

Atributos químicos, físicos e estoque de cálcio, magnésio, potássio e fósforo em solos de campos de murundus no Brasil

Fernando André Silva SANTOS¹, Maria Aparecida Pereira PIERANGELI^{2*}, Fernando Luiz SILVA³,
Milson Evaldo SERAFIM⁴, Célia Alves de SOUZA⁵

¹ Universidade Estadual de Maringá- Departamento de Solos, Avenida Colombo, 5790 - Jardim Universitário, Cep 87020-900, Maringá-PR, Brasil

² Universidade do Estado de Mato Grosso, Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, BR 174, km 209, Cep 78250-000, Pontes e Lacerda-MT, Brasil

³ Universidade do Estado de Mato Grosso, Departamento de Zootecnia, BR 174, km 209, Cep 78250-000, Pontes e Lacerda-MT, Brasil

⁴ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Departamento de Ensino, Av. dos Ramires, s/n, Cep 78.200-000, Cáceres-MT, Brasil

⁵ Universidade do Estado de Mato Grosso, Departamento de Geografia, Av. Tancredo Neves, 1095 - Cavallhada II, Cep 78200-000, Cáceres-MT, Brasil

* Autor correspondente: mapp@unemat.br

RESUMO

Campos de murundus (CM) são áreas úmidas que prestam inúmeros serviços ecossistêmicos. Os objetivos desse estudo foram avaliar atributos químicos [carbono orgânico (CO), P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ e H+Al] e físicos [textura e densidade do solo (Ds)] e calcular os teores de matéria orgânica (MO) e estoques dos nutrientes P, Ca, K e Mg em solos de CM localizados na bacia do Rio Guaporé em Mato Grosso. Foram selecionados 36 pontos de amostragem e coletadas amostras de solo em dois ambientes: murundu e área plana circunvizinha (APC). Em cada ponto foram abertas minitrincheiras de 0,5 × 0,5 × 0,4 m e coletadas amostras de solo deformadas e indeformadas nas profundidades de 0-0,1; 0,1-0,2; e 0,2-0,4 m. Na Análise de Componentes Principais as variáveis H+Al (49%) e MO (4%) foram associados com o componente F1 e o teor de areia (47%) com o componente F2. O murundu apresenta menor pH e maiores teores de K⁺, P e H+Al que a APC em ambas profundidades (p < 0,05). Até 0,2 m esses CM estocam 433; 360; 205; e 11 kg ha⁻¹ de Ca, Mg, K e P, respectivamente. No entanto, o murundu estoca duas vezes mais K e três vezes mais P que a APC. Estes CM apresentam altos teores de areia, Ds superior a 1,5 Mg m⁻³, elevada acidez, baixo teor de CO e pobreza em nutrientes. Dessa forma, necessitam de cuidados especiais para que a intervenção antrópica não desencadeie desequilíbrios ambientais.

PALAVRAS-CHAVE: Monchões, áreas úmidas, Bacia Amazônica, fertilidade do solo

Chemical and physical attributes and calcium, magnesium, potassium, and phosphorus in the soil of murundu fields in Brazil

ABSTRACT

Fields of murundus (FM) are wetlands that provide numerous ecosystem services. The objectives of this study were to evaluate the chemical [organic carbon (OC), P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ and H+Al] and physical [texture and bulk density (Bd)] soil attributes and calculate the organic matter (OM) and nutrient stock (P, Ca, Mg, and K) in soils of FM located in the Guapore River basin in Mato Grosso. Thirty-six sampling points were selected, and soil samples were collected from two environments: the murundu and plain area surrounding (PAS). At each sampling point, mini trenches of 0.5 × 0.5 × 0.4 m were opened and disturbed and undisturbed soil samples were collected at depths of 0–0.1, 0.1–0.2, and 0.2–0.4 m. In the Principal Component Analysis the variables H+Al (49%) and OM (4%) were associated with the F1 component and sand content (47%) with the F2 component. The FM had lower pH values and higher concentrations of K⁺, P, and H+Al than PAS at all depths (p < 0.05). Additionally, FM stocked up to 433, 360, 205, and 11 kg ha⁻¹ of Ca, Mg, K, and P, respectively, for up to a depth of 0.2 m. The murundu stored two times more K and three times more P than that in the PAS. Our results show that the FM has high sand content and Bd greater than 1.5 Mg m⁻³, high acidity, low OC content, and low nutrient concentrations. Thus, special care must be taken to preserve FM such that human intervention does not trigger environmental imbalances.

KEYWORDS: Amazon Basin, earthmound, soil fertility, wetland

INTRODUÇÃO

Áreas úmidas ou alagáveis, tais como os campos de murundus, são ambientes altamente diversos que permanecem sempre ou periodicamente alagados (Franca 2011). São responsáveis por inúmeros serviços ecossistêmicos, tais como armazenamento de carbono no solo e abrigo de elevada biodiversidade (Mitsch e Gosselink 2000).

Os campos de murundus se caracterizam por serem áreas de relevo plano, imperfeitamente drenadas e saturadas com água no período chuvoso, na qual se encontram inúmeros morrotes conhecidos por murundus, covoais ou monchões (Oliveira-Filho e Furley 1990; Oliveira-Filho 1992; Resende *et al.* 2004). Embora apresentem distribuição, altura e formato variáveis, Oliveira-Filho (1992) relata que os murundus normalmente apresentam de 0,2-2 m de altura e diâmetro de 0,2 a 20 m e são cobertos por vegetação arbóreo-arbustiva típica do bioma Cerrado. Em campos de murundus da região de Poconé-MT (Morais *et al.* 2014) e da região do Pantanal do Rio Araguaia, também em Mato Grosso (Marimon *et al.* 2012) relatam a ocorrência das espécies: *Bromelia balancae* Mez., *Curatela americana* L., *Alchornea discolor* Poepp., *Miconia albicans* (Sw.) Triana, *Alibertia edulis* (Rich.) A. Rich., *Vochysia divergens* Volg., *Erithroxylum suberosum*, *Byrsonima coccolobifolia* e *Bowdichia virgilioides*. Já a área plana circunvizinha é constituída por vegetação campestre graminóide (Oliveira-Filho 1992).

