



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
Programa de Pós-graduação em Agricultura Tropical

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DE SOLO
EM MICROBACIAS SOB VEGETAÇÃO DE FLORESTA NA
AMAZÔNIA MERIDIONAL

JOÃO PAULO NOVAES FILHO

CUIABÁ – MT
2005

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
Programa de Pós-graduação em Agricultura Tropical

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DE SOLO
EM MICROBACIAS SOB VEGETAÇÃO DE FLORESTA NA
AMAZÔNIA MERIDIONAL

JOÃO PAULO NOVAES FILHO

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. EDUARDO GUIMARÃES COUTO

Dissertação apresentada à Faculdade de Agronomia
e Medicina Veterinária da Universidade Federal de
Mato Grosso, para obtenção do título de Mestre em
Agricultura Tropical.

CUIABÁ – MT

2005

N935v NOVAES FILHO, João Paulo.

Variabilidade espacial de atributos de solo em microbacias sob vegetação de floresta na Amazônia meridional. / João Paulo Novaes Filho. – Cuiabá: o autor, 2005.

119 p.

Orientador: Prof.Dr. Eduardo Guimarães Couto.

Dissertação. Universidade Federal de Mato Grosso. Campus Cuiabá. Programa de Pós-graduação em Agricultura Tropical.

1. Agricultura. 2. Pedologia. 3. Solo. 4. Propriedades do solo. 5. Nutrientes. 6. Variabilidade espacial. I. Título.

CDU 631.41(043.3)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
Programa de Pós-graduação em Agricultura Tropical

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

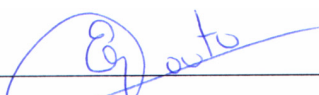
Título: VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DE SOLO EM MICROBACIAS SOB VEGETAÇÃO DE FLORESTA NA AMAZÔNIA MERIDIONAL

Autor: JOÃO PAULO NOVAES FILHO


Orientador: Professor Dr. EDUARDO GUIMARÃES COUTO

Aprovada em 29 de abril de 2005.

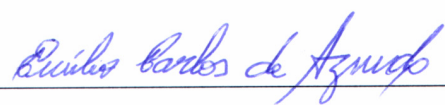
Comissão Examinadora:




Prof. Dr. Eduardo Guimarães Couto
(FAMEV/UFMT) (Orientador)



Prof. Dr. Virlei Álvaro de Oliveira
(UFG)



Prof. Dr. Emílio Carlos de Azevedo
(FAMEV/UFMT)



Prof. Dr. Ricardo Santos Silva Amorim
(FAMEV/UFMT)

A Deus,
Senhor de todos os povos.

“Visitastes a terra e a regastes, cumulando-a de fertilidade.
De água encheu-se a divina fonte e fizestes germinar o trigo.
Assim, pois, fertilizastes a terra:
irrigastes os seus sulcos, nivelastes as suas glebas;
amolecendo-as com as chuvas, abençoastes a sua sementeira.
Coroastes o ano com os vossos benefícios;
onde passastes ficou a fartura.
Umedecidas as pastagens do deserto,
revestem-se de alegria as colinas”.

(Sal 64, 10-13)

Aos meus pais,
João Paulo e Nilda, pelo exemplo de vida.
Às minhas irmãs,
Andréa e Cacá, pelo incentivo.

À minha querida esposa Ivana,
pelo companheirismo e amor.
Aos meus filhos,
Matheus e Giovana, por
suportarem a minha ausência.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Eduardo Guimarães Couto, pela excelente orientação, que mesmo sobrecarregado de trabalho, sempre dedicou tempo para o direcionamento desta pesquisa.

Aos Professores Dr. José Fernando Scaramuzza, Dr. Ricardo Santos Silva Amorim, Dr. Emílio Carlos de Azevedo, Dr.^a Oscarlina Lúcia dos Santos Weber e Dr.^a Maria Cristina de Figueiredo e Albuquerque, pela atenção, apoio e confiança.

Aos demais professores do curso de Mestrado em Agricultura Tropical, pelos conhecimentos transmitidos.

Ao Projeto LBA e seus coordenadores, Dr. Johannes Lehmann e Dr.^a Susan J. Riha, professores da Cornell University, pela concessão da bolsa de estudo e pelo financiamento deste projeto.

À Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, pela oportunidade de enriquecimento científico.

À empresa Rohden, por fornecer a área da pesquisa e todo o apoio logístico em Juruena-MT.

Ao amigo e companheiro Dr. Mark S. Johnson, pelo apoio em todas as fases deste trabalho.

Aos colegas de curso e amigos Evandro Carlos Selva, Luiz Carlos Mattos Rodrigues e Léo Adriano Chig, pelo companheirismo, contribuição e convivência durante a pós-graduação.

Aos pesquisadores da Cornell University Ted R. Feldpausch e Stefan Jirka, pelo auxílio nesta pesquisa.

À pesquisadora da UFMT Mara Abdo, pela boa vontade em colaborar com este estudo.

À equipe do laboratório de análises de solo da UFMT, pelo incansável trabalho realizado para apresentar os resultados de centenas de amostras.

E, por fim, a toda a equipe de campo do Projeto LBA de Juruena-MT, pela enorme dedicação durante as amostragens de solo na densa floresta.

ÍNDICE

	Página
1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 O Bioma Amazônia	16
2.2 Os solos tropicais na Amazônia	17
2.3 Geoestatística aplicada na ciência do solo	21
3 MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1 Área estudada	28
3.2 Sistema de amostragem	30
3.3 Atributos estudados e métodos de análises	31
3.4 Métodos estatísticos	33
3.4.1 Estatística descritiva dos dados	34
3.4.2 Análise geoestatística	35
3.4.2.1 Geoestatística: aspectos teóricos	37
3.5 Estimativa do estoque de atributos do solo	46
3.6 Determinação das classes de solo das microbacias	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4.1 Análise descritiva das variáveis	50
4.2 Relações entre os atributos do solo	58
4.3 Análise da distribuição espacial dos atributos do solo	61
4.4 Estoques de atributos do solo das microbacias	70
4.5 Distribuição espacial das classes pedológicas nas microbacias	76
5 CONCLUSÕES	86
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
APÊNDICES	96
APÊNDICE A	97
APÊNDICE B	99
APÊNDICE C	115

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1 – Localização das microbacias no estado de Mato Grosso ...	29
FIGURA 2 – Conjunto de amostras em malha regular de 20x20 m nas quatro microbacias	30
FIGURA 3 – Modelo teórico de semivariograma	42
FIGURA 4 – Média e dispersão por microbacia dos atributos pH H ₂ O, P, K, Ca, Mg, CO e Argila nas profundidades 0-20 cm e 40-60 cm (box-plot)	56
FIGURA 5 – Número de amostras necessárias nas microbacias em duas profundidades, de acordo com a probabilidade de erro estabelecida	57
FIGURA 6 – Modelos de regressão linear dos atributos: DN x P, Mg x CO, K x CO e Ca x CO, na camada de 0-20 cm (* significativo a $\alpha = 0,01$)	60
FIGURA 7 – Modelos de regressão linear dos atributos: DN x Ca e DN x Mg na camada de 40-60 cm (* significativo a $\alpha = 0,01$) ..	61
FIGURA 8 – Distribuição espacial dos teores de argila e P nas microbacias em duas profundidades (0-20 cm e 40-60 cm)	67
FIGURA 9 – Distribuição espacial dos teores de K e Ca nas microbacias em duas profundidades (0-20 cm e 40-60 cm)	68
FIGURA 10 – Distribuição espacial dos teores de Mg e CO nas microbacias em duas profundidades (0-20 cm e 40-60 cm)	69
FIGURA 11 – Variação da densidade aparente média das microbacias com a profundidade	70
FIGURA 12 – Distribuição espacial do estoque de P, K, Mg e Ca das microbacias na profundidade (0-60 cm)	74
FIGURA 13 – Distribuição espacial do estoque de CO (0-60 cm) em t/ha (perfil do relevo 3D)	75

FIGURA 14 – Modelos esféricos de semivariograma e teste de validação cruzada para os atributos relação textural (RT) e índice de avermelhamento (RR)	76
FIGURA 15 – Classes texturais de duas profundidades das 4 microbacias	77
FIGURA 16 – Modelos em 3D da altitude da paisagem e da relação textural (B/A)	78
FIGURA 17 – Mapas interpolados por krigagem ordinária, demonstrando a distribuição espacial dos atributos: (A) relação textural-B/A e (B) índice de avermelhamento-RR na profundidade de 40-60 cm	79
FIGURA 18 – Mapa gerado por meio da sobreposição dos mapas da relação textural (RT) e índice de avermelhamento (RR) ...	81
FIGURA 19 – Distribuição das classes de solos das microbacias, segundo o SiBCS (EMBRAPA, 1999), em escala aproximada de 1:4.500	83
FIGURA 1A– Modelos de semivariogramas de teores dos atributos argila, P, K, Ca, Mg e CO nas profundidades de 0-20 cm e 40-60 cm	97
FIGURA 2A– Modelos de semivariogramas dos estoques de P, K, Ca, Mg e CO na profundidade de 0-60 cm	98
FIGURA 1B– Perfil 01 (LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plântico, textura média, A moderado, fase floresta ombrófila, relevo plano)	99
FIGURA 2B– Perfil 02 (LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico argissólico, textura média, A moderado, fase floresta ombrófila, relevo plano)	103
FIGURA 3B– Perfil 03 (LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, textura média, A moderado, fase floresta ombrófila, relevo plano)	106
FIGURA 4B– Perfil 04 (PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário Distrófico típico, textura média muito cascalhento/argilosa, A moderado, fase floresta ombrófila, relevo suave ondulado)	109

FIGURA 5B–	Perfil 05 (ARGISSOLO AMARELO Distrófico plíntico, textura média/média, A moderado, fase floresta ombrófila, relevo ondulado)	112
FIGURA 1C–	Gráficos dos atributos de solo do perfil 01 (ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plíntico, textura média, A moderado, fase floresta ombrófila, relevo plano)	115
FIGURA 2C–	Gráficos dos atributos de solo do perfil 02 (LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico argissólico, textura média, A moderado, fase floresta ombrófila, relevo plano)	116
FIGURA 3C–	Gráficos dos atributos de solo do perfil 03 (LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, textura média, A moderado, fase floresta ombrófila, relevo plano)	117
FIGURA 4C–	Gráficos dos atributos de solo do perfil 04 (PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário Distrófico típico, textura média muito cascalhento/argilosa, A moderado, fase floresta ombrófila, relevo suave ondulado)	118
FIGURA 5C–	Gráficos dos atributos de solo do perfil 05 (ARGISSOLO AMARELO Distrófico plíntico, textura média/média, A moderado, fase floresta ombrófila, relevo ondulado)	119

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1 – Estatística descritiva dos atributos do solo na profundidade de 0-20 cm nas microbacias estudadas	51
TABELA 2 – Estatística descritiva dos atributos do solo na profundidade de 40-60 cm nas microbacias estudadas ...	52
TABELA 3 – Coeficientes de correlação de Pearson entre os atributos pH H ₂ O, P, K, Ca, Mg, argila, CO, diferença de nível (DN) e índice de avermelhamento (RR) do solo das microbacias	58
TABELA 4 – Parâmetros dos semivariogramas das microbacias na profundidade de 0-20 cm	62
TABELA 5 – Parâmetros dos semivariogramas das microbacias na profundidade de 40-60 cm	63
TABELA 6 – Estatística descritiva do estoque de nutrientes das microbacias na profundidade de 0 a 60 cm	72
TABELA 7 – Parâmetros dos semivariogramas dos estoques de nutrientes das 4 microbacias na profundidade de 0 a 60 cm	72
TABELA 8 – Média do estoque de CO (kg.m ⁻²) nas microbacias em profundidades de 0-20 cm e 0-30 cm	75
TABELA 9 – Correspondência aproximada para os solos das microbacias entre SiBCS (1999), FAO (1988) e Soil Taxonomy (1999)	84
TABELA 1B – Análises físicas e químicas do solo do perfil 01	102
TABELA 2B – Análises físicas e químicas do solo do perfil 02	105
TABELA 3B – Análises físicas e químicas do solo do perfil 03	108
TABELA 4B – Análises físicas e químicas do solo do perfil 04	111
TABELA 5B – Análises físicas e químicas do solo do perfil 05	114

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DE SOLO EM
MICROBACIAS SOB VEGETAÇÃO DE FLORESTA NA
AMAZÔNIA MERIDIONAL**

