Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo

Effects of pasture system management on physical properties

Rogério Resende Martins Ferreira[1]; João Tavares Filho[2*]; Vinicius Martins Ferreira[3]

Resumo

A qualidade física do solo está associada à infiltração, retenção e disponibilização de água às plantas; responde ao manejo e resiste à degradação; permite as trocas de calor e de gases com a atmosfera e raízes de plantas e permite o crescimento das raízes. Objetivou-se nesta revisão reunir informações sobre a qualidade do solo e os efeitos das ações antrópicas dos sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas. Dentre os parâmetros propostos para estudo da qualidade do solo com pastagens, incluem-se a cobertura vegetal, a erosão hídrica, a matéria orgânica, a estabilidade de agregados, a macrofauna do solo, a densidade, a porosidade e a retenção de água no solo, pois os mesmos permitem distinguir os efeitos proporcionados pelos sistemas de manejo nos solos e contribuem para o monitoramento do manejo das pastagens.

Palavras-chave: Cobertura vegetal, matéria orgânica, estabilidade de agregados, densidade, porosidade, retenção de água

Abstract

The soil physical quality is associated with infiltration, retention and availability of water for plants respond to the management and resists degradation, allows the exchange of heat and gases with the atmosphere and allows plant roots and root growth. The objective of this review is to gather information on soil quality and the effects of anthropogenic systems of pasture management on physical properties. Between physical properties proposed for study of soil quality in pastures, to include vegetation, water erosion, organic matter, aggregate stability, soil macrofauna, density, porosity and water retention in soil because they distinguish the effects caused by soil management systems and contribute to the monitoring of pasture management.

Key words: Vegetative covering, organic material, aggregate stability, density, porosity, water retention

[1] Eng. Agr. Dr., Vice Coordenador do projeto Maria de Barro. E-mail: rogerioferreir@yahoo.com.br

[2] Prof. Dr. do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, UEL, Caixa Postal 6001, cep 86051-990. Londrina, PR. E-mail: tavares@uel.br

[3] Coordenador do Projeto Maria de Barro e Tecendo a Rede Voçorocas, BNDES/FNMA. E-mail: mariadebarro.crides@yahoo.com.br

* Autor para correspondência.

Recebido para publicação 12/02/09 Aprovado em 19/10/10

Introdução

Os sistemas agrícolas que associam a monocultura ao uso de equipamentos inadequados de preparo do solo resultam em rápida degradação do solo. O mesmo acontece quando se faz uso de pastagens constituídas de forrageiras exigentes em fertilidade, num regime extensivo de pastejo, onde não se faz a correção e adubação do solo. Dessa forma, áreas com pastagens extensivas têm usado como alternativa, forrageiras mais rústicas, como as do gênero *Brachiaria* (MOREIRA et al., 2005).

Estima-se que o Brasil possua, atualmente, cerca de 100 milhões de hectares de pastagens cultivadas, das quais mais de 60% são de espécies do gênero *Brachiaria* (RAO; KERRIDGE; MACEDO 1996). A *Brachiaria brizantha* é originária de uma região vulcânica da África, onde os solos geralmente apresentam bons níveis de fertilidade, porém a maioria de suas espécies é adaptada a solos de baixa fertilidade (RAO; KERRIDGE; MACEDO, 1996, SANTOS et al., 2008a). Conforme Santos e Monteiro (1999), estima-se que pastagens de braquiárias ocupem mais de 40 milhões de hectares no Brasil e a *Brachiaria decumbens* Stapf., junto com a *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, representam mais de 85 % dessa área. Segundo Fonseca et al. (2007), a *Brachiaria* sp. é a principal pastagem cultivada na região Centro-Oeste, devido à sua adaptabilidade às condições edafoclimáticas, sua grande produção de fitomassa, relativa facilidade de eliminação e por não ser hospedeira de patógenos das principais culturas.

O manejo animal extensivo, em geral, não obedece ao ciclo de desenvolvimento das forrageiras. Com o passar do tempo, as forrageiras não conseguem manter bom desenvolvimento, devido ao consumo da massa verde pelo animal, a falta de reposição dos nutrientes, a acidificação do solo, a perda da matéria orgânica e a compactação do solo diminuindo a eficiência das pastagens. Com isso, pragas, plantas daninhas e, principalmente, a erosão hídrica, nos seus diversos estágios, passam a ocorrer na paisagem dessas pastagens. Dependendo do estágio de degradação das pastagens e, consequentemente, do índice de cobertura do solo, têm sido relatadas perdas do solo ao redor de 17 t ha^{-1} ano^{-1} (SANTOS 1997, MOREIRA et al., 2005). Segundo Kichel, Miranda e Zimmer (1997), a degradação de pastagem é um termo usado para designar um processo evolutivo de perda de vigor, de produtividade e da capacidade de regeneração natural de uma dada pastagem, tornando-a incapaz de sustentar os níveis de produção e qualidade exigidos pelos animais, e de superar os efeitos nocivos de pragas, doenças e plantas invasoras. Para Schaefer et al. (2002), a degradação das pastagens ocorre com perda de matéria orgânica proporcional à sua concentração no solo, além de perdas de nutrientes como fosforo, potássio, cálcio e magnésio.

Müller et al. (2001) confirmaram que, em áreas degradadas, a redução da produção da pastagem é acompanhada pela diminuição do número de raízes no perfil do solo e pela concentração do sistema radicular próximo à superfície, tornando a planta mais susceptível a déficits hídricos e com limitada capacidade de absorver nutrientes em camadas subsuperficiais.

A adoção de mesma lotação durante todo o ano é uma prática comum para maioria dos criadores do Brasil, o que ocasiona utilização do pasto além da capacidade de suporte no período de estiagem, fato que contribui para acelerar o processo de degradação (SILVA et al., 2004). Os produtores que trabalham com pastejo contínuo em *Brachiaria decumbens* não realizam, em sua maioria, investimentos consideráveis no sistema (LEÃO et al., 2004). O pisoteio animal em toda superfície e, às vezes, repetidamente no mesmo local, pode promover drásticas alterações nas condições físicas do solo para o crescimento do sistema radicular. A extensão e a natureza destes efeitos são determinadas pela taxa de pisoteio, pelo tipo de solo e, principalmente, pela umidade do solo na ocasião do pastejo. O pastejo realizado em condições de umidade elevada maximiza a degradação física do solo, prejudicando

o crescimento de plantas (BETTERIDGE et al., 1999).

Segundo Albuquerque, Sangoi e Ender (2001), a compactação do solo causada pelo pisoteio animal tem sido apontada como uma das principais causas da degradação de áreas cultivadas em sistema de integração lavoura-pecuária. O processo de compactação reduz a densidade e a macroporosidade do solo, aumenta a resistência deste para o crescimento radicular em condições de baixa umidade, e em condições de excesso de umidade reduz sua oxigenação. Deste modo, a maioria dos estudos que avaliam os efeitos do pisoteio sobre a qualidade física do solo se baseiam na quantificação da densidade do solo (MAPFUMO et al., 2000) e outras propriedades físicas afetadas pela compactação, tais como: resistência à penetração (IMHOFF; SILVA; TORMENA, 2000a, 2000b), características de retenção de água (BELL et al., 1997) e infiltração (LEÃO et al., 2004). Para Flores et al. (2007), a utilização de sistemas de manejo do solo que envolvam pastejo animal pode acarretar mudanças nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, o que pode afetar o crescimento e desenvolvimento radicular (SILVA et al., 2003) e a produção das culturas implantadas na seqüência do pastejo (SILVA et al. 2003; ALBUQUERQUE; SANGOI; ENDER, 2001; SALTON et al., 2002).

A magnitude dessas alterações, principalmente nos atributos físicos do solo, está na dependência do manejo que é aplicado nas áreas sob pastejo, podendo variar com a textura, o teor de matéria orgânica (SMITH; JOHNSTON; LORENTZ, 1997), a biomassa vegetal sobre o solo (SILVA et al. 2005; MELLO, 2002), a espécie de planta, a intensidade e tempo de pastejo e a espécie e categoria animal (SALTON et al., 2002). Por alterarem atributos físicos relacionados com a compactação do solo, essas alterações também podem alterar o comportamento compressivo do solo (SILVA, REINERT; REICEHRT, 2002).

Para Lanzanova et al. (2007), o grau de compactação provocado pelo pisoteio bovino é influenciado pela textura do solo, sistema de pastejo (LEÃO et al., 2004), altura de manejo da pastagem (CASSOL, 2003), quantidade de resíduo vegetal sobre o solo (BRAIDA et al., 2004) e umidade do solo (BETTERIDGE et al., 1999). No entanto, o efeito do pisoteio animal sobre as propriedades físicas do solo é limitado às suas camadas mais superficiais podendo ser temporário e reversível (CASSOL, 2003). Para Moreira et al. (2005), em áreas degradadas sob sistema extensivo, normalmente, não se leva em consideração a capacidade de suporte do pasto que permita a manutenção de determinado número de gemas ativas para rebrotamento da forrageira, nem o período de ocupação que permita à forrageira completar o período ideal de rodízio do gado. Bertol et al. (1998) relatam que o excesso de carga animal ocasionado por diferentes lotações sobre as pastagens pode afetar algumas propriedades do solo, aumentar a susceptibilidade à erosão hídrica e diminuir a capacidade produtiva.

Para a maioria das regiões pastoris dos estados da região Sudeste do Brasil, verifica-se a ocorrência da redução no crescimento das forrageiras tropicais, sobretudo no inverno seco, face à baixa umidade do solo, queda de temperatura e radiação solar (SANTOS et al., 2008a). Na região do Cerrado, a redução da disponibilidade de água no solo pode prejudicar ou até mesmo limitar o desenvolvimento de algumas forrageiras (MULLER et al., 2002) e pode se tornar um fator limitante no estabelecimento de pastagens de inverno (LIMA et al., 2006); fato que tem levado à criação de novas tecnologias (integração lavoura-pecuária, plantio direto associado a rotação de culturas) para exploração dessa região.