Diversos tipos de campos de murundus são apresentados na literatura e as hipóteses associadas a sua gênese têm sido bastante divergentes: origem antrópica (agricultura), atividade biológica (térmitas), geomorfológica (agentes abióticos, erosão) ou uma sucessão de fatores (Ponce e Cunha 1993; Midgley 2010; Cramer *et al.* 2012). No Estado de Mato Grosso esses ecossistemas ocorrem amplamente nas bacias hidrográficas dos rios Xingu, Araguaia, Paraguai, Cuiabá e Guaporé, tanto em áreas de planície quanto planaltos (Eiten 1985; Marimon *et al.* 2012). No entanto, em geral no Brasil, ainda não existe um levantamento sistemático da ocorrência dessas formas de relevo (Resende *et al.* 2007; Marimon *et al.* 2012).

Atributos químicos físicos e biológicos dos solos são afetados por inúmeros fatores ambientais, tais como aeração, cobertura vegetal, fauna edáfica, entre outros. Dessa forma, hipotetiza-se que esses atributos sejam distintos nos murundus (não inundável) e área plana circunvizinha (sazonalmente alagável). Embora haja diversos estudos comparando atributos do solo de cupinzeiros e áreas no seu entorno (Gholamis e Riazzi 2012; Pinheiro *et al.* 2013), no Brasil, em campos de murundus, tais estudos têm enfatizado mais a sua composição florística (Marimon *et al.* 2012; Morais 2014). No entanto, há necessidade de se ampliar o conhecimento acerca desses ambientes, principalmente quanto aos processos de sequestro e deposição de carbono e de armazenamento de nutrientes, já

que nos últimos anos esses ambientes vêm sofrendo impactos ambientais decorrentes, principalmente, da exploração agrícola, pecuária e expansão urbana.

Na região sudoeste Estado de Mato Grosso, os campos de murundus ocorrem na bacia hidrográfica do Rio Guaporé, e assumem importância econômica e social, pois ocupam grandes extensões de terra na região de fronteira entre Brasil e Bolívia. Essa região é utilizada para pecuária extensiva de corte, a qual utiliza esses campos como pastagem nativa. Todavia não é conhecida a magnitude das alterações ambientais decorrentes dessas atividades. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar atributos químicos e físicos de campos de murundus associados ao rio Guaporé, sudoeste do Estado de Mato Grosso.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em campos de murundus (CM) localizados na bacia hidrográfica do rio Guaporé, região sudoeste do estado de Mato Grosso, entre os municípios de Vila Bela da Santíssima Trindade e Pontes e Lacerda (Figura 1). Essas áreas são planas, com cerca de 200 m de altitude, multipontuadas por inúmeros murundus (Figura 2) com altura variando de 0,5-1,2 m, distribuídos regularmente no terreno. Os CM ocupam grandes extensões de terra na bacia hidrográfica do Rio Guaporé, no estado de Mato Grosso e Rondônia.

O clima da região é tropical continental, com características de úmido a subúmido, com pluviosidade entre 1.200 a 1.500 mm anuais. As baixas declividades (menor que 2%) e características edáficas, tais como baixa porosidade, adensamento e presença de camadas de impedimento na subsuperfície dificultam a drenagem, tornando essas áreas sujeitas a encharcamento periódico ou permanente. Na área estudada, esse processo ocorre no período das chuvas, ocasião em que as áreas planas ao redor dos murundus ficam recobertas com uma lâmina d'água de altura variável. Posteriormente, no período das secas, essas áreas secam caracterizando um ciclo de umedecimento e secagem do solo. O solo predominante nesses ambientes é o Plintossolo, desenvolvido a partir de sedimentos arenosos, siltico-arenosos e areno-conglomeráticos recentes da Formação Guaporé e recobertos por Savana Estépica e formações de contato Savana Arbórea Aberta/Savana Estépica (Brasil 1982).

Para a caracterização química e física foram coletadas amostras de solo entre os meses de setembro e novembro de 2011. Para o isso, foram selecionados quatro pontos (Ponto 1 - 15°09'31"50 S - 59°33'28"67 O; Ponto 2 - 15°02'16"19 S - 59°46'23"66 O; Ponto 3 - 15°30'25"30 S - 59°41'48"46 O; e Ponto 4 - 15°18'20"19 S 59°57'10"12 O) de amostragem. Em cada ponto foram selecionadas três áreas representativas e em cada uma foram coletadas amostras de solo nos ambientes murundu e área plana circunvizinha (APC) (Figura 2),