Autor: JOÃO PAULO NOVAES FILHO

Orientador: Prof. Dr. EDUARDO GUIMARÃES COUTO

RESUMO – Este trabalho é parte integrante de pesquisas realizadas pelo programa Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA), que abrangeu o estudo da variabilidade espacial de atributos de solo em microbacias sob vegetação de floresta, por meio da aplicação de técnicas geoestatísticas. A área pesquisada pertence à região noroeste do estado de Mato Grosso, cuja vegetação ainda não foi perturbada por nenhum tipo de manejo agrícola ou florestal, e consiste em uma paisagem de grande complexidade para amostragens, apesar da aparente homogeneidade. Os objetivos deste trabalho foram: o estudo do comportamento espacial dos atributos químicos e físicos de solo em diferentes profundidades; a estimativa do estoque de nutrientes (0-60 cm); e a identificação das classes pedológicas a partir dos atributos textura e cor. Foram demarcados 185 pontos georreferenciados em forma de malha sistemática regular, com espaçamento de 20 x 20 m, onde foram coletadas amostras de solo com trado holandês nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm. Para a determinação da densidade aparente até a profundidade de 0-60 cm, foram retiradas amostras com estrutura não deformada por meio de anéis de aço de Kopecky. O carbono orgânico apresentou correlação positiva significativa com os cátions K, Ca e Mg nas duas profundidades do solo, porém, esses cátions se correlacionaram negativamente com a diferença de nível da paisagem. A análise dos semivariogramas dos atributos estudados demonstrou acréscimo do valor médio do alcance de 161 para 222 m, nas profundidades de 0-20 cm e 40-60 cm, respectivamente. O mesmo comportamento foi observado na densidade aparente, a qual teve um aumento respectivo de $1358 \pm 81 \text{ g.dm}^{-3}$ para $1456 \pm 83 \text{ g.dm}^{-3}$ nas profundidades de 0-20 cm e 40-60 cm. Os estoques de nutrientes dos atributos estudados foram mais altos nas microbacias 3 e 4 comparados com os das

microbacias 1 e 2. Considerando o conjunto das quatro microbacias, as médias dos estoques dos atributos na profundidade de 0-60 cm foram: $P = 9,68 \pm 2,78 \text{ kg.ha}^{-1}$, $K^+ = 0,42 \pm 0,18 \text{ t.ha}^{-1}$, $Ca^{2+} = 1,13 \pm 0,71 \text{ t.ha}^{-1}$, $Mg^{2+} = 0,46 \pm 0,24 \text{ t.ha}^{-1}$ e carbono orgânico = $59,74 \pm 10,30 \text{ t.ha}^{-1}$. Nas microbacias, foi possível distinguir as principais classes de solo ocorrentes até o 2º nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos por meio da análise geoestatística das variáveis, relação textural (B/A) e índice de avermelhamento, quando associadas com a altimetria da paisagem. Foram observadas as classes Argissolos (com caráter plíntico) e Plintossolos, em altitudes inferiores a 280 m, e Latossolos nas cotas superiores. Dessa forma, ficou evidenciada a possibilidade do uso da geoestatística para estimar a precisão dos mapeamentos pedológicos. Porém, são indispensáveis o conhecimento pedológico e o trabalho posterior de campo para a aplicação e o ajuste dessa modelagem.

Palavras-chave: geoestatística, krigagem e dependência espacial.

**SPATIAL VARIABILITY OF SOIL ATTRIBUTES IN
FORESTED MICROCATCHMENTS IN
SOUTHERN AMAZÔNIA**

Author: JOÃO PAULO NOVAES FILHO

Adviser: Ds. EDUARDO GUIMARÃES COUTO

ABSTRACT – This work is part of the research carried out through the Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazônia (LBA), which concerns the the spatial variability of soil attributes in microbasins under forested vegetation by means of the application of geostatistical techniques. The research area is in the northwest region of the state of Mato Grosso, within an area under undisturbed forest vegetation and consisting of a landscape of great complexity for sampling, despite the apparent homogeneity. The objectives of this study were: to study of the spatial distribution of physical and chemical soil attributes at different depths; to estimate soil nutrient stocks (0-60 cm); and to identify the spatial distribution of soil classes using geostatistical analysis based on soil texture and soil color. Georeferenced samples (185 locations) were collected from a 20x20 m grid using a Dutch auger in 20 cm depth increments, 0-20 cm, 20-40 cm and 40-60 cm. Undisturbed volumetric samples were collected for the determination of bulk density using steel rings. Organic carbon was positively correlated with the cations K, Ca and Mg at the two depths. However, these cations were negatively correlated with slope. Analysis of the semivariograms of the studied attributes found that the range increased from 161 m to 222 m for the 0-20 cm and 40-60 cm depths, respectively. The same behavior was observed for bulk density, which increased from $1358 \pm 81 \text{ g dm}^{-3}$ to $1456 \pm 83 \text{ g dm}^{-3}$ for the 0-20 cm and 40-60 cm depths. Soil nutrient stocks of the studied attributes were higher for microbasins 3 and 4 compared to microbasins 1 and 2. Considering the set of the four microbasins, the average nutrient stocks in the depth of 0-60 cm were found to be: $\text{P} = 9.68 \pm 2.78 \text{ kg ha}^{-1}$, $\text{K}^+ = 0.42 \pm 0.18 \text{ t ha}^{-1}$, $\text{Ca}^{2+} = 1.13 \pm 0.71 \text{ t ha}^{-1}$, $\text{Mg}^{2+} = 0.46 \pm 0.24 \text{ t ha}^{-1}$ and Organic Carbon = $59.74 \pm 10.30 \text{ t ha}^{-1}$. In the microbasins, it was possible to distinguish the occurrence of primary soil classes

using geostatistical analysis up to the 2nd level of classification of the Brazilian Soil Classification System. The soil classes observed in the microbasins were: Ultisols (with plinthic characteristics) and Plinthustults at altitudes less than 280 m, and Oxisols at higher altitudes. The use of geostatistics to estimate soil mapping units was found to be a viable technique. Nevertheless, pedologic information and follow-up field verification was required for the application of, and adjustment to, the geostatistical models.

Key words: Geostatistics, kriging, spatial dependence.

1 INTRODUÇÃO

Esta pesquisa é integrante do projeto denominado Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA) em parceria com a Universidade Federal de Mato Grosso. Esse experimento é uma cooperação na área de pesquisa ecológica realizada entre o Brasil e os Estados Unidos da América. O LBA está planejado para gerar novos conhecimentos, necessários à compreensão dos impactos causados pelo uso da terra e das interações entre a Amazônia e o sistema biogeofísico global da Terra.

Localizada ao sul da Bacia Amazônica, na região noroeste do Estado de Mato Grosso, a área de estudo é caracterizada por uma paisagem de sistema pedológico de grande complexidade. Por isso, apesar da aparente homogeneidade, nem sempre é possível determinar claramente estratos diferenciados para a aplicação da estatística clássica. Essa região dispõe de informações pedológicas apenas em nível de levantamentos de reconhecimento ou exploratório, como os produzidos pelo Projeto Radambrasil (escala 1:1.000.000), na década de 80, e mais recentemente pela Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral – SEPLAN/MT (escala 1:250.000).

Devido à pequena escala desses trabalhos, a sua utilização fica bastante restrita, não sendo adequada a planejamentos mais detalhados, como em pequenas bacias hidrográficas e propriedades rurais. A execução de levantamentos mais detalhados dos atributos dos solos é muito importante para o direcionamento das práticas de exploração dos recursos de uma região, mas é uma atividade que demanda tempo e é onerosa.

O problema é evidente quando se pretende desenvolver modelos que possam mapear com precisão a variabilidade espacial dos atributos daqueles solos, bem como, determinar o estoque de nutrientes e a sua distribuição espacial. A falta de conhecimentos detalhados sobre os solos amazônicos oferece uma vasta linha de pesquisas, principalmente neste período em que as florestas tropicais estão sendo rapidamente substituídas por sistemas agropecuários, sem o devido fundamento científico.

Tendo em vista todas essas questões, este trabalho utilizou técnicas geoestatísticas, como o semivariograma e a krigagem, para estudar os solos de quatro microbacias sob vegetação de floresta, assumindo ainda, as seguintes hipóteses:

- Métodos geoestatísticos permitem estimar a distribuição espacial do estoque de nutrientes.
- O comportamento espacial de atributos químicos e físicos permite identificar a distribuição dos solos na paisagem, numa escala em que os levantamentos convencionais se mostram pouco factíveis;

Neste contexto, tomando como base os princípios da cooperação científica entre o programa LBA e a UFMT, o presente estudo estabeleceu os seguintes objetivos:

- Estudar o comportamento espacial dos atributos de solo em diferentes profundidades;
- Fornecer com acurácia a distribuição espacial dos atributos de solos;
- Estimar o estoque de nutrientes das microbacias.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O Bioma Amazônia

Bioma é conceituado, de acordo com o IBGE (2004), como um conjunto de vida (vegetal e animal) constituído pelo agrupamento de tipos de vegetação contíguos e identificáveis em escala regional, com condições geoclimáticas similares e história compartilhada de mudanças, o que resulta em uma diversidade biológica própria.

Maior reserva de diversidade biológica do mundo, a Amazônia é também o maior bioma brasileiro em extensão e ocupa quase metade do território nacional (49,29%). A bacia amazônica ocupa 40% da América do Sul e 5% da superfície terrestre. Sua área, de aproximadamente 6,5 milhões de quilômetros quadrados, abriga a maior rede hidrográfica do planeta, que escoia cerca de 20% do volume de água doce do mundo. Sessenta por cento da bacia amazônica se encontra em território brasileiro, onde o Bioma Amazônia ocupa totalmente cinco unidades da federação (Acre, Amapá, Amazonas, Pará e Roraima), grande parte de Rondônia (98,8%), mais da metade de Mato Grosso (54%), além de parte de Maranhão (34%) e Tocantins (9%) (IBGE, 2004).

A grande diversidade geológica existente na Amazônia, aliada ao relevo diferenciado, resultou na formação das mais variadas classes de solo, sob a influência das grandes temperaturas e precipitações, características do clima tropical úmido. Contudo, a fertilidade natural dos solos é baixa, em contraste com a exuberância das florestas ombrófilas (úmidas) que nelas se desenvolvem. A vegetação apresenta grande variedade, destacando-se: matas de terra firme, florestas inundadas, várzeas,

igapós, campos abertos e cerrados. Conseqüentemente, a Amazônia abriga uma infinidade de espécies vegetais e animais: 1,5 milhão de espécies vegetais catalogadas; três mil espécies de peixes; 950 tipos de pássaros; e ainda insetos, répteis, anfíbios e mamíferos (IBAMA, 2005).

2.2 Os solos tropicais na Amazônia

Existem muitas definições para o termo “tropical”; a maior ênfase é dada pela caracterização climática para separar regiões tropicais de regiões temperadas. Geograficamente, a área tropical é compreendida entre as latitudes 23° 27’ N e S. Para Van Wambeke (2002), o clima do solo é o único atributo comum que pode ser utilizado para separar aquelas regiões, segundo o qual, não existe nenhuma outra propriedade de solo que possa discriminar tão bem os solos de regiões tropicais dos solos de outras regiões. Este autor propôs um conceito bastante empregado por sistemas de classificação de solos, que é o emprego do estudo do clima, particularmente, os regimes de temperatura e umidade do solo.

A Amazônia é composta de uma vasta bacia continental de terras baixas que vão subindo até a altitude de 300 m em sua franja ocidental, cercada ao norte e a sul pelas formações cristalinas da Guiana e do Brasil, e a oeste, pela Cordilheira dos Andes. A região mostra pouca variação em temperatura de superfície e a precipitação total anual é tipicamente de 2000 mm; porém, alcança até 4000 mm na região noroeste e menos que 1200 mm nas franjas de savana (Malhi et al., 2002).

De acordo com Sombroeck (1984), a borda meridional da Bacia Amazônica possui base cristalina com rochas sedimentares superficiais muito antigas (Pleistoceno) como também gnaisses e xistos. Os solos destas áreas são bastante variados nas suas características, como por exemplo, os solos profundos desenvolvidos de gnaisses: Latossolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 1999), Orthic Ferralsols (FAO, 1988), ou Haplorthox (Soil Survey Staff, 1999). Esse autor observou que, mapeamentos mais recentes revelaram a predominância de solos moderadamente profundos com subsolo menos poroso e textura mais pesada que o horizonte superficial (argillic) nas áreas de base cristalina, como os Podzólicos Vermelho-Amarelos, atualmente Argissolos (EMBRAPA, 1999), Ferric Acrisols (FAO, 1988) ou Hapludults (Soil Survey Staff, 1999).

Segundo Batjes e Dijkshoorn (1999), as principais classes de solo existentes na região amazônica são Acrisols e Ferralsols (FAO, 1988), com 24,8 % e 24,6 % do total da área, respectivamente. A média observada do estoque de carbono no solo, de acordo com as classes pedológicas na profundidade de 0-30 cm, foram: Acrisols, 4,40 kg.m⁻² (CV = 50 %); Ferralsols, 5,05 kg.m⁻² (CV = 48%); Plinthosols, 3,97 kg.m⁻² (CV = 59 %).

Já, Moraes et al. (1995), afirmam que 60 % da área total da Amazônia Legal é composta por Oxisols, Ultisols e Alfisols (Soil Survey Staff, 1999). Esses autores determinaram o estoque de carbono para solos sob vegetação primária na Bacia Amazônica, tomando como base 1162 perfis de solo do Projeto RADAMBRASIL, e constataram a média de 10,3 kg.m⁻² de C, considerando a profundidade de 1 m.