Por outro lado, a transformação de ambientes naturais, como o Cerrado, em sistemas agrícolas tem provocado a degradação de extensas áreas, em conseqüência de sua exploração inadequada. Além disso, tem havido uma pressão social e econômica para a produção de alimentos nos últimos anos, que tem provocado a inclusão de áreas de solos de baixa aptidão agrícola (FONSECA et al., 2007).

A "qualidade do solo" – "solo apto para o uso" ou "capacidade do solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema, sustentando a produtividade biológica, mantendo a qualidade do meio ambiente e promovendo a saúde das plantas e dos animais" (LARSON; PIERCE, 1991; ANDREWS et al., 2003; DORAN; PARKIN, 1994; MARCHÃO et al., 2007) é um conceito para quantificar os efeitos das ações antrópicas no ambiente, notadamente aqueles relacionados com a sustentabilidade das práticas agrícolas (WANDER; DRINKWATER, 2000; ANDREWS et al., 2003). Assim como o ar e a água, a qualidade do solo está diretamente relacionada com a "saúde" e produtividade dos ecossistemas terrestres. No entanto, quanto aos solos, possivelmente devido às influências de fatores relativos à sua gênese, variabilidade, uso, manejo e dadas as diversas funções que pode desempenhar, tem sido difícil para os pesquisadores estabelecer critérios universais para definição e quantificação da sua qualidade (GLOVER; REGANOLD; ANDREWS, 2000; MARCHÃO et al., 2007).

Considerando a qualidade física do slo uma área de pesquisa em expansão (LAL, 2000; REYNOLDS et al., 2002; COSTA; GOEDERT; SOUSA, 2006), objetivou-se nesta revisão reunir informações sobre a qualidade do solo e os efeitos das ações antrópicas dos sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas.

Cobertura vegetal e erosão hídrica

A utilização de práticas conservacionistas de manejo do solo tem recebido grande ênfase atualmente, basicamente no que se refere à manutenção e à melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos cultivados e suas implicações no rendimento das culturas. A cobertura do solo por plantas e, ou, seus resíduos determina também maior conteúdo de água no solo, pelo aumento da capacidade de retenção e redução da evaporação (CAMPOS et al., 1994). Como conseqüência, a maior umidade e a menor temperatura em solos cobertos por resíduos de culturas (SALTON; MIELNICZUK, 1995) favorecem a germinação das sementes e o desenvolvimento inicial das plantas (ARGENTON et al., 2005). As melhorias nas propriedades físicas do solo com plantas de cobertura podem advir do maior aporte de resíduos orgânicos e da baixa taxa de mineralização (SPAGNOLLO et al., 2002). O aumento do carbono orgânico em sistemas conservacionistas é, geralmente, companhado pelo aumento dos teores de nutrientes, principalmente N, adicionados pelos resíduos das plantas de cobertura, com conseqüente aumento da produtividade da cultura principal (SPAGNOLLO et al., 2002; GIACOMINI et al., 2003). Portanto, além dos benefícios observados na estrutura do solo, as culturas intercalares nos sistemas conservacionistas aportam mais nutrientes, controlam a erosão, reduzem a ocorrência de plantas indesejáveis e, assim, melhoram a qualidade do solo (ARGENTON et al., 2005).

A cobertura do solo, proporcionada pelos resíduos culturais deixados na superfície, tem ação direta e efetiva na redução da erosão hídrica, pois promove a dissipação da energia cinética das gotas da chuva, diminuindo a desagregação das partículas de solo e o selamento superficial, e aumentando a infiltração de água. Atua, ainda, na redução da velocidade do escoamento superficial e, conseqüentemente, no potencial erosivo da enxurrada (COGO; LEVIEN; SCHWARZ, 2003; ZHOU et al., 2002). A porcentagem de cobertura do solo proporcionada pelos restos de culturas é fundamental na redução das perdas de solo por erosão hídrica (PIRES et al., 2006; PANACHUKI et al., 2006).

A cobertura do solo, a rugosidade da superfície e as propriedades físicas nas camadas, superficial e subsuperficial do solo são fatores têm forte influência na erosão hídrica dos solo (MARTINS et al., 2002; PIRES et al., 2006). O microrrelevo superficial é influenciado pelo preparo do solo (BERTOL et al., 2006; CASTRO; COGO; VOLK, 2006), que afeta o volume de poros da camada preparada e que, com a cobertura por resíduos vegetais, influencia a

armazenagem de água na superfície, a infiltração de água no solo, a velocidade e o volume de enxurrada, a retenção de sedimentos (DARBOUX; HUANG, 2005) e, conseqüentemente, as perdas de solo (BERTOL et al., 2006). O microrrelevo superficial é dependente: do tipo e da intensidade de preparo, e do teor de água do solo antecedente ao mesmo; da quantidade, tipo e manejo de resíduo vegetal existente no solo; e do tipo de solo (BERTOL et al., 2006; CASTRO; COGO; VOLK, 2006). O decaimento da rugosidade é influenciado pelo volume e intensidade de chuvas e de enxurrada, e pelo tipo e manejo do solo (BERTOL et al., 2006; CASTRO; COGO; VOLK, 2006). Ainda, a rugosidade é afetada pela densidade e porosidade do solo, e pela estabilidade de agregados em água (BERTOL et al., 2006), que dependem do manejo do solo e, por isso, influenciam a qualidade da estrutura e regulam a velocidade e o grau de sua degradação (BERTOL; GONZÁLEZ; VÁSQUEZ, 2007).

A rotação de culturas, com o uso de plantas de cobertura do solo, além de proteger o solo contra os agentes erosivos, contribui para melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (OLIVEIRA et al., 2002; SILVA; INHOFF; CORSI, 2003). Para Silva et al. (2005) a erosão hídrica deve ser estudada considerando-se a erodibilidade do solo, que representa o efeito integrado dos processos que regulam a infiltração de água e a resistência do solo à desagregação e o transporte de partículas, ou seja, sua predisposição à erosão. A erosão hídrica do solo ocasiona empobrecimento do solo (perda de nutrientes) (SCHICK et al., 2000; BERTOL et al., 2003; GUADAGNIN et al., 2005), além de contaminar os mananciais e outras áreas fora do local de origem da erosão (SCHICK et al., 2000) e diminuir a produtividade agrícola do solo. A contaminação dos mananciais, neste caso, é ocasionada pela enxurrada superficial, a qual transporta sedimentos coloidais que contêm nutrientes, em geral, em altas concentrações. Além disso, a água da enxurrada transporta nutrientes solúveis, alguns deles em altas concentrações (SCHICK et al., 2000; GUADAGNIN et al., 2005), podendo provocar a eutrofização das águas onde se depositam.

A concentração de determinado nutriente na enxurrada varia principalmente com sua concentração no solo, que é influenciada pelo tipo de solo, pelas adubações e pelo tipo de manejo empregado (SCHICK et al., 2000; GUADAGNIN et al., 2005). A quantidade total do nutriente transportado pela erosão hídrica, no entanto, depende da sua concentração no material erodido e do volume total desse material perdido pela erosão (SCHICK et al., 2000; BERTOL et al., 2003; GUADAGNIN et al., 2005). A fração coloidal e a matéria orgânica são os primeiros constituintes a serem removidos pela erosão hídrica, tendo em vista a sua baixa densidade (SCHICK et al., 2000; SILVA et al., 2005). Segundo Martins, Miranda e Miranda (1999), a associação entre o desenvolvimento vegetal e a atividade microbiana é fator importante na recuperação de solos degradados, pois, mesmo quando profundamente alterados, eles podem manter uma comunidade microbiana ativa (ALVES; SUZUKI; SUZUKI, 2007).

Para Silva et al. (2007), o uso de plantas de cobertura, além de oferecerem as condições favoráveis ao crescimento e desenvolvimento da cultura, fundamentam a sustentabilidade dos sistemas de produção. A importância de uma vigorosa colonização do solo pelo sistema radicular das gramíneas reside, também, no fato de que as espécies dessa família têm grande importância na reestruturação da camada arável, tornando o solo mais resistente à ação do impacto das gotas de chuva e menos propenso à erosão.

Matéria orgânica

A matéria orgânica do solo (MOS) compreende componentes vivos e não-vivos. Os componentes vivos são as raízes de plantas, a fauna e os microrganismos do solo, sendo que os últimos correspondem a 60 – 80 % do total. Os componentes

não-vivos incluem a matéria macrorgânica, constituída de resíduos de plantas em decomposição, as substâncias humificadas e as não-humificadas. As substâncias não-humificadas incluem carboidratos, lipídeos, aminoácidos, proteínas, ligninas, ácidos nucléicos, pigmentos e uma variedade de ácidos orgânicos. Por sua vez, as substâncias humificadas, que constituem de 70 a 80 % da matéria orgânica na maioria dos solos minerais, são compostas pelas frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e huminas. As substâncias húmicas são produtos das transformações químicas e biológicas dos resíduos vegetais e animais, assim como da atividade da microflora do solo. A elevada estabilidade das substâncias húmicas é atribuída à sua estrutura química complexa e às suas interações com minerais de argila e com cátions metálicos, que se expressam na formação dos agregados (PASSOS et al., 2007).

