

DENSIDADE, AGREGAÇÃO E POROSIDADE DO SOLO EM ÁREAS DE CONVERSÃO DO CERRADO EM FLORESTA DE PINUS, PASTAGEM E PLANTIO DIRETO

DENSITY, POROSITY AND SOIL AGGREGATION IN AREAS OF CERRADO CONVERSION IN PINE FOREST, PASTURE AND NO-TILLAGE

Beno WENDLING¹; Isabel Cristina VINHAL-FREITAS²; Roberta Camargos de OLIVEIRA³; Marcela Mayumi BABATA⁴; Elias Nascentes BORGES¹

1. Professor, Doutor, Instituto de Ciências Agrárias – ICIAG, Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Uberlândia, MG, Brasil. beno@iciag.ufu.br; 2. Engenheira Agrônoma, Doutoranda no Programa de Pós Graduação em Agronomia - UFU, Uberlândia, MG, Brasil; 3. Engenheira Agrônoma, Mestranda no Programa de Pós Graduação em Agronomia – UFU, Uberlândia, MG, Brasil; 4. Engenheira Agrônoma.

RESUMO: Os estudos de impactos nas propriedades do solo decorrentes da conversão de áreas naturais para áreas agrícolas são importantes para a compreensão e desenvolvimento de sistemas sustentáveis. O objetivo do presente trabalho foi quantificar as modificações impostas sobre a densidade, agregação, porosidade e consequentemente a compactação do solo, em áreas de cerrado (CE), floresta de *Pinus caribaea* (FP), pastagem (PA) e semeadura direta (SD), no município de Uberlândia-MG. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, de textura argilosa e foram coletadas amostras deformadas na profundidade de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m para a determinação do carbono orgânico total (COT) e da textura do solo; e indeformadas para as análises de densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macro e microagregados. Estimou-se o diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio de partículas (DMP), índice de estabilidade de agregados (IEA), porcentagem de agregados estáveis (AGRI) e determinou-se a resistência à penetração do solo. Os resultados indicaram que o COT foi maior em PA e SD e menor em PI. A SD apresentou a maior Ds e menor porosidade total em relação às demais áreas. Os maiores valores de DMG e DMP seguiram a ordem decrescente: CE>FP>PA>SD. As áreas com CE e FP na camada de 0-0,10 m apresentaram maior IEA e AGRI. A menor resistência à penetração foi encontrada no solo cultivado com FP e os maiores valores de compactação foram encontrados na PA e SD na camada de 0,15-0,40 m de profundidade.

PALAVRAS-CHAVE: Carbono orgânico total. Resistência à penetração. Pinus. Semeadura direta. Pastagem.

INTRODUÇÃO

As propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos são importantes componentes de sua produtividade, visto que as plantas necessitam de solos bem estruturados, sendo por isso a seleção e a utilização adequada de cada tipo de solo de fundamental importância para a manutenção da qualidade e da produtividade do sistema (MARCHÃO et al., 2007; PIGNATARO NETTO et al., 2009; BOGNOLA, et al., 2010).

De acordo com o uso e manejo, os solos se diferenciam em seu estado de agregação, textura, teor de água, matéria orgânica e possíveis tensões que o solo recebeu no passado (LLANILLO et al., 2006). Desse modo, o solo que é mantido em seu estado natural, sob vegetação nativa, apresenta características físicas, como densidade, porosidade, agregação e permeabilidade consideradas adequadas (ANDREOLA et al., 2000). Entretanto, quando o solo é submetido ao processo produtivo, as características físicas sofrem alterações (NEVES et al., 2007), tornando-se fundamental a avaliação dessas características após a introdução de

atividades de caráter antrópico, devido ao fato de serem capazes de promover a perda da qualidade estrutural e aumentar a suscetibilidade à erosão (BERTOL et al., 2001).

A formação de camadas compactadas reduz a atividade biológica e a macroporosidade no perfil do solo, aumentando a densidade, o que proporciona maior resistência física à expansão radicular (JIMENEZ et al., 2008). Além disso, limita a permeabilidade e a disponibilidade de nutrientes e água (FREDDI et al., 2007). O impacto dos sistemas de preparo e manejo dos solos tem sido avaliado por meio de medidas de propriedades físicas, como a densidade e a porosidade do solo (CARNEIRO et al., 2009), a resistência do solo à penetração (TAVARES FILHO; RIBON, 2008) e a distribuição dos agregados em classes de tamanho ou sua estabilidade em água (CASTRO FILHO et al., 1998).