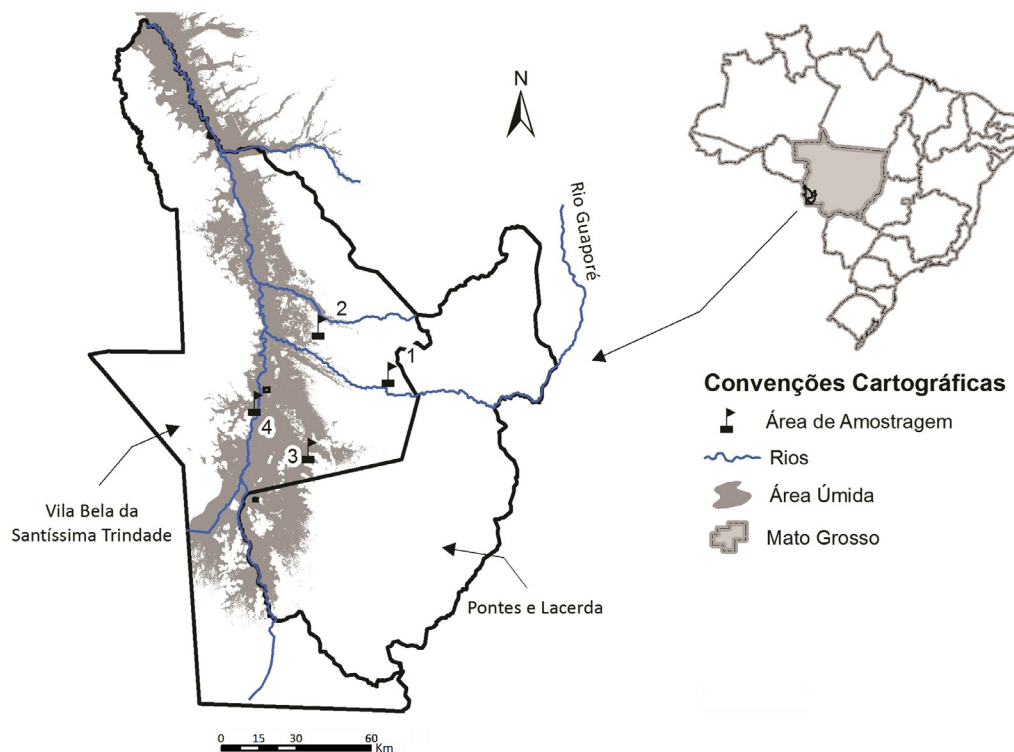


Figura 1. Localização da área de estudo de coleta de amostras de solo em campos de murundus na bacia do Rio Guaporé, sudoeste do Estado de Mato Grosso.



Figura 2. Aspecto dos campos de murundus na Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé, sudoeste do Estado de Mato Grosso. Esta figura é colorida na versão eletrônica.

totalizando 36 pontos de amostragem. Em cada área foram abertas mini trincheiras de $0,50 \times 0,50 \times 0,40$ m e coletadas amostras de solo deformadas e indeformadas nas profundidades de 0-0,1; 0,1-0,2; e 0,2-0,4 m, no murundu e APC.

A determinação dos atributos físicos e químicos foi feita de acordo com metodologias preconizadas por Embrapa (1997): o carbono orgânico (CO) foi determinado por oxidação

úmida a quente com solução de dicromato de potássio e posterior titulação com sulfato ferroso amoniacal, sendo a matéria orgânica do solo (MO) obtida pela multiplicação do CO por 1,724; a densidade do solo (Ds) pelo método do anel volumétrico e a granulometria pelo método da pipeta; P foi determinado por colorimetria em comprimento de onda de 660 nm (Tecnal Spectrophotometer SP 1105, São Paulo, Brasil) e o K^+ por espectrofotometria de chama (Fotômetro de chama Tecnal B-462, São Paulo, Brasil) após extração com solução de Mehlich 1; Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} extraídos com KCl 1 mol L^{-1} e determinados por titulometria; acidez potencial (H+Al) com solução tampão SMP. Foram calculados a soma das bases (SB), $CTC_{pH7,0}$; $CTC_{efetiva}$; porcentagem de saturação por bases (V); e porcentagem de saturação por alumínio (m).

Os estoques dos nutrientes Ca, Mg, K e P, em cada profundidade, foram calculados de acordo com a equação de Ellert e Bettany (1995): $EE = CE \times Ds \times E \times 10$, onde EE significa estoque do elemento (kg ha^{-1}); CE é o teor do elemento no solo (mg kg^{-1}); Ds a densidade do solo (Mg m^{-3}); E a espessura da camada (m). A fim de padronizar a massa de solo para o cálculo foi considerado como valor de Ds a média entre murundu e área plana.

Para comparação entre os dois ambientes, os dados dos atributos químicos e físicos do solo foram submetidos ao teste de normalidade de Kolmogorov Smirnov e homogeneidade de

variâncias de Barlett. Os dados que se ajustaram à distribuição normal foram comparados pelo teste t ($p = 0,05$) e os que não atenderam a esse pressuposto foram submetidos à estatística não paramétrica, aplicando-se o teste de U de Mann-Whitney ($p = 0,05$). Todas essas análises foram feitas utilizando-se o software R versão 2.13.1. (R Development Core Team 2011). Também foi utilizada a análise de componentes principais (ACP) para separação dos atributos do solo que mais contribuem para a distinção dos ambientes murundu e APC. As análises multivariadas foram realizadas utilizando-se o programa XLSTAT (Addinsoft 2013).

RESULTADOS

Todas as amostras de solo apresentaram elevados teores de areia (Tabela 1), porém em relação à APC, o murundu apresentou menores teores de areia ($p < 0,05$) na profundidade de 0-0,1 m e maiores teores de argila nas profundidades de 0-0,1 e 0,2-0,4 m. Dessa forma, na APC as amostras de solo foram classificadas como de textura franco-arenosa e franco-argilo-arenosa nas profundidades de 0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,4 m, respectivamente. Já o murundu apresentou textura franca nas profundidades de 0-0,1 e 0,1-0,2 e franco-argilosa de 0,2-0,4 m. A Ds foi menor nos murundus em relação à área plana circunvizinha em todas as profundidades (Tabela 1).

Em todas as profundidades amostradas foram observadas diferenças entre os ambientes para os atributos pH em água, Al^{3+} , H+Al e saturação por alumínio (m) (Tabela 2). Os valores de pH em água em todas as profundidades foram maiores na APC enquanto os valores de acidez potencial e trocável e m foram maiores no murundu. Na APC os valores de pH foram semelhantes entre as profundidades de 0-0,10; e 0,20-0,40 m e menor na profundidade de 0,10-0,20 m. A saturação por

alumínio bem como a acidez trocável (Al^{3+}) aumentaram em profundidade em ambas as áreas. A acidez potencial na APC aumentou em profundidade.