Como a microbiota do solo é a principal responsável pela decomposição dos compostos orgânicos, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia do solo, a biomassa microbiana e sua atividade têm sido apontadas como as características mais sensíveis às alterações na qualidade do solo, causadas por mudanças de uso e práticas de manejo, como as promovidas pela aplicação de resíduos orgânicos (SALTON et al., 2008). Para Fonseca et al. (2007), a biomassa microbiana é a fração viva da matéria orgânica do solo, sendo esta considerada um reservatório lábil de nutrientes, que atua de forma ativa na decomposição de resíduos, no fluxo de energia no solo e na ciclagem de nutrientes.

Dentre os componentes da MOS, os microrganismos são um dos mais afetados pelo uso e manejo do solo, exercendo ação importante na agregação dos solos. Práticas de cultivo aumentam a oxidação da MOS pela quebra dos agregados do solo, expondo novas superfícies ao ataque de microrganismos. Um dos principais atributos do solo relacionados a sua qualidade é a formação de macroagregados estáveis, os quais são responsáveis pela estrutura do solo, entre outras propriedades emergentes (PASSOS et al., 2007).

Em sistemas agrícolas, a dinâmica da matéria orgânica é influenciada não só pelo manejo, por meio da seleção de culturas e formas de preparo do solo, mas também pela adição de fertilizantes e materiais orgânicos, que influem positivamente nos processos de decomposição e mineralização da matéria orgânica (PORTUGAL et al., 2008). Para Busato et al. (2005), uma importante função da matéria orgânica do solo diz respeito ao fornecimento de nutrientes aos vegetais, principalmente em relação ao P, elemento mais limitante no desenvolvimento da agricultura em solos altamente intemperizados de ambientes tropicais. Nesses solos, o componente orgânico representa parte considerável do conteúdo disponível de P (TURNER; MAHIEU; CONDRON, 2003), que contribui para a nutrição das plantas, pela sua mineralização. Segundo Sarmento et al. (2008a), quando a matéria orgânica do solo é mineralizada, transformando o material orgânico em substâncias orgânicas (ácidos orgânicos e húmus) e mineralizadas (nitratos, fosfatos, sulfatos, formas amoniacais, gás carbônico, água, etc.), há aumento das cargas negativas do solo e elevação do pH. A ocorrência de sítios negativamente carregados responde à habilidade de a matéria orgânica reter cátions no complexo sortivo do solo, cuja contribuição pode atingir até 80 % da CTC do solo. Estudos de Fonseca et al. (2007), em Latossolo Vermelho distrófico após três anos de avaliação de matéria seca de culturas de arroz, milho e soja, sempre consorciadas com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, e feijão solteiro no outono-inverno, sob a palhada da braquiária dessecada, em sistema plantio direto, aumentou cerca de 30% no teor de matéria orgânica na camada superficial do solo (0-5 cm), em áreas sob rotação pastagem/lavoura.

Estabilidade de agregados

A agregação é um dos parâmetros que podem ser utilizados para medir a qualidade do solo, pois a manutenção da estrutura do solo facilita a aeração e a infiltração de água e reduz a erodibilidade.

A estabilidade dos agregados é influenciada por diversas características do solo, como textura (FELLER et al.,1996), teor de óxidos de ferro e alumínio, teor de matéria orgânica (FELLER et al., 1996; BERTOL et al., 2006) e atividade microbiana (TISDALL; OADES, 1979) e também pelo manejo do solo (NEVES; FELLER; KOUAKOUA, 2006). Os agregados são fatores de grande importância para a conservação do solo por conferirem maior resistência ao processo erosivo, proteção à matéria orgânica e, conseqüentemente, à população microbiana. Por outro lado, a matéria orgânica exerce um importante papel na formação de agregados, como agente cimentante (FONSECA et al., 2007).

As partículas primárias livres e agregados de tamanho de silte são unidos por agentes ligantes persistentes, como matéria orgânica humificada ou complexos com cátions polivalentes, óxidos e aluminossilicatos, formando microagregados (20 a 250 μm) (TISDALL; OADES,1982). Esses microagregados estáveis são unidos por agentes ligantes temporários (raízes ou hifas de fungos) e transientes (polissacarídeos derivados de microrganismos ou plantas), resultando em macroagregados (> 250 μm). Dessa forma, os microagregados foram classificados como mais estáveis e menos suscetíveis às práticas agrícolas de manejo do que os macroagregados. Logo em seguida, Oades (1984) acrescenta uma alteração ao modelo hierárquico, na qual propõe que raízes e hifas atuam como núcleos de formação de microagregados e, por serem ligantes temporários, ao se decomporem, formam fragmentos recobertos por mucilagens e incrustados de argilas, dando origem a novos agregados. Quando uma das culturas do sistema é a pastagem, esses efeitos ocorrem de forma acentuada e relativamente rápida, provavelmente devido ao abundante sistema radicular formado pela pastagem logo após sua implantação (SALTON et al., 2008). Em uma fase preliminar, a formação de microagregados (diâmetro inferior a 0,25 mm) está relacionada à interação da matéria mineral entre si e com compostos orgânicos. Posteriormente, o crescimento de raízes e hifas de fungos, juntamente com resíduos de vegetais, insetos e outros organismos, estimula a formação de estruturas mais complexas e diversificadas, como macroagregados estáveis, com tamanho superior a 0,25 mm. Essas estruturas correspondem a um nível de organização mais elevado. A ocorrência de fluxos de energia reduzidos resulta em nível de organização baixo, em que a estrutura do solo é simples, com predomínio de microagregados, ao passo que com elevado fluxo de energia e matéria o nível de organização atingido é mais elevado, ocorrendo agregados maiores e formando estruturas grandes e complexas. Assim, solos que apresentem maior agregação podem ser considerados em estado de ordem superior ao de solos semelhantes com menor agregação (SALTON et al., 2008).

O efeito das pastagens na agregação do solo é atribuído ao crescimento e à atividade do sistema radicular das gramíneas (SILVA; MIELNICZUK, 1997; SILVA et al., 1998; LIU; MA; BOMKE, 2005). O aporte de C ao solo, via raízes especialmente, é fundamental para existência de macroagregados. Macroagregados formados por processos físicos, por meio de operações mecânicas de máquinas e equipamentos ou pelo pisoteio de animais, podem não ser estáveis. Contudo, o que confere maior estabilidade aos agregados são agentes cimentantes ligados a aspectos biológicos, como a atividade microbiana, liberação de exsudatos por raízes, crescimento e funcionamento das raízes, crescimento e morte dos tecidos, entre outros. Sistemas de manejo que proporcionem agregados mais resistentes são desejáveis, pois manterão a estrutura do solo sem grandes alterações quando submetidos a forças externas, como pisoteio de animais e operações mecanizadas, além de maior resistência à perdas por erosão. Esses pressupostos estão de acordo com as informações existentes que relacionam estabilidade dos agregados ao aporte de carbono (C), via produção de matéria seca das culturas (HAYNES; BEARE, 1997) e à presença de C no solo, que é importante constituinte dos agentes

ligantes, bem como à maior atividade biológica no solo (BRONICK; LAL, 2005).

Silva et al. (1998) avaliaram a estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso do Cerrado e observaram maiores valores para o cultivo de milho após *Brachiaria ruziziensis* em comparação a milho após outras espécies de adubos verdes, apesar de o solo ser submetido ao preparo convencional. Outro fator a ser considerado para justificar a maior estabilidade dos agregados relaciona-se à ação da fauna do solo Stefan e Zhang (1997). Silva et al. (2006b), em experimento em áreas com pastagem permanente e em rotação com soja, observaram maior presença da fauna do solo, sobretudo de oligoquetas. Como os processos de estabilização dos microagregados são relativamente permanentes, as alterações causadas pela adição de C ao solo ocorrem predominantemente em macroagregados (TISDALL; OADES, 1982). Agregados estáveis são importantes para proporcionar boa estrutura ao solo, provendo o interior deste com espaços porosos para desenvolvimento das raízes, da fauna e circulação de ar e água. Sistemas de manejo do solo com pastagem permanente ou em rotação com lavoura em plantio direto favorecem a formação de agregados estáveis de maior tamanho, em relação a sistemas apenas com lavouras ou com lavouras em rotação com pastagens em ciclos maiores que três anos (SALTON et al., 2008).

Para Salton et al. (2008), a atividade do sistema radicular das gramíneas, associada à ausência de revolvimento do solo, contribui efetivamente para formação de macroagregados estáveis, o que está em conformidade com os dados apresentados por Pinheiro, Pereira e Anjos (2004), em que um Latossolo do Rio de Janeiro apresentou diâmetro médio ponderado de 4,2 mm sob pastagem de gramínea, 3 mm sob plantio direto e 2 mm sob sistema convencional. Panachuki et al. (2006), comparou sistemas cultivados e verificou que o sistema de pastagem apresentou, na camada de 0 a 5 cm, os maiores valores de diâmetro médio geométrico e diâmetro médio ponderado em relação ao sistema plantio direto. Esta diferença entre os sistemas representa melhor estrutura física nas áreas sob pastagem, ocasionada, possivelmente, pela ação do sistema radicular das gramíneas e do maior teor de matéria orgânica, que atua como elemento estabilizador da estrutura, promovendo a formação de agregados maiores e mais estáveis. Os autores constataram diminuição dos valores de diâmetro médio geométrico e diâmetro médio ponderado na medida em que aumentou a profundidade, corroborando com os dados de Lima et al. (2003), que consideram esta ocorrência motivada, provavelmente, pela diminuição dos teores de CO sempre que a profundidade do solo aumenta.

