



ARTIGO ORIGINAL

Marcelo Dayron Rodrigues Soares¹
Milton César Costa Campos^{1*}
Ivanildo Amorim Oliveira²
Jose Mauricio Cunha¹
Luís Antônio Coutrin Santos³
Julimar Silva Fonseca¹
Zigomar Menezes de Souza⁴

¹ Universidade Federal do Amazonas – UFAM,
Rua 29 de Agosto, 786, Divino Pranto, 69800-
000, Humaitá, AM, Brasil

² Universidade Estadual Paulista – UNESP,
Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n,
14884-900, Jaboticabal, SP, Brasil

³ Universidade Federal de Santa Maria – UFSM,
Av. Roraima, 1000, Camobi, Caixa Postal 5082,
97105-900, Santa Maria, RS, Brasil

⁴ Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP,
Av. Cândido Rondon, 501, Barão Geraldo,
13083-875, Campinas, SP, Brasil

*Autor Correspondente:

E-mail: mcesarsolos@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE

Atributos do solo
Floresta nativa
Milho
Pastagem

KEYWORDS

Soil attributes
Native forest
Corn
Pasture

Atributos físicos do solo em áreas sob diferentes sistemas de usos na região de Manicoré, AM

Soil physical properties in areas under different land uses systems in the Manicoré region, Amazonas State, Brazil

RESUMO: O conhecimento dos danos provocados pelos diferentes sistemas de manejo é essencial para melhorar a qualidade física do solo. Assim o objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos físicos do solo em áreas sob diferentes sistemas de usos na região de Manicoré, AM. Foram delimitadas três áreas, com os seguintes usos do solo: área cultivada com milho, área cultivada com pastagem e área sob floresta nativa. Foram coletadas 32 amostras de solos nas profundidades de 0,0-0,10 m em cada uma das três áreas estudadas. Os atributos físicos avaliados foram: textura, resistência do solo a penetração, umidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo e de partícula e estabilidade dos agregados. Foram realizadas análises de variância uni e multivariadas e os resultados dos diferentes sistemas de usos foram comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os sistemas de usos alteram os atributos do solo, especialmente a densidade do solo, macro e microporosidade do solo, resistência do solo a penetração e volume total de poros. A maior porcentagem de agregados com maiores diâmetros foi encontrada no sistema de uso com pastagem. O uso das técnicas multivariadas mostrou-se eficiente na distinção de ambientes sobre os sistemas de usos estudados.

ABSTRACT: Knowledge of the damage caused by different management systems is essential to improve the physical quality of the soil. So the aim of this study was to evaluate the soil physical properties in areas under different uses systems in the region of Manicoré, Amazonas State, Brazil. Three areas were defined with the following land uses: area under maize, area cultivated with grassland and area under native forest. 32 soil samples were collected in the depth from 0.0 to 0.10 m in each of the three areas studied. The assessed physical attributes were: particle size distribution, soil penetration resistance, soil moisture, micro and macroporosity, total porosity, bulk density, particle density and particle and aggregate stability. Uni variance and multivariate analysis were conducted and the results of different uses systems were compared by Tukey test at 5% probability. Land uses systems change the attributes of the soil, especially soil bulk density, macro and microporosity of the soil, soil penetration resistance and total pore volume. The highest percentage of households with larger diameter was found in the land use system with pasture. The use of multivariate techniques proved to be effective in environments distinction about the usage of the studied systems.

1 Introdução

A ocupação dos solos da Amazônia provoca a substituição de áreas de florestas por agricultura ou pastagens vem trazendo muitas vezes degradação destes solos. Segundo Reis et al. (2009) quando as áreas de florestas são substituídas por culturas agrícolas ou pastagens ocorrem alterações nos atributos dos solos, como aumento da densidade do solo (Ds), desagregação e perda de matéria orgânica. Para Oliveira et al. (2015) os atributos físicos do solo são alterados em função do manejo a que estão submetidos, podendo ser agravados pelo constante uso de implementos e tráfego de máquinas utilizado no preparo convencional do solo.

Assim, as atividades de exploração agropecuária nos solos Amazônicos devem ser cuidadosamente planejadas e as práticas de conservação do solo devem ser aplicadas desde o início do uso, visando conservar o potencial produtivo do solo para as gerações futuras (Muller et al., 2001). Por outro lado, alguns atributos físicos do solo podem apresentar variação em curto período de tempo ou em uma simples prática de preparo, outros apenas serão visíveis ou mensuráveis com um uso contínuo (Oliveira et al., 2014).