Os resultados referentes às bases trocáveis e aos teores de P e CO do solo dos campos de murundus, nas profundidades amostradas são mostrados na Tabela 2. Os teores de K^+ e P foram maiores no murundu em todas as profundidades, enquanto os teores de Ca^{2+} foram iguais em ambos ambientes, em todas as profundidades e o Mg^{2+} apenas diferiu na profundidade de 0,10-0,20 m, sendo maior no murundu. Entre os ambientes murundu e APC, os teores de CO diferiram apenas na profundidade de 0,20-0,40 m, sendo

Tabela 1. Granulometria, carbono orgânico (CO) e densidade do solo (Ds) nas profundidades de 0-0,10, 0,10-0,2 e 0,2-0,4 de solo de campos de murundus e áreas planas circunvizinhas (APC) na bacia do Rio Guaporé, sudoeste do Estado de Mato Grosso.

Ambiente e estatística	Areia	Argila	Silte	CO	Ds
	g kg ⁻¹				Mg m ⁻³
0-0,10 m					
APC	681,66	182,54	135,78	13,76	1,53
Murundu	575,16	241,92	182,88	15,22	1,46
<i>p</i>	0,0030 ⁽²⁾	0,0186 ⁽¹⁾	0,0361 ⁽²⁾	0,1497 ⁽¹⁾	0,0151 ⁽¹⁾
0,10-0,20 m					
APC	640,91	219,88	139,5	8,75	1,63
Murundu	549,91	258,06	192,01	9,52	1,57
<i>p</i>	0,099 ⁽¹⁾	0,1666 ⁽¹⁾	0,0342 ⁽²⁾	0,2326 ⁽¹⁾	0,0271 ⁽¹⁾
0,20-0,40 m					
APC	594,8	251,51	153,68	6,30	1,61
Murundu	512,66	274,68	212,64	7,52	1,54
<i>p</i>	0,0555 ⁽²⁾	0,04345 ⁽¹⁾	0,1024 ⁽²⁾	0,0066 ⁽¹⁾	0,0062 ⁽¹⁾

⁽¹⁾Teste t ($p < 0,05$); ⁽²⁾Teste U de Mann-Whitney ($p < 0,05$).

Tabela 2. Teores de cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+), alumínio (Al^{3+}), acidez potencial (H+Al) e fósforo (P), nas profundidades de 0-0,10, 0,10-0,2 e 0,2-0,4, de solo de campos de murundus e área plana circunvizinha (APC) na bacia do rio Guaporé, sudoeste do Estado de Mato Grosso.

Ambiente e estatística	pH água	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Al^{3+}	H+Al	P
	-	mol _c dm ⁻³					mg dm ⁻³
0-0,10 m							
APC	5,15	0,62	0,78	0,12	1,30	5,09	1,81
Murundu	4,73	0,77	0,93	0,23	2,36	9,17	4,70
<i>p</i>	0,0000 ⁽¹⁾	0,3705 ⁽²⁾	0,1255 ⁽¹⁾	0,0003 ⁽²⁾	0,0000 ⁽¹⁾	0,0000 ⁽²⁾	0,0000 ⁽²⁾
0,10-0,20 m							
APC	4,97	0,38	0,57	0,05	1,64	5,12	1,02
Murundu	4,66	0,39	0,71	0,12	2,55	8,97	3,45
<i>p</i>	0,0001 ⁽¹⁾	0,8868 ⁽¹⁾	0,0146 ⁽¹⁾	0,0020 ⁽²⁾	0,0084 ⁽¹⁾	0,0006 ⁽¹⁾	0,0053 ⁽²⁾
0,20-0,40 m							
APC	5,04	0,29	0,59	0,04	1,98	6,25	0,58
Murundu	4,79	0,37	0,60	0,10	2,79	9,15	2,57
<i>p</i>	0,0007 ⁽¹⁾	0,0525 ⁽¹⁾	0,7619 ⁽¹⁾	0,0234 ⁽²⁾	0,0190 ⁽²⁾	0,0028 ⁽²⁾	0,0052 ⁽²⁾

⁽¹⁾Teste t ($p < 0,05$); ⁽²⁾Teste U de Mann-Whitney ($p < 0,05$).

maior no murundu. A $CTC_{pH7,0}$ e a $CTC_{efetiva}$ foram maiores nos murundus em todas as profundidades amostradas, enquanto a saturação por bases apresentou resultado inverso, sendo maior na APC (Tabela 3).

A ACP (Figura 3), construída a partir dos atributos químicos e físicos do solo, foi resumida a um modelo contendo três variáveis principais. Variáveis com alta correlação ou colineares tais como areia, silte e argila foram removidas deixando-se apenas a variável que apresentava maior contribuição relativa para explicação do modelo. Os teores de H+Al e de areia foram os que mais contribuíram para explicação do componente F1, enquanto o componente F2 foi, principalmente, explicado pela variável MO (Tabela 4). A dispersão das variáveis retidas e dos centroides dos ambientes estudados na ACP, explicou 93% da variação entre ambientes em dois componentes principais (Figura 3). Observa-se a distinção entre os ambientes de APC e murundu, principalmente, no eixo F1.

DISCUSSÃO

Os valores da fração areia (Tabela 1), maiores na APC em relação aos murundus, exceto na profundidade de 0,1-0,2 m, podem ser associados à atividade térmita (Antunes *et al.* 2012) e à perda de argila, comum em áreas úmidas, pelo processo de ferrólise conforme descrito por Brikman (1973). Esse autor também afirma que no processo de ferrólise, além do aumento proporcional da fração areia, ocorre expressiva lixiviação de cátions, o que condiz com o menor valor de bases trocáveis na APC (Tabela 2). Brikman *et al.* (1973) relatam que em muitas áreas úmidas sazonais, os solos ácidos normalmente apresentam menor quantidade de argila nos

Tabela 3. Capacidade de troca de cátions potencial ($CTC_{pH7,0}$) e efetiva ($CTC_{efetiva}$), saturação por base (V) e saturação por alumínio (m), nas profundidades de 0-0,10, 0,10-0,2 e 0,2-0,4, de solo de campos de murundus e área plana circunvizinha (APC) na bacia do rio Guaporé, sudoeste do Estado de Mato Grosso.