A matéria orgânica do solo influencia direta e indiretamente todas as características do solo, de modo que a redução do carbono orgânico total está relacionada à degradação física dos solos, e seu incremento através do manejo adequado modifica a

capacidade de carga dos solos, que se tornam menos vulneráveis à compactação (BLANCO-CANQUI et al., 2009; VIANA, et al., 2011). De acordo com Wendling et al. (2005), a matéria orgânica é o principal agente de formação e estabilização dos agregados, e por isso a avaliação do diâmetro de partículas é importante para avaliar o modelo de agregação, sendo que de acordo com Six et al. (2004), os microagregados são classificados como mais estáveis e menos suscetíveis a práticas agrícolas de manejo do que os macroagregados.

Entre os sistemas de manejo de solo mais utilizados, o plantio direto é o que propicia melhor estruturação do solo, como o maior incremento na matéria orgânica, aumentando a estabilidade de agregados (MATOS et al., 2008). Em estudos realizados com áreas de florestas plantadas com pinus, Olszewska e Smal (2008) observaram maior porosidade total em horizontes superficiais comparado ao campo nativo. Em áreas de pastagens é comum a presença de camadas compactadas e com agregados estáveis em água de menor tamanho devido o pisoteio dos animais (MIGUEL et al., 2009).

Diante dessas evidências, torna-se necessário aprofundar os estudos das possíveis alterações físicas e químicas do solo, promovidas pela conversão do cerrado em culturas agrícolas, como a pastagem, as plantações florestais e o plantio direto, visto que o solo sob vegetação original pode refletir as condições da qualidade do solo de um determinado período (ABRÃO, 2011).

O objetivo do trabalho foi avaliar as modificações impostas sobre a densidade, agregação, porosidade e conseqüentemente a compactação do solo, em diferentes sistemas de uso e manejo.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado em áreas com diferentes sistemas de uso e manejo do solo no município de Uberlândia-MG. O solo das áreas estudadas foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (EMBRAPA, 2006). As áreas estão localizadas na Fazenda Floresta do Lobo, na latitude 18°58'S e longitude 48°12'W, com altitude média de 950 m, e relevo plano. O clima local é do tipo Cwa, apresentando inverno seco e verão quente e chuvoso, segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual é em torno de 23 °C, e precipitação média anual de 1.652,9 mm.

As áreas foram escolhidas utilizando como critérios a proximidade das culturas desejadas e por apresentarem a mesma classe de solo. Foram

selecionadas quatro áreas para avaliação: (1) uma área sob cerrado stricto sensu (CE), com vegetação original e sem interferência antrópica utilizada como referência; (2) uma área sob floresta de pinus (*Pinus caribaea* vr. *honduriensis*) (FP), implantada em 1977, cultivada por 32 anos tem o propósito de extração de resina, e a floresta apresentava espessa camada de serapilheira na camada de 0,10 m de solo; (3) uma área sob pastagem (PA) estabelecida em 2006, prevalecendo o capim *Brachiaria decumbens*, conduzida sob pastoreio rotativo, com a lotação ajustada de forma a manter a oferta de forragem constante, em torno de 7% (7kg de massa seca de forragem por 100 kg de peso animal vivo por dia), sendo que antes da pastagem havia cultivo de *Pinus caribaea* vr. *Honduriensis* durante 30 anos e antes do *Pinus caribaea* havia vegetação original de cerrado stricto sensu e (4) uma área cultivada no sistema semeadura direta (SD) por 11 anos, sendo que antes do plantio direto havia vegetação de cerrado stricto sensu com uso contínuo do solo em sistema de sucessão e rotação de culturas (soja, sorgo e milho), e o manejo e adubação era realizado de acordo com a necessidade da cultura, no dia da amostragem esta área se encontrava com plantio de sorgo.

A amostragem do material de solo foi realizada em março de 2009. Foram coletadas amostras deformadas na profundidade de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m (quatro amostras por sistema de uso e manejo), as quais foram usadas na determinação do carbono orgânico total (COT) e da textura do solo.

O COT do solo foi determinado pela oxidação da matéria orgânica com $K_2Cr_2O_7$ em meio ácido e o excesso de dicromato foi titulado com $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$ (YEOMANS; BREMNER, 1988). A caracterização da textura foi realizada por dispersão das amostras com NaOH 0,1 mol L⁻¹ e agitação lenta durante 16 h, sendo o conteúdo de areia obtido por peneiramento e o teor de argila, pelo método da pipeta, conforme Embrapa (1997). As áreas não apresentaram diferenças na textura, e os solos apresentaram em média 731 g kg⁻¹ de argila, 92 g kg⁻¹ de silte e 177 g kg⁻¹ de areia grossa e fina.

Para obtenção de amostras indeformadas, em cada área foram selecionados, aleatoriamente, oito pontos de amostragem; em cada ponto, no centro de cada camada amostrada (0-0,10 m e 0,10-0,20 m) de profundidade, coletou-se uma amostra com estrutura não deformada, utilizando amostrador com anel metálico de diâmetro de 200 e 300 mm de altura, perfazendo um total de 32 amostras em cada profundidade. Após a coleta, as amostras foram envoltas em tela de tecido. No laboratório, as

Densidade, agregação...

amostras foram preparadas para as análises, retirando-se o excesso de solo das suas extremidades.