O uso inadequado do solo como o revolvimento excessivo ou o uso de práticas pouco conservacionistas, podem provocar aumento da densidade, diminuição da macroporosidade e porosidade total dentre outros danos. Em estudo comparativo avaliando as alterações ocorridas pelo manejo em Latossolo, no estado de Rondônia entre área de floresta nativa e área de pastagem, Valladares et al. (2011) verificaram que o volume total de poros e a densidade do solo apresentaram diferenças entre as áreas, como consequência do pisoteio animal. Além disso, os diferentes manejos e forma de uso do solo podem provocar alterações no movimento da água no solo e na resistência do solo à penetração (Aquino et al. 2014a).

Alguns dos atributos são bons indicadores da qualidade física do solo, tais como a resistência do solo a penetração (RSP), a qual vem sendo amplamente empregada para avaliar sistemas de usos e qualidade de operações agrícolas. Este atributo físico tornar-se eficaz por ser uma propriedade diretamente relacionada ao crescimento das plantas e de fácil e rápida determinação (Carvalho et al., 2006).

O conhecimento dos danos provocados pelo os diferentes sistemas de manejo são essenciais para melhorar a qualidade física do solo, pois a conversão de floresta em áreas agrícolas ou em áreas de pastagem vem provocando sérios problemas devidos os manejos impróprios adotados. Portanto, vários atributos físicos do solo podem atuar como indicadores da qualidade física do solo. De acordo com Carneiro et al. (2009), a avaliação da qualidade física do solo é complexa e deve ser realizada em função de um conjunto de indicadores específicos (atributos) e suas inter-relações, já que se tem verificado que indicadores isolados não são suficientes para explicar a perda ou o ganho potencial dos cultivos de determinado solo.

Assim o objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento dos atributos físicos do solo em áreas sob três tipos de usos do solo na região de Manicoré, AM.

2 Material e Métodos

A área de estudo localiza-se no distrito de Santo Antônio de Matupi, pertencente ao município de Manicoré, situado na região sul do estado do Amazonas. Foi escolhido uma propriedade rural, onde o solo apresentava três cultivos diferenciados: sob cultivo de pastagem situada nas coordenadas geográficas: 7° 55' 35" S e 61° 30' 43" W, sob cultivo de milho, situada nas coordenadas geográficas: 7° 56' 34" S e 61° 30' 48" W e uma área sob floresta nativa com coordenadas geográficas: 7° 55' 44" S e 61° 30' 41" W (Figura 1).

Todas as áreas estão situadas na mesma zona climática, segundo a classificação de Köppen, pertencendo ao grupo A (Clima Tropical Chuvoso) e tipo climático Am (chuvas do tipo monção), apresentando uma época seca de pequena duração (Brasil 1978). A pluviosidade é limitada entre 2.250 e 2.750 mm, com período chuvoso iniciando em outubro e prolongando-se até junho. As temperaturas médias anuais alteram entre 25 e 27 °C e a umidade relativa permanecem entre 85 e 90% (Brasil, 1978). O solo foi classificado como Latossolo Amarelo (Campos et al. 2011b) e a vegetação característica dessa região é Floresta Tropical Densa, formada por árvores adensadas e multiestratificadas de 20 a 50 m de altura (Brasil, 1978).

Foram selecionadas duas áreas com diferentes sistemas de cultivos tradicionais nesta região da Amazônia e uma sob floresta nativa: a) Pastagem: área sob uso com pastagem braquiária (*Brachiaria brizanta*) com aproximadamente 10 anos de uso com pastejo extensivo; b) Milho: área de Terra Preta Arqueológica (TPA) cultivada com milho aproximadamente com 120 dias após o plantio em sistema convencional, sob 3 anos de cultivo; e c) Floresta: fragmento florestal contíguo as áreas. Cada área de coleta consistiram em uma malha de 80 x 80 m, sendo a mesma dividida em 16 quadrantes iguais de 20 x 20 m. Foram coletados duas amostras por quadrante, totalizando 32 amostras por malha. Os solos foram amostrados em janeiro de 2011.

As 32 amostras de solo foram coletadas na profundidade 0 e 0-0,10 m em cada uma das três áreas estudadas. Em seguida foi realizada análise granulométrica pelo método da pipeta, utilizando uma solução de NaOH 1 mol L⁻¹ como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de alta rotação por 15 min, seguindo metodologia proposta pela Embrapa (1997). A fração argila foi separada por sedimentação, a areia por tamisação e o silte foi calculado por diferença (EMBRAPA 1997).

Foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada com uso de anel volumétrico. No laboratório as mesmas foram saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água até atingir cerca de 2/3 da altura do anel. A porosidade total (Pt) foi obtida pela diferença entre a massa do solo saturado e a massa do solo seco em estufa a 105 °C durante 24 h (EMBRAPA, 1997). A microporosidade do solo foi determinada pelo método da mesa de tensão, segundo metodologia da Embrapa (1997). Pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade, obteve-se a macroporosidade. A densidade do solo (Ds) foi calculada pela relação entre a massa seca em estufa a 105 °C durante 24 h da amostra de solo do cilindro volumétrico e o volume do mesmo (EMBRAPA, 1997).

