



Resistência à penetração em Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes formas de manejo¹

**Idelfonso C. de Freitas², Felipe C. V. dos Santos³, Ronaldo de O. Custódio Filho³,
Nelson R. da A Silva² & Vladia Correchel³**

RESUMO

A substituição das florestas nativas por agrossistemas provoca mudanças na estrutura do solo. O grau dessas alterações depende da intensidade do uso e do manejo do solo, condições climáticas locais e propriedades físicas e químicas do solo. O objetivo deste estudo foi avaliar a densidade do solo, resistência do solo à penetração e a matéria orgânica de um Neossolo Quartzarênico órtico em quatro sistemas de manejo: floresta nativa, agrofloresta, pasto e outra área recentemente convertida para uso agrícola. Em cada sistema avaliado sete perfis de solo foram coletados em julho de 2010 e Janeiro de 2011. A resistência do solo foi determinada com um penetrômetro de impacto, modelo Planasucar Stolf IAA, de 00-40 cm de profundidade. O teor de água do solo foi determinado de 00-20 e 20-40 cm de profundidade. A matéria orgânica e a densidade do solo foram determinadas de 00-05; 05-10; 10-20 e 20-40 cm. Entre os sistemas avaliados os menores valores de densidade e resistência do solo foram encontrados na agrofloresta e os maiores obtidos no pasto. Os resultados obtidos na área com uso agrícola de apenas um ano, foram semelhantes aos obtidos em mata nativa.

Palavras-chave: conservação do solo, compactação do solo, indicadores de qualidade do solo

Resistance to penetration in Quartzarenic Neosol subjected to different forms of management

ABSTRACT

The replacement of native forests for agrosystems causes changes in soil structure. The degree of these changes depends on the intensity of use and soil management, climatic conditions and soil physical and chemical properties. The aim of this study was to evaluate the soil bulk density (Bd), soil resistance to penetration and organic matter content of an Orthic Quartzarenic Neosol under four land use systems: native forest, agroforestry, pasture and other area recently converted to agricultural use. In each system seven soil profiles were selected and samples were collected in July 2010 and January 2011. The soil resistance to penetration was determined in 0-40 cm depth using an impact penetrometer, Planasucar Stolf IAA model. The water content in the soil layers was determined in 0-20 and 20-40 cm depth. The organic matter and soil bulk density were determined in layers 0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm. Among the evaluated systems, the lowest values of soil bulk density and soil resistance to penetration were found in agroforestry and the highest values were obtained in the pasture. In the area recently converted to agricultural use the results obtained were similar to those obtained under native forest.

Key words: soil conservation, soil compaction, soil quality indicators

¹ Parte da tese de Doutorado do primeiro autor a ser apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFG (Solo e Água)

² IFTO - Campus Araguatins, Pov. Sta. Tereza, km 05, zona rural, S/N, CEP 77950-000, Araguatins, TO. Fone (63) 3474-1179. E-mail: idelfonsocolares@uol.com.br; Nelson.nelsonrafaeldasilva@gmail.com

³ EA/UFG - Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Solo e Água). Rod. Goiânia/Nova Veneza, km 0, Campus Universitário II, CEP 79001-970, Goiânia, GO. Fone: (62) 3521-1542. E-mail: felipecvdosantos@hotmail.com; rocf1983@gmail.com; vladiacorrechel@hotmail.com

INTRODUÇÃO

Aliado aos anseios de melhoria da qualidade de vida da humanidade, o crescimento populacional impõe grande pressão de uso sobre os recursos naturais, o que tem levado ao desmatamento de novas áreas para incorporá-las ao processo produtivo; muitas vezes este avanço ocorre em solos de textura muito arenosa, como os Neossolos Quartzarênicos que, segundo Zuo et al. (2008) são considerados ecologicamente frágeis por apresentarem baixa capacidade de retenção de água e nutrientes no solo para as plantas, além de elevada erodibilidade.

Neste sentido a agricultura familiar na pré-Amazônia brasileira, que se fundamenta na nutrição das culturas à custa das reservas mineralógicas do solo por meio do fogo ateadado na vegetação espontânea para fertilizar o solo, está em desacordo com os princípios da sustentabilidade da atividade agrícola. Tal situação, quando praticada por comunidades autóctones, pode ser considerada prática conservacionista em razão de permitir longos períodos de pousio do solo (Gehring, 2006).

Segundo Souza et al. (2003) a produção sustentada e a alta produtividade são os paradigmas mais importantes a serem alcançados nos projetos de assentamento de reforma agrária. Nessas áreas também é conveniente, além da necessidade intrínseca da produção de alimentos, a obtenção de um excedente de produção para ser comercializado e possibilitar renda extra para as famílias assentadas e, em consequência, o estímulo à permanência dos agricultores no campo. Esta exploração sustentável requer, também, melhoria e manutenção da qualidade dos solos.

