



ARTIGO ORIGINAL

Bruno Campos Mantovanelli^{1*}
Diogo André Pinheiro da Silva²
Milton César Costa Campos³
Romário Pimenta Gomes³
Marcelo Dayron Rodrigues Soares⁴
Luís Antônio Coutrim dos Santos⁵

¹ Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Departamento de Solos, Física do Solo, Avenida Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, 52171-900, Recife, PE, Brasil

² Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil

³ Universidade Federal do Amazonas - UFAM, Humaitá, AM, Brasil

⁴ Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, SP, Brasil

⁵ Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria, RS, Brasil

*Autor Correspondente:

E-mail: brunomantovanelli21@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE

Floresta Amazônica
Ecossistemas naturais
Cambissolo

KEYWORDS

Amazon forest
Natural ecosystems
Cambisol

Avaliação dos atributos do solo sob diferentes usos na região de Humaitá, Amazonas

Evaluation of soil attributes in areas under different land uses in the region of Humaitá, Amazonas state

RESUMO: A implantação de atividades florestais, agrícolas e pecuária vem modificando a cobertura vegetal original de grande parte do território brasileiro. Ecossistemas naturais, como o cerrado e a floresta amazônica, vêm perdendo suas características originais e cedendo lugar para essas atividades. O objetivo foi avaliar os atributos do solo sob diferentes usos na fazenda Santa Rita, em Humaitá, Amazonas no período de 2012 a 2013. O solo foi classificado como Cambissolo Háptico Alítico plíntico. Foram selecionadas três áreas: área de pastagem abandonada, área de agricultura abandonada e área de campo nativo, com vegetação nativa. Em cada sistema de uso, foi demarcada uma área de 60 × 80 m, com 12 pontos amostrais, e os solos foram coletados nas camadas de 0,00 - 0,05 m e 0,05 - 0,10 m, com estrutura preservada, totalizando, assim, 24 amostras por sistema de uso. Realizaram-se as seguintes análises físicas: textura, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, umidade volumétrica do solo, densidade do solo, estabilidade de agregados. Realizaram-se as seguintes análises químicas: pH em água, acidez potencial, alumínio trocável, carbono orgânico e estoque de carbono. Para a análise dos dados, foram utilizadas as estatísticas univariada e multivariada. A substituição da vegetação nativa por sistemas de usos ocasionou alterações nos atributos físicos e químicos do solo. O uso das técnicas multivariadas mostrou-se eficiente na distinção de ambientes sobre os sistemas de usos estudados.

ABSTRACT: The implementation of forestry, agricultural and livestock activities is modifying the original vegetation of much of the Brazilian territory. Natural ecosystems such as savanna and the Amazon rain forest have been losing their original features, making room for these activities. The objective of the present study was to evaluate the soil attributes of areas under different land uses in the region of Humaitá. The study was conducted between 2012 and 2013 in the municipality of Santa Rita Humaita, Amazonas state, Brazil. The soil was classified as Alitic Plinthic Haplic Cambisol. Three areas were selected: area of abandoned pasture, area of abandoned agriculture, and natural area with native vegetation. In each use system, an area of 60 × 80 m with twelve sampling points was demarcated and soils were collected in layers from 0.00 to 0.05 and 0.05 to 0.10 m depths with preserved structure, totaling 24 samples per use system. The following physical analyses were conducted: texture, macroporosity, microporosity, total porosity, soil water content, bulk density and aggregate stability. The following chemical analyses were carried out: pH, potential acidity, exchangeable aluminum, organic carbon and carbon stock. Univariate and multivariate statistical analyses were performed. The replacement of the native vegetation with use systems causes changes in physical and chemical soil properties. The use of multivariate techniques was effective in distinguishing environments of the use systems studied.

1 Introdução

A implantação de atividades florestais, agrícolas e pecuárias vem modificando a cobertura vegetal original de grande parte do território brasileiro. Ecossistemas naturais, como o cerrado e a floresta amazônica, vêm perdendo suas características originais e cedendo lugar para essas atividades.

A região de Humaitá, Amazonas, não é coberta por campos contínuos, mas por várias unidades isoladas entremeadas por florestas de galerias, denominadas como os “Campos de Puciari-Humaitá” (Braun & Ramos, 1959). O predomínio dessa vegetação é reflexo das condições topográficas e do solo, pois, à medida que ocorre elevação do terreno, vai mudando de fisionomia, cedendo lugar a uma formação de aspecto mais uniforme, dotada de árvores mais baixas, que constitui o “cerrado” (Campos et al., 2012).

Nessa região considerada arco do desmatamento, algumas áreas de vegetação natural são utilizadas em atividades agrícolas e na pecuária. Essas atividades vêm substituindo a vegetação nativa, ocasionando perda da biodiversidade, alterações em todo o sistema, aumento do escoamento superficial, o que resulta na perda da fertilidade dos solos, aumento dos processos de erosão do solo, alterações do ciclo hidrológico, assoreamento e eutrofização dos corpos d’água (Klink & Machado, 2005). Assim, a quantificação das alterações dos atributos do solo, decorrentes da intensificação de sistemas de uso e manejo, pode fornecer subsídios importantes para a definição de sistemas racionais de manejo, contribuindo, assim, para tornar o solo menos suscetível à perda de capacidade produtiva (Neves et al., 2004).