Para a determinação da resistência do solo à penetração (RSP) foram utilizadas as mesmas amostras coletadas para

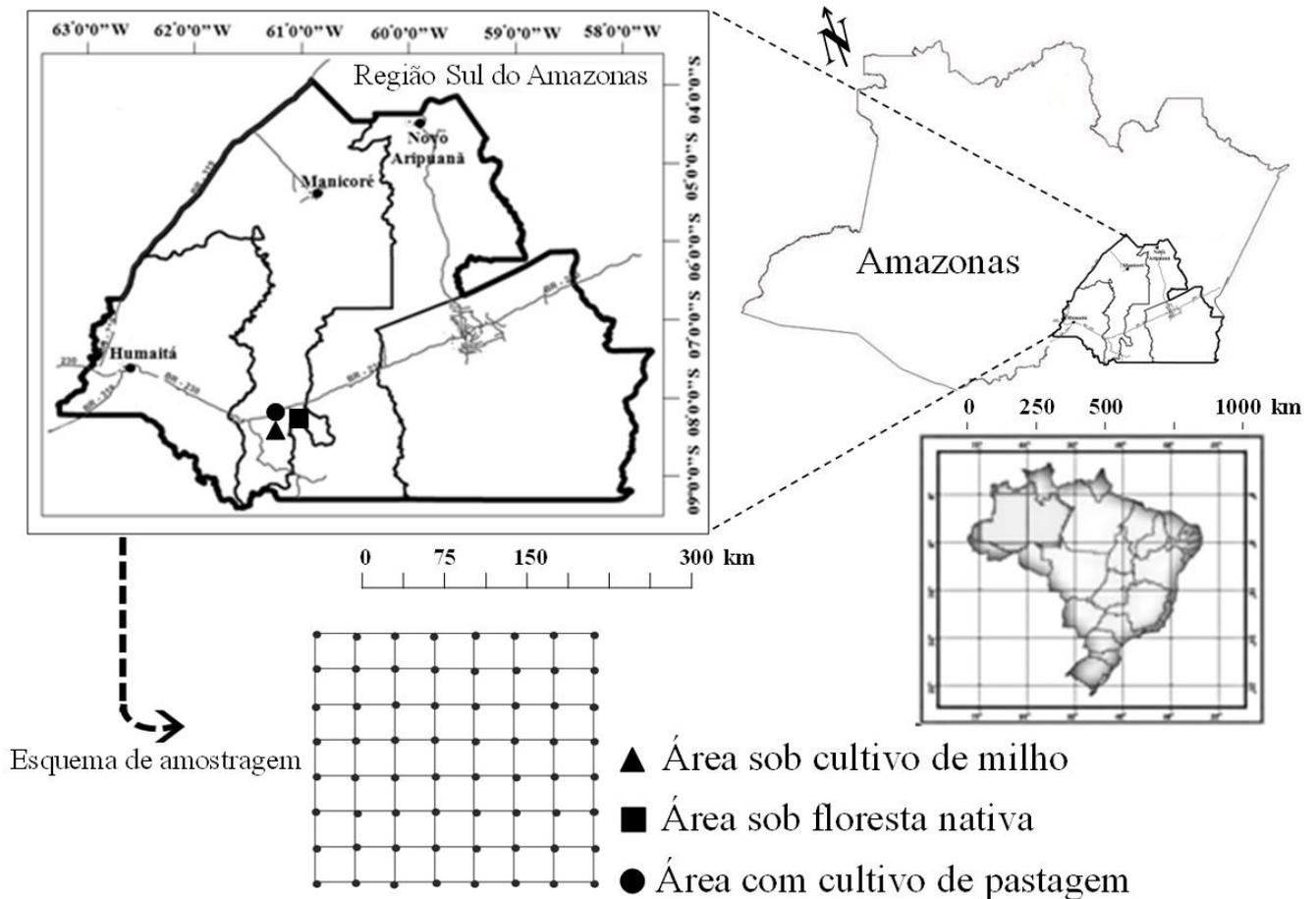


Figura 1. Localização das áreas de estudo na região de Manicoré, Amazonas.

Figure 1. Location of the study areas in the Manicoré region of Amazonas.

avaliação de densidade e de porosidade do solo, sendo realizadas as análises de RSP, logo após as amostras serem retiradas da mesa de tensão. As análises de RSP foram determinadas em laboratório utilizando um penetrômetro eletrônico modelo MA-933, marca Marconi, com velocidade constante de $0,1667 \text{ mm s}^{-1}$, equipado com uma célula de carga de 200 N, haste com cone de 4 mm de diâmetro de base e semi-ângulo de 30° , receptor e interface acoplado a um microcomputador, para registro das leituras por meio de um software próprio do equipamento. As determinações foram realizadas em amostras com estrutura preservada com tensão de água no solo próximo à capacidade de campo (Dalchiavon et al., 2011). Para cada amostra foram obtidos 250 valores, eliminando-se os valores iniciais e finais.

