

DIANA FERREIRA DE FREITAS SIMÕES

**PEDOGÊNESE E PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS, MORFOLÓGICAS  
DE SOLOS E MURUNDUS NO MÉDIO JEQUITINHONHA, MINAS GERAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2012

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S593p  
2012

Simões, Diana Ferreira de Freitas, 1980-  
Pedogênese e propriedades físicas, químicas, morfológicas  
de solos e murundus no Médio Jequitinhonha, Minas Gerais /  
Diana Ferreira de Freitas Simões. – Viçosa, MG, 2012.  
xi, 82f. : il. ; (algumas col.) ; 29cm.

Inclui anexos.

Orientador: João Carlos Ker.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Solos - Formação. 2. Solos - Classificação. 3. Térmita.  
4. Humus. 5. Mineralogia do solo. I. Universidade Federal de  
Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 631.4

DIANA FERREIRA DE FREITAS SIMÕES

**PEDOGÊNESE E PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS, MORFOLÓGICAS  
DE SOLOS E MURUNDUS NO MÉDIO JEQUITINHONHA, MINAS GERAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 26 de abril de 2012

---

Prof. Eduardo Sá Mendonça

---

Prof. Oldair Del'Arco Vinhas Costa

---

Prof. Maurício Paulo Ferreira Fontes

---

Profa. Emanuelle Mercês Barros Soares

---

Prof. João Carlos Ker  
(Orientador)

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por tudo.

À meu esposo Adriano Simões por sempre estar ao meu lado incondicionalmente, dedicando todo seu amor, companheirismo e compreensão.

Aos meus pais Francisco de Assis Felismino de Freitas e Maria do Socorro Ferreira de Freitas, e irmãos Liana e Daniel Freitas pelos conselhos constantes e por serem minha fortaleza.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Solos, pela oportunidade da realização do meu curso de Doutorado.

À Universidade Federal Rural do Semiárido (Ufersa) e Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE-UAST) pela compreensão e liberação, quando necessário para o término do meu doutorado.

Ao professor João Carlos Ker, pela orientação, amizade, compreensão, e pela profunda contribuição ao meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Ao professor Carlos Ernesto Schaefer pela co-orientação, discussões e sugestões no desenvolvimento deste trabalho.

A todos os professores do Departamento de Solos pelos ensinamentos e auxílios durante meu curso de doutoramento.

Aos colegas e amigos do Departamento de Solos pelas conversas nos corredores e pela ajuda no desenvolvimento dos trabalhos, tornando a caminhada menos árdua.

As companheiras e amigas de república Sustanis, Carol, Sarah, Joyce, e principalmente à Gislane Mendes e Katchen Julliany que além da amizade sincera, foram criados laços que nem o tempo, nem à distância, nem o crescimento interior podem desmanchar. Agradeço também ao meu amigo Anderson Pacheco por toda dedicação à nossa amizade.

Meus sinceros agradecimentos aos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desta obra.

## **BIOGRAFIA**

Diana Ferreira de Freitas Simões, filha de Francisco de Assis Felismino de Freitas e Maria do Socorro Ferreira de Freitas, nasceu em Aracati, Estado do Ceará, em 04 de junho de 1980.

Graduou-se em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal Rural do Semiárido em 2003. Em 2005 iniciou o curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal de Viçosa, obtendo o título de Master Scientiae em 2008.

Em março de 2008, iniciou o Curso de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade Federal de Viçosa. Obteve êxito em concurso público para magistério de ensino superior em agosto de 2010 pela Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA, com redistribuição realizada em setembro de 2011 para a Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada - UAST/UFRPE.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vi
ABSTRACT .....	viii
INTRODUÇÃO GERAL .....	1
CAPÍTULO 1 .....	7
Pedogênese de Latossolos, Argissolos e Cambissolos com e sem murundus na região semiárida de Minas Gerais .....	7
1. Introdução .....	7
2. Material e Métodos .....	9
3. Resultados e Discussão .....	15
3.1. Caracterização geral da área.....	15
Caracterização morfológica e física .....	17
Caracterização química .....	24
4. Conclusões .....	26
5. Referências Bibliográficas .....	27
CAPÍTULO 2 .....	34
Propriedades físicas, mineralógicas e micromorfológicas de solos e solos de murundus no nordeste de Minas Gerais, MG .....	34
1. Introdução .....	34
2. Material e Métodos .....	35
3. Resultados e Discussão .....	41
4. Conclusões .....	54
5. Referências Bibliográficas .....	55
CAPÍTULO 3 .....	60
Carbono orgânico total e carboidratos em agregados do solo em murundus no Médio Jequitinhonha-MG .....	60
1. Introdução .....	60
2. Material e Métodos .....	61
3. Resultados e Discussão .....	63
4. Conclusões .....	68
5. Referências Bibliográficas .....	69
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	72

## RESUMO

SIMOES, Diana Ferreira de Freitas, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Abril de 2012. **Pedogênese e propriedades físicas, químicas, morfológicas de solos e murundus no Médio Jequitinhonha, Minas Gerais.** Orientador: João Carlos Ker. Co-orientador: Carlos Ernesto G. R. Schaefer

Murundus são montículos de solo construídos por térmitas que se distribuem por todo o território nacional, principalmente na região semiárida de Minas Gerais. O objetivo deste trabalho foi avaliar características físicas, químicas, macro e micromorfológicas, além da influência de carboidratos na estabilização de agregados do solo em murundus. Para isso, foram coletados sete solos de murundus (M1, M2, M3, M4, M5, M6 e M7) juntamente com os perfis de solos sem influência de térmitas, para a realização das análises físicas, químicas, micromorfológicas e de carboidratos. Solos de murundus e perfis de solos adjacentes apresentaram semelhanças texturais, com maior concentração dos teores de argila e silte nas camadas centrais do murundu. Nos solos de murundus não foi observada formação de estrutura granular forte, mesmo naqueles originados de solos mais intemperizados, indicando que a atividade biológica não é o único fator que deve ser considerado para estabilização da estrutura. A análise de componentes principais (ACP) mostrou que silte, silte/argila, pH (H<sub>2</sub>O e KCl), Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, S, T, V e CTCr foram as principais variáveis para diferenciar as características dos murundus de solos adjacentes. Os resultados químicos e a ACP mostraram maior

enriquecimento de P disponível no murundu M4, indicando que a concentração deste elemento foi realizada no passado pela ação da atividade biológica de térmitas. A mineralogia da fração argila é dominada por caulinita (Ct) e illita (Il) em todas as camadas dos murundus e solos adjacentes. Não foram observadas diferenças mineralógicas na fração argila entre solos de murundus e solo adjacente para a cristalinidade da caulinita. A maior coesão observada no murundu M4 provavelmente deve-se à mineralogia caulinitica da fração argila e aos baixos teores de Fe, responsáveis pela desorganização estrutural da caulinita. Solos de murundus e perfis de solos adjacentes apresentaram semelhanças nas feições micropedológicas e na composição química do plasma argiloso, agregados e concreções, principalmente em Ca, K, Fe e Mn. Os agregados de maior diâmetro, obtidos por diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG), indicaram que os agregados de maior diâmetro foram aqueles mais estáveis em solos de murundus e solos adjacentes. Os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  foram mais elevados em murundus, principalmente nos microagregados. A maior presença de carboidratos nos murundus não parece ser suficiente para promover maior agregação às partículas minerais, mesmo que os teores de cátions divalentes sejam mais elevados.



## ABSTRACT

SIMOES, Diana Ferreira de Freitas, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, April 2012.  
**Pedogenesis and physical, chemical, and morphological properties of soils and termites mounds in the Médio Jequitinhonha, Minas Gerais.** Advisor: João Carlos Ker. Co-Advisor: Carlos Ernesto G. R. Schaefer

Termite mounds are soil mounds built by termites that are distributed throughout the national territory, mainly in the semiarid region of Minas Gerais. This study aimed to evaluate the physical, chemical, macro and micromorphological characteristics, and also the carbohydrates influence on the stabilization of soil aggregates in mounds. For this purpose, seven mounds soils were collected (M1, M2, M3, M4, M5, M6 and M7) along with the soil profiles without termites influence, to perform physical, chemical, micromorphological and carbohydrates analyses. Mounds soil and adjacent soil profiles presented similar textural, with a higher concentration of clay and silt in the mound central layers. In mounds soils, the formation of strong granular structure was not observed, even those originated from most weathered soils, indicating that the biological activity is not the only factor that should be considered to stabilize the structure. The principal component analysis (ACP) showed that silt, silt/clay, pH (H<sub>2</sub>O and KCl), Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, S, T, V and CTCr were the main variables to differentiate the characteristics of mounds from adjacent soils. Chemicals results and ACP showed greater enrichment of available P in mound M4, indicating that the concentration of this element was performed in the past by the action of the biological activity of termites. Clay mineral fraction is dominated by kaolinite (Ct) and illite (Il) in all mounds layers

and adjacent soils. There were no differences in clay mineral fraction between mounds soils and adjacent soils to the crystallinity of kaolinite. The greater cohesion observed in mound M4 probably is due to the kaolinitic clay mineralogy and low levels of iron, responsible for structural disorganization of kaolinite. Mounds soils and profiles of adjacent soils showed similarities in micropedological features and chemical composition of clay plasma, aggregates and concretions, mainly in Ca, K, Fe and Mn. Aggregates of larger diameter, obtained by mean weight diameter (DMP) and geometric mean diameter (DMG), indicated that the aggregates of larger diameter were those more stable in mounds soils and adjacent soils. The  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  contents were higher in termite mounds, especially in microaggregates. The greater presence of carbohydrates in termite mounds does not seem to be sufficient to promote greater aggregation to mineral particles, even if the levels of divalent cations are higher.

## INTRODUÇÃO GERAL

Estruturas biogênicas com geoformas cônica, eliptítica ou circular ocorrem nas paisagens naturalmente, e são conhecidas como murundus, cupinzeiros e microrrelevos de murundus, dentre outras adjetivações mais regionalizadas em todo o território brasileiro (Araújo Neto et al., 1986; Oliveira Filho, 1992; Ponce & Cunha, 1993).

Na paisagem brasileira ocorrem em duas condições ambientais: áreas com e sem influência de lençol freático sazonal (Oliveira-Filho & Furley, 1990). No primeiro caso, os murundus ocorrem em campos brejosos e planícies de inundação de grandes rios do Brasil Central, onde o solo permanece encharcado pelo menos durante uma parte do ano. A maior parte dos estudos desenvolvidos sobre murundus estão associados à condições de drenagem deficiente (Côrrea, 1989; Midgley, 2010; Renard et al., 2012).

No segundo caso, são encontrados em regiões semiáridas, particularmente em algumas áreas da Bahia (Brasil, 1981), Norte e Noroeste de Minas Gerais (Brasil, 1970; EPAMIG, 1976; Brasil, 1979; Brasil, 1987). Mesmo constituindo grupamentos específicos que caracterizam um microrrelevo peculiar, “fase murundu”, constantemente mencionados nos levantamentos de solos do Brasil, não se encontra qualquer menção quanto à sua descrição morfológica, caracterização química, física e mineralógica, ou sobre o papel da matéria orgânica na estabilização da estrutura do solo nesses murundus.

Duas são as hipóteses que contemplam a gênese da distribuição dos murundus na natureza: geomorfológica – onde as águas de escoamento superficial causariam erosão diferencial, deixando-os como relevos residuais (Mathews, 1977; Furley, 1985 e 1986;

Oliveira-Filho, 1992) e biológica, em que a atividade contínua de térmitas seria responsável por sua formação (Penteado-Orellana, 1980; Araújo Neto et al., 1986).

A teoria geomorfológica embora muito empregada na literatura para explicar a gênese de campos de murundus, sobretudo nas áreas com restrição de drenagem no Cerrado brasileiro, não explica todos os casos observados (Furley, 1985 e 1986; Oliveira-Filho, 1992; Midgley, 2010; Silva et al., 2010). De acordo com Corrêa (1989) a erosão diferencial explica a ocorrência de campos de murundus em margens de veredas, mas não em depressões fechadas, resultantes de aporte de material por térmitas (“construções”), confirmado pelos numerosos fragmentos de termiteiros em São Gotardo, MG.

A hipótese biológica, por sua vez, sugere que os murundus seriam construções da atividade de térmitas. Ou seja, formar-se-iam a partir de um processo cumulativo e contínuo de restos de materiais orgânicos e minerais provenientes da atividade da sucessão de termiteiros (Mathews, 1977; Eschenbrenner, 1986; Corrêa, 1989; Van Wambeke, 1992). Nesse caso, essa teoria parece guardar maior similaridade com os murundus de clima seco, e seu estudo, pode esclarecer mais detalhes a respeito de sua pedogênese (Castro Júnior, 2002).

Alguns trabalhos mais recentes explicam a origem desses microrrelevos na paisagem utilizando técnicas como razão isotópica, análises de nutrientes e partículas do solo, além da composição florística nos murundus (Midgley, 2010; Silva et al., 2010; Renard et al., 2012). Os trabalhos ainda são contraditórios, não conseguindo estabelecer uma teoria que englobe erosão diferencial e atividade termítica como fatores que se combinam ou não, para compreender à formação dos murundus no solo.

O papel da atividade dos térmitas nas características morfológicas dos solos é reconhecido, principalmente com relação à estrutura e classe textural do solo (Wood, 1988; Van Wambeke, 1992; Correia & Oliveira, 2005). A pedobioturbação realizada por esses organismos em regiões tropicais, pode uniformizar os perfis de solos, principalmente em Latossolos, atenuando características marcantes oriundas dos processos pedogenéticos, como a lessivagem, responsáveis pelas diferenças entre as classes de solos (Schaefer, 2001; Schatzl & Anderson, 2005; Ferreira et al., 2011).

Evidências micromorfológicas têm contribuído para esclarecer a ação de térmitas nas características morfológicas do solo (Holt & Lepage, 2000). A estrutura forte, muito pequena, granular de Latossolos, aproximadamente equivalentes aos Oxisols da Soil Taxonomy (EUA, 1999) e aos Ferralsols da FAO (FAO, 2006), por exemplo, é atribuída por alguns autores à atividade dos térmitas (Eschenbrenner, 1986; Van Wambeke, 1992;

Schaefer, 2001; Reatto et al., 2009), em razão da passagem do solo pelo seu trato intestinal e estabilização da microestrutura em solos com mineralogia oxídica (Schaefer, 2001, Resende et al., 2007). A matéria orgânica também interfere no processo de formação de agregados no solo, principalmente pela presença de carboidratos, originados de plantas e, ou, microrganismos na sua fração mais ativa (matéria orgânica do solo) (Tisdall & Oades, 1982). A estabilização da estrutura é facilitada quando carboidratos como glicose e galactose são observados em classes de agregados nos murundus, além de cátions trocáveis (Contur-Ansel et al., 2000; Sall et al., 2002; Six et al., 2004).

Alguns autores afirmam que a formação da estrutura microgranular estável dos Latossolos não necessariamente está relacionada à atividade de térmitas. Outros fenômenos de natureza físico-química, onde óxidos de ferro e alumínio juntamente com caulinita formam ligações estáveis, favorecendo a formação de estrutura microgranular, em estágios mais avançados do intemperismo químico também devem ser considerados (Miklós, 1992; Ferreira et al., 1999). Porém, existe pouca informação quantitativa sobre o papel dos térmitas na modificação da estrutura do solo (Lee & Foster, 1991).

A característica construtiva dos térmitas, transportando material de solo de horizontes subsuperficiais para a superfície, pode contribuir para modificações nas propriedades físicas, químicas, mineralógicas, macro e micromorfológicas do solo nos murundus. Essa capacidade de redistribuição das partículas minerais e orgânicas em todo perfil de solo, é fundamental para a dispersão de nutrientes no murundu (Silva et al, 2007). Considerando sua expressão geográfica, importância e pouca informação sobre murundus de clima seco, este trabalho teve como objetivo avaliar características físicas, químicas, macro e micromorfológicas, além da influência de carboidratos na estabilização de agregados do solo em murundus.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo Neto, M.D.; Furley, P. A.; Haridasan, M & Johnson, C.E. 1986. The “murundus” of the “cerrado” region of Central Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, 2:17-35.
- Brasil. 1970. Ministério da Agricultura, Levantamento de Reconhecimento dos Solos da Zona do Médio Jequitinhonha – Minas Gerais. Rio de Janeiro: Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 340p.
- Brasil. 1979. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Departamento de Recursos Naturais. Divisão de Recursos Renováveis. Levantamento exploratório - reconhecimento de solos do Norte de Minas Gerais. Recife, 408p. (Boletim Técnico, 60).
- Brasil. 1981. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Secretaria Geral. Folha SE 24 Salvador: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra/Projeto RADAMBRASIL. Rio de Janeiro, 624p. (Levantamento de Recursos Naturais, 24 ).
- Brasil, 1987. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Secretaria Geral. Folha SE 24 Rio Doce: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra/Projeto RADAMBRASIL. Rio de Janeiro, 548p. (Levantamento de Recursos Naturais, 34 ).
- Castro Júnior, P.R. 2002. Dinâmica da água em campos de murundus do Planalto dos Perecis. Universidade de São Paulo, 195p (Tese de Doutorado).
- Contur-Ansel, D.; Garnier-Sillam, E.; Lachaux, M; Croci, V. 2000. High performance liquid chromatography studies on the polysaccharides in the walls of the mounds of two species of termite in Senegal, *Cubitermes oculatus* and *Macrotermes subhyalinus*: their origin and contribution to structural stability. *Biol Fertil Soils*, 31:508-516.
- Corrêa, G. F. 1989. Les microreliefs murundus et leur environnement pedologique dans l'ouest du Minas Gerais, regio do Planalto Central Brasileiro. Université de Nancy I, 144p (Tese de Doutorado).
- Correia, M.E.F. & Oliveira, L.C.M. Importância da Fauna de Solo para a Ciclagem de Nutrientes. In: Aquino, A.M. & Assis, R.L. *Processos Biológicos no Sistema Solo-Planta: Ferramentas para uma Agricultura Sustentável*. 1ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005, 77-99.
- EPAMIG. Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. 1976. Levantamento de Reconhecimento com detalhes dos solos do distrito agroindustrial de Jaíba-Minas Gerais. Belo Horizonte: EPAMIG, 242p.
- Eschenbrenner, V. 1986. Contribution des termites à la micro-agrégation des sols tropicaux. *Pedologie*, 22:397-408.

Estados Unidos. 1996. Environmental Protection Agency. Method 3052: Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices. Washington: Environmental Protection Agency.

FAO. 2006. Food and Agriculture Organization of the United Nations. World Reference Base for Soil Resources 2006: a framework for international classification, correlation and communication. Rome: FAO, 2006. 145p. (World Soil Resources Reports 103)

Ferreira, M.M.; Fernandes, B.; Curi, N. 1999. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da região sudeste do Brasil. R. Bras. Ci. Solo, 23:507-514.

Ferreira, E.V.O.; Martins, V.; Inda Júnior, A.V.; Giasson, E.; Nascimento, P.C. 2011. Ação dos térmitas no solo. Ciência Rural, 41:804-811.

Furley, P.A. 1985. Notes on the soils and plant communities of Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, Brasil. Edinburgh: Dept. Geography.

Furley, P.A. 1986. Classification and distribution of murundus in the cerrado of Central Brazil. Journal of Biogeography, 13:265-268.

Holt, J.A. & Lepage, M. 2000. Termites and soil properties. In: Abe, T., Bignell, D.E., Higashi, M. (Eds.), Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 389-407p.

Lee, K.E. & Foster, R.C. 1991. Soil fauna and soil structure. Aust. J. Soil Res.29:745-775.

Mathews, A.G.A. 1977. Studies on termites from the Mato Grosso State, Brazil. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 267p.

Midley, J.J. 2010. More mysterious mounds: origins of the Brazilian campos de murundus. Plant Soil, 336:1-2.

Miklós, A.A.W. 1992. Biodynamique d'une couverture pédologique dans la région de Botucatu (Brésil, SP). Paris: Université de Paris VI.

Oliveira-Filho, A.T. & Furley, P.A. Monchão, cocoruto, murundu. 1990. Ciência hoje, 61:30-37.

Oliveira-Filho, A.T. 1992. Floodplain 'Murundus' of Central Brazil: Evidence for the Termite-Origin Hypothesis. Journal of Tropical Ecology, 8:1-19.

Ponce, V.M. & Cunha, C.N. 1993. Vegetated earthmounds in tropical savannas of Central Brazil: a synthesis: with special reference to the Pantanal do Mato Grosso. Journal of Biogeography, 20:219-225.

Reatto, A., Bruand, A.; Martins, E.S.; Muller, F.; Silva, E.M.; Carvalho JR., O.A.; Brossard, M.; Richard, G. 2009. Development and origin of the microgranular structure in latosols of the Brazilian Central Plateau: Significance of texture, mineralogy, and biological activity. Catena, 76:122-134.

- Renard, D.; Birk, J.J.; Glaser, B.; Iriarte, J.; Grisard, G.; Karl, J.; Mckey, D. 2012. Origin of mound-field landscapes: a multi-proxy approach combining contemporary vegetation, carbon stable isotopes and phytoliths. *Plant Soil*, 351:337-353.
- Resende, M.; Curi, N.; Rezende, S.B.; Côrrea, G.F. 2007. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. 5 ed. rev. Lavras, UFLA, 322p.
- Sall, S.N.; Brauman, A.; Fall, S.; Rouland, C.; Miambi, E.; Chotte, J. 2002. Variation in the distribution of monosaccharides in soil fractions in the mounds of termites with different feeding habits (Senegal). *Biol Fertil Soils*, 36:232-239.
- Schaefer, C.E.G.R. 2001. Brazilian latosols and their B horizon microstructure as long-term biotic constructs. *Aust. J. Soil Res.*, 39:909-926.
- Schaetzl, R. & Anderson, S. *Soils: genesis and geomorphology*. 2005. Cambridge University Press, New York, 239-293p.
- Silva, R.F.; Tomazi, M.; Pezarico, C.R.; Aquino, A.M.; Mercante, F.M. 2007. Macrofauna invertebrada edáfica em cultivo de mandioca sob sistemas de cobertura do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42:865-871.
- Silva, L.C.R.; Vale, G.D.; Haidar, R.F.; Sternberg, L.S.L. 2010. Deciphering earth mound origins in central Brazil. *Plant Soil*, 336:3-14.
- Six, J.; Bossuyt, H.; Degryze, S.; Denef, K. 2004. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil & Tillage Research*, 79:7-31.
- Tisdall, J.M. & Oades, J.M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soil. *J. Soil Sci.*, 33:141-163.
- Van Wambeke, A. 1992. *Soils of the tropics*. New York, McGrawHill, 343p.
- Wood, T.G. 1988. Termites and the soil environment. *Biol. Fert. Soil*, 6:228-236.



## **CAPÍTULO 1**

### **Pedogênese de Latossolos, Argissolos e Cambissolos com e sem murundus na região semiárida de Minas Gerais**

#### **1. Introdução**

Em diversas regiões do território brasileiro encontram-se formações naturais com formato arredondado ou cônico, conhecidos como murundus, cupinzeiros e/ou monchões. Os murundus, cujo significado de origem tupi é montículo ou cone de terra (Souza, 1927), são encontrados em algumas áreas com influência sazonal de lençol freático nos Cerrados, e também observados em regiões de clima seco sob Caatinga, como em áreas do Médio Jequitinhonha, Minas Gerais. Quando em quantidade significativa, a denominação “fase murundu” é utilizada na diferenciação de unidades de mapeamento, como constatado em vários levantamentos de solos realizados no país (Brasil, 1970; Brasil, 1981; Brasil, 1987).

A formação desses montículos é atribuída à atividade de térmitas, insetos da família Isoptera, com vários gêneros e espécies que vivem em madeiras e nos solos, alimentando-se de materiais vegetais e do próprio solo (Lima & Costa-Leonardo, 2007). Nos solos os térmitas modificam o ambiente em que vivem, criando estruturas biogênicas como galerias, túneis, canais, ninhos e montículos, estabelecendo um ambiente específico, chamado “termitosfera” (Lavelle, 1984), que normalmente apresenta maior teor de nutrientes e umidade quando comparados aos solos adjacentes

sem murundus (Ndiaye et al., 2004; Sarcinelli et al., 2010). Por isso, os térmitas são considerados “engenheiros de ecossistemas”, modificando as características morfológicas, físicas e químicas do solo nos murundus e, conseqüentemente, os processos de pedogênese dos solos tropicais (Black & Okwakol, 1997; Desouza & Canello, 2005).

A característica construtiva dos térmitas desempenha um grande efeito pedológico nos murundus, por meio da seleção, transporte e deposição do material de solo em superfície e subsuperfície, promovem mudanças nas características morfológicas, principalmente relacionadas à estrutura do solo (Holt & Lepage, 2000; Sarcinelli et al., 2010). A estrutura forte, muito pequena, granular de Latossolos muito intemperizados, por exemplo, é atribuída a atividade dos térmitas (Eschenbrenner, 1986; Van Wambeke, 1992; Schaefer, 2001; Reatto et al., 2009) em razão da passagem do solo pelo seu trato intestinal, sendo a estabilização desta microestrutura facilitada em solos de mineralogia oxidica (Schaefer, 2001; Resende et al., 2007).