McGrath et al. (2001) estudaram a dinâmica de nutrientes de solos sob floresta na Amazônia e constataram que, solos classificados como Ultisols (Soil Survey Staff, 1999) apresentam valores mais altos de pH e P do que Oxisols (Soil Survey Staff, 1999). Porém, o carbono total e a fração argila, foram significativamente maiores em Oxisols do que em Ultisols. Na profundidade de 0-20 cm, foi observado que o carbono total e P apresentaram correlações significantes com o conteúdo de argila. Os teores médios dos atributos de solo encontrados foram: pH = 4,2±0,1; P = 2,9±0,3 mg.dm⁻³; Ca = 0,4±0,1 cmol_c.dm⁻³ e CT = 27,6±3,2 g.kg⁻¹.

Estudando a relação entre solos e biomassa em florestas na Amazônia Central, Laurence et al. (1999) observaram que a dinâmica do solo e da floresta são influenciadas pela topografia local. Áreas planas apresentaram altos teores de argila, que possuem associações com nutrientes importantes como o K, Ca e Mg. O conteúdo de argila está positivamente correlacionado com a matéria orgânica, que é um importante fator na capacidade de troca catiônica (CTC) em argilas de baixa atividade. Esses autores destacam ainda que, estudos tentando correlacionar vegetação com características de solo têm limitações, pois, a falta de correlações significativas pode também ocorrer porque as amostras representam somente parte do alcance da variação dos parâmetros do solo, ou por causa da não linearidade entre variáveis.

Os resultados observados por Laurence et al. (1999) demonstram que a biomassa aumenta em solos argilosos com maiores teores de N, matéria orgânica e

bases trocáveis, e declina em solos arenosos e com alta saturação de alumínio. A média geral de biomassa encontrada foi de $356 \pm 47 \text{ t.ha}^{-1}$, e a média dos atributos na profundidade de 0-20 cm, foram: $\text{pH (H}_2\text{O)} = 4,16 \pm 0,25$; $\text{CO} = 15,9 \pm 2,6 \text{ g.kg}^{-1}$; $\text{P} = 3,1 \pm 0,5 \text{ mg.dm}^{-3}$ e $\text{K} = 23,5 \pm 3,9 \text{ mg.dm}^{-3}$.

Oberson et al. (1999) estudaram a ciclagem de nutrientes em Oxisols (Soil Survey Staff, 1999) na Colômbia sob vegetação de savana e constataram níveis baixos dos atributos na profundidade de 0-10 cm. Os teores médios observados foram: $\text{pH} = 4,80$; $\text{K} = 31,3 \text{ mg.dm}^{-3}$; $\text{Ca} = 0,26 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$; $\text{Mg} = 0,11 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ e carbono total = $23,5 \text{ g.kg}^{-1}$.

Botschek et al. (1996) realizaram um estudo de propriedades químicas em latossolos amarelos muito argilosos, sob vegetação de floresta primária em Itacoatiara-AM e observaram as seguintes variações nos teores dos atributos: horizonte A (P variando de 1,4 a $3,1 \text{ mg.dm}^{-3}$ e CO variando de 11,1 a $32,3 \text{ g.kg}^{-1}$) e horizonte B (P variando de 0,4 a $1,8 \text{ mg.dm}^{-3}$ e CO variando de 1,3 a $11,3 \text{ g.kg}^{-1}$).

Estudando latossolos amarelos sob floresta tropical em Caxiuanã-PA, Ruivo et al. (2002) observaram os seguintes valores para atributos de solo no horizonte superficial: pH (3,8 a 4,9) e carbono (3,4 a $14,3 \text{ g.kg}^{-1}$).

Pesquisando solos tropicais, Sanchez e Logan (1992) desmistificam a idéia de que estes solos apresentam menores conteúdos de matéria orgânica do que os solos de clima temperado. Este engano foi causado pela falta estudos sistemáticos que pudessem representar maiores conhecimentos sobre tais solos. Esses autores lembram que a literatura de ciência do solo tem muitas informações, indicando não haver diferenças significativas do conteúdo de matéria orgânica entre solos de regiões temperadas e tropicais na profundidade de 100 cm.

No sudoeste da Bacia Amazônica, Moraes et al. (1996) estudaram atributos de solo e observaram que, apesar das variações existentes nos teores de argila, o estoque de carbono do solo sob vegetação de floresta é de $3,7 \text{ kg.m}^{-2}$ e o Ca variou de 0,07 a $0,17 \text{ kg.m}^{-2}$, considerando uma profundidade de 0-30 cm. A densidade aparente do solo variou de $1,30 \text{ g.cm}^{-3}$ nos primeiros 5 cm, até $1,51 \text{ g.cm}^{-3}$ na profundidade de 20-30 cm.

Melo (2003) estimou o estoque de carbono nos solos do estado do Acre, encontrando variações de 3,0 a $3,6 \text{ kg.m}^{-2}$ em argissolos e 3,3 a $4,2 \text{ kg.m}^{-2}$ em

latossolos, para a profundidade de 0-30 cm. Nas áreas de floresta, a densidade aparente do solo variou entre $1,1 \text{ g.cm}^{-3}$ nos horizontes superficiais e $1,5 \text{ g.cm}^{-3}$ em profundidade.

Neill et al. (1997) estudaram mudanças no estoque de carbono em solos sob florestas e pastagens, em um transecto de 700 km no estado de Rondônia. Nas paisagens de floresta, os autores encontraram o estoque de carbono na camada de 0-30 cm do solo, variando da seguinte forma: $3,23 \pm 0,32 \text{ kg.m}^{-2}$ (Nova Vida), $3,93 \pm 0,28 \text{ kg.m}^{-2}$ (Cacaulândia), $4,81 \pm 0,51 \text{ kg.m}^{-2}$ (Ouro Preto), $5,04 \pm 0,29 \text{ kg.m}^{-2}$ (Vilhena) e $6,20 \pm 0,23 \text{ kg.m}^{-2}$ (Porto Velho).

Já, Bernoux et al. (2002), reunindo dados de vários trabalhos, como os realizados pelo Projeto RADAMBRASIL e IBGE, apresentaram um mapa de estoque de carbono do solo para o Brasil. Na região noroeste do estado de Mato Grosso, o mapa elaborado pelos autores registra $4,5 \text{ kg.m}^{-2}$ de carbono na camada de 0-30 cm.

Uma forte característica dos solos tropicais é a alta fixação de fósforo, principalmente em solos ácidos constituídos por minerais de argila do tipo 1:1, de textura argilosa e com elevados conteúdos de óxidos de Fe e Al (Smithson e Giller, 2002).

Sanchez et al. (2003) concluíram que horizontes argilosos com mais de 20% de óxidos de ferro ou alumínio na fração argila “fixam” ou adsorvem grande quantidade de fósforo, que são transformados em compostos de ferro e alumínio. Segundo os autores, solos tropicais com alta fixação de fósforo podem ser identificados como aqueles com horizontes superficiais argilosos que tem cores vermelhas ou amareladas, indicativo de altos teores de óxido de ferro e alumínio, normalmente acompanhado por uma estrutura granular.

Conforme descreve Campos (2001), a cor do solo está intimamente relacionada a seus constituintes, principalmente a óxidos de ferro e matéria orgânica. Sendo, portanto, um importante indicador da composição e gênese do solo. Também enfatiza sobre a importância que a avaliação da cor ganha, pois, muitos sistemas de classificação de solos a utilizam como atributo separador de unidades. No Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), a cor determina o nome de ARGISSOLOS e LATOSSOLOS no segundo nível categórico.

2.3 Geoestatística aplicada na ciência do solo

As técnicas estatísticas clássicas e geoestatísticas se complementam, mas o uso de variáveis regionalizadas tem as vantagens de permitir o estudo do grau de dependência no espaço de uma propriedade do solo medida e de estudar a estrutura da variância (Reichardt et al., 1986; Cambardella et al., 1994). Conforme observado por Bourennane et al. (2003), a técnica geoestatística permite descrever as relações espaciais e, também, separar as fontes de variação de acordo com a escala de espaço em que elas ocorrem.

Para a comparação de paisagens de ecossistemas e o estudo de uso do solo, Stein e Ettema (2003), evidenciam a exigência da aplicação de estatísticas não clássicas. Da mesma forma, Trangmar et al. (1985) afirmam que o modelo estatístico clássico é inadequado para interpolação de variáveis espacialmente dependentes, porque ela assume que as variações são aleatórias e não considera a correlação espacial relativo aos locais das amostras.

Há muito tempo, pesquisadores e agrônomos utilizam amostras de solo compostas, mesmo estando cientes da existência de grande variabilidade dos atributos do solo. Deste modo, uma só recomendação média é formulada, não sendo suficiente para homogeneizar o solo para o plantio, causando super e subestimações (Castrignanò et al., 2000). Da mesma forma, Reichardt et al. (1986) analisando dados de pH do solo em amostras coletadas a cada metro em uma transeção, verificaram que o uso da estatística clássica foi insuficiente para recomendar calagem que mostre uma resposta homogênea para toda a área experimental. Zimback (2003) pondera que, se atributos e propriedades dos solos variam grandemente dentro de cada polígono delimitador, este não pode ser usado e manejado de maneira única, devido à ocorrência desta variação.

Goovaerts (1998), estudando a distribuição espacial de pH em transectos de áreas de floresta e de pastagem, observou, pela comparação dos desvios padrões, que a variabilidade era semelhante nas duas situações. Porém, os transectos mostraram que os valores de pH têm maior variação em espaços menores na floresta do que na pastagem. Esta característica espacial não é identificada se a informação espacial for ignorada.

No Centro Experimental do Instituto Agronômico de Campinas, Vieira (1997) estudou atributos químicos de solo em duas profundidades e observou que as suas variações não foram detectadas pela amostragem ao acaso. Dessa forma, o sistema convencional de amostragem omitiu uma variação existente que deveria ser considerada.

A variabilidade do solo é resultado de processos naturais e práticas agrícolas, agindo em diferentes escalas espaço-temporais. Os fatores de formação do solo, como material de origem, biota, clima e topografia, explicam a maior parte da variabilidade; porém, manejos agrícolas podem interferir significativamente (Castrignanò et al., 2000). O registro fóssil mostra que estes processos têm variado substancialmente durante o tempo; isto sugere que, a falta de conhecimento humano sobre estes fenômenos, dá a idéia de que as variações dos processos pedológicos assumem caráter aleatório (Webster, 2000).

Esta hipótese é fortalecida por Dobermann et al. (1995), que estudaram as fontes de variações dos atributos químicos de um Ultisol (Soil Survey Staff, 1999) nas Filipinas. A combinação de modelagens geoestatísticas e conhecimentos pedológicos permitiu explicar algumas fontes de variação dos atributos químicos daquele solo tropical, inerentes à gênese ou manejo agrícola.

A organização estrutural da superfície do solo indica uma presença regular de variabilidade natural dos atributos do solo. É sabido que, as variáveis do solo em locais mais próximos são freqüentemente mais semelhantes entre si do que as que estiverem mais distantes (Isaaks e Srivastava, 1989; Vieira, 2000; Kuzyakova et al., 2001).

Paisagens aparentemente homogêneas podem causar equívocos na avaliação ou manejo, se não forem corretamente analisadas. Cerri et al. (2004a), utilizando funções geoestatísticas, observaram uma heterogeneidade muito grande entre os atributos de solo sob pastagens no estado de Rondônia, apesar da aparente semelhança entre os locais estudados. Nesse estudo, os autores utilizaram amostragens com distância de 25 m em malha regular, e observaram um grande efeito pepita para a maioria dos atributos. Essa é uma típica situação em que uma alta variabilidade existe dentro de um pequeno espaço, inclusive, dentro da distância inferior à das coletas.

Basicamente, a razão de um sistema de classificação de solos é delinear unidades que contenham condições menos variáveis do que a população de solos como um todo (Wilding e Drees, 1983). No Brasil, o mapeamento de solo existente possui escala pequena como o levantamento exploratório do RADAMBRASIL (1:1.000.000) e trabalhos de zoneamento agroecológico. A razão principal para essa falta de dados espaciais de solos é que os métodos convencionais de levantamento são lentos e caros (McBratney et al., 2003).

A combinação de procedimentos geoestatísticos de estimação espacial com classificação contínua fornece uma poderosa opção para classificação e mapeamento, permitindo lidar com classes de solo no espaço (McBratney et al., 1992; Camargo et al., 1998; Castrignanò et al., 2000).

Um problema comum a quase todas as pesquisas de solos é a classificação de uma região de tal modo que, cada classe seja suficientemente homogênea de acordo com o perfil descrito. A criação de classes de perfil de solo sem levar em conta o seu arranjo espacial pode levar a tal fragmentação da área que a classificação não tem nenhum valor prático. Da mesma forma, uma subdivisão da região em formas maiores sem consideração suficiente das propriedades do perfil não parece razoável. Na prática, o objetivo pode ser alcançado com a organização de classes de solos, em que a combinação do perfil com o arranjo espacial sejam considerados (McBratney e Webster, 1981; Webster e Oliver, 1992).

