



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

Ferreira Neves Junior, Afrânio; Pires da Silva, Alvaro; Cornejo Noronha, Norberto; Clemente Cerri,
Carlos

SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO NA RECUPERAÇÃO DE UMA PASTAGEM DEGRADADA EM
RONDÔNIA

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 37, núm. 1, enero-febrero, 2013, pp. 232-241

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180225736019>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO NA RECUPERAÇÃO DE UMA PASTAGEM DEGRADADA EM RONDÔNIA⁽¹⁾

**Afrânio Ferreira Neves Junior⁽²⁾, Alvaro Pires da Silva⁽³⁾, Norberto Cornejo Noronha⁽⁴⁾ &
Carlos Clemente Cerri⁽⁵⁾**

RESUMO

Na região amazônica, pastagens formadas e conduzidas de forma inadequada perdem a produtividade durante os primeiros anos em razão de superpastejo, ausência de adubação e de manutenção e emprego de espécies inadequadas para as condições edafoflorísticas da região. O objetivo deste estudo foi quantificar as modificações ocasionadas por diferentes sistemas de manejo nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), sob pastagem degradada no Estado de Rondônia, RO. Os sistemas de manejo utilizados nos tratamentos foram: T = testemunha; G = gradagem + NPK + micronutrientes; H = herbicida + NK + micronutrientes; A = plantio direto de arroz + NPK + micronutrientes; e S = plantio direto de soja + NPK + micronutrientes. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições. Para avaliar os tratamentos, amostras com estrutura indeformada foram coletadas em três profundidades (0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m) para determinar a curva de retenção da água no solo, densidade do solo, resistência do solo à penetração de raízes, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, estimativa do intervalo hídrico ótimo (IHO), densidade máxima do solo (Dsmax) e densidade relativa do solo (Dsrel). Os sistemas de manejo do solo adotados na recuperação da pastagem não proporcionaram melhorias significativas nos atributos físicos do solo, 40 meses após a implantação dos tratamentos. Em todos os sistemas de manejo, foram encontrados valores de densidade do solo acima do considerado ideal ($1,40 \text{ Mg m}^{-3}$) e abaixo do crítico ($1,75 \text{ Mg m}^{-3}$). Todos os sistemas

⁽¹⁾ Extraído da Dissertação de Mestrado do primeiro autor, apresentada à Universidade de São Paulo - USP, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ. Apoio Financeiro: CNPq. Recebido para publicação em 12 de abril de 2012 e aprovado em 11 de dezembro de 2012.

⁽²⁾ Professor Adjunto, Centro de Educação a Distância - CED, Universidade Federal do Amazonas - UFAM. Av. General Rodrigo Octávio Jordão Ramos, 3000, Coroado. CEP 69077-000 Manaus (AM). E-mail: anevesjr@gmail.com

⁽³⁾ Professor Titular do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP. Av. Pádua Dias, 11. Caixa Postal 09. CEP 13418-900 Piracicaba (SP). E-mail: apsilva@usp.br

⁽⁴⁾ Professor Adjunto, Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA. Av. Tancredo Neves, 2501. Caixa Postal 917. CEP 66077-530 Belém (PA). E-mail: norberto.noronha@ufra.edu.br

⁽⁵⁾ Professor Titular do Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA/USP. Av. Centenário 303. CEP 13400-970 Piracicaba (SP). E-mail: cerri@cena.usp.br

de manejo apresentaram valores de densidade do solo relativa (Dsrel) acima do valor adotado como crítico (Dsrel = 86 %), exceto no sistema em que foi realizado o preparo do solo na profundidade de 0-0,10 m. A qualidade física do solo, avaliada pelo IHO, diminuiu com o aumento da profundidade do solo.

Termos de indexação: Latossolo, propriedades físicas do solo, intervalo hídrico ótimo; grau de compactação

SUMMARY: SOIL MANAGEMENT SYSTEMS IN THE RECOVERY OF A DEGRADED PASTURE IN RONDÔNIA

In the Amazon region, pastures provide a satisfactory grass yield in the first years. Over time, overgrazing by livestock, the lack of pasture maintenance and choice of regionally unsuitable forage species can lead to soil degradation. The objective of this study was to evaluate the effect of different soil management systems on some soil physical properties of a Red-Yellow Oxisol (LVA) under degraded pasture, in the State of Rondônia (RO). The soil management systems were T = control; G = harrowing + NPK + micronutrients; H = herbicide + NK + micronutrients; A = no-tillage rice + NPK + micronutrients; S = no-tillage soybean + NPK + micronutrients. The experiment was arranged in a randomized block design with four replications and five soil management systems. Undisturbed soil samples were collected (layers 0-0.10, 0.10-0.20 and 0.20-0.30 m) to assess soil water retention capacity, soil bulk density, soil penetration resistance, macroporosity, microporosity and total porosity, and to calculate the least limiting water range (LLWR), maximum soil bulk density (Dsmax), and relative soil bulk density (Dsrel). The management systems did not improve the soil physical properties, 40 months after the beginning of experiment. In all treatments, soil bulk density was higher than the ideal value (1.40 Mg m^{-3}) and lower than critical (1.70 Mg m^{-3}). With exception of G (0-0.10 m), the Dsrel exceeded the critical level (Dsrel = 86 %) in all soil management systems. The evaluation of the LLWR showed that the physical quality decreased with increasing soil depth.

Index terms: Oxisol, soil physical properties, least limiting water range, compaction degree.

INTRODUÇÃO

A instalação de pastagens no Brasil teve expressiva expansão nas décadas de 1970 e 1980, quando políticas públicas de desenvolvimento e financiamentos apoiavam a ocupação do território nacional e o avanço da agropecuária no País, incluindo a abertura de novas fronteiras agrícolas na Amazônia. A formação do pasto nessa região pode seguir diretamente a retirada das árvores e a queima da vegetação nativa (Feigl et al., 1995; Moraes et al., 1996) ou suceder áreas desflorestadas e utilizadas para o plantio de culturas agrícolas por alguns anos (Fujisaka et al., 1996; Fujisaka & White, 1998; Martínez & Zinck, 2004).