Assim, o monitoramento dos indicadores de qualidade do solo nesses agrossistemas permite a proposição de alternativas de uso do solo, compatíveis com os princípios de sustentabilidade. Entre esses indicadores têm sido recomendados os que podem sofrer mudanças em médio prazo, tais como densidade do solo (Ds), resistência do solo à penetração (RP) e a matéria orgânica do solo (MO) (Carvalho et al., 2004).

Doran & Parkin (1994) argumentam que um bom indicador de qualidade do solo é aquele fácil de medir e interpretar, além de ser sensível ao manejo; assim, a Ds e a RP, além de atender a tais requisitos, se correlacionam com outros indicadores, como umidade e estrutura do solo (Tormena et al., 2007) o que permite prever o grau de impacto do manejo no solo. A MO, por estar associada ao fornecimento da maioria das cargas nos solos arenosos e contribuir em sua agregação, também deve ser monitorada (Silva et al., 2011) visto que nos sistemas de produção familiar representa a principal fonte de nutrientes para as plantas cultivadas.

Tem-se observado, em sistemas agroflorestais, um incremento do teor de carbono orgânico e decréscimo nos valores de Ds e RP em relação às áreas preservadas consideradas sistemas de referência, como mostram os resultados obtidos por Carvalho et al. (2004) em Latossolo Vermelho argiloso em Brasília, DF, e os obtidos por Silva et al. (2011) em Argissolo Amarelo de Prado, BA; no entanto, um aumento de Ds e RP em relação aos encontrados em áreas de referência foi constatado em Neossolo Quartzarênico sob

pastagem em Mineiros, GO, por Souza et al. (2005) e Sales et al. (2010).

Apesar de haver muitas informações descritivas em relação a esses sob condições de clima tropical e se considerando sua baixa aptidão agrícola (Frazão et al., 2008; Zuo et al., 2008) pouco se sabe sobre seu manejo e conservação (Spera et al., 1999); desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes usos do solo na Ds, RP e MO de um Neossolo Quartzarênico órtico em Esperantina, TO, sob agricultura familiar.

MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental está localizada no lote 52 do assentamento Tobasa, em Esperantina, TO, nas coordenadas 5° 22' 02" de latitude sul, 48° 35' 57" de longitude oeste e altitude de 90 m; a precipitação média local é de 1.500 mm ano⁻¹ e a temperatura média de 28,5 °C; o clima, classificado como Aw (Köppen), apresenta seis meses de período chuvoso (dezembro a maio) e seis meses de período seco (junho a novembro).

O solo desta área foi classificado como Neossolo Quartzarênico órtico (RQ_o) (EMBRAPA, 2006) e se encontra sob quatro usos distintos: i) SAF: Agrofloresta implantada em 1989 em volta da sede, que evoluiu de um quintal para uma agrofloresta com mais de sessenta espécies cultivadas em consórcio, sendo o cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) a principal cultura econômica do sistema, seguido pela do bacuri (*Platonia insignis*) que ocupam uma área de três hectares; ii) PASTO: Pastagem cultivada implantada em 1989 com capim marmelada (*Brachiaria Plantaginea*), localizada ao lado da agrofloresta e totalizando 29 hectares; iii) RT: Roça de toco, caracterizada pela retirada da floresta nativa que teve sua fitomassa seca queimada em 2009, sendo utilizada para cultivo com arroz (*Oryza sativa*), milho (*Zea mays*), feijão trepa-pau (*Vigna unguiculata*) e mandioca (*Manihot esculenta*) até maio de 2010 e mantida em pousio após a colheita dessa área, até o momento; iv) MATA: Mata nativa localizada ao lado da roça de toco, usada neste estudo como área de referência. Não há registro do uso de mecanização nem de adubos solúveis para nenhum dos sistemas estudados até a época da amostragem.

Em cada sistema de uso do solo foi delimitada uma transeção na qual foram coletadas amostras de solo em sete pontos distantes entre si, de 10 m. No entorno de cada ponto de amostragem foram realizadas três penetrometrias utilizando-se um penetrômetro de impacto Modelo IAA-Planalsucar-Stolf, com ponta fina cônica de área 1,29 cm². Os ensaios foram realizados da superfície do solo até a profundidade de 40 cm, totalizando 21 repetições por sistema de uso do solo. Os dados obtidos no campo, na unidade de impactos por decímetro, foram transformados em MPa utilizando-se a equação descrita por Stolf (1991).