Macrofauna do solo

Os invertebrados com diâmetro corporal acima de 2 mm constituem a macrofauna (minhocas, coleópteros em estado larval e adulto, centopéias, cupins, formigas, diplópodes, isópodes e aracnídeos) (LAVELLE et al., 1997). Esses invertebrados são fundamentais ao funcionamento do ecossistema, pois ocupam todos os níveis tróficos na cadeia alimentar do solo e afetam a produção primária de maneira direta e indireta. Vários trabalhos evidenciaram que o tipo de manejo do solo acarreta inúmeras modificações na estrutura da comunidade de macroinvertebrados, em diferentes graus de intensidade em virtude de mudanças de habitat, fornecimento de alimento e criação de microclimas (MERLIM et al., 2005). Essas modificações geralmente ocorrem na diversidade e densidade populacionais, características que têm sido utilizadas como potencial bioindicador da qualidade do solo (SILVA et al., 2006a; SILVA et al., 2007).

O sucesso dos sistemas plantio direto e integração lavoura/pecuária no Cerrado deve-se ao fato de que a palhada, acumulada pelas plantas de cobertura ou das pastagens, e restos culturais de lavouras comerciais proporcionam um ambiente favorável à recuperação ou à manutenção das propriedades biológicas do solo (MENEZES; LEANDRO,

2004) e favorecem, também, às comunidades da macrofauna edáfica (MARCHÃO et al., 2007; SILVA et al., 2007). A presença de cobertura morta nestes sistemas estimula a fauna edáfica, as raízes e a microflora do solo, o que permite manter o solo em equilíbrio e permanentemente protegido contra a degradação. Da mesma forma, a manutenção de uma cobertura vegetal na superfície do solo impede a perda da diversidade da macrofauna edáfica e favorece a atividade dos organismos "engenheiros" do ecossistema, entre eles os grupos Oligochaeta, Formicidae e Isoptera (BARROS et al., 2003).

A macrofauna tem diferentes efeitos nos processos que condicionam a fertilidade do solo, pela regulação das populações microbianas responsáveis pela humificação e mineralização (LAVELLE et al., 1997) e pela formação de agregados, que podem proteger parte da matéria orgânica do solo de uma mineralização rápida, por meio de sua ação mecânica, como os Oligochaeta, Formicidae e Isoptera. Normalmente, altas densidades do grupo Isoptera (cupins) são comuns em áreas de pastagens, geralmente com baixa fertilidade química (percentagem de matéria orgânica e alta relação C/N) e ausência de adubação (SANTOS et al., 2008b). Os cupins de montículo constituem pragas importantes nas pastagens, pois, além de estarem distribuídos em extensas áreas, seus ninhos dificultam os tratos culturais e agravam o processo de degradação das pastagens (GALLO et al. 2002). Segundo Fontes (1998), a ação prejudicial às pastagens pode ser atribuída a dois tipos de cupins, os construtores de ninhos epígeos, naquelas condições em que a densidade é elevada, e os consumidores de folhas vivas como alimento. Algumas espécies são úteis, pois reciclam os nutrientes minerais do solo e, ao confeccionarem galerias, aumentam a porosidade do solo e participam ativamente da regeneração de ambientes devastados (FONTES, 1998, MIKLÓS, 1998).

Segundo Lee e Wood (1971), as plantas são, direta ou indiretamente, as fontes de recurso alimentar para os cupins, sendo, portanto, importantes na abundância e na distribuição das espécies. Segundo Valério (1995), é questionável a redução de área útil das pastagens, como possível dano indireto atribuído aos cupins que formam montículos. Esse autor menciona que, em levantamentos realizados no Estado do Mato Grosso do Sul, a área média de cada cupinzeiro foi inferior a 0,5 m^2, sendo importante a necessidade de se conhecer melhor o papel exercido nas pastagens por muitas espécies de cupins de montículo, uma vez que não se tem verificado danos causados por esses insetos. Cosenza e Carvalho (1974) concluíram que a eliminação do cupim de montículo não alterou a produção de matéria seca, nem a qualidade da pastagem, tampouco a cobertura vegetal. Esses autores também argumentaram que esses cupins poderiam até ser benéficos, sob o ponto de vista da fertilidade do solo. Essa observação foi feita também por Fernandes, Czepak e Veloso (1998) e Czepak, Araújo e Fernandes (2003).

Dias et al. (2006, 2007) ao estudarem leguminosas perenes em sistema silvipastoril, observaram que a presença das leguminosas contribuiu para o aumento da diversidade da fauna de solo, o que demonstra que a diversidade vegetal favorece a macrofauna do solo. Para Santos et al. (2008b), os tratamentos sorgo, braquiária e sistema integrado lavoura-pecuária foram os que apresentaram maior diversidade, sobretudo dos grupos de indivíduos habitantes da liteira ou serrapilheira de superfície. Silva et al. (2006a) e Marchão et al. (2007) também observaram que sistemas de integração lavoura-pecuária favoreceram a colonização do solo por alguns grupos da macrofauna, entre eles Coleoptera e Oligochaeta. Dias et al. (2007) observaram que a introdução de leguminosas perenes (*Mimosa artemisiana* e *Mimosa tenuiflora*) em pastagem de *Brachiaria brizantha*, favoreceu a presença de Oligochaeta; o grupo Isoptera não foi influenciado pela época, em razão da baixa densidade. Benito et al. (2004) e Silva et al. (2007) observaram baixa densidade do grupo Isoptera (cupins), apesar de sua grande abundância em solos do Cerrado.

Densidade e porosidade do solo

A propriedade física mais estudada e monitorada é a densidade do solo. A variação nos valores da densidade, em sua maior parte, é proveniente das diferenças no volume total de poros, de modo que densidade e porosidade estão muito relacionadas e por isso são apresentadas de forma conjunta.

A densidade do solo tem sido um dos atributos usados para avaliação do estado estrutural do solo (SPERA et al., 2004b). Esta é de grande importância para os estudos agronômicos, pois permite avaliar atributos como porosidade, condutividade hidráulica, difusividade do ar, entre outros, além de ser utilizada como indicador do estado da compactação do solo (CAMARGO; ALLEONI, 1997). Por possuir estreita relação com outros atributos, a grande maioria das pesquisas converge para o fato de que, com o seu aumento, ocorre diminuição da porosidade total, macroporosidade, condutividade hidráulica, absorção iônica, assim como o conseqüente aumento da microporosidade e da resistência mecânica à penetração do solo. Esse fato desencadea, no geral, diminuição da produtividade agrícola (MELLO FILHO et al., 2006; SANTOS et al., 2006; LIMA et al., 2007). A maior densidade do solo nas áreas do cerrado pode ser decorrente do efeito do pisoteio do gado e uso de máquinas agrícolas. Esses pressupostos são corroborados por estudos de Goedert, Schermack e Freitas (2002) e Souza, Carneiro e Paulino (2005).

Valores críticos de densidade do solo são relacionados a condições restritivas ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular, à infiltração e ao transporte de água, bem como às trocas gasosas entre o solo e a atmosfera (FONSECA et al., 2007). Densidade entre 1,27 e 1,57 g cm^{-3} é restritiva ao crescimento radicular e à infiltração de água no solo (CORSINI; FERRAUDO, 1999). De maneira geral, o valor de 1,40 g cm^{-3} é aceito como limite crítico, que aumenta com o decréscimo do teor de argila do solo (SOUZA; CARNEIRO; PAULINO, 2005). Reichert, Reinert e Braida (2003) consideram como densidade crítica, para o bom desenvolvimento do sistema radicular, valor igual a 1,55 g cm^{-3} para solos de textura média. Camargo e Alleoni (1997) propuseram que o valor crítico relativo à densidade do solo, de um Latossolo Vermelho, deve ser de 1,1 g cm^{-3}. Maria, Castro e Dias (1999) indicam 1,2 g cm^{-3} para Latossolo Roxo, afirmando que a partir desta densidade ocorre restrição ao desenvolvimento radicular quando o solo se encontra em capacidade de campo, caracterizando compactação do solo. Segundo Goedert, Schermack e Freitas (2002), valores entre 0,7 e 1,0 g cm^{-3} podem ser considerados normais em Latossolo Vermelho, propondo que 0,9 g cm^{-3} seja o máximo permitido quando se deseja sustentabilidade no uso de Latossolos. Corsini e Ferraudo (1999) consideram que o índice crítico ao desenvolvimento radicular em solos arenosos é de 1,75 g cm^{-3}, e em argilosos de 1,27 g cm^{-3}. Tais relatos evidenciam que o nível crítico para densidade do solo varia de acordo com o solo e que não existe consenso sobre um valor específico (CARVALHO; GOEDERT; ARMANDO, 2004).

Trein, Cogo e Levien (1991) observaram que, após aplicação de elevada taxa de lotação animal em curto período de tempo, houve aumento da resistência do solo à penetração mecânica, diminuição da macroporosidade e redução significativa da infiltração de água no solo na camada de 0–0,075 m de um Argissolo Vermelho cultivado com pastagens de inverno. Bertol et al. (1998) observaram resultados semelhantes ao avaliarem diferentes taxas de oferta de forragem de uma pastagem natural da Região Fisiográfica Depressão Central do Rio Grande do Sul, quando aplicaram taxas menores que 4 e 8 % em relação a taxas de 10 a 16 % de oferta de forragem. Flores (2004) não encontrou diferença significativa na densidade e na porosidade de um Latossolo submetido ao pastejo de inverno em pastagem constituída por aveia-preta (*Avena strigosa* Schreber) e azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), manejada a alturas entre 0,10 e 0,40 m. Cassol (2003) encontrou aumento na infiltração de água diretamente proporcional ao incremento

da altura de resíduo da pastagem, evidenciando a degradação da qualidade do solo quando se utiliza elevada pressão de pastejo, em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto. A compactação do solo decorrente do pisoteio bovino, durante os três anos de duração do estudo, segundo os valores de densidade do solo, limitou-se à camada superficial de 0– 5 cm de profundidade. Nas camadas subseqüentes, não houve diferença significativa entre os valores observados, e, para três freqüências de pastejo, estes variaram entre 1,32 e 1,35 g cm^{-3}. Trein, Cogo e Levien (1991), aplicando uma carga animal elevada (200 animais por hectare) durante reduzido período de tempo (40 h), num Argissolo Vermelho do RS sob pastagem de aveia-preta (*Avena strigosa* Schreber) + trevo (*Trifolium subterraneum* L.), também verificaram compactação do solo na camada superficial, com valores de densidade passando de 1,39 para 1,56 g cm^{-3}, antes e após a realização do pastejo, respectivamente.