Para a determinação do volume de poros, as amostras foram saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água numa bandeja, até atingir cerca de dois terços da altura do anel volumétrico. A porosidade total foi calculada como o conteúdo de água do solo saturado. A quantificação dos valores de macroporosidade (poros $\geq 50 \mu\text{m}$ de diâmetro) e microporosidade. Após a saturação, as amostras foram pesadas e colocadas sob mesa de tensão, sendo retirada da água dos macroporos (poros com diâmetro $\geq 0,05 \text{ mm}$), e microporosidade (poros $< 50 \mu\text{m}$ de diâmetro), as amostras foram colocadas em mesa de tensão, equivalente a uma coluna de água de 60 cm de altura. Após a retirada parcial da água, as amostras foram pesadas e levadas para secagem em estufa a 105°C por 48 horas e novamente pesadas (EMBRAPA, 1997). Macroporos foram estimados como a diferença entre o conteúdo de água do solo saturado e o conteúdo de água após a aplicação da tensão definida. O volume de microporos foi estimado como sendo o conteúdo de água retido quando aplicada a tensão. Após a drenagem das amostras, estas foram secas em estufa a 105°C , por 24 h, para determinação da densidade do solo (BLAKE; HARTGE, 1986). A densidade de solo (D_s) foi determinada conforme EMBRAPA (1997).

Foram também calculados alguns parâmetros de agregação do solo: o diâmetro médio ponderado (DMP), o diâmetro médio geométrico (DMG), a porcentagem de agregados estáveis $>2,00 \text{ mm}$ (AGRI) e o índice de estabilidade de agregados da classe $<0,105 \text{ mm}$ (IEA).

O método utilizado para determinação da estabilidade de agregados foi o de Kemper & Chepil (1965) com jogos de peneiras (abertura de malha de 4,76 mm, 2,00 mm, 1,00 mm e 0,50 mm), acondicionados em recipientes individualizados, que permitiram o fracionamento posterior nas peneiras de 0,25 mm e 0,053 mm. Com a massa dos agregados retidos em cada peneira e secos a 105°C , foi calculado o diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG) para cada amostra. O DMP e o IEA foram obtidos segundo fórmulas propostas por Castro Filho et al. (1998), e o IEA foi adaptado por Perin (2002). O DMG foi calculado segundo Schaller & Stockinger (1953). As

equações utilizadas foram as seguintes: $DMG = \text{antilog} \frac{\sum (n \log d)}{\sum n}$ (1); $DMP = \sum_{i=1}^N (w_i d)$ (2); $AGRI = w_{i>2} \cdot 100$ (3) e $IEA = (Ps - w_{p0,105} - \text{areia}) / (Ps - \text{areia}) \cdot 100$ (4); onde: n representa a porcentagem de agregados nas diversas classes de peneiras; d é o valor médio dos limites superior e inferior de cada classe (mm); w_i é a proporção de cada classe em relação ao total (g); $w_{i>2}$ representa a proporção de agregados $>2,00 \text{ mm}$; Ps é o peso da amostra seca (g) e $w_{p0,105}$ é o peso dos agregados da classe $<0,105 \text{ mm}$ (g).

Para a determinação da resistência à penetração (RP) foi utilizado um penetrômetro de impacto A resistência à penetração do solo foi determinada utilizando-se o penetrômetro de Impacto - Stolf, a partir da superfície do solo até a profundidade de 0,40 m, em 15 pontos por parcela, segundo a metodologia descrita em Stolf (1991). Para o cálculo da RP, em Mpa, a massa de impacto foi de 3,835 kg, o peso dos demais componentes 3,040 kg, e a área do cone era $0,78 \text{ cm}^2$. A umidade do solo tomada como média entre as áreas variou entre 25 e 32%.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) no esquema de parcelas subdivididas, onde os tratamentos foram considerados como parcelas (4) e as profundidades como subparcelas (2). As médias foram comparadas por meio do teste de Tukey ($P < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de carbono orgânico total (COT) dos solos estudados apresentou ordem decrescente: pastagem $>$ semeadura direta $>$ cerrado $>$ pinus, fato que reflete diretamente o tipo de uso, manejo, sistema radicular, bem como o histórico de uso das áreas em cada condição. O COT da área de pastagem se diferenciou significativamente das demais áreas analisadas, apresentando o maior teor de carbono e o sistema de manejo com *Pinus caribae* apresentou o menor teor de COT, se diferenciando da pastagem e da semeadura direta (Figura 1). O cerrado apresentou teores intermediários, sendo seu teor de carbono diferente apenas da área de pastagem (Figura 1). As áreas não apresentaram diferenças significativas no teor de COT na camada de 0,10-0,20 m (Figura 1).