Uma importante característica dos atributos de solo foi evidenciada por Cambardella et al. (1994), quando estudaram 28 atributos distintos de solo na profundidade de 0-15 cm e observaram que a maioria deles não apresentou distribuição normal. Muitas variáveis apresentaram distribuição lognormal, e algumas, permanecem não apresentando distribuição normal, mesmo depois da transformação logarítmica. Resultado semelhante é descrito por Dobermann et al. (1995), quando observaram que a maioria dos atributos de solo estudados apresentou distribuição lognormal, e poucas, seguiram a normalidade dos dados. Também, Kravchenko e Bullock (1999) demonstraram em seus estudos que muitos atributos do solo não seguem distribuição normal.

Testando metodologias de interpolações para mapeamento de K e P em 30 campos agrícolas nos estados norte-americanos de Illinois, Indiana e Iowa,

Kravchenko e Bullock (1999) compararam a hipótese da superioridade do emprego da krigagem em dados transformados (lognormal) de atributos com alto valor de coeficiente de variação, assimetria e curtose. Porém, a krigagem ordinária com dados originais se mostrou uma técnica mais segura de interpolação do que a krigagem com dados transformados, em áreas onde são utilizados mais do que 200 pontos de amostragem. Neste caso, independente dos atributos apresentarem distribuição normal ou lognormal, não foi verificada a melhoria na precisão de estimação pelo uso da krigagem em dados transformados (lognormal).

A geoestatística comumente lida com as variações no espaço. Os processos naturais como o intemperismo de materiais de origem, erosão ou transportes de nutrientes são dinâmicos, e vários atributos de solo que variam espacialmente, variam no tempo também (Trangmar et al., 1985; Goovaerts, 1998; Heuvelink e Webster, 2001; Sun et al. 2003; Vieira e Paz-González, 2003).

Um estudo da dinâmica da distribuição da matéria orgânica no Pantanal de Mato Grosso, realizado por Nogueira et al. (2002), demonstrou que a geoestatística aumentou o volume de informações sobre a dinâmica das variações sazonais das inundações ocorridas naquela região, e que a sobreposição de mapas produzidos em épocas de inundação e seca permitiu identificar grandes variações espaço-temporais de matéria orgânica, originadas daquele fenômeno natural.

A decisão de qual modelo de amostragem a ser escolhido, depende do objetivo da pesquisa de solos. Devem ser levados em consideração a estimativa das variâncias, o tamanho da amostra e a autocorrelação entre pontos observados e locais estimados (Brus e De Gruijter, 1997). A escolha da configuração e espaçamento de amostragem para análise de semivariograma, geralmente, tem sido baseada em prévios conhecimentos de variações dentro da área de estudo, no objetivo do estudo, e no custo desta amostragem. Projetos de amostragens para análise de dependência espacial têm se baseado em coletas de amostras ao longo de transectos, malhas regulares ou irregulares (Trangmar et al., 1985; Van Groenigen, 1999).

Couto et al. (1997) estudaram os atributos potássio e soma de bases do solo em área de grande extensão no sudeste de Mato Grosso, com amostras coletadas em quatro transectos nos horizontes A e B; segundo os autores, a técnica geoestatística permitiu identificar locais onde há a necessidade de maior ou menor intensidade de

amostragens. Para o atributo K, o horizonte A mostra dependência espacial com um alcance de 13,5 km, e o horizonte B, um alcance de 8,4 km.

Vieira et al. (1992) pesquisaram a variabilidade espacial de algumas propriedades físicas dos três principais solos de São Paulo, utilizando a metodologia geoestatística. Esta modelagem permitiu estabelecer espaçamento entre amostras para os solos estudados, com estimativas a espaços menores, sem tendência, e com variância mínima.

Apesar de muitos pesquisadores recomendarem o uso de grande número de amostras para a aplicação da modelagem geoestatística, não significa que poucos dados não poderão ser usados. Dados escassos podem ser complementados com conhecimentos especializados sobre as variáveis estudadas (Goovaerts, 1999).

Segundo Webster e Oliver (1992), há muitos exemplos na literatura de variogramas calculados com menos de 50 amostras. Engenheiros de minas e de petróleo têm trabalhado com poucos dados, pois em função do custo de amostragem, a inclusão de novas amostras pode ser inviável. Estes autores, baseados em experimentos com amostragens, concluíram que, para um número de amostras inferior a 50 observações, os intervalos de confiança são muito amplos para o variograma observado representar confiantemente um local. A precisão obtida com amostras em número de 100 pode ser aceitável em algumas circunstâncias, em outras, 150 podem ser necessárias. Para a maioria das aplicações, o número de 225 amostras apresentou boa precisão, mostrando-se adequado onde a variação é isotrópica.

A principal aplicação da geoestatística para a ciência do solo tem sido estimar e mapear os atributos de solo em áreas não amostradas (Goovaerts, 1999). Pesquisadores de solo estão restritos a observações limitadas da superfície terrestre, necessitando de extrapolações das propriedades de solo de locais onde elas são conhecidas para outros onde elas não são conhecidas. A precisão de tal extrapolação é fortemente influenciada pela variabilidade dos solos, dentro da unidade amostrada, e entre unidades distintas (Trangmar et al., 1985; Stein e Ettema, 2003).

Couto e Cunha (2003) estudaram paisagens no Pantanal de Mato Grosso com a utilização da análise geoestatística e observaram grande heterogeneidade do solo. Dentre os atributos estudados, o pH apresentou uma variação de 4,42 a 4,57 e o CV

variando de 2 a 3 %. Porém, demonstrando alta variabilidade, o K apresentou valores médios de 21,51 a 29,03 mg.dm^{-3} e o CV variando de 45 a 155 %, para a profundidade de 0-20 cm.

Cerri et al. (2004b) utilizaram a modelagem geoestatística para monitorar a dinâmica de carbono e nitrogênio em uma área do estado de Rondônia. Neste estudo, o estoque de carbono do solo sob floresta variou de 2,4 a 2,6 kg.m^{-2} , para a profundidade de 0-20 cm.

Importantes descobertas na ciência do solo ocorreram em razão do conhecimento da estrutura da dependência espacial. Bourennane et al. (2003), em pesquisa realizada na região do Massif Central, França, constataram que, observações em escalas de espaço maiores revelam processos entre domínios geológicos distintos, enquanto que escalas menores demonstraram processos dentro de um mesmo domínio geológico. Cambardella et al. (1994) verificaram a existência de semelhanças nos padrões de variabilidade espacial entre alguns atributos de solo em locais diferentes. Esta pesquisa fortalece a possibilidade da extrapolação das relações medidas em uma área para outros locais, dentro de uma mesma bacia hidrográfica ou em escala regional. Utilizando interpolação por krigagem, Couto e Klamt (1999) identificaram os efeitos espaciais impostos à micronutrientes em solo sob pivô central no estado de Mato Grosso, causados pelas práticas de manejo agrícola.

Um trabalho de reconhecida magnitude foi realizado por Vander Zaag et al. (1984), por meio do uso das funções de semivariograma e krigagem. Foram avaliados atributos químicos de solo em nove zonas agrícolas de Rwanda, África, com amostras coletadas ao longo de nove transectos, nas profundidades de 0-15 cm e 30-45 cm. Nesta pesquisa ficou demonstrada a possibilidade de aplicação da geoestatística em grandes áreas, pois, os mapas produzidos baseados na krigagem constituíram uma primeira aproximação da fertilidade das terras do país.

Outra pesquisa importante foi realizada por Yost et al. (1982a,b), quando estudaram atributos químicos de solo no estado do Hawaii, utilizando as funções geoestatísticas do semivariograma e krigagem. As amostras foram coletadas em transectos em duas profundidades, espaçadas de 1 a 2 km. Os resultados deste trabalho enfatizaram que os atributos químicos, comumente têm dependência

espacial, e o entendimento de tal estrutura pode fornecer novas informações sobre o comportamento dos solos na paisagem. O semivariograma retratou as mudanças em grandes distâncias, sugerindo zonas uniformes de atributos químicos, apropriadas para grupamentos de manejos ou classificação de solo.

Destacando o uso da geoestatística no auxílio de mapeamento digital de solos, McBratney et al. (2003), discutem a relevância do uso da técnica para lugares onde as informações são limitadas. Os autores propuseram um método de levantamento digital em função dos fatores: atributos observados, clima, organismos, topografia, material de origem, tempo e localização geográfica. Basicamente, o método compreende os seguintes passos: (i) a definição dos atributos de solo e escolha da resolução; (ii) junção dos atributos em camadas; (iii) seleção dos lugares (localização geográfica) para amostragem de dados; (iv) amostragem de campo e análise de laboratório; (v) ajuste das relações quantitativas dos atributos; (vi) produção de mapa digital; (vii) nova amostragem de campo e análise de laboratório para teste de qualidade; e (viii) ajuste de legenda ou resolução para melhorar o mapa elaborado.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área estudada

A pesquisa foi conduzida na Fazenda Rohsamar, localizada no município de Juruena, região noroeste do estado de Mato Grosso, nas coordenadas geográficas 10°28'35'' S e 58°28'10'' WGr (Figura 1). Esta região integra a parte meridional da grande Bacia Amazônica, sendo a área experimental constituída por quatro microbacias, com dimensões respectivas de 1,12 ha, 1,90 ha, 1,09 ha e 1,05 ha. Apesar de esta área fazer parte de um projeto de manejo para exploração florestal, a vegetação das microbacias ainda não tinha sofrido qualquer tipo de perturbação durante a época da coleta de dados (período de 2003 e 2004).

A cobertura vegetal existente na região é classificada, segundo o IBGE (1990), como Floresta Ombrófila Densa de formação submontana. É denominada floresta de terra firme, caracterizada por apresentar árvores de médio e grande porte, com um grande número de palmeiras.

O clima regional é do tipo Am da classificação de Köppen com temperatura média anual de 24°C. A precipitação pluviométrica possui média anual de 2200 mm e possui maior intensidade nos meses de novembro a abril (BRASIL, 1980). O regime de umidade do solo é caracterizado como Ústico, pois compreende um período seco de mais de 90 dias (Van Wambeke, 2002).

Quanto à geologia, é composta pela unidade denominada Complexo Xingu, bastante antiga, datada do Pré-Cambriano, com a sua litologia predominante formada por gnaisses e granitos. O relevo pertence à formação geomorfológica Depressão Interplanáltica da Amazônia Meridional, com declividade suave ondulada na maior parte da região e altitude em torno de 260 m (BRASIL, 1980; SEPLAN, 2001).

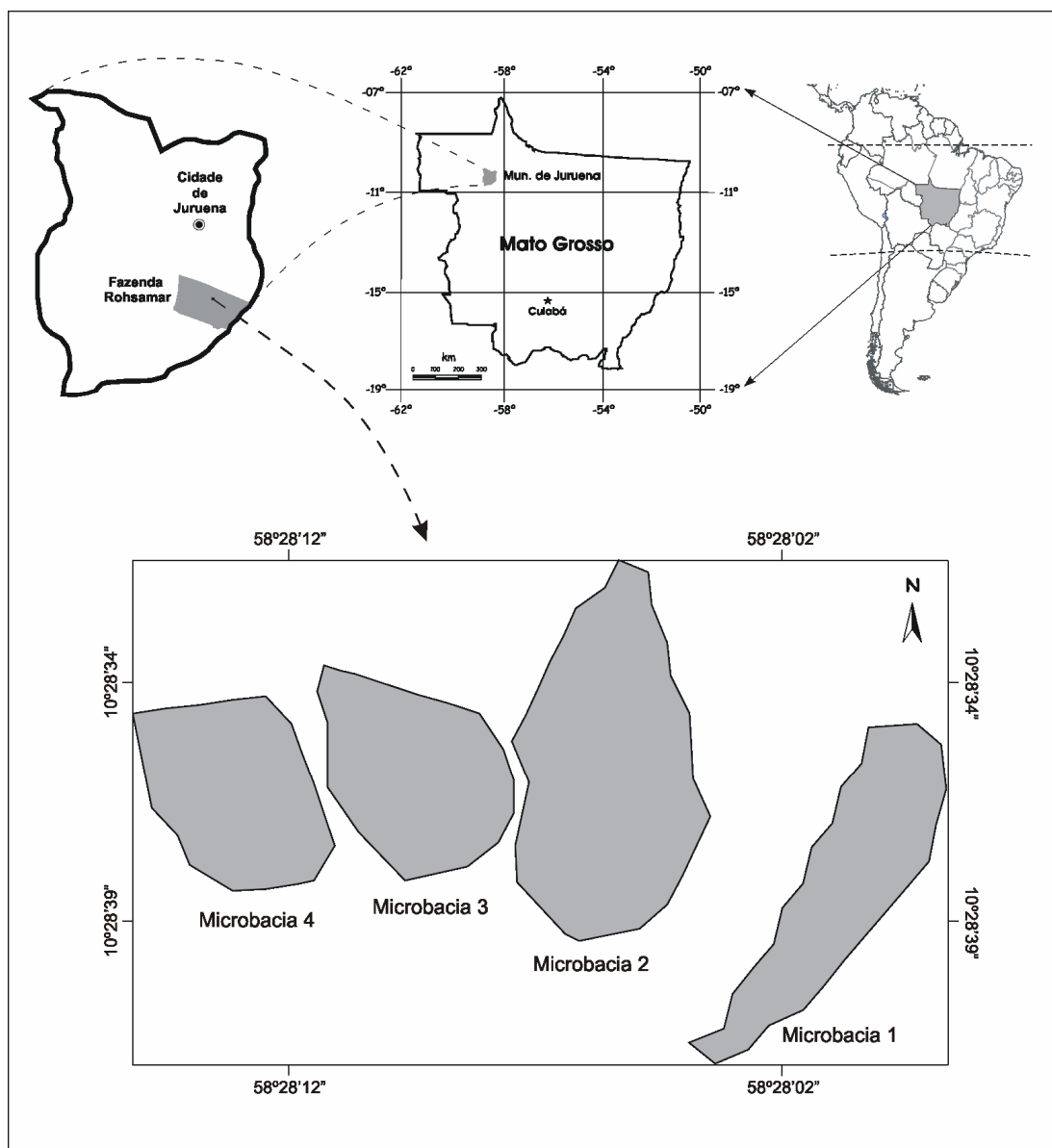


FIGURA 1. Localização das microbacias no estado de Mato Grosso.