Foram coletadas amostras com estrutura preservada na profundidade 0 e 0-0,10 m para determinação da estabilidade de agregados do solo. As amostras foram secadas a sombra, levemente destorroadas, de forma manual e passadas em peneira de 9,51 mm de diâmetro de malha e retidos na peneira de 4,76 mm. A separação e estabilidade dos agregados foram determinadas segundo Kemper & Chepil (1965), com modificações, nas seguintes classes de diâmetro: $>2,0$; 2,0-1,0 e $< 1,00$ mm. Os agregados foram colocados em contato com a água sobre a peneira de 2,0 mm por quinze minutos, a massa do material retido em cada peneira, foi posta em estufa a 105°C . Os resultados

foram expressos em percentual dos agregados retidos nas peneiras $>2,0$; 2,0-1,0 e $< 1,0$ mm, diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP).

Após essas etapas, foram realizadas análises de variância uni e multivariada os resultados dos diferentes sistemas de usos foram comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo utilizado o programa estatístico Statistica 7.0 (Statistica, 2005).

Visando avaliar a ação conjunta dos atributos físicos (resistência do solo a penetração, teor de umidade, densidade do solo, densidade de partícula, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, areia, silte, argila, DMG, DMP, percentagem de agregados $<2,00$, percentagem de agregados 2,00-1,00, percentagem de agregados $>1,00$) na discriminação dos sistemas de usos estudados, foram aplicados às amostras de solos dos sistemas de usos e dois métodos estatísticos multivariados, visando classificar os acessos em grupos: análise hierárquica de agrupamentos e análise de componentes principais.

Todas as análises multivariadas foram realizadas após a padronização das variáveis em que cada uma ficou com média 0 e variância 1. A análise hierárquica de agrupamentos foi realizada calculando-se a distância euclidiana entre os acessos, para o conjunto das vinte e duas variáveis, e utilizando o algoritmo de Ward para a obtenção dos agrupamentos de acessos similares. O resultado da análise foi apresentado em

forma gráfica (dendrograma) que auxiliou na identificação dos agrupamentos dos acessos.

A análise de componentes principais permite condensar a maior quantidade da informação original contida em p variáveis ($p = 15$, neste estudo) em duas variáveis latentes ortogonais denominadas componentes principais, que são combinações lineares das variáveis originais criadas com os dois maiores autovalores da matriz de covariância dos dados (Hair, 2005). Desta forma, o conjunto inicial de quinze variáveis passou a ser caracterizado por duas novas variáveis latentes, o que possibilitou sua localização em figuras bidimensionais (ordenação dos acessos por componentes principais). A adequação desta análise é verificada pela quantidade da informação total das variáveis originais retida pelos componentes principais que mostram autovalores superiores à unidade (Kaiser, 1958). Autovalores inferiores à unidade não dispõem de informação relevante.

Todas as análises estatísticas foram processadas com auxílio do programa estatístico Statistica 7.0 (STATISTICA, 2005).

3 Resultados e Discussão

Os resultados referentes à análise granulométrica do solo são apresentados na Tabela 1. O solo cultivado com milho apresentou maiores teores de areia em comparação ao solo das áreas de floresta nativa e pastagem. A área cultivada com milho apresentou dominância de silte e areia semelhante aos resultados encontrados por Campos et al. (2011a) na região do médio Rio Madeira, já as maiores percentagens de argila foram encontradas na área de pastagem e floresta nativa.

Os valores de densidade do solo (Ds), macroporosidade, microporosidade, volume total de poros, resistência do solo a

penetração e umidade são apresentados na Tabela 2. A Ds na área sob cultivo de milho foi menor e diferindo estatisticamente dos demais sistemas de usos. Estes menores valores de Ds, são devido ao grande aporte de matéria orgânica encontrado nestas áreas de Terra Preta Arqueológica (dados não apresentados), corroborando, assim com Steinbeiss et al. (2009), quando afirmam que a menor densidade do solo nestas áreas deve-se aos elevados teores de carbono orgânico e de intensa atividade biológica (fauna e raízes), que constrói canais, cavidades e galerias.

A área de pastagem não apresentou maiores valores de Ds quando comparada a área de floresta nativa, evidenciando que não houve alteração deste atributo do solo, apesar do pisoteio dos animais. Resultados contrários foram observados por Araújo et al. (2004), onde os autores verificaram que a Ds foi alterada pelo uso do solo e os maiores valores foram apresentados para o horizonte A sob pastagens, quando comparada com áreas sob uso de mata, mata recém queimada e cultivo de pupunha em área de Argissolo Amarelo sob pastagem na Amazônia.