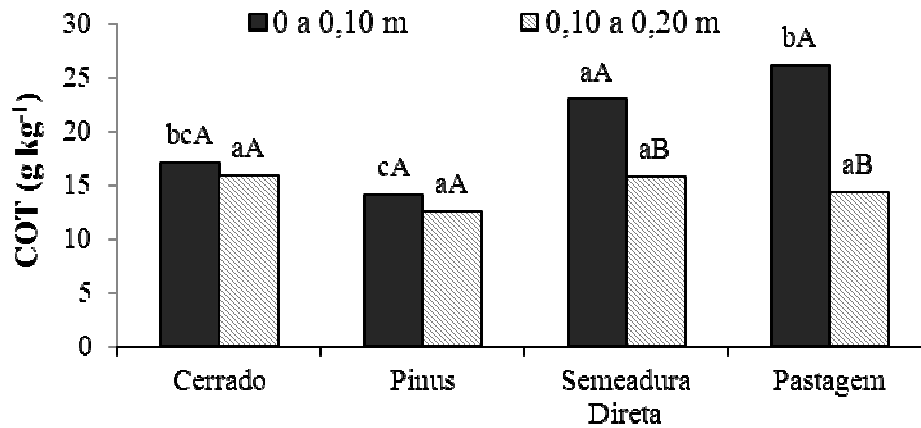


Figura 1. Teores de carbono orgânico total (COT) em diferentes sistemas de uso do solo em Uberlândia-MG. Letras minúsculas para áreas e maiúsculas para profundidades iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Pulrolnik et al. (2009) observaram que a pastagem também apresentou o maior estoque de COT em relação ao cerrado e a floresta de eucalipto. O sistema radicular de ciclagem rápida, o elevado aporte de material vegetal nas camadas mais superficiais e ausência de preparo do solo após a implantação favorecem o estoque de carbono na pastagem. De acordo com Roscoe et al. (2006), a pastagem promove a manutenção dos estoques de matéria orgânica do solo (MOS), e sob adequado manejo, permite que o estoque de carbono (C) no solo seja superior ao observado sob a vegetação nativa.

Para as profundidades a pastagem e a sementeira direta apresentaram diferenças significativas, sendo o teor de COT maior na camada de 0-0,10 m em relação à camada de 0,10-0,20 m (Figura 1). A maior camada vegetal na camada de 0-0,10 m nessas áreas protege o solo contra perdas de carbono (MENDES et al., 2003). O teor de COT nas áreas de cerrado e floresta de pinus foi estatisticamente semelhante nas duas profundidades analisadas (Figura 1).

Os valores de densidade (Ds) e porosidade total (Pt) do solo são apresentados na Tabela 1. Não

ocorreu interação significativa entre as áreas e as profundidades estudadas em relação à Ds, mas em média, a área de plantio direto apresentou os maiores valores nas duas profundidades analisadas. Em contrapartida, o solo da área de floresta de pinus apresentou o menor adensamento nas duas profundidades analisadas (Tabela 2). Este fato pode ser explicado devido tratar-se de áreas onde não ocorrem os efeitos do trânsito constante de máquinas e equipamentos. Andrade et al. (2009) analisando um Latossolo encontrou resultado semelhante, constatando ainda, que solos de mata e campos nativos apresentam maior macroporosidade, comparativamente aos solos cultivados (Tabela 1). Zalamena (2008) encontrou valores de densidade menores em áreas que apresentaram condições originais (vegetação nativa) e em áreas reflorestadas, resultados que corroboram com o presente trabalho, onde as áreas com menor intensidade de manejo, como a floresta de pinus e a área que não tem interferência antrópica, como o cerrado, foram as que apresentaram os menores valores de Ds. Viana et al. (2011) confirmou que os menores valores de Ds se apresentam nas áreas sob mata nativa.

Tabela 1. Densidade do solo (Ds) e porosidade total (Pt) em áreas com diferentes sistemas de uso e manejo do solo na Fazenda Floresta do Lobo, Uberlândia-MG.

Tratamento	Ds (g cm^{-3})		Média	Pt ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)		Média
	0-0,10 m	0,10-0,20 m		0-0,10 m	0,10-0,20 m	
Cerrado	0,98	1,08	1,03 bc	0,57 bA	0,54 aA	0,55
Pinus	0,88	1,04	0,96 c	0,66 aA	0,54 aB	0,60
Pastagem	1,04	1,16	1,10 b	0,58 bA	0,54 aB	0,56
Sementeira direta	1,21	1,25	1,23 a	0,51cA	0,50 aA	0,50
Média	1,03 B	1,13 A		58,16	53,30	

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

A porosidade total do solo não variou estatisticamente entre os tipos de uso do solo na profundidade de 0,10-0,20 m. O sistema de semeadura direta apresentou a menor porosidade total na camada de 0-0,10 m enquanto os maiores níveis foram identificados no solo da área com pinus. Tratando-se da diferença no perfil do solo, variações significativas foram encontradas somente em pinus e pastagem, sendo os maiores valores encontrados na profundidade de 0-0,10 m (Tabela 1).

