

**CAMPOS DE MURUNDUS DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO GUAPORÉ: CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA
E TEORES DE ELEMENTOS-TRAÇO**

FERNANDO LUIZ SILVA

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais para obtenção do título de Mestre.

**CÁCERES
MATO GROSSO, BRASIL
2014**

FERNANDO LUIZ SILVA

**CAMPOS DE MURUNDUS DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO GUAPORÉ: CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA
E TEORES DE ELEMENTOS-TRAÇO**

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Maria Aparecida Pereira Pierangeli

**CÁCERES
MATO GROSSO, BRASIL
2014**

FERNANDO LUIZ SILVA

**CAMPOS DE MURUNDUS DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO GUAPORÉ: CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA
E TEORES DE ELEMENTOS-TRAÇO**

Essa dissertação foi julgada e aprovada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Cáceres, 07 de março de 2014.

Banca examinadora

Prof^a. Dr^a Áurea Regina Alves Ignácio
Universidade do Estado de Mato Grosso-UNEMAT

Prof. Dr. João José Marques
Universidade Federal de Lavras-UFLA

Prof^a. Dr^a. Maria Aparecida Pereira Pierangeli
Universidade do Estado de Mato Grosso-UNEMAT
(Orientadora)

**CÁCERES
MATO GROSSO, BRASIL
2014**

AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente a Deus pela oportunidade concedida, pela força em todos os momentos difíceis, por sempre guiar meus caminhos e proporcionar coragem para enfrentar os desafios, permitindo tranquilidade na execução dos trabalhos com a certeza da conclusão.

A Universidade do Estado de Mato Grosso por propiciar esta formação, juntamente com todos os professores do curso e em especial a orientadora Maria Aparecida Pereira Pierangeli por ser um exemplo de dedicação e sucesso profissional e pela imprescindível participação no trabalho.

As fontes financiadoras do projeto: Rede Pró-Centro Oeste, Rede Asa, CNPq, Capes, por disponibilizar os meios para a execução da pesquisa, inclusive a bolsa de estudos.

Aos familiares, meus pais Anilton e Maria Abadia, minha irmã, concunhado e seus filhos, minha esposa Rayana pelo apoio e incentivo prestados para superação dessa etapa especial da formação acadêmica.

Agradeço ainda a todos os amigos que colaboraram na execução das atividades de pesquisa, ao Fernando André, Nilo, Edimar, Ednalva, Fabiana, Jaqueline, Eldânia, além do técnico do laboratório de solos, Luís Messias, falecido em 07 de janeiro de 2014 por complicações de saúde, no entanto sempre vivo e alegre em minhas lembranças.

ÍNDICE

LISTA DE TABELAS	5
LISTA DE FIGURAS	7
RESUMO.....	8
ABSTRACT	9
INTRODUÇÃO GERAL	10
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	11
ARTIGO 1 - CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA DE CAMPOS DE MURUNDUS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GUAPORÉ, AMAZÔNIA MERIDIONAL.....	13
INTRODUÇÃO	14
MATERIAL E MÉTODOS	16
Área do estudo.....	16
Caracterização morfológica e classificação dos perfis de solos.....	18
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
Classificação e caracterização morfológica de solos	19
Atributos físicos e químicos do solo	21
CONCLUSÕES	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
ARTIGO 2 - VALORES DE REFERÊNCIA DE ELEMENTOS-TRAÇO EM CAMPOS DE MURUNDUS, AMAZÔNIA MERIDIONAL	33
INTRODUÇÃO	34
MATERIAL E MÉTODOS	36
Área do estudo.....	36
Amostragem de solos	38
Análises químicas e físicas	38
Análises estatísticas.....	39
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
CONSIDERAÇÕES FINAIS	54

LISTA DE TABELAS

Artigo 1

- Tabela 1. Descrição morfológica dos solos dos sítios I, II e III, dos campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, Amazônia Meridional. 20
- Tabela 2. Atributos físicos dos perfis dos Plintossolos (FXd), Cambissolos (CXbd) e dos Neossolos (RQg) dos campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, Amazônia Meridional..... 212
- Tabela 3. Atributos químicos dos Plintossolos (FXd), Cambissolos (CXbd) e dos Neossolos (RQg) dos campos de murundus da bacia do Rio Guaporé, Amazônia Meridional..... 24
- Tabela 4. Micronutrientes nos principais horizontes diagnóstico dos Plintossolos (FXd), Cambissolos (CXbd) e dos Neossolos (RQg) dos campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, Amazônia Meridional. 26
- Tabela 5. Composição química dos principais horizontes diagnóstico dos Plintossolos (FXd), Cambissolos (CXbd) e dos Neossolos (RQg) dos campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, Amazônia Meridional. 26

Artigo 2

- Tabela 1. Recuperação e limite de detecção (LD) do método das análises de elementos-traço e Fe no solo dos campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, Amazônia Meridional..... 39
- Tabela 2. Descrição dos teores de elementos-traço e Fe no solo (0-20 cm) e comparação de ambiente “plano” e “murundu” dos campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, Amazônia Meridional. 40
- Tabela 3. Coeficiente de correlação de Spearman entre os elementos-traço e Fe dos campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, Amazônia Meridional..... 44

Tabela 4. Coeficiente de correlação de Spearman dos elementos-traço e Fe com atributos físicos e químicos do solo dos campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, Amazônia Meridional. 45

Tabela 5. Equações de regressão linear múltipla para explicação de alguns elementos-traço no solo dos ambientes “plano” e “murundu” dos campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, Amazônia Meridional. 47

Tabela 6. Valores de referência de qualidade (VRQs) propostos para os ambientes “murundu” e “plano” (0-20 cm) do solos dos campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, Amazônia Meridional. 47

LISTA DE FIGURAS

Artigo 1

Figura 1. Localização da área do estudo. Imagens de satélite dos campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, Amazônia Meridional. (A e B). Sítio de descrição dos perfis de solo (I, II e III). 17

Figura 2. A - Paisagem dos campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, Amazônia Meridional, onde se observa a ocorrência de gramínea no ambiente “plano” e vegetação arbórea nos “murundus”. B – Interior do ambiente do “murundu”, onde se observam cactáceas e cupins de montículo. 18

Artigo 2

Figura 1. Localização da área do estudo. Imagens de satélite dos campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, Amazônia Meridional (A e B). Área de amostragens de solos (1, 2, 3 e 4). 37

Figura 2. Boxplots de elementos-traço e Fe no solo do ambiente do “murundu” nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm dos campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, Amazônia Meridional. Teste U de Mann-Whitney ($p < 0,05$). 42

Figura 3. Boxplots de elementos-traço e Fe no solo do ambiente “plano”, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm dos campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, Amazônia Meridional. Teste U de Mann-Whitney ($p < 0,05$). 43

Figura 4. Biplot da ACP dos elementos traço e Fe do solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, nos ambientes “murundu” e “plano”, dos campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, Amazônia Meridional. 46

RESUMO

SILVA, Fernando Luiz. **Campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé: caracterização pedológica e teores de elementos-traço**. Cáceres: UNEMAT, 2014. 54 p.(Dissertação – Mestrado em Ciências Ambientais)¹.

Os campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé são áreas úmidas de elevada fragilidade ambiental, usadas para a pecuária, extensiva. Esse tipo de ocupação pode resultar em impactos ambientais negativos, sendo necessário, portanto, o estabelecimento de ordenamento territorial para conciliar a demanda econômica e a preservação ambiental. Para isso é fundamental o conhecimento de propriedades químicas e físicas do solo. Este trabalho dividido em dois artigos teve o objetivo de: (a) descrever as classes de solos desses campos de murundus, considerando os ambientes “murundu” (murundu propriamente dito) e “plano” (área plana no entorno dos murundus); (b) determinar os teores e propor valores de referência de qualidade (VRQs) de elementos-traço, a fim de subsidiar a adequada gestão territorial desses ambientes. No primeiro artigo foi realizada a classificação de solos conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). No segundo artigo é apresentado os teores de alguns elementos-traço (Mn, Zn, Cu, Cr, Pb, As, Se e Cd) e Fe, sendo a extração dos elementos realizada em meio ácido e a determinação por meio de espectroscopia de absorção atômica de chama ar-acetileno ou forno de grafite. Não houve distinção entre as classes de solos entre os ambientes “murundu” e “plano”. Foram identificados nesses ambientes, solos das classes de Plintossolos Háplicos distróficos típicos, Cambissolos Háplicos Tb distróficos plintossólicos e Neossolos Quartzarênicos hidromórficos típicos, sendo os mesmos, em geral, arenosos, pobres em nutrientes e de acidez elevada. Os VRQs, em mg kg^{-1} , propostos para esses ambientes foram: Mn 16,5; Zn 7,8; Ni 6,0; Cu 9,2; Cr 21,0; Pb 10,8; As 1,6; Cd $<0,03$ e Se $<0,31$, na maioria das vezes inferiores aos VRQs estabelecidos para solos de outras regiões. Os teores observados refletem a pobreza do material de origem desses solos nesses elementos, bem como a ausência de contaminação. Em síntese, os solos desses campos de murundus, tendo em vista principalmente as condições de alagamento periódico, não apresentam suporte para intensificação da agricultura ou pecuária, sendo inapropriada a drenagem ou correção e adubação do solo desses ambientes. Sugere-se, que, estratégias de ordenamento territorial para esses ambientes sejam direcionadas no objetivo de preservar suas características naturais, sem incentivos para intensificação da pecuária, buscando alternativas para novas fontes de renda.

Palavras-chave: áreas úmidas, classificação de solos, ordenamento territorial, pecuária.

¹ Orientadora: Maria Aparecida Pereira Pierangeli, UNEMAT.

ABSTRACT

SILVA, Fernando Luiz. **Earthmound fields of Guapore River Watershed: pedologic characterization and trace-elements**. Cáceres: UNEMAT, 2014. 54 p. (Dissertation - Masterin Environmental Sciences)².

The earthmounds fields of Guapore River Watershed are wetlands of high environmental fragility, employed for livestock. These occupations can result in negative environmental impacts, being necessary, therefore, the establishment of regional planning to reconcile economic demand and preservation environmental. Therefore, it is crucial to understand the chemical and physical properties of soil. This work is divided into two articles aimed to: (a) describe soil classes these fields mounds, considering the environments "mound" (mound itself) and "plan" (the flat area around the mounds); (b) determining the levels and propose baseline values of trace elements in order to support the adequate territorial management of these environments. In the first article, the soil classification was performed according to the Brazilian System of Soil Classification. In the second article, the contents of some trace elements (Mn, Zn, Cu, Cr, Pb, Se and Cd) and Fe is presented. The extraction of the elements was carried out in acid medium and determined by atomic absorption spectroscopy air-acetylene flame or graphite furnace. There was no distinction between classes soil of "mound" and "plan" environments. In these environments soils were identified in classes of Plintosols Haplic typical dystrophic, Cambisols Haplicvdystrophic Tb plinthosolic, Neosols Quartzarenic typical hydromorphic, and they are generally sandy, low in nutrients and high acidity. The baseline values (mg kg^{-1}) proposed for these environments were: Mn 16,5; Zn 7,8; Ni 6,0; Cu 9,2; Cr 21,0; Pb 10,8; As 1,6; Cd <0,03 e Se <0,31, in most cases less than the baseline values set for soils in other regions. The levels observed reflect the poverty of the source materials of these soils in these elements, as well as the absence of contamination. In summary, the soils these earthmounds fields, especially in view of the conditions of periodic flooding, do not show support for intensification of agriculture or livestock, being improper drainage, fertilization or soil amendment such environments. It is suggested that regional planning strategies for these environments are focused on the goal of preserving its natural features, without incentives for intensification of livestock, seeking alternatives for new sources of income.

Key-words: wetlands, soil classification, land use, livestock.

² Major Professor: Maria Aparecida Pereira Pierangeli, UNEMAT.

INTRODUÇÃO GERAL

Os campos de murundus do Vale do Rio Guaporé, sudoeste do Estado de Mato Grosso, são áreas úmidas sazonalmente alagáveis devido ao acúmulo de água da chuva. São áreas que ocupam grandes extensões de terra, bordeando a fronteira Brasil-Bolívia, no Estado de Mato Grosso e parte de Rondônia. Essa região tem sido ocupada pela pecuária extensiva, destacando-se como a principal fonte de renda para os produtores e representa uma importante fonte econômica para os municípios da região, além de atender a demanda de alimentos do mercado interno e externo (MATO GROSSO 2011).

Do ponto de vista ambiental, os campos de murundus representam áreas de elevada fragilidade ambiental, com importantes funções ecológicas, por tratar-se de áreas úmidas. Áreas úmidas apresentam uma rica diversidade de plantas e animais, as quais são susceptíveis a atividades antrópicas, além da própria dinâmica do solo e da água desses ambientes que podem sofrer graves transformações pelo seu uso imprudente (Price e Waddington, 2000; Pott *et al.*, 2011). Quanto à química do solo, esses ambientes são considerados sensíveis, devido às condições de oxi-redução promovida pelos ciclos de alagamento, os quais podem afetar a qualidade da água, favorecendo a difusão de elementos considerados tóxicos (Olivie-Lauquet *et al.* 2001), além de favorecer a absorção e a bioacumulação desses elementos pelas plantas (Du Laing *et al.* 2009). Em condições naturais esses ambientes são importantes para a recarga de aquíferos e manutenção do equilíbrio hidrológico (Bullock e Acreman (2003)..

Nesse contexto, conflitos socioambientais são favorecidos, devido estabelecimento de um campo de tensão entre a necessidade de produção e os impactos ambientais, conforme destacam Silva e Sato (2012). Do ponto de vista político, sobre o ordenamento territorial do estado de Mato Grosso, o Zoneamento Socioeconômico e Ecológico (ZSEE) tem passado por constantes debates, e no caso específico da região ocupada pelos campos de murundus, essa região é apontada como área proposta para a preservação, em razão dos processos de desenvolvimento que são altamente predatórios

socioambientalmente (Oliveira 2009). No entanto, há de se considerar que essa região, por se tratar de área de fronteira, é de suma importância socioeconômica para o país, pois a ocupação é uma garantia de manutenção da integridade territorial. Portanto, fazem-se necessárias estratégias de gestão que possam auxiliar o manejo e a conservação desses ambientes, propiciando meio de subsistência devida aos produtores rurais, reduzindo conflitos socioambientais e favorecendo o desenvolvimento sustentável.

O conhecimento das características e propriedade do solo é importante para o entendimento de seu potencial ou limitação produtiva, servindo como importante ferramenta para o ordenamento territorial (Lepsch 2002; IBGE 2007; Resende et al. 2007). Além disso, faz-se necessário o estabelecimento de valores de referência de qualidade para elementos-traço, tal como determina a resolução Conama 420/2009 (CONAMA 2009), de forma a prevenir a contaminação desses ambientes.

