M. Caracterização da região dos Cerrados. In: **SOLOS DOS CERRADOS: Tecnologias e estratégias de manejo**. Embrapa –Cpac, Novel, São Paulo, p.3-74, 1986.
- ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.3 p:717-723, 2001.
- ALMEIDA, E. X. de.; MARASCHIN, G.E.; HARTHMANN, O.E.L.; RIBEIRO FILHO, H.M.N.; SETELICH, E.A. Oferta de forragem de Capim-Elefante Anão 'Mott' e a dinâmica da pastagem. Viçosa, **Revista Brasileira de Zootecnia**, n.29 p.1281-1287, 2000.
- ALVARENGA, M. I. M.; DAVIDE, A. V. Características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro e a sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.23, n.4, p.933-942, 1999.
- ALVARENGA, R. C.; FIGUEIREDO, A.F.; OLIVEIRA,W.; FREIRE, J.C. **Armazenamento de água em um Podzólico Vermelho-Amarelo sob pastagem e cultivo anual**. Lavras, Ciência e Prática, v7, p:48-57, 1983.
- ALVES, M. C.; CABEDA, M.S.V. Infiltração em um Podzólico Vermelho – escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23 p.753-761, 1999.
- AIDAR, H.; THUNG, M. OLIVEIRA, I.P. de; KLUTHCOUSKI, J.; CARNEIRO, G.E.S.; SILVA, J.G.da; DEL PELOSO, M. J. Bean production and white mould incidence under no-till system. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, East Lansing, v.43 p.150-151, 2000.
- ANDREWS, S.S.; KARLEN, D.L.; MITCHELL, J.P. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, n.90 p.25-45 2002.
- AYARZA, M.; VILELA, L. RAUSCHER, F. Rotação de culturas e pastagens em um solo de Cerrado: estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, 1993, Goiânia, Cerrados: **Fronteira agrícola do século XXI**: Resumos. Goiânia: SBCS, v.3 p. 121-122. 1993.
- BAYER, C. MIELNICZNUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica In: SANTOS, G.de A.; CAMARGO, F.A.de. **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, p:9-26, 1999.

- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 849-56. 2003.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G. Resistência a penetração em Latossolos: limitante a produção de grãos de soja In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32, Goiânia, 2003. **Resumo expandido**. Goiânia: CONBEA, 2003. CDROM.
- 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, Brasília: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, p.25-38, 1997.
- BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J. ; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta, em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, p. 155-163, 2004.
- BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agrícola**, Lavras, v. 58, p. 555-60. 2001.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5 ed. Viçosa: UFV, 1989, 596p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**, São Paulo, Icone, 1990. 355p.
- BLANCANEUX, Ph.; FREITAS, P.L.de; AMABILE, R.F.; CARVALHO, A.M. Plantio Direto como prática de conservação do solo sob vegetação do Cerrado do Centro-Oeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24 Goiânia, 1993, **Anais...** Goiânia, UFG/SBCS, 1993.
- 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: SBCS/UFV, p.1893-1895, 1995.
- 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, 1996, Águas de Lindóia, **Anais...** Águas de Lindóia: SBCS/USP/SLCS/CEA/SBM, 1996, CD-ROOM.
- BRANDÃO, V.dos S.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D. da. **Infiltração da água no solo**, Viçosa: UFV, 2003. 98p.

BROCH, D.L.; PITOL, C.; BORGES, E.P. **Integração agricultura-pecuária: Plantio direto da soja sobre pastagem na integração agropecuária.** Maracaju: Fundação MS, 1997, 24p. (Fundação MS, Informativo Técnico, 01/97).

BUSSCHER, W. J.; BAUER, P. J.; CAMP, C.R.; SOJKA, R.E. Correction of cone index for water content differences in a coastal plain soil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.43, n.2, p.205-217, 1997.

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

CANTARUTTI, R. B.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. do; COSTA, O. V., Impacto animal sobre o solo: Compactação e reciclagem de nutrientes. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38, 2001, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV/SBZ, 2001. (CR-ROM).

CASTRO FILHO, C. Atributos do solo avaliados pelos seus agregados, In: MORAES, M.H.; MULLER, M.M. L.; FOLONI, J.S.S. (Coord.) **Qualidade física do solo: Método de estudo – sistemas de preparo e manejo do solo.** Jaboticabal: FUNEP, p.21-46, 2001

CASTRO, O. M.; VIEIRA, S.R.; MARIA, I. C. **Sistema de preparo de solo e disponibilidade de água.** In. Simpósio sobre Manejo de Água na Agricultura, Fundação Cargill, 1987, p. 21-51.