Ambiente e estatística	$CTC_{pH7,0}$	$CTC_{efetiva}$	V	m
	cmol _c dm ⁻³		%	
0-0,10 m				
APC	6,62	2,82	25	44
Murundu	11,21	4,3	19	55
<i>p</i>	0,0000 ⁽²⁾	0,0001 ⁽¹⁾	0,0007 ⁽¹⁾	0,0017 ⁽¹⁾
0,10-0,20 m				
APC	6,13	2,65	21	57
Murundu	10,2	3,78	14	64
<i>p</i>	0,0000 ⁽²⁾	0,0019 ⁽²⁾	0,0011 ⁽²⁾	0,0338 ⁽¹⁾
0,20-0,40 m				
APC	7,18	2,91	21	60
Murundu	10,23	3,87	14	68
<i>p</i>	0,0019 ⁽²⁾	0,0089 ⁽²⁾	0,0049 ⁽¹⁾	0,0413 ⁽¹⁾

⁽¹⁾Teste t ($p < 0,05$); ⁽²⁾Teste U de Mann-Whitney ($p < 0,05$).

Tabela 4. Contribuição relativa das variáveis para explicação dos componentes principais (F1 e F2) nas profundidades de 0-0,10, 0,10-0,2 e 0,2-0,4 de solo de campos de murundus e área plana circunvizinha na bacia do rio Guaporé, sudoeste do Estado de Mato Grosso. Siglas: H+Al = acidez potencial; MO = matéria orgânica do solo.

Variável	Componente	
	F1 (%)	F2 (%)
H+Al	49	0,4
MO	4	95
Teor de areia	47	5

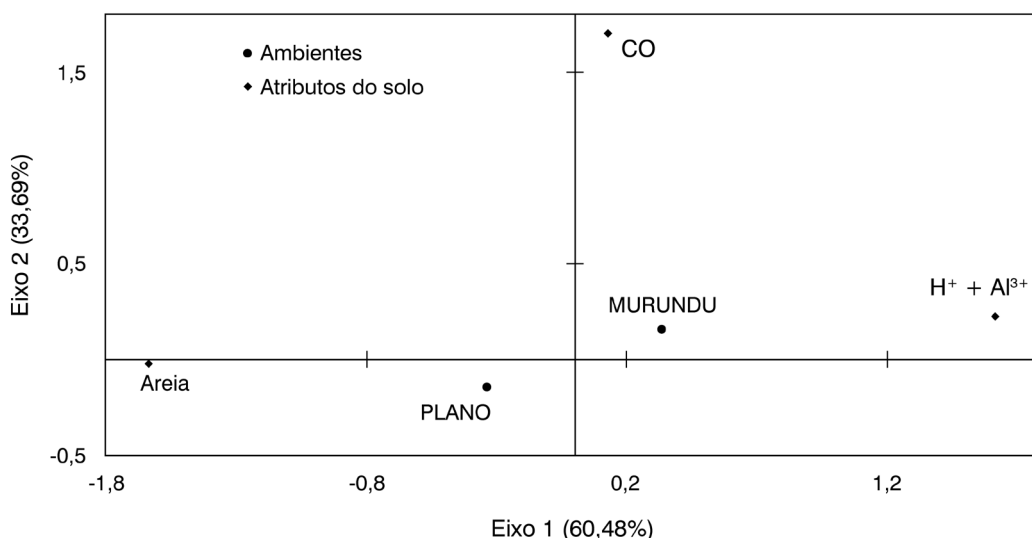


Figura 3. Análise de Componentes Principais de atributos do solo de campos de murundus na bacia do Rio Guaporé, sudoeste do Estado de Mato Grosso.

horizontes superficiais do que nos subsuperficiais. Essas condições relatadas por esses autores podem ser aplicadas às APC, dos CM associados ao rio Guaporé, principalmente no que se refere à sazonalidade entre os ciclos de cheia e seca, e são confirmadas pelos teores de argila crescentes em profundidade (Tabela 1). Nesse caso, o próprio processo de gênese dos Pintossolos também pode contribuir para a diminuição dos teores de areia em profundidade, pois a mobilização do Fe^{2+} em ambiente redutor, segregação e posterior concentração resultam na formação das plintitas, a qual nucleia vários materiais, entre eles grãos de quartzo da fração areia do solo (Embrapa 2007; Anjos *et al.* (2007).

Ainda, segundo Antunes *et al.* (2012) a granulometria é uma das características do solo mais alteradas pela atividade térmita, pois a maioria das espécies fazem uma triagem nas partículas do solo para a construção dos seus ninhos, usando preferencialmente a fração argila. Dessa forma, a atividade térmita no pretérito, considerada uma das precursoras dos murundus (Ponce e Cunha 1993), pode ter contribuído para os maiores teores de areia na APC.

Os valores de Ds verificados nesse estudo (Tabela 1) foram superiores aos relatados por Alho *et al.* (2014) e Torres *et al.* (2014) para solos sob florestas na região Amazônica, porém semelhantes aos da área de campo natural (Alho *et al.* 2014) dessa mesma região. Valores de Ds de 1,55 e 1,45 Mg m^{-3} , nas profundidades de 0-0,1 e 0,1-0,2 m, respectivamente, são relatados por Sousa-Neto *et al.* (2013) em solo de textura média da região sudoeste de Mato Grosso. No presente estudo, os maiores valores de Ds na APC em relação ao murundu (Tabela 1) sugerem a existência de processos naturais de adensamento ou compactação por pisoteio do gado conforme verificado por Cardoso *et al.* (2011) em áreas do Pantanal. Além disso, a atividade biológica, pretérita ou presente no murundu, remobilizando material do solo, criando galerias, cimentando partículas primárias do solo pela ação das fezes e saliva, também pode ter contribuído para redução da Ds nesse ambiente, conforme relatado por Antunes *et al.* (2012) em áreas de cupinzeiros. Outros fatores que afetam a Ds são a composição textural do solo, umidade e processos pedogenéticos (Cardoso *et al.* 2011).