Em cada ponto de amostragem foi aberta uma minitrincheira visando à coleta de amostras para fins de determinação da umidade do solo pelo método gravimétrico (EMBRAPA, 1997) nas camadas 00-20 e 20-40 cm, totalizando 56 amostras (4 sistemas de uso x 7 pontos amostrados x 2 camadas). Para obtenção dos valores de Ds foram coletadas amostras de solo

por meio de anéis volumétricos com dimensões de 5 x 5 cm, usando-se espátula de emassar paredes e marreta de borracha como amostrador. As coletas foram realizadas nas paredes da minitrincheira em camadas de 00-05, 05-10, 10-20 e 20-40 cm, sendo a determinação da Ds e a porcentagem de MO obtidas conforme métodos descritos em EMBRAPA (1997), totalizando 112 amostras para cada variável (4 sistema de uso x 7 pontos amostrados x 4 camadas). Nas camadas de 10-20 e 20-40 cm as amostras foram coletadas entre 12-17 e 27-32 cm, respectivamente. A amostragem do solo foi feita em duas épocas: PS - período seco (julho/2010) e PC - período chuvoso (janeiro/2011).

Todos os dados foram submetidos a análises de variância, segundo o delineamento inteiramente casualizado, e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O RQ₀ estudado apresenta a classe textural areia franca para todos os sistemas de uso, o que permite predizer que as diferenças entre os sistemas para os atributos analisados, são devidas ao sistema de uso do solo e não às diferenças texturais na área experimental.

A Tabela 1 mostra os valores médios de umidade do solo no momento da determinação da resistência do solo à penetração. A análise dos resultados indica que a umidade não diferiu entre as profundidades avaliadas em um mesmo período, em nenhum dos tratamentos estudados. Observa-se, porém, diferença significativa entre os sistemas nas camadas, para os dois períodos de amostragem. Referidas variações estão associadas à vegetação dos sistemas de uso. Por apresentarem cobertura vegetal mais densa que a observada no PASTO e na RT, a MATA e o SAF propiciam melhor manutenção da umidade do solo, reduzem a evaporação no PS e interceptam maior volume de água das chuvas no PC.

Em um RQ₀ localizado em Mineiros, GO, Souza et al. (2005) realizaram determinação de RP com umidade de 0,09 g g⁻¹ na camada de 00-60 cm no período chuvoso. Esses valores de umidade corroboram com os encontrados no presente estudo para o mesmo período de amostragem. Ressalta-se que, neste trabalho, a maior diferença de umidade nas camadas e nos perfis para a mesma época de amostragem é de apenas 2% (0,02 g g⁻¹ = 2%); também é importante lembrar que a umidade do PC estava próxima aos 2/3 da capacidade de campo do solo (0,19 cm³ cm⁻³) no momento da determinação da RP. Esta umidade, pelo baixo volume de microporos desta classe de

solo (Sales et al., 2010) é considerada ideal para determinação da RP, conforme descrito em EMBRAPA (2007).

Conforme mostra a Tabela 2, entre os sistemas avaliados o PASTO foi o que apresentou maior valor médio de Ds no perfil do solo, independente da época de amostragem (PS = 1,48 Mg m⁻³ e PC = 1,51 Mg m⁻³). No PASTO e na RT, durante o PS os valores médios de Ds decrescem com o aumento da profundidade sendo os maiores valores encontrados nos primeiros 10 cm do perfil, mas no PC essas diferenças não foram observadas. Tais resultados são explicados pelo efeito da hidratação de compostos orgânicos (Pires et al., 2011) agravados pelo pisoteio de animais no sistema PASTO e decomposição de raízes na superfície do solo em RT.

Sales et al. (2010) também observaram, trabalhando com um RQ₀ sob pastagem de cerrado nativo em Mineiro, GO, um incremento da Ds nas camadas superficiais do solo sob pastagem; no referido trabalho tais incrementos foram creditados ao pisoteio do gado.

Observa-se, no PS, que sob MATA os valores médios de Ds não diferem entre as camadas porém no PC o valor médio de Ds (1,35 Mg m⁻³) relativo à camada 00 - 05 cm, difere dos valores obtidos nas demais camadas; no SAF, independente do período de amostragem (PS ou PC), o valor médio de Ds nessa mesma camada foi menor que os obtidos abaixo dessa profundidade. Ao comparar o valor médio de Ds no perfil do solo sob SAF com os demais sistemas de uso, verifica-se que, independente da época de amostragem, o SAF apresenta menores valores médios de Ds (PS = 1,34 Mg m⁻³ e PC = 1,37 Mg m⁻³).