CENTURION, J. F.; DEMATTÊ, J. L. I. Sistemas de preparo de solos de Cerrado: efeitos nas propriedades físicas e na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 27, p. 315-324, 1992.

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. **Journal Hydrology**, Amsterdam, v130, p:105-126, 1992

CORAZZA, E.J.; SILVA, J. E.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23 p.425-432, 1999.

CORRÊA, M.R., KANNO, T, MACEDO, M.C.M., EUCLIDES, V.B.P., BERETTA, L. G.R., SANTOS JR. J.D.G., BONO, J. A. M. Produção de raízes em cinco forrageiras tropicais sob pastejo na região dos Cerrados. In: REUNIÃO ANUAL SBZ, 36, 1999, Porto Alegre. **Anais...**, CD-ROM, Forragicultura, 1999.

COSTA, C. V.; BORGES, L. C. V. **Manejo e conservação do solo.** In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO. Campinas: Fundação Cargil, 1992. p 26-28

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos

sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, p. 527-535, 2002.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; WOBETO, C. Sistemas de manejo do solo e propriedades físicas de um Latossolo Bruno: Efeitos de 20 anos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA. 14. Cuiabá, 2002. **Resumos Expandidos**. Cuiabá: SBCS, 2002. 1 CD-ROM.

CURI, N.; ITURRI-LARACH, J.O.; KÄMPF, N.; MONIZ, A.C.; FONTES, L.E.F. **Vocabulário de ciência do solo**, Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 90p.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMANN, F. X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, p. 761-773, 1997.

DEXTER, A. R.; WATTS, C. Tensile strength and friability. In: SMITH, K.; MULLINS, C. (ed.). **Soil and environmental analysis: Physical Methods**. 2. ed. Marcel Dekker Inc., New York, 1987. p. 405-433.

DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 11, p. 199-238, 1988.

DEXTER, A. R. Soil physical quality: Part II. Friability, tillage, tilth and hard-setting. **Geoderma**, New York, v. 120, p. 215-225, 2004.

DIAS FILHO, M.B. Pastagens cultivadas na amazônia oriental brasileira: processos e causas da degradação e estratégias de recuperação. In: DIAS L.E.; MELLO, J.W.V. (ed.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV, Departamento de Solos, Sociedade Brasileira de Áreas Degradadas, p:135-147, 1998.

DIAS JÚNIOR, M. de S. Compactação do solo In: NOVAIS, R.F.de; ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. (eds) **Tópicos em Ciência do Solo**, volume 1 (2000), Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p:55-94, 2000.

DREWRY, J.J.; PATON, R.J. Soil physical quality under cattle grazing of winter-fed brassica crop. Australia: **Australian Journal of Soil Research**, n.43 p.525-531. 2005.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, SNLCS, np. 1979
EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de soja. Recomendações técnicas para o cultivo de soja na Região Central do Brasil, 1994/1995. Londrina: EMBRAPA Soja, 1994. 135p. (EMBRAPA – CNPsoja – Documentos, 96).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de solos. **Manual de métodos de análise do solo**. (2 ed.) EMBRAPA-CNPs, Rio de Janeiro, 212p. 1997 (EMBRAPA-CNPs. Documento 1)

EMBRAPA. **Manual de análises química de solos, plantas e fertilizantes**, Brasília: Embrapa comunicação para transferência de tecnologias, 370p.1999.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1999. 412p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja, **Tecnologias de produção de soja** – região central do Brasil - 2004, Londrina: Embrapa-soja, Embrapa-Cerrado, Embrapa-Oeste, EPAMIG, Fundação Triângulo Mineiro, 237p. 2003.

FABIAN, A. J.; OTTONI FILHO, T. B. Determinação de curvas de infiltração usando câmara de fluxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v21, p:325-333, 1997.

FASSBENDER, W. H. W.; BORNEMIZA, E. **Química de suelos**: com ênfase em suelos de America Latina, 2 ed. San José: IICA, 420p. 1994.

FERRI, M.G. Ecologia dos Cerrados. In: FERRI, M.G. coord. SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, **Bases para utilização agropecuária 4**. São Paulo, USP/liv Itatiaia, 1977, p.15-33.

FORSYTHE, W. **Física de suelos**: manual de laboratório, San José: IICA, 212p. 1985.

FRAME, J.; NEBOULD, P. Agronomy of white clover. **Advances Agronomy**, v.40 p:1-88, 1986.

FREITAS JÚNIOR, E.; SILVA E.M. da. Uso da centrífuga para determinação da curva de retenção de água no solo, em uma única operação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.11, p:1423-1428, 1984.