Portanto, a fim de subsidiar o desenvolvimento de adequada estratégia de gestão ambiental para essa região, este trabalho tem o objetivo de: (a) descrever os solos desses campos de murundus com ênfase nos ambientes “planos” (entorno dos murundus) e de “murundus” propriamente ditos, incluindo realização de descrição química, física e morfológica de perfis de solo, (b) determinar os teores e fazer a proposição de VRQs para elementos-traço Mn, Zn, Cu, Cr, Pb, As, Se e Cd.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BULLOCK, A.; ACREMAN, M. The role of wetlands in the hydrological cycle. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 7, n. 3, p. 358–389, 2003.
- CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **RESOLUÇÃO Nº 420 DE 28 DE DEZEMBRO DE 2009**. Brasil, Diário Oficial da União, 249, 2009.
- IBGE - INSTITUO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de Pedologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografi a e Estatística - IBGE, 2007. p. 316

- LAING, G. DU *et al.* Trace metal behaviour in estuarine and riverine floodplain soils and sediments: a review. **Science of the total environment**, v. 407, n. 13, p. 3972–85, 15 jun. 2009.
- LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de textos, 2002. p. 178
- MATO GROSSO. **Mato Grosso em números: Edição 2010** Seplan - MT Cuiabá-MT SEPLAN, , 2011. Disponível em: <www.seplan.mt.gov.br>
- OLIVEIRA, H. H. DE. **Zoneamento socioeconômico e ecológico do Mato Grosso: Caderno pedagógico**. Cuiabá-MT: [s.n.]. p. 33
- OLIVIE-LAUQUET, G. *et al.* Release of trace elements in wetlands: role of seasonal variability. **Water Research**, v. 35, n. 4, p. 943–952, 2001.
- POTT, A. *et al.* Plant diversity of the Pantanal wetland. **Brazilian journal of biology**, v. 71, n. 1 Suppl 1, p. 265–273, 2011.
- PRICE, J. S.; WADDINGTON, J. M. Advances in Canadian wetland hydrology an biogeochemistry. **Hydrological Processes**, v. 14, n. 9, p. 1579–1589, 30 jun. 2000.
- RESENDE, M. *et al.* **Pedologia: Base para distinção de ambientes**. 5. ed. Lavras: Editora UFLA, 2007. p. 322
- SILVA, M. J. DA; SATO, M. T. Territórios em tensão: o mapeamento dos conflitos socioambientais do Estado de Mato Grosso - Brasil. **Ambiente & sociedade**, v. 15, n. 1, p. 1–22, maio. 2012.

ARTIGO 1 - CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA DE CAMPOS DE MURUNDUS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GUAPORÉ, AMAZÔNIA MERIDIONAL

[Preparado de acordo com as normas da revista Wetlands]

Resumo: Os campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, sudoeste do estado de Mato Grosso, são áreas úmidas, sazonalmente alagáveis usadas pela atividade pecuária como principal atividade econômica. Este trabalho apresenta a caracterização química, física e morfológica de perfis de solos de ambientes de área plana, no entorno dos murundus, e de murundu propriamente dito, a fim de proporcionar informações para uso e manejo mais adequados para esses ambientes. Foram selecionados três sítios de amostragens, nos quais foram abertas trincheiras sobre o “murundu” e na área plano no seu entorno (ambiente “plano”) para descrição morfológica de perfis de solos nesses dois ambientes. Foram constatadas diferenças para atributos cor, estrutura e consistência do solo entre os sítios estudados, no entanto com pouca distinção entre os ambientes “plano” e “murundu”, sendo a principal diferença a profundidade dos horizontes. Em todos os perfis foi observada a presença de plintitas ou mosqueados e baixos teores de Fe_2O_3 . Acidez elevada e pobreza em nutrientes foram comuns nos perfis estudados, sendo mais elevados nos horizontes plínticos. A classificação dos solos resultou na identificação da ocorrência de Plintossolos Háplicos distróficos típicos, Cambissolos Háplicos Tb distróficos plintossólicos e Neossolos Quartzarênicos hidromórficos plintossólicos. Devido à suas características, a capacidade desses solos em suportar intensificação da pecuária é muito restrita, não sendo indicada a utilização de práticas agrícolas como correção e adubação do solo, ou mesmo instalação de canais de drenagem que resultariam em provável desequilíbrio ambiental desses ecossistemas. Estratégias de ordenamento territorial para esses ambientes devem ser direcionadas no objetivo de preservar suas características naturais, sem incentivos para intensificação da pecuária, buscando alternativas para novas fontes de renda.

Palavras-chave: descrição morfológica, ferrólise, nutrientes, uso do solo.

PEDOLOGIC CHARACTERIZATION OF EARTHMOUNDS FIELDS OF GUAPORE RIVER WATERSHED, SOUTHERN AMAZON

Abstract: The earthmounds fields of Guapore River Watershed, south-west of Mato Grosso State, are seasonally flooded wetlands, used for cattle ranching as the main economic activity. This paper presents a physical, chemical and

morphological characterization of soils profiles of “mound” (mounds itself) and “plan” (fat area surrounding the “mound”) environments, to provide information of use and better suited to manage these environments. Three sampling sites were selected in which trenches were opened on the “mound” and “plan” environment for describing soil profiles in these two environments. Differences for the attributes color, structure and consistency of the soil between the studied sites were noted, however with little distinction between environments “plan” and “mound”, the main difference being the depth of the horizons. In all profiles the presence of plintitas or mottled and low concentrations of Fe_2O_3 was observed. High acidity and nutrient poverty were common in the soil profile, being higher in plínticos horizons. The classification of soils resulted in the identification of the occurrence of Plintosols Haplic typical dystrophic, Cambisols Haplicvdystrophic Tb plinthosolic, Neosols Quartzarenic typical hydromorphic. Due to its characteristics, the capacity of these soils support intensive livestock production is very limited. The use of agricultural practices such as fertilization and soil correction, or even installation of drainage channels that would result in possible environmental imbalance of these ecosystems is not indicated. Land management strategies for these environments should be directed in order to preserve its natural features, without incentives for intensification of livestock, seeking alternatives for new sources of income.

Key-words: ferrollysis, morphological description, nutrients, land use.

INTRODUÇÃO

Os campos de murundus são áreas úmidas caracterizados pela presença de inúmeros montes arredondados de terra, formando micro-relevos com presença de vegetação arbórea, circundados por uma área plana, onde ocorre principalmente o desenvolvimento de gramíneas (Oliveira-Filho e Furley 1990; Oliveira-Filho 1992a; Schessl 1999; Marimon et al. 2012). Diversos tipos de micro-relevos (*earthmounds*) são apresentados na literatura e as hipóteses associadas às suas origens de formação têm sido bastante divergentes, sendo atribuída a esses campos, origem antrópica (agricultura), atividade biológica (térmitas), agentes físicos (erosão), ou até mesmo por uma sucessão de fatores (Bloesch 2008; McKey et al. 2010; Midgley 2010; Renard et al. 2011; Cramer et al. 2012). É reconhecido que tais micro-relevos tenham, de fato origens diferentes, embora seja comum a ocorrência de um fluxo de inundação sazonal, de origem pluvial, associados à maioria deles.

Os campos de murundus aqui estudados são característicos de savanas, e ocorrem principalmente na região central do Brasil, sendo a estes atribuídas hipóteses de formação associada à atividade biológica, erosão do solo ou pela ocorrência simultânea de tais processos (Oliveira-Filho 1992b; Araujo Neto et al. 2009; Midgley 2010; Silva et al. 2010).

Outro fator de discussão com fundamental importância sobre estes ambientes tem sido sobre o uso e ocupação do solo para agricultura ou preservação. Áreas úmidas apresentam uma rica diversidade de plantas e animais, os quais são suscetíveis a atividades antrópicas, além da própria dinâmica do solo e da água desses ambientes que podem sofrer graves transformações pelo seu uso imprudente (Price e Waddington 2000; Pott et al. 2011). Esses campos de murundus assumem grande importância ecológica, com funções hidrológicas e ecossistêmicas, tal como destacam Bullock e Acreman (2003) sobre o papel das áreas úmidas nos ciclos hidrológicos. Quanto à química do solo, esses ambientes são considerados sensíveis, devido às condições de oxi-redução promovida pelos ciclos de alagamento, e podem afetar a qualidade da água, favorecendo a difusão de elementos considerados tóxicos, como por exemplo, o As, ou essenciais como Fe e Mn (Olivie-Lauquet et al. 2001), além de favorecer a absorção e a bioacumulação desses elementos pelas plantas (Du Laing et al. 2009).

Por outro lado, há necessidades econômicas e sociais que envolvem a utilização de áreas úmidas para agricultura, seja para produção de alimentos e como meio de subsistência para milhões de pessoas (McCartney et al. 2010; Verhoeven e Setter 2010). Portanto, neste cenário evidencia-se a necessidade de pesquisas que permitam desenvolvimento de uma adequada gestão desses ambientes. No Estado de Mato Grosso, por exemplo, vastas extensões de campos de murundus, presentes nas Bacias Hidrográficas do Rio Paraguai, Xingu, Araguaia e Guaporé, são usados para pecuária extensiva.

Nesse sentido, a classificação do solo torna-se importante por permitir inferir sobre sua potencialidade e restrições sobre uso e manejo, fato que permite definir sobre sua capacidade de uso para agricultura (Lepsch 2002; IBGE 2007; Resende et al. 2007). É importante ainda para o ordenamento

territorial, o qual, nessa região ainda tem demandado muitas discussões em relação seu uso e ocupação (Oliveira 2009; Silva e Sato 2012). Sob tais perspectivas, objetivou-se nesse estudo a descrição morfológica, física e química e a classificação de perfis de solo dos campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, sudoeste do estado de Mato Grosso, Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

Área do estudo

A área de estudo correspondente aos campos de murundus situa-se na região conhecida como pantanais do Vale do Rio Guaporé, sub-região da Depressão Guaporé, caracterizada por áreas planas com altitudes em torno de 200 m, elaborada em sedimentos arenosos, síltico-arenosos e arenoconglomeráticos recentes de idade quaternária provenientes da desagregação e posterior deposição de rochas do Complexo Xingu e do Grupo Aguapeí, recoberto por Savana Estépica e formação do contato Savana Arbórea Aberta/Savana Estépica (Brasil 1982; Moreira e Vasconcelos 2007). Apresenta clima Aw – Savana Equatorial com inverno seco, segundo classificação de Köppen (Kottek et al. 2006) e precipitação média anual em torno de 1.500 mm, com temperaturas médias de 25 a 35° C (Ferreira 2001).

A área estudada abrange uma região, entre os municípios de Pontes e Lacerda e Vila Bela da Santíssima Trindade, sudoeste do estado de Mato Grosso (Figura 1), estendendo-se além da fronteira Brasil-Bolívia, ocupando uma área estimada de aproximadamente 5.500 km², em que os “murundus” apresentam uma área média de 80 m², recobrando cerca de 25% da superfície do solo desses ambientes, conforme estimativas realizadas utilizando imagens do Google Earth 2014.

Nesses “murundus” ocorrem quase em sua totalidade a presença de termiteiros e de vegetação arbórea (Figura 2). Destaca-se a espécie *Curatella americana* (Lixeira), além de ocorrência de palmeiras, cactáceas e ervas, as quais são relatadas nos trabalhos de Schessl (1999), Oliveira-Filho (1992a) e Marimon et al. (2012). Na área plana no entorno do murundu, ocorrem naturalmente espécies de gramíneas, onde se destaca o *Axonopus Purpusii*,

conhecido como capim mimoso também relatado por Schessl (1999), ocorrendo ainda espécies cultivadas como o capim humidícula (*Urochloa humidicula*) que tem sido a principal alternativa de pecuaristas, além do uso de queimadas, para intensificar a produtividade agrícola nessas áreas.

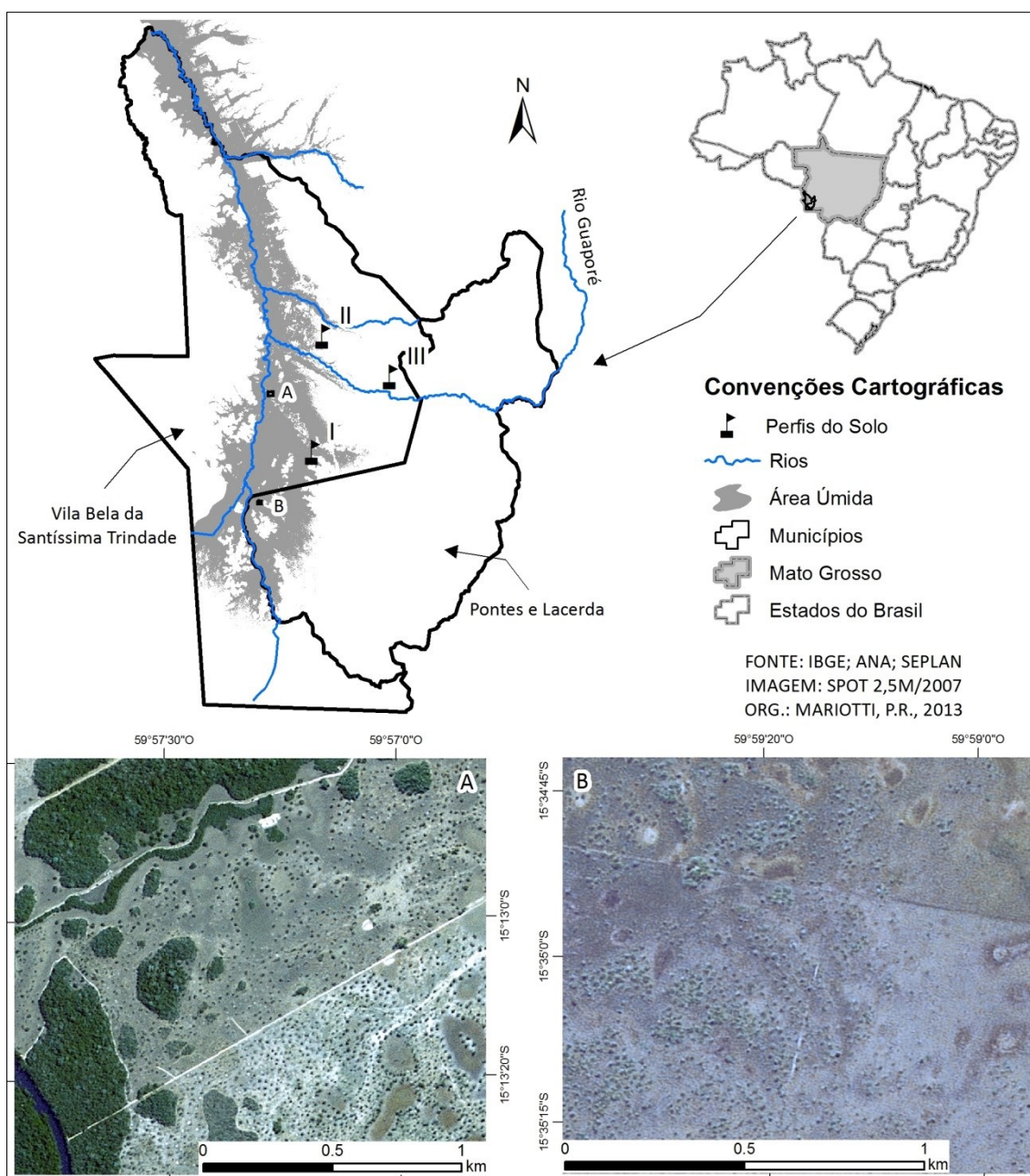


Figura 1. Localização da área do estudo. Imagens de satélite dos campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, Amazônia Meridional. (A e B). Sítio de descrição dos perfis de solo (I, II e III).