Carvalho et al. (2004) também constataram, ao pesquisar os efeitos do manejo na Ds, que o solo sob SAF de seis anos de implantação apresentou menor Ds que a área de referência, no caso, um cerrado nativo. Os autores atribuíram os resultados à maior atividade biológica no solo sob SAF, refletindo na sua agregação; de fato, a manutenção da umidade mais constante no SAF em relação às demais formas de uso do solo constatada no presente trabalho pode ter favorecido a biota do solo e, em consequência, reduzido a Ds nesse sistema.

Analisando o valor médio de Ds nas diferentes profundidades avaliadas observa-se que no PS o SAF apresentou menor Ds nas camadas de 00-05 e 05-10 cm quando comparado aos outros sistemas de uso do solo; na profundidade 20-40 cm não foram encontradas diferenças significativas entre os sistemas avaliados (Tabela 2); na profundidade 10-20 cm, os maiores valores médios de Ds foram obtidos no RQ₀ sob PASTO (1,48 Mg m⁻³) e MATA (1,45 Mg m⁻³) que diferem de modo significativo dos valores obtidos na mesma profundidade sob SAF e RT.

Tabela 1. Umidade do solo (U, g g⁻¹) por ocasião da determinação da resistência do solo à penetração (MPa) de um Neossolo Quartzarênico órtico (RQo) em Esperantina, TO, sob diferentes sistemas de uso do solo*, profundidades (Z, cm) e período do ano (PS = seco e PC = chuvoso)

Período	Z	MATA	SAF	PASTO	RT
PS	0-20	0,05 ± 0,01 a	0,04 ± 0,01 a	0,03 ± 0,01 b	0,03 ± 0,01 b
	20-40	0,05 ± 0,01 a	0,04 ± 0,01 a	0,03 ± 0,00 b	0,03 ± 0,01 b
PC	0-20	0,10 ± 0,00 b	0,09 ± 0,01 b	0,09 ± 0,01 b	0,11 ± 0,02 a
	20-40	0,10 ± 0,01 a	0,08 ± 0,01 b	0,08 ± 0,02 b	0,10 ± 0,01 a

* SAF - agrofloresta, RT - roça de toco. Valores médios n = 7. Médias seguidas da mesma letra nas linhas não diferem entre sistemas de uso, de acordo com os resultados do teste de Scott-Knott ($p < 0,05$)

Tabela 2. Valores médios de resistência do solo à penetração (RP, MPa), densidade global (Ds, Mg m⁻³) e matéria orgânica (MO, %) de um Neossolo Quartzarênico órtico (RQ₀) sob diferentes usos* e profundidades (Z, cm)