Nos últimos anos, os estudos sobre a qualidade do solo evoluíram significativamente, justificados quase sempre pela necessidade de se avaliar o comportamento de diversos atributos do solo em áreas sob cultivo agrícolas e pastagens (Spera et al., 2009), pois o manejo inadequado do solo pode provocar aumento da densidade, diminuição da macroporosidade e porosidade total, dentre outros danos.

O conhecimento dos danos provocados pelos diferentes sistemas de usos é essencial para melhorar a qualidade do solo. Ainda assim, segundo Carneiro et al. (2009), a avaliação 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. Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar os atributos do solo sob diferentes usos na região de Humaitá.

2 Material e Métodos

O estudo foi realizado entre os períodos de 2012 a 2013 na Fazenda Santa Rita, localizada nas imediações da BR 230, km 14, no município de Humaitá, Amazonas (7°54’25” de latitude sul, 63°17’33” de longitude oeste e altitude de 65 m). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical chuvoso (chuvas do tipo monção), apresentando um período seco de pequena duração (Am), temperaturas variando entre 25 e 27 °C e precipitação média anual de 2.500 mm, com

período chuvoso iniciando em outubro, prolongando-se até junho, e umidade relativa do ar entre 85 e 90% (BRASIL, 1978).

Foram selecionados três sistemas de usos típicos da região Amazônica: a) área de pastagem abandonada, anteriormente cultivada com braquiária (*Brachiaria brizantha*), em início de degradação, refletido em certos pontos o solo em exposição; b) área de agricultura abandonada, sendo anteriormente cultivada com culturas anuais soja/arroz em sistema de rotação e aproximadamente há dez anos sem revolvimento do solo; c) área natural, com vegetação nativa. O solo das áreas em estudo foi classificado como Cambissolo Háptico Alítico plíntico. Em cada sistema de uso, foi demarcada uma área de 60 × 80 m, com 12 blocos amostrais, e os solos foram coletados nas camadas de 0,00 - 0,05 m e 0,05 - 0,10 m, com estrutura preservada, totalizando, assim, 24 amostras por sistema de manejo.

A análise granulométrica foi determinada pelo método da pipeta, após dispersão da amostra com NaOH 1,0 mol L⁻¹ e agitação rápida (6.000 rpm), por 15 min (EMBRAPA, 1997). A determinação da densidade do solo foi realizada pelo método do anel volumétrico, com coleta de amostras em estrutura preservada, em cilindros com volume médio de 313,9 cm³. A porosidade do solo foi determinada a partir da mesa de tensão sendo a macroporosidade determinada com aplicação de 1KPa, a microporosidade aplicou-se tensão de 6KPa e secagem em estufa a 105°C, a soma de ambos determinou a porosidade total. A umidade volumétrica foi obtida pela diferença entre a massa do solo úmido e a massa do solo seco em estufa a 105 °C durante 24 h (EMBRAPA, 1997).

Para a determinação da resistência do solo à penetração, foram utilizadas as mesmas amostras coletadas para avaliação de densidade e de porosidade do solo que foram determinadas em laboratório utilizando um penetrômetro eletrônico com velocidade constante de 0,1667 mm s⁻¹, equipado com uma célula de carga de 200 N, haste com cone de 4 mm de diâmetro de base e semiângulo 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 290 valores, eliminando-se os 30 valores iniciais e os 30 finais.

Para determinação da estabilidade de agregados, utilizou-se das amostras em estrutura preservada, secas à sombra, levemente destorroadas de forma manual e passadas em peneira de 9,51 mm de diâmetro de malha e os agregados, retidos na peneira de 4,76 mm. A separação e a estabilidade dos agregados foram determinadas segundo Kemper & Chepil (1965), com modificações nas seguintes classes de diâmetro: > 2,00 e < 1,00 mm. Os agregados foram colocados em contato com a água em peneira de 2,00 mm por 15 min. 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 > 2,00 e < 1,00 mm, diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP).

O alumínio trocável foi extraído com solução de KCl 1 mol L⁻¹, e, posteriormente, realizado a titulação com NaOH (0,025 mol L⁻¹), sendo o teor de Al, em cmol_c kg⁻¹, equivalente ao volume gasto na titulação com NaOH. A acidez potencial (H+Al) foi

Tabela 1. Textura do solo e coeficiente de variação (CV) de solos sob diferentes usos na região de Humaitá, Amazonas.**Table 1.** Soil texture and coefficient of variation (CV) of soils under different land uses in the region of Humaita, Amazon.

Sistema de Manejo	Areia			Silte			Argila		
	g kg ⁻¹								
Profundidade 0,00 - 0,05 m									
Pastagem abandonada	167,06			672,23			160,69		
Agricultura abandonada	177,98			526,49			295,51		
Campo natural	223,28			577,29			199,42		
CV (%)	9,83			8,87			10,64		
Profundidade 0,05 - 0,10 m									
Pastagem abandonada	183,48			671,67			166,55		
Agricultura abandonada	177,57			546,62			275,80		
Campo natural	232,15			562,08			205,76		
CV (%)	9,13			8,02			9,21		

extraída com solução tamponada a pH 7,0 de acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ e determinada volumetricamente com solução de NaOH 0,025 mol L⁻¹, e o resultado expressado em cmol_c kg⁻¹.