FREITAS JÚNIOR, E.; LUCHIARI JÚNIOR, A.; Manejo: Aspectos físicos. In: PEREIRA, V.de P.; FEERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.da (EDS), **Solos Altamente Suscetíveis à erosão**. Jaboticabal, FCAV-UNESP/SBCS, 253p. 1994.

FREITAS, P. L. de, Manejo físico do solo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO, 1, 1990, Goiânia, Campinas: Fundação Cargil, p.17-39, 1992.

FREITAS, P. L. de, de Aspectos físicos e biológicos do solo. In: LANDERS, J.N. Ed. **Experiências de Plantio Direto no Cerrado**. Goiânia: APDC, 1994. p.199-213. 261p.

GILIOLI, J. L. **Agricultura tropical**: desafios, perspectivas e soluções. Brasília: BSB, 111p. 2000.

GOEDERT, W. J.; SHERMACK, M. J.; FREITAS, F. C. de. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 37, p. 223-7, 2002.

GUEDES, H. M.; RESCK, M. V. S.; PERREIRA, I. da S.; SILVA, J. E. da; 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. SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 7, 1996, INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TROPICAL SAVANNAS, 1, BRASÍLIA, 1996. **Anais...**, Planaltina: EMBRAPA-CPAC. 1996. p.329-333.

GREELAND, D.J. Soil management and soil degradation. **Journal of Soil Science, London**, v.31 p.301-322, 1981.

HAKANSSON, I.; MEDVEDEV, V.W. Protection of soil from mechanical overloading by establishing limits for stresses caused by heavy vehicles. **Soil Tillage Research**, n.35 p.85-97. 1995.

HAKANSSON, I.; VOORHEES, W.B. Chapter on soil compaction In: LAL, R.; BLUM, W.H.; VALENTIN, C.; STEWART, B.A. (eds) **Methods for assessment of soil degradation**. Boca Raton, Lewis Publisher, 1997, p:320-345.

HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. San Diego, Academic Press, 1982. 364p.

HUSSAIN, I.; OLSON, K.R.; WANDER, M.A.; KARLEN, D.C. Adaptation of soil quality indices on application to three tillage systems in southern Illinois. **Soil Tillage Research**, n.50 p.237-249, 1997.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; DIAS JÚNIOR, M.S.; TORMENA, C. A. Quantificação de pressões críticas para o crescimento de plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, p. 11-18, 2001.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 1493- 500, 2000.

JENNINGS, M.D.; MILLER, B.C.; BEZDICEK, D.F.; GRANATSTEIN, D. Sustainability of dryland cropping. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 25, p. 353-363, 1998.

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. JIRCAS/Embrapa-Gado de Corte, p. 63-73, 2001.

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 Science**, v. 45, p.9-14, 1999.

KANNO, T.; MACEDO, M.C.M.; NAKAMURA, T.; YOSHIMURA, Y.; FUKUDA, E.; KANDA, K.; NAKANISHI, N.; SAITO, M.; ANDO, Y. Grassland management technology for sustainable Agro-Pastoral systems in subtropical zone of Brazil. **Jircas Working Report N.36**, Tsukuba, Japan. Japan International Research Center for Agricultural Sciences, p.5-13, 2004.

KAY, B. D. Rates of changes of soil structure under different cropping systems. **Advances in Soil Science**, New York, v. 12, p. 1-51, 1990.

KAY, B. D.; V. RASIAH; E. PERFECT. Structural aspects of soil resiliency. In: GREENLAND, D.J.; SZABOLCS, I. (eds), **Soil resilience and sustainable land use**. p. 449-468. CAB International, London. 1994

KEMPER, W.D.; CHEPIL W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK C.A. ed., *Methods of Soil Analysis*, ASA, v.9, p.499-510, 1965.

KERTZMANN, F. F. **Modificações na estrutura e no comportamento de um Latossolo Roxo provocado pela compactação**. São Paulo, 1996. 153 p. Tese (Doutorado) – USP, 1996.

KICHEL, A.N.; MACEDO, M.C.M.; **Milheto**: a opção forrageira para alimentar animais na época seca. Campo Grande: Embrapa: Embrapa-CNPGC, 1994, (EMBRAPA-Gado de Corte Informa, 2).

KICHEL, A. N.; MIRANDA, C. H. B.; TAMBASI, S. A. Integração agricultura-pecuária. SIMPÓSIO DE FORRAGICULTURA E PASTAGENS, 1. Lavras, 2000. **Anais...** Lavras, UFLA, p.51– 67. 2000.

KIHL, T.A.M.; FREITAG, E.E.; MELLO, L.M.M.; CORRÊA, J.C.; BACKES, C. Atributos físicos de um solo sob diferentes sistemas de preparo na região de Cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30, 2005, Recife. **Anais...** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, CD-ROOM, 2005.