Na Amazônia, as pastagens formadas e manejadas inadequadamente perdem a produtividade, após alguns anos de uso (Serrão et al., 1982; Veiga & Falesi, 1986; Veiga & Serrão, 1987). O superpastejo, a ausência de adubação e o emprego de espécies inadequadas para as condições edafoflorísticas da região são apontados como as principais causas de degradação (Dias & Griffith, 1998). A degradação de solos com pastagem é um processo contínuo de alterações, iniciado com a perda de vigor e produtividade. Essa degradação física é um dos últimos estádios desse processo (Leão, 2002).

Dentre os parâmetros físicos do solo mais utilizados para avaliar a degradação de pastagens, destacam-se a densidade do solo (Muller et al., 2001; Fidalski et al., 2008), o sistema poroso (Fidalski et al., 2008; Cardoso et al., 2011), a resistência do solo à penetração de raízes (Imhoff et al., 2000; Ralisch et al., 2008; Cardoso et al., 2011) e as características da água no solo (Bell et al., 1997; Dias Junior & Estanislau, 1999; Fidalski et al., 2008). O aumento da densidade e resistência do solo à penetração de raízes foi observado por Corrêa & Reichardt (1995) em uma sucessão floresta-pastagem, quando comparado aos dados obtidos na área de floresta. As alterações apresentam tendência a aumentar com o tempo de uso da pastagem. Martínez & Zinck (2004) e Desjardins et al. (2004) também relatam maiores valores de densidade do solo em pastagens mais antigas, em comparação às mais recentes.

Além dos parâmetros citados anteriormente, outras abordagens têm sido propostas para avaliar com mais acurácia a qualidade física do solo e a compactação em pastagens, como o grau de compactação (Dias Junior & Estanislau, 1999) e o intervalo hídrico ótimo - IHO (Leão et al., 2004; Neves Junior, 2005; Lima et al., 2009).

A relação entre a densidade do solo atual (Ds) e a densidade máxima do solo (Dsmax), resulta na

densidade relativa do solo (Dsrel). Esse parâmetro é pouco influenciado pelas características dos minerais no solo e pela granulometria, podendo ser utilizado para avaliar o grau de compactação do solo e as respostas das culturas em diferentes tipos de solo (Carter, 1990; Håkansson, 1990; Silva et al., 1997). Valores de Dsrel acima de 86 % estão associados a reduções na produtividade das culturas e condições adversas no solo (Lindstron & Voorhees, 1994). Carter (1990) observou maiores rendimentos de cevada e trigo em valores de 81 % e Håkansson (1990), 87 % para cevada. No Brasil, Beutler et al. (2005) e Suzuki et al. (2007) observaram maiores produtividades de soja em valores de 80 e 86 %, respectivamente.

O IHO, proposto por Silva et al. (1994), é um índice de qualidade do solo que integra em uma única variável (densidade do solo) os fatores que afetam diretamente o crescimento de plantas. Quanto menor for o IHO, menor é a faixa em que a umidade do solo pode variar sem oferecer restrições ao crescimento de plantas, relacionada à disponibilidade de água, aeração e resistência do solo à penetração de raízes. Por meio do IHO, Leão et al. (2004) encontraram condições físicas restritivas ao crescimento de plantas em um sistema de pastejo rotacionado, quando comparado a um sistema de pastejo contínuo.

Nesse contexto, é necessário transformar os recursos naturais degradados em áreas produtivas, com potencial econômico sustentável, ajustando melhorias na qualidade de vida humana à capacidade de suporte dos ecossistemas (Avila, 1992; Goodland, 1995). Para esse propósito, devem-se buscar alternativas de uso e manejo do solo que sejam simples, economicamente viáveis e que contenham tecnologias acessíveis, a fim de recuperar as áreas degradadas.

O objetivo deste estudo foi quantificar as modificações ocasionadas por diferentes sistemas de manejo nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo, sob pastagem degradada em Rondônia, RO.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na fazenda Nova Vida ($10^{\circ} 05' S$ e $62^{\circ} 49' 27'' W$), município de Ariquemes (km 472 da BR-364), Estado de Rondônia, RO. O clima da região, segundo critério de classificação de Köppen, é Ami (tropical chuvoso, caracterizado por não ter verão e inverno estacional). A precipitação pluvial média anual é de 2.200 mm com temperatura anual média de 25,5 °C e estação seca de junho a setembro (Bastos & Diniz, 1982). O solo da área do experimento foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média (Moraes et al., 1996) (Quadro 1). A composição granulométrica foi obtida pelo método da pipeta (Gee & Bauder, 1986) e o teor de carbono orgânico foi determinado utilizando um analisador elementar (LECO CN 2000).

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições e cinco sistemas de manejo usados nos tratamentos, totalizando 20 parcelas com tamanho individual de 40 x 40 m (1.600 m²), com área útil de 35 x 35 m (1.225 m²). O experimento foi instalado em outubro de 2001 e consistiu nos seguintes sistemas de manejo:

1) T = Testemunha: pastagem degradada sem nenhum tipo de manejo, apenas com a *Brachiaria brizantha* + *Panicum maximum* + plantas invasoras;

2) H = Herbicida: controle manual de invasoras e aplicação de herbicidas Padron⁽¹⁾ no toco das lenhosas e Garlon⁽²⁾, nas palmáceas + adubação NK e micronutrientes. ⁽¹⁾ Herbicida seletivo de ação sistêmica, sendo Picloram do grupo químico ácido piridinocarboxílico; ⁽²⁾ Herbicida seletivo, de ação sistêmica do grupo ácido piridiniloxiacético;

3) G = Gradagem: duas gradagens com grade aradora e uma com grade niveladora “plaina” + adubação com NPK e micronutrientes seguido do plantio da *Brachiaria brizantha*;

4) A = Plantio direto de arroz: dessecção de toda a área com Glifosato e Gramoxone, seguida de semeadura direta de arroz + adubação com NPK e micronutrientes + controle de plantas invasoras e insetos, seguido do plantio da *Brachiaria brizantha*, após a colheita do arroz;

5) S = Plantio direto de soja: dessecção de toda a área com Glifosato e Gramoxone, seguida de semeadura direta de soja + adubação com NK e micronutrientes + controle de plantas invasoras e insetos, seguido do plantio da *Brachiaria brizantha*, após a colheita da soja.