Z	Atributo	MATA	SAF	PASTO	RT
A. Período seco (PS)					
0-5	RP	1,36 ± 0,32 Ac	0,63 ± 0,14 Ba	1,98 ± 0,45 Ab	1,60 ± 0,72 Ab
	Ds	1,40 ± 0,06 Aa	1,23 ± 0,16 Bb	1,51 ± 0,06 Aa	1,50 ± 0,10 Aa
	MO	2,44 ± 1,15 Ba	3,69 ± 1,15 Aa	2,31 ± 0,49 Ba	1,64 ± 1,08 Ba
5-10	RP	2,25 ± 0,38 Ba	0,78 ± 0,30 Ca	3,13 ± 0,76 Aa	2,46 ± 0,78 Ba
	Ds	1,45 ± 0,09 Aa	1,37 ± 0,04 Ba	1,50 ± 0,03 Aa	1,46 ± 0,04 Aa
	MO	1,63 ± 0,34 Ab	2,07 ± 0,63 Ab	1,86 ± 0,38 Ab	1,36 ± 0,66 Aa
10-20	RP	2,57 ± 0,45 Ba	0,80 ± 0,15 Ca	3,40 ± 0,72 Aa	2,00 ± 0,56 Ba
	Ds	1,45 ± 0,08 Aa	1,37 ± 0,06 Ba	1,48 ± 0,04 Ab	1,40 ± 0,04 Bb
	MO	1,16 ± 0,23 Ac	1,20 ± 0,32 Ac	1,37 ± 0,30 Ac	0,89 ± 0,24 Bb
20-40	RP	1,87 ± 0,48 Bb	0,91 ± 0,13 Da	2,43 ± 0,37 Ab	1,49 ± 0,25 Cb
	Ds	1,42 ± 0,03 Aa	1,37 ± 0,08 Aa	1,44 ± 0,04 Ab	1,40 ± 0,07 Ab
	MO	0,66 ± 0,36 Ac	0,93 ± 0,43 Ac	0,67 ± 0,22 Ad	0,44 ± 0,17 Ab
0-40**	RP	2,01 ± 0,41 B	0,78 ± 0,18 D	2,74 ± 0,58 A	1,89 ± 0,58 C
	Ds	1,43 ± 0,07 B	1,34 ± 0,09 C	1,48 ± 0,04 A	1,44 ± 0,06 B
	MO	1,47 ± 0,52 B	1,97 ± 0,63 A	1,55 ± 0,35 B	1,08 ± 0,54 C
B. Período chuvoso (PC)					
0-5	RP	0,70 ± 0,15 Bb	0,56 ± 0,02 Cb	1,37 ± 0,12 Ab	0,66 ± 0,08 Bb
	Ds	1,35 ± 0,10 Bb	1,22 ± 0,10 Cb	1,51 ± 0,05 Aa	1,38 ± 0,08 Bb
	MO	1,40 ± 0,41 Aa	2,33 ± 1,20 Aa	1,63 ± 0,37 Aa	1,76 ± 0,66 Aa
5-10	RP	1,01 ± 0,31 Ba	0,59 ± 0,04 Cb	1,69 ± 0,14 Aa	0,87 ± 0,23 Ba
	Ds	1,48 ± 0,07 Ba	1,41 ± 0,05 Ca	1,50 ± 0,07 Aa	1,52 ± 0,05 Aa
	MO	1,06 ± 0,21 Aa	1,20 ± 0,37 Ab	1,46 ± 0,45 Aa	1,27 ± 0,44 Ab
10-20	RP	1,19 ± 0,42 Ba	0,63 ± 0,04 Ca	1,69 ± 0,41 Aa	1,00 ± 0,29 Ba
	Ds	1,51 ± 0,06 Aa	1,46 ± 0,04 Aa	1,52 ± 0,04 Aa	1,50 ± 0,07 Aa
	MO	0,84 ± 0,19 Ab	0,76 ± 0,26 Ab	1,01 ± 0,31 Ab	0,96 ± 0,22 Ac
20-40	RP	0,95 ± 0,06 Ba	0,66 ± 0,02 Ca	1,20 ± 0,32 Ab	0,94 ± 0,25 Ba
	Ds	1,46 ± 0,06 Ba	1,39 ± 0,04 Ca	1,52 ± 0,05 Aa	1,48 ± 0,03 Ba
	MO	0,60 ± 0,41 Ab	0,50 ± 0,16 Ab	0,51 ± 0,09 Ac	0,56 ± 0,24 Ac
0-40**	RP	0,96 ± 0,24 B	0,61 ± 0,03 C	1,49 ± 0,25 A	0,87 ± 0,21 B
	Ds	1,45 ± 0,07 B	1,37 ± 0,06 C	1,51 ± 0,05 A	1,47 ± 0,06 B
	MO	0,97 ± 0,31 A	1,20 ± 0,50 A	1,15 ± 0,30 A	1,14 ± 0,39 A

* SAF - Agrofloresta, RT - Roça de toco. ** Média da camada de 0-40 cm. Valores médios n = 7. Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas linhas não diferem entre si em relação ao uso do solo para uma mesma variável, profundidade e período de avaliação. Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si com a camada de solo avaliada para uma mesma variável, período de avaliação sistema de uso do solo, de acordo com o teste de Scott-Knott ($p < 0,05$)

Apesar de a análise estatística dos dados revelar que os valores médios de Ds no PC não diferirem entre os sistemas de uso do solo na camada de 10-20 cm, os menores valores de Ds são observados no RQ₀ sob SAF (Tabela 2) o que pode estar associado ao acúmulo de resíduos orgânicos pela deposição de lixo e devido à presença de animais domésticos na área, visto que eles excretam dejetos e mobilizam o solo. Tal aporte de MO pode diminuir os valores de Ds com o tempo (Pires et al., 2011). A redução dos valores de Ds em áreas manejadas sob SAF quando comparadas a uma área de referência, é relatada por Carvalho et al. (2004).

Em geral, o RQ₀ sob PASTO apresentou os maiores valores médios de Ds, evento que pode ser explicado pela carga animal de 1,30 unidades animal por hectare, incluindo bovinos e equinos que pastam na área, durante anos. Este comportamento da Ds sob pastagem também foi observado por Sales et al. (2010) em estudo realizado sob RQ₀ quando comparado ao cerrado nativo; mesmo assim, os autores argumentaram que tal acréscimo não deve ser considerado permanente uma vez que, após a morte e decomposição do sistema radicular, serão formados bioporos, levando a incremento da aeração e

infiltração de água no solo. No entanto, nesta mesma classe de solo Frazão et al. (2008) evidenciaram que o período de 5 anos não foi suficiente para reverter o comportamento da Ds em áreas de conversão de pastagem degradada para o sistema plantio direto e enfatizam o efeito degradante do uso desses solos com pastagem.