KLEIN, V.A. Propriedades **físico-hídricas-macênicas de um Latossolo Roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo**. Piracicaba: ESALQ, 130p. 1998 (Tese de Doutorado em Agronomia).

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F. Manejo Sustentável dos solos dos Cerrados. In: KLUTHCOUSKI, J. STONE, L.F. AIDAR, H. (ed) **Integração Lavoura-pecuária**, Goiânia: Embrapa- Arroz e Feijão, p.61-104. 2003

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. OLIVEIRA, I.P.; THUNG, M. Bean yield as affected by mulch from different crops residues. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, East Lansing, v.44p.69-70, 2001.

KLUTHCOUSKI, J.; COBUCCI, T. AIDAR, H.; YOKOYAMA, L. P.; OLIVEIRA, I.P.de; COSTA, J.L.da S.; SILVA, J.G.da; VILELA, L.; BARCELLOS, A. de O.; MAGNOBOSCO, C.de U. **Sistema Santa Fé – Tecnologia Embrapa:** Integração lavoura-pecuária de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas de direto e convencional. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000, 28p. (Embrapa Arroz e Feijão Circular técnica, 38).

KONDO, M.K.; DIAS JUNIOR, M.S. Efeito do manejo e da umidade no comportamento compressivo de três latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:497-506, 1999.

LAINA, P.O. Soil change resulting from lom-term management pratics in Estern Nigeria. **Soil Siencie of America Journal**. Madison, 43:173-177, 1979.

LAL, R. Soil erosion from tropical arable lands and its control. **Advances Agronomy**, San Diego, 37:183-247, 1984.

LAL, R.; LOGAN, T. J.; FAUSEY, N. R. Long term tillage and whell traffic effects on a poorly drained mollic ocharaqualf in northwest Ohio. I. Soil physical properties, root distribution and grain yield of corn and soybean. **Soil Tillage Research**, v. 14, p. 341-55, 1989.

LAL, R. Soil quality and sustainability. In: LAL, R.; BLUM, W.H.; VALENTINE, C.; STEWRT, B.A. (eds) **Methods For Assessment Of Soil Degradations**, New York: CRP Press, p. 17-30, 1998.

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, 2005, Recife. **Anais...** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, CD-ROOM, 2005.

LEAL, M.A. de A.; DE-POLLI, H. Modelagem da matéria orgânica. In: SANTOS, G.de A.; CAMARGO, F.A.de. **Fundamentos da matéria orgânica do solo:** ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, p:437-484, 1999.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. 1 ed. Piracicaba: 1995, 497 p.

LILIENTFEIN, J.; FREIBAUER, A.; NEUFELDT, H.; WESTERHOF, R.; AYARZA, M.A.; SILVA, J.E.da; RESCK, D.V.S.; ZECH W. Influence of land-use on the distribution of water stable aggregates and P status of sndy and clayey “Cerrado” oxisols, Brazil. In: PERREIRA, R.C.; NASSER, L.C.B. SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 7, 1996, INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TROPICAL SAVANNAS, 1, BRASÍLIA, 1996. **Anais...** Planaltina: EMBRAPA-CPAC. 1996. p.323-328.

LOBATO, E.; SOUSA, D.M.G. Fertilidade do solo e máxima eficiência produtiva. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (ed). **Cerrado: correção e adubação do solo**, Planaltina: Embrapa-Cerrado, 2002, p.257-282.

LOPES, P. R.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa de tipo e quantidade de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na redução da erosão do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.11, n.1 p.71-75, 1987.

LEÃO, T. P. **Intervalo hídrico ótimo e diferentes sistemas de pastejo e manejo da pastagem**. Piracicaba: Esalq, 2002, 68p (Dissertação em Solos e Nutrição de Plantas – ESALQ).

LETEY, J. Relationship between soil physical conditions and crop production, *Advances Soil Science*, v.1 p:277-293, 1985.

MACEDO, M.C.M. Recuperação de áreas degradadas; Pastagens e cultivos intensivos In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, Goiânia, 1993. **Resumos...** Goiânia: SBCS, 1993. p.71-72.

MACEDO, M.C.M. Sustainability of pasture production in the Savannas of Tropical In: IINTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 28, Winnipeg e Saskatoon, Proceeding, Saskatoon, Canadá: **Extension Service, Saskatchewan Agriculture e Food**, Session 21, v.3, Grasslands p.391-399. 1997.