Caracterização morfológica e classificação dos perfis de solos

Para fazer a caracterização morfológica, química e física dos perfis de solo, foram selecionados três sítios de coleta, os quais pudessem representar os mais variados pedoambientes dos campos de murundus observando-se critérios de paisagem de acordo com Lepsch et al. (1991). Em cada sítio de coleta, abriu-se uma trincheira onde se observou o perfil do solo na área plana, no entorno do murundu, doravante denominado ambiente “plano”, e no “murundu” propriamente dito. A localização dos sítios de amostragens pode ser observada na Figura 1 (Sítio I – 59°48’20” W, 15°24’50” S; Sítio II – 59°46’31” W, 15°01’10” S; Sítio III – 59°32’25” W, 15°09’25” S). A descrição morfológica dos perfis foi realizada no período da seca, no mês de setembro de 2012.



Figura 2. A - Paisagem dos campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, Amazônia Meridional, onde se observa a ocorrência de gramínea no ambiente “plano” e vegetação arbórea nos “murundus”. B – Interior do ambiente do murundu, onde se observam cactáceas e cupins de montículo.

Para cada perfil de solo foi realizada a descrição morfológica dos perfis, observando-se características tais como transição entre horizontes, profundidade e espessura, cor, textura, estrutura e consistência conforme Santos et al. (2005), além da análise dos atributos físicos e químicos dos horizontes observados, que incluem a textura (método da pipeta); densidade aparente (método do anel volumétrico); cálcio (Ca^{2+}); magnésio (Mg^{2+}) e alumínio (Al^{3+}) ($\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$); acidez potencial ($\text{H}+\text{Al}$); fósforo (P) potássio (K^+) e micronutrientes (Mehlich 1), carbono orgânico (CO) (oxidação via úmida com $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ $0,4 \text{ mol L}^{-1}$) e teores do óxidos SiO_2 ; Al_2O_3 ; Fe_2O_3 ; TiO_2 e P_2O_5 do ataque sulfúrico. Todas as análises foram realizadas conforme EMBRAPA

(1997).A classificação dos perfis seguiu metodologia descrita no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) preconizada pela EMBRAPA (2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Classificação e caracterização morfológica de solos

A descrição morfológica dos perfis de solo são é mostrada na Tabela 1. Em síntese, de acordo com o SiBCS (EMBRAPA 2013) o sítio I (Plano e “murundu”) podem ser classificados como Plintossolos Háplicos distróficos típicos (FXd), com argila de atividade alta e ausência de transição textural abrupta. Os perfis do sítio II foram classificados como Cambissolos Háplicos Tb distróficos plintossólicos (CXbd), ocorrendo baixa atividade da fração argila, relação silte/argila < 0,7, sem transição clara de horizontes, ausência de B textural e insuficiência de plintitas para o horizonte plíntico. Os perfis dos sítio III foram classificados como Neossolo Quartzarênicos hidromórficos típicos (RQg), não havendo plintita suficiente para o caráter plíntico.

Observou-se que os solos, independentemente da classe, apresentavam lençol freático próximo de dois metros da superfície, o qual em alguns pontos de observação impediu a descrição dos perfis até essa profundidade (Tabela 1), pois apesar da descrição ter sido realizada no período da seca, a trincheira acumulava água. Ainda em relação à profundidade dos perfis, observou-se que nos três sítios amostrados, os perfis do ambiente de “murundus” foram em média 35 cm mais profundos em relação ao ambiente “plano”, o qual se justifica devido à elevação de nível do solo do “murundu” em relação ao ambiente “plano”. Em todos os perfis observou-se a ocorrência de plintitas e mosqueados. No entanto apenas no sítio I, tanto no “murundu” como “plano” se atende ao critério para horizonte plíntico (plintitas \geq 15% do volume) (EMBRAPA 2013). A presença de mosqueados e plintitas nesses solos (Tabela 1), permite que os mesmos sejam classificados como de drenagem moderada a mal drenada, embora eles apresentem textura arenosa a média (Tabela 2).

Tabela 1. Descrição morfológica dos solos dos sítios I, II e III, dos campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, Amazônia Meridional.

Horiz	Prof	Cor		Estrutura	Consistência		
		Úmida	Seca		Seca	Úmida	Molhada
Sítio I (Plano) - Plintossolo Háptico distrófico típico (FXd)							
Ap	0-11	10YR 3/3	7,5YR 5/2	Bsb, mp a gr, mod; Gra, mp, fr	Ld	Mfr	Npl e Npg
A2	11-19	7,5YR 3/2	10YR 4/3	Bsb, mp a mg, mod	Ld	Mfr	Lpl e Npg
Bf1	19-48	5YR 4/1	7,5YR 6/1	Bsb, mp a mg, mod	Ed	Mfi	Pl e Lpg
Bf2	48-88	7,5YR 5/1	7,5YR 6/1	Bsb, pq a mg, mod	Dr	Mfr	Pl e Lpg
Bf3	88-162+	10YR 5/1	10YR 6/2	Bsb, pq a mg, mod	-	Mfr	Lpl e Pg
Sítio I ("murundu") - Plintossolo Háptico distrófico típico (FXd)							
A1	0-7	10YR 4/2	10YR 7/3	Bsb, mp a gr, fr	Mc	Fir	Pl e Lpg
A2	7-17	10YR 4/2	10YR 7/3	Bsb, mp a gr, fr	Mc	Fri	Pl e Lpg
Bf1	17-50	10YR 6/3	10YR 8/2	Bsb, mp a mg, mod	Ed	Mfi	Pl e Lpg
Bf2	50-105	10YR 7/2	10YR 8/2	Bsb, mp a mg, fr a mod	Mc	Mfr	Pl e Lpg
Bf3	105-190+	10YR 5/1	10YR 8/2	Bsb, mp a mg, fr	Mc	Mfr	Lpl e Pg
Sítio II (Plana) – Cambissolo Háptico Tb distrófico plintossólico (CXbd)							
Ap	0-5	7,5YR 3/3	7,5YR 5/3	Bsb, mp a gr, fr; Gs	Mc	Mfr	Npl, Npg
AB	5-20	7,5R 4/6	10YR 5/6	Bsb, pq a gr, fr; Gs	Mc	Mfr	Npl, Npg
Bi	20-35	10YR 5/8	10YR 6/8	Bsb, pq a md; Gra, mp a pq, fr	Mc	Mfr	Npl, Npg
Bf1	35-120	10YR 5/6	10YR 6/8	Bsb, pq a md; Gra, mp a pq, fr	Mc	Mfr	Npl, Npg
Bf2	120-165+	10YR 6/8	10YR 6/8	Bsb, pq a md; Gra, mp a pq, fr	Mc	Mfr	Npl, Npg
Sítio II ("murundu") – Cambissolo Háptico Tb distrófico plintossólico (CXbd)							
A	0-13	10YR 3/2	10YR 4/2	Bsb, mp e fr	Mc	Mfr	Npl, Npg
AB	13-40	10YR 4/4	10YR 6/4	Bsb, mp a mg e fr; Gra, mp	Mc	Mfr	Npl, Npg
Bi	40-75	10YR 6/6	10YR 6/4	Gra, mp a mg e fr	Mc	Mfr	Lpl e Pg
Bf1	75-135	10YR 5/6	10YR 6/8	Gra, mp a pq	-	Mfr	Lpl e Pg
Bf2	135-200+	10YR 6/8	10YR 6/8	Gra, mp a pq	-	Mfr	Lpl e Pg
Sítio III (Plano) – Neossolo Quartzarênico hidromórfico típico (RQg)							
Ap	0-15	7,5 YR 4/1	7,5 YR 6/1	Bsb, pq a md, fr; Gs	Sl	Mfr	Npl, Npg
AC	15-32	7,5 YR 4/1	7,5 YR 6/2	Bsb, mp a mg, fr; Gs	Mc	Mfr	Npl, Npg
C	32-50	10 YR 7/3	10 YR 7/4	Bsb, mp a mg, fr; Gs	Mc	Mfr	Npl, Npg
Cf	50-150+	2,5 Y 8/2	2,5Y 8/2	Bsb mp a mg, fr; Gs	-	Mfr	Npl, Npg
Sítio III ("murundu") – Neossolo Quartzarênico hidromórfico típico (RQg)							
A	0-20	7,5 YR 3/1	7,5 YR 4/1	Gs	Mc	Mfr	Npl, Npg
AC	20-70	7,5 YR 5/1	7,5 YR 7/1	Bsb, mp a mg, fr; Gs	Mc	Mfr	Npl, Npg
Cf	70-190+	2,5 Y 8/2	2,5Y 8/2	Bsb, gr, fr; Gs	-	Mfr	Npl, Npg

1- Sba = Bloco Sub-angular; Gra = Granular; Gs = Grãos simples; mp = muito pequena; mg = muito grande; gr = grande; pq = pequena; mod = moderada; fr = fraca; média = md. 2- Ld = ligeiramente dura; Ed = extremamente dura; Dr = Dura; Mc = macia; Sl = solta; Mfr = muito friável; Fri = friável; Mfi = muito firme; Fir = firme. 3- Npl = não plástica; Npj = não pegajosa; Pl = plástica; Pg = pegajosa; Lpl = ligeiramente plástica; Lpg = ligeiramente pegajosa.

Quanto à estrutura do solo, os Plintossolos apresentaram estrutura de blocos sub-angulares de tamanho variável de resistência fraca a moderada, enquanto os Cambissolos apresentaram estrutura granular e os Neossolos, principalmente estrutura em grãos simples. Nota-se quanto à consistência do solo (Tabela 1), que os Plintossolos se diferenciaram dos demais principalmente quando seca ou molhada, a qual variou de macia a extremamente dura, e ligeiramente plástica e pegajosa, respectivamente, enquanto nos demais solos, a consistência foi de solta a macia e não plástica e não pegajosa quando seca ou molhada, respectivamente. Esses resultados demonstram comportamento diferenciado desses perfis em resposta aos ciclos anuais de umedecimento e secagem.

Atributos físicos e químicos do solo

Os resultados da textura dos perfis podem ser observados na Tabela 2. Observa-se que os Plintossolos se diferenciaram dos demais, predominando textura principalmente média, com ocorrência de textura argilosa nos horizontes mais profundos (Bf3) e de modo geral valores mais elevados de silte, enquanto os Cambissolos apresentaram textura média próxima de arenosa, e os Neossolos apresentaram horizontes arenosos.

Quanto aos ambientes “plano” e “murundu”, não se evidencia claras diferenças texturais entre os perfis estudados, em que era esperado que os perfis do “murundu” apresentassem maiores teores de argila, pelo menos nas camadas superficiais, tal como observado por Silva et al. (2010) em campos de murundus do cerrado.

A densidade do solo (D_s) (Tabela 2) determinada em alguns horizontes, apresenta valores abaixo dos considerados críticos para solos de textura argilosa e franco arenosa apresentados por Reinert et al. (2008), valores esses iguais a 1,7 a 1,8 g cm⁻³, respectivamente. Nos horizontes superficiais dos ambientes de “murundu”, observa-se que a D_s foi mais baixa que no ambiente “plano”, o que pode estar associado ao pisoteio animal promovido pela pecuária no ambiente “plano”, que torna-se restrito no ambiente do “murundu”

devido a vegetação arbórea, inclusive com cactáceas, desenvolvidas nesse ambiente.

Tabela 2. Atributos físicos dos perfis dos Plintossolos (FXd), Cambissolos (CXbd) e dos Neossolos (RQg) dos campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, Amazônia Meridional.

Perfil/ ambiente	Hor.	Areia	Silte	Argila	Classe textural	Ds
		g kg ⁻¹				g cm ⁻³
FXd - Plano	Ap	684	126	190	Média Arenosa	1,65
	A2	672	146	182	Média Arenosa	-
	Bf1	605	173	222	Média Arenosa	1,57
	Bf2	487	189	324	Média Siltosa	-
	Bf3	324	187	489	Média Siltosa	1,45
FXd - Murundu	A1	510	217	273	Média Argilosa	1,18
	A2	535	207	258	Média Siltosa	-
	Bf1	480	308	212	Média Siltosa	1,49
	Bf2	508	227	265	Média Argilosa	-
	Bf3	117	201	682	Siltosa	1,43
CXbd - Plano	Ap	762	60	178	Média Arenosa	1,44
	AB	739	53	208	Média Arenosa	-
	Bi	615	149	236	Média Arenosa	1,39
	Bf1	690	37	273	Média Arenosa	-
	Bf2	681	96	223	Média Arenosa	1,50
CXbd - Murundu	A	686	60	254	Média Arenosa	1,14
	AB	627	81	292	Média Arenosa	-
	Bi	653	40	307	Média Arenosa	1,30
	Bf1	624	77	299	Média Arenosa	-
	Bf2	621	84	295	Média Arenosa	1,52
RQg - Plano	Ap	679	86	235	Arenosa	1,57
	AC	915	8	76,7	Arenosa	-
	C	877	16	107	Arenosa Média	1,42
	Cf	824	32	144	Média Arenosa	1,67
RQg - Murundu	A	838	115	47	Arenosa Média	1,20
	AC	819	34	147	Arenosa Média	1,54
	Cf	851	18	131	Arenosa Média	1,64

Com isso, ressalta-se um possível impacto do pisoteio animal sobre o ambiente “plano” que poderia comprometer a drenagem, resultando em aumento do período do alagamento ou favorecendo escoamento superficial. Por outro lado a menor densidade observada na superfície dos “murundus” pode ser resultante, não apenas da ausência do pisoteio animal, mas do

desenvolvimento das raízes, ou mesmo, decomposição de sua vegetação característica.

Em relação aos atributos químicos (Tabela 3), o pH em água variou de 4,12 a 5,01 nos Plintossolos, enquanto nos Cambissolos e Plintossolos esses valores foram mais elevados variando de 4,94 a 6,7. Em todos os horizontes dos perfis estudados, o pH em água foi superior ao pH em KCl em torno de 1 a 2 unidades, resultando em Δ pH negativo, ou seja, solo com predomínio de cargas negativas no complexo de troca.

Observa-se baixos e médios teores de bases trocáveis, P e CO em todos os perfis e teores altos de acidez potencial (H+Al) sendo muito alto nos Plintossolos. As CTCs efetiva e CTC potencial foram baixas nos Cambissolos e Neossolos, sendo médias nos horizontes superficiais, enquanto nos Plintossolos foram médias na camada superficial e mais elevadas nos horizontes mais profundos. Em todos os perfis houve baixos valores de saturação por bases (V) e valores elevados de saturação por alumínio (m) (Ribeiro et al. 1999). Quanto à essas propriedades não são observadas diferenças entre os ambientes “plano” e “murundu”, sendo claras as diferenças entre os sítios estudados.

Quanto aos Plintossolos, nota-se ainda diminuição do pH nas camadas mais profundas associados com aumento de H e Al^{3+} . Os altos teores de Al^{3+} conjugado com acidez elevada, tal como verificado por Coringa et al. (2012), em solos hidromórficos do Pantanal, pode ser resultante de processo de ferrólise comum em solos sujeitos a encharcamento periódico. A ferrólise pode favorecer ainda, um gradiente textural, tal como observa-se para esses perfis de solo (Tabela 2). Conforme Bortoluzzi et al. (2008), durante oxidação do Fe^{2+} para Fe^{3+} , há liberação de H^+ capaz de deslocar cátions da estrutura dos argilominerais, rompendo-os, favorecendo a translocação da argila.