A macroporosidade apresentou valores estatisticamente iguais entre a área cultivada com milho e a floresta nativa, com valores menores para pastagem, o que pode ser considerado um início de deformação dos macroporos do solo ou presença de entupimento dos poros por parte da fração silte, contribuindo para uma provável compactação do solo.

O volume total de poros (VTP) apresentou médias estatisticamente diferentes para todas as áreas estudadas, com maior volume total de poros para a área sob cultivo de milho, seguindo pela área de floresta nativa e pastagem respectivamente. De acordo com Giarola et al. (2007) a redução do volume total de poros nas áreas de pastagens pode ser um reflexo da redução da macroporosidade, uma vez que a microporosidade não parece ser influenciada diretamente pelo manejo do solo. A microporosidade não diferiu entre pastagem e floresta, já na área sob cultivo de milho os valores foram estatisticamente maiores, função deste está sob terra preta arqueológica.

Os valores de resistência do solo a penetração (RSP) diferiram entre as três áreas, apresentando menor resistência para a área cultivada com milho, seguindo pela área de floresta nativa e pastagem. A menor RSP da área cultivada com milho é atribuída aos maiores teores de matéria orgânica (dados não apresentados) que é relativamente alta neste tipo de solo (Terra Preta Arqueológica) e que exerce papel importante na redução da densidade do solo, e nos valores de macroporosidade, contribuindo para uma menor RSP. Para Klein e Câmara (2007), valores de resistência do solo a penetração entre

Tabela 1. Textura do solo e coeficiente de variação (%) de solos sob diferentes usos na região de Manicoré, Amazonas.

Table 1. Soil particle size distribution and coefficient of variation (%) of soils under different land uses systems in the Manicoré region, Amazon State, Brazil.

Sistema de Usos	Areia	Silte	Argila
	g kg ⁻¹		
Milho	434,2a	444,3a	121,5c
Pastagem	410,7b	227,6c	361,7a
Floresta	358,8c	313,3b	327,9b
CV (%)	9,13	8,02	9,21

CV¹ (%): coeficiente de variação; Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem (Tukey $p < 0,05$).

Tabela 2. Valores médios e coeficiente de variação (%) dos atributos físicos do solo em diferentes sistemas de usos na região de Manicoré, Amazonas.

Table 2. Mean values and coefficient of variation (%) of soil physical properties in different land uses systems in the Manicoré region, Amazon State, Brazil.

Sistema de Usos	¹ Ds	² macro	³ micro	⁴ VTP	⁵ RSP	⁶ Uvs
	kg.dm ⁻³	m ³ m ⁻³	m ³ m ⁻³	m ³ m ⁻³	MPa	m ³ m ⁻³
Milho	0,88 b	22,04 a	28,43 a	50,47 a	0,92 c	3,83 a
Pastagem	1,31 a	17,12 b	20,61 b	37,73 c	2,92 a	2,43 b
Floresta	1,30 a	21,43 a	19,84 b	41,28 b	2,55 b	2,11 b
⁷ CV (%)	6,99	21,17	17,11	16,23	16,89	9,25

¹Ds: Densidade do solo; ²macro: macroporosidade; ³micro: microporosidade; ⁴VTP: volume total de poros; ⁵RSP: Resistência do solo a penetração; ⁶Uvs= umidade volumétrica do solo; ⁷CV: coeficiente de variação; Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem (Tukey $p < 0,05$).

2 e 3 Mpa são críticos para Latossolos e Argilosos, quando os mesmos encontram-se com 75% da sua capacidade de campo. De acordo com Araujo et al. (2004) em solos degradados, além da redução da quantidade de água disponível, a taxa de difusão de oxigênio e a resistência do solo à penetração podem limitar o crescimento das plantas na faixa de potenciais que determinam a disponibilidade de água no solo.

Valores elevados de RSP em áreas de pastagem foram observados também por Colet et al. (2009), trabalhando com um Latossolo Vermelho-Amarelo, avaliando as alterações dos atributos físicos em áreas de pastagem após escarificação. Neste mesmo trabalho, os autores mostraram que a escarificação do solo em uma profundidade de 0,25 m reduziu significativamente os valores de RSP na profundidade de trabalho.

Os valores referentes à estabilidade de agregados são apresentados na Tabela 3. A área de pastagem apresentou maior porcentagem de agregados com maiores diâmetros (4,76 -2,00) seguidos pela área de floresta e cultivada com milho. Para Dexter (1988) os solos com agregados estáveis de maior tamanho são considerados solos estruturalmente melhores e mais resistentes ao processo erosivo, pois a agregação facilita a aeração do solo, as trocas gasosas e a infiltração de água, em função do aumento da macroporosidade, além de garantirem a microporosidade e a retenção de água dentro dos agregados.