Neste trabalho os maiores valores de Ds do RQ₀ foram encontrados no PC, nas profundidades de 10-20 e 20-40 cm (1,52 Mg m⁻³) no solo sob PASTO e entre 05 a 10 cm de profundidade na RT (1,52 Mg m⁻³) embora esses valores não sejam restritivos ao desenvolvimento radicular das plantas que, segundo Corsini & Ferraud (1999), correspondem a valores em torno de 1,75 Mg m⁻³ para solos arenosos.

Em relação à MO e independente da época de amostragem, os sistemas de uso estudados decrescem com o aumento da profundidade do solo, conforme se observa na Tabela 2; no PS o valor médio de MO no RQ₀ sob SAF foi maior que sob os demais usos do solo na profundidade de 00-05 cm e sob RT foi menor a 10-20 cm. A MO não diferiu entre os sistemas estudados nas camadas 05-10 e 20-40 cm, sendo o mesmo comportamento observado no PC.

Esses resultados estão relacionados com a umidade do solo sob os sistemas, em que no PC a umidade do solo é mais elevada, favorecendo a ação da biota que consome a MO disponível (Aguiar et al., 2010). Este processo é tão intenso quanto maior for a oferta de resíduos (Silva et al., 2011). Assim, MATA e SAF foram os sistemas de uso do solo que sofreram maior declínio da MO no PC (Tabela 2). O RT apresentou os menores valores de MO no PS, que estão associados ao uso recente do fogo nesta área para eliminar a vegetação natural e fertilizar o solo pelas cinzas.

No PS a distribuição dos valores de RP do RQ₀ sob PASTO e RT indica um aumento de RP nas camadas 05-10 e 10-20 cm, sugerindo a compactação do solo (Tabela 2) enquanto que, sob SAF, a distribuição dos valores de RP permaneceu uniforme ao longo dos perfis; no PC a RP do solo sob PASTO comportou-se de modo semelhante ao observado no PS; no solo sob RT o menor valor médio de RP foi encontrado na camada 00-05 cm enquanto o maior valor médio de RP no solo sob SAF foi obtido nas camadas 10-20 e 20-40 cm.

Ao comparar os perfis de resistência entre os sistemas de uso, observam-se diferenças significativas entre os usos do solo (Tabela 2). O RQ₀ apresentou uma RP significativamente menor sob SAF quando comparado aos demais tratamentos; comportamento inverso foi obtido no solo sob PASTO, independente do período de avaliação. Ralisch et al. (2008) também encontraram, trabalhando em Latossolo Vermelho Amarelo de Cerrado, valores médios de RP elevados para sistemas manejados sob pastagem ($RP_{0-40\text{cm}} = 3,00 \text{ MPa}$).

Segundo Arshad et al. (1996) a RP pode ser restritiva ao crescimento das raízes quando variar de 2 a 4 MPa; no entanto, Souza & Alves (2003) sugerem valores de 5 MPa para sistemas conservacionistas. Neste trabalho o maior valor de RP observado foi para o solo sob PASTO no PS na camada de 10-20 cm (3,40 MPa) o que pode ser classificado restrição moderada.

Percebe-se, na Tabela 2, que a distribuição dos valores de RP com a profundidade acompanha os de Ds comportamento este também observado por Oliveira et al. (2007). Entretanto se percebe, ao correlacionar a RP com o teor de MO, pouca relação

entre essas variáveis; no solo sob PASTO foram obtidos maiores teores de MO e RP em relação à RT nos dois períodos de amostragem, exceto no PS na camada de 00-05 cm. Esses resultados são atribuídos à carga animal recebida na pastagem, que promove o aumento da Ds (Sales et al., 2010) e ausência de revolvimento do solo, durante anos (Borges et al., 2004). A presença de raízes de diferentes diâmetros e estágio de decomposição, potencializadas pelo não revolvimento do solo, favoreceu o incremento no desvio padrão dos atributos avaliados e também pode ter influenciado nos resultados.

A Figura 1 ilustra a distribuição dos valores médios de RP em cada uso do solo e em dois períodos de amostragem.

Pode-se observar, na Figura 1, que a umidade do solo influencia a determinação da RP; comportamento este corroborado por outros trabalhos aportados na literatura (Oliveira et al., 2007; Tormena et al., 2007; Silva et al., 2011). Percebe-se, nesta Figura, que, independente da época de amostragem, exceto em SAF, os sistemas de uso do solo apresentam tendência de maior RP nas camadas de 05-20 cm de profundidade.