O carbono orgânico total foi determinado pelo método de *Walkley-Black*, oxidação por via úmida com aquecimento externo modificado, segundo Yeomans & Bremner (1988), e a matéria orgânica foi estimada com base no carbono orgânico. O estoque de carbono (Est C) foi determinado em todas as áreas estudadas na profundidade de coleta de 0,0 - 0,05 m e 0,05 - 0,10 m e calculado pela expressão (Veldkamp, 1994):

$$\text{Est C} = (\text{CO} \times \text{Ds} \times e) / 10 \quad (1)$$

Em que: Est. C = estoque de carbono orgânico do solo (Mg ha⁻¹); COT = teor de carbono orgânico total (g kg⁻¹); Ds = densidade do solo (kg dm⁻³); e = espessura da camada considerada (cm) (Equação 1)

Foi realizada análise de variância, e, quando significativos, analisados pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Também se realizou a análise estatística multivariadas, com as técnicas de análise de agrupamento hierárquica e análise de componentes principais (ACP).

A análise de agrupamentos hierárquica foi realizada calculando-se a distância euclidiana entre os acessos para o conjunto das 13 variáveis, com o uso do algoritmo de Ward para a obtenção dos agrupamentos de acessos similares. Com essa análise, buscou-se verificar as similaridades entre as variáveis analisadas e as áreas estudadas a partir de agrupamentos homogêneos representados em um dendrograma de similaridade. O resultado da análise foi apresentado em forma gráfica (dendrograma), o que auxiliou na identificação dos agrupamentos dos acessos. No dendrograma, os grupos foram definidos pelo traçado de uma linha paralela ao eixo horizontal, no qual se encontram as maiores distâncias em que os grupos foram formados.

Com a intenção de reduzir o grande número de variáveis para um conjunto mais significativo (representado pelos componentes), identificar quais variáveis pertencem a quais componentes e o quanto cada variável explica cada componente, foi feito o estudo da ACP. Dessa forma, o conjunto inicial de 13 variáveis passou

a ser caracterizado por duas novas variáveis latentes ortogonais, o que possibilitou sua localização em figuras bidimensionais (ordenação dos acessos por componentes principais), que são combinações lineares das variáveis originais criadas com os dois maiores autovalores da matriz de covariância dos dados (Hair et al., 2005). A adequação dessa análise é verificada pela informação total das variáveis originais retida nos componentes principais, os quais mostram autovalores superiores à unidade ou autovalores inferiores que não dispõem de informação relevante.

Todas as análises estatísticas multivariadas foram processadas no software STATISTICA[®] versão 7.0 (STATSOFT, 2004).

3 Resultados e Discussão

Apesar das variações de relevo entre os três ambientes, a distribuição granulométrica nos diferentes usos foi semelhante para as três áreas estudadas (Tabela 1). O sistema de campo natural apresentou os maiores teores de areia em comparação às áreas com agricultura e pastagem abandonada, enquanto que os maiores valores de argila foram encontrados na área de agricultura abandonada. Em todos os sistemas, observou-se dominância da fração silte nas camadas avaliadas, fato justificável pela natureza aluvial dos sedimentos que constituem o material de origem (BRASIL, 1978). O sistema de pastagem abandonada, por encontrar-se em uma posição topográfica mais rebaixada quando comparada aos demais sistemas usos, pode ter favorecido os teores de silte levemente mais elevados, diferindo estatisticamente dos demais sistemas de usos. Segundo Rosolen & Herpin, (2008), que estudaram as áreas de campos naturais na região sul do Amazonas, a ocorrência de pequenas depressões topográficas favorecem a deposição de sedimentos mais finos como o silte.

Os valores de densidade do solo (Ds), macroporosidade, microporosidade, porosidade total, resistência do solo à penetração e umidade são apresentados na Tabela 2. Para a Ds, os valores aumentam em profundidade nos três sistemas de usos estudados. No entanto, não há diferença estatística para os valores de Ds entre os sistemas de pastagem abandonada e campo natural, evidenciando, assim, que não houve modificação dessa variável

Tabela 2. Valores médios e coeficiente de variação (CV) dos atributos físicos do solo em diferentes sistemas de manejo, na região de Humaitá, Amazonas.
Table 2. Mean values and coefficient of variation (CV) of soil physical properties in different management systems in the region of Humaitá, Amazon.

Sistema de manejo	RP Kpa	MaP	MiP	VTP	Uvs	DS Mg m ⁻³
Profundidade 0,00 - 0,05 m						
Pastagem abandonada	2,74 a	0,05 b	0,40 a	0,46 a	16,56 b	1,44 a
Agricultura abandonada	1,60 b	0,15 a	0,25 b	0,40 ab	27,40 a	1,24 b
Campo natural	1,71 b	0,05 b	0,25 b	0,31 b	25,68 a	1,42 a
CV (%)	13,47	19,38	23,25	23,57	7,28	9,03
Profundidade 0,05 - 0,10 m						
Pastagem abandonada	2,77 a	0,06 ab	0,34 a	0,40 a	14,47 b	1,52 a
Agricultura abandonada	1,63 b	0,09 a	0,28 b	0,37 a	25,27 a	1,28 b
Campo natural	1,76 b	0,05 b	0,24 b	0,29 b	24,78 a	1,44 a
CV (%)	17,89	22,17	18,11	18,23	10,25	6,99