Derpsch, Sidiras e Roth (1986) e Trein, Cogo e Levien (1991) e Albuquerque, Sangoi e Ender (2001) observaram que, em plantio direto, a densidade do solo é maior na camada superficial e decresce nas maiores profundidades, mas os autores consideraram como camada superficial a de 0-20 cm, e como subsuperficial a camada BA ou o horizonte Bw de Latossolos Roxos abaixo de 20 cm. Nesses casos, os autores localizaram a camada compactada entre 10 e 20 cm de profundidade, coincidindo com o pé-de-grade ou pé-de-arado. Spera et al. (2004a), relataram aumento de densidade no perfil do solo sob pastagens e em plantio direto. O mesmo resultado foi observado no sistema integração lavoura-pecuária, em que a *Brachiaria brizantha* foi associada à cultura da soja. Em relação à testemunha (cerrado), todos os sistemas de manejo, incluindo a pastagem contínua de *Brachiaria decumbens*, apresentaram incremento na densidade na camada de 0–5 cm.

As alterações causadas na porosidade do solo, além de modificar as taxas de trocas gasosas, alteram a disponibilidade de água para as plantas. Neste sentido, Silva, Libardi e Camargo (1986), em Latossolo Roxo textura argilosa e Latossolo Vermelho-Amarelo textura média, e Oliveira et al. (2004), em Latossolo Vermelho distrófico, constataram que o uso do solo em relação a uma condição natural modifica a retenção de água, por alterar a distribuição de tamanho dos poros e os teores de matéria orgânica. Quando ocorre a degradação da estrutura do solo, há modificações no arranjamento de suas partículas, provocando diminuição no tamanho dos poros, especialmente daqueles de tamanho maior (macroporos), o que leva à redução na área da seção transversal para o fluxo de água, juntamente com percursos mais tortuosos para o movimento de fluido, afetando com isso o processo de infiltração (ALVES; SUZUKI; SUZUKI, 2007). Os macroporos estão relacionados com processos vitais para as plantas, devendo ser preservados. A redução da macroporosidade tende a se refletir na porosidade total e no aumento de densidade de solo (SPERA et al., 2006). Considerando que as raízes da maioria das culturas podem crescer com macroporosidade acima de 10 % (KLEIN; LIBARDI, 2002) e que o conteúdo de água armazenada deve ser maior que o de ar, o solo ideal é aquele que apresenta proporção de macro:microporos de 1:2, garantindo suficiente aeração, permeabilidade e armazenamento de água.

Moreira et al. (2005) estudaram duas áreas de pastagens, uma denominada área recuperada, com pastagem produtiva de *Brachiaria brizantha*, e outra denominada área degradada, também com pastagem de *B. brizantha*, porém, já degradada, ambas em Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa. As pastagens recuperadas apresentaram maior quantidade de macroporos no solo, a partir de 7,5 cm de profundidade, com o aumento desses ao longo do perfil até 30 cm profundidade. Na camada de solo até 7,5 cm, os valores de macroporosidade foram semelhantes nas duas áreas, indicando que esse atributo foi sensível à ação do pisoteio na superfície, independentemente da maior quantidade de matéria orgânica. produzida e da maior colonização do perfil do solo pelo sistema radicular da forrageira

Estudos de Panachuki et al. (2006) Latossolo

Vermelho aluminoférrico típico no sistema de pastagem, a macroporosidade foi maior na profundidade de 5 a 20 cm, enquanto no sistema de plantio direto foi maior na profundidade de 0 a 5 cm. Spera et al. (2004b) observaram que as rotações trigo-soja-ervilhaca-milho-aveia branca-soja; trigo-soja-pastagem de aveia preta+ervilhaca-milho-aveia branca-soja; pastagem perene de inverno e pastagem perene de verão apresentaram menor porosidade total do que a floresta nas camadas 0-5cm e 10-15cm. Albuquerque, Sangoi e Ender (2001) também observaram em floresta maior porosidade total na camada superficial em relação a lavouras sob plantio direto e sob preparo convencional de solo com arado e grade. Esses resultados são concordantes com os obtidos por Spera et al. (2006) em sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno, pastagens perenes de inverno e pastagens perenes de verão, nos quais os autores observaram maiores valores para porosidade total na camada 0-5cm em relação à camada 10-15cm.

Estudos de Flores et al. (2007) em semeadura direta por 10 anos, com aveia forrageira (Avena strigosa), como planta de cobertura no inverno, e soja (Glycine max), no verão, na qual foi utilizada com pastejo animal em Latossolo Vermelho distroférrico típico, com textura argilosa, após quatro meses de pastoreio contínuo, não se verificou efeito das pressões de pastejo sobre os valores de densidade do solo. A macroporosidade e a porosidade total na camada de 0,0–2,5 cm foram maiores na área sem pastejo, em relação às demais pressões de pastejo; o contrário aconteceu com a microporosidade. Assim, nas condições do experimento (mistura forrageira de inverno, composta de aveia forrageira + azevém, em quatro alturas da pastagem: 10, 20, 30 e 40 cm; as alturas da pastagem eram controladas pelo manejo da carga animal nos potreiros; entre os blocos, duas faixas de 10 m de largura foram isoladas do pastejo, as quais se constituíram no tratamento testemunha), os resultados rejeitam a hipótese de que, com aumento da pressão de pastejo, estabelecer-se-iam níveis crescentes de compactação do solo, com respectiva diminuição da macroporosidade e da porosidade total e aumento da microporosidade. Resultados semelhantes já haviam sido observados por Cassol (2003) no primeiro ciclo de pastejo da área experimental submetida a um período de pastejo de 104 dias.

Os microporos são responsáveis pelo armazenamento de água disponível (PORTUGAL et al., 2008). Reduções acentuadas de microporosidade prejudicam principalmente o armazenamento de água no solo e o seu aumento pode indicar compactação do solo, quando associado à diminuição da macroporosidade (FONSECA et al., 2007). O índice muito elevado pode levar a uma aeração deficiente quando o solo estiver próximo à capacidade de campo, uma vez que grande proporção dos poros estará ocupada por água, dificultando a atividade microbiana e a respiração radicular das plantas (WENDLING et al., 2003). Bertol et al. (2006) verificaram aumento na densidade e na percentagem de microporos do solo na profundidade de 0–5 cm de 1,1 para 1,4 kg dm^{-3} e de 34,3 para 39,3 %, respectivamente, e diminuição na percentagem de macroporos de 7,8 para 6,4 %, quando aumentaram a lotação animal de 1.216 kg ha^{-1} dia^{-1} de peso corporal para 2.263 kg ha^{-1} dia^{-1} (oferta de forragem de 16 e 4 % do peso corporal), respectivamente, em um Cambissolo Álico (300 g kg^{-1} de argila, 360 de areia e 340 de silte). Segundo Bertol et al. (1998) e Sarmento et al. (2008b), a camada do solo mais alterada pelo pastejo é a superficial.

Estudos de Spera et al. (2006) em Latossolo Vermelho distrófico nos sistemas (I – trigo-soja-pastagem de aveia preta+ervilhaca-milho; II – trigo-soja-pastagem de aveia preta+ervilhaca+azevém-milho; III – trigo-soja-pastagem de aveia preta+ervilhaca-pastagem de milheto; IV – trigo trigo soja-pastagem de aveia preta+ervilhaca+azevémpastagem de milheto; V – trigo-soja-aveia branca-soja pastagem de aveia preta+ervilhaca-pastagem de milheto; VI – trigo-soja-aveia branca-soja-pastagem de aveia preta+ervilhaca+azevém-pastagem de milheto),

observaram que entre os sistemas de produção de grãos com pastagens, ocorreram diferenças entre as médias para microporosidade. Resultados concordantes foram obtidos por Spera et al. (2004b), que observaram, na camada 0- 5cm, valores para microporosidade de solo nos sistemas: trigo- soja-ervilhaca- milho-aveia branca-soja; trigo-soja-pastagem de aveia preta+ervilhaca-milho-aveia branca-soja; pastagem perene de estação fria e pastagem perene de estação quente inferiores aos da floresta.

Estudos de Lanzanova et al. (2007) em Argissolo Vermelho-Amarelo alumínico típico sob três sistemas de manejo da pastagem de inverno (aveia-preta, *Avena strigosa Schreber* + azevém, *Lolium multiflorum* Lam.), caracterizados pela freqüência de pastejo: (1) Sem Pastejo, (2)Pastejo a cada 28 dias e (3) Pastejo a cada 14 dias, observaram que a microporosidade do solo não foi significativamente alterada pelos sistemas de manejo das pastagens em nenhuma das camadas de solo estudadas. Contudo, a macroporosidade e a porosidade total sofreram influência do pisoteio bovino. O pastoreio e a redução do intervalo, de 28 para 14 dias de pastejo, diminuíram significativamente a macroporosidade e a porosidade total na camada superficial, passando de 0,11 para 0,07 e de 0,56 para 0,51 $dm^3\ dm^{-3}$, respectivamente, e ambas diferiram, significativamente, da área não-pastejada. No menor intervalo de pastejo usado, a redução da macroporosidade foi da ordem de 2,5 vezes, quando comparados aos valores da área não-pastejada. As áreas pastejadas com intervalo de 28 dias mantiveram valores de macroporosidade iguais ou superiores ao limite crítico de 0,10 $dm^3\ dm^{-3}$ em todas as camadas. Em contrapartida, no sistema pastoreio de 14 dias, verificou-se valores baixos de macroporosidade (0,07 $dm^3\ dm^{-3}$) em todas as camadas, inferiores, portanto, ao limite crítico, o que aumenta o risco de déficit de O_2 às raízes e reduz a continuidade de poros e a permeabilidade do solo. A observância de efeitos da freqüência de pastejo na macroporosidade e porosidade total, em maiores profundidades, em comparação com a densidade do solo e a microporosidade, deve-se ao fato de estas serem propriedades mais sensíveis e susceptíveis ao processo de compactação do solo.