Estima-se que as taxas de solo transportado proveniente da atividade termítica variam de 0,05 a 0,04 mm ano<sup>-1</sup> (Lee & Wood, 1971), e que 37 cm de subsolo poderiam ser translocados para a superfície durante 1000 anos (Holt & Lepage, 2000). Em Santa Catarina (Brasil), o volume de solo transportado pela atividade dos térmitas variou entre 20,9 e 136,6 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (Kaschuk et al., 2006). Mesmo que existam relatos sobre a interferência dos térmitas nas variações de textura dos solos, não se pode afirmar que apresentam maior preferência por partículas de menor diâmetro (frações silte e argila), ou se o solo é submetido a um fracionamento físico durante sua passagem pelo tubo digestivo (Ferreira et al., 2011). Observa-se que os teores de argila em murundus são maiores normalmente no topo e na base, e menor no centro do montículo, melhorando às condições de drenagem, umidade e aeração nesses locais (Konaté et al., 1999; Fageria & Baligar, 2004; Bignell, 2005; Kaschuk et al., 2006).

Os murundus estocam macro e micronutrientes (Ackerman et al., 2007; Sarcinelli et al., 2009; Simões, 2009), e mesmo alguns elementos traço, como Ni, Se e Cd (Sako et al., 2009). Além disso, quando comparados com solos limítrofes, apresentam maiores teores de matéria orgânica e capacidade de troca de cátions (Roose-Amsaleg et al., 2005; Simões, 2009; Abe et al., 2009a), sugerindo que a atividade termítica desempenha um papel importante no controle da ciclagem de nutrientes no solo, principalmente em regiões tropicais. O manejo com fogo para a limpeza das áreas tanto por grandes (pastagens) ou pequenos proprietários (agricultura familiar) no Médio Jequitinhonha, tem levado a uma depauperação nos teores de matéria orgânica e nutrientes nestes solos,

que são naturalmente de baixa fertilidade natural. Assim, acredita-se que o murundu seja um novo compartimento capaz de servir como reservatório contínuo na ciclagem de nutrientes (Lavelle, 1984).

O objetivo deste trabalho foi estudar a influência da atividade dos térmitas nas características morfológicas, físicas e químicas de solos de murundus e solos adjacentes no Médio Jequitinhonha, semiárido de Minas Gerais.

## **2. Material e Métodos**

As camadas de solos dos murundus foram coletadas em áreas de relevo dissecado, nos municípios de Itaobim e Virgem da Lapa, pertencentes à região do Médio Jequitinhonha, Minas Gerais (Figura 1). A vegetação predominante é caatinga hipoxerófila, com jurema preta (*Mimosa sp.*) comumente encontrada em toda a área e sobre os murundus.

Na região predomina o tipo climático Bsw da classificação de Köppen (Perillo, 1995; Ferreira, 2009), ou seja, clima semiárido com curta estação chuvosa no verão, e temperaturas médias anuais em torno de 23 °C. A média pluviométrica varia entre 600 a 800 mm anuais, concentrados de novembro a janeiro. Em razão das duas estações climáticas bem definidas, uma chuvosa seguida por um período seco, a área apresenta balanço hídrico negativo com forte deficiência hídrica, podendo prolongar-se por mais de oito meses (Perillo, 1995).

A geologia da área refere-se à rochas granitóides e graníticas no município de Itaobim, à rochas xistosas com intercalações de lentes de calcário, do Grupo Macaúbas em Virgem da Lapa, e coberturas detrítico-lateríticas recobrimdo rochas mais antigas de forma descontínua que ocorreu durante o processo erosivo de formação da paisagem (Pedrosa-Soares, 1996; CPRM, 2005a; 2005b; CPRM, 2010).

Foram coletados e descritos morfologicamente cinco perfis de solos sem evidências da atividade de térmitas (murundus) e cinco murundus adjacentes, conforme Santos et al. (2005), e classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006). Os murundus M1, M2, M3, M4 e M5, foram seccionados ao meio, coletando-se amostras em camadas do topo até a base nas profundidades de 0-15; 15-30; 30-75; 75-100 e 100-125 cm (Figura 2). Os perfis de solos P1, P2, P3, P4 e P5 foram coletados em torno de cinco metros de distância dos murundus. Os murundus M1, M2 e M3 e M5 se localizam no terço superior e médio da encosta, enquanto o M4 no terço inferior da paisagem. As informações gerais sobre os locais de coleta estão

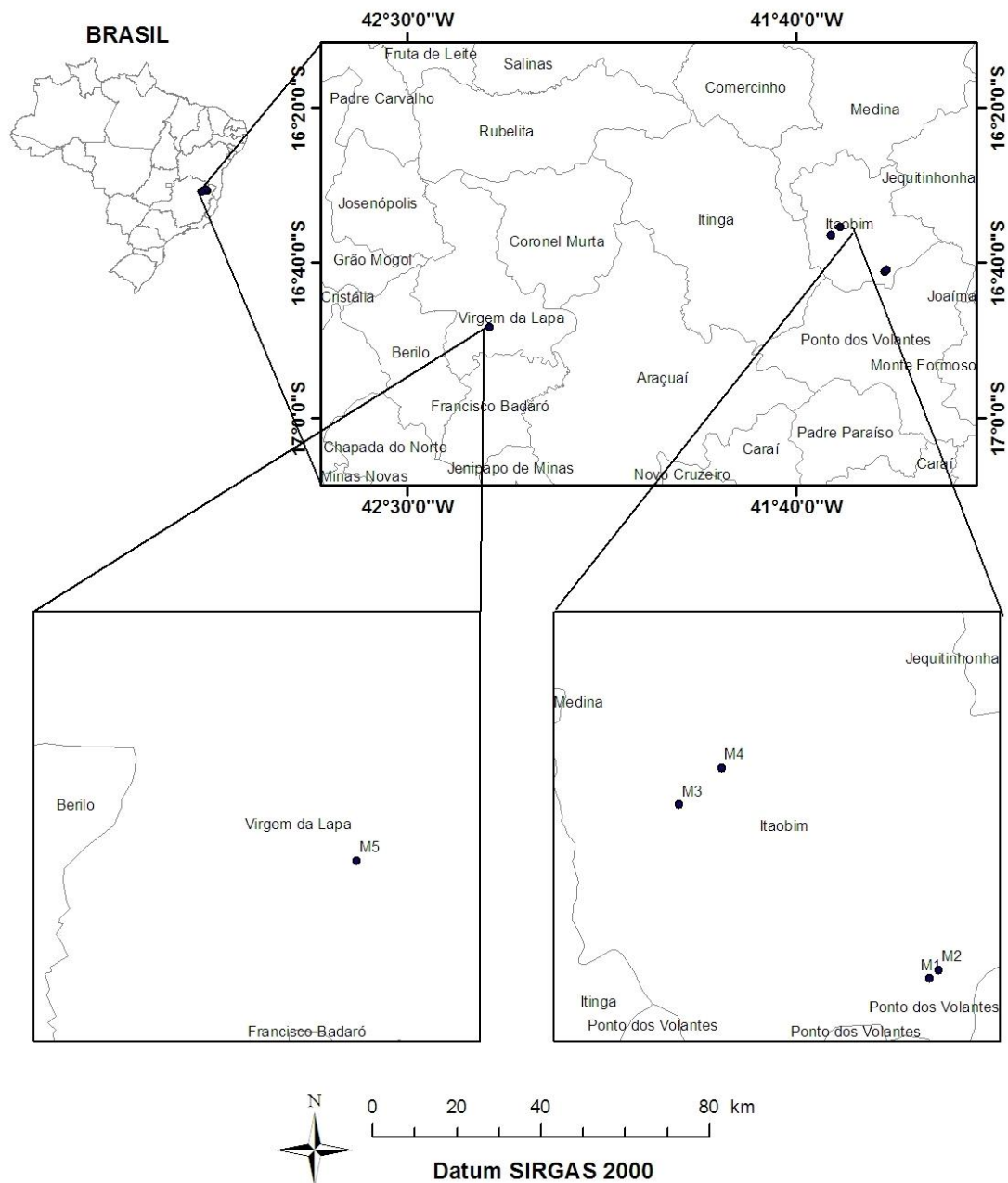


Figura 1. Localização da área de estudo indicando pontos de coleta dos solos de murundus e perfis de solos adjacentes.

descritos na tabela 1.

Foram coletados térmitas nos murundus ativos (ainda colonizados) devidamente conservados em recipientes com álcool 80 %, e identificados em nível de gênero mediante chave taxonômica proposta por Constantino (1999), além de comparações

Murundu 1 - M1



Murundu 2 - M2



Murundu 3 - M3



Figura 2. Solos de murundus coletados. Latossolo Amarelo Distrófico argissólico - M1, Argissolo Amarelo Distrófico típico - M2 e M3.



Murundu 4 - M4



Murundu 5 - M5



Figura 2. Solos de murundus coletados. Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico - M4 e Argissolo Vermelho Eutrófico típico - M5.

realizadas com exemplares da coleção do Museu de Entomologia da Universidade Federal de Viçosa (Tabela 1).

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta, utilizando NaOH  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  e agitação mecânica lenta por 16 h a 50 rpm (Embrapa, 1997), modificado por Ruiz (2005). A argila dispersa em água (ADA) foi obtida também pelo método da pipeta, sem uso de dispersante químico (Embrapa, 1997). A densidade do solo foi realizada pelo método do torrão parafinado (Blake & Hartge, 1986).

Tabela 1. Caracterização geral dos locais de coleta dos murundus e perfis de solos

Murundu/ Perfil de solo	CG <sup>1</sup>	Alt. <sup>2</sup> (m)	Descrição
Murundu 1 - M1	235692 8153452	610	Murundu com diferenciação de cor nos primeiros 50 cm. Presença de raízes finas, médias a grossas em todas as camadas. Observou-se atividade biológica na forma de paleocanais preenchidos com material mais escuro e mais consistente. Grande quantidade de juremas sobre os cupinzeiros. Não foram encontradas térmitas no período da coleta.
Latossolo Amarelo distrófico argissólico	235692 8153452	610	Solo localizado no terço superior da vertente, com horizonte B latossólico com pouca presença de raízes, concentrando-se principalmente raízes finas a médias no horizonte A. O relevo local é ondulado, com vegetação secundária de caatinga hipoxerófila. Não foi encontrado térmitas durante o período de coleta.
Murundu 2 - M2	236127 8153909	561	Murundu amarelado, com grande quantidade de canais laterais preenchidos com material mais escuro e consistente. O relevo é suave ondulado com vegetação secundária de jurema, e raízes, finas, médias a grossas em toda sua extensão. Presença de térmitas do gênero <i>Nasutitermes</i> .
Argissolo Amarelo Distrófico típico	236127 8153909	561	Encontra-se em área de relevo ondulado a suave ondulado, com vegetação de caatinga arbustiva-arbórea. O solo é bem drenado, brunado em superfície e amarelado em profundidade (Bt). As raízes finas e médias estão dispostas principalmente no horizonte A e no topo do horizonte diagnóstico Bt. Não foram encontradas térmitas no período da coleta.
Murundu 3 - M3	223418 8162067	502	Murundu localizado em área de relevo plano a suave ondulado, com presença de raízes concentradas nas primeiras camadas. Apresenta além de térmitas, grande atividade de minhocas nas primeiras camadas dos murunduzeiros. Foram encontradas estruturas biogênicas provavelmente oriundos de minhocas. Presença dos gêneros de térmitas <i>Nasutitermes</i> e <i>Syntermes</i> .
Argissolo Amarelo Distrófico típico	223418 8162067	502	Localizado em área de relevo plano a suave ondulado, com estrutura em blocos subangulares e raízes finas no horizonte A. A transição do horizonte A para o Bt1 é clara e ondulada. Solo com coloração amarelada no Bt, bem drenado, com presença de carvões. Não foram encontradas térmitas no período da coleta.
Murundu 4 - M4	225456 8163936	307	Apresenta grande quantidade de areia grossa, principalmente de grãos de quartzo e alguns feldspatos. Possui grande quantidade de canais, distribuídos em vários sentidos e direções. Apresentou grande tenacidade ao corte com a faca, indicando que se trata de material muito cimentado. Encontraram-se poucas raízes, e em sua maioria finas. Presença de térmitas do gênero <i>Syntermes</i> .
Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico	225456 8163936	307	Solo formado em áreas dissecadas da vertente, apresentando grande quantidade de areia grossa, resultado dos sedimentos coluviais. O relevo é ondulado a suave ondulado, com vegetação secundária de jurema. Não foram encontradas térmitas no período da coleta.
Murundu 5 - M5	785025 81399639	404	Localizado em área de vegetação herbácea rasteira, em relevo suave ondulado. Sobre o murundu não se verifica nenhum tipo de vegetação. A cerosidade é fraca a moderada. Encontrou-se blocos e concreções ferruginosas nas camadas mais profundas. Abundante presença de canais biológicos. Não foram encontradas térmitas no período da coleta.
Argissolo Vermelho Eutrófico típico	785025 81399639	404	Solo localizado no terço médio da encosta, próximo à BR 367, em relevo suave ondulado. O material de origem refere-se a sedimentos detrítico-laterítico ferruginosos, com cerosidade fraca a moderada no horizonte B textural. A vegetação é rasteira com extrato herbáceo. Não foram encontradas térmitas no período da coleta.

<sup>1</sup> Coordenadas geográficas (GPS). <sup>2</sup> Altitude

Nas análises químicas (Embrapa, 1997) avaliou-se o pH em água e em KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; carbono orgânico total (Walkley-Black), com oxidação da matéria orgânica por via úmida; teores de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> extraídos com solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e quantificados por espectroscopia de absorção atômica (Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>) e Al<sup>3+</sup> por titulometria com NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>; H + Al extraído com acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,0; K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> e P disponível extraídos com HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup> (Mehlich-1) e quantificados por fotometria de chama e espectrofotômetro de absorção molecular, respectivamente. A partir desses dados, foram calculadas a soma de bases (valor S), a capacidade efetiva de troca de cátions ( $t = S + Al^{3+}$ ), a capacidade de troca de cátions a pH 7,0 [ $T = S + (H + Al)$ ], a atividade da argila (CTCr = T / % argila), a saturação por bases (V %) e alumínio (m %).

Realizou-se a análise multivariada de componentes principais (ACP) nas variáveis físicas e químicas, visando indicar similaridades entre as amostras de solos dos murundus e solos limítrofes. Os dados utilizados estão na tabela 1A e 2A, sendo que foram usados os horizontes A e B de cada perfil de solo e seis camadas dos solos com murundus (1<sup>a</sup> a 6<sup>a</sup> camadas).

ACP foi realizada para diferentes grupos de variáveis e baseada na sua matriz de correlação usando o programa Statistica 8.0. A análise de ACP permitiu a construção do círculo de autovetores das variáveis e o diagrama de ordenação das amostras (solos de murundus e perfis de solos adjacentes), para os dois primeiros componentes, representados pelos eixos x e y (primeiro e segundo eixos, respectivamente).

Foram utilizados somente esses dois primeiros eixos pois considerou-se que seriam suficientes para explicar os dados, assim como pela maior facilidade de interpretação de um gráfico bidimensional. Os dados foram padronizados (média nula e variância igual a um) visando uniformizar unidades e escalas do grupo de variáveis estudadas. Para a extração do número de componentes, consideraram-se somente as componentes com variância superior a um. Realizou-se a análise fatorial, rotacionando os fatores pelo método Vale max, e foram considerados significativos apenas os fatores que apresentaram autovalores maiores que um.



### **3. Resultados e Discussão**

#### **3.1. Caracterização geral da área**

Na área de estudo encontram-se chapadas nas maiores altitudes, formadas por superfície de aplainamento, correspondentes à Superfície Sulamericana, originando platôs retilíneos (superfícies de denudação) intercalados por áreas de sopé, constituídos de depósitos elúvio-coluviais, e encostas de transporte com coberturas detríticas (Figura 3a) (King, 1956; Brasil, 1984; Oliveira et al., 2002).

São encontradas colinas convexas ligeiramente tabulares, onde predominam Latossolos Amarelos, e nas áreas de relevo mais dissecado da paisagem, solos podzolizados (Argissolos), e Cambissolos cascalhentos, predominantemente com matriz quartzosa/feldspática, a partir de altitudes próximas aos 300 metros (Brasil, 1970).

Nos Cambissolos derivados de sedimentos de natureza coluvial cenozóica, à presença de minerais primários como o feldspato-K é marcante (Embrapa, 2005; Brasil, 1970; Brasil, 1984). Sua permanência nestes solos é condicionada pelas atuais condições climáticas mais secas da região. Em todos esses ambientes os microrrelevos de murundus estão amplamente distribuídos, sendo comum seu uso na agricultura familiar durante o período chuvoso (agricultura de sequeiro) com as culturas do milho, feijão, melancia dentre outros (Figura 3b e c). Simões (2009) trabalhou com murundus de Cambissolos em Itaobim (MG) e verificou que o uso dos solos é generalizado nas áreas de rampas de colúvio, principalmente com gramíneas para pastagem, como também para a agricultura familiar.

A vegetação primária de toda a área foi composta por caatinga hipoxerófila/floresta tropical caducifólia, característica do regime pluviométrico mais seco da região com cerca de 700 mm anuais (Oliveira et al., 2002). A retirada da vegetação para carvoarias ainda é constante, além de ser utilizada como lenha durante o processo de cocção de peças artesanais em pequenas comunidades rurais, como em Pasmado, distrito de Itaobim (Simões, 2009).

Nas propriedades rurais de pequenos ou grandes agricultores, o fogo ainda é utilizado como ferramenta de trabalho para limpeza das áreas (Figura 3c). Essa prática de manejo afeta as quantidades de material orgânico nestes solos, e conseqüentemente contribui para a perda da qualidade e sustentabilidade destes ambientes, pela redução nos teores de carbono orgânico como observado por Simões (2009). São usados implementos agrícolas para realizar o nivelamento topográfico dos solos com presença

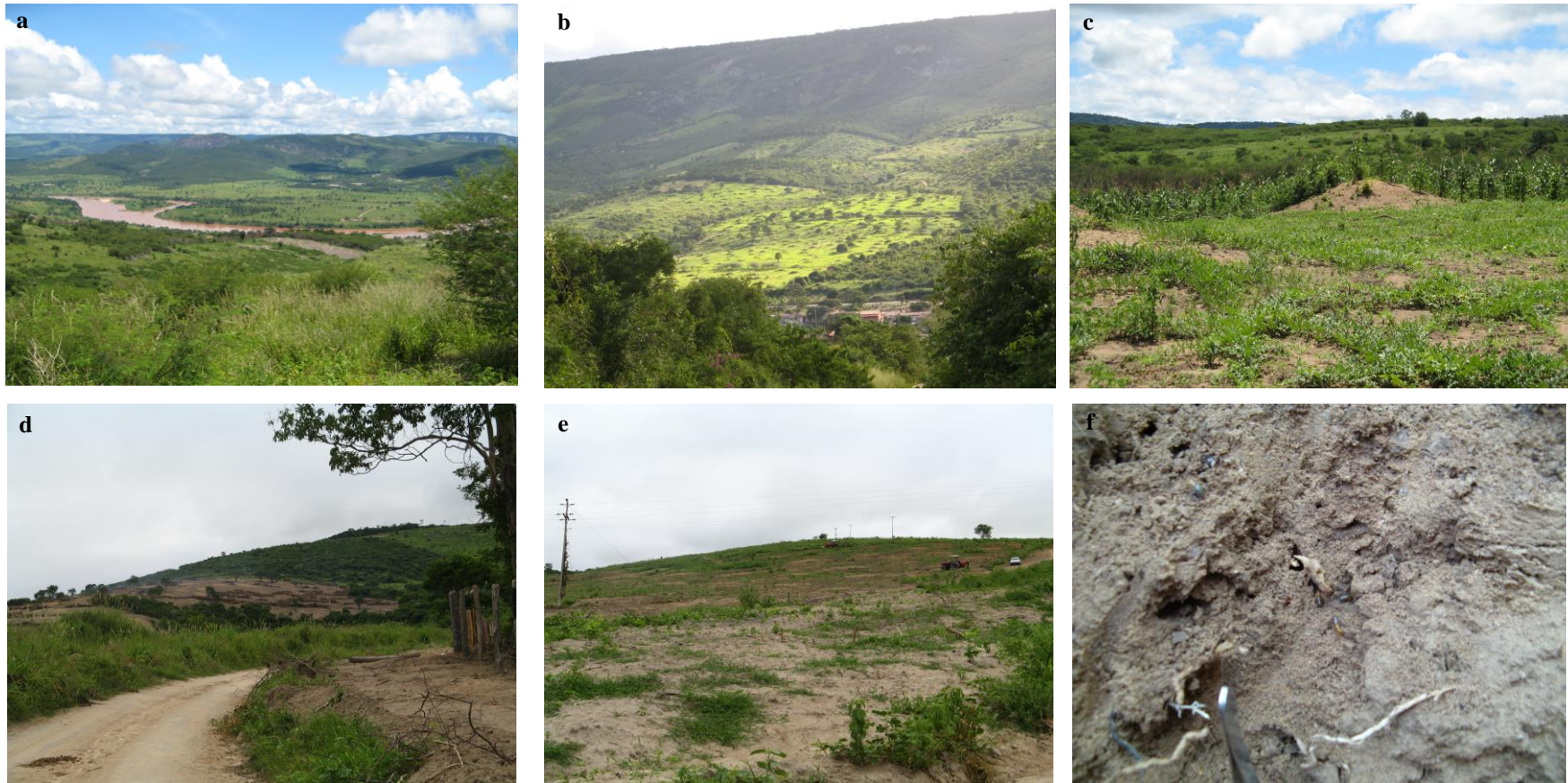


Figura 3. Fotografias evidenciando o relevo da região (a), microrrelevo de murundus em terço inferior de elevação (b), uso do microrrelevo de murundus com cultivo de milho e melancia (c), uso do fogo para limpeza e nivelamento topográfico em áreas de murundus (d e e), presença de térmitas nos solos de murundus estudados (f)

de murundus para agricultura em locais de rampas de colúvio (Figura 3c e d). Na área de ocorrência e sobre os microrrelevos de murundus, jurema-preta foi a principal espécie arbórea nativa observada, exceto no murundu M5, que não se verificou nenhum tipo de vegetação sobre o mesmo, ou dos demais murundus da área. No restante da área o extrato era herbáceo (Figura 2 - M5).

Os gêneros dos térmitas encontrados nos microrrelevos de murundus estão apresentados na tabela 1. *Nasutitermes* e *Syntermes*, ambos da família Termitidae, foram os gêneros de térmitas observados nos solos de murundus estudados. Em M2 e M4 os indivíduos pertenciam ao gênero *Nasutitermes*, enquanto que em M3, além deste, também verificou-se a presença de *Syntermes*. Nesse caso, uma das espécies poderia ser considerada invasora ou inquilina, e estariam cohabitando o murundu.

Térmitas buscam no solo maiores profundidades para sua proteção contra temperaturas mais elevadas, principalmente durante o período seco do ano. Assim, algumas vezes não é possível verificar sua presença nas camadas de solos dos murundus. No entanto, no murundu M4, o gênero *Syntermes* foi observado em camadas de solos superiores e inferiores, indicando que o cupinzeiro está ativo. Nos murundus M1 e M5 não foram encontrados nenhum indivíduo no período de coleta no campo. Algumas características físicas e químicas dos solos de murundus podem ser influenciados dependendo do gênero de térmita presente nesses ambientes, como observado por Lee & Wood (1971). Esses autores afirmam que a espécie *Nasutitermes triodiae* tem maior preferência por partículas de areia em relação à argila para a construção dos seus ninhos. Assim características como textura, aeração e porosidade podem ser influenciadas.

A maior parte dos murundus observados na região estão desabitados, funcionando como murundus fósseis preservados, onde a pouca pluviometria da região favorece à sua permanência na paisagem. Nesse sentido, algumas características químicas, que serão discutidas posteriormente como o fósforo disponível, seriam heranças ancestrais da atividade termítica no passado.

### **3.2. Caracterização morfológica e física**

Os murundus e solos estudados apresentaram semelhanças nas características de cor e estrutura, no entanto a consistência dos solos dos murundus mostrou-se diferenciada, variando de dura à extremamente dura quando secos, principalmente no M4, e pegajoso e plástico

Tabela 2. Características morfológicas dos solos e murundus estudados

Horiz.	Prof. cm	Cor (Munsell) Úmida	Classe Textural	Estrutura	Consistência		
					Seca	Úmida	Molhada
M1 - Murundu 1							
1ª Cam.	0-15	10YR 3/4	Argilo-arenosa	md p m bls	ma	fr	pl lpe
2ª Cam.	-30	10YR 4/4	Argila	md p m bls	ma	fr	pl lpe
3ª Cam.	-50	10YR 5/4	Argila	md p m bls	ld	f	pl pe
4ª Cam.	-75	10YR 6/6	Argila	md p m bls	ld	f	pl pe
5ª Cam.	-100	10YR 6/6	Argila	md p m bls	ld	f	pl pe
6ª Cam.	-125	10YR 6/6	Argila	md p m bls	ld	f	pl pe
P1 - Latossolo Amarelo Distrófico argissólico							
A	0-10	10YR 2/2	Argila	md p m gr	ma	fr	lpl lpe
Bw2	-142+	10YR 5/6	Franco-argilo-arenosa	md p m bls	ld	f	pl pe
M2 - Murundu 2							
1ª Cam.	0-15	10YR 4/4	Franco-argilo-arenosa	md p m bls	ld	f	pl pe
2ª Cam.	-30	10YR 4/4	Franco-argilo-arenosa	md p m bls	ld	f	pl pe
3ª Cam.	-50	10YR 4/4	Argila	md p m bls	ld	f	pl pe
4ª Cam.	-75	10YR 4/4	Argila	md p m bls	ld	f	pl pe
5ª Cam.	-100	10YR 4/4	Argila	md p m bls	ld	f	pl pe
6ª Cam.	-125	10YR 4/4	Argila	fr p m bls	ld	f	pl pe
P2 - Argissolo Amarelo Distrófico típico							
A	0-7	10YR 2/2	Argila	md p m bls	ma	fr	lpl lpe
Bt2	-157+	10YR 5/6	Franco-argilo-arenosa	ft p m bls	d	f	pl pe
M3 - Murundu 3							
1ª Cam.	0-15	10YR 3/3	Franco-argilo-arenosa	fr p m bls	ld	fr	pl pe
2ª Cam.	-30	10YR 3/3	Argilo-arenosa	fr p m bls	ld	fr	pl pe
3ª Cam.	-50	10YR 3/4	Argila	fr p m bls	d	fr	pl lpe
4ª Cam.	-75	10YR 3/4	Argila	fr p m bls	d	fr	pl lpe
5ª Cam.	-100	10YR 3/4	Argila	fr p m bls	d	fr	pl lpe
6ª Cam.	-125	10YR 3/4	Franco-argilosa	fr p m bls	ld	fr	pl lpe
P3 - Argissolo Amarelo Distrófico típico							
A	0-7	10YR 2/2	Argilo-arenosa	ft p m bls	m	fr	lpl lpe
Bw2	-157+	10YR 4/6	Franco-argilo-arenosa	md p m bls	m	fr	pl pe

<sup>1</sup>Grau: fr = fraco; md = moderado; ft = forte. Tamanho: p = pequeno; m = médio. Tipo: gr = granular; bls = blocos subangulares; bla= blocos angulares.