Os solos predominantes nas paisagens de Juruena pertencem às classes ARGISSOLOS e LATOSSOLOS (EMBRAPA, 1999), com grandes variações nos atributos cor e textura. As microbacias se inserem na unidade de mapeamento Pvd (ARGISSOLO VERMELHO Distrófico plântico, com inclusão de LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico e ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plântico), definida em levantamento pedológico realizado por Couto e Oliveira (2003) na escala de 1:100.000.

3.2 Sistema de amostragem

As quatro microbacias selecionadas são próximas entre si na paisagem e foram demarcadas com estacas, formando malha regular de 10x20 m para levantamento altimétrico. As amostras foram coletadas em locais georreferenciados, representados por estacas identificadas, totalizando o conjunto de 185 pontos em malha regular com espaçamento aproximado de 20x20 m (Figura 2). O número de amostras ficou distribuído nas microbacias 1, 2, 3 e 4, respectivamente, da seguinte forma: 43 (38,4 amostras por ha), 65 (34,2 amostras por ha), 39 (35,8 amostras por ha) e 38 (36,2 amostras por ha).

A coleta de amostras foi realizada com a utilização de trado holandês nos pontos selecionados, nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm, perfazendo um total de 555 amostras para determinação dos atributos químicos e físicos do solo. Na primeira profundidade, foram coletadas amostras compostas, sendo cada uma, obtida pela mistura de 5 sub-amostras, dentro do raio de 1 m do ponto selecionado; nas outras profundidades, a coleta foi de amostras simples.

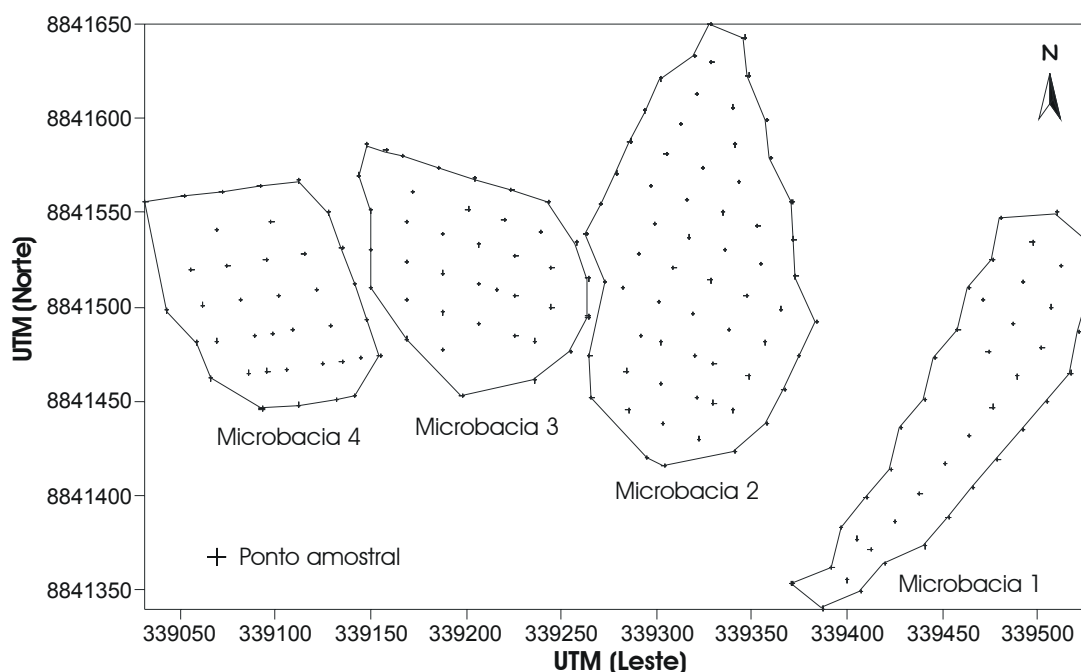


FIGURA 2. Distribuição dos pontos amostrados em malha regular de 20x20 m nas quatro microbacias.

A coleta de amostras de 40-60 cm foi realizada para estimar a variabilidade espacial de atributos do solo em uma profundidade coincidente com o horizonte diagnóstico dos solos (horizonte B).

Para a determinação da densidade aparente, foram retiradas amostras de solo indeformadas com amostrador de Kopecky, nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 25-35 cm, 40-50 cm e 55-60 cm.

3.3 Atributos estudados e métodos de análises

Foram determinados atributos químicos e físicos do solo a partir das análises laboratoriais das amostras coletadas, seguindo a metodologia recomendada pela EMBRAPA (1997). As únicas exceções na metodologia de análise foram a análise textural e a determinação do carbono. A análise textural foi determinada pelo método da pipeta com agitação lenta, proposto Instituto Agronômico de Campinas – IAC (Camargo et al., 1986) e o carbono determinado segundo o Soil Survey Staff (1996).

A descrição e coleta de solo no campo seguiram as recomendações propostas por Lemos e Santos (1996), e os perfis classificados segundo as normas do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999). Também foram realizadas classificações correspondentes nos sistemas FAO (1988) e Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1999).

Os atributos químicos determinados foram: pH em H₂O, pH em KCl 1N (somente nos perfis de trincheira), fósforo assimilável, potássio trocável, cálcio, magnésio e carbono orgânico. Os teores dos atributos do solo foram interpretados de acordo com a recomendação de Tomé Jr. (1997).

Os atributos físicos estudados foram: altimetria, análise textural, cor e densidade aparente.

As amostras indeformadas para a determinação da densidade aparente, assim que coletadas, foram protegidas na parte superior e inferior e acondicionadas em sacos plásticos para o transporte. As amostras para as demais análises foram secas ao ar e passadas por peneira de malha 2 mm de abertura para a obtenção da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA).

Atributos químicos

O pH em H₂O foi determinado potenciometricamente em suspensão solo/líquido, na proporção 1:2,5 com tempo de repouso de uma hora e agitação antes da leitura. Da mesma forma, foi determinado o pH em solução KCl 1N para o levantamento pedológico (perfis de trincheira).

O fósforo assimilável foi extraído em solução de Melich (HCl 0,05 N e H₂SO₄ 0,025 N) e determinado, colorimetricamente, em presença de molibdato de amônio e ácido ascórbico.

O potássio trocável foi extraído em solução de Melich (HCl 0,05 N e H₂SO₄ 0,025 N) na proporção de 1:10 e determinado por espectrofotometria de chama.

O cálcio e magnésio foram extraídos em solução KCl 1N na proporção 1:10 e foram determinados por EDTA 0,125 N.

A análise do carbono orgânico foi feita pelo método de combustão por via seca sob alta temperatura (forno Eltra, 1350°C) em analisador (Multi NC 3000, Analytik Jena, Germany), em que todas as formas de carbono da amostra são convertidas em CO₂ seguida de uma quantificação total desse gás (carbono total), conforme metodologia descrita pelo Soil Survey Staff (1996). Presume-se que o carbono orgânico é equivalente ao carbono total estimado, porque as amostras são provenientes de solos que não possuem origem de material rico em carbonatos (Soil Survey Staff, 1996; Konen et al., 2003). Esta presunção foi baseada na comparação dos resultados de carbono de 185 amostras de solo (0-20 cm) das 4 microbacias, com as metodologias combustão por via seca (Soil Survey Staff, 1996) e combustão por via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico (EMBRAPA, 1997). Os resultados não apresentaram diferenças significativas nas suas médias pelo teste de Tukey a 5% (dados não mostrados). Então, foi escolhido o método de combustão por via seca devido a maior praticidade da técnica.

Atributos físicos

O levantamento altimétrico nas microbacias foi realizado com a utilização de nível ótico, sendo demarcadas grades regulares de 10x20 m, com estacas georreferenciadas. A identificação das coordenadas planas UTM foi tomada com

aparelho rastreador de satélites (GPS de navegação) em alguns pontos, que serviram de referência para a projeção das coordenadas nas microbacias.

Para determinação das cotas de altitude, foi escolhido um ponto no qual foram tomadas várias leituras de altitude com altímetro barométrico e feita a sua média. A partir desse ponto, foi dado o referencial de altitude para todas as microbacias por meio da sua inclusão nas diferenças de nível obtidas pelo levantamento altimétrico.

A análise textural foi determinada pelo método da pipeta com agitação lenta por 16 horas (30 rpm), dispersa com NaOH e hexametáfosfato de sódio, conforme descrito pelo Instituto Agrônomo de Campinas – IAC (Camargo et al., 1986).

A cor do solo foi determinada por leitura direta de amostra úmida na carta de cores Munsell (Munsell Color Co., 1975). Uma utilização imediata das cores lidas nesta carta é a determinação do índice de avermelhamento. Este parâmetro é uma expressão que combina os três componentes da cor (matiz, valor e croma). Utilizando as propriedades das cores, Torrent e Barrón (1993) sugerem a adoção do índice de avermelhamento (RR – redness rating) para o estudo da pigmentação do solo, dado pela seguinte equação:

$$RR = [(10 - H).C] / V \quad (1)$$

Em que, V e C são valores numéricos do valor e croma da carta de Munsell, respectivamente, e H é o número do matiz da carta de Munsell que precede as letras YR, de forma que, para 10YR, H é 10, e para 10R, H é 0.

A densidade aparente foi determinada por meio de amostras de solo com estrutura indeformada, coletadas com anéis de aço de Kopecky de bordas cortantes com volume interno de 50 cm³ e secas na estufa a 105°C por 24 e 48 horas.

3.4 Métodos estatísticos

As análises estatísticas foram realizadas em duas etapas. A primeira, consistiu da organização dos dados aplicando-se a estatística descritiva, teste de média (Tukey, $\alpha = 0,05$) e a correlação entre os atributos estudados, realizados por meio do programa SPSS 10 (SPSS, 1999). A segunda, foi realizada com aplicação de métodos geoestatísticos para analisar a dependência espacial dos atributos de solo e produzir

mapas por interpolação, utilizando-se os programas Gamma Design (Robertson, 2000) e Surfer 8.0 (Surfer, 2002).

3.4.1 Estatística descritiva dos dados

A análise preliminar dos dados, por meio da estatística descritiva, teve como objetivo conhecer as variáveis em estudo, consistindo basicamente em: média, desvio padrão, coeficiente de variação, valor mínimo e valor máximo. Além da estatística descritiva, foi realizado também o teste de média de Tukey ($\alpha = 0,05$) e verificadas as correlações de Pearson (níveis de significância, $\alpha = 0,01$ e $0,05$) existentes entre os atributos de solo. Os atributos que apresentaram correlações significativas entre si, foram submetidos à análise de regressão linear.

A classificação da variabilidade dos atributos de solo foi realizada por meio da análise do coeficiente de variação, conforme Wilding e Drees (1983). De acordo com os esses autores, a variabilidade de solo esperada dentro de uma paisagem é expressa da seguinte forma:

- CV < 15% (baixa) – com um número necessário de amostras > 10*, para as propriedades: cor do solo (matiz e valor), pH, espessura do horizonte A e teor de silte;
- CV 15-35% (moderada) – com um número necessário de amostras de 10-25*, para as propriedades: teor de areia, teor de argila, capacidade de troca catiônica, saturação por bases e estrutura;
- CV > 35% (alta) – com um número necessário de amostras > 25*, para as propriedades: horizonte B, cor do solo (croma), carbonatos, cálcio, magnésio, potássio, matéria orgânica e condutividade hidráulica.

Sob o enfoque da estatística clássica, é necessário um grande número de amostras de solos para a obtenção de dados confiáveis, na análise de atributos que possuem um grande coeficiente de variação (Warrick e Nielsen, 1980; Davis et al., 1995).