As informações referentes à época de aplicação, formas de adubos, quantidade de nutrientes aplicados nos sistemas de manejo, bem como os métodos de aplicação, são apresentadas nos quadros 2 e 3.

A amostragem de solo foi realizada em março de 2005, aproximadamente 40 meses após a semeadura da gramínea. Amostras com estrutura indefinida foram coletadas no centro de cada parcela, em três profundidades (0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m), utilizando anéis metálicos com dimensão de aproximadamente 0,05 m de altura e 0,05 m de diâmetro. Ao total, foram retiradas 60 amostras (cinco sistemas de manejo x três profundidades x quatro repetições).

No laboratório, as amostras de solo coletadas foram saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água. Após esse procedimento, foram divididas em grupos de quatro e submetidas aos potenciais de -10, -50, -1000 e -1500 kPa, por meio de pressões aplicadas em placas porosas conforme Klute (1986). Após atingir o equilíbrio em cada potencial selecionado, a resistência do solo à penetração de raízes (RP) foi determinada nas amostras de solo, utilizando um penetrômetro eletrônico de bancada (Tormena et al., 1998).

Realizaram-se quatro leituras de RP por amostra de solo, sendo três na borda do anel (distribuídas de forma equidistante) e uma leitura realizada no centro geométrico. Terminadas as séries de leitura de RP, as amostras foram pesadas e posteriormente levadas à estufa, onde foram secas a 105 °C por 24 h, para determinar o conteúdo de água em cada tensão e a densidade do solo (Blake & Hartge, 1986). Os dados de macroporosidade, considerando poros maiores que

0,05 mm, e microporosidade, poros menores que 0,05 mm, foram obtidos a partir da curva de retenção da água no solo. A microporosidade foi obtida pela diferença entre a porosidade total (PT) e macroporosidade. A porosidade total foi obtida por $PT = 1 - (\text{densidade do solo}/\text{densidade de partículas})$. Determinou-se a densidade de partículas (D_p) por meio de um picômetro a gás, modelo ACCUPYC 1330 (Micromeritics Instrument Corporation®).

Quadro 1. Composição granulométrica, carbono orgânico e classe textural em três profundidades de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob pastagem

Profundidade	Argila	Silte	Areia	CO	Classe textural
m	g kg^{-1}				
0,0-0,10	260	90	650	13,80	franco-argilo-arenosa
0,10-0,20	300	80	620	8,40	franco-argilo-arenosa
0,20-0,30	320	120	560	6,30	franco-argilo-arenosa

Quadro 2. Cronograma de aplicação dos fertilizantes nos tratamentos de recuperação da pastagem com as respectivas fontes, teor de nutrientes e forma de aplicação

Data	Trat.	Fertilizante (quantidade aplicada)	N	P-total	K	Ca	Mg	S	Micronutriente	Forma de aplicação		
d/m/a			kg ha^{-1}									
08/11/01	G	Termofosfato (1020)		75,5		204,0	71,4	40,8		Lanço		
21/11/01	A	Termofosfato (531)		39,3		106,2	37,2	21,2		Cobertura no sulco		
	S	Termofosfato (531)		39,3		106,2	37,2	21,2		Cobertura no sulco		
24 /11/01	A	Sulfato amônio (60)	12,6					14,4		Cobertura na linha		
		KCl (80)		42,4					37,6 Cl	Cobertura na linha		
		Fritas BR12 (30)							2,4 Zn; 0,24 Cu; 0,54 B; 0,3 Mo;			
									0,9 Fe; 0,6 Mn	Cobertura na linha		
	S	KCl (133,12)		70,5					62,6 Cl	Cobertura na linha		
3/12/01	H	Sulfato amônio (200)	42,0					48,0		Lanço		
		KCl (50)		26,5					23,5 Cl	Lanço		
		Fritas BR12 (30)							2,4 Zn; 0,24 Cu; 0,54 B; 0,3 Mo;			
									0,9 Fe; 0,6 Mn	Cobertura na linha		
	G	Sulfato amônio (200)	42,0					48,0		Lanço		
		KCl (50)		26,5					23,5 Cl	Lanço		
		Fritas BR12 (30)							2,4 Zn; 0,24 Cu; 0,54 B; 0,3 Mo;			
									0,9 Fe; 0,6 Mn	Cobertura na linha		
04/01/02	S	MnSO ₄ (1,2)						0,19	0,324 Mn	Foliar		
	A	ZnSO ₄ (0,4)						0,04	0,084 Zn	Foliar		
06/01/02	A	Sulfato amônio (100)	21,0					24,0		Cobertura na linha		
		KCl (35)		18,5					16,4 Cl	Cobertura na linha		

G: gradagem; A: plantio direto de arroz; S: plantio direto de soja; H: herbicida. Fonte: Noronha et al. (2010).