<sup>2</sup>Seca: ma - macio; ld - ligeiramente dura; d - dura; md - muito dura; Úmida: fg - frágil; f - firme; mf - muito firme; Molhada: npl - não plástica; lp - pouco plástica; pl - plástica; lpe - ligeiramente pegajosa; pe - pegajosa.

Tabela 2. Características morfológicas dos solos e murundus estudados

Horiz.	Prof. cm	Cor (Munsell) Úmida	Classe Textural	Estrutura	Consistência		
					Seca	Úmida	Molhada
M4 - Murundu 4							
1ª Cam.	0-15	10YR 3/3	Franco-argilo-arenosa	md p m bls	ld	mf	lpl pe
2ª Cam.	-30	10YR 3/3	Franco-argilo-arenosa	fr p m bls	ld	mf	lpl pe
3ª Cam.	-50	10YR 4/4	Franco-argilo-arenosa	fr p m bls	ld	mf	lpl pe
4ª Cam.	-75	10YR 4/4	Franco-argilo-arenosa	fr p m bls	ld	mf	lpl pe
5ª Cam.	-100	10YR 4/4	Franco-argilo-arenosa	fr p m bls	ld	mf	lpl pe
6ª Cam.	-125	10YR 4/4	Franco-argilo-arenosa	fr p m bls	ld	mf	lpl pe
P4 - Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico							
A	0-5	10YR 3/2	Franco-argilo-arenosa	md p m bls	md	fg	npl pe
Bi1	-90	10YR 4/6	Franco-argilosa	md p m bls	md	mf	lp pe
M5 - Murundu 5							
1ª Cam.	0-15	2,5YR 2,5/3	Franco-argilosa	ft p m bls	d	f	pl pe
2ª Cam.	-30	2,5YR 2,5/3	Argila	ft p m bls	d	f	pl pe
3ª Cam.	-50	2,5YR 2,5/3	Argila	ft p m bls	d	f	pl pe
4ª Cam.	-75	2,5YR 2,5/4	Argila	ft p m bls	d	f	pl pe
5ª Cam.	-100	2,5YR 2,5/4	Argila	ft p m bls	d	f	pl pe
6ª Cam.	-125	2,5YR 2,5/4	Argila	ft p m bls	d	f	pl pe
P5 - Argissolo Vermelho Eutrófico típico							
A	0-7	2,5YR 2,5/2	Franco-argilosa	ft p m bla bls	d	f	pl pe
Bt2	-55	2,5YR 2,5/4	Franco-argilosa	ft p m bla bls	d	f	pl pe

<sup>1</sup>Grau: fr = fraco; md = moderado; ft = forte. Tamanho: p = pequeno; m = médio. Tipo: gr = granular; bls = blocos subangulares; bla= blocos angulares.

<sup>2</sup>Seca: ma - macio; ld - ligeiramente dura; d - dura; md - muito dura; Úmida: fg - frágil; f - firme; mf - muito firme; Molhada: npl - não plástica; lp - pouco plástica; pl - plástica; lpe - ligeiramente pegajosa; pe - pegajosa.

quando molhados, reflexo do enriquecimento de argila nos murundus, como também constatado por Asawalam et al. (1999) e Abe et al. (2009a) (Tabela 2).

Os solos de murundus apresentaram grau de desenvolvimento da estrutura variando entre fraca a forte, blocos angulares, subangulares e granular, com o mesmo tipo de estrutura em suas camadas em relação aos perfis de solos adjacentes (Tabela 2). Isso indica que mesmo ocorrendo o processo de pedoturbação realizado pelos térmitas no passado, pois a maioria dos murundus estudados encontravam-se desabilitados, os processos de pedogênese aconteceram na mesma intensidade para ambos os solos. Além disso, a configuração topográfica dos solos de murundus desfavorece a entrada excessiva de água, em razão do encrostamento superficial, fato verificado durante a descrição morfológica no campo, podendo comprometer o desenvolvimento da estrutura.

Nesse trabalho não foi observado nos solos de murundus, em razão da atividade de térmitas, formação de estrutura granular forte como sugerem alguns trabalhos (Jungerius et al. 1999; Schaefer, 2001). Para que microagregados estáveis sejam formados é necessário que a fração mineralógica dos solos seja composta por constituintes minerais de maior superfície específica como os óxidos de ferro e alumínio para a estabilização estrutural (Ferreira et al., 1999). Assim parece correto afirmar que para os solos de murundus estudados a atividade de térmitas não foi suficiente, aliado ao baixo grau de intemperismos químico dos solos, para formar estrutura granular.

Maiores teores de argila associados ao uso de excrementos e saliva durante a construção dos ninhos, parece favorecer à sua maior estabilidade na paisagem (Contour-Ansel et al., 2000; Sall et al., 2002), protegendo o ninho do impacto da chuva e invasores, além de controlar a temperatura e umidade no interior do montículo (Noirot & Darlington et al., 2000). À exceção dos murundus M1 e M5, todos os demais murundus apresentaram grau de coesão estrutural menor do que o observado para o horizonte diagnóstico mais profundo do perfil de solo correspondente.

A cor dos perfis e murundus foi semelhante, variando entre os matizes 10YR para solos amarelos, principalmente os Latossolos, e 2,5YR para o Argissolo Vermelho. Todos os murundus estudados se mostraram com pouca diferenciação na cor das camadas de solos, no entanto o murundu M1 apresentou coloração variando

de bruno-amarelado-escuro nas camadas superiores à amarelo-brunado nas camadas mais profundas (Tabela 2).

A atividade biológica foi observada em todos os murundus estudados, estando ou não colonizados atualmente por térmitas. Foram observados canais concêntricos dentro dos agregados em todas as camadas de solos dos murundus estudados, com diâmetro variado de 0,5 mm a 1,0 mm, além de pedaços de carvão próximo à superfície, reflexo do manejo com fogo, prática comum de limpeza das áreas na região. Em todos os murundus estudados, exceto em M5 observaram-se plantas de jurema preta (*Mimosa spp.*) sobre os cupinzeiros. Além disso, em outros murundus, nas adjacências aos estudados, foi recorrente à presença dessa espécie no topo dos murundus, além de vegetação mais herbácea.

Em M1 e M2 as raízes estavam distribuídas em todo o murundu, do topo até a base, variando de finas a médias na superfície, e médias a grossas ao se aproximar da base do murundu (Figura 2). Nos cupinzeiros M3, M4 e M5 a incidência das raízes diminuiu, concentrando-se principalmente na 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> camadas (cerca de 30 cm de profundidade), variando de poucas finas médias a grossas. Verificou-se que em M5 e em todos os demais murundus na sua adjacência, não existia nenhum tipo de vegetação recobrando os montículos. De acordo com Diaye et al. (2003) a atividade dos térmitas no solo possui efeito positivo para as plantas, principalmente as leguminosas, pois a maior disponibilidade de nutrientes nos murundus aumenta a população de fungos micorrízicos arbusculares causando maior nodulação no sistema radicular, contribuindo para o aumento da biomassa aérea. Todos os solos de murundus estavam em áreas de vegetação natural, à exceção do murundu M5 que se localizava em área de pastagem.

Nos primeiros 30 cm de profundidade observou-se presença de minhocas e cropólitos endurecidos no murundu M1. Além de canais paralelos enriquecidos com material de solo mais endurecido nas camadas centrais, reduzindo sua incidência quando se aproximava da parede externa dos murunduzeiros. Cropólitos de minhocas também foram observados no M3, principalmente nas camadas mais profundas, indicando atividade atual.

A análise granulométrica revelou pouca diferença na textura dos solos e murundus estudados (Tabela 1A). Em geral, nos solos de murundus e perfis de solos adjacentes observaram-se maiores teores de argila ou silte + argila em profundidade. Em alguns casos, a ocorrência de partículas menores de 0,05 mm de diâmetro se

destacou no centro dos murundus, principalmente entre 30 e 100 cm de profundidade, influenciando nas diferenças de textura observadas entre os murundus e perfis de solos (Tabela 1A) A seleção de partículas foi observada por diversos autores (Asawalam & Johnson, 2007; Abe et al., 2009a; Sako et al., 2009) em murundus colonizados por diferentes espécies e gêneros de térmitas, principalmente por *Macrotermes*, em cupinzeiros da África. A seleção de partículas mais finas para compor unidades estruturais do cupinzeiro como parede externa e interna foi mencionado por Abe et al. (2009b) e Jouquet et al. (2002; 2007), sugerindo que a seleção e o contraste na distribuição das partículas seria uma resposta às exigências ecológicas do meio, como para à retenção de umidade, impermeabilidade e estabilidade estrutural.

Nos solos de murundus M1 e M2 os teores de argila foram superiores aqueles encontrados nos horizontes Bw mais profundos dos solos (Tabela 1A). Isso parece confirmar que térmitas selecionam partículas mais finas de horizontes mais profundos, do que material do topo dos murundus para a construção dos seus ninhos e dessa forma, contribuir para o processo de bioturbação do solo nos murundus (Jouquet et al., 2002).

Não foi observado presença de linhas de pedra dentro da secção amostrada nos solos de murundus estudados, como observado por Ibraimo et al. (2004) em solos com murundus da região de Iguaba-Araruama (RJ) e Martins (2007) em São Bernardo do Campo (SP). Simões (2009) também não encontrou linhas de pedras em Cambissolos Háplicos com murundus na região do Médio Jequitinhonha, MG. A presença de linhas de pedras em murundus ainda é bastante discutida na literatura, sendo considerado um processo natural durante a seleção de partículas de menor diâmetro das camadas mais profundas para à construção dos ninhos (Jungerius et al., 1999). Dessa forma, haveria uma concentração gradual desses fragmentos grosseiros (partículas superior a 2 mm) na zona inferior dos solos de murundus. Atualmente são aceitas três teorias a respeito da origem das linhas de seixos (ou pedras), podendo ser originadas pela paleopavimentação detrítica, ação biológica ou pela atuação de processos geoquímicos, como produtos residuais do processo de intemperismo (Hiruma, 2007).

Na análise de componentes principais foram extraídos cinco componentes, que de forma acumulada explicam 88,49 % da variabilidade total dos dados (Tabela 3).



Tabela 3. Coeficientes de carga (“loadings”), autovalores e variância acumulada de um módulo multivariado

Variáveis	Componentes <sup>(1)</sup>				
	1	2	3	4	5
	-----Cargas fatoriais <sup>(2)</sup> -----				
Areia	0,160	<b>0,831</b>	-0,409	-0,039	0,268
Silte	<b>-0,839</b>	-0,299	0,328	-0,083	-0,144
Argila	0,596	<b>-0,716</b>	0,188	0,106	-0,181
ADA	-0,229	-0,344	-0,166	0,700	0,441
S/A	<b>-0,908</b>	0,079	0,217	-0,177	-0,111
Ds	-0,027	0,328	-0,364	0,628	-0,425
pH H <sub>2</sub> O	<b>-0,922</b>	0,024	-0,208	-0,038	-0,162
pH KCl	<b>-0,931</b>	-0,084	-0,110	-0,081	-0,143
Ca <sup>2+</sup>	<b>-0,985</b>	-0,019	-0,035	-0,007	0,056
Mg <sup>2+</sup>	<b>-0,864</b>	-0,238	0,376	0,075	-0,019
Na <sup>+</sup>	-0,491	-0,544	-0,361	-0,228	0,352
K <sup>+</sup>	0,210	<b>0,711</b>	0,321	0,134	-0,290
Al <sup>3+</sup>	<b>0,812</b>	-0,219	0,129	-0,230	-0,011
H+Al	<b>0,744</b>	0,357	0,298	-0,041	0,367
S	<b>-0,988</b>	-0,048	0,085	0,020	0,030
T	<b>-0,828</b>	0,189	0,332	-0,002	0,301
V	<b>-0,969</b>	-0,053	-0,156	0,076	-0,051
P	-0,389	0,156	<b>-0,712</b>	-0,337	-0,093
CTCr	<b>-0,743</b>	0,574	0,140	-0,143	0,194
COT	-0,444	0,447	0,361	0,305	0,007
Autovalores	10,40	3,15	1,84	1,26	1,05
% Variância total	52,00	15,76	9,22	6,28	5,23
% Variância acumulada	52,00	67,76	76,98	83,26	88,49

<sup>(1)</sup> Eixos fatoriais rotacionados pelo método Varimax. <sup>(2)</sup> Cargas fatoriais  $\geq 0,70$  são significativos.

Os demais contribuíram de forma irrisória, portanto não foram considerados na análise.

No grupo das variáveis físicas utilizadas para a realização da análise de ACP, verificou-se que silte e a relação de silte/argila obtiveram correlações altas e negativas com a primeira componente (Tabela 3). Quando se compara as variáveis físicas com as químicas dentro desta componente, parece que os teores de silte nos solos de murundus e perfis de solos estejam sendo responsável pela liberação dos teores dos nutrientes, já que foram altamente correlacionados. A fração argila somente foi significativa na segunda componente, que explica 15,76 % da variabilidade total dos dados, juntamente com as variáveis areia e K trocável. Ou seja, a fração areia seria a principal fonte de reserva mineral para o potássio encontrado nos solos.

Na figura 4 (a e b) são apresentados os autovalores e autovetores e o diagrama de ordenação das variáveis relacionadas com as características físicas e químicas do solo em murundus e perfis adjacentes. As variáveis que estão mais próximas do círculo unitário possuem maior contribuição do que as variáveis mais distantes. Ou seja, as variáveis que se correlacionam com as primeiras componentes (1 e 2) são aquelas que estão mais próximas do círculo unitário.

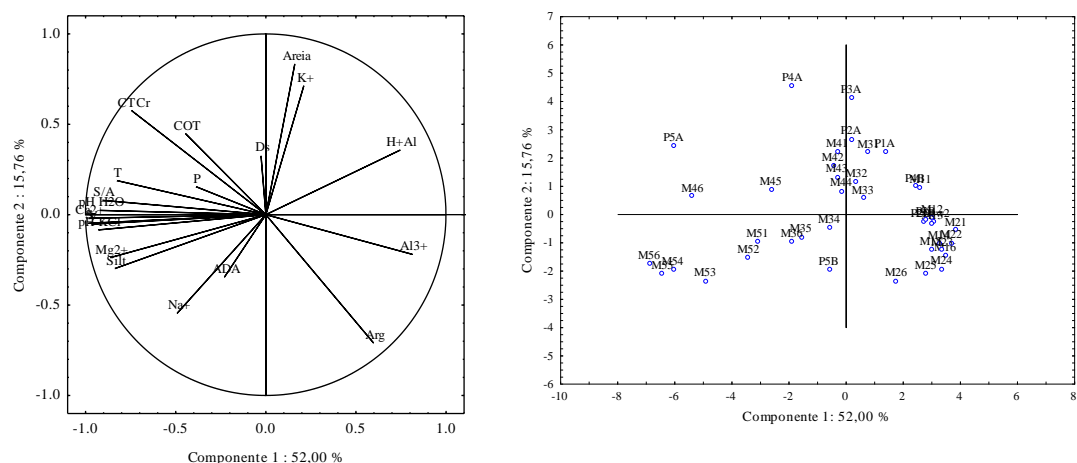


Figura 4. Gráfico dos componentes principais e suas respectivas correlações com as variáveis estudadas

### 3.3. Caracterização química

A análise de componentes principais foi realizada no grupo de variáveis químicas (Tabela 2A), determinando que os cinco primeiros componentes principais responderam por mais de 88 % da variação dos dados, com 52 % para o fator 1; 15,76 % para o fator 2; 9,22 para o fator 3; 6,28 para o fator 4 e 5,23 para o fator 5 (Tabela 3).

O primeiro componente principal explicou isoladamente 52,00 % da variabilidade total dos dados e correlacionou-se com doze das 22 variáveis analisadas. Das variáveis químicas analisadas, somente o pH (H<sub>2</sub>O e KCl), Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, S, T, V e CTCr se correlacionaram de maneira elevada e negativa (correlação  $\geq 0,70$ ). Isso significa que esse componente sofreu influência negativa da fertilidade do solo, uma vez que estas variáveis definem a natureza eutrófica ou distrófica do solo, e estão correlacionados negativamente (Tabela 3). Os teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>

foram considerados de médio a muito bons nos solos de murundus M3, M4 e M5, e baixos em M1 e M2 de acordo com Alvarez V. et al. (1999), aumentando em profundidade (Tabela 2A). Os maiores valores de T, S V devem-se aos maiores teores de cálcio e magnésio trocáveis, principalmente no murundu M5. Os maiores valores de pH em água de M3, M4 e M5 em relação aos perfis de solos adjacentes, está associado aos teores mais elevados de Ca e Mg trocáveis, soma de bases, capacidade de troca de cátions, e menor  $Al^{3+}$  e H + Al.

Observando as variáveis com correlações positivas com o primeiro componente, foram encontrados  $Al^{3+}$  e H + Al. Assim, quando os teores de alumínio se elevam, indicam redução na fertilidade dos solos, característica de solos mais intemperizados como observado em P1, P2 e nos solos de murundus M1 e M2 (Tabela 2A). É possível que em solos mais intemperizados a atividade dos térmitas promova pouco incremento nos valores de pH, pela pobreza química natural destes solos, como observado por Corrêa (1989).

Os teores disponíveis de P variaram de muito baixos a baixos em solos de murundus e perfis de solos adjacentes de acordo com Alvarez V. et al. (1999) (Tabela 2A). No solo de murundu M4, originado de Cambissolo Háplico, os teores de P ultrapassaram  $48,00 \text{ mg dm}^{-3}$ , mesmo que seu material de origem seja pobre neste elemento (sedimentos coluviais). Assim, na análise fatorial multivariada observou-se que a terceira componente explicou 9,22 % da variabilidade total dos dados, com o P disponível como a única variável responsável por esta correlação (Tabela 3). Assim, pode-se dizer que o fósforo disponível não teria a mesma origem das demais variáveis localizadas nas componentes 1 (complexo do solo) e 2 (física do solo) da análise fatorial. Ou seja, teria origem biogênica e não pedogenética, relacionada à atividade dos térmitas nos solos de murundus durante o tempo, já que na maioria estão atualmente descolonizados. Simões (2009) também encontrou o mesmo comportamento em Cambissolos com murundus em Itaobim no Médio Jequitinhonha, com teores de fósforo disponíveis acima de  $35,00 \text{ mg dm}^{-3}$ , sugerindo concentração seletiva e cumulativa deste elemento durante a formação dos murundus.

Nos murundus M1, M2, M3 e M5, originados de solos mais evoluídos, é provável que a ciclagem deste elemento tenha ocorrido de forma mais intensa, principalmente pela atuação dos processos pedogenéticos, associados à atividade termítica. Corrêa (1989) observou que não houve mudanças morfológicas em

murundus do Planalto Central, em razão do material base utilizado para a construção dos murundus por ser proveniente de horizontes mais profundos extremamente intemperizados e lixiviados, mesmo que sua existência confirme uma origem biológica.

#### **4. Conclusões**

1. Nos solos de murundus não foi observada formação de estrutura granular forte, mesmo naqueles originados de solos mais intemperizados, indicando que a atividade biológica não é o único fator que deve ser considerado para estabilização da estrutura.
2. Há concentração de partículas menores que 0,05 mm (silte e argila) de diâmetro nos murundus, e tal característica pode promover maior resistência à erosão, auxiliando sua permanência na paisagem.
3. Silte, relação silte/argila, pH (H<sub>2</sub>O e KCl), Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, S, T, V e CTCr foram as principais variáveis para diferenciar características dos murundus de solos adjacentes.
4. Os teores de fósforo disponível no solo de murundu M4 foram elevados, indicando que a atividade biológica de térmitas foi importante para a concentração deste elemento no passado.

## 5. Referências Bibliográficas

Abe, S.S., Yamamoto, S., Wakatsuki, T., 2009a. Physicochemical and morphological properties of termite (*Macrotermes bellicosus*) mounds and surrounding pedons on a toposequence of an inland valley in the southern Guinea savanna zone of Nigeria. *Soil Science and Plant Nutrition*, 55: 514-522.

Abe, S.S.; Yamamoto, S., Wakatsuki, T., 2009b. Soil-particle selection by the mound-building termite *Macrotermes bellicosus* on a sandy loam soil catena in a Nigerian tropical savanna. *Journal of Tropical Ecology*, 25: 449-452.

Ackerman, I.L.; Teixeira, W.G.; Riha, S.J.; Lehmann, J.; Fernandes, E.C.M. 2007. The impact of mound-building termites on surface soil properties in a secondary forest of Central Amazonia. *Applied Soil Ecology*, 37: 267-276.

Asawalam, D.O.; Osodeke, V.E.; Kamalu, O.H.; Ugwa, I.K. 1999. Effects of Termites on the Physical and Chemical Properties of the Acid Sandy Soils of Southern Nigeria. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal*, 30: 1691-1696.

Asawalam, D.O.; Johnson, S. 2007. Physical and chemical characteristics of soils modified by earthworms and termites. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 38: 513-521.

Alvarez V., V. H.; Novais, R. F.; Barros, N. F.; Cantarutti, R. B.; Lopes, A. S. 1999. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Alvarez V., V. H. (Ed.). *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a. aproximação*. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Viçosa. p.25-42.

Black, H.I J.; Okwakol, M.J.N. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of termites. *Applied Soil Ecology*, 6: 37-53.

Blake, G.R. & Hartge, K.H. Bulk density. 1986. In: Klute, A. ed. *Methods of soil analysis*. Madison, p.363-375.

Brasil. Ministério da Agricultura. 1970. *Levantamento de Reconhecimento dos Solos da Zona do Médio Jequitinhonha – Minas Gerais*. Rio de Janeiro: Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo.

Brasil. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Secretaria Geral. 1981. *Folha SE 24 Salvador: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra/Projeto RADAMBRASIL*. Rio de Janeiro, 624p. (Levantamento de Recursos Naturais, 24).

Brasil. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Secretaria Geral. 1987. *Folha SE 24 Rio Doce: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra/Projeto RADAMBRASIL*. Rio de Janeiro, 548p. (Levantamento de Recursos Naturais, 34).

Constantino, R. 1999. Chave ilustrada para identificação dos gêneros de cupins (Insecta: Isoptera) que ocorrem no Brasil. Pap. Avulsos Zool. 40: 387-448.

Contour-Ansel, D.; Garnier-Sillam, E.; Lachaux, M.; Croci, V. 2000. High performance liquid chromatography studies on the polysaccharides in the walls of the mounds of two species of termite in Senegal, *Cubitermes oculatus* and *Macrotermes subhyalinus*: their origin and contribution to structural stability. Biol. Fertil. Soils, 31: 508-516.

Corrêa, G.F. 1989. Les microreliefs murundus et leur environnement pedologique dans l'ouest du Minas Gerais, região do Planalto Central Brasileiro. Université de Nancy I, 144p (Tese de Doutorado).

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2005a. Projeto Cadastro de Abastecimento por Águas Subterrâneas, Estados de Minas Gerais e Bahia: diagnóstico do município de Itaobim, MG – Belo Horizonte: CPRM.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2005b. Projeto Cadastro de Abastecimento por Águas Subterrâneas, Estados de Minas Gerais e Bahia: diagnóstico do município de Virgem da Lapa, MG – Belo Horizonte: CPRM.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2010. Geologia e recurso minerais das folhas Comercinho, Jequitinhonha, Almenara, Itaobim, Joáima e Rio do Prado - Projeto Jequitinhonha. Belo Horizonte: CPRM-BH, 376p.

Desouza, O.F.F. & Canello, E.M. 2005 (On line). Soil engineering by termites and its impact on ecosystem function. Homepage: <http://www.isopectera.ufv.br>

Diaye, D.N.; Duponnois, R.; Brauman, A.; Lepage, M. 2003. Impact of a soil feeding termite, *Cubitermes niokoloensis*, on the symbiotic microflora associated with a fallow leguminous plant *Crotalaria ochroleuca*. Biol Fertil Soils, 37:313-318.

Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos 1)

Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2005. VII Reunião Nacional de Correlação e Classificação de Solos - MG, Viçosa: SBCS, 158p.

Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2006. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 306p.

Eschenbrenner, V. 1986. Contribution des termites à la micro-agrégation des sols tropicaux. Pedologie, 22: 397-408.

Fageria, N.K. & Baligar, V.C. 2004. Properties of termite mound soils and responses of rice and bean to nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization on such soil. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 35: 2097-2109.