Os poros totais do solo constituem-se pelos macro e microporos, de forma que o aumento de um reduzirá a porcentagem do outro. Pignataro Netto et al. (2009) não observaram diferenças nos valores de porosidade total quanto à profundidade, entretanto os valores mais baixos em seu estudo refere-se à área de pastagem na região do Cerrado, possivelmente devido à decomposição das raízes dos vegetais. Matias et al. (2009) estudando diferentes formas de uso de um Latossolo Vermelho mencionaram que a porosidade total teve pouca influência das modificações causadas pelo preparo do solo, tanto em profundidade como entre os

diferentes usos, embora, a mata nativa apresentasse maior porosidade em todas as camadas do solo. Melloni et al. (2008) também encontraram maior porosidade na vegetação nativa, enquanto a pastagem favoreceu a exposição do solo a processos degradativos devido aos problemas de compactação. O fato de a vegetação natural apresentar melhores condições físicas é explicado pelos autores como uma consequência por ser conservado e protegido de ações antrópicas.

Em relação à macroporosidade os valores encontrados apresentaram diferenças significativas entre as áreas analisadas, sendo que o solo submetido ao sistema de semeadura direta apresentou menor porcentagem de macroporos e a área com pinus apresentou maior porcentagem, tanto para camada de 0-0,10 m (0,03 e 0,28 m³ m⁻³, respectivamente), quanto para a camada de 0,10-0,20 m (0,05 e 0,17 m³ m⁻³, respectivamente). Segundo Silva et al. (2008), este resultado pode ser justificado por falhas na adoção do sistema de semeadura direta, ou ainda de aporte deficitário de palha, além de casos onde a rotação de culturas é realizada com culturas inadequadas à região.

Tabela 2. Macroporosidade (MaP) e microporosidade (MiP) em áreas com diferentes sistemas de uso e manejo do solo na Fazenda Floresta do Lobo, Uberlândia-MG.

Tratamento	MaP (m ³ m ⁻³)		Média	MiP (m ³ m ⁻³)		Média
	0-0,10 m	0,10-0,20 m		0-0,10 m	0,10-0,20 m	
Cerrado	0,21 bA	0,15 aB	0,18	0,35 bA	0,39 bB	0,37
Pinus	0,28 aA	0,17 aB	0,23	0,37 bA	0,36 cA	0,36
Pastagem	0,10 cA	0,15 aB	0,12	0,48 aA	0,39 bB	0,43
Semeadura direta	0,03 Da	0,05 bA	0,04	0,47 aA	0,44 aB	0,45
Média	0,16	0,13		0,42	0,39	

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05)

O solo que apresentou menor resistência à penetração foi o sob plantio de pinus, a maior resistência relaciona-se a solos com pastagem, especialmente na camada de 0,00 a 0,15 m do perfil do solo. Na camada de 0,15 a 0,40 m a semeadura direta e a pastagem se destacaram com altos valores de resistência a penetração, apresentando camada de compactação de valores entre 5,45 a 9,24 MPa

(Figura 2). O sistema de semadura direta estimula os processos de floculação e de agregação, reduz a velocidade de mineralização da matéria orgânica (CASTRO FILHO et al., 1998), minimiza a erosão mas, em contrapartida, favorece o aparecimento da compactação decorrente do não revolvimento do solo e do excessivo tráfego de máquinas e implementos agrícolas (TORMENA et al., 2002).

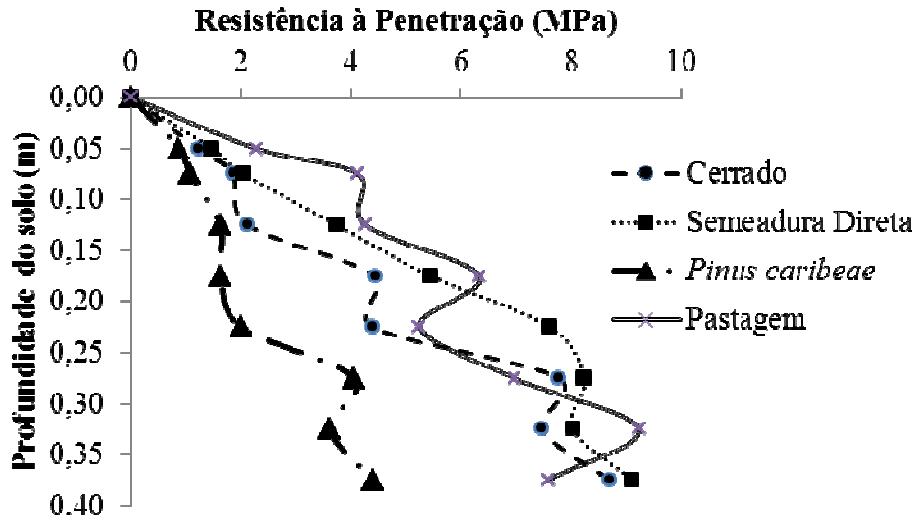


Figura 2. Resistência à penetração (MPa) avaliada até 0,40 m de profundidade em áreas com diferentes sistemas de uso e manejo do solo na Fazenda Floresta do Lobo, Uberlândia-MG.