O perfil de RP do solo sob SAF difere dos observados nos demais usos do solo, em especial no PS, no qual atinge um valor máximo de RP na camada de 20-40 cm (0,91 MPa). Este resultado pode ser atribuído à melhoria da estrutura do solo (Carvalho et al., 2004) estimulada pelo aporte constante de resíduos orgânicos e pela formação de micro-clima favorável à biota do solo. Sales et al. (2010) concluíram, ao estudar a influência da ação antrópica sob um RQ₀ que a manutenção da cobertura vegetal é fundamental para a sustentabilidade da atividade agrícola.

Analisando a Figura 1 e se considerando o RQ₀ sob MATA como referência, percebe-se que RT foi a forma de uso que menos impactou o solo, provavelmente pelo curto período de manejo. Os perfis de RP nos sistemas SAF e PASTO mostram efeitos contrários aos da área de referência enquanto no PASTO houve um incremento na RP causado pela carga animal e no SAF houve redução na RP atribuída ao aporte de resíduos orgânicos e sua consequente ação benéfica na estruturação do solo.

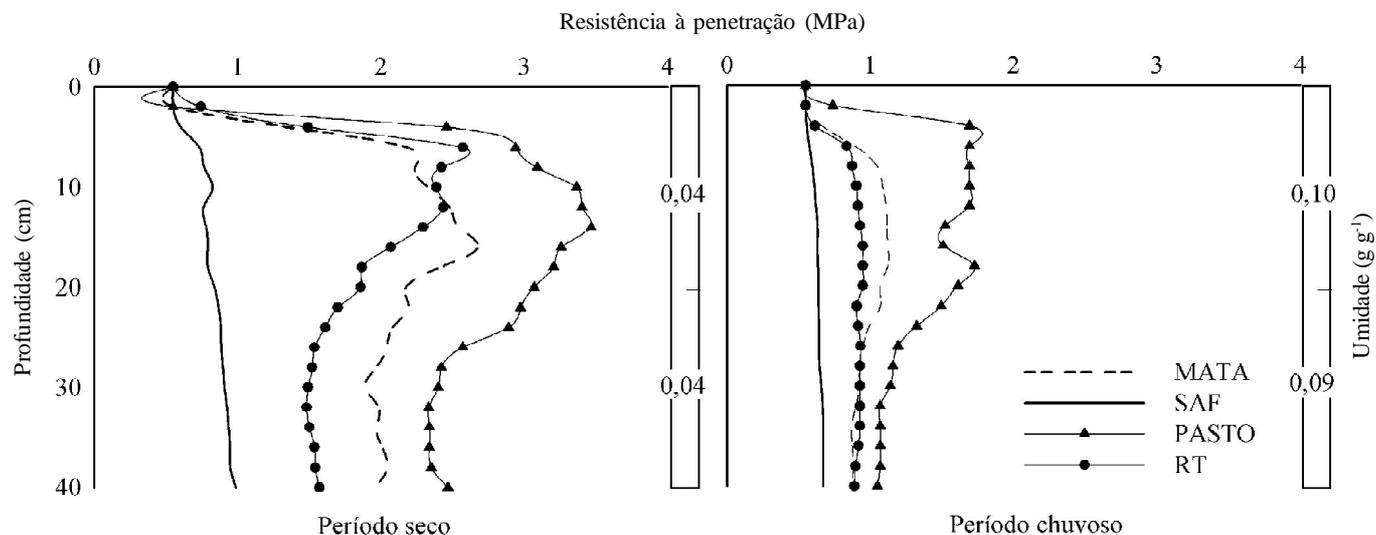


Figura 1. Resistência à penetração de um Neossolo Quartzarênico órtico no período seco e chuvoso sob diferentes usos: vegetação preservada (MATA), agrofloresta (SAF), pastagem cultivada (PASTO) e roça de toco (RT)

Do ponto de vista da sustentabilidade dos agrossistemas espera-se que o uso do solo altere ao mínimo suas propriedades em relação às condições anteriores ao manejo (Doran & Parkin, 1994). Neste sentido, o SAF propiciou mudanças na qualidade física do RQ_0 benéficas à estabilidade de um solo tão arenoso e susceptível ao uso agrícola (Frazão et al., 2008). Essas melhorias são traduzidas pelos menores valores de RP e Ds, maiores valores de MO e umidade do solo mais constante; entretanto, também é possível afirmar que, na condição do abandono dessas áreas em pousio (situação rotineira nesse tipo de agricultura) é muito mais fácil o solo sob SAF voltar à sua condição original dos indicadores de qualidade que o sob sistema PASTO.

CONCLUSÕES

1. O sistema de uso do solo roça de toco foi o que mais se assemelhou à área de referência devido, possivelmente, ao curto período de uso do solo com agricultura.
2. O uso do solo sob sistema agroflorestal melhorou os indicadores de qualidade do solo mostrando ser uma alternativa sustentável de uso do solo.
3. As mudanças observadas nos indicadores de qualidade do solo não chegaram a representar restrições ao crescimento das plantas.