Retenção de água

A retenção de água no solo é considerada uma avaliação adequada para estimar sua qualidade física e estrutural (MARCHÃO et al., 2007). A retenção de água do solo é característica específica de cada solo, sendo resultado de ação conjunta e complexa de vários fatores, como o teor e mineralogia da fração argila (FERREIRA; FERNANDES; CURI, 1999), teor de matéria orgânica, estrutura e densidade do solo (BEUTLER et al., 2001). A faixa de tensão entre 0e –6 KPa (macroporos), a condutividade hidráulica é alta, sendo parte considerável de água drenada em pouco tempo, o que justifica o cálculo de disponibilidade de água para as plantas, em Latossolos da região dos Cerrados, com base na água retida sob tensões entre –6 e –100 KPa (OLIVEIRA et al. 2004). Em solos altamente intemperizados, a água disponível para as plantas em geral está retida na faixa de tensões de 0 e –100 KPa (SANTOS, 1997).

Estudos de Marchão et al. (2007) em Latossolo Vermelho sob uso de cultivos contínuos, integração lavoura-pecuária e sistemas de preparo do solo na fase lavoura, observaram que as curvas de retenção de água em relação com diferentes sistemas, mostraram tendência de aproximação das curvas com o aumento da profundidade, o que reforça a hipótese da similaridade do solo nas camadas mais profundas, a partir de 20–25 cm, onde não haveria mais efeito dos sistemas de manejo e uso do solo. Os autores verificaram na camada superficial (0–5 cm) que todas as curvas de retenção de água dos sistemas de manejo foram significativamente diferentes da curva de retenção de água dos solos do cerrado. A partir da camada 10–15 cm, em geral, não houve diferença significativa entre os tratamentos sob sistema integrado lavoura-pecuária e a área sob cerrado, porém, observaram, nesta camada,

que o sistema plantio direto foi significativamente diferente do cerrado, e não diferiu dos demais. Da mesma forma, nessa mesma profundidade, o tratamento sob pastagem contínua não diferiu de nenhum dos demais sistemas de cultivo.

Alguns trabalhos têm utilizado a curva de retenção de água do solo para comparar o efeito dos sistemas de manejo do solo (OLIVEIRA et al., 2004; LIMA et al., 2006), porém, em muitos casos, a comparação utilizando a curva como índice de qualidade física não leva a conclusão clara sobre o efeito do manejo. Todavia, devido a mudanças na forma da curva de retenção de água relativa com a degradação do solo, Dexter (2004) e Marchão et al. (2007) consideram que a curva de retenção de água tem potencial para ser utilizada como índice de qualidade física do solo em sistemas de uso e manejo que alterem mais drasticamente a distribuição de poros por tamanho, ou mesmo entre tipos de solos.

Conclusão

A qualidade física do solo está associada à infiltração, retenção e disponibilização de água às plantas; responde ao manejo e resiste à degradação; permite as trocas de calor e de gases com a atmosfera e raízes de plantas e permite o crescimento das raízes. Dentre os parâmetros propostos para estudo da qualidade do solo com pastagens, que incluem a cobertura vegetal, a erosão hídrica, a matéria orgânica, a estabilidade de agregados, a macrofauna do solo, a densidade, a porosidade e a retenção de água no solo, permitem distinguir os efeitos proporcionados pelos diferentes sistemas de manejo de pastagens nos solos e contribuem para o monitoramento do manejo dessas pastagens.

Agradecimentos

À Universidade Estadual de Londrina, ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social e ao Fundo Nacional do Meio Ambiente através dos projetos Maria de Barro e Tecendo a Rede Voçorocas pelos estudos, orientação e apoio financeiro.

Referências

ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeito da integração lavoura pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Campinas, v. 25, n. 3, p.717-723, 2001.

ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um latossolo vermelho distrófico em recuperação. *Rev. Bras. Ciênc. Solo,* Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 617-625, 2007.

ANDREWS, S. S.; FLORA, C. B.; MITCHELL, J. P.; KARLEN, D. L. Growers perceptions and acceptance of soil quality indices. *Geoderma***,** Amsterdam, v. 114, n. 53, p. 187-213, 2003.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; WILDNER, L. P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de latossolo vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 425-435, 2005.

BARROS, E.; NEVES, A.; BLANCHART, E.; FERNANDES, E. C. M.; WANDELLI, E.; LAVELLE, P. Development of the soil macrofauna community under silvopastoral and agrosilvicultural systems in Amazonia. *Pedobiologia*, Jena, v. 47, n. 3, p.273-280, 2003.

BELL, M. J.; BRIDGE, B. J.; HARCH, G. R.; ORANGE, D. N. Physical rehabilitation of degraded krasnozems using ley pastures**.** *Australian Journal of Soil Research,* Victoria*,* v. 35, n. 5, p.1093-1113. 1997.

BENITO, N. P.; BROSSARD, M.; PASINI, A.; GUIMARÃES, M. F.; BOBILLIER, B. Transformations of soil macroinvertebrate populations after native vegetation conversion to pasture cultivation (Brazilian Cerrado). *European Journal of Soil Biology*, Montrouge, v. 40, n. 3/4, p. 147- 154, 2004.

BERTOL, I.; AMARAL, A. J.; VIDAL VÁZQUEZ, E.; PAZ GONZÁLEZ, A.; BARBOSA, F. T. Relações da rugosidade superficial do solo com o volume de chuva e com a estabilidade de agregados em água. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, MG, v. 30, n. 3, p. 543-553, 2006.

BERTOL, I.; GOMES, K. E.; DENARDIN, R. B. N.; MACHADO, A. Z.; MARASCHIN, G. E. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem numa pastagem natural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 33, n. 5, p. 779- 786, 1998.

BERTOL, I.; MELLO, E. L.; GUADAGNIN, J. C.; ZAPAROLLI, A. L .V.; CARRAFA, M. R. Nutrients

losses by water erosion. *Sci. Agric*., Piracicaba, v. 60, n. 3, p. 581-586, 2003.

BERTOL, I.; GONZÁLEZ, A. P.; VÁZQUEZ, E. V. Rugosidade superficial do solo sob diferentes doses de resíduo de milho submetido à chuva simulada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira,* Brasília, v. 42, n. 1, p. 103-110, 2007.

BETTERIDGE, K.; MACKAY, A. D.; SHEPHERD, T. G.;BARKER, D. J.; BUDDING, P. J.; DEVANTIER, B. P.; COSTALL, D. A. Effect of cattle and sheep treading on surface configuration of a sedimentary hill soil. *Australian Journal of Soil Research,* Victoria, v. 37, n.4, p. 743-760. 1999.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; PEREIRA FILHO, F. A.; CRUZ, J. C. Agregação de Latossolo Vermelho distrófico típico relacionada com o manejo na região dos Cerrados no Estado de MG. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, MG, v. 25, n. 1, p. 129-136, 2001.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; SOARES, J. A. D.; REINERT, D. J.; SEQUINATO, L.; KAISER, D. R. Relações entre a quantidade de palha existente sobre o solo e a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., Santa Maria, 2004. *Anais*... Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. CD-ROM.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: A review. *Geoderma***,** Amsterdam, v. 124, n. 1/2, p. 3-22, 2005.

BUSATO, J. G.; CANELLAS, L. P.; RUMJANEK, V. M.; VELLOSO, A. C. X. Fósforo num cambissolo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. II- Análise de ácidos húmicos por RMN^{31}P. *Rev. Bras. Ciênc. Solo,* Viçosa, MG, v. 29, n. 6, p. 945-953, 2005.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. *Compactação do solo e desenvolvimento das plantas*. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997. 132 p.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; NICOLODI, R. Avaliação temporal da umidade do solo como conseqüência do tipo e percentagem de cobertura vegetal. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 459-463, 1994.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira***,** Brasília, v. 39, n. 11, p. 1153-1155, 2004.

CASSOL, L. C. *Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície*. 2003. Tese (Doutorado em Agronomia: Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CASTRO, L. G.; COGO, N. P.; VOLK, L. B. S. Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva e sua relação com a erosão hídrica. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, MG, v. 30, n. 2, p. 339-352, 2006.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, MG, v. 27, n. 4, p. 743-753, 2003.

CORSINI, P. C.; FERRAUDO, A. S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 34, n. 2, p. 289-298, 1999.

COSENZA, G. W.; CARVALHO, M. M. de. Controle e nível de dano do cupim de montículo em pastagens. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 3, n. 1, p. 1-12, 1974.

COSTA, E. A.; GOEDERT, W.; SOUSA, D. M. G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira***,** Brasília, v. 41, n. 7, p. 1185-1191, 2006.

CZEPAK, C.; ARAÚJO, E. A.; FERNANDES, P. M. Ocorrência de espécies de cupins de montículo em pastagens no Estado de Goiás. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiás, v. 33, n. 1, p. 35-38, 2003.

DARBOUX, F.; HUANG, C. Does soil surface roughness increase or decrease water and particle transfers? *Soil Science Society of America Journal,* Madison, v. 69, n. 5, p. 748-756, 2005.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; ROTH, C. H. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. *Soil Tillage Research*, Amsterdam, v. 8, n. 1/2, p. 253-263. 1986.