Bavoso et al. (2010) afirmaram que as alterações estruturais no solo devido as diferentes formas de uso e preparo do solo promovem alterações na resistência à penetração. Oliveira et al. (2007) encontrou altos valores de densidade do solo na profundidade de 0,20 a 0,30 m, o que está relacionado com a compactação do solo a qual resulta em dificuldade a penetração. Os autores enfatizam a importância de uma correção física adequada em profundidade (escarificação ou subsolagem) antes de se iniciar o sistema de semeadura direta. Moreira et al. (2005) afirma que pastagens mal manejadas (degradadas) resulta em aumento na densidade do solo e na sua resistência à penetração. O fato pode relacionar-se com o excesso de carga animal ocasionado por diferentes lotações sobre as pastagens, alterando as propriedades do

solo devido à compactação causada pelo pisoteio animal.

Em relação à estabilidade de agregados, houve interação entre os tipos de uso e as profundidades, entre a área de cerrado apresentou os maiores valores de Diâmetro Médio Geométrico (DMG) e o Diâmetro Médio Ponderado (DMP) na profundidade de 0,00-0,10 m (Tabela 3). Este resultado mostra que em áreas pouco revolvidas como o cerrado, o tamanho dos agregados é maior, confirmando os resultados encontrados por Souza Neto et al. (2008). Em sistemas com maior movimentação do solo, ocorre a perda da estrutura original do mesmo, reduzindo volume de macroporos e aumentando o de microporos e densidade (SOUZA NETO et al., 2008).

Tabela 3. Diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP) em áreas com diferentes sistemas de uso e manejo do solo na Fazenda Floresta do Lobo, Uberlândia-MG

Tratamentos	DMG			DMP		
	0 a 0,10 m	0,10 a 0,20 m	Média	0 a 0,10 m	0,10 a 0,20 m	Média
Cerrado	2,00aA	1,51aB	1,75	2,41aA	2,02aB	2,22
Pinus	1,44bA	0,84bB	1,14	1,98bA	1,26bB	1,62
Pastagem	0,91cA	0,78bB	0,84	1,40cA	1,24bB	1,32
Semeadura direta	0,59dA	0,50cA	0,54	0,98dA	0,79cB	0,88
Média	1,23	0,90		1,69	1,33	

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05)

Luciano et al. (2010) observaram melhor agregação do solo em mata natural, a qual pode ter sido influenciada pela atividade biológica. Além disso, os autores perceberam redução nos valores de DMG da camada de 0,04-0,10 m para a de 0,10-0,25 m do solo, devido à diminuição dos valores de COT, à medida que aumentava a profundidade do solo.

Altos valores de DMG e DMP caracterizam um solo mais agregado (ZALAMENA et al., 2008), e neste experimento seguiram a ordem decrescente: cerrado > pinus > pastagem > semeadura direta (Tabela 3). No cerrado, o DMG foi em média 2,8 vezes maior, e o DMP foi em média 2,09 vezes maior do que nas áreas cultivadas (semeadura direta

e pastagem), na profundidade de 0-0,10 m. Na profundidade de 0,10-0,20 m, o cerrado também apresentou os maiores valores, sendo o DMG em média 1,93 vezes maior e o DMP 1,63 vezes maior do que nas áreas de semeadura direta e pastagem. Esses resultados confirmam que em áreas não revolvidas o tamanho dos agregados são maiores. Valores elevados de DMG indicam solos com agregados estáveis, porém, pode ser resultado de compactação, configurando agregados de baixa qualidade (Luciano et al., 2010).

Em relação ao Índice de Estabilidade de Agregados (IEA) e a percentagem de agregados estáveis (AGRI), pode-se observar que o Cerrado e o Pinus, na profundidade de 0-0,10 m foram os que apresentaram os maiores valores para IEA e AGRI. A semeadura direta na profundidade entre 0,10-0,20 m foi a área que apresentou os menores valores, em média 1,32 vezes menor do que a área de cerrado para IEA e 5,25 vezes menor para AGRI (Tabela 4).