RP = resistência mecânica do solo à penetração; MaP = macroporosidade; MiP = microporosidade; VTP = volume total de poros; Uvs = umidade volumétrica do solo; DS = densidade do solo; Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

física, apesar do pisoteio animal que esde sistema foi exposto ao longo de anos de uso. Resultados contrários foram observados por Araújo et al. (2004) em área de Argissolo Amarelo sob pastagem na Amazônia. O solo sob campo natural apresentou Ds de 1,42 e 1,44 Mg m⁻³, respectivamente para as profundidades de 0,00 - 0,05 m e 0,05 - 0,10 m. Dentre os fatores que influenciam a Ds, destacam-se o material constituinte do solo, os sistemas de usos e o tipo de cobertura vegetal. Provavelmente os principais fatores dos elevados níveis de adensamento do solo da área de campo natural sejam, primeiramente, os altos teores de silte superior ou proporcional à soma dos teores de areia e argila, promovendo melhor agrupamento das partículas do solo, e a maior exposição do solo às ações desintegradoras da estrutura do solo, como as queimadas periódicas na estação seca do ano, favorecido pela própria cobertura vegetal (Redin et al., 2011). Entretanto, os menores valores de Ds encontrados foram para a área de agricultura abandonada, diferindo ($p < 0,05$) do sistema de campo natural. Esses valores de 1,24 e 1,28 Mg m⁻³, respectivamente para as camadas de 0,0 - 0,05 m e 0,05 - 0,10 m, ficaram abaixo de 1,30 Mg m⁻³, estabelecido por Taylor & Ashcroft (1972) como nível crítico para o desenvolvimento adequado do sistema radicular das culturas, embora esse valor não possa ser generalizado.

Os dados obtidos para macroporosidade, resistência do solo à penetração e umidade nas profundidades amostradas no solo sob pastagem abandonada evidenciam a existência de estreita relação com índices de compactação, quando comparado ao sistema sob campo natural, uma vez que os valores desses atributos encontram-se, respectivamente, abaixo e acima dos limites estabelecidos. De acordo com Araújo et al. (2004), os limites considerados ideais para o pleno desenvolvimento de plantas é de no mínimo 10% para a macroporosidade, 2,0 kPa para a resistência do solo à penetração e umidade do solo de 20%. A partir dessas informações, pode-se preconizar que essas variáveis físicas, ao contrário da Ds, foram fortemente

influenciadas pelo manejo que ocorreu nessa área. Segundo os autores, é necessário manter o solo acima ou abaixo desses limites para garantir condições adequadas para as plantas, pois macroporosidade inferior a 10% imprime inadequada difusão de oxigênio para atender a demanda respiratória das raízes e o adequado crescimento e atividade de micro-organismos.

O solo sob agricultura abandonada apresentou os menores valores de densidade do solo e resistência do solo à penetração e os maiores para umidade nas três profundidades amostradas. Esse fato é inteiramente atribuído ao revolvimento de solo que esse ambiente sofreu durante anos de uso, o que proporcionou maior aeração pela desagregação de possíveis camadas compactadas, e, mesmo com o provável tráfego de máquinas agrícolas durante a colheita de grãos, não sofreu influência pela pressão exercida ao solo, corroborando, assim, com resultados encontrados por Spera et al. (2004), que avaliaram os efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade.

As altas taxas de umidade no solo registradas para as áreas de campo natural e agricultura abandonada nas profundidades amostradas mostram-se estatisticamente superiores ao ambiente de pastagem. É importante ressaltar a significativa diminuição da taxa de umidade no solo em função da intensidade de uso. Os dados indicam que, quando áreas de campo nativo são convertidas em pastagens, a taxa de umidade diminui muito, atingindo valores críticos. De forma semelhante, os sistemas de pastagem abandonada e agricultura abandonada não promoveram diferenças significativas nos valores do volume total de poros, quando comparados ao ambiente de campo nativo nas profundidades de 0,00 - 0,05 m e 0,05 - 0,10 m.

A área de campo natural apresentou a maior percentagem de agregados com maiores diâmetros (> 2,00 mm), seguidos pela área de agricultura abandonada e pastagem abandonada (Tabela 3). Os solos com agregados estáveis de maior tamanho são considerados solos estruturalmente melhores e mais

Tabela 3. Valores médios dos índices de estabilidade de agregados do solo e dos coeficientes de variação (CV) em diferentes sistemas de manejo, na região sul do Amazonas.**Table 3.** Average values of the indices of stability of soil aggregates and coefficients of variation (CV) in different tillage systems in the southern Amazon region.

Sistema de manejo	DMG	DMP	> 2,00 mm	< 1,00 mm
	mm		%	
Profundidade 0,00 - 0,05 m				
Pastagem abandonada	2,75 a	3,19 b	73,04 a	26,96 a
Agricultura abandonada	2,52 b	2,74 a	87,13 b	12,87 b
Campo natural	2,82 a	3,23 b	93,92 c	6,08 c
CV (%)	11,05	14,95	8,43	21,32
Profundidade 0,05 - 0,10 m				
Pastagem abandonada	2,83 b	3,26 b	71,05 a	28,95 a
Agricultura abandonada	2,37 a	2,63 a	80,12 b	19,88 b
Campo natural	2,87 b	3,27 b	91,38 c	5,76 c
CV (%)	22,09	12,31	16,04	10,09

DMG = diâmetro médio geométrico; DMP= diâmetro médio ponderado; Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

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 (Dexter, 1988).