No entanto, a maior porcentagem de agregados com maiores diâmetros, não evidenciam neste caso específico melhores condições de estrutura, aeração e macroporosidade do solo, uma vez que estes valores de agregados devem se ao fato do solo está em maior nível de compactação e apresentar maior resistência à ruptura, esta afirmação é confirmada pelo os maiores valores de D_s e RSP e os menores valores de macroporosidade e porosidade total na área de pastagem. Para Kato et al. (2010) altos valores de DMP indicam a alta estabilidade dos agregados, no entanto, de acordo com Alho et al. (2014) um agregado de elevado DMP nem sempre apresenta adequada distribuição de tamanho de poros no seu interior.

A área de cultivo de milho em solos de Terra Preta Arqueológicas apresentaram menores valores de DMP e DMG e menores porcentagens de agregados de maiores tamanhos (Tabela 3), apesar de estes solos serem caracterizados por apresentarem altos teores de matéria orgânica. De acordo com Campos et al. (2013a), há correlação altamente significativa

entre o aumento no teor de matéria orgânica e o aumento da estabilidade de agregados. Esta relação foi comprovada por Calonego & Rosolem (2008), que avaliando a estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação observaram que as hastas do escarificador, mesmos não revolvendo o solo, promovem a ruptura da sua estrutura e que tal ação desagregadora foi maior em subsuperfície do que em superfície devido ao menor teor de matéria orgânica o que promoveu menor estabilidade dos agregados em comparação à camada superficial.

As menores porcentagens de agregados de maiores tamanhos observados no solo cultivado com milho podem ser explicada por este apresentar uma textura mais grosseira (franca) em relação à área de pastagem e floresta, justificando assim que solos com textura mais grosseiras apresentam menor agregação das partículas formadoras deste (Campos et al. 2012). Neste contexto Aquino et al. (2014b), afirma que o arranjo das partículas primárias do solo, resulta em agregados de tamanhos e formas variadas, constituindo as unidades básicas da estrutura do solo que por ser formada de unidades menores (os agregados) depende da forma, tamanho e o grau de estabilidade dessas unidades. Assim é evidente que em solos mais argilosos os agregados serão maiores com maior estabilidade do que em solos arenosos onde ocorre a instabilidade de agregado.

Na análise de componentes principais (Figura 2), foram considerados os dois primeiros componentes Fator 1 e Fator 2, pois estes conseguem reter cumulativamente a quantidade suficiente da informação total contida no conjunto das variáveis originais, para cada sistema de uso, que foi definido por 15 variáveis, o que possibilita sua localização com um ponto em um gráfico bidimensional (Hair, 2005).

De maneira geral observou-se que os dois primeiros componentes Fator 1 e Fator 2, armazenaram 76,77% da variância original dos atributos do solo para os sistemas de usos. Segundo Campos et al. (2013b), para estudos de solos, valores acima de 70% da variância original acumulada são considerados valores aceitáveis, validando assim as informações do trabalho em questão.

A análise de componentes principais (ACP) foi aplicada no intuito de verificar a relação entre os atributos do solo e os sistemas de usos estudados. Na ACP utilizaram-se o conjunto dos atributos físicos para ambos os horizontes diagnósticos estudados, considerando apenas os dois primeiros eixos

Tabela 3. Valores médios dos índices de estabilidade de agregados do solo e coeficientes de variação (%) em diferentes sistemas de usos na região de Manicoré, Amazonas.

Table 3. Average values of the soil aggregates stability index and coefficients of variation (%) in different land uses systems in the Manicoré region, Amazon State, Brazil.

Sistema de Uso	Classes de tamanhos dos agregados				
	¹ DMP	² DMG	4,76-2,00	2,00-1,00	1,00-0,25
	mm		%		
	-----0,0-0,10 m-----				
Milho	2,57 c	1,78 c	67,55 c	9,19 a	23,24 a
Pastagem	3,13 a	2,79 a	90,52 a	3,23 b	6,24 c
Floresta	2,82 b	2,26 b	76,37 b	9,44 a	14,17 b
CV (%)	10,05	9,95	8,43	9,33	9,21

¹DMP: diâmetro médio ponderado; ²DMG: diâmetro médio geométrico; CV (%):³ coeficiente de variação; Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem (Tukey $p < 0,05$).