Tabela 3. Atributos químicos dos Plintossolos (FXd), Cambissolos (CXbd) e dos Neossolos (RQg) dos campos de murundus da badia do Rio Guaporé, Amazônia Meridional.

Perfil/ Ambiente	Hor.	pH H ₂ O	pH KCl	Δ pH	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H	SB	CTC efetiva	CTC pH 7,0	CO	m	V
					mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³					g kg ⁻¹	%				
FXd - Plano	Ap	5,0	4,0	-1,0	3,09	0,13	0,89	0,69	1,40	3,94	1,71	3,11	7,04	12,6	45	24
	A2	4,9	3,9	-1,0	1,70	0,07	0,70	0,14	2,00	3,90	0,91	2,91	6,81	9,5	69	13
	Bf1	4,6	3,9	-0,7	0,66	0,07	0,19	0,51	2,70	3,60	0,77	3,47	7,08	3,2	78	11
	Bf2	4,4	3,7	-0,7	1,01	0,06	0,48	0,34	4,30	10,70	0,88	5,18	15,88	2,2	83	6
	Bf3	4,2	3,7	-0,5	0,78	0,04	0,14	0,85	6,90	18,10	1,03	7,93	26,03	2,9	87	4
FXd - Murundu	A1	4,6	3,5	-1,2	5,63	0,24	0,55	0,81	3,40	10,95	1,60	5,00	15,95	17,4	68	10
	A2	4,8	3,6	-1,2	2,51	0,22	0,17	0,68	2,90	9,80	1,07	3,97	13,76	7,7	73	8
	Bf1	4,7	3,6	-1,1	0,32	0,11	0,69	0,30	2,90	4,30	1,10	4,00	8,30	4,5	72	13
	Bf2	4,6	3,6	-1,0	1,70	0,04	0,45	0,34	4,00	9,27	0,83	4,83	14,11	3,1	83	6
	Bf3	4,1	3,6	-0,5	0,32	0,03	0,57	0,74	8,80	18,22	1,34	10,14	28,36	2,5	87	5
CXbd - Plano	Ap	5,9	4,3	-1,6	2,74	0,08	0,11	0,57	0,90	3,77	0,76	1,66	5,43	14,1	54	14
	AB	6,1	4,6	-1,6	0,55	0,03	0,20	0,31	0,80	1,71	0,54	1,34	3,04	7,3	60	18
	Bw	5,9	5,0	-0,9	0,89	0,02	0,28	0,29	0,10	1,66	0,59	0,69	2,35	1,7	14	25
	Bf1	5,8	4,6	-1,2	1,13	0,04	0,40	0,40	0,20	1,92	0,84	1,04	2,96	0,7	19	28
	Bf2	4,9	4,7	-0,3	0,55	0,03	0,47	0,11	0,30	1,87	0,61	0,91	2,78	1,8	33	22
CXbd - Murundu	A	5,0	4,0	-1,0	3,20	0,11	0,50	0,15	1,60	6,10	0,76	2,36	8,46	15,2	68	9
	AB	5,2	4,1	-1,1	1,36	0,06	0,31	0,35	1,80	4,37	0,72	2,52	6,89	8,3	71	10
	Bw	6,0	4,1	-1,9	0,66	0,02	0,35	0,25	0,60	2,98	0,62	1,22	4,20	3,6	49	15
	Bf1	6,20	4,78	-1,42	0,78	0,02	0,32	0,28	0,20	1,56	0,62	0,82	2,38	0,6	24	26
	Bf2	6,1	4,7	-1,4	1,13	0,02	0,30	0,47	0,40	1,63	0,79	1,19	2,82	1,5	34	28
RQg - Plano	Ap	5,8	4,4	-1,4	1,13	0,04	0,72	0,01	0,40	1,30	0,77	1,17	2,47	2,9	34	31
	AC	5,8	4,6	-1,2	1,70	0,03	0,37	0,68	0,50	1,24	1,08	1,58	2,81	3,4	32	38
	C	6,1	4,4	-1,8	1,36	0,04	0,65	0,32	0,50	1,09	1,01	1,51	2,60	1,7	33	39
	Cf	5,0	4,5	-0,5	1,13	0,02	0,37	0,33	0,30	0,89	0,72	1,02	1,91	1,1	29	38
RQg - Murundu	A	5,4	4,0	-1,4	2,74	0,07	0,39	0,66	1,50	5,24	1,12	2,62	7,86	9,2	57	14
	AC	5,8	4,1	-1,7	1,36	0,03	0,38	0,32	0,90	1,61	0,73	1,63	3,23	2,7	55	22
	Cf	6,7	4,6	-2,0	1,01	0,03	0,26	0,46	0,50	0,77	0,75	1,25	2,02	0,6	40	37

Em todos os perfis notou-se a ocorrência de alguns horizontes que apresentaram teores de Mg^{2+} superior ao de Ca^{2+} , tal qual ao observado por Anjos et al. (2007) e Coringa et al. (2012) em solos hidromórficos. O CO dos solos descritos acumula-se na camada superficial, onde ocorre deposição e decomposição da vegetação, não havendo translocação a ponto do horizonte inferior possuir mais CO que o superior (Tabela 3). Nota-se que no ambiente do “murundu”, ocorrem valores de CO pouco superiores ao ambiente “plano”, e que pode ser associado à deposição de serrapilheira. Adhikari et al. (2009) destacam que áreas úmidas em geral conduzem para acumulação do CO, sendo este o principal ecossistema natural para sua acumulação. De acordo com Cardoso et al. (2010), o manejo do CO no solo tem assumido grande importância diante das mudanças climáticas globais, sobretudo por que o solo é considerado fonte ou sumidouro do CO_2 atmosférico, e que a intervenção antrópica pode afetar seu equilíbrio dinâmico. Assim enfatiza-se a importância da aplicação de um adequado manejo desses ambientes úmidos também no que se refere a conservação do CO do solo.

Os micronutrientes, Zn, Fe, Mn, Cu, B e S dos principais horizontes diagnósticos são apresentados na Tabela 4. De modo geral, notam-se valores baixos de Zn, Cu e Mn, enquanto o Fe e B variaram de baixo a alto, tomando-se por base as tabelas de interpretação de Ribeiro et al. (1999). Quanto ao S, de acordo com Braga et al. (2004), este foi predominantemente baixo nos perfis estudados, ocorrendo valor alto no Cambissolo do ambiente “murundu”. Esse valor alto de S observado nesse horizonte pode ser resultante de lixiviação do SO_4^{-2} devido sua elevada solubilidade em ambiente úmido (Broch et al. 2011).

Nos horizontes dos Plintossolos, observam-se maiores concentrações de Fe em relação aos demais, devido ao ambiente de redução que ocorre em solos hidromórficos promovido pela drenagem deficiente, favorecendo lixiviação do Fe para camadas mais profundas (Coringa et al. 2012), implicando em sua concentração. Os demais elementos que foram altos nos horizontes observados também podem estar associados ao processo de lixiviação, favorecido pelo ambiente hidromórfico.

Tabela 4. Micronutrientes nos principais horizontes diagnóstico dos Plintossolos (FXd), Cambissolos (CXbd) e dos Neossolos (RQg) dos campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, Amazônia Meridional.

Perfil/Ambiente	Hor.	Microelementos					
		Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
		-----mg kg ⁻¹ -----					
FXd – Plano	Bf1	0,17	134,86	0,97	0,41	4,67	4,03
FXd – Murundu	Bf1	0,16	253,22	19,20	0,80	0,04	4,03
CXbd – Plano	Bf2	0,07	13,51	0,19	0,32	0,04	5,12
CXbd – Murundu	Bf2	0,07	11,32	0,11	0,29	4,67	19,99
RQg – Plano	C	0,12	71,20	2,82	0,22	0,04	4,75
RQg – Murundu	Cf	0,03	6,90	1,18	0,20	0,45	5,12

Quanto aos teores de óxidos provenientes do ataque sulfúrico, observa-se predomínio de SiO₂ nos Plintossolos e Neossolos (Tabela 5) o que resulta em relações Ki e Kr serem elevadas, próximo de 2, indicando solos não muito intemperizados, predominando o mineral caulinita entre os minerais secundários (IBGE 2007). Ressalta-se que no ataque sulfúrico, apenas minerais secundários são dissolvidos (EMBRAPA 1997), e visto que esses solos apresentam altos teores de areia (Tabela 2), considera-se o quartzo seja o material primário predominante nesses solos, haja vista que o quartzo é principal componente da fração areia de solos tropicais (Resende et al. 2007).

Tabela 5. Composição química dos principais horizontes diagnóstico dos Plintossolos (FXd), Cambissolos (CXbd) e dos Neossolos (RQg) dos campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, Amazônia Meridional.

Perfil/Ambiente	Hor.	Ataque sulfúrico								
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	Ki	Kr	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃	
		-----g kg ⁻¹ -----						-	-	-
FXd - Plano	Bf1	99,6	77,2	20,2	5,5	0,08	2,19	1,88	6,01	
FXd - Murundu	Bf1	93,5	64,4	13,1	6,2	0,08	2,47	2,18	7,70	
CXbd - Plano	Bf2	90,7	102,8	30,2	5,1	0,06	1,50	1,26	5,34	
CXbd - Murundu	Bf2	92,1	97,7	28,2	5,1	0,08	1,60	1,35	5,43	
RQg - Plano	C	59,9	51,2	6,00	2,6	0,03	1,99	1,85	13,35	
RQg - Murundu	Cf	53,1	48,5	3,00	2,9	0,03	1,86	1,79	25,36	

Nos Cambissolos (CXbd) foram observados os valores mais elevados de Al₂O₃ e de Fe₂O₃, favorecendo valores de Ki e Kr mais baixos, indicando solos

mais intemperizados. Nesses solos as cores mais amareladas observadas em todo o perfil (Tabela 1) devem ocorrer em função da formação da goethita nesse ambiente, pigmentando a superfície dos grãos de areia. Concomitante a isso, os valores mais baixos de Fe_2O_3 nos Neossolos corroboram com a sua coloração mais pálida que os demais (Tabela 1). Os teores de TiO_2 e P_2O_5 foram semelhantes nos perfis estudados, no entanto moderadamente mais baixos nos Neossolos.

As elevadas relações $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ observadas, juntamente com os baixos teores de óxidos de Fe evidenciam, também, a remoção de Fe dos perfis analisados. Os baixos teores de óxidos de Fe, tal qual o verificado nesses pedoambientes, estão relacionados com as condições de alagamento, que mesmo por períodos curtos, resultam em processos de oxidação e redução. Esses processos promovem a redução das formas oxidadas de Fe^{3+} , presente na estrutura dos óxidos de Fe, a Fe^{2+} - mais solúvel, podendo ser removido do perfil – ocasionando solos mais claros, conforme relatado por Costa e Bigham (2009). Outro fator que pode contribuir para os baixos teores de óxidos de Fe nesses pedoambientes estão relacionados à geologia local, em que há predomínio de sedimentos arenosos da Formação Guaporé (BRASIL 1982).

Considerando aspectos técnicos sobre a capacidade desses solos em suportar a atividade pecuária, fica evidente a necessidade de manejo específico. Nesse sentido, destaca-se a pobreza em macro e micronutrientes, acidez elevada, a susceptibilidade a lixiviação de nutrientes e as práticas de drenagem, pois quando seco estes solos tendem a se tornar extremamente duros, no caso dos Plintossolos (Tabela 1). Quanto aos Neossolos, devido à granulometria variar de franco-arenosa a areia, há pouca capacidade de manter a umidade do solo durante o período sazonal de seca. Nesses, ainda, devido à fraca estrutura, baixa coesão do solo e predominância da fração areia (Tabela 2), há ainda o risco de iniciar um processo de arenização, devido à retirada da vegetação para algumas práticas agrícolas ou devido ao pisoteio excessivo do gado. Esse fato é observado nas trilhas que ocorrem nesses ambientes, onde, na ausência de vegetação, o solo fica solto, semelhante à areias.

Ainda, práticas de correção e adubação desses solos seriam pouco viáveis, principalmente devido ao fluxo sazonal de umidade, que ocasionaria perda dos nutrientes por lixiviação. A introdução de cultivares com tolerância a esses ambientes poderia ser uma alternativa, tal como se tem introduzido a humidícula (*Urochloa humidicula*), no entanto ressalta-se a necessidade de avaliar o impacto da pecuária nesses ambientes. A constante remoção de nutrientes do solo através do pastejo em longo prazo implicaria em maior redução dos teores naturais de nutriente do solo afetando assim o equilíbrio natural desses ambientes.

De acordo com o Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras proposto por Ramalho et al (1999), essas áreas são consideradas inaptas para a agricultura em qualquer nível de manejo, tendo aptidão restrita para pastagem plantada [4 (p)] e regular para pastagem nativa (5 n). Desse modo, a pecuária extensiva nessa região, que têm sido de grande importância econômica, apresentando um crescente desenvolvimento entre 1998 e 2009, com destaque no cenário estadual e nacional (IBGE 2011; Mato Grosso 2011), deve ser vista com ressalvas quando praticadas nos campos de murundus, visto sua fragilidade ambiental.

Por outro lado, ao considerar que essa região compõe a Faixa de Fronteira Nacional, fronteira Brasil-Bolívia, de acordo com o Programa do Desenvolvimento da Faixa de Fronteira (PDFF) do Brasil (Brasil 2009), torna-se importante proporcionar um desenvolvimento integrado e sustentável, em busca de dinamização econômica, fornecimento de infraestrutura social e produtiva, bem como melhoria nas condições de cidadania.

CONCLUSÕES

Os solos dos campos de murundus foram classificados como Plintossolos Háplicos distróficos típicos, Cambissolos Háplicos Tb distróficos plintossólicos e Neossolos Quartzarênicos hidromórficos típicos.

Para todos os perfis estudados destaca-se a pobreza de nutrientes, elevada saturação por alumínio e baixa saturação por bases.

Características inerentes aos solos desses campos de murundus os tornam inaptos para a agricultura em qualquer nível de manejo, restrito para pastagem plantada e regular para pastagem nativa. Estratégias de ordenamento territorial para esses ambientes devem ser direcionadas no objetivo de preservar suas características naturais, minimizando danos às funcionalidades ambientais desses ecossistemas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adhikari S, Bajracharaya RM, Sitaula BK (2009) A Review of Carbon Dynamics and Sequestration in Wetlands. *Journal of Wetlands Ecology*. doi: 10.3126/jowe.v2i1.1855
- Anjos LHC dos, Pereira MG, Pérez DV, Ramos DP (2007) Caracterização e classificação de plintossolos no Município de Pinheiro-MA. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 31:1035–1044. doi: 10.1590/S0100-06832007000500020
- Araujo Neto MD de, Furley PA, Haridasan M, Johnson CE (2009) The murundus of the cerrado region of Central Brazil. *Journal of Tropical Ecology* 2:17. doi: 10.1017/S0266467400000559
- Brasil - Ministério da Integração Nacional (2009) Faixa de fronteira: Programa de promoção do desenvolvimento da faixa de fronteira. 66. Brasília: Ministério da Integração Nacional. Disponível em: <www.integracao.gov.br>
- Brasil - Ministério das Minas e Energia (1982) Folha SD. 21 Cuiabá: Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Projeto RADAMBRASIL: Levantamento de recursos naturais, volume 26. Projeto RADAMBRASIL, Rio de Janeiro, p 544
- Bloesch U (2008) Thicket clumps: A characteristic feature of the Kagera savanna landscape, East Africa. *Journal of Vegetation Science* 19:31–44. doi: 10.3170/2007-8-18315
- Bortoluzzi EC, Pernes M, Tessier D (2008) Mineralogia de partículas envolvidas na formação de gradiente textural em um argissolo subtropical. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32:997–1007. doi: 10.1590/S0100-06832008000300009
- Braga, Adriana Reatto dos Santos Carvalho AM de, Sanzonowicz C, Sousa DMG de, et al. (2004) Cerrado: correção do solo e adubação. 416.