Ferreira, M.M.; Fernandes, B.; Curi, N. 1999. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da região sudeste do Brasil. R. Bras. Ci. Solo, 23:507-514.

Ferreira, V. O. 2009. Climatologia da bacia do rio Jequitinhonha, em Minas Gerais: subsídios para a gestão de recursos hídricos. In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009, Viçosa/MG. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009.

Ferreira, E.V.O.; Martins, V.; Inda Júnior, A.V.; Giasson, E.; Nascimento, P.C. 2011. Ação dos térmitas no solo. Ciência Rural, 41:804-811.

Ibraimo, M.M.; Schaefer, C.E.G.R. Ker, J.C.; Lani, J.L.; Rolim-Neto, F.C. Albuquerque, M.A.; Miranda, V.J. 2004. Gênese e micromorfologia de solos sob vegetação xeromórfica (Caatinga) na região dos lagos (RJ). R. Bras. Ci. Solo, 28:695-712.

Jouquet, P.; Lepage, M.; Velde, B., 2002. Termites soil preferences and particle selections: strategies related to ecological requirements. Insects Sociaux, 49: 1-7.

Jouquet, P.; Tessier, D.; Lepage, M. 2004. The soil structural stability of termite nests: role of clays in *Macrotermes bellicosus* (Isoptera, Macrotermitinae) mound soils. European Journal of Soil Biology, 40: 23-29.

Jouquet, P.; Bottinelli, N.; Lata, J-C.; Mora, P.; Caquineau, S. 2007. Role of the fungus-growing termite *Pseudacanthotermes spiniger* (Isoptera, Macrotermitinae) in the dynamic of clay and soil organic matter content: an experimental analysis. Geoderma, 139: 127-133.

Jungerius, P.D.; Van Den Ancker, J.A.M.; Múcher, H.J. 1999. The contribution of termites to the microgranular structure of soils on the Uasin Gishu Plateau, Kenya. Catena, 34: 349-363.

Kaschuk, G.; Santos, J.C.P.; Almeida, J.A.; Sinhorati, D.C.; Berton-Junior, J.F. 2006. Termite activity in relation natural grassland soil attributes. Sci. Agric., 63:583-588.

King, L. 1956. Geomorfologia do Brasil Oriental. Revista Brasileira de Geografia, 18: 1-147.

Konaté, S.; Roux, X. L.; Tessier, D.; Lepage, M. 1999. Influence of large termitaria on soil characteristics, soil water regime, and tree leaf shedding pattern in a West African savanna. Plant and Soil, 206: 47-60.

Lavelle, P. 1984. The soil system in the humid tropics. Biol. Int., 9:2-17.

Lee, K. E. & Wood, T. G. 1971. Physical and chemical effects on soils of some Australian termites, and their pedological significance. Pedobiologia, 11: 376-409.

Lima, T.J. & Costa – Leonardo, A.M. 2007. Recursos alimentares explorados pelos cupins (Insecta: Isoptera). Biota Neotropica, 7:243-250.

Hiruma, S.T. 2007. Revisão dos conhecimentos sobre o significado das linhas de seixos. Revista do Instituto Geológico, São Paulo, 28:53-64.

Holt, J.A.; Lepage, M., 2000. Termites and soil properties. (Eds. Abe, T.; Bignell, D. E. & Higashi, M.). Termites, evolution, sociality, symbiosis, ecology. Dordrecht, Kluwer Acad. Pub., pp 389-407.

Martins, G.M. 2007. Efeitos da ação de cupins sobre propriedades de um perfil de solo em uma vertente da Represa Billings - São Bernardo do Campo/SP. Universidade de São Paulo. 88p. (Dissertação de Mestrado).

Ndiaye, D.; Lensi, R.; Lepage, M.; Brauman, A. 2004. The effect of the soil-feeding termite *Cubitermes niokoloensis* on soil microbial activity in a semi-arid savanna in West Africa. Plant and Soil, 259: 277-286.

Noirot C.; Darlington, J.P.E.C. 2000. Termite nests: architecture, regulation and defense. In Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology, Ed. Abe, T.; Bignell, D.E.; Higashi, M. pp. 121-139, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Oliveira, F.R.; Duarte, U.; Menegasse, L.N. 2002. Levantamento hidrogeológico da área de Araçuaí no Médio Vale do Jequitinhonha-MG. Revista Águas Subterrâneas, 16: 39-56.

Pedrosa-Soares, A.C. 1996. Geologia da folha de Araçuaí, Minas Gerais. In: Projeto Espinhaço. Sec. de Estado de Rec. Minerais, Hídricos e Energéticos/Companhia Mineradora de Minas Gerais (COMIG).

Perillo, I.A., 1995. Almenara, Mapeamento geológico da Almenara - Folha SE. 24-V-A, Região Sudeste, escala 1:250.000, Serviço Geológico do Brasil, Brasília, 99p.

Reatto, A., Bruand, A.; Martins, E.S.; Muller, F.; Silva, E.M.; Carvalho Jr., O.A.; Brossard, M.; Richard, G. 2009. Development and origin of the microgranular structure in latosols of the Brazilian Central Plateau: Significance of texture, mineralogy, and biological activity. Catena, 76: 122-134.

Resende, M.; Curi, N.; Rezende, S.B.; Côrrea, G.F. 2007. Pedologia: base para distinção de ambientes. 5 ed. rev. Lavras, UFLA, 322p.

Roose-Amsaleg, C.; Mora, P.; Harry, M. 2005. Physical, chemical and phosphatase activities characteristics in soil-feeding termite nests and tropical rainforest soils. Soil Biology & Biochemistry, 37: 1910-1917.

Ruiz, H.A. 2005. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). Revista Brasileira de Ciência do Solo, 29: 297-300.

Sall. S.N; Brauman, A.; Fall, S.; Rouland, C., Miambi, E.; Chotte, J-L. 2002. Variation in the distribution of monosaccharides in soil fractions in the mounds of termites with different feeding habits (Senegal). Biol. Fertil. Soils, 36: 232-239.



Sako, A., Mills, A.J., Roychoudhury, A.N., 2009. Rare earth and trace element geochemistry of termite mounds in central and northeastern Namibia: mechanisms for micro-nutrient accumulation. *Geoderma*, 153: 217-230.

Santos, R.D.; Lemos, R.C.; Santos, H.G.; Ker, J. C.; Anjos, L.H.C., 2005. Manual de descrição e coleta de solos no campo. 5. ed. Viçosa, MG: SBCS, 100p.

Sarcinelli, T.S.; Schaefer, C.E.G.R.; Lynch, L.S.; Arato, H.D.; Viana, J.H.M.; Albuquerque Filho, M.R.; Gonçalves, T.T., 2009. Chemical, physical and micromorphological properties of termite mounds and adjacent soils along a toposequence in Zona da Mata, Minas Gerais State, Brazil. *Catena*, 76:107-113.

Schaefer, C.E.G.R. 2001. Brazilian latosols and their B horizon microstructure as long-term biotic constructs. *Aust. J. Soil Res.*, 39: 909-926.

Simões, D.F.F. Química, física e mineralogia de solos utilizados na agricultura familiar e na fabricação de cerâmica artesanal em Itaobim, Médio Jequitinhonha, MG. Universidade Federal de Viçosa, 151p.

Souza, B. J. Onomástica Geral a Geografia Brasileira, 1927. 319p

Van Wambeke, A. 1992. Soils of the tropics. New York, McGrawHill, 343p.

## **CAPÍTULO 2**

### **Propriedades físicas, mineralógicas e micromorfológicas de solos e solos de murundus no nordeste de Minas Gerais, MG**

#### **1. Introdução**

Murundus ou cupinzeiros são construções de terra com tamanhos e dimensões variados, geralmente com formato arredondado, encontrados em diversas áreas do território brasileiro, inclusive em condições de clima semiárido como ocorre no Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais. Nestas condições, estão associados a solos de grande expressão geográfica, pedogeneticamente mais evoluídos (Latosolos e Argissolos) ou menos evoluídos (Cambissolos). Sua ocorrência é generalizada, principalmente nas porções mais dissecadas da paisagem do Médio Jequitinhonha, como observado em vários levantamentos de solos realizados na região (Brasil, 1970; Brasil, 1979; Brasil, 1981; Brasil, 1987).

Modificações nas composições físicas, químicas e mineralógicas do solo nos murundus foram observados por Jouquet et al. (2002), Semhi et al. (2008), Arveti et al. (2011) e Millogo et al. (2011) para murundus com térmitas da subfamília Macrotermitinae (cultivadores de fungos) em condições africanas. Quantitativamente, a atividade dos térmitas nos solos dos murundus é observada na proporção de partículas menores que 0,05 mm, característico da sua capacidade de

selecionar partículas de diâmetro menor (Lee & Wood, 1971; Donovan et al., 2001), ou do fracionamento físico que as partículas minerais do solo sofrem durante sua passagem pelo aparelho intestinal dos térmitas (Jouquet et al., 2002). Alguns autores consideram que essa característica seja um mecanismo adaptativo às exigências ecológicas do ambiente, devido à maior resistência das paredes dos murundus pela ação cimentante das partículas mais finas (Souto, 2010; Ferreira et al., 2011). No entanto nem sempre são observadas diferenças texturais entre murundus e solos adjacentes (Almeida, 2008; Kaschuk et al., 2006).

O fracionamento físico das partículas minerais do solo, durante sua passagem pelo aparelho intestinal dos térmitas, pode causar alterações qualitativas nos argilominerais do solo nos murundus, transformando argilas expansivas em formas menos expansivas como caulinita, ou interferindo na desordem estrutural de minerais, devido às grandes diferenças de pH dentro dos compartimentos em seu aparelho intestinal ( $\text{pH} > 12$ ) (Kappler & Brune, 1999; Brauman, 2000; Kaschuk, et al., 2006).

Outra característica oriunda da homogeneização e redistribuição do solo nos murundus relaciona-se com modificações na estrutura do solo dos cupinzeiros, atribuída por alguns autores à gênese da estrutura granular como em Latossolos, principalmente quando sua mineralogia aponta para grande intemperismo, expresso pela presença de óxidos de ferro e alumínio na fração argila (Sarcinelli et al., 2010; Schaefer, 2001). A ação biológica como um dos principais fatores responsáveis para formação da estrutura granular estável é bastante discutida, ainda que com pouca informação quantitativa sobre o assunto (Lee & Foster, 1991).

Os objetivos do trabalho foram avaliar possíveis alterações mineralógicas na fração argila, promovidas pela ação dos térmitas nos solos de murundus, particularmente no que se refere à cristalinidade da caulinita e mudanças na composição granulométrica, além de identificar micromorfológicamente seu possível efeito na gênese da estrutura granular.

## **2. Material e Métodos**

Os solos de murundus foram coletados em locais de relevo dissecado nos municípios de Itaobim e Virgem da Lapa, dentro da região do Médio Jequitinhonha, Minas Gerais (Figura 1). As áreas dissecadas compreendem altitudes que variam de

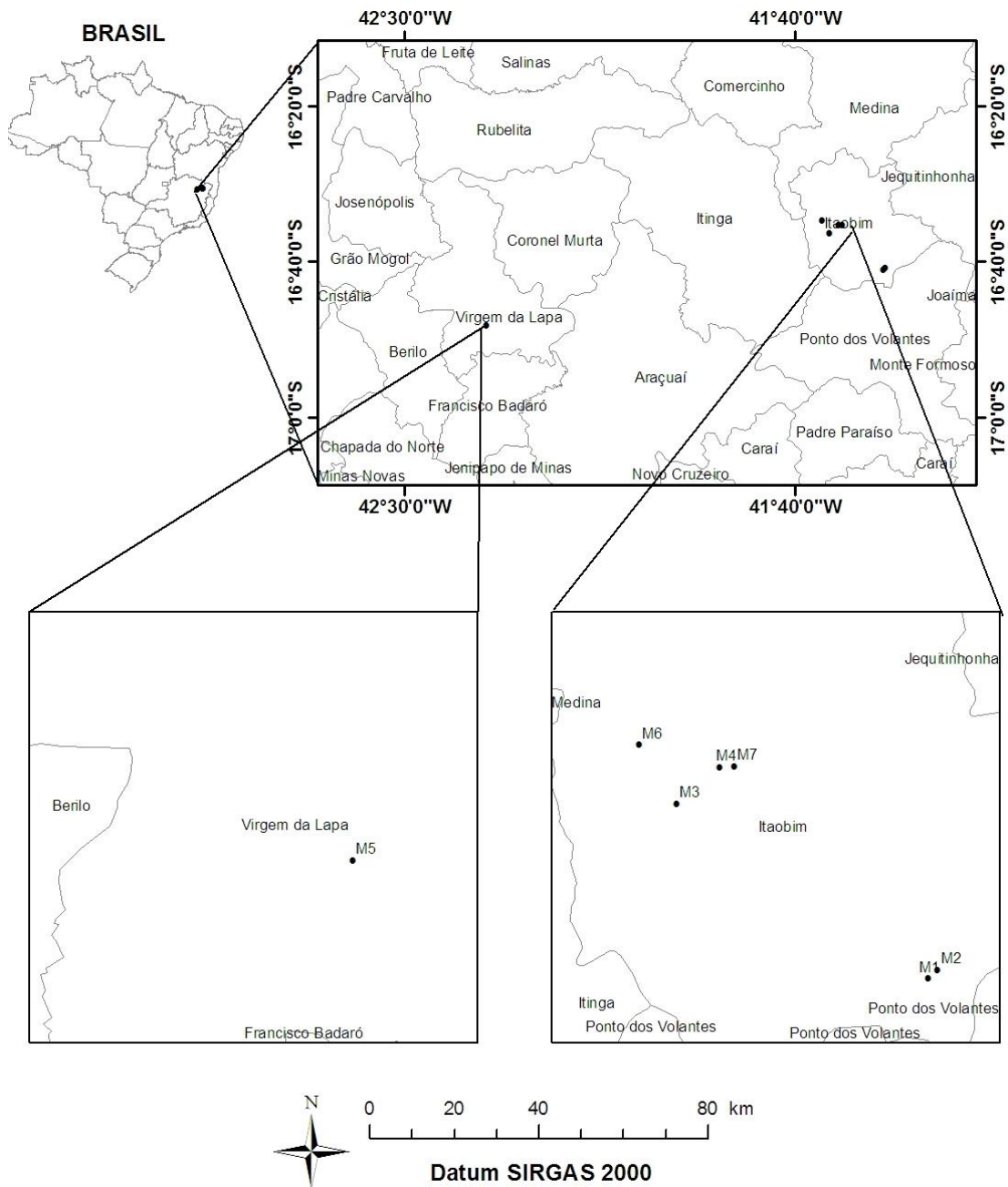


Figura 1. Localização dos pontos de coleta dos solos de murundus M1, M2, M3, M4, M5, M6 e M7

300 a 600 metros, com vegetação predominantemente de caatinga hipoxerófila, com jurema preta (*Mimosa sp.*) como a principal espécie observada por toda a área, inclusive sobre os murundus. A geologia da área refere-se as rochas granitóides e graníticas no município de Itaobim, e mica-xistos a rocha calcissilicática do Grupo Macaúbas em Virgem da Lapa. O regime climático desses municípios é o tipo Bsw

(semiárido), com curta estação chuvosa no verão (abaixo dos 1000 mm), e temperaturas médias anuais de 23 °C (Perillo, 1995; Ferreira, 2009).

Foram descritos e coletados sete murundus (M1, M2, M3, M4, M5, M6 e M7) e sete perfis de solo na sua adjacência (P1, P2, P3, P4, P5, P6 e P7), aproximadamente a cinco metros de distância do murundu, conforme Santos et al. (2005) e classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006). Os murundus foram seccionados ao meio e divididos em três segmentos (camadas superior, central e inferior), chegando até mais de 1,0 m de profundidade (Figura 2).

As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de malha de 2 mm (TFSA). Com as amostras deformadas, determinou-se a análise granulométrica de acordo com Embrapa (1997), modificado por Ruiz (2005). Nas amostras indeformadas, procedeu-se à determinação da densidade do solo pelo método do anel volumétrico, e posterior cálculo do volume total de poros ( $V_p = (1 - (D_s/D_p))$ ). A microporosidade foi considerada como o volume de água equilibrada, após saturação, submetida à mesa de tensão a 0,60 m de coluna de água, e a macroporosidade, definida pela diferença de volume entre porosidade total e microporosidade (Embrapa, 1997).

A difratometria de raios-X das frações argila natural e desferrificada foi realizada nas amostras dos horizontes B dos perfis de solos e nas camadas dos murundus. As amostras de argila natural, argila desferrificada com ditionito-citrato-bicarbonato - DCB (Mehra e Jackson, 1960) foram preparadas em lâminas orientadas por esfregaço. Foi utilizado difratômetro X'Pert Pro (PANalytical), com radiação de  $CoK\alpha$  e irradiação entre 4 a 45 °2 $\theta$ , em intervalos de 0,01 °2 $\theta$  a 1 passo  $s^{-1}$ , com tensão de 40 kV e corrente de 30 mA.

Na determinação da cristalinidade da caulinita (Ct) utilizaram-se amostras de argila desferrificadas, após tratamento com DCB, e montadas em lâminas escavadas. Utilizou-se a relação da altura do pico 020 com a altura da linha de base entre os picos 131 e 003, proposto por Hughes & Brown (1979) (ver Anexo, Figura 1A). As caulinitas utilizadas como padrão para a identificação da maior ou menor cristalinidade foi obtida da Clays Minerals Society Source Clay Minerals (University of Missouri), com valores de 17,37 e 77,20, respectivamente. O difratograma foi obtido na faixa de 5 a 50 °2 $\theta$ , a uma velocidade angular de 0,02 °2 $\theta$  a cada 6 s.



Murundu 1 - M1



Murundu 2 - M2



Murundu 3 - M3



Figura 2. Solos de murundus coletados. Latossolo Amarelo Distrófico argissólico - M1, Argissolo Amarelo Distrófico típico - M2 e M3.



Murundu 4 - M4



Murundu 5 - M5



Figura 2. Solos de murundus coletados. Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico - M4 e Argissolo Vermelho Eutrófico típico - M5.

Murundu 6 - M6



Murundu 7 - M7



Figura 2. Solos de murundus coletados. Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico - M6 e Cambissolo Háplico Tb Eutrófico típico - M7.



Os teores de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, TiO<sub>2</sub> e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> foram determinados na terra fina seca ao ar (TFSA) após tratamento com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1:1 (Embrapa, 1997) e quantificados por espectrofotometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado. Com estes dados foi calculado a relação molecular Ki.

Para o estudo das feições micropedológicas utilizaram-se lâminas obtidas de amostras indeformadas das camadas superior e inferior dos murundus e do horizonte B dos perfis de solo. As amostras foram expostas ao ar livre até sua secagem e impregnadas à vácuo com resina de poliéster (1:1), para análise em microscópio petrográfico. A observação e análise das feições pedológicas foram baseadas em Bullock et al (1985) e Schaefer et al. (2002). Após a identificação das feições pedológicas, as lâminas delgadas foram analisadas quimicamente por espectrometria de fluorescência de raios-X, utilizando microEDX - 1300.

### **3. Resultados e Discussão**

As frações silte e argila nas camadas de solos dos murundus M1, M2, M3 e M5 atingiram mais de 500 g kg<sup>-1</sup> do total da terra fina seca ao ar, enquanto nos murundus de Cambissolos Háplicos M4, M6 e M7 foram os teores de areia grossa e fina (Tabela 1). Mais de 200 g kg<sup>-1</sup> da fração cascalho foi observado nos murundus de Cambissolos M6 e M7, localizados em áreas dissecadas da paisagem a 263 e 261 m de altitude, assim receberam maior contribuição de material detrítico coluvial durante o processo de denudação da paisagem (Brasil, 1970).

Murundus e perfis de solos não apresentaram diferenças marcantes entre os teores de argila, não ficando evidente que tenha ocorrido seleção de partículas de menor diâmetro para a construção dos murundus, verificado pelos maiores teores de argila nos horizontes B (Tabela 1). Almeida (2008) também não verificou diferenças entre a porcentagem de argila dos ninhos de térmitas do gênero *Cornitermes* e o solo adjacente, refutando a hipótese da seletividade de partículas minerais mais finas. Além disso, a seleção de partículas dependerá do tipo de solo e construção a ser realizada (Jouquet et al., 2004).

Tabela 1. Características físicas das camadas de solos dos murundus e perfis de solos adjacentes

Murundu/ Perfil	Prof. cm	Casc.	Areia	Areia	Silte	Argila	Ds	Macro	Micro	V <sub>p</sub>
			Grossa	Fina						
			g kg <sup>-1</sup>		g cm <sup>-3</sup>			m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>		
M1 - Murundu 1										
Superior	0-30	0	303	100	150	450	1,30	0,231	0,201	0,432
Central	50-100	0	250	97	110	543	1,29	0,270	0,171	0,441
Inferior	100-200+	0	240	110	120	530	1,31	0,178	0,274	0,452
P1 - Latossolo Amarelo Distrófico argissólico										
Bw2	53-104+	0	233	100	110	557	1,22	0,250	0,230	0,479
M2 - Murundu 2										
Superior	0-30	0	267	107	137	490	1,19	0,258	0,246	0,504
Central	50-100	0	247	117	143	493	1,18	0,263	0,249	0,512
Inferior	100-200+	0	250	127	220	403	1,17	0,298	0,252	0,550
P2 - Argissolo Amarelo Distrófico típico										
Bt2	102-142+	0	327	90	120	463	1,31	0,232	0,238	0,470
M3 - Murundu 3										
Superior	0-30	0	330	117	160	393	1,54	0,120	0,261	0,380
Central	50-100	0	340	133	137	390	1,48	0,127	0,245	0,372
Inferior	100-200+	0	287	123	180	410	1,44	0,184	0,261	0,445
P3 - Argissolo Amarelo Distrófico típico										
Bt2	55-157+	0	287	83	133	497	1,42	0,194	0,223	0,417
M4 - Murundu 4										
Superior	0-30	0	363	170	163	303	1,58	0,102	0,257	0,359
Central	50-100	0	343	183	160	313	1,52	0,157	0,222	0,379
Inferior	100-200+	0	360	197	243	200	1,48	0,134	0,238	0,373
P4 - Cambissolo Háplico Tb distrófico típico										
Bi2	90-110+	0	390	137	160	313	1,55	0,179	0,201	0,380
M5 - Murundu 5										
Superior	0-30	0	40	187	347	427	1,51	0,103	0,318	0,421
Central	50-100	0	43	220	363	373	1,32	0,158	0,317	0,475
Inferior	100-200	0	40	189	380	365	1,38	0,131	0,312	0,442
P5 - Argissolo Vermelho Eutrófico típico										
Bt3	50-132+	0	40	170	277	513	1,16	0,222	0,316	0,538
M6 - Murundu 6										
Superior	0-30	190	340	160	130	180	Nd	nd	nd	nd
Central	50-100	160	240	230	150	220	Nd	nd	nd	nd
Inferior	100-200+	100	380	190	130	200	Nd	nd	nd	nd
P6 - Cambissolo Háplico Ta Eutrófico argissólico										
Bi2	60-130+	150	280	220	150	200	Nd	nd	nd	nd
M7 - Murundu 7										
Superior	0-30	300	110	140	120	330	Nd	nd	nd	nd
Central	50-100	250	120	160	150	320	Nd	nd	nd	nd
Inferior	100-200+	170	200	150	260	220	Nd	nd	nd	nd
P7 - Cambissolo Háplico Tb Eutrófico típico										
Bi2	60-100+	240	170	160	150	280	Nd	nd	nd	nd

Ds= densidade do solo. V<sub>p</sub>= volume total de poros, 1-D<sub>s</sub>/D<sub>p</sub>, nd = não determinando.

A densidade do solo nos murundus variou de 1,17 a 1,58 g cm<sup>-3</sup> e foi maior nos murundus M1, M3 e M5, acompanhando os menores valores de porosidade total (Tabela 1). Os murundus estudados podem ser considerados como “paleomurundus” em razão da baixa diversidade de organismos da fauna do solo (térmitas ou minhocas) atualmente observados, reduzindo a redistribuição e homogeneização constante das camadas de solos nos murundus. Dessa forma, parece que quando a atividade biológica diminui, os processos naturais de compactação são favorecidos, reduzindo a porosidade e conseqüentemente aumentando a densidade. Além disso, o ajuste de partículas minerais na fração argila como a caulinita, e a configuração topográfica dos cupinzeiros, parece ser responsável pela maior coesão desses materiais. Santos et al. (2011) observaram que em áreas de intensa atividade de cupins em murundus no estado de Goiás a porosidade foi favorecida enquanto que a densidade reduziu. Nos murundus a densidade do solo se manteve constante em profundidade, provavelmente devido a maior uniformidade na textura dentro dos murundus.

Os murundus M1, M3, M4 e M5 apresentaram menor quantidade de macroporos em relação ao perfis de solos a eles relacionados (Tabela 1). A redução de poros de maior diâmetro na camada superior dos murundus pode provocar uma redução da infiltração de água, favorecendo ao escoamento superficial, em razão da configuração topográfica dos murundus e pela sua localização na paisagem, em áreas de relevo mais dissecado. Rosa et al. (2011) não observaram diferenças entre a macroporosidade e disponibilidade de água para as plantas em murundus no estado de Goiás.

Durante a descrição morfológica no campo, a camada superior do murundu M4 de Cambissolo mostrou-se muito coeso, dificultando a abertura da trincheira para análise, o que está de acordo com os mais altos valores de densidade do solo (1,58 g cm<sup>-3</sup>). Além disso, a mineralogia caulínica e os baixos teores de Fe, normalmente observados nos Cambissolos Háplicos em áreas de relevo mais movimentado, podem explicar o maior ajuste face a face das partículas de caulinita. Além disso, foram originados a partir de sedimentos colúviais, permitindo maior compactação durante seu processo de formação. Nos murundus M6 e M7 os teores maiores de areia grossa e cascalho ajudaram na redução da coesão (Tabela 1).