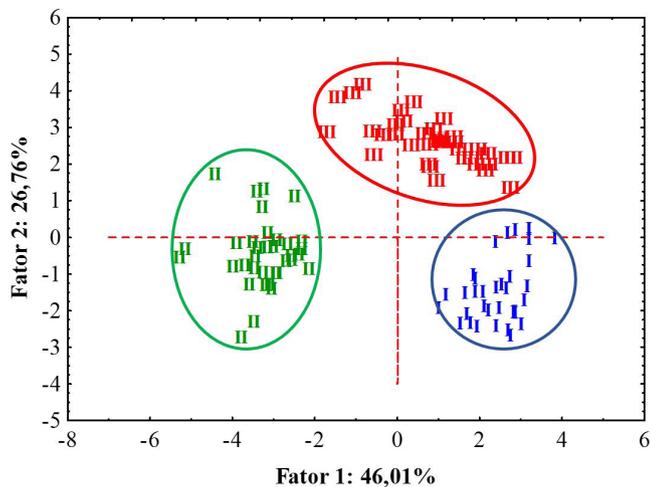


Figura 2. Análise de componentes principais dos atributos físicos nos diferentes sistemas de usos. I = pastagem; II= milho; III= floresta.

Figure 2. Principal component analysis of soil physical properties in different land uses systems. I = Pasture; II = Corn; III = Forest.

fatoriais (Figura 2). Verificou-se que os usos apresentaram, nos dois primeiros eixos, uma variância que explica 76,77% da variabilidade total dos dados, sendo 46,01 e 26,76% pelo 1º e 2º eixos, respectivamente (Figura 1). De acordo com Toledo et al. (2009), após esta etapa, a análise multivariada pode ser aplicada na seleção de variáveis relevantes na caracterização e no planejamento de uso sustentável de ambientes naturais.

4 Conclusões

Os sistemas de usos alteram os atributos do solo, especialmente a densidade do solo, macro e microporosidade do solo, resistência do solo a penetração e volume total de poros. A maior percentagem de agregados com maiores diâmetros foi encontrado no sistema de uso com pastagem. O uso das técnicas multivariadas mostrou-se eficiente na distinção de ambientes sobre os sistemas de usos estudados.

Referências

ALHO, L. C.; CAMPOS, M. C. C.; SILVA, D. M. P.; MANTOVANELLI, B. C.; SOUZA, Z. M. Variabilidade espacial de estabilidade de agregados e estoque de carbono em Cambissolo e Argissolo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.44, n.3, p.246-254, 2014.

AQUINO, R. E.; CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; OLIVEIRA, I. A.; MANTOVANELLI, B. C.; SOARES, M. D. R. Geoestatística na avaliação dos atributos físicos em Latossolo sob floresta nativa e pastagem na região de Manicoré, AM. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v.38, p.397-406, 2014a.

AQUINO, R. E.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; SILVA, D. M. P. S.; SILVA, D. A. P. Variabilidade espacial de atributos físicos de solos antropogênico e não antropogênico na região de Manicoré, AM. *Bioscience Journal*, v.30, n.4, p. 988-997, 2014b.

ARAÚJO, E. A., LANI, J. L., AMARAL, E. F., GUERRA, A. Uso da Terra e propriedades físicas e químicas de Argissolo Amarelo

distrófico na Amazônia Ocidental. *Revista Brasileira Ciência do Solo*. v.28, n.3, p.307-315. 2004.

BRASIL. 1978. Departamento Nacional da produção Mineral. *Projeto RADAMBRASIL, folha SB. 20, Purus*, geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 566 p.

CALONEGO, J. C., ROSOLEM, C. A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação. *Revista Brasileira Ciência do Solo*. v.32, n.3, p.1399-1407, 2008.

CAMPOS, M. C. C. RIBEIRO, M. R. SOUZA JÚNIOR, V.S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; SOUZA, R. V. C. C.; ALMEIDA, M. C. Caracterização e classificação de terras pretas arqueológicas na Região do Médio Rio Madeira. *Bragantia*, v.70, n.3, p.598-609, 2011a.

CAMPOS, M. C. C., RIBEIRO, M. R., SOUZA JÚNIOR, V.S., RIBEIRO FILHO, M. R., R.V.C.C. Relações solo-paisagem em uma toposequência sobre substrato granítico em Santo Antônio do Matupi, Manicoré (AM). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 35, n. 1, p. 13-23, 2011b.

CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; OLIVEIRA, I. A.; SANTOS, L. A. C.; AQUINO, R. E. Spatial variability of physical attributes in Alfissol under agroforestry, Humaitá region, Amazonas state, Brazil. *Revista de Ciências Agrárias*, Belém, v. 56, n.2, p. 149-159, 2013a.

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; AQUINO, R. E.; OLIVEIRA, I. A. Superfícies geomórficas e atributos do solo em uma toposequência de transição Várzea-Terra Firme. *Bioscience Journal*. v. 29, n.5, p. 132-142, 2013b.

CAMPOS, M. C. C.; SANTOS, L. A. C.; SILVA, D.M.P.; MANTOVANELLI, B. C.; SOARES, M.D.R. Caracterização física e química de terras pretas arqueológicas e de solos não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas. *Agro@ambiente*, v. 6, n.2, p. 102-109, 2012.