* Empregando 95% de intervalo de confiança e um limite de precisão de $\pm 10\%$ da média.

Foi calculado o número de amostras (n) necessário, segundo Davis et al. (1995), para estimar a média da população dentro do limite de precisão estipulado, por meio da equação:

$$n = t^2 CV^2 / p^2 \quad (2)$$

Em que, CV é o coeficiente de variação, $t = 1,96$ (empregando 95% do intervalo de confiança, quando $n = \infty$), e p = percentagem de erro provável ($P = 0,10$, implica a aceitação de $\pm 10\%$ de erro).

3.4.2 Análise geoestatística

Neste estudo, a análise da dependência espacial foi feita por meio do semivariograma, com base nas pressuposições de estacionariedade da hipótese intrínseca, sendo estimado, de acordo com Journel e Huijbregts (1978).

A magnitude da dependência espacial das variáveis estudadas foi mensurada pela comparação da semivariância do efeito pepita, conforme sugerido por Cambardella et al. (1994).

Outro parâmetro observado foi o alcance, pois, segundo Vieira (2000), o alcance do semivariograma é que determina a linha divisória entre a aplicação da geoestatística ou estatística clássica. As medições localizadas a distâncias maiores que o alcance (a), tem distribuição espacial aleatória e por isso são independentes entre si.

O ajuste de um modelo teórico ao semivariograma experimental é um dos aspectos mais importantes das aplicações da *Teoria das Variáveis Regionalizadas*. Pois, todos os cálculos de geoestatística dependem do valor do modelo do semivariograma para cada distância especificada. O programa Gamma Design (Robertson, 2000), com o qual foram analisadas as distribuições espaciais dos atributos de solo, ajustou os modelos baseado no método dos mínimos quadrados. Esse método utiliza os seguintes critérios para seleção do modelo:

a) O coeficiente de determinação (r^2) é a relação entre a soma de quadrados devido ao modelo ajustado e a soma de quadrados total (mede a variação dos dados devido ao modelo ajustado em relação à variação total dos dados) e quanto mais próximo da unidade estiver o valor de r^2 melhor será o modelo ajustado;

b) Soma de quadrados de resíduos (RSS) – quanto menor for este valor, melhor será o modelo de semivariograma. O Gamma Design utiliza este resultado para a seleção do modelo e, por meio de combinações dos parâmetros do modelo, minimiza esta soma de quadrados de resíduos. O autor do programa alega que a utilização desse critério na seleção do modelo é preferido, por ser este mais sensível e mais robusto quando comparado com o coeficiente de determinação (r^2). Segundo Vendrusculo (2003), a soma dos quadrados dos resíduos (RSS) é dada pela equação:

$$RSS = \sum_{i=1}^{C(h)} [\gamma(h)_{exp} - \gamma(h)_{mod}]^2 \quad (3)$$

Em que, $\gamma(h)_{exp}$ corresponde à semivariância do semivariograma experimental (valores observados) e $\gamma(h)_{mod}$ é a semivariância do modelo estatístico (valores estimados). Quanto menor o valor de RSS ($RSS > 0$) melhor é o modelo.

c) O módulo de “validação cruzada” do programa GS+ (Robertson, 2000) calcula o melhor ajuste pelo método do quadrado mínimo, descrito em uma equação de regressão linear, sendo o desvio padrão da estimação definido por:

$$DP_{est.} = \sqrt{DP_{real} \cdot (1 - r^2)} \quad (4)$$

Em que, DP est. é o desvio padrão dos valores estimados, DP real é o desvio padrão dos dados reais e r^2 é o coeficiente de determinação.

Conhecido o semivariograma da variável, e havendo dependência espacial entre as amostras, pode-se interpolar valores em qualquer posição no campo de estudo, sem tendência e com variância mínima (Vieira, 2000), utilizando-se a krigagem.

Para a aplicação da krigagem, assume-se que sejam conhecidas as realizações $z(x_1)$, $z(x_2)$, ..., $z(x_n)$ da variável $Z(x)$, nos locais x_1 , x_2 , ..., x_n ; que o semivariograma da variável já tenha sido determinado; e que o interesse seja estimar um valor Z^* na posição x_0 .

Neste trabalho, o método de interpolação utilizado foi a krigagem ordinária, assumindo que este é o mais indicado para o caso dos atributos de solo estudados. O sucesso desta aplicação é descrito amplamente na literatura da ciência do solo, como por exemplo, o trabalho realizado por Yost et al. (1982a,b), comprovando a robustez deste tipo de krigagem a certos graus de tendências e assimetria na distribuição.

3.4.2.1 Geoestatística: aspectos teóricos

A maioria dos atributos do solo varia continuamente no espaço. Em consequência, os valores em locais mais próximos no solo são mais similares do que os pontos que estão mais distantes (Isaaks e Srivastava, 1989). Os fenômenos naturais apresentam-se freqüentemente com certa estruturação nas variações entre vizinhos, desta forma pode-se dizer que as variações não são aleatórias e, portanto, apresentam algum grau de dependência espacial (Guimarães, 2004).

Segundo Jenny (1941), os fatores formadores dos solos são dados pela equação:

$$s = f(cl, o, r, p, t, \dots) \quad (5)$$

Em que, *cl* é o clima, *o* são os organismos, inclusive o homem, *r* é o relevo, *p* é o material de origem e *t* é o tempo.

Na prática, qualquer equação matemática que descreva adequadamente a variação das propriedades naturais da superfície terrestre é muito complexa. E foi desta necessidade que nasceu a geoestatística. O engenheiro de minas sul-africano Daniel G. Krige, trabalhando com dados de concentração de ouro no início da década de 1950, concluiu que somente a informação dada pela variância seria insuficiente para explicar o fenômeno em estudo. Para tal, seria necessário levar em consideração a distância e a dependência espacial entre as observações (Camargo et al., 1998). Mas foi Matheron (1963), baseado nas observações de Krige, que desenvolveu a *Teoria das Variáveis Regionalizadas*. Uma variável regionalizada é uma função numérica com distribuição espacial, que varia de um ponto a outro com continuidade aparente, cujas variações não podem ser representadas por uma função simples.

Esta teoria pressupõe que a variação espacial de uma variável regionalizada pode ser expressa pela soma de três componentes:

$$Z(x) = m(x) + \varepsilon'(x) + \varepsilon'' \quad (6)$$

Em que:

- $m(x)$ = uma função determinística que descreve a componente estrutural de Z em x ;
- $\varepsilon'(x)$ = um termo estocástico, que varia localmente e depende espacialmente de $m(x)$;
- ε'' = um ruído (erro) aleatório não correlacionado, com distribuição normal com média zero e variância σ^2 .

Porém, anteriormente a qualquer aplicação das funções da geoestatística, deve-se realizar a análise exploratória dos dados para a caracterização da variabilidade, forma de distribuição e decisão do tipo de estacionaridade que pode ser assumida. A preocupação com a variabilidade espacial dos atributos do solo é muito bem discutida no trabalho de Warrick e Nielsen (1980), que utilizou o estudo dos valores médios e desvio padrão para analisar o comportamento da distribuição dos dados.

Apesar de a análise exploratória possibilitar a verificação do comportamento dos dados, ela não é suficiente para descrever a variabilidade e a dependência espacial, pois não consideram as posições geográficas no campo.

A presença de dependência espacial requer o uso de um tipo de estatística chamada geoestatística, fundamentada na *Teoria das Variáveis Regionalizadas*. Essa continuidade ou dependência espacial pode ser estimada pelo semivariograma. Uma das ferramentas da geoestatística é o método de interpolação chamado krigagem, o qual usa a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressa no semivariograma, para estimar valores em qualquer posição dentro do campo, sem tendência e com variância mínima. Aplicações imediatas desta metodologia são: a construção de mapas de contornos (isolinhas), o delineamento de espaçamento e a disposição ótima de amostras no campo (Vieira, 2000).

De uma forma geral, a metodologia geoestatística procura extrair, de uma aparente aleatoriedade dos dados coletados, as características estruturais do fenômeno regionalizante, ou seja, uma função da correlação ou da covariância entre

os valores situados numa determinada vizinhança e direção no espaço amostrado (Vieira, 2000).

Dentre os métodos de estimativas comumente empregados, o método geoestatístico da krigagem pode ser considerado como o melhor estimador linear sem viés, cuja meta é a minimização da variância da estimativa e com erro residual médio igual a zero.

Para a estimação de valores para os locais não amostrados, faz-se necessário introduzir a restrição de que a variável regionalizada seja, necessariamente, estacionária estatisticamente. Formalmente, uma variável regionalizada é estacionária se os momentos estatísticos da variável aleatória $Z(x_i+h)$ forem os mesmos para qualquer vetor h .

De acordo com o número k de momentos estatísticos que são constantes, a variável é chamada de estacionária de ordem k . Segundo Vieira (2000), uma variável é estacionária, se o desenvolvimento do processo no tempo ou no espaço ocorrer de maneira mais ou menos homogênea, com oscilações aleatórias contínuas em torno do valor médio, em que, nem a amplitude média e nem as oscilações mudam bruscamente no tempo ou no espaço.

Estacionaridade de ordem 2 é tudo que é requerido em geoestatística. Se esta hipótese for satisfeita, a covariância $C(h)$ e o variograma $2\gamma(h)$ são ferramentas equivalentes para caracterizar a dependência espacial. A existência de estacionaridade dá a oportunidade de repetir um experimento mesmo que as amostras devam ser coletadas em pontos diferentes, porque todas as amostras são consideradas pertencentes a populações com os mesmos momentos estatísticos.

A hipótese de estacionaridade de ordem 2 implica na existência de uma variância finita dos valores medidos, $\text{VAR} \{Z(x)\} = C(0)$. Esta hipótese pode não ser satisfeita para alguns fenômenos físicos os quais tem uma capacidade infinita de dispersão. Para tais situações, uma hipótese menos restritiva, a hipótese intrínseca, pode ser aplicável. Esta hipótese requer apenas a existência de estacionaridade do variograma, sem nenhuma restrição quanto à existência de variância finita. Na verdade, a hipótese intrínseca é mais freqüentemente usada em geoestatística, principalmente por ser a menos restritiva.

Se uma função aleatória é estacionária de ordem K ($K > 0$), então, ela também será estacionária de todas as ordens menores que K . Conseqüentemente, se uma função aleatória $Z(x_i)$ é estacionária de ordem 2, então ela será também intrínseca. Entretanto, o contrário não é necessariamente verdade (Vieira, 2000).

Também sobre esta hipótese, Trangmar et al. (1985) comentam que os atributos de solo que não mostram estacionaridade de segunda ordem não permitem definir a função de autocorrelação. O mais conveniente é assumir a hipótese intrínseca e usar semivariogramas para quantificar a dependência espacial, com a adicional vantagem de definir parâmetros necessários para estimação de locais por meio da krigagem.

Semivariograma

A equação do variograma é:

$$2\gamma(h) = E[Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (7)$$

O fator 2 na definição do variograma, $2\gamma(h)$, é simplificação na equação, pois, a forma mais freqüentemente usada é $\gamma(h)$ e não $2\gamma(h)$. Por este motivo, é adicionado o prefixo “semi” na expressão variograma.

Assim, o semivariograma é, por definição:

$$\gamma(h) = 1/2 E[Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (8)$$

E é estimado, segundo Journel e Huijbregts (1978), pelo algoritmo:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2 N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (9)$$

Em que, $\gamma^*(h)$ é o semivariograma estimado, $N(h)$ é o número de pares de valores medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i+h)$, separados por um vetor distância h .

O gráfico de $\gamma^*(h)$ versus os valores correspondentes de h , chamado semivariograma, é uma função do vetor h , e, portanto, depende de ambos, magnitude e direção de h . Quando o gráfico do semivariograma é idêntico para qualquer direção de h ele é chamado isotrópico e representa uma situação bem mais simples do que quando é anisotrópico. É importante notar que, a maioria das variáveis de ciência do solo poderá ter um comportamento anisotrópico, isto é, mudar de maneira diferente para direções diferentes (Vieira, 2000).

De qualquer maneira é sempre aconselhável examinar semivariogramas para várias direções, antes de tomar decisões. As principais direções que devem ser examinadas são 0° , 45° , 90° e 135° .

É esperado que medições localizadas próximas sejam mais parecidas entre si do que aquelas separadas por grandes distâncias. Desta maneira, é de se esperar que $\gamma(h)$ aumente com a distância h . Por definição, $\gamma(0) = 0$, quando $h = 0$. Entretanto, na prática, à medida que h tende para 0 (zero), $\gamma(h)$ se aproxima de um valor positivo chamado efeito pepita e que recebe o símbolo C_0 . O valor de C_0 revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras.