Quadro 3. Quantidade total de nutrientes aplicados nos tratamentos para recuperação da pastagem

Tratamento	N	Ptotal	K	Ca	Mg	S	Micronutriente
kg ha ⁻¹							
G	42,0	75,48	26,5	204,0	71,40	88,8	23,5 Cl; 2,4 Zn; 0,24 Cu; 0,54 B; 0,3 Mo; 0,9 Fe; 0,6 Mn
A	33,6	39,29	60,9	106,2	37,17	59,7	54,0 Cl; 2,48 Zn; 0,24 Cu; 0,54 B; 0,3 Mo; 0,9 Fe; 0,6 Mn
S	0,0	39,29	70,5	106,2	37,17	21,4	62,6 Cl; 0,32 Mn
H	42,0	0,0	26,5	0,0	0,0	48,0	23,5 Cl; 2,4 Zn; 0,24 Cu; 0,54 B; 0,3 Mo; 0,9 Fe; 0,6 Mn

G: gradagem; A: Plantio direto de arroz; S: Plantio direto de soja; H: herbicida. Fonte: Noronha et al. (2010).

Os atributos utilizados para o estudo do grau de compactação do solo, da densidade máxima do solo (D_{smax}) e da densidade relativa do solo (D_{srel}) foram estimados a partir dos dados de densidade do solo (D_s , $Mg\ m^{-3}$) e areia total ($kg\ kg^{-1}$), de acordo com Stolf et al. (2011). A densidade máxima do solo foi obtida pela equação $D_{smax} = 1,49 + (0,456 \times \text{areia total})$ e a densidade relativa, por $D_{srel} = (D_s/D_{smax}) \times 100$.

Determinou-se o IHO, conforme Silva et al. (1994), empregando critérios descritos por Wu et al. (2003): se ($\theta_{pa} \geq \theta_{cc}$) e ($\theta_{rp} \leq \theta_{pmp}$): $IHO = \theta_{cc} - \theta_{pmp}$; se ($\theta_{pa} \geq \theta_{cc}$) e ($\theta_{rp} \geq \theta_{pmp}$): $IHO = \theta_{cc} - \theta_{rp}$; se ($\theta_{pa} \leq \theta_{cc}$) e ($\theta_{rp} \leq \theta_{pmp}$): $IHO = \theta_{pa} - \theta_{pmp}$; e se ($\theta_{pa} \leq \theta_{cc}$) e ($\theta_{rp} \geq \theta_{pmp}$): $IHO = \theta_{pa} - \theta_{rp}$, em que θ_{cc} : umidade do solo na capacidade de campo (água retida a -10 kPa); θ_{pmp} : umidade do solo no ponto de murcha permanente (água retida a -1500 kPa); θ_{pa} : umidade do solo em que a porosidade de aeração é $\leq 0,1\ m\ m^{-3}$, obtida por meio da equação que utiliza a densidade do solo (D_s) e de partículas (D_p) - $[(1-(D_s/D_p)-0,1)]$; θ_{rp} : umidade do solo em que a RP é 2,0 MPa, determinada a partir da curva de resistência do solo à penetração; e IHO: intervalo hídrico ótimo.

A análise estatística dos resultados consistiu da análise da variância por meio do PROC GLM e da comparação de médias pelo teste LSD, que considera a diferença mínima de 5 %. Todas as análises foram realizadas por meio do software estatístico SAS (SAS, 2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados referentes à distribuição do tamanho de partículas e carbono orgânico (CO) do solo são apresentados no quadro 1. A fração argila apresentou pequeno aumento em profundidade, sendo insuficiente para configurar um gradiente textural, atributo diagnóstico ausente na ordem dos Latossolos (Embrapa, 2006). A fração areia predominou nas três camadas, sendo encontrados valores médios maiores que $560\ g\ kg^{-1}$. O teor de CO diminuiu com o aumento da profundidade. Esse decréscimo é frequentemente evidenciado no trópico úmido e em particular em solos brasileiros (Volkoff & Cerri, 1988; Desjardins et al.,

1991). Moraes et al. (1996) encontraram resultados semelhantes na mesma área de estudo, onde houve a conversão da floresta em pastagem; 20 anos após a instalação, aumentou em 19 % o CO do solo.

No quadro 4 são exibidos os valores médios dos atributos físicos do solo, determinados nas profundidades estudadas. Por ocasião da amostragem, 40 meses após o plantio da gramínea, não observaram-se diferenças entre tratamentos e profundidades para os atributos densidade do solo (D_s), densidade de partículas (D_p), microporosidade, macroporosidade, porosidade total (PT) e resistência do solo à penetração de raízes (RPcc). Mesmo no tratamento G, onde se poderiam esperar alterações na densidade e porosidade, em razão das operações de gradagem por ocasião da instalação do experimento, não foram observadas diferenças nesses atributos. Carvalho (1999) também não encontrou mudanças significativas nos valores de densidade no sistema de manejo onde se utilizou gradagem para a recuperação de pastagem dois anos após a instalação dos tratamentos; porém, observou aumento de macroporos na camada superficial.

Os valores de D_s observados na área variaram entre os mínimos de $1,35\ Mg\ m^{-3}$ (0-0,10 m), $1,47\ Mg\ m^{-3}$ (0,10-0,20 m) e $1,61\ Mg\ m^{-3}$ (0,20-0,30 m) e o máximo de $1,67\ Mg\ m^{-3}$, nas três profundidades. Moraes et al. (1996) encontraram uma amplitude entre $1,42\ Mg\ m^{-3}$ (0-0,10 m) e $1,47\ Mg\ m^{-3}$ (0,10-0,20 e 0,20-0,30 m) na mesma área de pastagem. No solo de floresta, utilizado como referência, a amplitude encontrada foi de $1,35$ a $1,53\ Mg\ m^{-3}$. Analisando a D_s cronologicamente, os autores observaram aumento gradativo, principalmente na superfície do solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Araújo et al. (2011), registrando $1,19\ Mg\ m^{-3}$ na floresta e $1,41\ Mg\ m^{-3}$ em uma pastagem com 20 anos de idade.