DEXTER, A. R. Soil physical quality: part III. Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. *Geoderma,* Amsterdam**,** v. 120, n. 3/4, p. 227-239, 2004.

DIAS, P. F.; SOUTO, S. M.; CORRÊIA, M. E. F.; ROCHA, G. P.; MOREIRA, J. F.; RODRIGUES, K. D. M.; FRANCO, A. A. Árvores fixadoras de nitrogênio e macrofauna do solo em pastagem de híbrido de Digitaria. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 41, n. 6, p. 1015-1021, 2006.

DIAS, P. F.; SOUTO, S. M.; CORRÊIA, M. E. F.; RODRIGUES, K. M.; FRANCO, A. A. Efeito de leguminosas arbóreas sobre a macrofauna do solo em pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiás, v. 37, n. 1, p. 38-44, 2007.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). Defining soil quality for a sustainable environment. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 35, n. 1, p. 3-22, 1994.

FELLER, C.; ALBRECHT, A.; TESSIER, D. Aggregation and organic matter storage in kaolinitic and smectitic tropical soils. In: CARTER, M. R.; STEWART, B. A. (Ed.). *Structure and organic matter storage in agricultural soils***.** Boca Raton: Lewis, 1996. p. 309-359.

FERNANDES, P. M.; CZEPAK, C.; VELOSO, V. R. S. *Cupins de montículos em pastagens:* prejuízo real ou praga estética? In: FEALQ (Ed.). *Cupins*: o desafio do conhecimento. Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 187-210.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolo da região sudeste do Brasil. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, MG, v. 23, p. 513-524, 1999.

FLORES, J. P. C. *Atributos de solo e rendimento de soja em um sistema de integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo em plantio direto com aplicação de calcário em superfície*. 2004. Tese (Mestrado em Agronomia: Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

FLORES, J. P. C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L. C.; CARVALHO, P. C. F.; LEITE, J. G. D. B.; FRAGA, T. I. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo,* Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 771-780, 2007.

FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A. C.; COSTA, A. R.; OLIVEIRA, G. C.; BALBINO, L. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de latossolo vermelho distrófico de cerrado sob duas rotações de cultura. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiás, v. 37, n. 1, p. 22-30. 2007.

FONTES, L. R. *Cupins nas pastagens do Brasil:* algumas indicações de controle. In: FEALQ (Ed.). *Cupins*: o desafio do conhecimento. Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 211-225.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R. P. L.; BAPTISTA, G. C. de; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIN, J. D.; MARCHINI, L. C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. *Entomologia agrícola*. Piracicaba: FEALQ, 2002. 920 p.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E. R. O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R. S.; FRIES, M. R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em mistura de plantas de cobertura de solo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo,* Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 325-334, 2003.

GLOVER, J. D.; REGANOLD, J. P.; ANDREWS, P. K. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. *Agric. Ecosys. Environ*., Netherlands, v. 80, n. 1/2, p. 29-45, 2000.

GOEDERT, W. J.; SCHERMACK, M. J.; FREITAS, F. C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 2, p. 223-227, 2002.

GUADAGNIN, J. C.; BERTOL, I.; CASSOL, P. C.; AMARAL, A. J. Perdas de solo, água e nitrogênio por erosão hídirca em diferentes sistemas de manejo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, MG, v. 29, n. 2, p. 277-286, 2005.

HAYNES, R. J.; BEARE, M. H. Influence of six crop species on aggregate stability and some labile organic matter fractions**.** *Soil Biol. Biochem*., Oxford, v. 29, n. 11, p. 1647-1653, 1997.

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, n. 7, p. 1493-1500. 2000b.

_____. Spatial heterogeneity of soil properties in areas under elephant-grass shortduration grazing system. *Plant Soil*, The Hague, v. 219, n. 1/2, p. 161-168. 2000a.

KICHEL, A. N.; MIRANDA, C. H. B.; ZIMMER, A. H. Fatores de degradação de pastagem sob pastejo rotacionado com ênfase na fase de implantação. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 14., 1997, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1997. p. 193-211.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 857-867, 2002.

LAL, R. Physical management of the soils of the tropics: priorities for the 21st century. *Soil Science,* Madison, v. 165, n. 3, p. 191-207, 2000.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. *Rev. Bras. Ciênc. Solo,* Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 1131-1140, 2007.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. Conservation and enhancement of soil quality. In: DUMANSKI, J. (Ed.). *Evaluation on for sustainable land management in the developing world*. ISBRAM. Proc. 12(2) Int. Board for Soil Res. And Management. Bangkok, Tailândia, v. 2, 1991.

LAVELLE, P.; BIGNELL, D.; LEPAGE, M.; WOLTERS, V.; ROGER, P.; INESON, P.; HEAL, O. W.; DHILLION, S. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Biology*, New Jersey, v. 33, n. 4, p. 159-193, 1997.

LEÃO, T. P.; SILVA, A. P.; MACEDO, M. C. M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V. P. B. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. *Rev. Bras. Ciênc. Solo,* Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 415-423, 2004.

LEE, K. E.; WOOD, T. G. *Termites and soils*. Londres: Academic Press, 1971. 251 p.

LIMA, C. L. R.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S.; SILVA, J. B. Estabilidade de agregados de um planossolo sob diferentes sistemas de manejo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, MG, v. 27, n. 1, p. 199-205, 2003.

LIMA, C. G. R.; CARVALHO, M. P.; MELLO, L. M. M.; LIMA, R. C. Correlação linear e espacial entre produtividade de forragem, a porosidade total e a densidade do solo de Pereira Barreto (SP). *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1233-1244, 2007.

LIMA, C. L. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; GUBIANI, P. I. Qualidade físico-hídrica e rendimento de soja (*Glycine max* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) de um Argissolo Vermelho distrófico sob diferentes sistemas de manejo. *Ciência Rural***,** Santa Maria, v. 36, n. 4, p. 1172-1178, 2006.

LIU, A.; MA, B. L.; BOMKE, A. A. Effects of cover crops on soil aggregate stability, total organic carbon, and polysaccharides. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 69, n .2, p.2041-2048, 2005.

MAPFUMO, E.; CHANASYK, D. S.; BARON, V. S.; NAETH, M. A. Grazing impacts on selected soil parameters under short-term forage sequences. *J. Rang. Manag*., USDA, v. 53, n. 5, p. 466-470. 2000.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; JUNIOR, J. D. G .S.; SÁ, M. A. C.; VILELA, L. BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 42, n. 6, p. 873-882, 2007.

MARIA, I. C. de; CASTRO, O. M.; DIAS, H. S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo,* Viçosa, MG, v. 23, p. 703-709, 1999.

MARTINS, C. R.; MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA, L. N. Contribuição de fungos micorrízicos arbusculares nativos no estabelecimento de Aristida seti folia Kunth em áreas degradadas do cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira***,** Brasília, v. 34, n. 4, p. 665-674, 1999.

MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico sob diferentes povoamentos florestais. *Cerne*, Lavras, v. 8, n. 1, p. 32-41, 2002.

MELLO, N. A. Degradação física dos solos sob integração lavoura pecuária. In: MELLO, N.; ASSMANN, T. S. In: ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 1., 2002. Pato Branco. *Anais*... Pato Branco: Imprepel Gráfica & Editora Ltda, 2002. p. 43-60.

MELO FILHO, J. F.; OLIVEIRA, A. S.; LOPES, L. C.; VELLAME, L. M. Análise estatística exploratória e variabilidade da densidade do solo em um perfil de Latossolo Amarelo coeso dos tabuleiros costeiros da Bahia. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 30, n. 2, p. 199-205, 2006.

MENEZES, L. A. S.; LEANDRO, W. M. Avaliação de espécies de coberturas do solo com potencial de uso em sistema de plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiás, v. 34, n. 3, p. 173-180, 2004.

MERLIM, A. de O.; GUERRA, J. G. M.; JUNQUEIRA, R. M.; AQUINO, A. M. de. Soil macrofauna in cover crops of figs grown under organic management. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 62, n. 1, p.57-61, 2005.

MIKLÓS, A. A. de W. Papel de cupins e formigas na organização e na dinâmica da cobertura pedológica In: FEALQ (Ed.). *Cupins*: o desafio do conhecimento. Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 227-241.

MOREIRA, J. A. A.; OLIVEIRA, I. P.; GUIMARÃES, C. B.; STONE, L. F. Atributos químicos e físicos de um latossolo vermelho distrófico sob pastagens recuperada e degradada. *Pesquisa Agropecuária Tropical,* Goiás*,* v. 35, n. 3, p. 155-161. 2005.

MULLER, M. M. L.; GUIMARÃES, M. F.; DESJARDINS, T.; MARTINS, P. F. S. Degradação das pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do

solo e crescimento das raízes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1409-1418. 2001.

MULLER, M. S.; FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D.; GARCÍA, A. G.; OVEJERO, R .F. L. Produtividade do *Panicum bmaximum* cv. Mombaça irrigado, sob pastejo rotacionado. *Scientia Agricola,* Piracicaba, v. 59, n. 3, p. 427-433, 2002.

NEVES, C. S. V. J.; FELLER, C.; KOUAKOUA, E. Efeito do manejo do solo e da matéria orgânica solúvel em água quente na estabilidade de agregados de um latossolo argiloso. *Ciência Rural,* Santa Maria, v. 36, n. 5, p. 1410-1415, 2006.

OADES, J. M. Soil organic-matter and structural stability –mechanisms and implications for management. *Plant Soil*, The Hague, v. 76, n. 1/3, p. 319-337, 1984.

OLIVEIRA, F. H. T.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. *Tópicos em Ciência do Solo*, Viçosa, v. 2, p. 393- 486, 2002.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, 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. *Rev. Bras. Ciênc. Solo***,** Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 327-336, 2004.