MACEDO, M.C.M. Sistemas de produção animal em pasto nas savannas da América: Limitações à sustentabilidade In: REUNIÓN LATINOAMERICANA DE PRODUCCIÓN ANIMAL, 16, CONGRESSO URUGUAIO DE PRODUCCIÓN ANIMAL, 3, 2000, Montevideo. **Anais...** Montevideu: Alpa, 2000 (CD-ROM)

MACEDO, M.C.M. Integração lavoura-pecuária: alternativas para sustentabilidade da produção animal. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 18, 2001. Piracicaba, **Anais...** Piracicaba, FEALQ, 2001, p.257-283.

MACEDO, M.C.M. Degradação, renovação e recuperação de pastagens cultivadas: ênfase sobre a região dos Cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 1, 2002, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV/Departamento de zootecnia, p.85-108. 2002.

MACEDO, M.C.M.; ZIMMER, A.H.; MIRANDA, C.H.B.; COSTA, F.P.; KANNO, T.; BONO, J.A.M.; FUKUDA, E. Result of soybean Yield. Animal Liveweighth Gain and Soil Fertility Changes in Agro-Pastoral Systems. In: SUENAGA, K. OSHIBE, A.; TANIGUCHI, T. Development of Sustainable Agro-Pastoral Systems in the Subtropical Zone of Brazil. Tsukuba, Japan, **JIRCAS Working Report**, n. 36, p. 15-18, 2004.

MAHBOUBI, A. A.; LAL, R.; FAUSSEY, N. R. Twenty-eight years of tillage effects on two soil in Ohio. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 57, p. 506-512, 1993.

- MANDAL, D.K.; KAR, S.; SHARMA, S.K. Effect of compaction on nitrogen mobility in coarse textured lateritic soil. *Indian Soci. Soil Science*. New Delhi, n.38 v.1 p.145-147, 1990.
- MANTOVANI, E. C. Técnicas de avaliação da compactação dos solos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA. 14. Cuiabá, 2002. **Resumos Expandidos**. Cuiabá: SBCS, 2002. CD-ROM.
- MATINEZ, L.J.; ZINCK, J.A. Temporal variation of soil compaction and deterioration of soil quality in pasture areas Colombian Amazonia. Amsterdam, **Soil Tillage Research**, v.75, p:3-17, 2004.
- MATTHEW, C., VAN LOO, E.N., THOM, E.R., DAWSON, L.A., CARE, D.A. Understanding shoot and root development. In: International Grassland Congress, 18., 2001. São Pedro. **Proceedings...** São Pedro: FEALQ, p.19-27. 2001.
- MELLO, L. M. M. **Integração agricultura-pecuária em plantio direto:** atributos físicos e cobertura residual do solo, produção de forragem e desempenho econômico. Ilha Solteira, 2001. 72 p. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, "Júlio de Mesquita Filho".
- MENDES, M.de L. **O nematóide de cisto da soja (Heterodera glycine)**. In: Cultura da Soja nos Cerrados. Piracicaba, s.l., POTAFOS, 1993. p.399-413.
- MEROTTO J. A.; MUNDSTOCK, C. M. Wheat root growth as affected by soil strength. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v. 23, p. 197-202, 1999.
- MIELNIZUCK, J.; CARPENEDO, V.; PEDO, F. Desenvolvimento de raízes em solos compactados. **Lavoura Arrozeira**. v. 38, p. 42-43, 1985.
- MURPHY, W.M.; MENA BARRETO, A.D.; SILMAN, J.P.; DINDAL, D.L. Cattle and sheep effects on soil organisms, fertility and compactation in a smooth-stalked meadowgrass-dominant white clover sward. **Grass and Forage Science**, v.50, p.191-194, 1995.
- MUZZILI, O. Fundamentos para o manejo do solo no sistema plantio direto, In: COUTO, E.G.; BUENO, J.F. (org.) REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14, 2004 Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: UFMT/SBCS, p.299-336, 2004.
- NASCIMENTO, V.; ALVES, M.C. Propriedades físicas de um solo de Cerrado em recuperação há 12 anos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30, 2005, Recife. **Anais...** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, CD-ROOM, 2005.
- NESMITH, D. S. Soil compaction in double-cropped wheat and soybeans on an Ultisol. **Soil Science of America Journal**, Madison, v.51, p. 183-6, 1987.

NOVOTNY; E.H.; MARTIN-NETO, L. Propriedades coloidais da matéria orgânica. In: SANTOS, G.de A.; CAMARGO, F.A.de. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, p:41-90, 1999.

OLIVEIRA, G.C; DIAS JÚNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.327-336, 2004.

OLIVEIRA, R.M. de. **Resposta do feijão de inverno a doses de nitrogênio no sistema de plantio direto e efeito de palhadas no desenvolvimento do mofo branco**. 2001, 88p. (Tese de Doutorado em Agronomia na Universidade Federal de Goiás – Goiânia).