CARNEIRO, M.A.C., SOUZA, E. D., REIS, E. F., PEREIRA, H. S., AZEVEDO, W.R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira Ciência do Solo*. v.33, n.2, 147-157, 2009.

CARVALHO, G.J., CARVALHO, M.P., FREDDI, O.S., MARTINS, M.V. Correlação da produtividade do feijão com a resistência à penetração do solo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.45, n.3, p.765-771, 2006.

COLET, M. J., SVERZUT, C. B., WEIRICH NETO, P. H. SOUZA, Z. M. Alteração em atributos físicos de um solo sob pastagem após escarificação. *Ciência e Agrotecnologia*. v.33, p.361-368, 2009.

DALCHIAVON, F. C., PASSOS E CARVALHO, M., NOGUEIRA, D., ROMANO, D., LIMA A. F., ASSIS, J. T., OLIVEIRA, M.S. Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no cerrado brasileiro. *Pesquisa Agropecuária Tropical*.v.41, n.1, p.8-19. 2011.

DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. *Soil & Tillage Research*. v.11, n.6, p.199- 238. 1988.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. 1997. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, 212p.

GIAROLA, N.F.B., TORMENA, C.A., DUTRA, A.C. Physical degradation of a red latosol used for intensive forage production. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v.31, n.4, p.863-873. 2007.

- HAIR, J. F. *Análise multivariada de dados*. Porto Alegre: Bookman, 2005. 205p.
- KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*. v.23, p.187-200, 1958.
- KATO, E., RAMOS, M. L. G., VIEIRA, D. F. A., MEIRA, A. D., MOURÃO, V. C. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Latossolo Vermelho-Amarelo do cerrado, sob diferentes coberturas vegetais. *Bioscience Journal*. v.26, n.4, p.732-738, 2010.
- KEMPER, W. D., CHEPIL, W. S. Aggregate stability and size distribution. In: BLACK, C. A. (Ed.) *Methods of soil analysis*. Madison: ASA, pt. 1, cap. 39, 1965. p. 499-510.
- KLEIN, V.A., CÂMARA, R.K. Rendimento de soja e intervalo hídrico ótimo em Latossolo vermelho sob plantio direto escarificado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v.31, n.5, p.221-227, 2007.
- 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. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v.36, n.6, p.1409-1418, 2001.
- OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C.; AQUINO, R. E.; MARQUES JÚNIOR, J.; FREITAS, L.; SOUZA, Z. M. Semivariograma escalonado no planejamento amostral da resistência à penetração e umidade de solo com cana-de-açúcar. *Revista de Ciências Agrárias*. v.57, n.4, p.287-296, 2014.
- OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C.; FREITAS, L.; SOARES, M. D. R. Caracterização de solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas. *Acta Amazônica*, v.45, n.1, p.1-12, 2015.
- REIS, M. S., FERNANDES, A. R., GRIMALDI, C., DESJARDINS, T., GRIMALDI, M. Características químicas dos solos de uma topossequência sob pastagem em uma frente pioneira da Amazônia Oriental. *Revista de Ciência Agrária*. v.52, n.3. p.37-47, 2009.
- STATISTICA. Statistica 7.0, EUA Software. Tucksá: StatSof. 2005.
- STEINBEISS, S., GLEIXNER, G., ANTONIETTI, M. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*. v.41, v.5, p.1301-1310, 2009.
- TOLEDO, L. O., ANJOS, L. H. C., COUTO, W. H., CORREIA, J. R., PEREIRA, M. G., FERNANDES M. E. C. Análise multivariada de atributos pedológicos e fitossociológicos aplicada na caracterização de ambientes de cerrado no norte de Minas Gerais. *Revista Árvore*. v.33, n.3, p.957-967, 2009.
- VALLADARES, G. S., BATISTELLA, M., PEREIRA, M. G. Alterações ocorridas pelo manejo em Latossolo, Rondônia, Amazônia Brasileira. *Bragantia*. v.70, n.3, p.631-637, 2011.

Contribuição dos autores: Marcelo Dayron Rodrigues Soares, Luís Antônio Coutrin Santos e Julimar Silva Fonseca contribuíram diretamente na instalação do experimento a campo e procedimento das análises do solo; Milton César Costa Campos auxiliou na orientação de desenvolvimento do projeto e na revisão ortográfica e gramatical do trabalho; Ivanildo Amorim Oliveira contribuiu com a revisão ortográfica; José Maurício Cunha contribuíram na parte de realização das análises e escrita do trabalho; Zigomar Menezes de Souza contribuíram na instalação do experimento a campo e procedimentos de análise.

Agradecimentos: À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas e CNPq pelo financiamento da pesquisa.

Fonte de financiamento: Os autores agradecem a Universidade Federal do Amazonas por oferecer suporte para realização das análises e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas e CNPq pelo financiamento da pesquisa.

Conflito de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.