De acordo com Arshad et al. (1996), para solos com textura franco-argilo-arenosa, valores acima de $1,60\ Mg\ m^{-3}$ podem influenciar o crescimento do sistema radicular; $1,75\ Mg\ m^{-3}$ é o valor correspondente à densidade crítica, que impõe restrições severas ao crescimento das raízes. Ainda de acordo com os autores, o valor de $1,40\ Mg\ m^{-3}$ seria ideal para a classe textural do solo desse trabalho. Neste estudo, todos os sistemas de manejo apresentaram valores acima do ideal e abaixo do crítico.

A Dp variou entre $2,63 \text{ Mg m}^{-3}$ e $2,69 \text{ Mg m}^{-3}$. Em Manaus (AM), Souza et al. (2004) encontraram valores na faixa de $2,49 \text{ Mg m}^{-3}$ a $2,65 \text{ Mg m}^{-3}$ em um Latossolo Amarelo (argila > 600 g kg^{-1}), valores mínimos bem diferentes dos encontrados neste estudo. Já os valores máximos estão próximos aos obtidos neste estudo e do valor de $2,65 \text{ Mg m}^{-3}$, amplamente adotado na literatura para solos de constituição mineral nos cálculos da PT do solo. A Dp é um atributo do solo dependente da constituição mineralógica e do teor de matéria orgânica. Nesse contexto, o efeito dos sistemas de manejo provavelmente não foi suficiente para promover alterações nos teores de CO do solo, refletindo em valores semelhantes de Dp em todos os sistemas de manejo e camadas avaliadas.

No espaço poroso, representado pela macro e microporosidade do solo, predomina uma proporção maior de microporos em todos os tratamentos. Apesar das diferenças nas proporções de macroporosidade e microporosidade, a PT que reflete o somatório de ambas não foi influenciada pelos sistemas de manejo. Os valores observados variaram de $0,37$ a $0,49 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

A microporosidade do solo variou entre $0,22$ e $0,36 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, enquanto a macroporosidade apresentou valores entre $0,08$ e $0,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. De acordo com Silva & Kay (1997), a microporosidade do solo é fortemente influenciada pela textura e pelo teor de CO e pouco influenciada pelo aumento da Ds ocasionada pelo

tráfego de máquinas e uso de implementos agrícolas. Já a macroporosidade é fortemente influenciada pelo sistema de manejo; o aumento da Ds provoca redução da macroporosidade e isso pode ser considerado um dos primeiros indícios do processo de compactação do solo. Da Ros et al. (1997), Cavenage et al. (1999) e Beutler et al. (2001) verificaram que a redução da PT é caracterizada inicialmente pela redução da macroporosidade, pois essa é mais sensível quando comparada à microporosidade. Marques et al. (2004) também encontraram maior proporção de microporos ($0,40$ a $0,42 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), constituindo a PT de um Latossolo Amarelo distrófico (textura muito argilosa) em Manaus (AM). Dados semelhantes foram obtidos por Souza et al. (2004), os quais registraram valores de microporosidade variando entre $0,38$ e $0,42 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Os valores de macroporosidade em todos os sistemas de manejo foram superiores a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Para Gradwell (1965) e Carter (1988), o valor de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ pode ser amplamente utilizado para definir condições limitantes de aeração no solo; ou seja, plantas cultivadas em solos que apresentam valores abaixo de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ possivelmente encontrarão condições adversas de aeração e restrições ao crescimento.

Para efeito de comparação de resultados, a RPcc de raízes pode ser determinada quando o conteúdo de água do solo equivale à capacidade de campo (Smith et al., 1997). Dessa forma, é possível estabelecer

Quadro 4. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob pastagem

Tratamento	Ds	Dp	Micro	Macro	PT	RP _{cc} ⁽¹⁾
	Mg m^{-3}			$\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$		
				0-0,10 m		
T	1,55 Aa	2,65 Aa	0,27 Aa	0,14 Aa	0,41 Aa	0,37 Aa
H	1,54 Aa	2,64 Aa	0,28 Aa	0,13 Aa	0,41 Aa	0,36 Aa
G	1,52 Aa	2,64 Aa	0,30 Aa	0,12 Aa	0,42 Aa	0,37 Aa
A	1,60 Aa	2,65 Aa	0,27 Aa	0,12 Aa	0,40 Aa	0,38 Aa
S	1,54 Aa	2,63 Aa	0,31 Aa	0,11 Aa	0,41 Aa	0,42 Aa
				0,10-0,20 m		
T	1,59 Aa	2,66 Aa	0,27 Aa	0,13 Aa	0,40 Aa	0,34 Aa
H	1,57 Aa	2,67 Aa	0,26 Aa	0,15 Aa	0,41 Aa	0,35 Aa
G	1,61 Aa	2,66 Aa	0,26 Aa	0,13 Aa	0,39 Aa	0,44 Aa
A	1,57 Aa	2,67 Aa	0,27 Aa	0,14 Aa	0,41 Aa	0,32 Aa
S	1,62 Aa	2,66 Aa	0,27 Aa	0,12 Aa	0,39 Aa	0,39 Aa
				0,20-0,30 m		
T	1,60 Aa	2,67 Aa	0,27 Aa	0,13 Aa	0,40 Aa	0,35 Aa
H	1,51 Aa	2,69 Aa	0,26 Aa	0,18 Aa	0,44 Aa	0,26 Aa
G	1,56 Aa	2,68 Aa	0,28 Aa	0,14 Aa	0,42 Aa	0,32 Aa
A	1,53 Aa	2,68 Aa	0,26 Aa	0,16 Aa	0,43 Aa	0,33 Aa
S	1,54 Aa	2,67 Aa	0,27 Aa	0,15 Aa	0,42 Aa	0,25 Aa

T: testemunha, não recebeu fertilizante; Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas; micro: microporosidade; macro: macroporosidade; PT: porosidade total; e RPcc: resistência do solo à penetração de raízes. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na coluna, e pela mesma letra minúscula, entre camadas, não diferem entre si pelo teste LSD a 5 %. ⁽¹⁾ determinada com a umidade do solo na capacidade de campo (água retida a -10 kPa).

valores limitantes e fazer inferências para o crescimento radicular, relacionando esse crescimento ao valor crítico de 2,0 MPa (Silva et al., 1994; Tormena et al., 1998). A faixa de RP obtida neste estudo variou entre 0,11 e 0,54 MPa e não ultrapassou o valor considerado como limitante ao crescimento do sistema radicular. Embora a literatura apresente que os valores de RP limitantes podem variar para diferentes culturas e tipos de solo, trabalhos como os de Taylor et al. (1966), Silva et al. (1994), Tardieu (1994) também consideram o valor de 2,0 MPa como limitante para o crescimento de plantas. De acordo com Arshad et al. (1996), a faixa de RP encontrada no estudo pode ser considerada baixa, pois abrangeu valores compreendidos entre 0,1 e 1,0 MPa.