- Broch DL, Pavinato PS, Possentti JC, et al. (2011) Produtividade da soja no cerrado influenciada pelas fontes de enxofre. *Revista Ciência Agronômica* 42:791–796. doi: 10.1590/S1806-66902011000300027
- Bullock A, Acreman M (2003) The role of wetlands in the hydrological cycle. *Hydrology and Earth System Sciences* 7:358–389. doi: 10.5194/hess-7-358-2003
- Cardoso EL, Silva MLN, Silva CA, et al. (2010) Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 45:1028–1035.
- Coringa E de AO, Couto EG, Otero Perez XL, Torrado PV (2012) Atributos de solos hidromórficos no Pantanal Norte Matogrossense. *Acta Amazonica* 42:19–28. doi: 10.1590/S0044-59672012000100003
- Costa ACS da, Bigham JM (2009) Óxidos de Ferro. In: Melo V de F, Alleoni LRF (eds) *Química e mineralogia do solo*, 1st ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa - Minas Gerais, pp 505–572
- Cramer MD, Innes SN, Midgley JJ (2012) Hard evidence that heuweltjie earth mounds are relictual features produced by differential erosion. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 350-352:189–197. doi: 10.1016/j.palaeo.2012.06.030
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1997) *Manual de métodos de análises de solo*, 2nd ed. 212.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2013) *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*, 3 ed. rev. 353.
- Ferreira JCV (2001) *Mato Grosso e seus municípios*. 660.
- Google Earth Pro (2014) Como medir distâncias e áreas. <https://www.google.com/enterprise/mapsearch/products/earthpro.html>. Accessed 8 Apr 2014
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2007) *Manual técnico de Pedologia*, 2nd ed. 316.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2011) *Produção pecuária municipal - 2011*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 39:1–63.
- Kottek M, Grieser J, Beck C, et al. (2006) World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 15:259–263. doi: 10.1127/0941-2948/2006/0130

- Du Laing G, Rinklebe J, Vandecasteele B, et al. (2009) Trace metal behaviour in estuarine and riverine floodplain soils and sediments: a review. *Science of the total environment* 407:3972–85. doi: 10.1016/j.scitotenv.2008.07.025
- Lepsch IF (2002) *Formação e conservação dos solos*. 178.
- Lepsch IF, Júnior RB, Bertolini DA, Espíndola CR (1991) *Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso.*, 4th ed. 175.
- Marimon BS, Marimon-Junior BH, Mews HA, et al. (2012) Florística dos campos de murundus do Pantanal do Araguaia, Mato Grosso, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 26:181–196. doi: 10.1590/S0102-33062012000100018
- Mato Grosso (2011) *Mato Grosso em números: Edição 2010*. Seplan - MT 1–144.
- McCartney M, Rebelo L-M, Sellamuttu SS, Silva S de (2010) Wetlands, agriculture and poverty reduction. 39. doi: 10.5337/2010.230
- McKey D, Rostain S, Iriarte J, et al. (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. doi: 10.1073/pnas.0908925107
- Midgley JJ (2010) More mysterious mounds: origins of the Brazilian campos de murundus. *Plant and Soil* 336:1–2. doi: 10.1007/s11104-010-0355-9
- Moreira MLC, Vasconcelos TNN (2007) *Mato Grosso: Solos e Paisagens*. 272.
- Oliveira HH de (2009) *Zoneamento socioeconômico e ecológico do Mato Grosso: Caderno pedagógico*. 33.
- Oliveira-Filho AT de (1992a) The vegetation of Brazilian “murundus” - the island-effect on the plant community. *Journal of Tropical Ecology* 8:465–486.
- Oliveira-Filho AT de (1992b) Floodplain “murundus” of Central Brazil : evidence for the termite-origin hypothesis. *Journal of Tropical Ecology* 8:1–19.
- Oliveira-Filho AT de, Furley PA (1990) Monchão, cocuruto, murundu. *Ciência Hoje* 11:30–37.
- Olivie-Lauquet G, Gruau G, Dia A, et al. (2001) Release of trace elements in wetlands: role of seasonal variability. *Water Research* 35:943–952.
- Pott A, Oliveira AKM, Damasceno-Junior GA, Silva JS V (2011) Plant diversity of the Pantanal wetland. *Brazilian journal of biology* 71:265–273.

- Price JS, Waddington JM (2000) Advances in Canadian wetland hydrology and biogeochemistry. *Hydrological Processes* 14:1579–1589. doi: 10.1002/1099-1085(20000630)14:9<1579::AID-HYP76>3.0.CO;2-#
- Reinert DJ, Albuquerque JA, Reichert JM, et al. (2008) Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32:1805–1816. doi: 10.1590/S0100-06832008000500002
- Renard D, Birk JJ, Glaser B, et al. (2011) Origin of mound-field landscapes: a multi-proxy approach combining contemporary vegetation, carbon stable isotopes and phytoliths. *Plant and Soil* 351:337–353. doi: 10.1007/s11104-011-0967-8
- Resende IL de M, Araújo GM de, Oliveira AP de A, et al. (2004) A comunidade vegetal e as características abióticas de um campo de murundu em Uberlândia, MG. *Acta Botanica Brasilica* 18:9–17. doi: 10.1590/S0102-33062004000100002
- Resende M, Curi N, Rezende SB de, Gilberto Fernandes Corrêa (2007) *Pedologia: Base para distinção de ambientes*, 5th ed. 322.
- Ribeiro AC, Guimarães PTG, Venegas VHA (1999) Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. 359.
- Santos RD dos, Lemos RC de, Santos HG dos, et al. (2005) *Manual de descrição e coleta de solo no campo*, 5th ed. 92.
- Schessl M (1999) Floristic composition and structure of floodplain vegetation in the northern Pantanal of Mato Grosso, Brazil. *Phyton Annales Rei Botanicae* 39:303–336.
- Silva LCR, Vale GD, Haidar RF, S. L. Sternberg L (2010) Deciphering earth mound origins in central Brazil. *Plant and Soil* 336:3–14. doi: 10.1007/s11104-010-0329-y
- Silva MJ da, Sato MT (2012) Territórios em tensão: o mapeamento dos conflitos socioambientais do Estado de Mato Grosso - Brasil. *Ambiente & sociedade* 15:1–22. doi: 10.1590/S1414-753X2012000100002
- Verhoeven JTA, Setter TL (2010) Agricultural use of wetlands: opportunities and limitations. *Annals of botany* 105:155–63. doi: 10.1093/aob/mcp172

ARTIGO 2 - VALORES DE REFERÊNCIA DE ELEMENTOS-TRAÇO EM CAMPOS DE MURUNDUS, AMAZÔNIA MERIDIONAL

[Preparado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo]

Resumo: Campos de murundus são áreas úmidas de elevada fragilidade ambiental e que prestam importantes serviços ecossistêmicos. Essas áreas são caracterizadas por apresentar um relevo plano intermeados por montículos, denominados murundus. No Brasil, normalmente são utilizadas para pecuária extensiva. O conhecimento dos teores de elementos-traço em campos de murundus é importante para subsidiar gestões sustentáveis do ponto de vista da contaminação ambiental em áreas sujeitas à intervenção antrópica de modo conciliar a demanda produtiva e a conservação ambiental. O objetivo desse trabalho foi determinar os teores e propor valores de referência de qualidade (VRQs) de elementos-traço (Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Pb, As, Cd, e Se) no solos de campos de murundus da bacia hidrográfica do rio Guaporé, região sudoeste de Mato Grosso, Brasil. Para isso, foram coletadas amostras de solo nas profundidade de 0 a 0,2 e 0,2 a 0,4 m, nos ambientes “murundu” e “plano”, os quais representam os murundus propriamente ditos e a área em seu entorno, respectivamente. Para extração desses elementos utilizou-se o método 3051A, sendo os mesmos quantificados em absorção atômica de chama ar-acetileno ou forno de grafite com atomização eletrotérmica. Os dados foram submetidos à estatística descritiva, análise de componentes principais (ACP) e regressão linear múltipla (RLM) para comparação da distribuição dos elementos-traço nos ambientes e nas profundidades estudadas. A proposição de VRQs foi realizada de acordo com a resolução Conama 420/2009. Os teores dos elementos-traço não diferiram entre os ambientes “murundu” e “plano”, com exceção apenas do Mn e Pb, os quais foram mais elevados no ambiente “plano”. Em relação às profundidades estudadas, os teores de Mn foram maiores na camada de 0 a 20 cm no ambiente “plano”. A ACP permitiu a distinção entre os ambientes “murundu” e “plano”, em que os elementos Cu, Cr e Ni foram os principais elementos associados ao ambiente “plano”. Modelos de RLM foram estabelecidos para os elementos-traço através de atributos físicos e químicos do solo, tais como a textura, pH, soma das bases e carbono orgânico. Os VRQs, em mg kg^{-1} , propostos para esses ambientes foram: Mn 16,5; Zn 7,8; Ni 6,0; Cu 9,2; Cr 21,0; Pb 10,8; As 1,6; Cd <0,03 e Se <0,31, na maioria das vezes inferiores aos VRQs estabelecidos para solos de outras regiões. Os teores observados refletem a pobreza do material de origem desses solos nesses elementos, bem como a ausência de contaminação.

Palavras-chave: áreas úmidas, metal pesado, pecuária, rio guaporé.

BASELINE VALUES TRACE-ELEMENTS IN EARTHMOUNDS FIELDS, SOUTHERN AMAZON

Abstract: Earthmounds fields are wetlands of high environmental fragility and providing important ecosystem services. These areas are characterized by having a plan relief interspersed with mounds. In the Brazil earthmounds are normally used to extensive livestock. Knowledge of the levels of trace elements in earthmounds fields is important to support sustainable management from the point of view of environmental contamination in areas subject to human intervention in order to reconcile the productive demand and environmental conservation. The objective of this study was to determine the levels and establishing baseline values for trace elements: Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Pb, As, Cd, e Se in the earthmounds fields soils of Guapore River Watershed, southwest region of the Mato Grosso State. For this soil samples were collected during the depth of 0 to 20 and 20 to 40 cm in “mounds” (mounds itself) and “plan” (fat area surrounding the “mound”) environments. For extraction of these elements used the 3051A method, and quantified in the same atomic absorption air-acetylene flame or electrothermal graphite furnace atomisation. The data were submitted to descriptive, principal component analysis and multiple linear regression to compare the distribution of trace elements in the environments and depths studied. The proposition of baseline values was performed according to Conama Resolution 420/2009. The levels of trace elements did not differ between the environments “mound” or “plan”, with the exception of Mn and Pb, which were higher in the “plan” environment. Regarding the depths studied, the Mn was higher in the 0 to 20 cm of the “plan” environment. The principal component analysis can distinguish between “plan” and “mound” environments, in which Cu, Cr and Ni were the main elements for the distinction. The multiples linears regressions models were established for trace elements through the physical and chemical soil attributes, such as texture, pH, sum of bases, and organic carbon. The baseline values (mg kg^{-1}) proposed for these environments were: Mn 16,5; Zn 7,8; Ni 6,0; Cu 9,2; Cr 21,0; Pb 10,8; As 1,6; Cd <0,03 e Se <0,31, in most cases less than the baseline values set for soils in other regions. The levels observed reflect the poverty of the source materials of these soils in these elements, as well as the absence of contamination.

Key-words: guapore river, heavy metal, livestock ,wetlands.

INTRODUÇÃO

O conhecimento dos teores de elementos-traço no solo tem sido uma importante ferramenta para auxiliar na gestão de áreas naturais ou antropizadas, seja para o monitoramento ambiental, recuperação de ambientes

contaminados ou para uso e ocupação adequados (Fadigas et al. 2006; Teng et al. 2009; Ajmone-Marsan & Biasioli 2010; Jarva et al. 2010; Alcântara et al. 2011; Chapman 2012).

Por definição os elementos-traço são aqui tratados como elementos químicos encontrados no solo em concentrações normalmente inferiores a 0,1% ($<1\text{g kg}^{-1}$). A literatura trata o termo elementos-traço em solos, referindo-se aos elementos metálicos e incluindo ainda alguns não metálicos, principalmente As e Se (Kabata-Pendias & Pendias 2001; Guilherme et al. 2005; Teng et al. 2009; Paye et al. 2012).

Dependendo de suas concentrações os elementos-traço podem tornar-se tóxicos, mesmo alguns que apresentam importantes funções biológicas, tais como Se, Ni e Cu. Tal condição é agravada pela intensa ocupação humana do planeta que favorece a poluição ambiental por metais (Nriagu 1996; Chen et al. 2007; Porto e Ethur 2009; Ajmone-Marsan e Biasioli 2010; Alcântara et al. 2011). Frente a isso, o estabelecimento de valores de referência de qualidade (VRQs) para elementos-traço tem sido uma estratégia para determinar as concentrações naturais desses elementos no solo, a fim de poder identificar as anomalias causadas pela ação antrópica (Reimann e Garrett 2005; Gałuszka and Migaszewski 2011).

A legislação ambiental brasileira por meio do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) preconiza a necessidade de que cada estado estabeleça seus VRQs, devendo ainda considerar as variações ambientais presentes em cada região (CONAMA, 2009). Alguns estados brasileiros já possuem seus VRQs estipulados, tais como Minas Gerais (COPAM 2011) e São Paulo (CETESB 2005), e outros trabalhos tem sido conduzidos em outras regiões brasileiras sobre a concentração desses elementos no solo (Fadigas et al. 2002; Fadigas et al. 2006; Pierangeli et al. 2009; Fadigas et al. 2010; Paye et al. 2012).

Para o Estado de Mato Grosso, os VRQs de elementos-traço em solos ainda não foram estabelecidos, existindo apenas alguns estudos esparsos referentes aos teores de elementos-traço (Pierangeli et al. 2009; Alcântara et al. 2011). No entanto, devido à sua grande extensão territorial e condições

climáticas, apresentar os biomas, Amazônia, Pantanal e Cerrado e, principalmente, à grande diversidade de solos e paisagens (Moreira e Vasconcelos 2007), enfatiza-se, para esse fim, a necessidade de um levantamento específico para cada região. Nesse contexto, inserem-se os campos de murundus, os quais são comuns na paisagem do Brasil. Desse modo, este trabalho objetiva determinar os teores e a proposição de VRQs para os elementos Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Pb, As, Cd, e Se, em solos de campos de murundus localizados na bacia hidrográfica do Rio Guaporé, região sudoeste do Estado de Mato Grosso.