Tabela 4. Índice de estabilidade de agregados (IEA) e percentagem de agregados estáveis maiores que 2,00 mm (AGRI) em áreas com diferentes sistemas de uso e manejo do solo na Fazenda Floresta do Lobo, em Uberlândia-MG

Tratamentos	IEA		Média	AGRI		Média
	0 a 0,10 m	0,10 a 0,20 m		0 a 0,10 m	0,10 a 0,20 m	
Cerrado	96	93	94a	72 aA	54 aB	63
Pinus	92	85	88ab	52 bA	21 bB	37
Pastagem	85	80	83b	29 cA	23 bB	26
Semeadura direta	73	69	71c	15 dA	9 cB	12
Média	86 A	82 B		42	27	

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

A maior percentagem de agregados se encontra na profundidade de 0 a 0,10 m, similar ao que foi encontrado por Alves et al. (1998), demonstrando a relação entre a estabilidade de agregados e o teor de carbono orgânico no solo.

CONCLUSÕES

A conversão de áreas naturais (cerrado) em pastagem de braquiária aumenta os teores de carbono orgânico total, ao contrário do plantio direto e floresta de pinus, onde os teores permanecem semelhantes aos originais.

No plantio direto a densidade do solo aumenta em relação ao cerrado, pastagem e floresta

de pinus, levando a diminuição da porosidade total do solo.

Diâmetro médio geométrico e diâmetro médio ponderado dos agregados seguem a ordem decrescente: cerrado>floresta de pinus>pastagem>plantio direto.

A floresta de pinus reduz consideravelmente a resistência à penetração do solo.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsas de iniciação científica.

ABSTRACT: The studies of impacts on soil properties resulting from the conversion of natural areas to agriculture are important for the understanding and development of sustainable systems. The objective of this study was to quantify the changes on the density, aggregation, porosity and consequently soil compaction in areas of cerrado (CE), *Pinus caribaea* forest (FP), pasture (PA) and no-tillage (PD) in Uberlândia-MG. The soil was classified as an clayey Oxisol. Disturbed samples were collected at a depth of 0-0,10 m and 0,10-0,20 m for the determination of total organic carbon (COT) and soil texture, and undisturbed for the analysis of soil density (Ds), porosity (Pt), macro and microaggregates. An estimation of the mean geometric diameter (DMG), average particle diameter (DMP) of aggregates stability index (IEA), percentage of stable aggregates (AGRI) and the soil penetration resistance was also determined. The results indicated that the COT was higher in PA and PD and lower in PI. The PD had the highest and lowest total porosity in relation to other areas. The highest values of DMP and DMG followed the descending order: CE> FP> PA> PD. CE and FP areas at 0-0,10 m layer had the higher IEA and AGRI. The lower resistance to penetration was found in soil cultivated with FP and the highest values of compression were found in PA and PD in the layer 0,15-0,40 m deep.

KEYWORDS: Total organic carbon. Soil compaction. Pine. No-tillage. Pasture.

REFERÊNCIAS

- ABRÃO, S. F. **Alterações físicas e químicas de um cambissolo húmico em povoamentos de *Pinus taeda* L. com diferentes rotações.** UFSM, 2011. 95 f. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2011.
- ALVES, A. G. C.; SILVA, I. de F. da; ANDRADE, A. P. de; FILHO, O. R. C. Propriedades físicas e químicas de uma terra roxa estruturada sob diferentes coberturas vegetais. **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 19, p. 7-16, 1998.
- ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Culturas de cobertura e qualidade físicas de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 411-418, 2009.
- ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma terra roxa estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 857-865, out./dez. 2000.
- BAVOSO, M. A.; GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A.; PAULETTI, V. Preparo do solo em áreas de produção de grãos, Silagem e pastejo: efeito na resistência tênsil e friabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 227-234, 2010.
- BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Science Agriculture**, v. 58, p. 555-560, 2001.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods*. 2.ed. Madison, **American Society of Agronomy**, 1986, Part.1. 363-375.
- BLANCO-CANQUI, H.; STONE, L. R.; SCHLEGEL, A. J.; LYON, D. J.; VIGIL, M. F.; MIKHA, M. M.; STAHLMAN, P. W.; RICE, C. W. No-till induced increase in organic carbon reduces maximum bulk density of soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 73, p. 1871-1879, 2009.
- BOGNOLA, I. A. DEDECEK, R. A.; LAVORANTI, O. J.; HIGA, A. R. Influência de propriedades físico-hídricas do solo no crescimento de *Pinus taeda*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 61, p. 37-49, 2010.
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 147-157, 2009.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 527-538, 1998.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N.; ARATANI, R. G.; LEONEL, C. L. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 627-636, 2007.