A alta percentagem de agregados com diâmetros maiores como encontrados na área de pastagem não evidencia, neste caso específico, melhores condições de estrutura, aeração e macroporosidade do solo, uma vez que esses valores de agregados devem-se ao fato de o solo estar em nível de compactação e apresentar maior resistência à ruptura. Essa afirmação é confirmada pelo maiores valores de Ds e RSP e menores valores de macroporosidade e porosidade total. Altos valores de DMP indicam a alta estabilidade dos agregados (Kato et al., 2010).

A área de campo natural apresentou os maiores índices de estabilidade de agregados estáveis em água, DMP e DMG, independente da profundidade. Esse padrão é decorrente do maior aporte de material vegetal nessa área, propiciando aumento dos teores de matéria orgânica do solo e, conseqüentemente, aumento da agregação do solo. Para haver formação dos agregados, são necessárias duas condições fundamentais: primeira, que uma força mecânica qualquer provoque a aproximação das partículas do solo; segunda, que, após o contato das partículas, haja um agente cimentante para consolidar essa união, gerando os agregados (Kato et al., 2010). Nos campos naturais, a primeira condição é atendida por conta do nível elevado de adensamento natural do solo devido à translocação de argila que ocorre em profundidade nesses ambientes.

O solo sob agricultura abandonada apresentou valores de DMG e DMP inferior em todas as profundidades, quando comparado ao campo natural, diferindo estatisticamente. O manejo realizado em uma determinada área influencia diretamente na estabilidade dos agregados, podendo interferir na formação, na estruturação e na estabilização deles. O preparo convencional realizado com revolvimento do solo desagrega a estrutura, compacta-o abaixo da camada preparada, formando o “pé de

grade”, e o deixa sem cobertura vegetal. Já a semeadura direta, por ser realizada com pequena mobilização do solo, mantém os agregados e a cobertura do solo, no entanto deixa o solo mais compactado na camada superficial (Bertol et al., 2004).

Os valores obtidos para pH em água indicam diferença significativa nos solos sob agricultura abandonada e pastagem abandonada, quando comparados à área sob vegetação nativa nas profundidades avaliadas (Tabela 4). Essa diferença nos índices de pH nos ambientes anteriormente cultivados em relação à área de vegetação natural é decorrente ao manejo que essas áreas sofreram ao longo de décadas de uso, tais como práticas de calagem e adubações periódicas, corroborando, assim, com Campos et al. (2011), que avaliaram os atributos químicos de um Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de manejo.

O pH dessas áreas apresentou acidez elevada ($\text{pH} < 5$), no entanto a área sob pastagem abandonada teve valores ligeiramente superiores nas profundidades amostradas, quando comparada aos demais ambientes, estando, assim, em acordo com Santos et al. (2010), que encontraram valores próximos de pH em pastagem degradadas. Em ambientes nativos Amazônicos (campos naturais), a baixa fertilidade desses solos em relação ao pH, como ao encontrado neste trabalho, pode ser justificada pela ocorrência de queimadas periódicas durante o período seco do ano, sendo que tal ocorrência influencia diretamente na perda de nutrientes e matéria orgânica por lixiviação, devido à não cobertura do solo.

O sistema de campo natural apresentou maiores teores de alumínio trocável (Al^{3+}), em comparação aos demais sistemas, até a profundidade de 0,10 m, corroborando, assim, com Campos et al. (2011). Segundo Carneiro et al. (2009), analisando vários tipos de solos, em áreas sob vegetação de cerrado, observaram maiores teores de Al^{3+} , em comparação às áreas manejadas, em razão do baixo pH e da não correção e adubação do solo, originalmente distrófico. Os menores valores de Al^{3+} observados foram para os ambientes sob campo cultivado e pastagem abandonada. A diminuição do alumínio trocável em ambientes anteriormente manejados decorre,

principalmente, dos efeitos da calagem, os quais contribuem para a neutralização desse elemento no solo.

Os teores de carbono no solo nos diferentes sistemas estudados apresentaram comportamento semelhante, sendo os maiores teores em superfície na profundidade de 0,00 - 0,05 m e decréscimo com o aumento da profundidade na camada de 0,05 - 0,10 m (Tabela 4). Os maiores teores de carbono no solo, para a camada de 0,00 - 0,05 m ($p > 0,05$), foram encontrados para o campo natural (17,31 g kg⁻¹) e agricultura abandonada (16,72 g kg⁻¹), em relação à pastagem abandonada (14,61 g kg⁻¹).

No ambiente de campo natural, os teores mais elevados de carbono no solo são decorrentes do maior aporte de resíduos vegetais e da não perturbação do sistema. No sistema de agricultura abandonada, devido a esse ambiente estar ausente de revolvimento do solo há aproximadamente dez anos e apresentar cobertura no solo com grande aporte de material vegetal, tais fatores favorecem a agregação que protege da mineralização e promove aumento da MOS (Siqueira Neto et al., 2009). Na pastagem, por se tratar de uma área anteriormente manejada durante décadas e, hoje, encontrar-se abandonada, os fatores ausência de manejo e pastoreio intensivo promoveram o baixo aporte de resíduos vegetais, o que justifica os baixos teores de carbono no solo. Silva et al. (2004) verificaram que pastagens de baixa produtividade em diversas regiões do Cerrado favoreceram a redução do carbono no solo. Na profundidade subsequente, não houve interação significativa entre os ambientes estudados.