MATERIAL E MÉTODOS

Área do estudo

A área de estudo correspondente aos campos de murundus situa-se na região conhecida como pantanais do Vale do Rio Guaporé, sub-região da Depressão Guaporé, caracterizada por áreas planas com altitudes em torno de 200 m, elaboradas em sedimentos arenosos, siltico-arenosos e arenoconglomeráticos recentes de idade quaternária provenientes da desagregação e posterior deposição de rochas do Complexo Xingu e do Grupo Aguapeí, recoberto por Savana Estépica e formação do contato Savana Arbórea Aberta/Savana Estépica (Brasil 1982; Moreira e Vasconcelos 2007). Apresenta clima Aw – Savana Equatorial com inverno seco, segundo classificação de Köppen (Kottek et al. 2006) e precipitação média anual em torno de 1.500 mm, com temperaturas médias de 25 a 35° C (Ferreira 2001).

A área estudada abrange uma região, entre os municípios de Pontes e Lacerda e Vila Bela da Santíssima Trindade, sudoeste do estado de Mato Grosso (Figura 1), estendendo-se além da fronteira Brasil-Bolívia, ocupando uma área estimada de aproximadamente 5.500 km², em que os “murundus” apresentam uma área média de 80 m², recobrando cerca de 25% da superfície do solo desses ambientes, conforme estimativas realizadas utilizando imagens do Google Earth Pro 2014. Embora a resolução CONAMA 420/2009 preconize que os VRQs sejam determinados em áreas sem interferência antrópica, essa região é utilizada para a pecuária extensiva, aparentemente sem o uso de

agro-químicos. Em algumas propriedades ocorre a incorporação de pastagens plantadas, aragem do solo, instalação de canais de drenagem devido alagamento pluvial sazonal, e a utilização de queimadas.

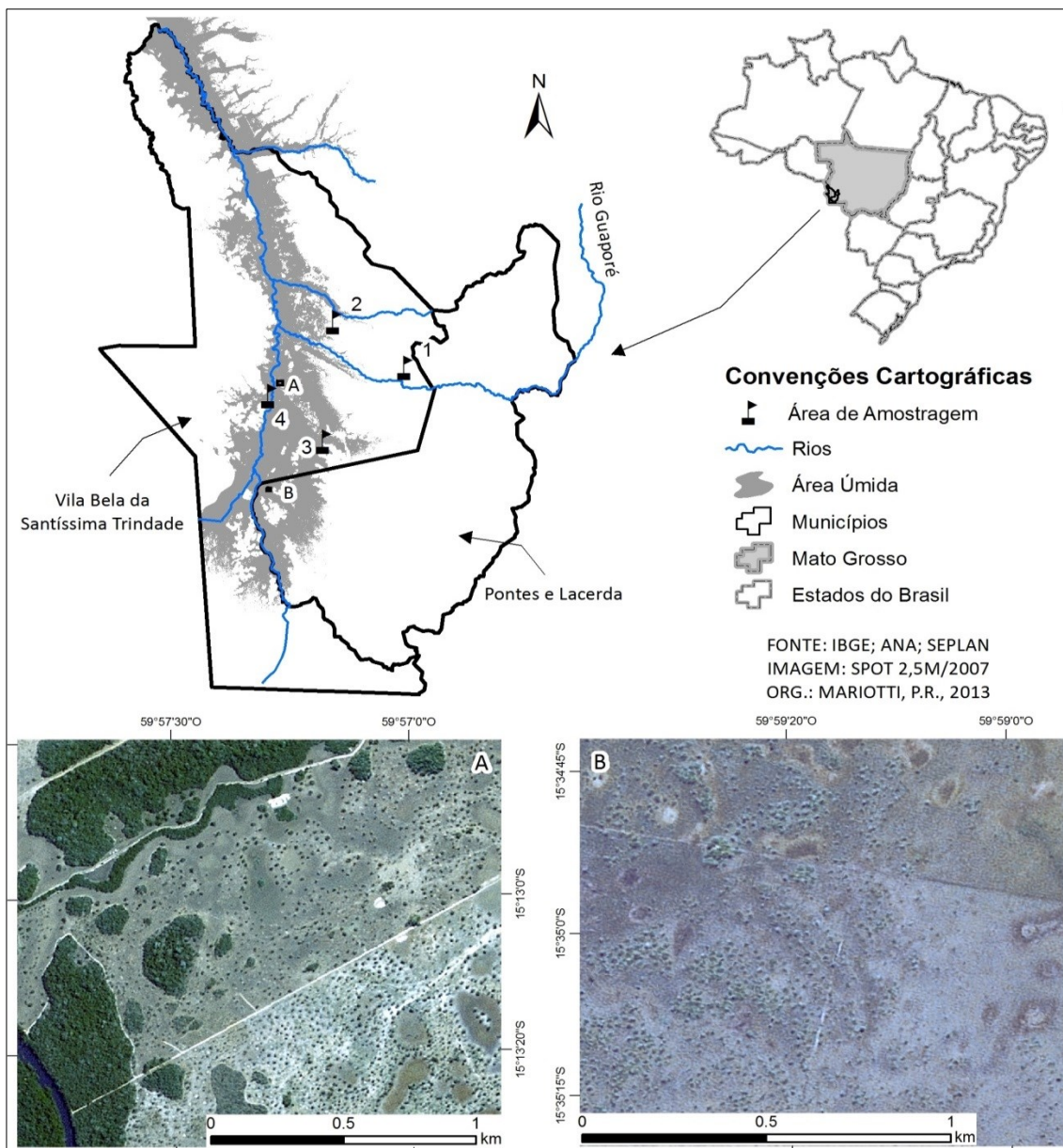


Figura 1. Localização da área do estudo. Imagens de satélite (A e B) dos campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, Amazônia Meridional. Áreas de amostragens de solos (1, 2, 3 e 4).

Nos “murundus” ocorrem quase em sua totalidade a presença de termiteiros e de vegetação arbórea. Destaca-se a espécie *Curatella americana*

(Lixeira), além de ocorrência de palmeiras, cactáceas e ervas, as quais são relatadas nos trabalhos de Schessl (1999), Oliveira-Filho (1992a) e Marimon et al. (2012). Na área plana no entorno do murundu, ocorrem naturalmente espécies de gramíneas, onde se destaca o *Axonopus Purpusii*, conhecido como capim mimoso também relatado por Schessl (1999), ocorrendo ainda espécies cultivadas como o capim humidícula (*Urochloa humidicula*) que tem sido a principal alternativa de pecuaristas, além do uso de queimadas, para intensificar a produtividade agrícola nessas áreas.

Amostragem de solos

Foi realizada amostragem de solos nesses campos de murundus durante os meses de outubro e novembro de 2011. Ao todo foram coletadas 144 amostras em ambiente “plano” (área no entorno dos murundus) e no ambiente do “murundu” propriamente dito, (caracteriza por pequenos montículos) nas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm. Objetivando amostrar as mais variadas classes de solos existentes na região, foram selecionadas quatro áreas de amostragens (Figura 1) observando-se para isso, critérios de paisagem conforme Lepsch et al. (1991).

Análises químicas e físicas

Foram analisados atributos físicos e químicos do solo que incluem: textura; densidade; pH em água, Ca^{2+} ; Mg^{2+} e Al^{3+} ; acidez potencial (H+Al); P; K^+ e carbono orgânico (CO) conforme EMBRAPA (1997). De posse desses dados foram calculados a soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions efetiva ($\text{CTC}_{\text{efetiva}}$) e total ($\text{CTC}_{\text{pH7,0}}$), saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m).

Os seguintes elementos-traço foram analisados: Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Pb, As, Cd, e Se, além do Fe. Foi usada a metodologia USEPA 3051A preconizada pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA 1998) e recomendada pela resolução Conama 420/2009 (CONAMA 2009). Os elementos Fe, Mn e Zn foram determinados por espectrometria de absorção atômica de chama, enquanto Cu, Ni, Cd, Pb, As e Se foram determinado por

espectrometria de absorção atômica em forno de grafite. O controle de qualidade foi estabelecido com amostra certificada de referência (Montana L. Soil 2710A), sendo a porcentagem de recuperação das amostras apresentada na tabela 1. O limite de detecção do método foi obtido pela seguinte equação: [média da amostra “Branco” + (3 × desvio padrão)] (McNaught e Wilkinson 1997).

Tabela 1. Recuperação e limite de detecção (LD) do método, das análises de solo para os elementos-traço e Fe dos campos de murundu da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, Amazônia Meridional.

Elemento	Recuperação (%)	LD ¹ (mg kg ⁻¹)
Fe	77	7,24
Mn	86	0,70
Zn	84	1,40
Ni	72	0,20
Cu	75	0,31
Cr	48	0,57
Pb	58	0,21
As	94	0,08
Cd	105	0,03
Se	65	0,31

1 – Limite de Detecção

Análises estatísticas

O conjunto de dados foi submetido à identificação e remoção de outliers pelo método de Grubbs e o teste de normalidade de Shapiro-Wilk para observação de suas distribuições. Procedeu-se à estatística descritiva dos dados e ao uso do teste U de Mann-Whitney para comparação de variáveis de ambiente (“plano” e “murundu”) e de profundidade (0-20 e 20-40 cm) devido a não haver normalidade na distribuição dos dados.

A análise multivariada foi realizada por meio da análise de componentes principais (ACP) e da regressão linear múltipla (RLM). Para realização da ACP foram utilizados os elementos-traço e as variáveis qualitativas de profundidade (0-20 e 20-40 cm) e ambiente (“plano” e “murundu”). A RLM para cada elemento-traço de interesse foi estabelecida utilizando entre duas e Três variáveis explicativas, com baixa colinearidade, por meio do método *stepwise*

(Hair Jr. et al., 2005). As análises de correlação foram realizados por meio de teste de Spearman.

Para estabelecimento dos VRQs de elementos-traço para esses ambientes, foi seguida a metodologia definida pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) na Resolução nº 420 de 2009 (CONAMA 2009). Para todos os testes estatísticos realizados foi utilizado o software XLSTAT (Addinsoft, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise descritiva dos elementos estudados é apresentada na tabela 2. Observa-se de modo geral que houve grande amplitude dos dados e elevado coeficiente de variação, o que de fato era esperado considerando que se trata de amostras ambientais e que o procedimento amostral teve como meta identificar as mais variadas diferenças dentro desse ecossistema.

Tabela 2. Descrição dos teores de elementos-traço e Fe no solo (0-20 cm) e comparação de ambiente “plano” e “murundu” dos campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, Amazônia Meridional.

Ambiente	Estatística	Fe	Mn	Zn	Ni	Cu	Cr	Pb	As	Cd ¹	Se ¹
		—g kg ⁻¹ —	—————mg kg ⁻¹ —————								
Murundu	Mínimo	0,6	1,7	1,6	0,5	1,0	2,2	1,9	0,0	0,03	0,3
	Máximo	4,7	21,9	16,9	9,4	11,9	31,9	10,6	1,6	0,03	0,3
	Mediana	2,4	4,3	3,2	2,5	3,3	8,2	3,4	0,7	0,03	0,3
	Média	2,5	4,9	4,2	2,8	4,1	10,4	4,8	0,7	0,03	0,3
	CV (%)	40	51	81	80	70	64	56	67	-	-
	DP	1,0	2,5	3,4	2,3	2,9	6,7	2,7	0,4	-	-
Plano	Mínimo	2,0	2,1	1,4	0,9	1,6	4,2	2,1	0,1	0,03	0,3
	Máximo	5,7	35,6	12,7	6,0	9,7	25,4	12,7	1,7	0,03	0,3
	Mediana	3,4	6,9	3,9	2,6	3,9	8,9	7,0	0,9	0,03	0,3
	Média	3,5	8,8	4,6	2,9	4,6	10,5	7,0	0,9	0,03	0,3
	CV (%)	31	87	54	58	46	48	37	55	-	-
	DP	1,1	7,5	2,5	1,7	2,1	5,0	2,6	0,5	-	-
<i>p-valor</i> ²		<0,01	0,01	0,08	0,40	0,14	0,29	<0,01	0,10	-	-

1 – Valores correspondentes ao limite de detecção do método (Tabela 1);

2 – Teste U de Mann-Whitney ($p < 0,05$) para os fatores de ambiente Murundu e Plano.

É possível ainda constatar que houve baixo desvio padrão, ocorrendo em geral, valores dispersos abaixo de 4 unidades em relação a média (Pagano & Gauvreau, 2004), com exceção apenas para Cr e Mn. Isso mostra que dentro de um mesmo ambiente, a variabilidade dos teores de cada elemento é pequena.

Com base no teste U de Mann-Whitney ($p < 0,05$), pode-se verificar que para as variáveis Fe, Mn e Pb, houve diferença entre os ambiente “murundu” e “plano”, o que não ocorreu com as demais variáveis analisadas. Destaca-se que essas variáveis apresentaram teores mais elevados no ambiente “plano”.

Os elementos Fe e Mn são elementos bastante susceptíveis às condições de oxirredução, típico dos campos de murundus, sendo os principais doadores de elétrons na falta de oxigênio, ficando livres na solução do solo, na forma reduzida (Fe^{2+} e Mn^{2+}), podendo assim serem facilmente lixiviados (Grybos et al. 2007; Kerr et al. 2008; Du Laing et al. 2009). Os resultados aqui observados parecem fugir desse contexto, pois era esperado que no ambiente “plano”, por estar mais exposto a condição de oxi-redução do que o “murundu”, ocorresse então menores concentrações desses elementos. De outro modo, mesmo essa área não sendo uma área alagável, o Fe e o Mn podem estar sendo lixiviados ou migrando lateralmente do ambiente do “murundu”, diminuindo, assim, seus teores nesse ambiente e favorecendo aumento de seus teores no ambiente “plano”, justificando assim as diferenças observadas.

É reconhecido que o Pb apresenta pouca mobilidade no solo, sendo fortemente adsorvidos aos minerais de argila e óxidos de Fe e Mn e complexar com a matéria orgânica (Kabata-Pendias & Pendias 2001). Assim, o Pb pode estar se acumulando no ambiente plano durante o alagamento, fazendo parte da composição dos minerais secundários ou complexado à matéria orgânica do solo.

Apenas para o Cd e Se os valores observados foram menores do que o LD do método, assim, é apresentado os resultados desses elementos como sendo igual ao LD, de acordo com o preconizado na Resolução Conama 420/2009 (CONAMA 2009).

Os teores de elementos dentro de cada profundidade (0-20 e 20-40 cm), são apresentados nas figuras 2 e 3.