OLIVEIRA, M.; CURI, N.; FREIRE, J.C. Relações massa/volume em Podzólico Vermelho-Amarelo textura média/argilosa da região de Lavras (MG) sob pastagem e cultivo anual. Lavras, **Ciência e Prática**, v7, p:66-74, 1983.

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, ESALQ-USP 2001. (Dissertação de Mestrado).

PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C. DE (EDS). Fundamentos do pastejo rotacionado. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 14. Piracicaba, 1997. **Anais...** Piracicaba, ESALQ / USP. p 26-28.

PETTER, R. L. **Desenvolvimento radicular da soja em função da compactação do solo, conteúdo de água e fertilidade**. Santa Maria, 1990. 144 p. (Dissertação de Mestrado) – UFSM, 1990.

PIMENTAL-GOMES, F.; GARCIA, C.H.; **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Piracicaba: FEALQ, 309p., 2002.

PINZÓN, A., AMEZQUITA, E. Compactación de suelos por el pisoteo de animales en pastoreo en el piedemonte amazónico de Columbia. **Pasture Tropicales**, n.3, v.2, p.21-26, 1991.

PITOL, C.; GOMES, E.L.; ERBES, E.I. Avaliação de cultivares de soja em plantio direto sobre brachiárias. In: FUNDAÇÃO MS. **Resultados de pesquisa e experimentação**: safra 2000/2001. Maracajú, 2001. p.40-48.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo**, (5ª ed.) São Paulo: Nobel, 1982. 541p.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico de pastagens**: Em regiões tropicais e subtropicais. São Paulo: Nobel, 1986. 180p.

PRUSKI, F. F.; VENDRAME, V.; OLIVEIRA, E. F. de; BALBINO, L. C.; FERREIRA, P. A.; WERLANG, L.; CARVALHO, L. T. de. Infiltração da água num Latossolo roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, p. 77-84, 1997.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, Planta e Atmosfera: conceitos, processos e aplicações**, Barueri: Manole, p. 478, 2004.

REINERT, D.J. **Soil structural form and stability induced by tillage in a Typic Hapludalf**. East Lansing, Michigan State University, 1990. 129p. (Tese de Doutorado).

REICHERT, J.M.; DA VEIGA, M.; CABEDA, M.S.V. Selamento superficial e infiltração de água em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v16, p:289-298, 1992.

REICHERT, J.M.; REINERT, J.D.; SILVA, V.R.da. Compactação do solo em sistema de plantio direto: limites críticos e mitigação, In: COUTO, E.G.; BUENO, J.F. (Org.) REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14, 2004, Cuiabá, **Anais...** Cuiabá, SBCS/UFMT, p.167-198, 2004.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; CASSOL, E.A.; SILVA, V.R.da. A infiltração da água no solo sob manejo conservacionista. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30, 2005, Recife. **Anais...** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, CD-ROOM, 2005

RESENDE, M.; KER, J.C.; BAHIA, A.F.C. Desenvolvimento sustentado do Cerrado. In: ALVAREZ, V.H.; FONTES, L.E.; FONTES, M.P.F. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**, Viçosa, SBCS/UFV, 1996. p.169-199.

RESCK, D.; PEREIRA, J.; SILVA, J.E.da **Dinâmica da matéria orgânica na região dos Cerrados**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1991 22p. (EMBRAPA-CPAC Documentos 36).

RESCK, D.V.S. Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos nas propriedades do solo, In: ENCONTRO NACIONAL DE ROTAÇÃO DE CULTURA, 2, 1993, Campo Mourão. **Anais...** Associação dos Eng. Agr. de Campo Mourão, p:117-137, 1993.

RESCK, D.V.S. Manejo de solo e sustentabilidade dos sistemas agrossilvipastoris na região dos Cerrados, In: PEREIRA, R.C.; NASSER, L.C.B. SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 8, 1996, Brasília, **Anais...**, Planaltina: CPAC, p:81-89, 1996.

RESCK, D.V.S. Agricultural intensification systems an their impact on soil and water quality in the Cerrados od Brazil. In: LAL, R. (ed.) **Soil quality an agricultural sustainability**. Clesea: Ann Arbor Press, p. 288-300. 1998

RESCK, D. V. S. O plantio direto como alternativa de sistema de manejo e conservação do solo e da água na região dos Cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, Brasília, 1999. **Resumo expandido**. Brasília: SBCS, 1999. CD-ROM.

RESK, D. V. S. Perspectivas do uso e manejo dos solos no Cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13, Ilhéus, 500 Anos de uso do solo no Brasil, **Anais...** Ilhéus: SBCS, 605p. 2002.