Os ciclos de alagamento presentes nessas áreas podem explicar os maiores valores de pH na APC, as quais ficam totalmente saturadas com água no período das chuvas, em comparação ao murundu. Conforme relatado por Sparks (1994) e Coringa *et al.* (2012) em solos alagados, com baixo potencial redox, ocorrem uma série de reações químicas de oxirredução, todas caracterizadas por consumo de H^+ da solução, resultando na elevação do pH do meio. Como consequência do menor valor do pH no murundu em relação à APC, estes apresentam maiores teores de Al^{3+} e acidez potencial corroborando estudos que relatam a correlação positiva entre

o pH do solo e esses atributos do solo (Pierangeli *et al.* 2009). Os altos valores de saturação Al^{3+} e elevada acidez observados nestes CM contrastam com valores relatados por Pierangeli *et al.* (2009) para solos de terras altas da bacia hidrográfica do rio Guaporé. Porém, Martins *et al.* (2006) avaliando as relações solo-ambiente em áreas de Ipucas na planície do Médio Araguaia constataram que os solos dos murundus dessa região são extremamente ácidos, de baixa fertilidade natural, com teores muito baixos de nutrientes, corroborando com os resultados do presente estudo.

A saturação por bases e os valores de $\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$ e $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$ (Tabela 3) são maiores nos murundus, independentemente da profundidade. Em ambas os ambientes a $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$ é baixa (Ribeiro *et al.* 1999), refletindo os baixos valores de pH encontrados, bem como a textura do solo, tanto no murundu quanto na APC. No entanto, a $\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$ é média na APC e adequada no murundu (Ribeiro *et al.* 1999), embora grande parte dela esteja ocupada pelos cátions ácidos ($\text{H}+\text{Al}$): 75 e 80% na APC e murundu, respectivamente. Maiores valores de ambas CTCs no murundu são devido aos maiores teores de K^+ (Tabela 3), maiores valores de pH (Tabela 2), acidez potencial e, provavelmente, aos maiores teores de argila nesse ambiente (Tabela 1). Outra provável explicação para a diferença nos atributos químicos do solo entre murundu e APC, diz respeito à redução do Fe^{3+} e Mn^{4+} durante o alagamento, os quais na forma reduzida são muito móveis e podem provocar o deslocamento de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ dos sítios de troca do solo, conforme verificado por Lima *et al.* (2005) em solos da Amazônia submetidos à inundação. O K^+ , por exemplo, é fracamente retido nos colóides do solo e pode ser facilmente removido por lixiviação, acompanhando a água percolante, principalmente em solos de baixa $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$, tais quais os desse estudo (Tabela 3). Ainda, segundo alguns autores (Antunes *et al.* 2012; Pinheiro *et al.* 2013) o forrageamento dos térmitas nas áreas planas circunvizinhas pode provocar o empobrecimento dessas áreas e concentrar os nutrientes nos cupinzeiros.

Com relação ao P disponível (Tabela 2), os baixos teores (Ribeiro *et al.* 1999) corroboram os relatos de Resende *et al.* (2004) para campus de murundus de Uberlândia-MG e solos da região dos Cerrados de maneira geral (Lopes e Cox 1977). Nas áreas ora estudadas os baixos teores provavelmente se devem ao predomínio da fração areia nesses solos, que não favorece a adsorção de P (Resende *et al.* 2007), bem como à pobreza do material de origem nesse elemento e aos baixos teores de matéria orgânica em ambos ambientes (Silva *et al.* 2010). No entanto, apesar de baixos, no murundu, em todas as profundidades, os teores de P são cerca de três vezes mais elevados que na APC.

Embora se pudesse esperar maior acúmulo de CO (Tabela 1) na área plana devido ao alagamento na época das chuvas tal fato não foi observado. Em áreas úmidas do Pantanal

matogrossense, Nogueira *et al.* (2002) observaram que a MO não se acumula, pois as altas temperaturas e umidade adequada, entre os pulsos de inundação, favorece a rápida decomposição do material orgânico formado no período seco e acumulado durante as inundações

Em termos de armazenamento de nutrientes no solo, até 0,2 m os murundus apresentaram maiores estoques de Ca; Mg; K e P: 237; 201; 140 e 8 kg ha⁻¹, em relação à APC, 196; 159; 65 e 3 kg ha⁻¹, respectivamente. Esses valores são muito inferiores aos relatados por Magalhães *et al.* (2013) para solos de terras altas em Rondônia. No presente estudo, maiores estoques desses nutrientes no murundu podem estar relacionados à vegetação presente em cada ambiente: espécies arbustivas-arbóreas, típicas do Bioma Cerrado no murundu (Marimon *et al.* 2012; Morais *et al.* 2014) e graminóide na APC (Oliveira-Filho 1992), cujos sistemas radiculares explorariam de formas diferentes a matriz do solo, alterando a disponibilidade de nutriente e outros atributos do solo. Zonta *et al.* (2003) relatam que as plantas, em resposta a vários fatores edáficos, como por exemplo, altos teores de Al³⁺, exsudam ácidos orgânicos, bem como outras substâncias como nucleotídeos, enzimas e ácidos graxos, os quais podem contribuir para elevação dos teores de alguns nutrientes no solo.