A avaliação da qualidade física do solo por meio do IHO não evidenciou diferenças entre os sistemas de manejo. Entretanto, observaram-se diferenças entre as profundidades (Quadro 5). O IHO apresentou diminuição com o aumento da profundidade do solo, variando entre 0,10 e 0,17 m³ m⁻³. Esses resultados implicaram em uma diminuição da qualidade física do solo em profundidade, pois representaram a faixa ou conteúdo de água em que os fatores que afetam diretamente o crescimento de plantas são menos limitantes. Com a diminuição do IHO, menor é a faixa

em que a umidade do solo pode variar sem que ocorram restrições relacionadas à disponibilidade de água, porosidade de aeração e resistência do solo à penetração de raízes.

O IHO é um índice de qualidade física do solo que integra em uma única variável (Ds) os fatores que afetam diretamente o crescimento de plantas. É correlacionado negativamente com a Ds e os teores de argila. Neste estudo, a Ds e o teor de argila pouco influenciaram os resultados, uma vez que essas variáveis exibiram valores semelhantes nas profundidades avaliadas (Quadros 1 e 4). No entanto, o IHO pode ser correlacionado positivamente com o teor de CO do solo (Silva & Kay, 1997; Sharma & Bhushan, 2001; Araújo et al., 2004), fato observado neste estudo.

Para avaliar o grau de compactação da pastagem, estimaram-se os parâmetros densidade máxima do solo (Dsmax) e densidade relativa do solo (Dsrel). Em ambos os parâmetros, foram encontradas diferenças entre as profundidades avaliadas (Quadro 5). Os valores de Dsmax obtidos neste estudo variaram entre 1,73 e 1,81 Mg m⁻³. A Dsmax equivale ao valor máximo de Ds que um solo pode alcançar quando compactado. É um parâmetro necessário para obtenção da Dsrel.

A Dsrel variou entre 81 e 95 %, na profundidade de 0-0,10 m; entre 84 e 95 %, de 0,10-0,20 m; e entre 80 e 97 %, de 0,20-0,30 m. Todos os sistemas de manejo apresentaram valores de Dsrel acima do valor adotado como crítico (Dsrel = 86 %) (Arvidsson & Håkansson, 1991), com exceção do sistema de manejo em que foi realizada a gradagem, na camada de 0-0,10 m. Valores de Dsrel acima de 86 % estão associados a reduções na produtividade das culturas e condições adversas no solo. Em cerca de 100 experimentos de campo, Håkansson (1990) encontrou as maiores produtividades de cevada em valores próximos a 87 %. No Brasil, Beutler et al. (2005) obtiveram a maior produtividade de soja em um Latossolo Vermelho (textura média) aos 80 %, enquanto Suzuki et al. (2007) obtiveram as maiores produtividades na cultura da soja em um Latossolo Vermelho (muito argiloso), aos 86 %.

Em um trabalho paralelo ao deste estudo, na mesma área experimental, Noronha et al. (2010) avaliaram a matéria seca da *Brachiaria brizantha* e registraram os maiores valores nos sistemas de manejo G, A e S, que diferiram estatisticamente dos demais. Entretanto, neste estudo, cerca de 40 meses após a instalação do experimento, não foram observadas diferenças entre os sistemas de manejo para os atributos físicos do solo, reforçando que, provavelmente, as variáveis químicas do solo estão mais relacionadas à produtividade da braquiária que as físicas e que há necessidade de estudos mais detalhados relacionando a Dsrel e produtividade de forragens como o estabelecimento de valores críticos e ideais.

Quadro 5. Intervalo hídrico ótimo (IHO), densidade máxima do solo (Dsmax) e densidade relativa do solo (Dsrel) de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob pastagem

Tratamento	IHO	Dsmax	Dsrel			
				m ³ m ⁻³	Mg m ⁻³	%
0-0,10 m						
T	0,14 Aa	1,80 Aa	86 Ab			
H	0,15 Aa	1,79 Aa	86 Ab			
G	0,17 Aa	1,81 Aa	84 Ab			
A	0,14 Aa	1,76 Aa	90 Ab			
S	0,16 Aa	1,79 Aa	86 Ab			
0,10-0,20 m						
T	0,13 Ab	1,76 Ab	90 Aa			
H	0,12 Ab	1,76 Ab	89 Aa			
G	0,12 Ab	1,76 Ab	91 Aa			
A	0,12 Ab	1,76 Ab	89 Aa			
S	0,12 Ab	1,76 Ab	91 Aa			
0,20-0,30 m						
T	0,11 Ac	1,76 Ab	91 Aa			
H	0,10 Ac	1,73 Ab	87 Aa			
G	0,11 Ac	1,76 Ab	89 Aa			
A	0,11 Ac	1,74 Ab	89 Aa			
S	0,11 Ac	1,74 Ab	89 Aa			

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na coluna, e pela mesma letra minúscula, entre camadas, não diferem entre si pelo teste LSD a 5 %.