AGRADECIMENTOS

A Damião Paulino de Brito e Francisca da Silva Brito, pelo apoio físico e operacional ao desenvolvimento do presente trabalho; à Capes e ao CNPq, pela concessão das bolsas de Doutorado (Processo n. 520011016006P5) e Mestrado (Processo n. 130329/2010) aos 1º e 2º autores, respectivamente.

LITERATURA CITADA

- Aguiar, A. C. F.; Freitas, I. C. de.; Carvalho, C. S.; Monroe, P. H. M.; Moura, E. G. Efficiency of an agrosystem designed for family farming in the pré-Amazon region. *Renewable Agriculture and Food Systems*, v.26, p.24-30, 2010.
- Arshad, M. A.; Lowery, B.; Grossman, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: Doran, J. W.; Jones, A. J. (ed.). *Methods for assessing soil quality*. Madison: SSSA/ Special Publication, 1996. n.49, p.123-141.
- Borges, J. R.; Pauletto, E. A.; Sousa, R. O. de.; Pinto, L. F. S.; Leitzke, V. W. Resistência à penetração de um Gleissolo submetido a sistemas de cultivo e culturas. *Revista Brasileira de Agrociência*, v.10, p.83-86, 2004.
- Carvalho, R.; Goedert, W. J.; Armando, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, p.1153-1155, 2004.
- Corsini, P. C.; Ferraud, S. A. Efeitos de sistema de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.34, p.289-298, 1999.
- Doran, J. W.; Parkin, T. B. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J. W.; Coleman, D. C.; Beldicek, D. F.; Stewart, B. A. (ed.), *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.1-20. Special Publication, 35
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Clima temperado. Qualidade física do solo: Indicadores quantitativos. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. 27p. Documentos 196
- Frazão, L. A.; Piccolo, M. de. C.; Feigl, B. J.; Cerri, C. C.; Cerri, C. E. P. Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no cerrado mato-grossense. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.43, p.641-648, 2008.
- Gehring, C. O ambiente do trópico úmido e o manejo sustentável dos agroecossistemas. In: Moura, E. G.; Aguiar, A. C. F. (ed.) *O desenvolvimento rural como forma de ampliação dos direitos no campo: Princípios e tecnologias*. 1.ed. São Luís: UEMA, 2006, v.2, cap.6, p.101-129. Série Agroecologia
- Oliveira, G. C.; Severino, E. C.; Mello, C. R. Dinâmica da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho na microregião de Goiânia, GO. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, p.265-270, 2007.
- Pires, L. F.; Rosa, J. A.; Timm, L. C. Comparação de métodos de média da densidade do solo. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.33, p.161-170, 2011.
- Ralisch, R.; Miranda, T. M.; Okumura, R. S. Barbosa, G. M. C.; Guimarães, M. F.; Scopel, E.; Balbino, L. C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do cerrado sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, p.381-384, 2008.
- Sales, L. E. de. O.; Carneiro, M. A. C.; Severiano, E. da. C.; Oliveira, G. C. de.; Ferreira, M. M. Qualidade física de Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso agrícola. *Ciência e Agrotecnologia*, v.34, p.667-674, 2010.
- Silva, D. C. da.; Silva, M. L. N.; Curi, N.; Oliveira, A. H. Souza, F. S. de.; Martins, S. G.; Macedo, R. L. G. Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e floresta nativa. *Revista de Estudos Ambientais*, v.13, p.77-86, 2011.
- 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*, v.40, p.1135-1139, 2005.
- Souza, F. J. L. de.; Silva, J. R. C.; Silva, F. J. da. Manejo de Neossolo Quartzarênico e seu potencial de cultivo com murici (*Byrsonima crassifolia*) em assentamento de reforma agrária do litoral do Ceará. *Magistra*, v.15, p.42-50, 2003.
- Souza, Z. M.; Alves, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, p.18-23, 2003.

- Spera, S. T.; Reatto, A.; Martins, E. S.; Correia, J. R.; Cunha, T. J. F. Solos areno-quatzosos no cerrado: Problemas, características e limitações ao uso. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. 44p. Documentos, 7
- 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*, v.15, p.229-235, 1991.
- Tormena, C. A.; Araújo, M. A.; Fildalski, J. M. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distrófico sob sistemas de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.211-219, 2007.
- Zuo, X.; Zhao, H.; Zhao, X.; Zhang, T.; Guo, Y.; Wang, S.; Drake, S. Spatial pattern and heterogeneity of soil properties in sand dunes under grazing and restoration in Horqin Sandy Land, Northern China. *Soil & Tillage Research*, v.99, p.202-212, 2008.