ROSS, L.C.; Impacto econômico da integração agricultura-pecuária em plantio direto. In: ENCONTRO REGIONAL DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 4, 1999, Uberlândia. **Plantio direto na integração lavoura-pecuária**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, p:25-30, 2000.

ROMEIRO, A. R. **Meio ambiente e dinâmica de inovações na agricultura**. São Paulo: Annablume / FAPESP, 1998. 277 p.

SALIRE, E.V.; HAMMEL, J.E.; HARDCASTLE, J.H. Compression of intact subsolis under short – duration loading. Amsterdam, **Soil Tillage Research**, v31, p:235-248, 1994.

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)

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. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 29).

SANTOS, J.L.S.; CASTRO, L.M.; COSTA, A.R.; BALBINO, L.C. Resistência a penetração do solo no sistema de integração lavoura pecuária em Cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30, 2005, Recife. **Anais...** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, CD-ROOM, 2005.

SARAIVA, O.F.; TORRES, E. **Estimação da cobertura do solo por resíduos culturais**. Londrina: Embrapa-CNPSO, 1993 4p. (Embrapa – CNPSO, Pesquisa em andamento, 14).

SECCO, D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; DA ROS, C.O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. Viçosa, **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 28, p:797-804, 2004

SEGUY, L.; KLUTHCOUSKI, J. SILVA, J.G.; BLUMENSCHNEIN, F.N. DALL'AGUA, F.M. **Técnicas de preparo de solo: efeitos na fertilidade do solo e na conservação do solo ervas daninhas e na conservação da água.** Goiânia, EMBRAPA-CNPAP, p. 20, 1984. (Circular Técnica 17).

SHEATH, G.W., CARLSON, W.T. Impact of cattle treading on hill land 1. Soil damage patterns and pasture status. **New Zealand Journal Agriculture Research**, n.41, p.271-278, 1998.

SEPLAN-MS. **Atlas Multireferencial de Mato Grosso do Sul.** Campo Grande-MS: SEPLAN-MS. 1990.

SILVA, G.P.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. Respostas de espécies de gramíneas forrageiras a camadas compactadas de solo. Viçosa, **Revista Ceres**, v.39, p:31-43, 1992.

SILVA, C.L.; KATO, E. Avaliação de modelos para previsão da infiltração de água em solos sob Cerrados, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília: v.33, n.7 1998.

SILVA, C.L.; KATO, E. Efeito do selamento superficial na condutividade saturada da superfície de um solo sob Cerrado, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32 n.2 p.213-220, 1997.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 21, p. 313-319, 1997.

SILVA, V.R. da; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**, v.30 p:795-801, 2000.

SILVA, A.P.; IMHOFF, S; TORMENA,C.A; LIMA,C.R.;TAHAMA,R.S. Qualidade física de solos sob sistemas intensivos de pastejo rotacionado. In:Simpósio Sobre a Pastagem, 19, 2002, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, p.79-97. 2002.

SILVA, M.L.N.; BLANCANEAUX, P.; CURI, N.; LIMA, J.M.de; MARQUES, J.J.G. de S.; CARVALHO, A.M. de, Estabilidade e resistência de agregados de Latossolo Vermelho-Escuro cultivado com sucessão milho-adubo verde. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33 n.1 p.97-103, 1998.

SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; IMHOFF, S. Intervalo hídrico ótimo. In: MORAES, M.H.; MULLER, M.M.L.; FOLONI, J.S.S. (ed.) **Qualidade física do solo**, Jaboticabal: FUNEP, 2001. p.1-20.

SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; MOZZA, J.A. Manejo físico de solos sob pastagem. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. (ed.) **SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM**, 14, Piracicaba, 1997. **Anais...** Piracicaba: ESLQ, p. 25-37, 1997.

SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; CORAZZA, E.J.; VIVALDI, L. Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in the "Cerrado" region Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.103, p.357-363, 2004.

SINGLETON, P.L., ADDISON, B. Effects of cattle treading on physical properties of three soils used for dairy farming in the waikato, north island, new zealand. **Australian Journal Soil Research**, n.37 p.891-902. 1999.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K.; A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v.79, p.7-31.

SIQUEIRA, R. Sistemas de preparo do solo e plantio direto. In: MORAES, M.H.; LOPES, M.M.; FOLONI, J.S.S. **Qualidade física do solo: métodos de estudo-sistemas de preparo do solo**, Jaboticabal, FUNEP, 2001. p88-149.

SKDIMORE, E.T.; CRASTENSON, N.A.; BAMBURY, E.E. Change resulting from cropping. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, 39:964-967, 1975.