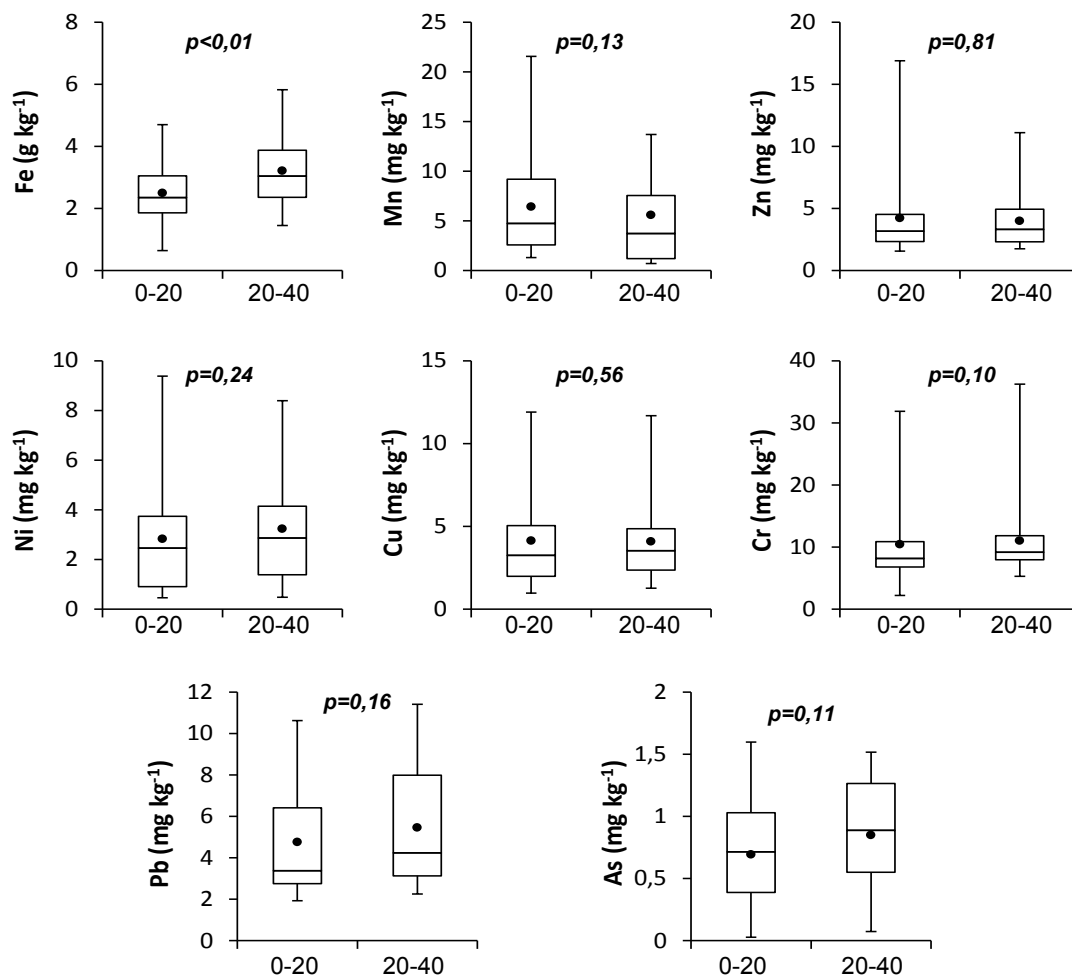


Figura 2. Boxplots de elementos-traço no solo do ambiente do “murundu” nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm dos campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, Amazônia Meridional. Teste U de Mann-Whitney ($p < 0,05$).

No ambiente do “murundu”, os teores de Fe apresentaram diferenças em profundidade, sendo mais elevados na camada de 20-40 cm, evidenciando que mesmo nesse ambiente ocorre a redução e lixiviação do Fe para camadas mais profundas ou para o ambiente “plano”. Quanto aos demais elementos não se observou diferença em profundidade nesse ambiente, evidenciando maior susceptibilidade de lixiviação de Fe em ambiente redutor.

No ambiente “plano”, os teores de Mn foram maiores na camada superficial (0-20 cm). No entanto os demais elementos observados no ambiente “plano”, não apresentaram diferença em profundidade. O comportamento do Mn no solo é muito complexo e dependente de muitas condições ambientais, em que pH e potencial de oxi-redução (Eh) são os mais importantes (Kabata-Pendias & Pendias 2001). De acordo com Sousa et al. (2009), em condições de oxidação e redução sazonal, os óxidos de Mn podem formar co-precipitados, soluções sólidas e, talvez, superestruturas com óxidos de Fe. Assim, o Mn poderia concentrar-se na camada superficial do solo inundado.

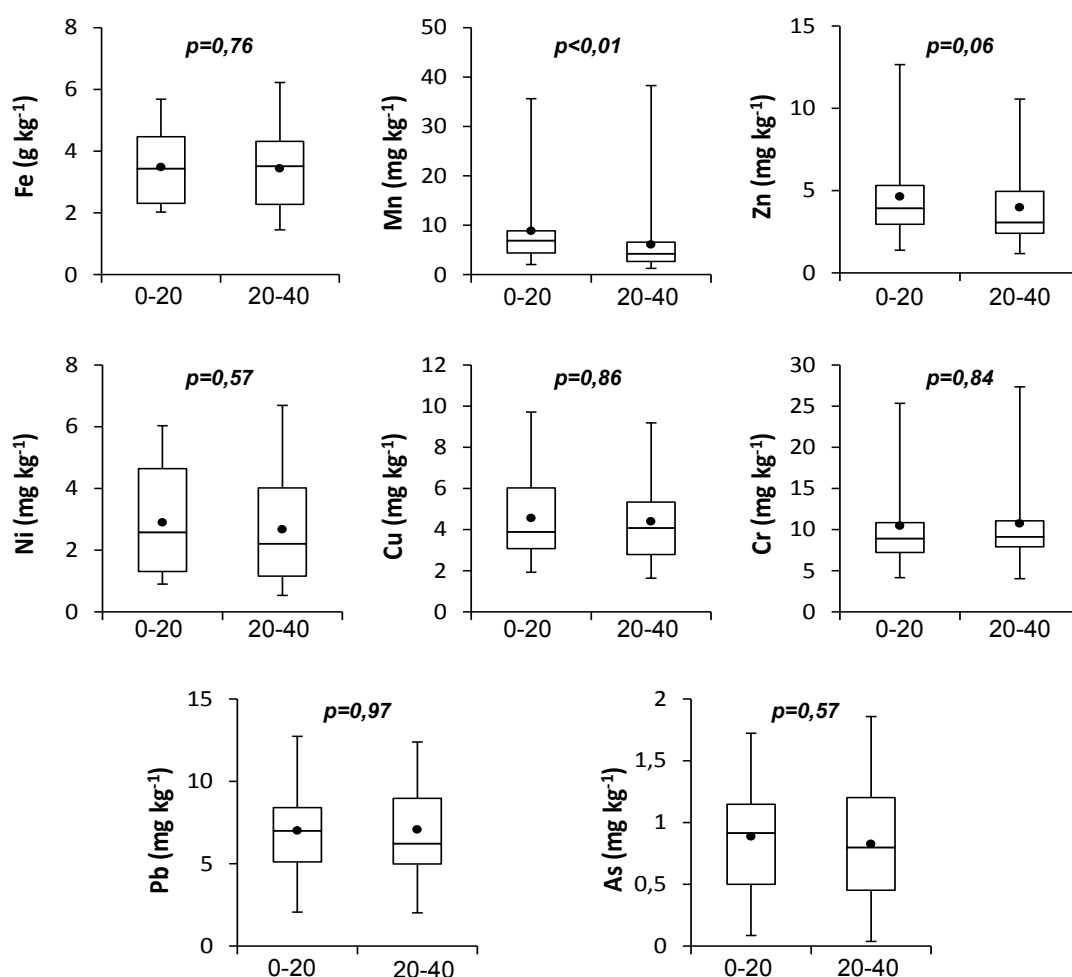


Figura 3. Boxplots de elementos-traço no solo do ambiente “plano”, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm dos campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, Amazônia Meridional. Teste U de Mann-Whitney ($p < 0,05$).

Na Tabela 3 podem ser observados vários coeficientes de correlações com nível de significância elevado ($p < 0,001$) entre os elementos-traço, sendo as maiores correlações entre Fe e Cr; e Cu e Ni. Semelhante ao observado por Tume et al. (2006), essas correlações podem ser associadas à similaridade química entre esses elementos. Coeficientes de correlação não significativos foram observados para As com Zn ou Ni e Mn com Fe ou Cr.

Tabela 3. Coeficiente de correlação de Spearman entre os elementos-traço dos campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, Amazônia Meridional.

Variáveis	Zn	Fe	Mn	Cu	Cr	Pb	Ni	As
Zn	-							
Fe	0,27**	-						
Mn	0,70***	NS	-					
Cu	0,66***	0,48***	0,56***	-				
Cr	0,38***	0,75***	NS	0,69***	-			
Pb	0,49***	0,26**	0,40***	0,61***	0,39***	-		
Ni	0,50***	0,46***	0,49***	0,85***	0,66***	0,36***	-	
As	NS	0,54***	-0,24**	0,21*	0,65***	0,31***	NS	-

NS= Não significativo; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Os elementos Zn, Cu e Ni apresentaram correlação positiva com os teores de silte e CTC, e negativa com areia (Tabela 4). Tal como descreve Fadigas et al. (2006) pode haver associação entre a fração silte e os metais no solo, visto que nessa fração pode ocorrer a presença de partículas finas, como argilas e óxidos, devido à ineficiência do processo de dispersão do solo durante a análise granulométrica. Além disso, a fração silte pode conter minerais primários facilmente intemperizáveis, explicando as correlações positivas observadas entre essa fração e alguns elementos. O Zn ainda apresentou correlação negativa com o pH, assim este elemento pode tornar-se solúvel devido o intemperismo em ambiente ácido e oxidante, sendo também facilmente adsorvido por minerais de argila (Kabata-Pendias & Pendias 2001).

Os teores de Fe, Cr e As apresentaram correlações negativa com argila e CO. Nesses ambientes de alagamento sazonal, pode ocorrer que maiores teores de argila favoreçam as condições de oxi-redução e com isso a solubilização e posterior lixiviação desses elementos. De acordo com (Kabata-

Pendias & Pendias 2001) o Fe e o As são elementos que podem facilmente tornar-se solúveis em condições de acidez e redução, explicando parcialmente as correlações desses elementos sendo negativas com CTC e positivas com areia.

Tabela 4. Coeficiente de correlação de Spearman dos elementos-traço com atributos físicos e químicos do solo dos campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, Amazônia Meridional.

Variáveis	Zn	Fe	Mn	Cu	Cr	Pb	Ni	As
Areia	-0,27**	0,24**	-0,38***	-0,23**	NS	-0,36***	-0,22**	0,32***
Silte	0,36***	NS	0,46***	0,35***	NS	0,44***	0,33***	-0,25**
Argila	NS	-0,32***	0,27**	NS	-0,24**	0,20*	NS	-0,41***
pH-H ₂ O	-0,26**	NS	NS	NS	NS	-0,20*	NS	NS
C _{orgânico}	NS	-0,23**	0,21*	NS	-0,29***	-0,15	NS	-0,27**
CTC _{efetiva}	0,37***	-0,31***	0,49***	0,26**	NS	0,27**	0,28***	-0,43***

NS= Não significatovo; * p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001.

Correlação positiva com a argila foi observada apenas para Mn e Pb. Esses resultados corroboram com a discussão anterior sobre esses elementos, em que estes se associam aos argilo-minerais. O Mn ainda apresentou correlação positiva com CO, enquanto o Pb apresentou correlação negativa com o pH.

O resultado da ACP é apresentado na Figura 4, em que se pode visualizar a distribuição dos elementos nos ambientes e nas profundidades estudadas. Os pontos amostrais que se apresentam próximos no plano cartesiano são considerados similares e devem ser agrupados (Ferreira 2008), assim as profundidades de 0-20 e 20-40 cm podem ser consideradas como sendo de mesmo grupo, enquanto os ambientes “murundu” e “plano” apresentam dissimilaridade. A diferença observada para os ambientes “murundu” e “plano”, é explicada principalmente pela componente 1 (F1) em que se observa que todos os elementos-traço tiveram maior associação com o ambiente “plano”, destacando-se Cu, Ni e Cr.

Em relação a componente 2 (F2), as variáveis que mais contribuíram para sua explicação foram As e Mn. No entanto não foram observadas associações desses elementos com as variáveis de ambiente ou profundidade.

A RLM permitiu a construção de modelos de regressão para explicação de alguns elementos-traço, em função de atributos físicos e químicos do solo tais como textura, pH, CO e SB, conforme é apresentado na tabela 5. Os modelos apresentados se diferem para os ambientes “murundu” e “plano”, os quais são também sugeridos através da ACP, visto que esses elementos foram importantes para a distinção desses ambientes (Figura 4). Assume-se, portanto, diferentes comportamentos dos elementos-traço no solo desses ambientes, devido ocorrer diferentes condições de Eh, promovida pelo alagamento do ambiente “plano” (Camargo et al. 1999); diferenças na composição orgânica do solo devido à diferenças de vegetação, além da textura que tende a ser mais fina no “murundu” por influência de erosão diferencial ou mesmo pela ação de agentes bióticos (Silva et al. 2010).

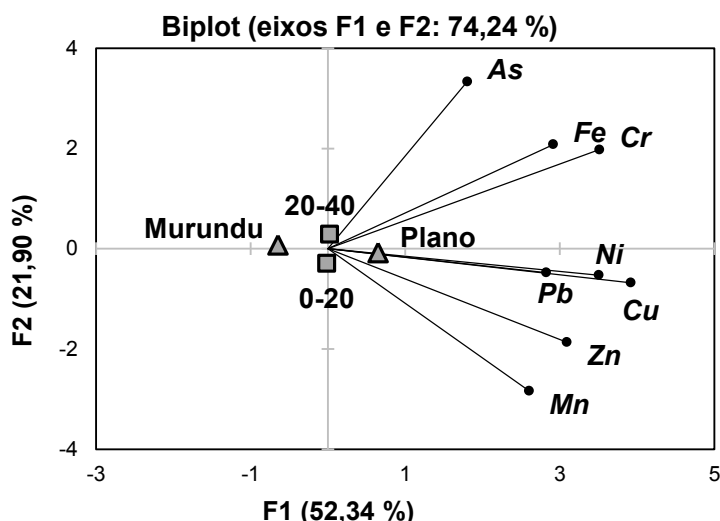


Figura 4. Biplot da ACP dos elementos traço e Fe do solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, nos ambientes “murundu” e “plano”, dos campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, Amazônia Meridional.

Os VRQs (Tabela 6) para os elementos-traço aqui estudados foram propostos considerando o percentil 90 do conjunto de dados, devido o percentil 75 ser ainda mais restritivo. Nota-se que os VRQs estipulados para os ambientes “murundu” e “plano” foram muito inferiores aos teores médios apresentados para crosta terrestre, solos de cerrado e até mesmo de solos de

deposição sedimentar, os quais apresentam baixos valores para todos os elementos-traço aqui estudados.

Tabela 5. Equações de regressão para explicação de alguns elementos-traço no solo dos ambientes “plano” e “murundu” dos campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, Amazônia Meridional.

Ambiente	Equação de Regressão	R ²
Plano	$\hat{Y}_{Mn} = 26,18 \log CTC_{efetiva} + 11,61 \log Areia - 35,25$	0,25**
	$\hat{Y}_{Pb} = 33,74 - 18,20 \log pH - 5,06 \log Areia$	0,30**
	$\hat{Y}_{As} = 4,16 - 0,89 \log Areia - 2,16 \log CTC_{efetiva}$	0,35**
Murundu	$\hat{Y}_{Ni} = 1,96 \log Silte - 5,63 \log CO + 4,27$	0,29**
	$\hat{Y}_{Cu} = 8,52 \log Al - 4,61 \log CO - 9,37 \log Argila + 27,98$	0,40**
	$\hat{Y}_{Cr} = 118,52 - 85,49 \log pH - 14,58 \log CO - 15,12 \log Argila$	0,36**
	$\hat{Y}_{Pb} = 3,03 \log Silte - 30,28 \log pH + 18,98$	0,53**
	$\hat{Y}_{As} = 1,32 \log V - 1,81 \log SB - 7,53 \log pH + 4,51$	0,38**
	$\hat{Y}_{Zn} = 9,87 \log Al - 4,25 \log CO - 12,92 \log Argila + 35,65$	0,45**
	$\hat{Y}_{Mn} = 3,66 \log SB + 2,19 \log Silte - 0,57$	0,32**

** p<0,01 de acordo com o test F.

Tabela 6. Valores de referência de qualidade (VRQs) propostos para os ambientes “murundu” e “plano” (0-20 cm) do solos dos campos de murundus da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, Amazônia Meridional.