Caulinita e ilita são minerais comumente encontrados nos solos da região, reflexo do intemperismo de rochas graníticas. A caulinita foi observada em todas as

camadas de solos dos murundus e perfis de solos (Figura 3). É formada a partir de uma grande variedade de materiais de origem (Volkoff et al., 1989), por isso, é o argilomineral mais comum nos solos brasileiros.

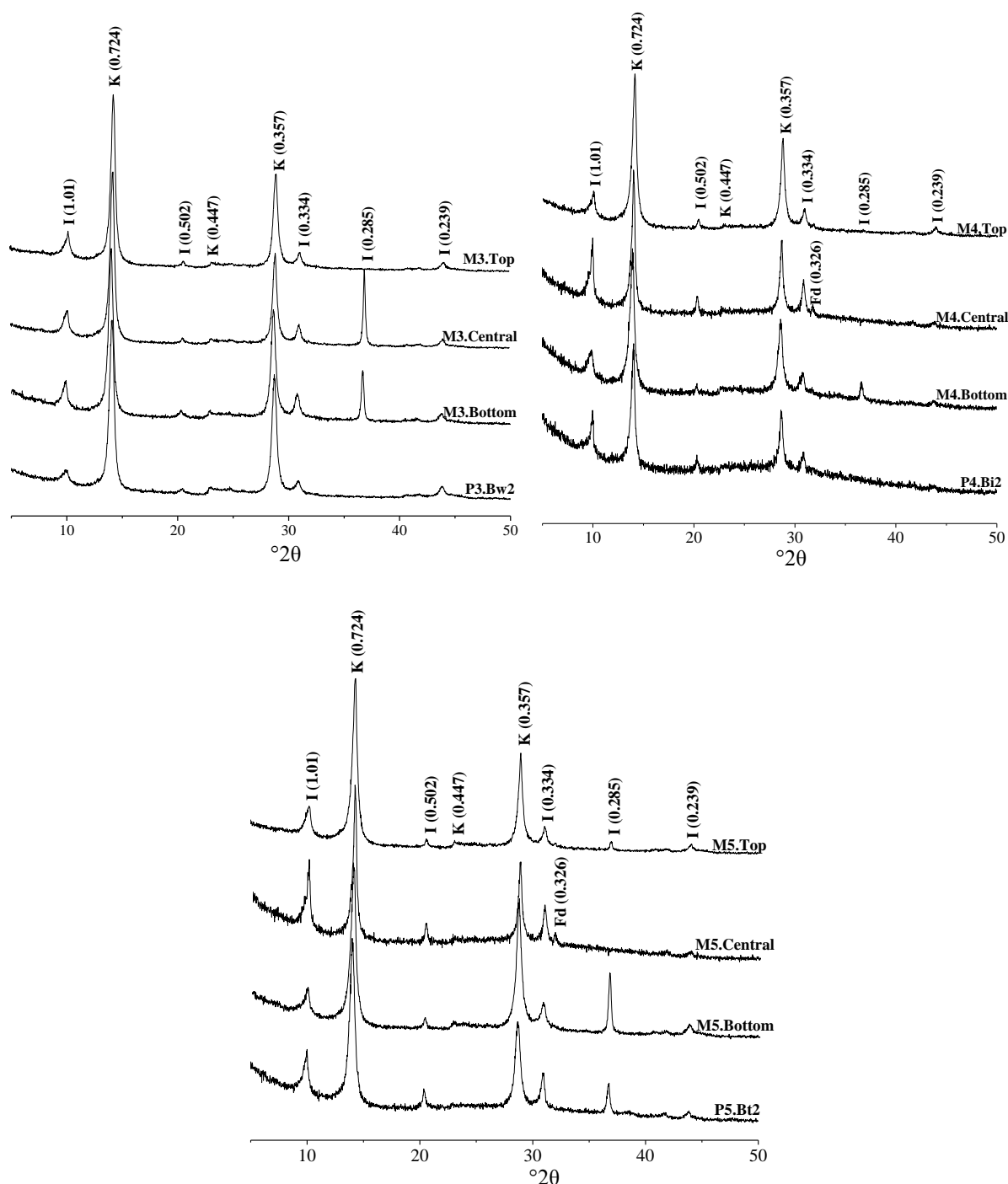


Figura 3. Difratomia de raios-x ( $K\alpha_{Co}$ ) da fração argila desferrificada de solos de murundus e horizonte diagnóstico B dos perfis de solos adjacentes. K – Caulinita, I – Ilita.

Além de processos de intemperismo e lixiviação, é provável que térmitas também possam funcionar como agentes do intemperismo químico (Sako et al., 2009 e Millogo et al., 2011).

Kaschuk et al. (2006) também não observaram mudanças na composição mineralógica de solos com e sem atividade de térmitas, atribuindo isso a minerais altamente estáveis como como caulinita e vermiculita com hidróxi entre camadas.

A presença de illita nas camadas de solos dos murundus e solos limítrofes também foi observada por Simões (2009) e Embrapa (2005) para a classe dos Cambissolos Háplicos em solos e murundus da região de Itaobim, MG.

O índice de cristalinidade da caulinita de Hughes e Brown (ICHB) presente na fração argila dos solos de murundus e perfis de solos foi semelhante, sugerindo que a fração argila é dominada por caulinitas com elevado grau de desordem estrutural (Tabela 2), como observado por Corrêa et al. (2008), Melo et al. (2001), Fernandes (2011) e Hughes & Brown (1979) para caulinitas de solos de regiões tropicais úmidas ( $7,8 \pm 2,0$ ). Os valores do ICHB sugerem que a atividade térmitica não foi suficiente para promover modificações na estrutura dos argilominerais como a caulinita, em razão da sua grande estabilidade mineralógica (Kaschuk et al., 2006).

Com o processo natural do intemperismo químico ocorre uma diminuição do tamanho e da cristalinidade dos minerais de caulinita (Fernandes, 2000). Ou seja, a baixa cristalinidade da Ct é observada em solos pedogeneticamente mais evoluídos, em razão dos menores valores do índice de Hughes & Brown (1979), provocados pelo empilhamento das camadas do mineral na direção Z e interestratificações com outros minerais (Plançon & Zacarie, 1990). Nos solos de murundus e perfis de solos adjacentes não foram observadas diferenças no ICHB, indicando que mesmo nas classes de solos mais jovens (Cambissolos Háplicos), as caulinitas apresentaram pior cristalinidade que aquelas utilizadas como padrão para efeito de comparação (Figura 4). Isso indica que estes solos são formados por materiais pré-intemperizados, oriundos de material coluvial, onde os processos de lixiviação e transformação de minerais aconteceu de forma mais intensa. Nos solos de murundus houve tendência do ICHB aumentar em profundidade sugerindo na camada inferior dos murundus a Ct poderia estar mais preservada do que na região do topo (Tabela 2).

Os resultados da digestão sulfúrica permitiu separar as diferentes classes de solos de acordo com seus teores de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , indicando respectivamente a ocorrência de maior dessilicificação no Latossolo Amarelo, pedogênese

Tabela 2. Ataque sulfúrico, relação Ki e índice de cristalinidade de caulinita dos murundus e perfis de solos estudados

Murundu/ Perfil	Prof. cm	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ki	IHB
dag kg <sup>-1</sup>									
M1 - Murundu 1									
Superior	0-30	15,48	16,31	1,63	0,0	0,18	0,03	1,61	15,44
Central	50-100	17,86	18,37	1,83	0,0	0,21	0,03	1,65	15,76
Inferior	100-200+	17,22	18,64	1,87	0,0	0,21	0,02	1,57	18,53
P1 - Latossolo Amarelo Distrófico argissólico									
Bw2	53-104+	20,20	20,59	2,01	0,0	0,23	0,03	1,67	14,89
M2 - Murundu 2									
Superior	0-30	13,05	17,10	1,72	0,0	0,21	0,03	1,30	17,69
Central	50-100	12,74	15,61	1,56	0,0	0,19	0,02	1,39	15,76
Inferior	100-200+	12,09	16,28	1,65	0,0	0,20	0,02	1,26	19,69
P2 - Argissolo Amarelo Distrófico típico									
Bt2	102-142+	14,08	17,03	1,69	0,0	0,21	0,02	1,41	13,51
M3 - Murundu 3									
Superior	0-30	10,58	12,01	2,11	0,02	0,25	0,07	1,49	14,48
Central	50-100	10,29	12,82	2,23	0,02	0,26	0,06	1,36	15,44
Inferior	100-200+	11,65	15,75	2,57	0,03	0,30	0,06	1,25	15,41
P3 - Argissolo Amarelo Distrófico típico									
Bt2	55-157+	12,46	16,22	2,43	0,01	0,29	0,06	1,30	17,37
M4 - Murundu 4									
Superior	0-30	18,76	16,75	1,34	0,0	0,12	0,02	1,90	15,09
Central	50-100	17,76	14,75	1,34	0,0	0,12	0,02	2,04	16,02
Inferior	100-200+	19,27	17,32	1,14	0,02	0,11	0,03	1,89	15,83
P4 - Cambissolo Háplico Tb distrófico típico									
Bi2	90-110+	12,50	11,91	1,25	0,02	0,13	0,03	1,78	13,69
M5 - Murundu 5									
Superior	0-30	12,27	15,35	5,75	0,10	0,66	0,03	1,35	17,65
Central	50-100	10,95	12,93	5,18	0,12	0,60	0,04	1,43	16,16
Inferior	100-200	11,51	13,02	5,20	0,13	0,59	0,04	1,50	17,92
P5 - Argissolo Vermelho Eutrófico típico									
Bt3	50-132+	10,02	12,71	5,07	0,14	0,60	0,05	1,34	19,78
M6 - Murundu 6									
Superior	0-30	12,70	11,92	0,96	0,01	0,13	0,03	1,81	15,01
Central	50-100	12,44	10,65	1,05	0,02	0,15	0,03	1,98	14,13
Inferior	100-200+	13,24	12,15	0,99	0,01	0,13	0,03	1,85	16,16
P6 - Cambissolo Háplico Ta Eutrófico argissólico									
Bi2	60-132+	11,08	10,29	1,05	0,01	0,14	0,02	1,83	14,15
M7 - Murundu 7									
Superior	0-30	14,84	13,54	1,01	0,01	0,13	0,03	1,86	14,58
Central	50-100	18,83	16,04	0,92	0,02	0,14	0,03	1,99	16,27
Inferior	100-200+	18,08	17,69	1,02	0,02	0,15	0,02	1,73	14,67
P7 - Cambissolo Háplico Tb Eutrófico típico									
Bi2	60-100+	12,56	11,68	1,01	0,01	0,10	0,02	1,82	13,75

IHB, índice de cristalinidade da caulinita (Hughes & Brown, 1979).

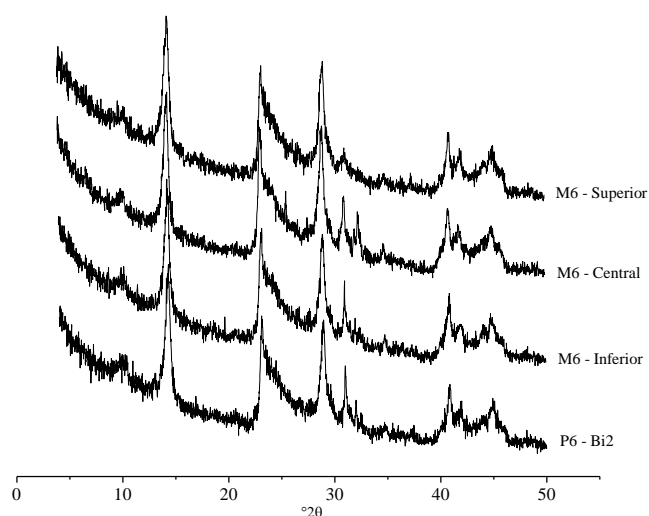


Figura 4. Difratometria de raios-x ( $K\alpha Co$ ) da fração argila desferrificada do murundu M6 e horizonte diagnóstico Bi (P6) rodadas de 10 a 50  $^{\circ}2\theta$  para o cálculo da cristalinidade (Hughes & Brown, 1979)

intermediária nos Argissolos Vermelhos e pouca remoção de silicatos nos Cambissolos Háplicos (Tabela 2). Em razão disso, os valores da relação  $K_i$  foram mais elevadas para murundus M4, M6 e M7 de Cambissolos (próximos a 2,00), e abaixo de 1,70, para M1, M2, M3 e M5 originados de Latossolo e Argissolo.

Os teores de  $Fe_2O_3$  foram baixos para solos de murundus e perfis de solos, notadamente para os Cambissolos Háplicos ( $0,96 \text{ dag kg}^{-1}$ ), indicando pobreza em ferro do material de origem quanto a este elemento (rochas graníticas leucocráticas e sedimentos coluviais) (CPRM, 2005a) (vide descrição micromorfológica) (Tabela 3). Geomorfologicamente, os Cambissolos são originados de deposições coluviais da dissecação das chapadas, podendo em alguns casos, o ferro aparecer capeando parcialmente os grãos de quartzo (Simões, 2009). P5 e M5 apresentaram teores de  $Fe_2O_3$  acima de  $5,00 \text{ dag kg}^{-1}$  de, resultado da degradação de seu material originário muito rico em ferro e depositado durante a dissecação e erosão de rochas mais antigas.

Os teores de  $TiO_2$  e  $P_2O_5$  foram baixos, sem variações em profundidade em perfis de solos e murundus, estando condizentes com os observados por Brasil (1970) e Simões (2009), sugerindo a pobreza do material de origem nestes elementos (Tabela 2).

A análise micromorfológica dos murundus e solos adjacentes revelou pouca diferença entre suas feições micropedológicas, principalmente no tipo de

Tabela 3. Características micromorfológicas dos murundus e perfis de solos estudados

Murundu/ Perfil	Prof. cm	Composição e padrão de arranjo do esqueleto	Microestrutura e plasma	Pedofeições
M1 Superior (a)	15-30	Esqueleto quartzoso, mal selecionado, com quartzo fraturado ou límpido, arestado ou arredondado, indicando transporte em fluxos de enxurrada, com pouca seleção.	Plasma bruno-claro isotrópico com poucas pápulas; pedalidade fraca, coesa. Estrutura microgranular pequena (350-500 $\mu\text{m}$ ), coalescida em blocos subangulares e agregados e grãos com revestimentos descontínuos e parciais de natureza mineral (argila dispersa); bolsões mais argilosos (canais biológicos); presença de vesículas.	Abundantes carvões em microfragmentos, pontuações de hematita (Hm), revestimentos nos grãos de quartzo por argila dispersa; runiquartz (fraturas preenchidas), opacos dispersos.
M1 Inferior (b)	100-125+	Esqueleto quartzoso, mal selecionado, com quartzo fraturado ou límpido, arestado ou arredondado, indicando transporte em fluxos de enxurrada, com pouca seleção. Maior teor de argila em relação ao topo; menor proporção de areias.	Plasma bruno-claro isotrópico muito denso, com muitas pápulas de argila dispersa orientadas; pedalidade fraca, muito coesa, estrutura microgranular pequena fraca e muito coalescida (agregados de 500 $\mu\text{m}$ ) e blocos subangulares; presença generalizada de revestimentos de natureza mineral (argila dispersa); presença de vesículas.	Pontuações de Hm, revestimentos generalizados nos grãos de quartzo, por argila dispersa; pouco runiquartz (fraturas preenchidas); raros carvões, opacos dispersos.
P1 Bw2 (c)	102-142+	Esqueleto quartzoso, mal selecionado, com quartzo fraturado ou límpido, arestado ou arredondado, indicando transporte em fluxos de enxurrada, com pouca seleção.	Plasma bruno-claro isotrópico com pápulas comuns; pedalidade moderada, coesa, microgranular pequena (300-500 $\mu\text{m}$ ) em parte coalescida em blocos subangulares, em parte desenvolvida; agregados e grãos com revestimentos de argila dispersa, orientada.	Carvões comuns em microfragmentos, muitas pontuações de Hm, revestimentos nos grãos de quartzo por argila dispersa; runiquartz presente, e minerais opacos.
M4 Superior (d)	15-30	Esqueleto quartzoso, mal selecionado, com quartzo fraturado ou límpido, arestado ou arredondado, indicando transporte em fluxos de enxurrada, com pouca seleção. Raros feldspatos; Colúvio mais siltoso, com algum material micáceo aparente.	Plasma bruno-claro isotrópico com poucas pápulas; pedalidade fraca, coesa, estrutura fraca em blocos subangulares e zonas com agregados organo-minerais, e grãos com revestimentos descontínuos e parciais, de natureza mineral (argila dispersa); presença de vesículas.	Poucos carvões em microfragmentos, algumas pontuações de Hm, revestimentos nos grãos de quartzo, por argila dispersa; pouco runiquartz (fraturas preenchidas), opacos dispersos.
M4 Inferior (e)	100-125+	Esqueleto quartzoso, mal selecionado, com quartzo fraturado ou límpido, arestado ou arredondado, indicando transporte em fluxos de enxurrada, com pouca seleção. Feldspatos pouco comuns; algum material micáceo.	Plasma bruno-claro isotrópico; pedalidade muito fraca, muito coesa, estrutura fraca em blocos subangulares e zonas com agregados organo-minerais, e grãos com revestimentos descontínuos, de natureza mineral (argila dispersa); presença de vesículas.	Pontuações de Hm, revestimentos nos grãos de quartzo, por argila dispersa; pouco runiquartz (fraturas preenchidas), opacos dispersos.



Tabela 3. Características micromorfológicas dos murundus e perfis de solos estudados

Murundu/ Perfil	Prof. cm	Composição e padrão de arranjo do esqueleto	Microestrutura e plasma	Pedofeições
P4 Bi2 (f)	90-110+	Esqueleto quartzoso, mal selecionado, com quartzo fraturado ou límpido, com forte ajuste areia fina-areia grossa. Os grãos são arestados indicando transporte em fluxos de enxurrada, com pouca seleção e matriz clasto supertada. Feldspatos comuns; algum material micáceo aparente.	Plasma bruno-claro isotrópico; pedalidade muito fraca, muito coesa, estrutura fraca em blocos subangulares e zonas com agregados organo-minerais, e grãos com revestimentos descontínuos, de natureza mineral (argila dispersa); presença de vesículas e poros não conectados.	Agregados termíticos recentes em canais, pontuações de Hm, revestimentos de argila dispersa descontínuos nos grãos de quartzo; pouco runiquartz (fraturas preenchidas), opacos dispersos, carvões pequenos.
M5 Superior (g)	15-30	Esqueleto quartzoso, de tamanho pequeno e pouco selecionado, com muita ferruginização em concreções arredondadas em estágios diversos de alteração.	Plasma vermelho até amarelado, isotrópico e com pápulas comuns; pedalidade moderada, estrutura incompleta em blocos subangulares, com muitos revestimentos iluvais orientados, de cor mais amarela que o plasma; certa bicromia.	Carvões, concreções ferruginosas degradadas, galerias de térmitas com agregados, muita argila dispersa e pontuações de Hm; opacos.
M5 Inferior (h)	100-125+	Esqueleto quartzoso, de tamanho pequeno e pouco selecionado, com ferruginização em concreções arredondadas bem definidas em pouca alteração.	Plasma vermelho e alaranjado escuro, isotrópico e com muitas zonas anisotrópicas com cutans e pápulas abundantes, de cor vermelha; pedalidade fraca, estrutura incompleta em blocos subangulares com muitas zonas microgranulares em canais preenchidos; muitos revestimentos iluviais orientados, de cor vermelha; pouca bicromia.	Opacos, concreções ferruginosas inalteradas ou degradadas, pontuações Hm abundantes, canais biológicos de térmitas com microagregados; alteromorfos de micas abundantes, alguns alteromorfos máficos.
M5 Bt3 (i)	50-139+	Esqueleto quartzoso, de tamanho pequeno e pouco selecionado, com concreções arredondadas muito alteradas; presença de minerais micáceos em tamanho de silte.	Plasma vermelho e alaranjado escuro, isotrópico e com muitas zonas anisotrópicas com cutans e pápulas abundantes, de cor vermelha e defeitos na matriz; pedalidade moderada, estrutura em blocos subangulares com zonas microgranulares em canais preenchidos; muitos revestimentos iluviais orientados, de cor vermelha alaranjada.	Opacos, concreções ferruginosas fortemente degradadas, com auréolas de dissolução, pontuações de Hm abundantes, alteromorfos de micas bem pequenos, em tamanho de silte, raros alteromorfos de minerais máficos.

desenvolvimento da estrutura que variou de microgranular a blocos subangulares (Tabela 3).

Na figura 5a, b, c, visualiza-se a microestrutura granular da parte superior e inferior do M1 e do horizonte Bw2 do P1, ambos com plasma bruno-claro, e pedalidade fraca a moderada, coesa e parcialmente coalescida em blocos subangulares. No Bw2 o grau de desenvolvimento da microestrutura é maior, com agregados entre 300 a 500  $\mu\text{m}$ , e com menor coesão do que na parte inferior do M1.

A camada superior do M1 apresenta maior porosidade que a base do murundu, com vazios pouco conectados, e agregados poligonais, principalmente pela mineralogia caulínica. Poucos são os agregados mais soltos, apresentam forma esférica e, possivelmente originados de atividade termítica atual (Figura 5a). Na maioria dos casos, encontram-se preenchidos com grãos de quartzo, unindo-se e soldando-se, formando arranjo poligonal (microagregados soldados), compondo estrutura com grau de desenvolvimento incompleto.

Na base do murundu M1 os agregados estão ainda mais coalescidos, apresentando aspecto massivo, com pedalidade muito fraca (Figura 5b). Os vazios também são desconectados, com restos de carvão e pontuações ferruginosas. A natureza caulínica/ilítica, associado ao peso do montículo, provavelmente favorecem ao arranjo coalescido da estrutura, resultando em maiores valores de densidade do solo (Tabela 1). A justaposição ordenada das caulinitas pode originar solos com densidade mais elevada, contribuídos pela ausência ou menor expressão de agentes cimentantes como óxidos de alumínio e ferro e matéria orgânica, causando menor desorganização estrutural (Resende et al., 2007). De acordo com Dixon (1989) cristais de caulinitas com alto grau de ordem estrutural e com formas hexagonais favorecem o arranjo face a face.

No perfil P4 (Cambissolo Háptico), a estrutura forma blocos subangulares, com pedalidade muito fraca e muito coesa (Figura 5f), com agregados de origem pedobiológica recentes em canais, grãos de quartzo com revestimento descontínuo de argila dispersa, pequenos fragmentos de carvão e pontuações de hematita. Esses materiais são originados de sedimentos coluviais, com forte ajuste de partículas, formando uma matriz cimentada coesa, com presença de feldspatos pouco alterados ou não, indicando fraca pedogenese pós-deposicional. Poucas foram as diferenças micromorfológicas entre o horizonte Bi2 (P4) e o murundu (M4). Dentre elas estão à presença de pápulas na camada superior, caracterizadas por microdeposições que recobrem poros maiores e formam zonas estriadas (Figura 5d), presença de vesículas, zonas com agregados organo-

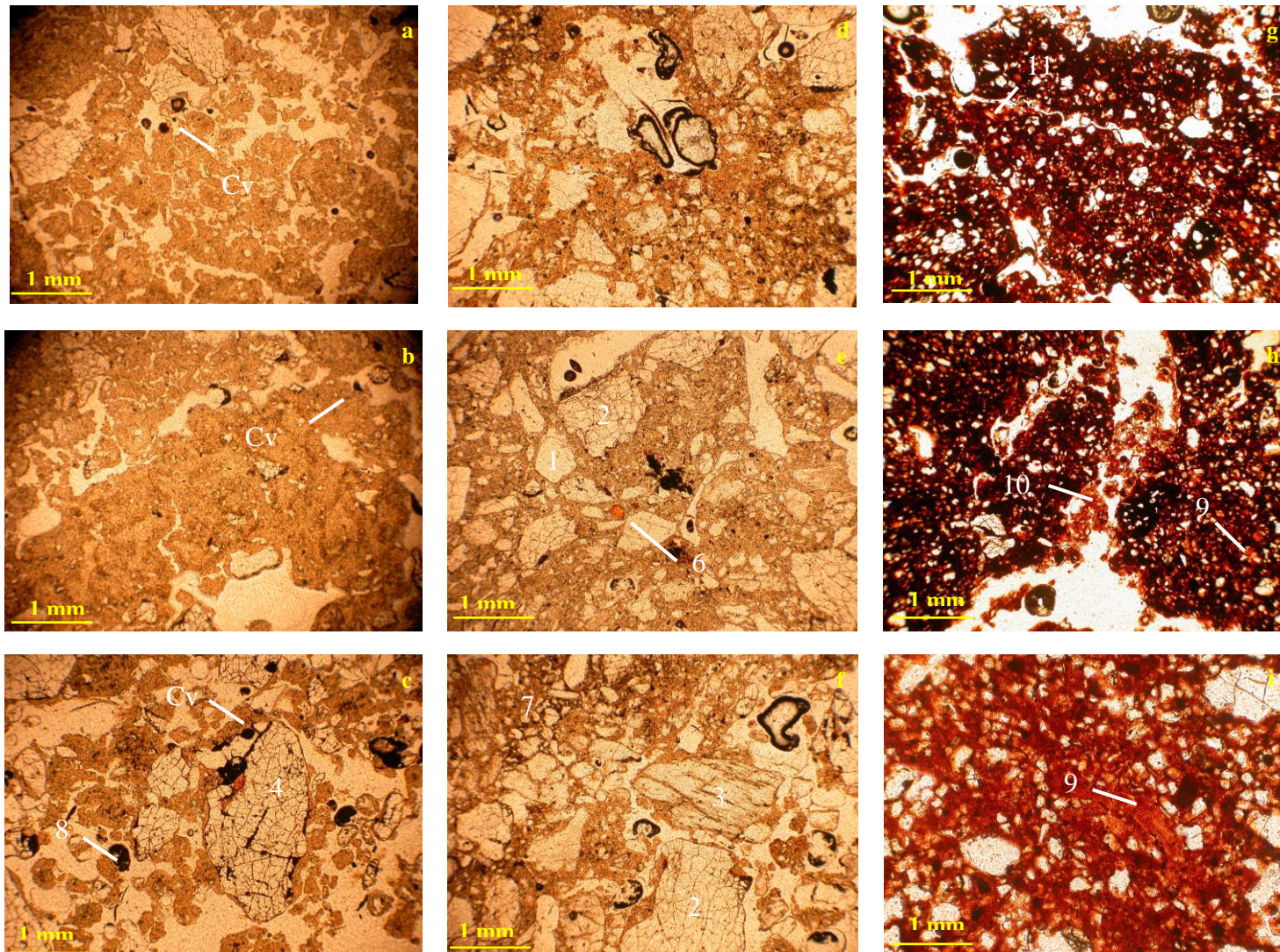


Figure 5. Fotomicrografias de murundus e perfis de solos adjacentes. 1 - quartzo límpido; 2 - quartzo fraturado; 3 - Feldspato parcialmente intemperizado; 4 - quartzo com preenchimento (runiquartz); 5 - Carvão (Cv); 6 - micropontuação de Hematita (Hm); 7 - grãos com revestimento; 8 – micropontuações Ti-Fe (opacos); 9 – pápulas; 10 – argila dispersa ao longo de canal biológico; 11 – argila dispersa e revestimentos iluviais.

minerais e grãos de quartzo com revestimentos de natureza mineral, tanto descontínuos como parciais. Nesses termiteiros observou-se maior seleção textural, menores teores de areia grossa e maiores de areia fina, recobertas com plasma, maior relação silte + argila, além de maior cimentação e estruturas biogênicas (Figura 5e).