À medida que h aumenta, $\gamma(h)$ também aumenta até um valor máximo no qual ele se estabiliza. Este valor no qual $\gamma(h)$ se estabiliza chama-se patamar, e é aproximadamente igual à variância dos dados, $\text{VAR}(z)$. A distância na qual $\gamma(h)$ atinge o patamar é chamada de alcance, recebe o símbolo de (a) , e é a distância limite de dependência espacial. Medições localizadas a distâncias maiores que (a) , tem distribuição espacial aleatória e por isto são independentes entre si. Para estas amostras, a estatística clássica pode ser aplicada sem restrições. Desta maneira, o alcance (a) é a linha divisória para a aplicação de geoestatística ou estatística clássica, e por isso, o cálculo do semivariograma deveria ser feito rotineiramente para dados de campo para garantir as hipóteses estatísticas sob as quais serão analisados (Vieira, 2000).

O gráfico do semivariograma experimental, $\gamma(h)$ versus h , mostra uma série de pontos discretos de $\gamma(h)$ correspondendo a cada valor de h , e para o qual, uma função contínua deve ser ajustada (Figura 3).

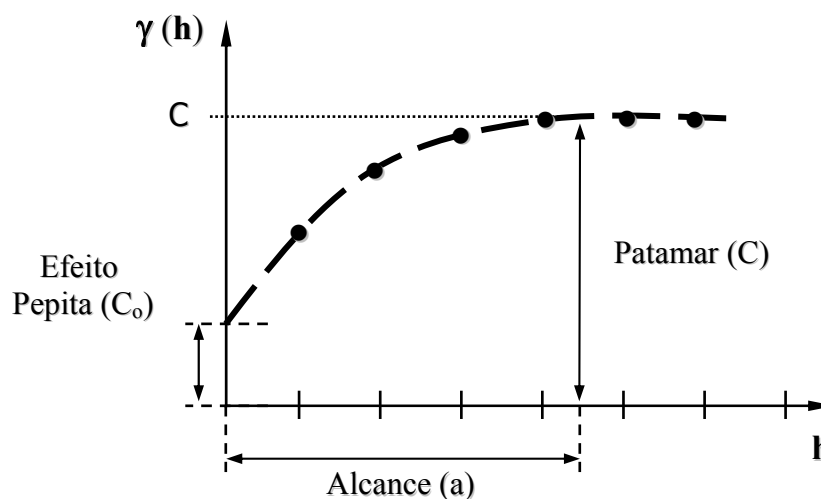


FIGURA 3. Modelo teórico de semivariograma.

Na forma gráfica, a função semivariância ou o semivariograma, apresenta em condições ideais, o seguinte comportamento: (i) para $h = 0$, a função semivariância é zero ou não mostra variância; (ii) com o aumento de h , $\gamma(h)$ cresce gradualmente e aproxima-se de uma constante C , atingindo o patamar. O crescimento com maior ou menor rapidez do semivariograma representa a maneira mais ou menos rápida com a qual é diminuída a influência de uma amostra sobre as zonas mais afastadas (Ortiz, 2002).

Para o modelo estatístico os valores experimentais apresentam desvios (erros) em relação ao modelo proposto (ajustado) e estes erros são atribuídos a fontes de variações não controladas pelo pesquisador. Na aplicação da teoria geoestatística a dados experimentais, ajusta-se modelos teóricos de semivariogramas às semivariâncias experimentais (Guimarães, 2004).

O semivariograma tem um papel central na análise espacial de solo. Resume a variação de uma propriedade dentro de uma região e é essencial para krigagem. Suas variâncias de estimações e limites de confiança são muito sensíveis, por isso, é muito importante que o variograma seja bem estimado (Webster e Oliver, 1992).

Cambardella et al. (1994) propuseram o uso da semivariância do efeito pepita (C_0) para avaliar a dependência espacial das variáveis estudadas, baseada na relação $[C_0/(C+C_0)] \times 100$, dados os seguintes intervalos:

- Relação $\leq 25\%$, a variável é considerada com forte dependência espacial;
- Relação entre 25 e 75%, a variável é considerada com moderada dependência espacial; e
- Relação $> 75\%$, a variável é considerada com fraca dependência espacial.

No caso de total independência entre amostras, tem-se o chamado “efeito pepita puro” no semivariograma. Neste caso, o semivariograma é constante e igual ao patamar para qualquer valor de h , o que indica uma distribuição espacial completamente aleatória.

Krigagem

O termo krigagem é derivado do nome Daniel G. Krige, que foi o pioneiro no uso de médias móveis para evitar a superestimação sistemática de reservas de mineração.

Inicialmente, o método de krigagem foi desenvolvido para solucionar problemas de mapeamentos geológicos, mas seu uso expandiu-se com sucesso no mapeamento de solos, hidrológico, atmosférico e outros campos correlatos (Camargo et al., 1998).

O uso da Krigagem permite atingir um dos objetivos centrais dos estudos sobre variabilidade espacial, que é estimar, a partir de observações pontuais, valores de variáveis em locais não amostrados (Yost et al., 1982a,b; Trangmar et al., 1985; Voltz et al., 1997; Vieira, 2000; Carvalho e Vieira, 2001; Zimback, 2003; Guimarães, 2004).

Sendo necessário a estimativa de valores em locais onde não foram feitos pontos de amostragem, a fase de estimação torna-se um passo importante, visto que a malha de pontos estimada será responsável pela qualidade de mapas a serem gerados. Os pontos desta malha devem ser estimados de modo a gerar mapas confiáveis podendo, assim, auxiliar nos projetos que requerem estimativas com determinada precisão (Landim, 2002).

A krigagem permite estimar valores, Z^* , para qualquer local, x_0 , onde não se tem valores medidos, e que a estimativa deve ser uma combinação linear dos valores medidos, ou seja:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i) \quad (10)$$

Em que, N é o número de valores medidos, $z(x_i)$, envolvidos na estimativa, e λ_i são os pesos associados a cada valor medido, $z(x_i)$.

As condições requeridas:

O estimador não pode ser tendencioso e deve ter variância mínima, ou seja, matematicamente, tem-se que:

$$E \{Z^*(x_0) - Z(x_0)\} = 0 \quad (11)$$

$$VAR \{Z^*(x_0) - Z(x_0)\} = E \{[Z^*(x_0) - Z(x_0)]\}^2 = \text{mínima} \quad (12)$$

Estas equações 16 e 17 representam as condições de não tendência e de variância mínima, respectivamente. Estas condições devem ser rigorosamente satisfeitas e, para tanto, são usadas como ponto de partida para a dedução das equações.

A condição de não tendência significa que, em média, a diferença entre valores estimados e medidos para o mesmo ponto deve ser nula. A condição de variância mínima significa que, embora possam existir diferenças ponto por ponto entre o valor estimado e o medido, essas diferenças devem ser mínimas (Vieira, 2000).

Tipos de krigagem:

As formas mais usuais de krigagem linear são: simples, ordinária e universal. A krigagem não-linear utiliza alguma transformação não-linear dos dados originais e são: lognormal, multigaussiana, indicativa e probabilística.

Este trabalho utilizou a técnica da krigagem ordinária para a interpolação de dados e produção de mapas. Esse interpolador considera a média flutuante ou móvel por toda a área.

O estimador de krigagem ordinária é:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i), \text{ com } \sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad (13)$$

Em que, $Z^*(x_0)$ é o valor estimado para o local (x_0) não amostrado; $z(x_i)$ é o valor obtido por amostragem no campo; N é o número de amostras vizinhas e λ_i são os pesos aplicados em cada $z(x_i)$.

A construção do estimador $Z^*(x_0)$ na krigagem ordinária não requer o conhecimento inicial da média estacionária da amostragem, mas requer que a soma dos pesos $\sum \lambda_i$ seja igual a 1.

A vizinhança usada na estimativa:

Visto que todos os cálculos advindos da geoestatística usando semivariogramas são em função, principalmente de distâncias especificadas, então, a vizinhança usada na estimativa torna-se um ponto de extrema importância.

Este trabalho utilizou o método do número de vizinhos constante. Para tanto, vizinhos são procurados, primeiramente dentro de um raio inicial. Se o número de vizinhos encontrados for menor do que o limite especificado, a distância é incrementada, e o processo é reiniciado. No entanto, se o número encontrado for maior do que o limite, apenas o número especificado mais próximo será usado. Conseqüentemente, a distância sobre a qual se procuram vizinhos, varia sobre o campo. Porém, em situações em que a amostragem foi efetuada em espaçamentos regulares, a distância de procura por vizinhos não muda muito e as desvantagens deste método são minimizadas. Devido às amostragens regulares serem as mais usadas, e as facilidades inerentes deste método, faz dele o mais comumente usado (Vieira, 2000; Guimarães, 2004).

Validação cruzada (cross validation):

A análise geoestatística, em algumas situações, exige certo grau de subjetividade, sendo assim, para avaliar se o fenômeno foi modelado de forma adequada, alguns autores têm utilizado o método da validação cruzada.

Na Validação Cruzada, a estimação do método é testada nos locais de amostras existentes. O valor da amostra em um local particular é temporariamente

descartado do conjunto de dados, e neste mesmo local, um valor é estimado usando as amostras restantes. Uma vez estimado, o valor é comparado com o valor verdadeiro da amostra que foi inicialmente removida do conjunto de dados. Este procedimento é repetido para todas as amostras disponíveis. Os valores resultantes reais e estimados podem ser comparados e demonstrados com a utilização de gráficos (Isaaks e Srivastava, 1989).

Sobre a transformação dos dados originais:

A única condição requerida para a aplicação das funções geoestatísticas é a observação da estacionaridade (Vieira, 2000; Guimarães, 2004), independentemente do tipo de distribuição apresentado pelas variáveis estudadas (Clark, 2001).

Conforme visto anteriormente, a hipótese intrínseca (mais fraca que a estacionaridade de ordem 2) é mais frequentemente usada na geoestatística, principalmente por ser a menos restritiva. Portanto, a aplicação da *Teoria das Variáveis Regionalizadas* não exige que os dados apresentem distribuição normal.

A transformação dos dados originais para apresentar a normalidade antes da análise geoestatística resulta em uma função não linear, de forma que a estimativa por krigagem não pode ser feita com variância mínima estimada e sem tendências (Trangmar et al., 1985).

3.5 Estimativa do estoque de atributos do solo

Neste trabalho, o estoque de atributos do solo das microbacias foi estimado no perfil de 0-60 cm de profundidade. O cálculo de estoque abrangeu os atributos P, K, Ca, Mg e CO, apresentados na unidade $t.ha^{-1}$, exceto o P, que foi estimado em $kg.ha^{-1}$ devido ao seu baixo teor. Além dessas unidades, também foi apresentado o estoque de CO no solo em $kg.m^{-2}$.

Conjuntamente à fase que determinou os teores dos atributos considerados, foi estimada a densidade aparente do solo para demonstrar a relação peso/volume dos horizontes de solo estudados. Desta forma, os teores de cada atributo estudado foram corrigidos para representar os seus estoques nos horizontes coletados (0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm).

Os estoques dos atributos P, K, Ca, Mg e CO, foram obtidos pela multiplicação da concentração de cada elemento pela densidade aparente da camada de solo considerada. O cálculo consistiu da soma dos estoques das três profundidades estudadas. Com isso, foram gerados pontos representando o estoque de atributos na profundidade total de 0-60 cm. Essas variáveis foram ajustadas a modelos de semivariograma testados por validação cruzada. A partir da análise da dependência espacial, foi realizada a interpolação por krigagem ordinária para a geração de mapas que expressaram a distribuição espacial do estoque de nutrientes nas microbacias.

3.6 Determinação das classes de solo das microbacias

A escala utilizada nos trabalhos de mapeamento realizados anteriormente é muito pequena para representar com precisão as microbacias estudadas. Então, com o objetivo de se obter mais detalhes dos solos das microbacias, consideradas as suas reduzidas dimensões, foram aplicadas técnicas geoestatísticas, tomando como variáveis atributos relativamente simples de se obter, como a textura e a cor. Simultaneamente às coletas de amostras, foram observadas as paisagens características das bacias, gerando informações para a distinção de ambientes, conforme sugere Resende et al. (2002).

Neste trabalho, a textura foi determinada em duas profundidades, representando o horizonte superficial (0-20 cm) e subsuperficial (40-60 cm). Este atributo é facilmente obtido por análise de rotina em laboratórios.

Porém, a variável empregada não é obtida diretamente da textura; neste caso, foi utilizado um fator denominado relação textural (RT), que é calculada pela divisão do teor médio de argila total do horizonte B pelo teor médio do horizonte A (B/A), segundo critério do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (EMBRAPA, 1999). Esta relação é fundamental para a identificação de horizontes subsuperficiais de solo que apresentam ou não processos de migração de argila, indicativos de podzolização ou latolização.

A podzolização é uma classe de processos de formação de solo caracterizada por translocação de material do horizonte A, acumulando-se no horizonte B. Se o material translocado é matéria orgânica e óxidos de Fe e Al, tem-se um solo com B

espódico. Porém, se o material acumulado no horizonte B for argila silicatada, tem-se um solo com horizonte B textural (Resende et al., 2002).

A latolização, segundo Buol e Eswaran (2002), representa processos de pedogênese caracterizados pela transformação dos minerais primários, em que ocorrem a remoção de sílica e a relativa concentração residual de óxidos de Fe e Al.