Embora em baixas quantidades, esses nutrientes são suficientes para manutenção da vegetação nativa e sustentação de diversos serviços ambientais, tais como ciclagem e reserva de nutrientes. A baixa fertilidade destes campos de murundus restringe o uso agrícola destas áreas, as quais atualmente são empregadas como pastagem extensiva, de baixa produtividade e capacidade de suporte. Embora existam tecnologias para elevação da produtividade agrícola no país, ressalta-se que áreas úmidas, assim como os campos de murundus, são ambientes de elevada fragilidade ambiental e qualquer intervenção antrópica pode desencadear profundos desequilíbrios.

O fato dos solos estudados serem de textura franca a franco-arenosa (Embrapa 2007) exige ainda mais cuidado em relação ao seu manejo, haja vista que baixos teores de argila, aliados a baixos teores de CO (Tabela 1) não favorece a formação de agregados, fundamentais para manter a qualidade do ambiente edáfico (Alho *et al.* 2014). O decréscimo dos teores de CO, por sua vez, restringe a formação de agregados e, conseqüentemente, de várias propriedades do solo correlatas, tais como, densidade, porosidade, aeração e capacidade de infiltração de água, conforme relatado por Alho *et al.* (2014) para solos de campos naturais na Amazônia. Embora a baixa declividade da área não favoreça os processos erosivos, há o risco de arenização dessas áreas em virtude dos baixos teores de argila ou perda da mesma por lessivagem e da redução do CO do solo devido às práticas inadequadas de manejo, tais como o uso do fogo para a renovação das pastagens, comum na região do estudo.

Os valores obtidos para a Análise de Componentes Principais (Tabela 4) indicam que os conjuntos de variáveis selecionadas foram suficientes para explicar a maior parte da variação existente entre os murundus e a APC. Assim, o agrupamento do CM em murundu e APC, indica que há um padrão próprio de distribuição dos atributos do solo, sendo possível separar os dois ambientes distintos. A separação dos murundus e suas respectivas APC, em dois grupos distintos, reflete as alterações nos atributos do solo decorrentes de acontecimentos naturais como atividade de termiteiros no pretérito, alagamento (Oliveira-Filho 1992), erosão (Resende *et al.* 2004) ou da intervenção antrópica, principalmente queimadas e pisoteio do gado.

CONCLUSÕES

Os campos de murundus da bacia do rio Guaporé caracterizam-se por apresentarem baixa saturação por bases, elevada saturação por Al e acidez. As variáveis acidez potencial, matéria orgânica do solo e teores de areia separaram os campos de murundus em dois ambientes distintos: murundus propriamente ditos e área plana circunvizinha. Os baixos teores de carbono orgânico e baixos teores de argila tornam estes campos de murundus ambientes de elevada fragilidade ambiental e qualquer intervenção antrópica pode desencadear profundos desequilíbrios.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior (CAPES) e à Rede Centro-Oeste de Pós-Graduação, Pesquisa e Inovação Tecnológica (Rede Pró Centro-Oeste), à Rede de estudos sociais, ambientais e de tecnologias para o sistema produtivo na região sudoeste de Mato Grosso (rede ASA) e à Fundação de apoio a pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT) pelo apoio e financiamento do projeto.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- Anjos, L. C. dos; Pereira, M. G.; Perez, D. V.; Ramos, D. P. 2007. Caracterização e classificação de Plintossolos no Município de Pinheiro-MA. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31: 1035-1044.
- Alho, L.C.A.; Campos, M.C.C.; Silva, D.M.P.; Mantovanelli, B.C.; Souza, Z.M. 2014. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e estoque de carbono em Cambissolo e Argissolo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 44: 246-254.
- Addinsoft. 2013. Xlstat-Pro, Core Statistical Software. Disponível em: <<http://www.xlstat.com>>. Acesso em 26/02/2013.
- Antunes, P.D.; Figueiredo, L.H.A.; Silva, J.F.; Kondo, M.K.; Santos-Neto, J.A. dos; Figueiredo, M.A.P. 2012. Caracterização físico-química de micro-relevo de montículos "murundus" na região de Janaúba no norte de Minas Gerais. *Geonomos*, 20: 81-85.