O M5 apresenta bicromia no plasma, com geração atual mais brunada (goethítica) e uma anterior mais vermelha (hematítica), com estrutura microgranular relacionada a galerias de canal biológico com microagregados de coloração bruno-amarelada e matriz avermelhada (Figura 5g, h e i). A presença de argila dispersa promoveu a formação de cerosidade, cutâns de estresse e iluviais e, posteriormente de pápulas, feições características dos ciclos de umedecimento e secagem encontrada em solos argilosos, como a classe dos Argissolos Vermelhos (Figura 5g). A presença de pápulas também remete a solo tipicamente pedoturbado, sugerindo antigos ninhos de térmitas desfeitos nos murundus e solos, como se observa em maior quantidade na camada inferior do murundu M5 (Figura 5h).

A pedogênese em P5 e M5 aconteceu *in situ*, pela destruição de concreções ferruginosas (Figura 5i), corroborada pela presença de duas gerações de quartzo dentro e fora das concreções, sendo um mais microfraturado e muito quebrado, e outro, pequeno e relativamente arredondado do tamanho de areia fina. Praticamente não ocorre quartzo do tamanho de areia grossa, mas sim concreções ferruginosas fortemente degradadas. Além disso, são observadas litorrelíquias ferruginosas (alteromorfos) de minerais máficos e micáceos em tamanho de silte, principalmente no horizonte Bt3 (P5). Observou-se no campo a presença de blocos e concreções ferruginosas de tamanho variado a partir dos 75 cm de profundidade.

A composição química do plasma e agregados nos murundus e perfis de solos encontra-se na figura 6. Os teores de cálcio em ambos os espectros (a e b) são observados nos agregados tanto em M2 como em P2. O mesmo comportamento foi observado em M5 e P5 para Ca e K (Figura 6c e d), indicando que possivelmente esses cátions, com maior ênfase aos divalentes, podem contribuir positivamente para a estabilidade de agregados no solo. Mn e Fe apresentaram picos com maior intensidade dentro dos agregados no murundu M5, enquanto que no perfil de solo correspondente encontram-se no plasma. Provavelmente, o processo de destruição das concreções ferruginosas durante o processo de pedogênese, proporcionou sua incorporação no plasma do horizonte Bt2.



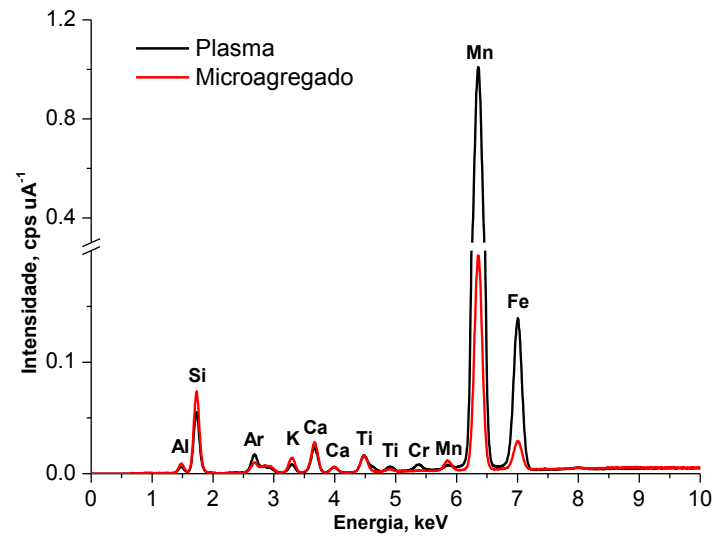
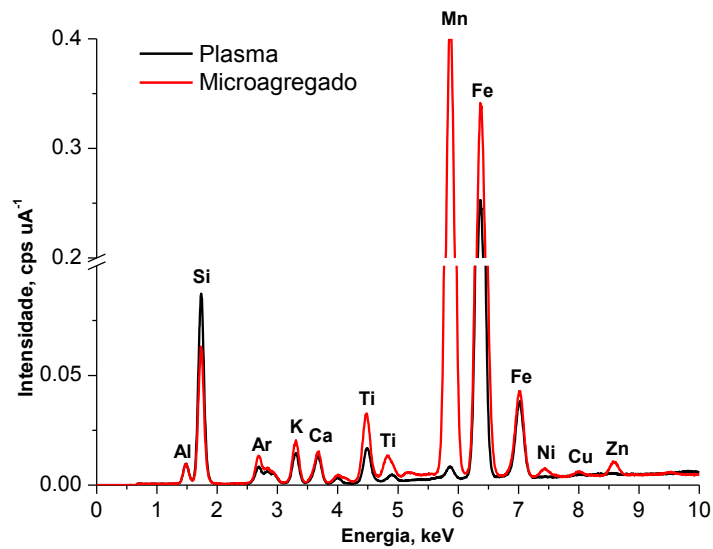
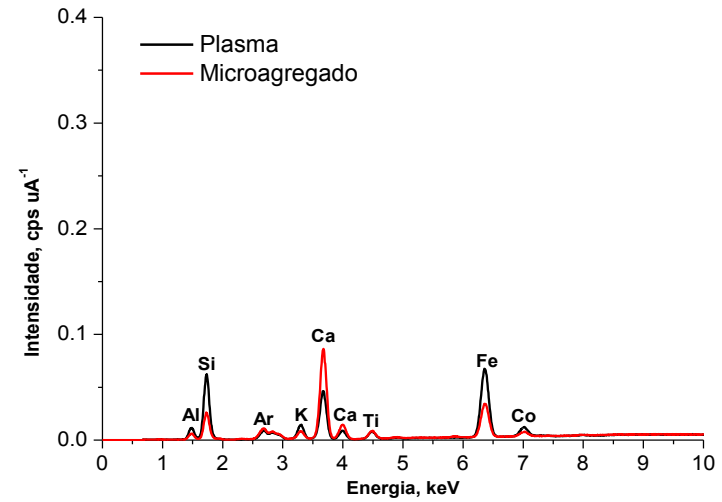
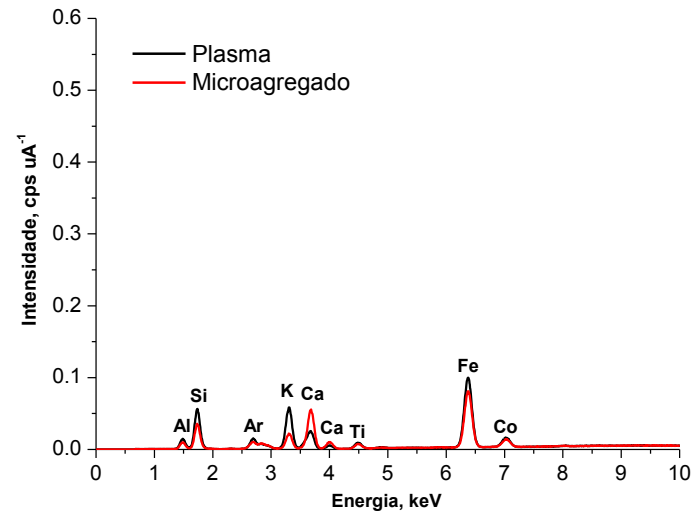


Figura 6. Espectro de EDX do plasma, microagregados e concreções determinados em seções finas em murundus e solos. a - Camada superior do M2; c - Camada superior do M5; b - Bt2 (P2) e d - Bt3 (P5).

#### **4. Conclusões**

1. Os teores de argila em murundus e perfis de solos foram semelhantes, evidenciando a não seletividade de partículas de menor diâmetro pelos térmitas;
2. Caulinita e illita foram os minerais encontrados na fração argila de solos de murundus e solos adjacentes. A presença de illita demonstra que os processos de alterações químicas e mineralógicas não foram tão intensos, principalmente nos murundus.
3. Solos de murundus e perfis de solos adjacentes apresentaram baixo índice de cristalinidade para caulinitas na fração argila.
4. A estrutura microgranular ocorreu em murundus e solos em alguns canais biológicos. A maior parte da estrutura estava coalescida, resultado da mineralogia caulinítica e baixos teores de ferro capazes de promover a desorganização das partículas de argila.
5. A composição química do plasma argiloso, agregados e concreções em murundus e solos foram semelhantes, principalmente nos teores de Ca, K, Fe e Mn.

## 5. Referências Bibliográficas

Abe, S.S., Yamamoto, S., Wakatsuki, T., 2009. Physicochemical and morphological properties of termite (*Macrotermes bellicosus*) mounds and surrounding pedons on a toposequence of an inland valley in the southern Guinea savanna zone of Nigeria. *Soil Science and Plant Nutrition*, 55: 514-522.

Almeida, J.S. Manutenção de temperatura e umidade e seletividade de partículas do solo em ninhos de *Cornitermes* (Isoptera: Termitidae) de uma floresta de terra firme da Amazônia Central. Disponível em: <http://pdbff.inpa.gov.br/cursos/efa/livro/2006/pdfs/pfjuliana.pdf>. Online. Acesso em: 15/11/2011.

Arveti, N.; Reginald, S.; Sunil Kumar, K.; Harinath, V.; Sreedhar, Y. 2011. Biogeochemical study of termite mounds: a case study from Tummalapalle area of Andhra Pradesh, India. *Environ. Monit Assess.*

Barros, E., Curmi, P., Hallaire, V., Chauvel, A., Lavelle, P. 2001. The role of macrofauna in the transformation and reversibility of soil structure of an oxisol in the process of forest to pasture conversion. *Geoderma*, 100:193-213.

Blake, G.R. & Hartge, K.H. Bulk Density. In: Klute, A., ed. *Methods of Soil Analysis: Physical and Mineralogical Methods*. Part. 1 Madison: American Society of Agronomy, 1986. 363-375.

Brasil. Ministério da Agricultura. 1970. Levantamento de Reconhecimento dos Solos da Zona do Médio Jequitinhonha – Minas Gerais. Rio de Janeiro: Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. 340p.

Brasil. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Secretaria Geral. 1981. Folha SE 24 Salvador: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra/Projeto RADAMBRASIL. Rio de Janeiro, 624p. (Levantamento de Recursos Naturais, 24).

Brasil. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Secretaria Geral. 1987. Folha SE 24 Rio Doce: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra/Projeto RADAMBRASIL. Rio de Janeiro, 548p. (Levantamento de Recursos Naturais, 34).

Brasil. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Departamento de Recursos Naturais. Divisão de Recursos Renováveis. Série Recursos de Solos nº 12. 1979. Levantamento Exploratório – Reconhecimento de Solos do Norte de Minas Gerais. Recife, 408p.

Brauman, A. 2000. Effect of gut transit and mound deposit on soil organic matter transformations in the soil feeding termite: A review. *Eur. J. Soil Biol.*, 36:117-125.

Bullock, P.; Fedoroff, N.; Jongerius, A.; Stoops, G.; Tursina, T.; Babel, U. 1985. Handbook for the Soil Thin Section Description. Waine Research Publications, Wolverhampton. 153 pp.

Corrêa, M.M.; Ker, J.C.; Barrón, V.; Torrent, J.; Fontes, M.P.F. & Curi, N. 2008. Propriedades cristalográficas de caulinitas de solo do ambiente tabuleiros costeiros, Amazônia e Recôncavo Baiano. R. Bras. Ci. Solo, 32:1857-1872.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2005a. Projeto Cadastro de Abastecimento por Águas Subterrâneas, Estados de Minas Gerais e Bahia: diagnóstico do município de Itaobim, MG – Belo Horizonte: CPRM.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2005b. Projeto Cadastro de Abastecimento por Águas Subterrâneas, Estados de Minas Gerais e Bahia: diagnóstico do município de Virgem da Lapa, MG – Belo Horizonte: CPRM.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2010. Geologia e recurso minerais das folhas Comercinho, Jequitinhonha, Almenara, Itaobim, Joáima e Rio do Prado - Projeto Jequitinhonha. Belo Horizonte: CPRM-BH, 376p.

Ferreira, E.V.O; Martins, V.; Inda Júnior, A.V.; Giasson, E.; Nascimento, P.C. 2011. Ação dos térmitas no solo. Ciência Rural, 41:804-811.

Dixon, J.B. Kaolin and serpentine group minerals. In: Dixon, J.B. e Weed, S.B. eds. Minerals in soil environments. 2ed. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.467-525.

Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos 1)

Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2006. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 306p.

Hughes, J.C.; Brown, G. 1979. A crystallinity index for soil kaolins and its relation to parent rock, climate and soil nature. J.Soil Sci., 30:557-563.

Ferreira, V. O. 2009. Climatologia da bacia do rio Jequitinhonha, em Minas Gerais: subsídios para a gestão de recursos hídricos. In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009, Viçosa/MG. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009.

Fernandes, R.B.A. 2000. Atributos mineralógicos, cor, adsorção e dessorção de fosfatos em Latossolos do Sudeste Brasileiro. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 265p. (Tese de Doutorado).

Jouquet, P. Mamou, L.; Lapage, M.; Velde, B. 2002a. Effect of termites on clay minerals in tropical soils: fungus-growing termites as weathering agents. European Journal of Soil Science, 53:521-527.



- Jouquet, P. Tessier, D.; Lapage, M. 2004. The soil structural stability of termite nests: role of clays in *Macrotermes bellicosus* (Isoptera, Macrotermitinae) mound soils. *European Journal of Soil Biology*, 40:23-29.
- Kaschuk, G.; Santos, J.C.P.; Almeida, J.A.; Sinhorati, D.C.; Berton-Junior, J.F. 2006. Termite activity in relation natural grassland soil attributes. *Sci. Agric.*, 63:583-588.
- Kappler, A & Brune, A. 1999. Influence of gut alkalinity and oxygen status on mobilization and sizeclass distribution of humic acids in the hindgut of soil-feeding termites. *Applied Soil Ecology*, 13:219-229.
- Holt, J.A. & Coventry, R.J. 1990. Nutrient cycling in Australian savannas. *Journal of Biogeography*, 17: 427-432.
- Lee, K. E. & Wood, T. G. 1971. Physical and chemical effects on soils of some Australian termites, and their pedological significance. *Pedobiologia*, 11: 376-409.
- Lee, K.E. & Foster, R.C. 1991. Soil fauna and soil structure. *Aust. J. Soil Res.* 29:745-775.
- Lobry de Bruyn, L.A.; Conacher, A.J., 1990. The role of termites and ants in soil modification: a review. *Australian Journal of Soil Research*, 28: 55-93.
- Mehra, O.P. & Jackson, M.L. 1960. Iron Oxide Removal from Soils and Clays by a Dithionite-Citrate System Buffered with Sodium Bicarbonate. 7 th Natl. Conf. on Clays and Clay Minerals. p. 317-327.
- Melo, V.F.; Singh, B.; Schaefer, C.E.G.R.; Novais, R.F.; Fontes, M.P.F. 2011. Chemical and mineralogical properties of kaolinite-rich Brazilian soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65: 1324-1333.
- Millolo, Y.; Hajjaji, M; Morel, J.C. 2011. Physical properties, microstructure and mineralogy of termite mound material considered as construction materials. *Applied Clay Science*, 52:160-164.
- Oliveira, F.R.; Duarte, U.; Menegasse, L.N. 2002. Levantamento hidrogeológico da área de Araçuaí no Médio Vale do Jequitinhonha-MG. *Revista Águas Subterrâneas*, 16: 39-56.
- Perillo, I.A., 1995. Almenara, Mapeamento geológico da Almenara - Folha SE. 24-V-A, Região Sudeste, escala 1:250.000, Serviço Geológico do Brasil, Brasília, 99p.
- Resende, M.; Curi, N.; Rezende, S.B.; Corrêa, G.F. 2007. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. 5ed. Lavras, MG, UFLA, 322p.
- Rosa, G.B.; Santos, F.C.V.; Santana, A.V.; Gonçalves, R.P.; Mendes, L.M.; Almeida, G.Q.E.; Correchel, V.; Carneiro, M.A.C. Caracterização físico-hídrica de Plintossolo Argilúvico sob diferentes usos. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2011, Uberlândia. *Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*. Minas Gerais: SBCS, Viçosa, 2011. p.1-4.

Santos, R.D.; Lemos, R.C.; Santos, H.G.; Ker, J. C.; Anjos, L.H.C. 2005. Manual de descrição e coleta de solos no campo. 5. ed. Viçosa, MG: SBCS, 100p.

Santos, F.C.V.; Custódio Filho, R.O.; Freitas, I.C.; Correchel, V.; Carneiro, M.A.C. Índice S como indicador da qualidade física de Plintossolo Argilúvico. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2011, Uberlândia. Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Minas Gerais: SBCS, Viçosa, 2011. p.1-4.

Sarcinelli, T.S.; Schaefer, C.E.G.R.; Lynch, L.S.; Arato, H.D.; Viana, J.H.M.; Albuquerque Filho, M. R.; Gonçalves, T.T. 2009. Chemical, physical and micromorphological properties of termite mounds and adjacent soils along a toposequence in Zona da Mata, Minas Gerais State, Brazil. *Catena*, 76:107-113.

Schaefer, C.E.G.R. 2001. Brazilian Latosols and their B horizon microstructure as long-term biotic constructs. *Aust. J. Soil Res.*, 39: 909-926.

Schaefer, C.E.G.R.; Ker, J.C.; Campos, J.C.F.; Costa, L.M.; Gilkes, R.; Saadi, A. 2002. Pedogenesis on the uplands of the Diamantina Plateau: a chemical and micropedological study. *Geoderma*, 107:93-119.

Semhi, K.; Chaudhuri, S.; Clauer, N.; Boeglin, J.L. 2008. Impact of termite activity on soil environment: A perspective from their soluble chemical components. *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 5:431-444.

Souto, L.S. Formigas, cupins e a ciclagem de nutrientes em solos tropicais. In: XXIX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 2010.

Strahler, A; Strahler, A.N. 2002. *Physical geography: science and systems of the human environment*. 2a ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 748p.

Suzuki, Y.; Matsubara, T; Hoshino, M. 2003. Breakdown of mineral grains by earthworms and beetle larvae. *Geoderma*, 112:131-142.

Vendrame, P.R.S.; Marchão, R.L.; Brito, O.R.; Guimarães, M.F.; Becquer, T. 2009. Relationship between macrofauna, mineralogy and exchangeable calcium and magnesium in Cerrado Oxisols under pasture. *Pesq. Agropec. Bras.*, 44:996-1011.

Volkoff, B.; Melfi, A.J.; Cerri, C.C. Solos Podzólicos e Cambissolos eutróficos do Alto rio Purus (Estado do Acre). *R. Bras. Ci. Solo*, 13:363-372, 1989.

## **CAPÍTULO 3**

### **Carbono orgânico total e carboidratos em agregados do solo em murundus no Médio Jequitinhonha-MG**

#### **1. Introdução**

A agregação do solo é um processo que envolve mecanismos físicos, químicos e biológicos, como resultado da combinação de substâncias orgânicas e inorgânicas com as partículas primárias do solo em unidades estruturais (Bronick & Lal, 2005). Fatores abióticos e bióticos como a presença de cátions cimentantes, ciclos de umedecimento e secagem, flocculação de minerais, presença de óxidos de ferro e alumínio, ação de plantas e microrganismos, além da presença de carboidratos no solo são responsáveis pela formação e estabilização de macro ( $> 0,25$  mm) e microagregados no solo ( $< 0,25$  mm) (Tisdall & Oades, 1982).

A matéria orgânica do solo é um dos composta em sua maioria por carboidratos, associados aos constituintes inorgânicos são responsáveis pela formação e estabilização dos agregados do solo (Tisdall & Oades, 1982). Nesse aspecto, excrementos produzidos por térmitas poderiam afetar a estrutura do solo, participando da composição de macroagregados e da mudança da matéria orgânica nos murundus, como resultado de processos de degradação microbiológica (fermentação, respiração anaeróbica e mineralização), e condições variadas de pH, oxigênio e hidrogênio durante a passagem do solo pelo seu aparelho intestinal (Brauman, 2000; Yang et al., 2005).

Normalmente os microagregados produzidos por cupins estão distribuídos em toda a matriz do solo e apresentam formato arredondado (Eschenbrenner, 1986). Algumas espécies de cupins podem enriquecer o solo com materiais orgânicos e ou cátions trocáveis e são responsáveis por melhorar sua estrutura (Six et al., 2004). Maiores concentrações de cátions di e trivalentes exercem grande influência na estabilidade de complexos argilo-húmicos nos murundus, regulando assim a decomposição dos resíduos orgânicos e a fertilidade dos solos (Brauman, 2000; Fall et al., 2001). Isso sugere que substâncias húmicas, argila e cátions sejam importantes no processo de agregação do solo e formação de estrutura (Garnier-Sillam et al., 1985; Contour-Ansel et al., 2000).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da atividade dos térmitas na agregação do solo, nos teores de carbono orgânico, cátions divalentes e carboidratos nas diferentes classes de agregados estáveis em água em solos de murundus no Médio Jequitinhonha, Minas Gerais.

## **2. Material e Métodos**

Os solos de murundus foram coletados em locais de relevo dissecado nos municípios de Itaobim e Virgem da Lapa, dentro da região do Médio Jequitinhonha, Minas Gerais. As áreas dissecadas compreendem altitudes que variam de 300 a 600 metros, com vegetação predominantemente de caatinga hipoxerófila, com jurema preta (*Mimosa sp.*) como a principal espécie observada por toda a área, inclusive sobre os murundus. A geologia da área refere-se as rochas granitóides e graníticas no município de Itaobim, e mica-xistos a rocha calcissilicática do Grupo Macaúbas em Virgem da Lapa.

O regime climático desses municípios é o tipo Bsw (semiárido), com curta estação chuvosa no verão (abaixo dos 100 mm), e temperaturas médias anuais de 23 °C (Perillo, 1995; Ferreira, 2006). A média pluviométrica varia entre 600 a 800 mm anuais, concentrados de novembro a janeiro. Em razão das duas estações climáticas bem definidas, uma chuvosa seguida por um período seco, a área apresenta balanço hídrico negativo com forte deficiência hídrica, podendo prolongar-se por mais de oito meses (Perillo, 1995).

Foram descritos e coletados três solos de murundus e três perfis de solo na sua adjacência (aproximadamente entre 2,0 a 5,0 m de distância do murundu) conforme Santos et al. (2005), e classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006). Os murundus foram seccionados ao meio e divididos em três segmentos (camadas superior, central e inferior), chegando até mais de 1,0 m de profundidade.

As amostras de solos foram secas ao ar obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA) que foi utilizada para as determinações dos teores de argila, determinanda por Embrapa (1997), modificado por Ruiz (2005). Além dos teores de cálcio e magnésio trocáveis, extraídos por KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e determinados por espectroscopia de absorção atômica (Embrapa, 1997). O carbono orgânico total (COT) foi determinado com oxidação da matéria orgânica por via úmida com aquecimento (Yeomans & Bremner, 1988).

A separação dos agregados foi realizada por via seca, utilizando aparelho mecânico Rotap com jogos de peneiras com cinco malhas de diferentes diâmetros (4,00; 2,00; 1,00; 0,500; 0,250 e 0,105 mm). Nas classes de agregados 4,00-2,00 e 0,250-0,105 mm separados por via seca, foram determinados os teores dos cátions trocáveis cálcio e magnésio de acordo com Embrapa (1997).