SOUSA, A.R.; SILVA, A.B.; RESENDE, M. Influência da pressão exercida por pisoteio de animais na compactação do solo do vale do Pajeú, em Pernambuco. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12, 1998, Fortaleza, **Anais...**, Fortaleza: SBCS, p:327, 1998.

SPERA, S.T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R.S.; TOMM, G. O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. Viçosa, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p:533-542, 2004.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, p. 395-401, 2001.

STONE, L. F.; MOREIRA, J.A.A.; KLUTHCOUSKI, J. Influência das pastagens na melhoria dos atributos Físico-Hídricos do solo. In: KLUTHCOUSKI, J. STONE, L.F. AIDAR, H. (ed.) **Integração Lavoura-pecuária**, Goiânia: Embrapa- Arroz e Feijão, 2003. p.171-181.

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M. ; PARKER Jr, J. J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, Baltimore, v. 102, p. 18-22, 1966.

TAYLOR, H. M.; GARDNER. H. R.; Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulky density, moisture content and strength soil. **Soil Science Society American Proceeding**, Madison, v. 102, p. 153-6, 1963.

TAYLOR, S.A.; ASHCROFT, G.L.; **Physical edaphology**. San Francisco, W.H. Freeman. 5323p. 1972.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregation in soils. **Soil Science**, n.33, p.141-163, 1982.

TEIXEIRA NETO, M.L. **Efeito de espécies vegetais para cobertura no sistema de plantio direto na região dos Cerrados, sobre as propriedades do solo**. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2002, 151p. (Dissertação de Mestrado em Agronomia- UFG).

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G.; SÁ, J.C.M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p:301-309, 1998.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 573-581, 1998b.

TORMENA, C.A.; BARBOSA, M.C.; DA COSTA, A.C.S.; GONÇALVES, A.C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo, Piracicaba, **Scientia Agrícola**, v.59, p:795-801, 2002.

TORMENA, C.A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J.C.; COSTA, A.C.S.; FIDASLSKI, 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, p:1023-1024, 2004

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimentos do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 23).

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**, Viçosa, v.15, n.1 p:105-111, 1991

URQUIAGA, S., CADISCH, G., ALVES, B.J.R., BODDEY, R.M., GILLER, K.E. Influence of decomposition of roots of tropical forage species on the availability of soil nitrogen. **Soil Biology and Biochemistry**, v.30, p.2099-2106, 1998.

VEBRASKAS, M.J. Pant response Mechanisms to Soil Compaction, In: Wilkinson, R.; (ed) **Plant Enviorement Interactions**, New York, Book in Soil Plant and The Enviroment, 1994 p.263-287.

VERDADE, F.C. **Zoneamento agrícola do estado de São Paulo**, v.1, 1974.

VEZZANI, F.M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. Porto Alegre, UFRGS, 184p, 2001 (Tese de Doutorado em Ciência do Solo).

VIEIRA, M. J.; MUZILLI, O. Características físicas de um Latossolo Vermelho-escuro sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 19, p. 873-882, 1984.

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. (ed.) **Integração Lavoura-pecuária**, Goiânia: Embrapa- Arroz e Feijão, 2003. p.107-127.

VIVALDI, L. **Análise de experimentos com dados retidos ao longo do tempo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, 1999, Brasília, Minicurso 6, SBCS-CPAC, 26p. 1999.

YORINORI, J.T.; CHARCHAR, M.J.D'A.; NASSER, L.C.B.; HENNING, A.A. Doenças da soja e seu controle. In: **Cultura da soja nos Cerrados**. Piracicaba, SP. POTAFOS, 333-390. 1993.

ZIMMER, A.H.; CORREA, E.S., A pecuária nacional, uma pecuária de pasto? In: PAULINO, V.J.; FERREIRA, C.G. **Recuperação de pastagem**, Nova Odessa, Instituto de Zootecnia, 1999. p.21-32.

ZIMMER, A. H.; MACEDO, M.C.M.; BARCELLOS, A. DE O.; KICHEL, A.N. Estabelecimento e recuperação de pastagem de *Brachiaria*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 11, 1994, **Anais...** Piracicaba: FEALQ, p.153-208, 1999.

WHITELEY, G.M.; UTOMO, W.H.; DEXTER, A.R. A comparison of penetrometer pressures and the pressure exerted by roots. **Plant Soil**, The Hague. V.61, p;351-364, 1981

WHITE, D.H.; ELLIOT, B.R.; SHARVEY, M.J.; REEVES, T.G. Efficiency of land-use systems involving crops and pastures. **Journal Australian Institute Agriculture Science**, p.21-27, 1978.

WOOD, M.K.; BLACKBURN, W.H. Vegetation and soil responses to cattle grazing systems in the Texas rolling plains. **Journal Range Management**, v.37, p:303-308, 1984.