Avaliando em termos de volume de solo (Mg ha⁻¹), observou-se aumento nos estoques de C em profundidade em todos os ambientes, devido à diferença na espessura das camadas e à tendência de aumento da densidade, tanto com a profundidade do solo quanto com a mudança do uso de campo natural para ambientes agricultáveis (Tabela 4). Na profundidade de 0,00 - 0,05 m, houve interação significativa ($p > 0,05$), quando se comparam os ambientes de pastagem abandonada e agricultura abandonada ao campo natural, que variaram de 10,35 a 12,26 Mg ha⁻¹. Os campos naturais Amazônicos apresentam

como vegetação típica as gramíneas lenhosas. De acordo com Souza et al. (2012), estas exibem efeito rizosférico intenso por causa do seu abundante sistema radicular, o qual, mediante a sua decomposição, libera nutrientes e também contribui para a formação da matéria orgânica do solo, favorecendo, assim, seu estado de agregação.

Na análise de agrupamento, foi admitido um corte na distância de euclidiana de 3,2 (Figura 1a), permitindo a divisão dos sistemas de usos em grupos, e na de 3,5 (Figura 1b). Isso indica que, com o uso conjunto dos atributos físicos e químicos, foi possível ordenar os dados em três grupos: o G1, englobando os dados formados pela área abandonada de pastagem; o G2, formado pelos dados da área abandonada de agricultura; o G3, formado pela área campo natural, respectivamente para a profundidade de 0,00 - 0,05 m. Na profundidade de 0,05 - 0,10 m, a distinção dos grupos formados evidenciou similaridades as encontradas na profundidade anterior, havendo a mesma distinção entre os grupos formados.

A diferenciação dos dados apresentados para as profundidades analisadas foi marcante, mostrando as particularidades de cada tipo de manejo, pois as características dos atributos de um mesmo grupo são semelhantes e diferentes do comportamento de outros agrupamentos, o que corrobora com Freitas et al. (2014). Esses resultados devem-se ao fato de que, a partir dos agrupamentos formados pela análise de Cluster, pode-se separar nitidamente os três ambientes estudados, mostrando, assim, que ocorre diferenças entre eles.

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, definido por 18 variáveis, o que possibilita sua localização com um ponto em um gráfico bidimensional (Hair et al., 2005).

Quanto ao percentual de variância explicado pelos componentes principais (CPs), verifica-se que, na profundidade

Tabela 4. Valores médios dos atributos químicos, estoque de carbono e coeficientes de variação (CV) em diferentes sistemas de manejo, na região de Humaitá, Amazonas.

Table 4. Average values of chemical properties, carbon stock and coefficients of variation (CV) in different management systems in the region of Humaitá, Amazon.

Sistema de manejo	pH	Al ³⁺	Al+H	COT	Est. C
	H ₂ O		cmol _c kg ⁻¹	g.kg ⁻¹ Mg.ha ¹	
Profundidade 0,00 - 0,05 m					
Pastagem abandonada	4,79 a	1,45 b	4,46 c	14,61 b	10,51 b
Agricultura abandonada	4,52 b	2,02 b	6,25 b	16,72 a	10,35 b
Campo natural	3,90 c	4,90 a	8,00 a	17,31 a	12,26 a
CV (%)	3,43	21,21	23,57	9,74	10,32
Profundidade 0,05 - 0,10 m					
Pastagem abandonada	4,69 a	1,75 c	3,45 b	13,54 a	10,09 ab
Agricultura abandonada	4,35 b	2,38 b	5,07 b	14,40 a	9,69 b
Campo natural	3,87 c	5,57 a	6,93 a	14,51 a	11,06 a
CV (%)	3,58	17,13	34,62	12,78	10,30

Al³⁺ = alumínio trocável; Al+H = acidez potencial; COT = carbono orgânico total; ETCO = estoque de carbono; Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