- Brasil - Ministério das Minas e Energia. 1982. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Folha SD. 21 Cuiabá: Projeto RADAMBRASIL: *Levantamento de recursos naturais*, volume 26. Projeto RADAMBRASIL, Rio de Janeiro, p. 544.
- Brikman, R. 1970. Ferrolisys, a hidromorphic soil forming process. *Geoderma*, 3: 199-206.
- Brikman, R.; Jongmans, A.G.; Miedema, R.; Maaskant, P. 1973. Clay decomposition in seasonally wet, acid soils: micromorphological, chemical and mineralogical evidence from individual argillans. *Geoderma*, 10: 259-270.
- Cardoso, E.L.; Silva, M.L.N.; Curi, N.; Ferreira, M.M.; Freitas, D.A.F. 2011. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal sul-mato-grossense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35: 613-622.
- Coringa, E. De A.O.; Couto, E.G.; Perez, X.L.O.; Torrado, P.V. 2012. Atributos de solos hidromórficos no Pantanal Norte Matogrossense. *Acta Amazonica*, 42: 19-28.
- Cramer, M.D.; Innes S.N.; Midgley J.J. 2012. Hard evidence that heuweltjie earth mounds are relictual features produced by differential erosion. *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology*, 350: 189-197.
- Eiten, G. 1985. Vegetation near Santa Terezinha, NE Mato Grosso. *Acta Amazonica*, 15: 275-301.
- Ellert, B. H.; Bettany, J. R. 1995. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *Canadian Journal of Soil Science*, 75: 529-538.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997. *Manual de métodos de análises de solo*. 2da ed. CNPS, Rio de Janeiro, 212p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Embrapa. 2007. *Sistema Brasileiro de Classificação do solo*. 2a ed. CNPS, Rio de Janeiro, 306p.
- Franca, A. M. da S.; Sano, E. E. 2011. Mapeamento de áreas de campo limpo úmido no Distrito Federal a partir de fusão de imagens multiespectrais. *Sociedade e Natureza*, 23: 197-209.
- Gholamis, A.; Riazi, F. 2012. Impact of termite activity on physical and chemical properties of soil. *Journal Basic Applied Science Research*, 2: 5581-5582.
- Lima, H.N.; Mello, J.W.V. de; Schaefer, C.E.G.R.; Ker, J.C. 2005. Dinâmica da mobilização de elementos em solos da Amazônia submetidos à inundação. *Acta Amazonica*, 35: 317-330.
- Lopes, A. S.; Cox, F. R. 1977. A survey of the fertility status of surface soils under "cerrado" vegetation in Brazil. *Soil Science of Society America Journal*, 41: 742-747.
- Magalhaes, S.S. de A.; Weber, O.L.S.; Santos, C.H.; Valadão, F.C.A. 2013. Estoque de nutrientes sob diferentes sistemas de uso do solo de Colorado do Oeste-RO. *Acta Amazonica*, 43: 65-74.
- Marimon, B.S.; Marimon-Junior, B.H.; Mews, H.A.; Jancoski, H.S.; Franczak, D.D.; Lima, H.S.; et al. 2012. Florística dos campos de murundus do Pantanal do Araguaia, Mato Grosso, Brasil. *Acta Botanica Brasílica*, 26: 181-196.
- Martins, A.K.E.; Schaefer, C.E.G.R.; Silva, E.; Soares, V.P.; Corrêa, G.R.; Mendonça, B.A.F. de. 2006. Relações solo-geoambiente em áreas de ocorrência de ipucas na planície do Médio Araguaia – estado de Tocantins. *Revista Árvore*, 30: 297-310.
- Mckey, D.; Rostain S.; Iriarte J.; Glaser, B.; Birk, J.J.; Renard, D. 2010. Pre-Columbian agricultural landscapes, ecosystem engineers, and self-organized patchiness in Amazonia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107: 7823-8.
- Midgley, J.J. 2010. More mysterious mounds: origins of the Brazilian campos de murundus. *Plant and Soil*, 336: 1-2.
- Mitsch, W.J.; Gosselink, J.G. 2000. The value of wetlands: importance of scale and landscape setting. *Ecological Economics*, 35: 25-33.
- Morais, R.F.; Morais, F.F.; Lima, J.F. 2014. Composição e estrutura da comunidade arbórea e arbustiva em murundus no Pantanal de Poconé, Mato Grosso. *Revista Árvore*, 38: 443-451.
- Nogueira, F.; Couto, E. G.; Bernardi, C. J. 2002. Geostatistics as a tool to improve sampling and statistical analysis in wetlands: a case study on dynamics of organic matter distribution in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 62: 861-870.
- Oliveira-Filho, A.T. 1992. Floodplain "murundus" of Central Brazil: evidence for the termite-origin hypothesis. *Journal of Tropical Ecology*, 8: 1-19.
- Oliveira-Filho, A.T.; Furley, P.A. 1990. Monchão, concuroto, murundu. *Ciência Hoje*, 11: 30-37.
- Pierangeli, M.A.P.; Eguchi, E.S.; Ruppim, R.F.; Costa, R.B.F.; Vieira, D.F. 2009. Teores de As, Pb, Cd e Hg e fertilidade de solos da região do Vale do Alto Guaporé, sudoeste do estado de Mato Grosso. *Acta Amazonica*, 39: 61-70.
- Pinheiro, L.B.A.; Pereira, M.G.; Lima, E.; Correia, M.E.F.; Silva, C.F. da; Eleling, A.G. 2013. Atributos edáficos e de termiteiros de Cupim-de-Montículo (Isoptera: Termitidae) em Pinheiral-RJ. *Floresta e Ambiente*, 20: 510-520.
- Ponce, V.M.; Cunha, C.N.; 1993. Vegetated earthmounds in tropical savannas of central Brazil: a synthesis. *Journal of Biogeography*, 20: 219-225.
- R Development Core Team. 2011. *R: a language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. (www.R-project.org/). Acesso em 07/07/2011.
- Resende, I.L.M.; Araújo, G.M.; Oliveira, A.P.A.; Oliveira, A.P.; Ávila Júnior, R.S.A. 2004. A comunidade vegetal e as características abióticas de um campo de murundu em Uberlândia, MG. *Acta Botanica Brasílica*, 18: 9-17.
- Resende, M.; Curi, N.; Rezende, S.B. de; Corrêa, G.F. 2007. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. 5a ed. rev. Editora UFLA, Lavras, 322p.
- Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G.; Alvarez, V.H (Eds.). 1999. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes 1999 em Minas Gerais: 5ª aproximação*. CFSEMG, Viçosa, 359p.
- Sparks, D.L. 1994. *Environmental soil chemistry*. Academic Press, San Diego, 267p.

- Silva, L.C.R.; Vale, G.D.; Haidar, R.F.S.L.; Sternberg, L. 2010. Deciphering earth mound origins in central Brazil. *Plant and Soil*, 336: 3–14.
- Sousa-Neto, E.L. de; Pierangeli, M.A.P.; Lal, R. 2013. Compaction of an Oxisol and chemical composition of palisadegrass. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37: 928-935.
- Torres, L.C.; Barros, K.R.M.; Lima, H.V. 2014. Alterações na qualidade física de um Latossolo Amarelo sob pastagem. *Acta Amazonica*, 44: 419-426.
- Zonta, E.; Brasil, F. da C.; Goi, S.R.; Rosa, M.M.T. 2006. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: Fernandes, M.S. (Ed.). *Nutrição mineral de plantas*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, Minas Gerais, p.8-52.

Recebido em 01/08/2014

Aceito em 07/11/2014