A determinação da distribuição do tamanho dos agregados, por tamisamento via úmida, foi realizada na fração de agregados compreendida entre 4,00-2,00 mm, utilizando agitador Yoder, com jogo de peneiras de 2,00; 1,00; 0,500; 0,250 e 0,105 mm. Os valores obtidos foram usados para calcular o diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) de acordo com as equações 1 e 2.

$$DMP = \sum_{i=1}^n x_i * d_i \quad (\text{eq. 1})$$

$$DMG = 10^{\frac{\sum_{i=1}^n x_i \log d_i}{n}} \quad (\text{eq. 2})$$

Onde  $x_i$  = quociente da massa de agregados retidos na peneira  $i$  sobre a massa total;  $d_i$  = diâmetro médio da fração.

Posteriormente as amostras das classes de agregados 2,00-1,00 e 0,250-0,105 mm foram maceradas em almofariz de ágata para as determinações de carbono orgânico total (COT), carbono lábel (CL) e teor de carboidratos do solo. O COT foi determinado por Yeomans & Bremner (1988).

Os carboidratos xilose, arabinose, glucose, manose, frutose e galactose foram determinados pelo método adaptado de Martens & Loeffelmann (2002), que consistiu em pesar 100 mg de solo, passados em peneira de 60 mesh, adicionar 800  $\mu\text{L}$   $\text{H}_2\text{SO}_4$  6  $\text{mol L}^{-1}$ , e após 30 minutos, adicionar 4,2 mL de água ultrapura e autoclavar as amostras por 30 minutos em temperatura de 121 °C. Após resfriarem, as amostras são centrifugadas a 3000 rpm por 10 minutos. O processo de centrifugação deve ser repetido mais duas vezes, adicionando-se 1 mL de água ultrapura, visando a alavagem do resíduo não dissolvido. A amostra deve ser levada para estufa (60 °C) e permanecer por 24 horas. O mesmo processo de extração será efetuado novamente utilizando 300  $\mu\text{L}$  de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  18  $\text{mol L}^{-1}$ . Os monômeros de carboidratos (Figura 2A) foram determinados por cromatografia iônica aparelho DX 600 Dionex e coluna de troca iônica CarboPac PA-10 (250 x 4 mm, Dionex), usando como fase móvel NaOH.

Utilizou-se a relação das taxas de manose + galactose / arabinose + xilose (man + galac / arab + xil) como índice para determinar a origem da contribuição dos carboidratos (plantas ou microrganismos).

### 3. Resultados e Discussão

A maior porcentagem de agregados nos murundus e perfis de solos separados por via úmida se concentrou na classe de tamanho 4,00-2,00 mm (macroagregados), com P1 com 72,0 da massa total de agregados do solo (Figura 1). Os agregados retidos nas peneiras com malhas maiores e determinado por meio do DMP, indicou que os agregados mais estáveis foram aqueles com maior diâmetro (Tabela 1). O murundu M2 apresentou maior quantidade de macroagregados, principalmente nas camadas central e inferior em relação ao solo adjacente P2, indicando que os agregados formados são bastante estáveis em água (Figura 1). Possivelmente os maiores teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  proporcionaram maior estabilização aos seus agregados do solo.

O diâmetro médio geométrico (DMG) apresentou o mesmo comportamento que o DMP, concentrando-se nos agregados da classe de maior tamanho (4,00-2,00 mm) (Tabela 1). Os valores de DMG foram baixos, particularmente no murundu M3 associado ao Cambissolo Háptico P3.

Nos murundus M1 e M3 o DMP foi menor que o observado para P1 e P2, mesmo com teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  nos murundus tenham sido maiores (Tabela 1). Parece que

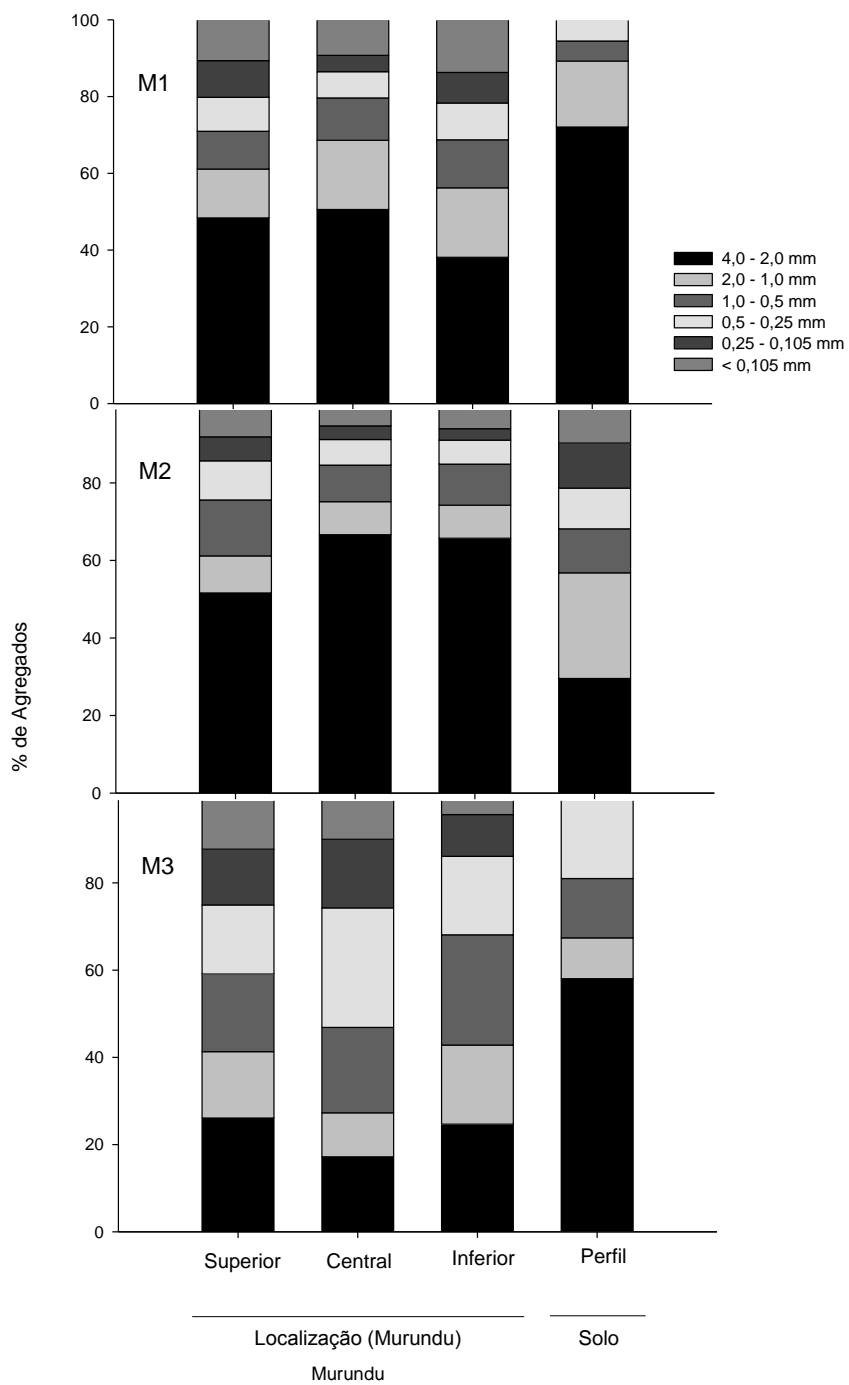


Figura 1. Distribuição das classes de agregados estáveis em água nos murundus e perfis de solos (P1 - Argissolo Vermelho Eutrófico típico; P2 - Argissolo Amarelo Distrófico típico e P3 - Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico).

Tabela 1. Carbono orgânico total (COT), cálcio e magnésio trocáveis nas classes de agregados e teor de argila e Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> na TFSA

Murundu/Perfil	Camadas do Mur./ Horizonte	Prof. cm	Agregados	COT g kg <sup>-1</sup>	Ca <sup>2+</sup> cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Mg <sup>2+</sup> cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	TFSA			DMP mm	DMG
							Argila g kg <sup>-1</sup>	Ca <sup>2+</sup> cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Mg <sup>2+</sup> cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>		
M1	Superior	0-30	> 2,00 mm	1,40	1,91	1,48	422	4,58	1,65	1,98	1,40
			> 0,105 mm	1,14	2,48	1,15					
	Central	50-100	> 2,00 mm	0,87	2,47	1,96	387	5,65	2,11	2,10	1,65
			> 0,105 mm	1,00	2,37	1,74					
	Inferior	100-200+	> 2,00 mm	0,79	2,88	2,03	364	6,16	2,49	1,81	1,30
			> 0,105 mm	0,72	3,94	1,78					
P1	Bt2		> 2,00 mm	0,91	1,71	1,35	513	1,70	1,33	2,47	2,19
			> 0,105 mm	0,99	1,76	1,26					
M2	Superior	0-30	> 2,00 mm	1,27	1,95	1,00	398	1,89	0,68	2,01	1,48
			> 0,105 mm	0,99	2,08	0,97					
	Central	50-100	> 2,00 mm	0,74	2,79	1,04	397	2,23	0,65	2,35	1,91
			> 0,105 mm	0,68	2,93	1,04					
	Inferior	100-200+	> 2,00 mm	0,41	2,34	0,91	404	3,03	1,06	2,35	1,92
			> 0,105 mm	0,47	2,46	0,90					
P2	Bt2	55-157+	> 2,00 mm	0,56	0,13	0,18	497	0,40	0,49	1,60	1,12
			> 0,105 mm	0,54	0,44	0,64					
M3	Superior	0-30	> 2,00 mm	0,85	2,32	0,75	295	2,42	0,66	1,40	0,91
			> 0,105 mm	0,88	2,61	0,83					
	Central	50-100	> 2,00 mm	0,59	2,24	0,12	287	2,79	0,28	1,44	0,99
			> 0,105 mm	0,62	2,86	0,25					
	Inferior	100-200+	> 2,00 mm	0,68	1,38	0,53	256	5,23	0,76	1,35	0,93
			> 0,105 mm	0,51	1,72	0,64					
P3	Bi2	90-110+	> 2,00 mm	0,53	0,56	0,16	313	0,97	0,22	1,89	1,29
			> 0,105 mm	0,62	1,19	0,43					

P1 - Argissolo Vermelho Eutrófico típico; P2 - Argissolo Amarelo Distrófico típico e P3 - Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico



em solos mais jovens como no Nitossolo Vermelho (P1) e Cambissolo Háplico (P2), os teores destes elementos nos agregados não proporcionam grandes modificações na distribuição de agregados de maior diâmetro. A maior estabilidade de agregados ocorre quando agentes cimentantes originados de processos biológicos pela liberação de exsudatos de raízes ou produtos da atividade microbiana, dentre outros, se ligam às partículas do solo (Salton et al., 2008).

Os teores dos cátions  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  nos agregados e carbono orgânico total (COT) encontram-se na Tabela 1. Em geral, a maior quantidade desses elementos está associada à fração  $> 0,105$  mm, do tamanho de microagregados. Verificaram-se mudanças nos teores de cálcio e magnésio trocáveis nas diferentes classes de agregados em murundus e perfis de solos (Tabela 1). Nos murundus os teores das bases trocáveis foram mais elevados, com destaque para as camadas central e inferior, e em agregados  $> 0,105$  mm, sugerindo que nos microagregados os teores de cátions trocáveis são maiores do que os obtidos na fração maior que 2,00 mm (TFSA) (Tabela 1). Além da riqueza química normalmente verificada nas camadas dos murundus, foi possível verificar nos microagregados maiores concentrações de nutrientes (Burak et al., 2011).

Os teores dos carboidratos nos murundus foram superiores e diferentes aos encontrados nos perfis de solo nas classes de agregados de 4,00 - 2,00 e 0,250 - 0,105 mm, principalmente para arabinose e manose no murundu M1, e glucose e galactose nos murundus M2 e M3 (Figura 2). A classe de macroagregados apresentou maior quantidade de carboidratos do que microagregados em todos os murundus estudados, exceto nas camadas central e inferior do murundu M2.

A maior contribuição para o teor total dos carboidratos obtidos nos murundus e perfis de solos foi observado no grupo das hexoses, particularmente glucose com cerca de 78 % em M2 (agregados 0,105 mm) e 60 % em M3, localizado na classe de agregados de maior diâmetro (2,00 mm). A glucose é o monossacarídeo mais simples encontrado na natureza e responde pela maior proporção do total dos carboidratos presentes no solo (Cheshire, 1979). De acordo com Sall et al. (2002) a glucose e a galactose foram açúcares responsáveis por aumentar a estabilização dos agregados em murundus no Senegal.

A relação hexose/pentose (H/P) foi maior nos murundus do que nos perfis de solos a eles associados (Figura 2). Nas camadas central e inferior do murundu M1 essa relação foi abaixo a 0,5, indicando que os carboidratos são derivados de plantas ( $\text{gal} + \text{man/arab} + \text{xil} < 0,5$ ). No topo dos murundus M2 e M3, onde a atividade de

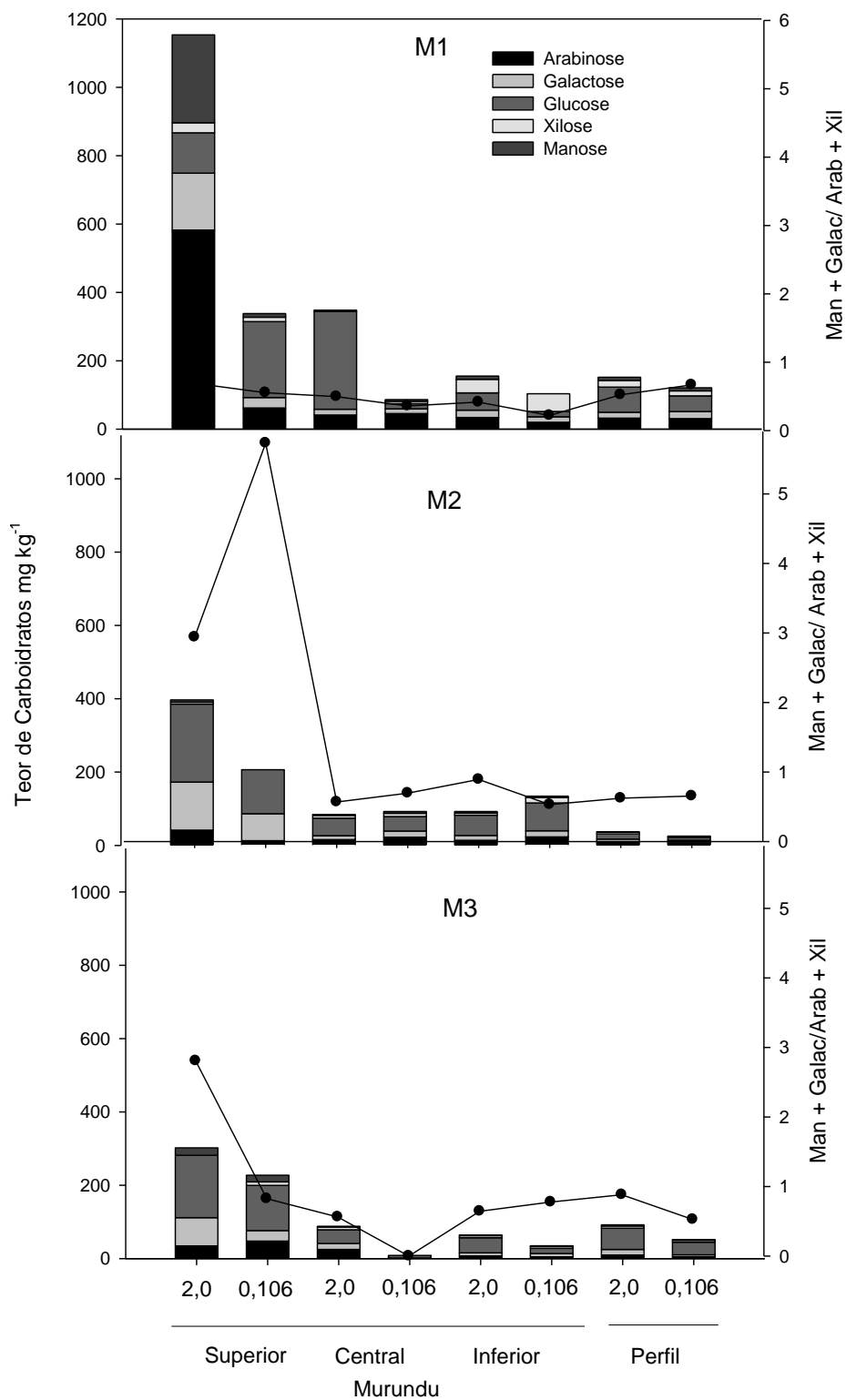


Figura 2. Teores de carboidratos em duas classes de agregados e relação de hexoses (manose + galactose) para pentoses (arabinose + xilose) em solos de murundus e perfis de solos adjacentes sem influência térmica. (P1 - Argissolo Vermelho Eutrófico típico; P2 - Argissolo Amarelo Distrófico típico e P3 - Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico).

microorganismos é maior, os carboidratos da matéria orgânica do solo são predominantemente de origem microbiana, estimados pela relação hexose/pentose (H/P) superior a 2,0 como sugerido por Amelung et al (1999). Nas demais camadas (central e inferior) dos murundus e perfis de solos limítrofes, a relação H/P permaneceu intermediária, onde plantas e microrganismos contribuem para formar monômeros de carboidratos no solo (Figura 2).

As maiores quantidades de carboidratos nos agregados de maior diâmetro proporcionou maior estabilidade aos agregados dos murundus, principalmente na camada superior do M1. Mesmo com baixos teores de carboidratos nos perfis de solos P1 e P3, estes apresentaram maior estabilidade de agregados em água que os murundus M1 e M3, indicando que a presença de carboidratos na matéria orgânica do solo não seria unicamente responsável pela maior agregação no solo. É provável que os maiores teores de argila, CO,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  favoreçam à formação de agregados mais estáveis. Para que a matéria orgânica tenha influência na estrutura do solo é necessário que passe constantemente por transformações biológicas (Baver et al., 1973).

#### **4. Conclusões**

1. Os agregados mais estáveis em água foram aqueles com maior diâmetro (4,00-2,00 mm) para murundus e perfis de solos;
2. O diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG) acompanharam a distribuição da maior classe de agregados, sejam em murundus ou nos perfis de solos estudados;
3. Os teores de Ca e Mg trocáveis foram superiores nos murundus em relação aos perfis de solos adjacentes, como também nos microagregados dos murundus.
4. A glicose foi o monossacarídeo mais abundante em murundus e em perfis de solos;
5. Não somente maiores quantidades de carboidratos no solo sejam suficientes para promover maior agregação das partículas minerais.

## 5. Referências Bibliográficas

- Amelung, W.; Flasch, K.W. Zech, W. 1999. Neutral and acidic sugars in particle-size fractions as influenced by climate. *Soil Science Society of America Journal*, 63:865-873.
- Baver, L.D.; Gardner, W.H. 1973. *Física de Suelos*. México: Hispano Americano, 529p.
- Bertol, I.; Amaral, A.J.; Vazquez, E.V. 2006. Relações da rugosidade superficial do solo com o volume de chuva e com a estabilidade de agregados em água. *R. Bras. Ci. Solo*, 30: 543-553.
- Blair, G.J.; Lefroy, R.D.B.; Lisle, L. 1995. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and development of a carbon management index for agricultural systems. *Aust. J. Agric. Res.*, 46:1459-1466.
- Brauman, A. 2000. Effect of gut transit and mound deposit on soil organic matter transformations in the soil feeding termite: A review. *Eur. J. Soil Biol.*, 36:117-125.
- Bronick, C.J. & Lal, R. 2005. Soil structure and management: A review. *Geoderma*, 124:3-22.
- Burak, D.L.; Fontes, M.P.F; Becquer, T. 2011. Microagregados estáveis e reserva de nutrientes em Latossolo Vermelho sob pastagem em região de cerrado. *Pesq. Agropec. Trop.*, 41:229-241.
- Castro Filho, C; Muzilli, O; Podanosch, A.L. 1998. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *R. Bras. Ci. Solo*, 22: 527-538.
- Cheshire, M.V. 1979. *Nature and origin of carbohydrates in soils*. Academic Press. Londres.
- Contour-Ansel, D.; Garnier-Sillam, E.; Lachaux, M.; Croci, V. 2000. High performance liquid chromatography studies on the polysaccharides in the walls of the mounds of two species of termite in Senegal, *Cubitermes oculatus* and *Macrotermes subhyalinus*: their origin and contribution to structural stability. *Biol. Fertil. Soils*, 31:508-516.
- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2005a. Projeto Cadastro de Abastecimento por Águas Subterrâneas, Estados de Minas Gerais e Bahia: diagnóstico do município de Itaobim, MG – Belo Horizonte: CPRM.
- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2005b. Projeto Cadastro de Abastecimento por Águas Subterrâneas, Estados de Minas Gerais e Bahia: diagnóstico do município de Virgem da Lapa, MG – Belo Horizonte: CPRM.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2010. *Geologia e recurso minerais das folhas Comercinho, Jequitinhonha, Almenara, Itaobim, Joáima e Rio do Prado - Projeto Jequitinhonha*. Belo Horizonte: CPRM-BH, 376p.

- Eschenbrenner, V. 1986. Contribution des termites à la micro-agrégation des sols tropicaux. *Pedologie*, 22:397-408.
- Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2006. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 306p.
- Fall, S.; Brauman, A.; Chotte, J. 2001. Comparative distribution of organic matter in particle and aggregate size fractions in the mounds of termites with different feedings habits in Senegal: *Cubitermes niokoloensis* e *Macrotermes bellicosus*. *Applied Soil Ecology*, 17:131-140.
- Garnier-Sillam, E.; Villemin, G.; Toutain, F.; Renoux, J. 1985. Formation de micro-agrégats organo-minéraux dans les fécès de termites. *CR Acad. Sci. Paris*, 301:213-218.
- Pegoraro, R. F.; Silva, I.R.; Novais, R. F.; Barros, N.F.; Fonseca, S. 2011. Fenóis derivados da lignina, carboidratos e aminoaçúcares em serapilheira e solos cultivados com eucalipto e pastagem. *Revista Árvore*, 35:359-370.
- Martens, D.A. & Kevin L. Loeffelmann, K.L. 2002. Improved accounting of carbohydrate carbon from plants and soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 34:1393-1399.
- Oliveira, F.R.; Duarte, U.; Menegasse, L.N. 2002. Levantamento hidrogeológico da área de Araçuaí no Médio Vale do Jequitinhonha-MG. *Revista Águas Subterrâneas*, 16: 39-56.
- Passarin, A.L.; Rodrigues, E.L.; Robaina, C.R.P.; Medina, C.C. 2007. Caracterização de agregados em um Latossolo Vermelho Distroférrico típico submetido a diferentes doses de vinhaça. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1255-1260.
- Perillo, I.A., 1995. Almenara, Mapeamento geológico da Almenara - Folha SE. 24-V-A, Região Sudeste, escala 1:250.000, Serviço Geológico do Brasil, Brasília, 99p.
- Sall, S.N.; Brauman, A.; Fall, S.; Rouland, C.; Miambi, E.; Chotte, J. 2002. Variation in the distribution of monosaccharides in soil fractions in the mounds of termites with different feeding habits (Senegal). *Biol Fertil Soils*, 36:232-239.
- Salton, J.C.; Mielniczuk, J.; Bayer, C.; Boeni, M.; Conceição, P.C.; Fabrício, A.C.; Macedo, M.C.M.; Broch, D.L. 2008. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:11-21.
- Santos, R.D.; Lemos, R.C.; Santos, H.G.; Ker, J. C.; Anjos, L.H.C., 2005. Manual de descrição e coleta de solos no campo. 5. ed. Viçosa, MG: SBCS, 100p.
- Six, J.; Bossuyt, H.; Degryze, S.; Deneff, K. 2004. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil & Tillage Research*, 79:7-31.
- Strahler, A; Strahler, A.N., 2002. Physical geography: science and systems of the human environment. 2a ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 748p.
- Tisdall, J.M. & Oades, J.M. 1980. The management of ryegrass to stabilize aggregates of a red-brown earth. *Australian Journal of Soil Research*, 18:415-422.

Tisdall, J.M. & Oades, J.M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soil. *J. Soil Sci.*, 33:141-163.

Yang, H.; Schmitt-Wagner, D.; Stingl, U.; Brune, A. Niche heterogeneity determines bacterial community structure in the termite gut (*Reticulitermes santonensis*). *Environmental Microbiology*, Oxon, v.7, n.7, p.916-932, 2005.

Yeomans, A. & Bremner, J.M. 1988. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 19:1467-1476.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os murundus apresentaram homogeneidade textural, com teores de argila semelhantes aos horizontes subsuperficiais dos perfis de solos adjacentes, indicando que tal característica pode promover maior resistência à erosão, auxiliando na sua permanência na paisagem.

A estrutura granular forte, normalmente observada em solos que sofreram maior pedogênese, não foi observada nos solos de murundus, indicando que a atividade biológica não é o único fator que deve ser considerado para estabilização da estrutura. A maior parte da estrutura, observada pela análise micromorfológica, estava coalescida, resultado da mineralogia caulinítica e baixos teores de ferro capazes de promover a desorganização das partículas de argila.

A análise de componentes principais (ACP) mostrou que silte, silte/argila, pH (H<sub>2</sub>O e KCl), Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, S, T, V e CTCr foram as principais variáveis para diferenciar as características dos murundus de solos adjacentes.

O maior enriquecimento de P disponível no murundu de Cambissolo M4, indica que a concentração deste elemento foi realizada no passado pela ação da atividade biológica de térmitas.