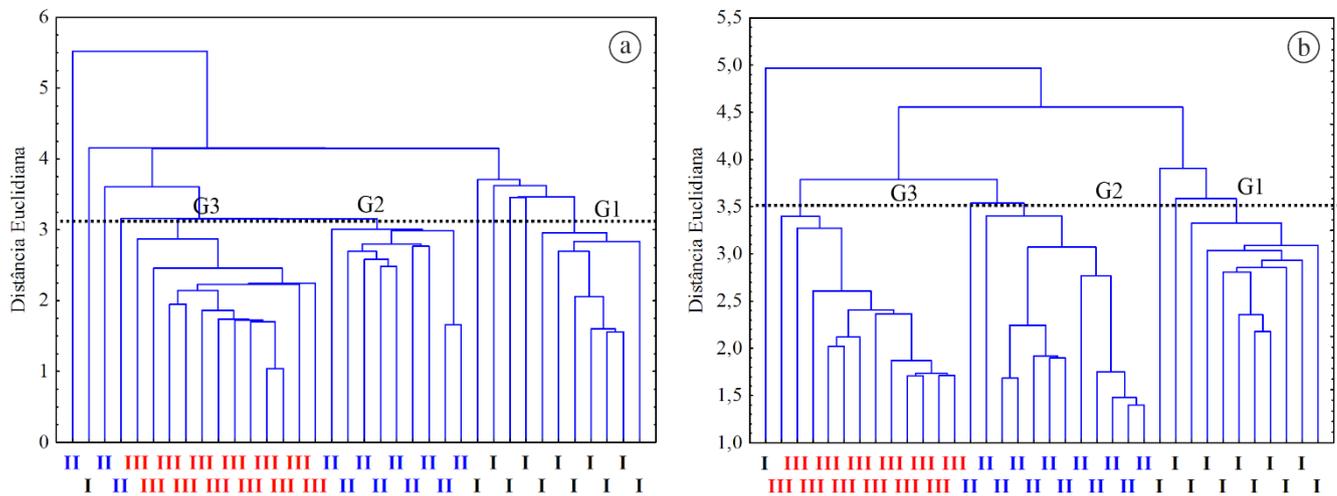


Figura 1. Dendrograma resultante da análise hierárquica de agrupamentos com a formação de grupos, segundo as variáveis analisadas dos diferentes sistemas de manejo. (a) = profundidade 0,00 - 0,05 m; (b) = profundidade 0,05 - 0,10 m; I = área abandonada de pastagem; II = área abandonada de agricultura; III = campo natural.

Figure 1. Dendrogram resulting from the hierarchical cluster analysis showing the formation of groups according to the variables of different management systems. (a) = profundity 0.00 to 0.05 m; (b) = profundity 0.05-0.10 m; I = abandoned pasture area; II = abandoned area of agriculture; III = natural field.

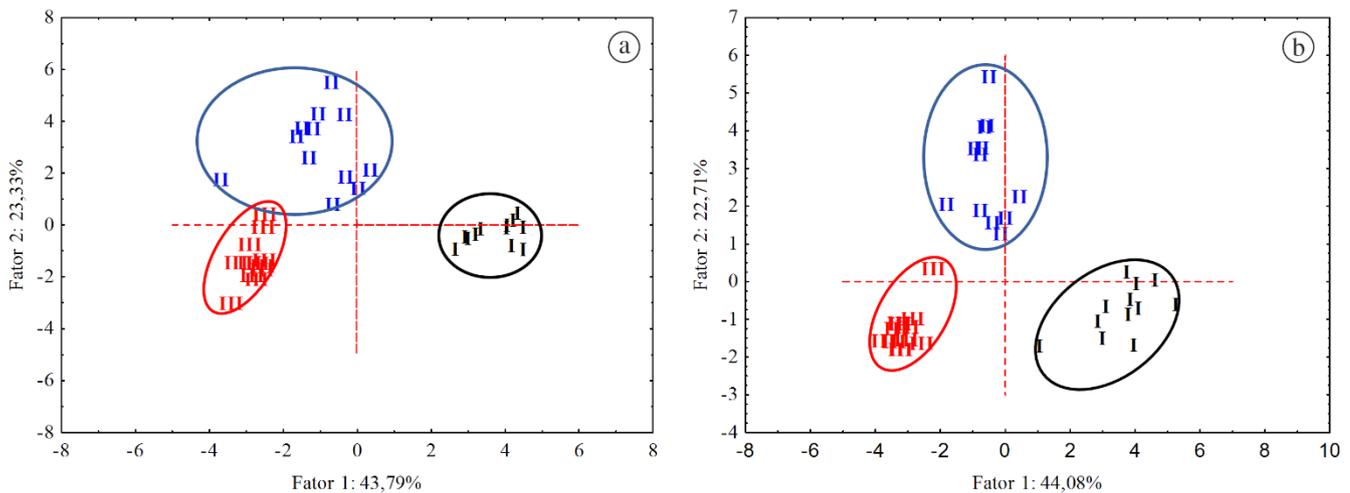


Figura 2. Análise de componentes principais dos atributos físicos e químicos nos diferentes sistemas de manejo. (a) = profundidade 0,00 - 0,05 m; (b) = prof. 0,05 - 0,10 m. I = área abandonada de pastagem; II = área abandonada de agricultura; III = campo natural.

Figure 2. Principal component analysis of physical and chemical properties in different management systems. (a) = profundity 0.00 to 0.05 m; (b) = prof. 0.05 - 0.10 m. I = abandoned pasture area; II = abandoned area of agriculture; III = natural field.

de 0,00 - 0,05 m (Figura 2a), o primeiro e o segundo componentes são responsáveis por 67,12% da variância total, sendo 43,79% na CP1 e 23,33% na CP2. Na profundidade de 0,05 - 0,10 m (Figura 2b), os dois primeiros CPs foram responsáveis 66,79% da variância dos dados originais, com 44,08% na CP1 e 22,71% na CP2. Freitas et al. (2012), estudando atributos físicos, e Freitas et al. (2014), atributos químicos e físicos, encontraram valores de variância acima de 70%, que são atribuídos à variabilidade desses atributos. De acordo com Campos et al. (2012), após essa 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

A substituição da vegetação nativa por sistemas de cultivo proporcionou modificações nos atributos do solo, principalmente na macroporosidade, na resistência do solo à penetração e na umidade volumétrica do solo para o ambiente de pastagem, quando comparado ao campo nativo.

O uso das técnicas multivariadas mostrou-se eficiente na distinção de ambientes sobre os sistemas de usos estudados.