CONCLUSÕES

1. Os sistemas de manejo do solo, compostos por dois sistemas de plantio direto, controle químico de plantas invasoras e preparo do solo, não proporcionaram melhorias significativas nos atributos físicos do solo, após 40 meses de implantação.

2. Os sistemas de manejo evidenciaram valores de densidade do solo acima do considerado ideal ($1,40 \text{ Mg m}^{-3}$) e abaixo do crítico ($1,75 \text{ Mg m}^{-3}$), para solos com classe textural franco-argilo-arenosa.

3. Os sistemas de manejo apresentaram valores de densidade do solo relativa (D_{srel}) acima do valor adotado como crítico ($D_{srel} = 86\%$), exceto no sistema em que foi realizado o preparo do solo na profundidade de 0-0,10 m.

4. A qualidade física do solo, avaliada pelo IHO, diminuiu com o aumento da profundidade do solo.

LITERATURA CITADA

- ARAÚJO, E.A.; KER, J.C.; MENDONÇA, E.S.; SILVA, I.R. & OLIVEIRA, E.K. Impacto da conversão floresta - pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. *Acta Amaz.*, 41:103-114, 2011.
- ARAÚJO, M.A.; TORMENA, C.A. & SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:337-345, 2004.
- ARSHAD, M.A.; LOWER, B. & GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J., eds. *Methods for assessing soil quality*. Madison, Soil Science Society of America, 1996. p.123-141.
- ARVIDSSON, J. & HÅKANSSON, I. A model for estimating crop yield losses caused by soil compaction. *Soil Tillage Res.*, 20:319-332, 1991.
- AVILA, M. The economics of agroforestry systems. *Paia, Financial and Economic Analysis of Agroforestry Systems*, 1992. p.77-94.
- BASTOS, T.X. & DINIZ, T.D.A.S. Avaliação de clima do Estado de Rondônia para desenvolvimento agrícola. Belém: Embrapa, CPATU, 1982. 82p. (Boletim de Pesquisa, 44)
- BELL, M.J.; BRIDGE, B.J.; HARCH, G.R. & ORANGE, D.N. Physical rehabilitation of degraded Krasnozems using ley pastures. *Aust. J. Soil Res.*, 35:1093-1113, 1997.
- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; ROQUE, C.G. & FERRAZ, M.V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:843-849, 2005.
- BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; CRUZ, J.C. & PEREIRA FILHO, I.A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:167-177, 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, Soil Science Society of America, 1986. p.363-375.
- CARDOSO, E.L.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.F.; FERREIRA, M.M. & FREITAS, D.A.F. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-Mato-Grossense. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:613-622, 2011.
- CARTER, M.R. Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies on fine sandy loams. *Can. J. Soil Sci.*, 70:425-433, 1990.
- CARTER, M.R. Temporal variability of soil macroporosity in a fine sandy loam under moulboard ploughing and direct drilling. *Soil Tillage Res.*, 12:37-51, 1988.
- CARVALHO, M.C.S. Práticas de recuperação de uma pastagem degradada e seus impactos em atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 1999. 103p. (Tese de Doutorado)
- CAVENAGE, A.; MORAES, M.L.T.; ALVES, M.C.; CARVALHO, M.A.C.; FREITAS, M.L.M. & BUZZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:997-1003, 1999.
- CORRÊA, J.C. & REICHARDT, K. Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um Latossolo Amarelo da Amazônia Central. *Pesq. Agropec. Bras.*, 30:107-114, 1995.
- DA ROS, C.O.; SECCO, D.; FIORIN, J.E.; PETRERE, C.; CADORE, M.A. & PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: Efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:241-247, 1997.
- DESJARDINS, T.; BARROS, E.; SARRAZIN, M.; GIRARDIN, C. & MARIOTTI, A. Effects of conversion to pasture on soil carbon content and dynamics in Brazilian Amazon. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 103:365-373, 2004.
- DESJARDINS, T.; VOLKOFF, B.; ANDREUX, F. & CERRI, C.C. Distribution du carbone total et de l'isotope ^{13}C dans des sols ferrallitiques du Brésil. *Sci. Sol.*, 29:175-187, 1991.
- DIAS JUNIOR, M.S. & ESTANISLAU, W.T. Grau de compactação e retenção de água de Latossolos submetidos a diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:45-51, 1999.
- DIAS, L.E. & GRIFFITH, J.J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: DIAS, L.E. & MELLO, J.W.V., eds. *Recuperação de áreas degradadas*. Viçosa, MG, UFV/Departamento de Solos, Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. p.1-7.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, 2006. 306p.
- FEIGL, B.J.; MELILLO, J. & CERRI, C.C. Changes in the origin and quality of soil organic matter after pasture introduction in Rondônia (Brazil). *Plant Soil*, 175:21-29, 1995.

- FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A.; CECATO, U.B.; BARBERO, L.M.; LUGÃO, S.M.B. & COSTA, M.A.T. Qualidade física do solo em pastagem adubada e sob pastejo contínuo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 43:1583-1590, 2008.
- FUJISAKA, S. & WHITE, D. Slash-and-burn agriculture, conversion to pasture, and deforestation in two Brazilian Amazon colonies. *Agrofor. Syst.*, 42:45-59, 1998.
- FUJISAKA, S.; BELL, W.; THOMAS, N.; HURTADO, L. & CRAUFORD, A. Slash-and-burn agriculture, conversion to pasture, and deforestation in two Brazilian Amazon colonies. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 59:115-130, 1996.
- GEE, G.W. & BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p.383-411.
- GOODLAND, R.G. The concept of environmental sustainability. *Ann. Rev. Ecol. System.*, 26:1-25, 1995.
- GRADWELL, M.W. Soil physical conditions of winter and growth of ryegrass plants. *New Zeland J. Agric. Res.*, 8:238-269, 1965.
- HÅKANSSON, I. A method for characterizing the state of compactness of the plough layer. *Soil Tillage Res.*, 16:105-120, 1990.
- IMHOFF, S.; SILVA, A.P. & TORMENA, C.A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35:1493-1500, 2000.
- KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: KLUTE, A. ed., *Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p.635-660.
- LEÃO, T.P. Intervalo hídrico ótimo em diferentes sistemas de pastejo e manejo da pastagem. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 2002. 58p. (Dissertação de Mestrado)
- LEÃO, T.P.; SILVA, A.P.; MACEDO, M.C.M.; IMOFF, S. & EUCLIDES, V.P.B. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:415-423, 2004.
- LIMA, V.M.P.; OLIVEIRA, G.C.; SEVERIANO, E.C. & OLIVEIRA, L.F.C. Intervalo hídrico ótimo e porosidade de solos cultivados em área de proteção ambiental do sul de Minas Gerais. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:1087-1095, 2009.
- LINDSTRON, M.J. & VOORHEES, W.B. Response of temperate crops to soil compaction. In: SOANE, B.D. & van OUWERKERK, C., eds. *Soil compaction in crop production*. London, Elsevier, 1994. p.265-286.
- MARQUES, J.D.O.; LIBARDI, P.L.; TEIXEIRA, W.G. & REIS, A.M. Estudo de parâmetros físicos, químicos e hídricos de um Latossolo Amarelo, na região amazônica. *Acta Amaz.*, 34:145-154, 2004.
- MARTÍNEZ, L.J. & ZINCK, J.A. Temporal variation of soil compaction and deterioration of soil quality in pasture areas of Colombian Amazonia. *Soil Tillage Res.*, 75:3-17, 2004.
- MORAES, J.F.L.; VOLKOFF, B. & CERRI, C.C. Soil properties under Amazon forest and changes due to pasture installation in Rondônia, Brazil. *Geoderma*, 70:63-81, 1996.
- MULLER, M.M.L.; GUIMARÃES, M.F.; DESJARDINS, T. & MARTINS, P.F.S. Degradação de pastagens na Região Amazônica: Propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. *Pesq. Agropec. Bras.*, 36:1409-1418, 2001.
- NEVES JUNIOR, A.F. Avaliação da qualidade física de solos em pastagens degradadas da Amazônia. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 2005. 66p. (Dissertação de Mestrado)
- NORONHA, N.C.; ANDRADE, C.A.; LIMONGE, F.C.; CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P.; PICCOLO, M.C. & FEIGL, B.J. Recovery of degraded pasture in Rondônia: Macronutrients and productivity of *Brachiaria brizantha*. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:1711-1720, 2010.
- 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. *R. Bras. Eng. Agric. Amb.*, 12:381-384, 2008.
- SAS Institute. SAS® (Statistical Analysis System). User's guide: Statistics. Cary, 2000.
- SERRÃO, E.A.S.; FALESI, I.C.; VEIGA, J.B. & TEIXEIRA NETO, J.F. Produtividade de pastagens cultivadas em solos de baixa fertilidade das áreas de floresta amazônica brasileira. In: TERGAS, L.E.; SANCHEZ, P.A. & SERRÃO, E.A.S., eds. *Produção de pastagens em solos ácidos dos trópicos*. Brasília, CIAT/Embrapa, 1982. p.219-251.
- SHARMA, P.K. & BHUSHAN, L. Physical characterization of a soil amended with organic residues in a rice-wheat cropping system using a single value soil physical index. *Soil Tillage Res.*, 60:143-152, 2001.
- SILVA, A.P. & KAY, B.D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61:877-883, 1997.
- SILVA, A.P.; KAY, B.D. & PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range of soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:1775-1781, 1994.
- SILVA, A.P.; KAY, B.D. & PERFECT, E. Management versus inherent soil properties effects on bulk density and relative compaction. *Soil Tillage Res.*, 44:81-93, 1997.
- SMITH, C.W.; JOHNSTON, M.A. & LORENZ, S. The effect of soil compaction and soil physical properties on the mechanical resistance of south African forestry soils. *Geoderma*, 78:93-111, 1997.
- SOUZA, Z.M.; LEITE, J.A. & BEUTLER, A.N. Comportamento de atributos físicos de um Latossolo Amarelo sob agroecossistemas do Amazonas. *R. Bras. Eng. Agric. Amb.*, 24:654-662, 2004.
- STOLF, R.; THURLER, A.M.; BACCHI, O.O.S. & REICHARDT, K. Method to estimate soil macroporosity and microporosity based on sand content and bulk density. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:447-459, 2011.

- SUZUKI, L.E.A.S.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & LIMA, C.L.R. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 42:1159-1167, 2007.
- TARDIEU, F. Growth and functioning of roots and to root systems subjected to soil compaction: Towards a system with multiple signaling. *Soil Tillage Res.*, 30:217-243, 1994.
- TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G.M. & PARKER, J.J. Soil strength-root penetration relations to coarse textured materials. *Soil Sci.*, 102:18-22, 1966.
- TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. & LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:573-581, 1998.
- VEIGA, J.B. & FALESI, I.C. Recomendação e prática da adubação de pastagens na Amazônia brasileira. In: MATTOS, H.B.; WERNER, J.C.; YAMADA, T. & MALAVOLTA, E., eds. *Calagem e adubação de pastagens*. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Ferro, 1986. p.256-282.
- VEIGA, J.B. & SERRÃO, E.A.S. Recuperación de pastures em la region este de la Amazonia brasileña. *Past. Trop.*, 9:40-43, 1987.
- VOLKOFF, B. & CERRI, C.C. L'humus des sols du Brésil: Nature et relations avec l'environnement. *Cahiers ORSTOM, Série Pédol.*, 24:83-95, 1988.
- WU, L.; FENG, G.; LETEY, J.; FERGUNSON, F.; MITCHELL, J.; McCULLOUGH-SANDEN, B. & MARKEGARD, G. Non limiting water range (NLWR) as index of soil quality as related to physical properties. *Geoderma*, 114:401-414, 2003.