Caulinita e illita foram os minerais encontrados na fração argila de murundus e solos. A presença de illita demonstra que os processos de alterações químicas e mineralógicas não foram tão intensos, mesmo nos murundus. Não foram observadas diferenças mineralógicas na fração argila entre solos de murundus e solo adjacente para à cristalinidade da caulinita.

O diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG) acompanharam a distribuição da maior classe de agregados (4,00-2,00 mm), sejam em

murundus ou perfis de solos, mesmo que os teores de Ca e Mg trocáveis tenham sido superiores nos microagregados ( $> 0,105$  mm).

A glicose foi o monossacarídeo mais abundante em murundus, no entanto, maiores quantidades de carboidratos nos murundus não parece ser suficiente para promover maior agregação das partículas minerais do solo.



## ANEXOS

Tabela 1A. Características físicas dos murundus e solos estudados

Horiz.	Prof. cm	Análise Granulométrica da TFSA				ADA	S/A	Ds
		Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila			
		g kg <sup>-1</sup>						
M1 - Murundu 1								
1ª Cam.	0-15	303	113	150	450	80	0,33	1,35
2ª Cam.	-30	273	113	120	493	100	0,24	1,36
3ª Cam.	-50	247	107	130	517	100	0,25	1,66
4ª Cam.	-75	250	97	110	543	90	0,20	1,54
5ª Cam.	-100	230	110	127	533	110	0,24	1,48
6ª Cam.	-125	230	103	127	540	100	0,23	1,50
7ª Cam.	-200+	240	110	120	530	110	0,23	-
P1 - Latossolo Amarelo Distrófico argissólico								
A	0-20	442	102	82	369	105	0,22	1,41
BA	-29	347	97	97	460	100	0,21	-
Bw1	-53	300	113	90	497	90	0,18	-
Bw2	-104+	233	100	110	557	60	0,20	1,46
M2 - Murundu 2								
1ª Cam.	0-15	267	107	137	490	100	0,28	1,34
2ª Cam.	-30	237	123	123	517	100	0,24	1,37
3ª Cam.	-50	240	123	133	503	100	0,26	1,43
4ª Cam.	-75	247	117	143	493	100	0,29	1,33
5ª Cam.	-100	247	117	140	497	130	0,28	1,39
6ª Cam.	-125	257	123	137	483	100	0,28	1,39
7ª Cam.	-200+	250	127	220	403	100	0,55	-
P2 - Argissolo Amarelo Distrófico típico								
A	0-20	534	93	99	275	85	0,35	1,41
BA	-30	443	103	123	330	100	0,37	-
Bw1	-102	347	107	113	443	120	0,26	-
Bw2	-142+	327	90	120	463	100	0,26	1,49
M3 - Murundu 3								
1ª Cam.	0-15	330	117	160	393	120	0,41	1,60
2ª Cam.	-30	327	117	153	403	150	0,38	1,64
3ª Cam.	-50	343	110	143	403	160	0,36	1,66
4ª Cam.	-75	340	133	137	390	150	0,35	1,41
5ª Cam.	-100	350	117	143	390	160	0,37	1,49
6ª Cam.	-125	303	130	153	413	140	0,37	1,51
7ª Cam.	-200+	287	123	180	410	110	0,44	-
P3 - Argissolo Amarelo Distrófico típico								
A	0-19	527	105	120	249	95	0,49	1,51
BA	-35	407	100	103	390	120	0,26	-
Bt1	-55	350	90	140	420	120	0,33	-
Bt2	-157+	287	83	133	497	90	0,27	1,55

Ds= densidade do solo.

Tabela 1A. Características físicas dos murundus e solos estudados

Horiz.	Prof. cm	Análise Granulométrica da TFSA				ADA	S/A	Ds
		Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila			
		g kg <sup>-1</sup>						
M4 - Murundu 4								
1ª Cam.	0-15	363	170	163	303	90	0,54	1,61
2ª Cam.	-30	350	173	215	290	90	0,74	1,42
3ª Cam.	-50	343	217	200	277	100	0,72	1,42
4ª Cam.	-75	343	183	160	313	110	0,51	1,53
5ª Cam.	-100	320	187	207	287	100	0,72	1,63
6ª Cam.	-125	310	190	217	283	90	0,76	1,54
7ª Cam.	-200+	360	197	243	200	70	1,22	-
P4 - Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico								
A	0-20	470	175	148	219	75	0,70	1,58
BA	-35	427	150	160	263	100	0,61	-
Bi1	-90	390	137	160	313	100	0,51	-
Bi2	-110+	340	163	157	340	100	0,46	1,64
M5 - Murundu 5								
1ª Cam.	0-15	40	187	347	427	110	0,81	1,59
2ª Cam.	-30	40	207	337	417	120	0,81	1,53
3ª Cam.	-50	40	200	360	400	120	0,90	1,38
4ª Cam.	-75	43	220	363	373	130	0,97	1,40
5ª Cam.	-100	50	207	393	350	130	1,12	1,36
6ª Cam.	-125	47	207	380	367	120	1,04	1,49
7ª Cam.	-200+	40	189	380	365	120	1,04	-
P5 - Argissolo Vermelho Eutrófico típico								
A	0-6	80	267	383	270	80	1,42	1,38
BA	-10	60	247	353	340	100	1,04	-
Bt1	-21	50	187	320	443	130	0,72	-
Bt2	-39	40	170	277	513	110	0,54	1,42
Bt3	-132+	37	157	310	497	70	0,62	-

Ds= densidade do solo.

Tabela 2A. Características químicas dos murundus e solos estudados

Horiz.	Prof. cm	pH(1:2,5)		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	S	t	T	V	m	P	CO
		H <sub>2</sub> O	KCl	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----							-----%-----	mg dm <sup>-3</sup>	dag kg <sup>-1</sup>			
M1 - Murundu 1																
1ª Cam.	0-15	4,73	3,90	0,62	0,47	0,02	0,27	0,67	4,90	1,4	2,07	6,3	22	32,36	3,72	1,73
2ª Cam.	-30	4,82	3,93	0,43	0,43	0,01	0,20	0,60	3,70	1,1	1,70	4,8	23	35,29	1,61	1,48
3ª Cam.	-50	4,87	3,93	0,33	0,45	0,02	0,19	0,63	2,97	1,0	1,63	4,0	25	38,65	1,44	1,25
4ª Cam.	-75	4,98	3,97	0,36	0,48	0,02	0,16	0,63	2,60	1,0	1,63	3,6	28	38,65	1,70	0,85
5ª Cam.	-100	4,92	3,93	0,41	0,42	0,02	0,17	0,43	2,45	1,0	1,43	3,5	29	30,06	1,21	0,83
6ª Cam.	-125	4,54	3,82	0,42	0,35	0,02	0,13	0,73	2,45	0,9	1,63	3,4	27	44,78	1,42	0,76
7ª Cam.	-200+	4,72	3,83	0,45	0,41	0,04	0,13	0,57	2,30	1,0	1,57	3,3	30	36,30	1,44	-
P1 - Argissolo Amarelo Distrófico típico																
A	0-20	5,33	4,28	1,22	0,63	0,02	0,23	0,17	4,07	2,1	2,27	6,2	34	7,48	2,85	1,66
BA	-29	5,57	4,33	0,66	0,62	0,02	0,35	0,13	2,83	1,7	1,83	4,5	38	7,10	0,90	-
Bw1	-53	5,53	4,26	0,42	0,50	0,03	0,35	0,30	2,70	1,3	1,60	4,0	33	18,75	1,00	-
Bw2	-104+	5,33	4,30	0,30	0,29	0,03	0,37	0,43	2,27	1,0	1,43	3,3	30	30,06	0,86	1,24
M2 - Murundu 2																
1ª Cam.	0-15	4,61	3,74	0,36	0,24	0,02	0,28	1,00	4,47	0,9	1,90	5,4	17	52,63	3,64	0,33
2ª Cam.	-30	4,59	3,77	0,48	0,24	0,02	0,21	0,77	3,83	1,0	1,77	4,8	21	43,50	3,17	0,33
3ª Cam.	-50	4,52	3,76	0,55	0,29	0,03	0,11	0,70	3,55	1,0	1,70	4,5	22	41,17	2,37	0,52
4ª Cam.	-75	4,54	3,69	0,56	0,27	0,04	0,05	0,73	3,37	0,9	1,63	4,3	21	44,78	2,54	0,30
5ª Cam.	-100	4,59	3,64	0,69	0,38	0,07	0,04	0,77	4,00	1,2	1,97	5,2	23	39,08	4,78	0,61
6ª Cam.	-125	4,76	3,70	0,97	0,64	0,11	0,05	0,37	3,00	1,8	2,17	4,8	38	17,05	5,40	0,54
7ª Cam.	-200+	6,96	5,33	0,86	1,53	0,55	0,09	0,00	1,33	3,0	3,00	4,4	68	0,00	2,74	-
P2 - Argissolo Amarelo Distrófico típico																
A	0-20	5,51	4,62	2,38	0,77	0,03	0,33	0,03	3,50	3,5	3,53	7,0	50	0,85	3,43	0,48
BA	-30	5,48	4,19	0,72	0,36	0,02	0,28	0,23	2,60	1,4	1,63	4,0	35	14,11	1,14	-
Bw1	-102	5,53	4,31	0,37	0,53	0,02	0,41	0,17	1,73	1,3	1,47	3,1	42	11,56	1,60	-
Bw2	-142	5,38	4,32	0,26	0,49	0,02	0,39	0,27	2,03	1,2	1,47	3,2	38	18,36	1,33	0,11

Tabela 2A. Características químicas dos murundus e solos estudados

Horiz.	Prof. cm	pH(1:2,5)		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	S	t	T	V	m	P	CO
		H <sub>2</sub> O	KCl	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----							-----%-----		mg dm <sup>-3</sup>	dag kg <sup>-1</sup>		
P3 - Argissolo Amarelo Distrófico típico																
A	0-7	5,40	4,28	1,91	0,75	0,02	0,40	0,20	5,10	3,1	3,30	8,2	38	6,06	1,83	1,78
AB	-19	5,52	4,27	0,99	0,58	0,03	0,40	0,13	4,13	2,0	2,13	6,1	33	6,10	1,16	-
BA	-35	5,43	4,29	0,64	0,43	0,02	0,40	0,57	3,40	1,5	2,07	4,9	31	27,53	1,83	-
Bt1	-55	5,42	4,12	0,50	0,27	0,03	0,34	0,60	3,23	1,1	1,70	4,4	25	35,29	1,16	0,58
Bt2	-157+	5,40	4,23	0,40	0,49	0,02	0,36	0,53	2,57	1,3	1,83	3,8	34	28,96	1,03	-
M3 - Murundu 3																
1ª Cam.	0-15	5,22	4,07	1,82	0,65	0,02	0,38	0,30	4,70	2,9	3,20	7,6	38	9,37	5,84	1,81
2ª Cam.	-30	5,65	4,39	1,96	0,70	0,02	0,35	0,10	2,87	3,0	3,10	5,9	51	3,22	1,96	1,50
3ª Cam.	-50	5,40	4,22	1,88	0,56	0,03	0,25	0,10	2,55	2,7	2,80	5,3	51	3,57	2,07	1,43
4ª Cam.	-75	6,11	4,92	2,57	0,73	0,05	0,20	0,00	1,43	3,6	3,60	5,0	72	0,00	2,33	1,22
5ª Cam.	-100	6,76	5,78	3,14	1,00	0,06	0,14	0,00	1,50	4,3	4,30	5,8	74	0,00	2,92	1,04
6ª Cam.	-125	6,72	5,84	3,23	1,17	0,09	0,19	0,00	1,75	4,7	4,70	6,4	73	0,00	3,83	1,11
7ª Cam.	-200+	6,60	5,38	2,71	1,00	0,08	0,19	0,00	1,37	4,0	4,00	5,4	74	0,00	3,53	-
P4 - Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico																
A	0-5	6,51	5,42	2,86	0,82	0,02	0,38	0,00	2,30	4,1	4,10	6,4	64	0,00	13,89	1,58
BA	-35	5,31	4,02	0,52	0,19	0,02	0,29	0,80	3,50	1,0	1,80	4,5	22	44,44	4,42	-
Bi1	-90	5,42	4,08	0,97	0,22	0,02	0,31	0,70	2,60	1,5	2,20	4,1	36	31,81	4,07	-
Bi2	-110+	5,27	4,02	0,79	0,29	0,01	0,26	0,80	2,63	1,4	2,20	4,0	35	36,36	2,85	0,59
M4 - Murundu 4																
1ª Cam.	0-15	5,66	4,57	2,36	0,76	0,02	0,35	0,15	2,20	3,5	3,65	5,7	61	4,10	12,70	1,10
2ª Cam.	-30	5,57	4,39	2,47	0,55	0,02	0,26	0,10	2,63	3,3	3,43	5,9	56	2,91	9,51	1,10
3ª Cam.	-50	5,56	4,24	2,62	0,29	0,02	0,13	0,15	2,20	3,1	3,25	5,3	59	4,61	8,99	1,15
4ª Cam.	-75	5,66	4,32	2,95	0,27	0,03	0,06	0,15	2,65	3,3	3,45	6,0	55	4,34	15,40	0,77
5ª Cam.	-100	6,73	5,43	4,20	0,50	0,05	0,08	0,00	1,23	4,8	4,80	6,1	79	0,00	26,26	0,91
6ª Cam.	-125	8,66	7,88	5,54	0,63	0,08	0,09	0,00	0,20	6,3	6,30	6,5	97	0,00	48,13	1,27
7ª Cam.	-200+	8,83	7,99	5,95	1,14	0,01	0,04	0,00	0,00	7,1	7,10	7,1	100	0,00	15,63	-

Tabela 2A. Características químicas dos murundus e solos estudados

Horiz.	Prof. cm	pH(1:2,5)		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	S	t	T	V	m	P	CO
		H <sub>2</sub> O	KCl	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						-----%-----	mg dm <sup>-3</sup>	dag kg <sup>-1</sup>				
P5 - Argissolo Vermelho Eutrófico típico																
A	0-6	7,38	6,63	5,55	2,09	0,01	0,45	0,00	1,85	8,1	8,10	10,0	81	0,00	3,40	2,04
BA	-10	6,75	5,58	3,35	1,60	0,01	0,78	0,00	2,55	5,7	5,70	8,3	69	0,00	1,08	-
Bt1	-21	6,48	5,19	1,99	1,24	0,02	0,39	0,00	2,45	3,6	3,60	6,1	59	0,00	0,68	-
Bt2	-39	6,24	5,05	1,70	1,33	0,03	0,35	0,00	2,40	3,4	3,40	5,8	59	0,00	0,59	-
Bt3	-132+	6,28	5,29	1,27	1,27	0,04	0,16	0,00	1,67	2,7	2,70	4,4	61	0,00	0,64	1,14
M5 - Murundu 5																
1ª Cam.	0-15	5,62	4,98	4,60	1,63	0,04	0,11	0,00	2,20	6,4	6,40	8,6	74	0,00	2,04	1,34
2ª Cam.	-30	5,87	5,19	4,55	1,66	0,06	0,05	0,00	1,90	6,3	6,30	8,2	77	0,00	1,76	1,45
3ª Cam.	-50	6,79	6,15	5,17	2,06	0,07	0,05	0,00	0,50	7,4	7,40	7,9	94	0,00	2,06	1,33
4ª Cam.	-75	7,54	7,12	6,13	2,16	0,06	0,07	0,00	0,23	8,4	7,40	8,7	97	0,00	3,36	1,26
5ª Cam.	-100	7,55	6,98	5,85	2,36	0,07	0,08	0,00	0,30	8,4	8,40	8,7	97	0,00	6,51	1,09
6ª Cam.	-125	7,87	7,49	6,33	2,57	0,07	0,13	0,00	0,10	9,1	9,10	9,2	99	0,00	11,30	1,03
7ª Cam.	-200+	7,85	7,47	6,30	2,55	0,05	0,11	0,00	0,08	9,0	9,00	9,1	99	0,00	12,40	-

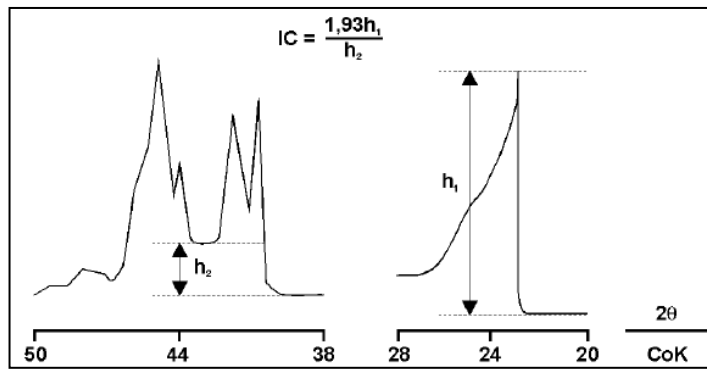


Figura 1A. Picos de caulinita nas duas regiões do difratograma de raios-X utilizados para o cálculo do índice de cristalinidade de Hughes & Brown (1979)

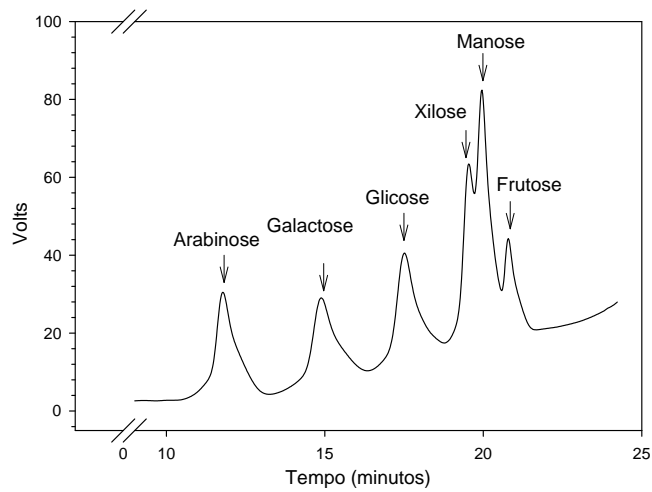


Figura 2A. Tempos de retenção dos carboidratos estudados no solo identificados por cromatografia líquida de alta performance (HPLC)

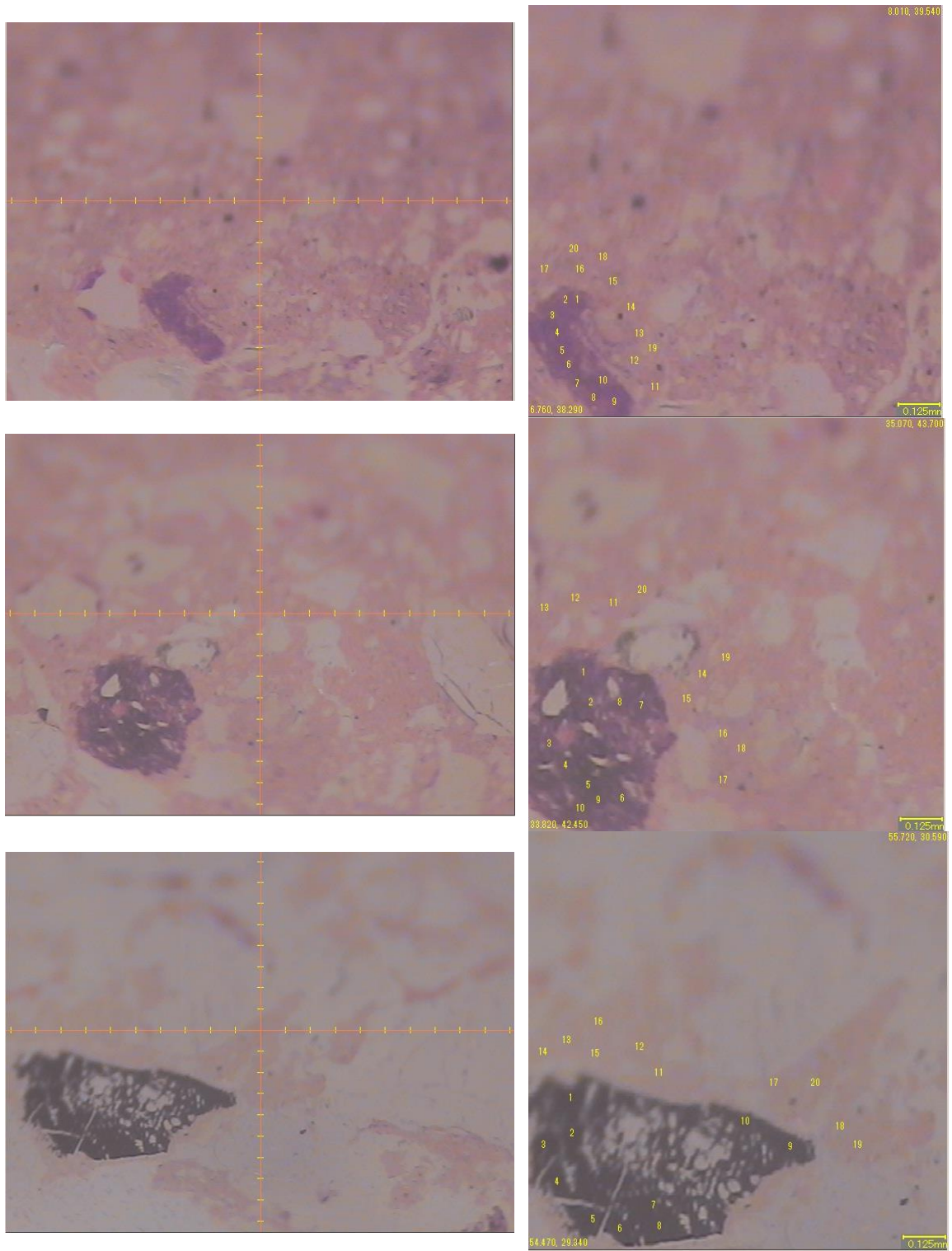


Figura 3A. Localização dos pontos utilizados no EDX no plasma, microagregados e concreções em murundus e solos.



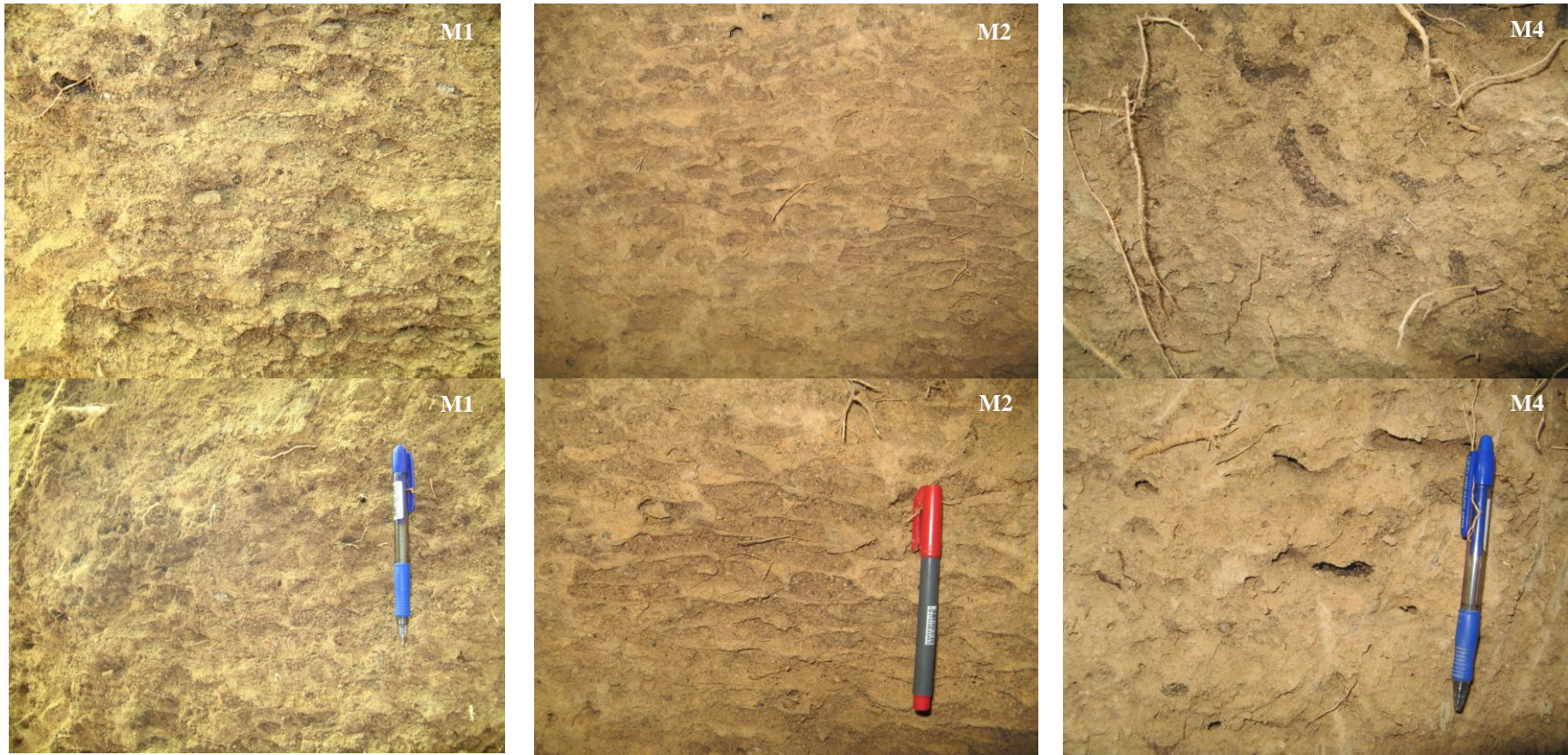


Figura 4A. Estruturas biogênicas observadas nos murundus estudados





Figura 4A. Estruturas biogênicas observadas nos murundus estudados