Referências

- CAMPOS, L. P.; LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; IWATA, B. F.; NÓBREGA, J. C. A. Atributos químicos de um Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 12, p. 1681-1689, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011001200014>.
- ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado sob mata nativa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 2, p. 337-345, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000200012>
- BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas as do campo nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 1, p. 155-163, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000100015>.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. *Projeto Radambrasil, Purus*. v. 20. Rio de Janeiro: Departamento Nacional da Produção Mineral, 1978. 56 p.
- BRAUN, E. H. G.; RAMOS, J. R. A. Estudo agroecológico dos campos Puciarí-Humaitá (estado do Amazonas e Território Federal de Rondônia). *Revista Brasileira de Geografia*, v. 21, p. 443-497, 1959.
- CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; ALMEIDA, M. C. Toposequência de solos na transição campos naturais-floresta na região de Humaitá, Amazonas. *Acta Amazonica*, v. 42, n. 3, p. 387-398, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672012000300011>.
- 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 de Ciência do Solo*, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000100016>.
- DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; NOGUEIRA, D. C.; ROMANO, D.; ABRANTES, F. L.; 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, p. 8-19, 2011.
- DEXTER, A. R. Advances in characterization of soils structure. *Soil & Tillage Research*, v. 11, n. 3-4, p. 199-238, 1988. [http://dx.doi.org/10.1016/0167-1987\(88\)90002-5](http://dx.doi.org/10.1016/0167-1987(88)90002-5).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212 p.
- FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A.; AQUINO, R. E. Análises multivariadas de atributos físicos em Latossolo Vermelho submetidos a diferentes ambientes. *Enciclopédia Biosfera*, v. 8, n. 15, p. 126-139, 2012.
- FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C. Análise multivariada na avaliação de atributos de solos com diferentes texturas cultivados com cana-de-açúcar. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 57, n. 3, p. 224-233, 2014. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.ao1357>.
- HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. *Análise multivariada de dados*. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593 p.
- 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, 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, 1965. p. 499-510.
- KLINK, A. C.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. *Conservation Biology*, v. 19, n. 3, p. 707-713, 2005. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00702.x>.
- NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; MACEDO, R. L. G.; TOKURA, A. M. Estoque de carbono em sistema agrossilvopastoril, pastagem e eucalipto sob cultivo convencional na região Noroeste do estado de Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 28, n. 5, p. 1038-1046, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542004000500010>
- REDIN, M.; SANTOS, G. F.; MIGUEL, P.; DENEGA, G. L.; LUPATINI, M.; DONEDA, A.; SOUZA, E. L. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. *Ciência Rural*, v. 21, n. 2, p. 381-392, 2011.
- ROSOLEN, V.; HERPIN, U. Expansão dos solos hidromorficos e mudanças na paisagem: um estudo de caso na região sudeste da Amazônia Brasileira. *Acta Amazonica*, v. 38, n. 3, p. 483-490, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672008000300013>.
- SANTOS, J. T.; ANDRADE, A. P.; SILVA, I. F.; SILVA, D. S.; SANTOS, E. M.; SILVA, A. P. G. Atributos físicos e químicos do solo de áreas sob pastejo na micro região do Brejo Paraibano. *Ciência Rural*, v. 40, n. 2, p. 2487-2492, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782010001200008>
- SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; CORAZZA, E. J.; VIVALDI, L. Carbon storage in clayey oxisol cultivated pastures in the "cerrado" region, Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 103, n. 2, p. 357-363, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2003.12.007>.
- SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. C.; SCOPEL, E.; COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no cerrado. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 31, n. 4, p. 709-717, 2009. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v31i4.792>.
- SOUZA, H. A.; MARCELO, A. V.; CENTURION, J. F. Carbono orgânico e agregação de um Latossolo Vermelho com colheita mecanizada de cana-de-açúcar. *Revista Ciência Agronômica*, v. 43, n. 4, p. 658-663, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902012000400006>.
- SPERA, S. T.; DOS SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n. 1, p. 129-136, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000100014>.
- SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solos e na produtividade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 3, p. 533-542, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000300014>.

STATSOFT. *Statistica 7.0*. Tulsa: StatSoft, 2004.

TAYLOR, S. A.; ASHCROFT, G. L. *Physical edaphology: the physics of irrigated and nonirrigated soils*. San Francisco: W.H. Freeman, 1972. 532 p.

VELDKAMP, E. Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. *Soil Science Society of America Journal*,

v. 58, n. 1, p. 175-180, 1994. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800010025x>.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988. <http://dx.doi.org/10.1080/00103628809368027>.

Contribuição dos autores: Diogo André Pinheiro da Silva contribuiu diretamente na instalação do experimento a campo e procedimento das análises químicas e microbiológicas; Milton César Costa Campos auxiliou na orientação de desenvolvimento do projeto e na revisão ortográfica e gramatical do trabalho; Luís Antônio Coutrim dos Santos contribuiu com a revisão ortográfica; Marcelo Dayron Rodrigues Soares contribuiu na parte de realização das análises e escrita do trabalho; Romário Pimenta Gomes e Uilson Franciscon contribuíram na instalação do experimento a campo e procedimentos de análise.

Agradecimentos: À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas e ao CNPq, pela concessão de bolsas durante o período vigente deste trabalho

Fontes 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 pela concessão de bolsas durante o período vigente deste trabalho.

Conflito de interesse: Os autores declaram para os devidos fins e a quem possa interessar que não houve conflito de interesse com o desenvolvimento deste trabalho.