- JIMENEZ, R. L.; GONÇALVES, W. G.; ARAÚJO FILHO, J. V.; ASSIS, R. L.; PIRES, F. R.; SILVA, G. P. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 116–121, 2008.
- KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: Black, C.A. et al., **Methods of soil analysis**. Madison, American Society of Agronomy, part. 1, cap 40, p. 499-510, 1965. Agronomy, 9).
- LLANILLO, R. F.; RICHART, A.; FILHO, J. T.; GUIMARÃES, M. F.; FERREIRA, R. R. M. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. **Semina: Ciências Agrárias**. Londrina, v. 27, n. 2, p. 205-220, 2006.
- LUCIANO, R. V.; BERTOL, I.; BARBOSA, F. T.; KURTZ, C.; FAYAD, J. A. Propriedades físicas e carbono orgânico do solo sob plantio direto comparados à mata natural, num Cambissolo Háplico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 9, n. 1, p. 09-19, 2010.
- MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; SANTOS JUNIOR, J. D. G.; CAROLINO DE SÁ, M. A.; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 873-882, 2007.
- MATIAS, S. S. R.; BORBA, J.A.; TICELLI, M.; PANOSSO, A. R.; CAMARA, F. T. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 3, p. 331-338, 2009.
- MATOS, E. da S.; MENDONÇA, E. de S.; LEITE, L. F. C.; GALVÃO, J. C. C. Estabilidade de agregados e distribuição de carbono e nutrientes em Argissolo sob adubação orgânica e mineral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 43, p. 1221-1230, 2008.
- MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N.; VIEIRA, F. B. M. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2461-2470, 2008.
- MENDES, I. C.; SOUZA, L. V.; RESCK, D. V.S.; GOMES, A. C. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 435-443, 2003.
- MIGUEL, F. R. M.; VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. Variabilidade espacial da infiltração de água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, p. 1513-1519, 2009.
- MOREIRA, J. A. A.; OLIVEIRA, I. P.; GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F. Atributos químicos e físicos de um latossolo vermelho distrófico sob pastagens recuperada e degradada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35, n. 3, p. 155-161, 2005.
- NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; CARDOSO, E. L.; MACEDO, R. L. G.; FERREIRA, M. M.; SOUZA, F. S. Atributos indicadores da qualidade do solo em Sistemas Agrossilvipastoril no Noroeste do Estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 74, p. 45-53, 2007.
- OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; MELLO, C. R. Dinâmica da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho da Microrregião de Goiânia, GO. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 265–270, 2007.
- OLSZEWSKA, M.; SMAL, H. The effect of afforestation with Scots pine (*Pinus silvestris* L.) of sandy post-arable soils on their selected properties. I. Physical and sorptive properties. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 305, p. 157-169, 2008.
- PERIN, A.; GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G.; PEREIRA, M. G.; FONTANA, A. Efeito da cobertura viva com leguminosas herbáceas perenes na agregação de um Argissolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 713-720, 2002.

- PIGNATARO NETTO, I. T.; KATO, E; GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um latossolo Vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 3, p. 1441-1448, 2009.
- PULROLNIK, K.; BARROS, N. F.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BRANDANI, C. B. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e Cerrado no vale do Jequitinhonha - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 3, p. 1125-1136, 2009.
- ROSCOE, R.; BODDEY, R. M.; SALTON, J. C. **Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo**. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C., orgs. Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: Modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, p. 17-41, 2006.
- SCHALLER, F. W. AND STOCKINGER, K. R. 1953. A comparison of hve methods for expressing aggregation data. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** v. 17, p. 310-313.
- SILVA, Á. P.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; IMHOFF, S. Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1-10, 2008.
- SILVA, M. G.; ARF, O.; ALVES, M. C.; BUZETTI, S. Sucessão de culturas e sua influência nas propriedades físicas do solo e na produtividade do feijoeiro de inverno irrigado, em diferentes sistemas de manejo do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 335-347, 2008.
- SOUZA NETO, J. P.; SOUZA, N. M.; OLIVEIRA, S. R. Estabilidade de agregados em água em solos do cerrado do oeste baiano em função do manejo adotado. In: SIMPÓSIO NACIONAL CERRADO, 9., **Anais...** Brasília, DF, 2008.
- SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) agregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil Till. Res.**, v. 79, p. 7-31, 2004.
- STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 15, n. 2, p. 229-235, 1991.
- TAVARES FILHO, J.; RIBON, A. A. Resistência do solo à penetração em relação ao número de amostras e ao tipo de amostragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 487-494, 2008.
- TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 795-801, 2002.
- VIANA, E. T.; BATISTA, M. A.; TORMENA, C. A.; COSTA, A. C. S.; INOUE, T. T. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 2105-2114, 2011.
- WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. de 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, mai. 2005.
- YEOMANS, J.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Commun. Soil. Sci. Plant Anal.**, v. 19, p. 1467-1476, 1988.
- ZALAMENA, J. **Impacto do uso da terra nos atributos químicos e físicos de solos do rebordo do Planalto – RS**, 2008. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.