ET (mg kg ⁻¹)	Murundu			Plano			MG ¹	SP ¹	Cerrado ²	Dep. Sed. ³	Crosta ter. ⁴	Prev. ⁵
	P90 ⁶	(%) ⁷	n	P90 ⁶	(%) ⁷	n						
Mn	8,4	-	35	16,5	-	31	-	-	190	216	1,0 ⁽⁸⁾	-
Zn	7,6	(2,6)	36	7,8	(2,5)	36	46,5	60	44,97	22	83	300
Ni	6	(20)	36	5,4	(18)	36	21,5	13	22,16	8	58	30
Cu	9,2	(15)	36	7,8	(13)	36	49	35	35,66	10	47	60
Cr	21	(28)	36	19,5	(26)	36	75	40	-	118	83	75
Pb	8,8	(12)	34	10,8	(15)	36	19,5	17	40,34	9	16	72
As	1,2	(8)	36	1,6	(10,7)	36	8	3,5	-	-	1,7	15
Cd ⁹	<0,03	(2,3)	-	<0,03	(2,3)	-	<0,04	<0,05	-	-	0,13	1,3
Se ⁹	<0,31	(6,2)	-	<0,31	(6,2)	-	0,5	0,25	-	-	0,05	5

¹ VRQs dos estados de Minas Gerais (COPAM 2011) e São Paulo (CETESB 2005); ² Médias de valores para *Oxisols* do cerrado do Brasil Central (Burak et al. 2010); ³ Depósito sedimentar: solo do Cerrado (Marques et al. 2004); ⁴ Estimativa de conteúdo médio da crosta terrestre (Yaroshevsky 2006); ⁵ Valores de prevenção (CONAMA 2009); ⁶ Corte do conjunto de dados no percentil 90; ⁷ Proporção em relação ao valor de prevenção, obtido pela seguinte equação [% = ET × 100 / Prev.]; ⁸ Dados apresentados em g kg⁻¹; ⁹ VRQ obtido através do LD (Tabela 1).

Analisando ainda a tabela 6, nota-se que os VRQs estabelecidos para ambiente “plano” e “murundu” são semelhantes entre si, enquanto os valores determinados para outros estados do Brasil são mais elevados. Os baixos teores de elementos-traço aqui constatados refletem o material de origem, por tratar-se de solos sedimentares (sedimentos inconsolidados da Formação Guaporé) (BRASIL 1982), além do fator de lixiviação favorecido pela solubilidade dos elementos-traço durante o período do alagamento (Olivie-Lauquet et al., 2001), diminuindo ainda mais os teores naturais desses elementos.

A resolução Conama 420/2009 ainda estabelece valores de prevenção, que são valores limites da concentração de determinados elementos no solo, a fim de garantir a manutenção da funcionalidade do solo ou, de maneira corretiva, visando restaurar sua qualidade ou recuperá-la de forma compatível com os usos previstos. Nessa perspectiva, observa-se que o Cr foi proporcionalmente o elemento mais próximo do valor de prevenção, representando 28% do valor estabelecido, enquanto o Cd, por outro lado representa apenas 2,3%, sendo o valor mais distante do valor de prevenção. Em todos os casos, os elementos-traço analisados não chegaram a representar 1/3 do valor de prevenção estabelecido pela legislação vigente.

A literatura em geral apresenta os impactos da antropização, comprometendo a integridade de ambientes naturais, que em relação aos elementos-traço, podem promover contaminação ambiental, (Chen et al. 2007; Micó et al. 2007; Ajmone-Marsan e Biasioli, 2010; Alcântara et al., 2011; Luo et al. 2012). Ao considerar os baixos valores de elementos-traço e Fe encontrados para esses ambientes no presente estudo, deve-se assumir que o equilíbrio desses ambientes poderia estar comprometido, caso esses elementos ultrapassem os VRQs aqui propostos, sendo necessário calcular valores de prevenção locais, haja vista tratar-se de área fundamental para purificação das águas e recarga de aquíferos.

CONCLUSÕES

Os elementos-traço estudados não apresentaram diferença entre os ambientes de “murundu” e “plano”, Mn e Pb que foram mais elevados no ambiente “plano”. Os teores Mn foram maiores na camada de 0 a 20 cm do ambiente “plano”.

Os teores de elementos-traço permitiram distinção entre os ambientes “plano” e “murundu” através da análise de componentes principais, em que os elementos-traço foram principalmente correlacionados ao ambiente “plano”.

A construção de modelos de regressão linear múltipla para explicação dos elementos-traço foi possível através de dados de atributos físicos e químicos do solo tais como textura, pH, SB e CO.

Os VRQs, em mg kg^{-1} , propostos para esses ambientes foram: Mn 16,5; Zn 7,8; Ni 6,0; Cu 9,2; Cr 21,0; Pb 10,8; As 1,6; Cd <0,03 e Se <0,31, na maioria das vezes inferiores aos VRQs estabelecidos para solos de outras regiões. Os teores observados refletem a pobreza do material de origem desses solos nesses elementos, bem como a ausência de contaminação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADDINSOFT. **XLSTAT-Pro, Core statistical software**. Disponível em: <<http://www.xlstat.com>>. Acesso em: 26 fev. 2013.
- AJMONE-MARSAN, F.; BIASIOLI, M. Trace Elements in Soils of Urban Areas. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 213, n. 1-4, p. 121–143, 2010.
- ALCÂNTARA, A. J. DE O. *et al.* Teores de As, Cd, Pb, Cr e Ni e atributos de fertilidade de Argissolo Amarelo distrófico usado como lixão no município de Cáceres, estado de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 41, n. 3, p. 539–548, 2011.
- BRASIL - MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. Folha SD. 21 Cuiabá: Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. *In: Projeto RADAMBRASIL: Levantamento de recursos naturais, volume 26*. Rio de Janeiro: Projeto RADAMBRASIL, 1982. p. 544.
- BURAK, D. L. *et al.* Geochemistry and spatial distribution of heavy metals in Oxisols in a mineralized region of the Brazilian Central Plateau. **Geoderma**, v. 160, n. 2, p. 131–142, dez. 2010.

- CAMARGO, F. A. DE O.; SANTOS, G. DE A.; ZONTA, E. Alterações eletroquímicas em solos inundados. **Ciência Rural**, v. 29, n. 1, p. 171–180, mar. 1999.
- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **DECISÃO DE DIRETORIA Nº 195-2005- E, de 23 de novembro de 2005**Brasil, 2005. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf>
- CHAPMAN, P. M. Adaptive monitoring based on ecosystem services. **Science of the total environment**, v. 415, p. 56–60, 15 jan. 2012.
- CHEN, W. *et al.* Fertilizer Applications and Trace Elements in Vegetable Production Soils of California. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 190, n. 1-4, p. 209–219, 19 dez. 2007.
- CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **RESOLUÇÃO Nº 420 DE 28 DE DEZEMBRO DE 2009**BrasilDiário Oficial da União 249, , 2009.
- COPAM - CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. **Deliberação Normativa COPAM, Nº 166**Belo Horizonte, BrasilDiário do executivo e do legislativo, , 2011.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. p. 212
- FADIGAS, F. DE S. *et al.* Concentrações naturais de metais pesados em algumas classes de solos brasileiros. **Bragantia**, v. 61, n. 2, p. 151–159, ago. 2002.
- FADIGAS, F. DE S. *et al.* Proposição de valores de referência para a concentração natural de metais pesados em solos brasileiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 699–705, set. 2006.
- FADIGAS, F. DE S. *et al.* Background levels of some trace elements in weathered soils from the Brazilian Northern region. **Scientia Agricola**, v. 67, n. 1, p. 53–59, fev. 2010.
- FERREIRA, D. F. **Estatística Multivariada**. Lavras: Editora UFLA, 2008. p. 662
- FERREIRA, J. C. V. **Mato Grosso e seus municípios**. São Paulo: Editora Buriti, 2001. p. 660
- GAŁUSZKA, A.; MIGASZEWSKI, Z. M. Geochemical background - an environmental perspective. **Mineralogia**, v. 42, n. 1, p. 7–17, 1 jan. 2011.

- GOOGLE EARTH PRO. **Como medir distâncias e áreas**. Disponível em: <<https://www.google.com/enterprise/mapsearch/products/earthpro.html>>. Acesso em: 8 abr. 2014.
- GRYBOS, M. *et al.* Is trace metal release in wetland soils controlled by organic matter mobility or Fe-oxyhydroxides reduction? **Journal of colloid and interface science**, v. 314, n. 2, p. 490–501, 15 out. 2007.
- GUILHERME, L. R. G. *et al.* Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos. *In*: TORRADO-VIDAL, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A.P., E. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. IV ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. p. 345–390.
- HAIR JR., J. F. *et al.* **Análise multivariada de dados**. Tradução Adonai Schlup Sant'Ana; Anselmo Chaves Neto. Porto Alegre: Bookman, 2005. p. 593
- JARVA, J. *et al.* TAPIR--Finnish national geochemical baseline database. **Science of the total environment**, v. 408, n. 20, p. 4385–95, 15 set. 2010.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2001. p. 413
- KERR, S. C. *et al.* Hydrologic and biogeochemical controls on trace element export from northern Wisconsin wetlands. **Biogeochemistry**, v. 89, n. 3, p. 273–294, 17 jul. 2008.
- KOTTEK, M. *et al.* World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259–263, 1 jun. 2006.
- LAING, G. DU *et al.* Trace metal behaviour in estuarine and riverine floodplain soils and sediments: a review. **Science of the total environment**, v. 407, n. 13, p. 3972–85, 15 jun. 2009.
- LEPSCH, I. F. *et al.* **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 4. ed. Campinas, SP: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. p. 175
- LUO, X. *et al.* Trace metal contamination in urban soils of China. **Science of the total environment**, v. 421-422, p. 17–30, 1 abr. 2012.
- MARIMON, B. S. *et al.* Florística dos campos de murundus do Pantanal do Araguaia, Mato Grosso, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, n. 1, p. 181–196, mar. 2012.
- MARQUES, J. J. *et al.* Trace element geochemistry in Brazilian Cerrado soils. **Geoderma**, v. 121, n. 1-2, p. 31–43, jul. 2004.

- MCNAUGHT, A. D.; WILKINSON, A. **IUPAC Compendium of Chemical Terminology**. [s.l.] IUPAC, 1997. v. 2ndp. 2007–2007
- MICÓ, C. *et al.* Baseline values for heavy metals in agricultural soils in an European Mediterranean region. **Science of the total environment**, v. 378, n. 1-2, p. 13–7, 25 maio. 2007.
- MOREIRA, M. L. C.; VASCONCELOS, T. N. N. **Mato Grosso: Solos e Paisagens**. Cuiabá: Entrelinhas, 2007. p. 272
- NRIAGU, J. O. A History of Global Metal Pollution. **Science**, v. 272, n. 5259, p. 223–224, 12 abr. 1996.
- OLIVEIRA-FILHO, A. T. DE. The vegetation of Brazilian “murundus” - the island-effect on the plant community. **Journal of Tropical Ecology**, v. 8, n. 4, p. 465–486, 1992.
- OLIVIE-LAUQUET, G. *et al.* Release of trace elements in wetlands: role of seasonal variability. **Water Research**, v. 35, n. 4, p. 943–952, 2001.
- PAGANO, M.; GAUVREAU, K. **Princípios de bioestatística**. Tradução Luiz Sérgio de Castro Paiva. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004. p. 506
- PAYE, H. DE S.; MELLO, J. W. V. DE; MELO, S. B. DE. Métodos de análise multivariada no estabelecimento de valores de referência de qualidade para elementos-traço em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 1031–1042, jun. 2012.
- PIERANGELI, M. A. P. *et al.* 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**, v. 39, n. 1, p. 61–69, mar. 2009.
- PORTO, L. C. S.; ETHUR, E. M. Elementos traço na água e em vísceras de peixes da Bacia Hidrográfica Butuí-Icamaquã, Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, v. 39, n. 9, p. 2512–2518, dez. 2009.
- REIMANN, C.; GARRETT, R. G. Geochemical background--concept and reality. **Science of the total environment**, v. 350, n. 1-3, p. 12–27, 1 nov. 2005.
- SCHESSEL, M. Floristic composition and structure of floodplain vegetation in the northern Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **Phyton Annales Rei Botanicae**, v. 39, n. 2, p. 303–336, 1999.
- SILVA, L. C. R. *et al.* Deciphering earth mound origins in central Brazil. **Plant and Soil**, v. 336, n. 1-2, p. 3–14, 10 mar. 2010.

- SOUSA, R. O. DE; VAHL, L. C.; OTERO, X. L. Química dos solos alagados. *In*: MELO, V. DE F.; ALLEONI, L. R. F. (Eds.). **Química e mineralogia do solo**. 1. ed. Viçosa - Minas Gerais: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 485–528.
- TENG, Y. *et al.* Geochemical baseline of trace elements in the sediment in Dexing area, South China. **Environmental Geology**, v. 57, n. 7, p. 1649–1660, 4 jul. 2009.
- TUME, P. *et al.* Trace elements in natural surface soils in Sant Climent (Catalonia, Spain). **Ecological Engineering**, v. 27, n. 2, p. 145–152, 2006.
- USEPA - U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Method 3051A: microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils; test methods for evaluating solid waste, physical/chemical methods. *In*: Washington, DC: Government Printing Office, 1998. p. 1–20.
- YAROSHEVSKY, A. A. Abundances of chemical elements in the Earth's crust. **Geochemistry International**, v. 44, n. 1, p. 48–55, jan. 2006.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A identificação da ocorrência de solos das classes de Plintossolos Háplicos distróficos típicos, Cambissolos Háplicos Tb distróficos plintossólicos e Neossolos Quartzarênicos hidromórficos típicos, sendo os mesmos, em geral, arenosos, pobres em nutrientes e de acidez elevada, evidenciam a fragilidade desses ambientes e pouca capacidade em suportar intensificação da agricultura. Os VRQs, em mg kg^{-1} , propostos para esses ambientes foram: Mn 16,5; Zn 7,8; Ni 6,0; Cu 9,2; Cr 21,0; Pb 10,8; As 1,6; Cd $<0,03$ e Se $<0,31$, na maioria das vezes inferiores aos VRQs estabelecidos para solos de outras regiões. Os teores observados refletem a pobreza do material de origem desses solos nesses elementos, bem como a ausência de contaminação.

Em síntese, os solos desses campos de murundus, tendo em vista principalmente as condições de alagamento periódico, não apresentam suporte para intensificação da agricultura ou pecuária, sendo inapropriada a drenagem ou correção do solo desses ambientes. A pecuária extensiva atual não confere impacto significativo sobre os atributos químicos do solo, no entanto a atividade deve ser vista com limitação, devido ser evidenciada elevada fragilidade ambiental. Sugere-se enfim, que estratégias de ordenamento territorial para esses ambientes sejam direcionadas no objetivo de preservar suas características naturais, sem incentivos para intensificação da pecuária, buscando alternativas para novas fontes de renda.