PANACHUKI, E.; SOBRINHO, T. A.; VITORINO, A. C. T.; CARVALHO, D. F.; URCHEI, M. A. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 261-268, 2006.

PASSOS, R. R.; RUIZ, H. A.; MENDONÇA, E. S.; CANTARUTTI, R. B.; SOUZA, A. P. Substâncias húmicas, atividade microbiana e carbono orgânico lábil em agregados de um latossolo vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. *Rev. Bras. Ciênc. Solo,* Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 1119-1129, 2007.

PINHEIRO, E. F. M.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a Red Latosol from Brazil. *Soil Tillage Research*, Amsterdam, v. 77, n. 1, p. 79-84, 2004.

PIRES, L. S.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; LEITE, F. P.; BRITO, L. F. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na região centro-leste de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira,* Brasília, v. 41, n. 4, p. 678-695, 2006.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. A. V.; COSTA, L. M.; SANTOS, B. C. M. Atributos químicos e físicos de um cambissolo háplico Tb distrófico sob diferentes usos na Zona da Mata Mineira. *Rev. Bras. Ciênc. Solo***,** Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p. 249-258, 2008.

RAO, I. M.; KERRIDGE, P. C.; MACEDO, M. C. M. Nutritional requirements of Brachiaria and adaptation to acid soils. In: MILES, J. W.; MAASS, B. L.; VALLE, C. B. (Ed.). *Brachiaria:* biology, agronomy and improvement. Cali: CIAT/EMBRAPA-CNPGC, 1996. p. 53-71.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade do solo e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciências e Ambiente***,** Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 29-48, 2003.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma,* Amsterdam*,* v. 110, n. 1/2, p. 131-146, 2002.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul (RS). *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Campinas, v. 19, n.2, p. 313-319, 1995.

SALTON, J. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACHADO, L. A. Z.; OLIVEIRA, H. Pastoreio de aveia e compactação do solo. *Revista Plantio Direto*, Passo Fundo, v. 69, n. 1, p. 32-34, 2002.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRICIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. *Rev. Bras. Ciênc. Solo***,** Viçosa, MG, v.32, n. 1, p. 11-21, 2008.

SANTOS, A. R.; MONTEIRO, F. A. Produção e perfilhamento de *Brachiaria decumbens* Stapf. em função de doses de enxofre. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 56, n.3, p. 689-692. 1999.

SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P. M.; MARCHÃO, R. L.; BECQUER, T.; BALBINO, L. C. Macrofauna edáfica associada a plantas de cobertura em plantio direto em um latossolo vermelho do cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira***,** Brasília, v. 43, n. 1, p. 115-122, 2008b.

SANTOS, M. C.; SILVA, H. R.; BUZETTI, S.; CASSIOLATO, A. M. R. Caracterização química e microbiológica do solo e da produção de biomassa de *Brachiaria brizantha*, em diferentes épocas de amostragem. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiás, v. 38, n. 1, p. 6-13, 2008a.

SANTOS, M. L.; CARVALHO, M. P.; RAPASSI, R. M. A.; MURAISHI, C. T.; MALLER, A.; MATOS, F. A. Correlação linear e espacial entre produtividade de

milho (Zea mays L.) e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico sob plantio direto do Cerrado Brasileiro. *Acta Science*, Maringá, v. 28, n.3, p. 313-321, 2006.

SANTOS, M. N. *Influência de diferentes sistemas de manejo nos teores de carbono orgânico e nutrientes e no tamanho e distribuição de poros em um Latossolo Vermelho escuro argiloso na região dos Cerrados*. 1997. Dissertação. (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília.

SARMENTO, P.; RODRIGUES, L. R. A.; LUGÃO, S. M. B.; CRUZ, M. C. P.; CAMPOS, F. P.; FERREIRA, M .E.; OLIVEIRA, R. F. Sistema radicular do Panicum maximum Jacq. cv. IPR-86 Milênio adubado com nitrogênio e submetido à lotação rotacionada. *Revista Brasileira de Zootecnia***,** Viçosa, MG, v. 37, n.1, p. 27-34, 2008b.

SARMENTO, P.; RODRIGUES, L. R. A; CRUZ, M. C. P.; LUGÃO, S. M. B.; CAMPOS, P.; CENTURION, J. F.; FERREIRA, M .E. Atributos químicos e físicos de um argissolo cultivado com *Panicum maximum* JACQ. CV. IPR-86 milênio, sob lotação rotacionada e adubado com nitrogênio. *Rev. Bras. Ciênc. Solo,* Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p. 183-193, 2008a.

SCHAEFER, C. E. R.; SILVA, D. D.; PAIVA K, W. N.; PRUSKI F, F.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; ALBUQUERQUE, M. A. Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 5, p. 669-678. 2002.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; BATISTELA, O. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II. Perdas de nutrientes e carbono orgânico. *Rev. Bras. Ciênc. Solo,* Viçosa, MG, v. 24, n. 2, p. 437-447, 2000.

SILVA, A. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, J. M.; AVANZI, J. C.; FERREIRA, M. M. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira***,** Brasília, v. 40, n. 12, p. 1223-1230, 2005.

SILVA, A. P.; INHOFF, S.; CORSI, M. Evaluations soil compaction in an irrigated short-duration grazing system. *Soil Tillage Research*, Amsterdam, v. 70, n. 1, p. 83-90, 2003.

SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L.; CAMARGO, O. A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, MG, Viçosa, MG, v. 10, n. 1, p. 91-95, 1986.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de planta na formação e estabilização de agregados do solo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, MG, v. 21, n. 1, p. 113-117, 1997.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; LIMA, J. M.; FERREIRA, M. M. Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de Latossolos brasileiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira,* Brasília, v. 35, n. 6, p. 1207-1220, 2000a.

SILVA, M. C.; SANTOS, M. V. F.; DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; LIRA, M. A.; SANTANA, D. F. Y.; FARIAS, I.; SANTOS, V. F. Avaliação de métodos para recuperação de pastagens de braquiária no agreste de Pernambuci. 1. Aspectos quantitativos. *Revista Brasileira de Zootecnia,* Viçosa, MG, v. 33, n. 6, p. 1999-2006, 2004.

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

SILVA, R. F.; AQUINO, A. M.; MERCANTE, F. M.; GUIMARÃES, M. F. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da região do cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 41, n. 4, p. 697-704, 2006a.

_____. Populações de oligoquetos (Annelida: Oligochaeta) em um Latossolo Vermelho submetido a sistemas de uso de solo. *Ciência Rural,* Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 673-677, 2006b.

SILVA, R. F.; TOMAZI, M.; PEZARICO, C. R.; AQUINO, A. M.; MERCANTE, F. M. Macrofauna invertebrada edáfica em cultivo de mandioca sob sistemas de cobertura do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 42, n. 6, p. 865-871, 2007.

SILVA, V. R.; REINERT, D.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo,* Viçosa, MG, v. 24, n. 1, p.191-199, 2000.

_____. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. I – Estado inicial de compactação. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, MG, v. 26, n. 1, p. 1-8, 2002.

SMITH, C. W.; JOHNSTON, M. A.; LORENTZ, S. Assessing the compaction susceptibility of South African forestry soils. II. Soil properties affecting compactibility and compressibility. *Soil Tillage Research*, Amsterdam, v. 43, n. 3/4, p. 335-354, 1997.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos físicos de um neossolo quartzarênico e um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira***,** Brasília, v. 40, n. 11, p.1135-1139, 2005.

SPAGNOLLO, E.; BAYER, C.; WILDNER, L. P.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A.; PROENÇA, M. M. Leguminosas estivais intercalares como fonte de nitrogênio para o milho, no sul do Brasil. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, MG, v. 26, n.2, p. 417-423, 2002.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Avaliações de alguns atributos físicos de solo em sistemas de produção de grãos, envolvendo pastagens sob plantio direto. *Revista Científica Rural*, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 23-31, 2004a.

_____. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 533-542, 2004b.

_____. Efeito de pastagens de inverno e de verão em características físicas de solo sob plantio direto. *Ciência Rural***,** Santa Maria, v. 36, n. 4, p. 1193-1200, 2006.

STEFAN, S.; ZHANG, H. Earthworm casting: Stabilization or destabilization of soil structure? *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 29, n. 4, p .469-475, 1997.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and waterstable aggregates in soil. *Soil Science Society of America Journal***,** Madison, v. 33, n.2, p. 141-163, 1982.

_____. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. *Australian Journal of Soil Research***,** Victoria, v. 17, n. 3, p. 429-441, 1979.

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. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, MG, v. 15, n. 1, p. 105-111, 1991.

TURNER, B. L.; MAHIEU, N.; CONDRON, L. M. The phosphorus composition of temperate pasture soils determined by NaOH-EDTA extraction and solution 31P NMR spectroscopy. *Organic Geochemistry,* Bristol*,* v. 34, n. 8, p. 1199-1210, 2003.

VALÉRIO, J. R. Ocorrência, danos e controle de cupins de montículo em pastagens. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE INSETOS DE SOLO, 5., 1995, Dourados, MS. *Anais...* Dourados, MS: EMBRAPA, CPAO. 1995. p. 33-36.

WANDER, M. M.; DRINKWATER, L. E. Fostering soil stewardship through soil quality assessment. *Applied Soil Ecology*, Amsterdam, v. 15, n. 6, p. 61-73, 2000.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira,* Brasília, v. 40, n. 5, p. 487-494, 2003.

ZHOU, G. Y.; MORRIS, J. D.; YAN, J. H.; YU, Z. Y.; PENG, S. L. Hydrological impacts of refforestation with eucalypts and indigenous species: a case study in Southern China. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 167, n. 1/3, p. 209-222, 2002.