Outro atributo utilizado para a distinção de solos foi a cor. A determinação de rotina da cor do solo no campo é comumente realizada pela comparação visual de amostras de solo com uma carta de cores, sendo a Munsell Soil Color Charts (Munsell Color Co., 1975), a mais difundida entre os pedólogos (Torrent e Barrón, 1993).

Os dados de cor e reflectância espectral podem ser usados de maneiras distintas ou analisados estatisticamente para os mais diversos propósitos. Uma completa descrição da cor do solo requer três parâmetros, independente do sistema usado. Combinando estes parâmetros, segundo Torrent e Barrón (1993), foi calculado o índice de avermelhamento (RR – redness rating) do horizonte B (40-60 cm) para estudar a distribuição da cor do solo nas microbacias e auxiliar a separação de classes pedológicas no segundo nível categórico (Subordem) no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Para este cálculo, foi utilizado o sistema de cores Munsell (Munsell Color Co., 1975), baseado em três variáveis: matiz (hue) ou nome da cor, valor (value) ou brilho e croma (chroma) ou pureza. O índice de avermelhamento foi calculado na profundidade de 40-60 cm, com a finalidade de representar a cor do horizonte diagnóstico.

A partir da existência dos dados de relação textural (RT) e do índice de avermelhamento (RR) dos solos das microbacias, o estudo da distribuição espacial e a conseqüente interpolação de valores foram realizados por meio das funções geoestatísticas de semivariograma e krigagem.

As variáveis foram analisadas e ajustadas a modelo esférico de semivariograma para verificar a hipótese da dependência espacial. Os modelos ajustados foram submetidos ao teste de validação cruzada (cross validation), em que os resultados reais e estimados puderam ser comparados.

Após ajustados e testados os modelos de semivariograma, o passo seguinte foi a interpolação por krigagem ordinária, permitindo a confecção de mapas que

expressam a distribuição espacial nas microbacias dos atributos relação textural e índice de avermelhamento.

Produzidos os mapas individualizados da distribuição das variáveis RT e RR das microbacias, foi gerado um outro mapa por meio da sobreposição daqueles. Desta forma, foi possível obter simultaneamente em um único mapa a distribuição de áreas distintas dentro das microbacias, referentes à cor e à quantificação do acúmulo de argila em profundidade.

Apesar de as técnicas geoestatísticas contribuírem para a distinção entre horizontes B_w e B_t , e também da cor, foi realizado um levantamento de campo para testar a metodologia aplicada.

A escolha dos locais para a abertura das trincheiras foi realizada com base nas informações produzidas pelo mapa de sobreposição da RT e RR. Foram abertos e descritos 5 perfis de trincheira (EMBRAPA, 1979; Lemos e Santos, 1996) para a classificação dos solos segundo a EMBRAPA (1999).

Além das cinco classes de solo representadas pelas trincheiras abertas, ainda foi identificada uma sexta classe cujo perfil não foi descrito, denominada PLINTOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico. As características desta classe foram levantadas com tradagens e basearam-se em informações como: caráter distrófico ($V < 50\%$), textura, cor do horizonte B (7,5YR 4/6) e presença de horizonte plíntico iniciando dentro de 40 cm da superfície do solo.

Somente após o levantamento de campo que considerou os atributos físicos e químicos dos perfis, foi elaborado o mapa das classes de solo nas microbacias contendo os ajustes observados. Além dos atributos RT e RR, a modelagem considerou a associação do fator relevo (altimetria) como forma de identificação das classes de solo na área estudada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise descritiva das variáveis

Os atributos de solo pH (H₂O), P, K, Ca, Mg, CO e argila, foram estudados nas profundidades de 0-20 cm e 40-60 cm, representando os horizontes A e B, respectivamente. Os parâmetros da estatística descritiva desses atributos são apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Na primeira profundidade (0-20 cm), com exceção do conteúdo de argila, não houve diferenças significativas entre as médias dos atributos estudados nas microbacias. Para o teor de argila, as médias foram iguais entre as microbacias 1 e 2, e entre as microbacias 2 e 3, porém, a média da microbacia 4, diferiu significativamente de todas as outras microbacias (Tabela 1).

O valor médio encontrado para o pH (0-20 cm) das microbacias foi de 4,72, valor este, compatível com os resultados encontrados por Ruivo et al. (2002). Porém, ligeiramente superior aos valores encontrados por Laurence et al. (1999) e McGrath et al. (2001), na Amazônia, e Couto e Cunha (2003), no Pantanal de Mato Grosso.

Mesmo na camada superior de solo, os teores de P encontrados são muito baixos nas microbacias, semelhante aos teores encontrados por Botschek et al. (1996) em Latossolos Amarelos em Itacoatiara-AM e, inferiores aos resultados obtidos por Laurence et al. (1999) e McGrath et al. (2001) em solos da Amazônia.

Segundo McGrath et al. (2001), foram encontrados em solos da Amazônia, na profundidade de 0-20 cm, valores mais altos de pH e P em Ultisols (Soil Survey Staff, 1999) do que em Oxisols (Soil Survey Staff, 1999), porém, isso não foi observado nas microbacias.

TABELA 1. Estatística descritiva dos atributos do solo na profundidade de 0-20 cm nas microbacias estudadas.

Parâmetros estatísticos dos atributos do solo (0-20 cm)									
Variável	Micr.	N	Méd.	DP	CV	Mín.	Máx.	Var.	n
pH (H₂O)	1	43	4,74 ^a	0,33	7,0	4,2	5,5	baixa	2
	2	65	4,73 ^a	0,45	9,5	3,9	5,7	baixa	3
	3	39	4,73 ^a	0,32	6,8	4,4	5,7	baixa	2
	4	38	4,66 ^a	0,35	7,5	4,2	5,6	baixa	2
	Total	185	4,72	0,38	8,1	3,9	5,7	baixa	3
P (mg/dm³)	1	43	1,19 ^a	0,38	31,9	0,6	2,6	moderada	39
	2	65	1,08 ^a	0,50	46,3	0,3	2,6	alta	82
	3	39	1,27 ^a	0,45	35,4	0,6	2,6	alta	48
	4	38	1,12 ^a	0,49	43,8	0,6	2,9	alta	74
	Total	185	1,15	0,47	40,9	0,3	2,9	alta	64
K (mg/dm³)	1	43	55,33 ^a	19,93	36,0	27,0	145,0	alta	50
	2	65	53,46 ^a	21,45	40,1	22,0	114,0	alta	62
	3	39	55,49 ^a	23,01	41,5	30,0	140,0	alta	66
	4	38	64,13 ^a	26,19	40,8	34,0	142,0	alta	64
	Total	185	56,51	22,67	40,1	22,0	145,0	alta	62
Ca (cmol_c/dm³)	1	43	0,62 ^a	0,34	54,8	0,2	1,6	alta	115
	2	65	0,68 ^a	0,71	104,4	0,2	3,8	alta	419
	3	39	0,57 ^a	0,43	75,4	0,2	2,2	alta	218
	4	38	0,58 ^a	0,44	75,9	0,2	1,7	alta	221
	Total	185	0,62	0,53	85,5	0,2	3,8	alta	281
Mg (cmol_c/dm³)	1	43	0,40 ^a	0,18	45,0	0,2	0,8	alta	78
	2	65	0,41 ^a	0,33	80,5	0,1	1,6	alta	249
	3	39	0,41 ^a	0,31	75,6	0,1	1,5	alta	220
	4	38	0,41 ^a	0,31	75,6	0,1	1,2	alta	220
	Total	185	0,41	0,29	70,7	0,1	1,6	alta	192
CO (g/kg)	1	43	9,82 ^a	1,59	16,2	7,2	14,3	moderada	10
	2	65	10,00 ^a	2,44	24,4	5,9	18,1	moderada	23
	3	39	9,94 ^a	1,74	17,5	6,8	14,9	moderada	12
	4	38	10,49 ^a	2,49	23,7	7,3	16,9	moderada	22
	Total	185	10,05	2,14	21,3	5,9	18,1	moderada	17
Argila (g/kg)	1	43	265,53 ^a	30,92	11,6	166,0	317,0	baixa	5
	2	65	280,74 ^{ab}	33,00	11,8	228,0	407,0	baixa	5
	3	39	297,50 ^b	60,35	20,3	166,0	444,0	moderada	16
	4	38	422,39 ^c	52,12	12,3	352,0	570,0	baixa	6
	Total	185	309,84	72,81	23,5	166,0	570,0	moderada	21

Micr. – microbacia; N – número de observações; Méd. – média; DP – desvio padrão; CV – coeficiente de variação (%); Mín. – valor mínimo do atributo; Máx. – valor máximo do atributo; Var. – variabilidade dos atributos de solo; segundo Wilding e Drees (1983), é dada por: CV < 15% (baixa), CV 15-35% (moderada) e CV > 35% (alta); n – número necessário de amostras para a obtenção de dados confiáveis na estatística clássica; segundo Davis et al. (1995), é determinado por: $n = t^2 \cdot CV^2 / p^2$ ($t = 1,96$ e $p = 10\%$).

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

TABELA 2. Estatística descritiva dos atributos do solo na profundidade de 40-60 cm nas microbacias estudadas.

Parâmetros estatísticos dos atributos do solo (40-60 cm)									
Variável	Micr.	N	Méd.	DP	CV	Mín.	Máx.	Var.	n
pH (H₂O)	1	43	4,70 ^a	0,26	5,5	4,2	5,5	baixa	1
	2	65	4,77 ^a	0,29	6,1	4,1	5,9	baixa	1
	3	39	4,70 ^a	0,32	6,8	4,1	6,0	baixa	2
	4	38	4,72 ^a	0,31	6,6	4,0	5,8	baixa	2
	Total	185	4,73	0,29	6,1	4,0	6,0	baixa	1
P (mg/dm³)	1	43	0,46 ^a	0,13	28,3	0,2	0,8	moderada	31
	2	65	0,57 ^b	0,16	28,1	0,2	1,0	moderada	30
	3	39	0,47 ^{ac}	0,10	21,3	0,2	0,7	moderada	17
	4	38	0,53 ^{bc}	0,08	15,1	0,4	0,8	moderada	9
	Total	185	0,52	0,13	25,0	0,2	1,0	moderada	24
K (mg/dm³)	1	43	13,58 ^a	9,97	73,4	4,0	60,0	alta	207
	2	65	13,51 ^a	12,84	95,0	2,0	76,0	alta	347
	3	39	12,41 ^a	10,08	81,2	2,0	50,0	alta	253
	4	38	13,95 ^a	10,01	71,8	4,0	46,0	alta	198
	Total	185	13,38	11,02	82,4	2,0	76,0	alta	261
Ca (cmol_c/dm³)	1	43	0,27 ^a	0,12	44,4	0,1	0,7	alta	76
	2	65	0,37 ^{ab}	0,33	89,2	0,1	2,4	alta	306
	3	39	0,39 ^b	0,17	43,6	0,2	1,1	alta	73
	4	38	0,32 ^{ab}	0,09	28,1	0,2	0,6	moderada	30
	Total	185	0,34	0,22	64,7	0,1	2,4	alta	161
Mg (cmol_c/dm³)	1	43	0,18 ^a	0,08	44,4	0,1	0,4	alta	76
	2	65	0,23 ^{ab}	0,16	69,6	0,1	1,0	alta	186
	3	39	0,28 ^b	0,13	46,4	0,1	0,6	alta	83
	4	38	0,24 ^{ab}	0,08	33,3	0,1	0,5	moderada	43
	Total	185	0,23	0,13	56,5	0,1	1,0	alta	123
CO (g/kg)	1	43	5,00 ^a	1,04	20,8	1,6	8,7	moderada	17
	2	65	5,30 ^{ab}	1,37	25,8	3,1	14,2	moderada	26
	3	39	5,28 ^{ab}	0,81	15,3	3,3	8,0	moderada	9
	4	38	5,78 ^b	1,29	22,3	4,0	10,0	moderada	19
	Total	185	5,33	1,20	22,5	1,6	14,2	moderada	19
Argila (g/kg)	1	43	382,63 ^a	74,00	19,3	261,0	503,0	moderada	14
	2	65	446,64 ^b	32,80	7,3	381,0	546,0	baixa	2
	3	39	439,72 ^b	41,26	9,4	305,0	519,0	baixa	3
	4	38	436,18 ^b	33,50	7,7	380,0	503,0	baixa	2
	Total	185	428,15	53,37	12,5	261,0	546,0	baixa	6

Micr. – microbacia; N – número de observações; Méd. – média; DP – desvio padrão; CV – coeficiente de variação (%); Mín. – valor mínimo do atributo; Máx. – valor máximo do atributo; Var. – variabilidade dos atributos de solo; segundo Wilding e Drees (1983), é dada por: CV < 15% (baixa), CV 15-35% (moderada) e CV > 35% (alta); n – número necessário de amostras para a obtenção de dados confiáveis na estatística clássica; segundo Davis et al. (1995), é determinado por: $n = t^2 \cdot CV^2 / p^2$ ($t = 1,96$ e $p = 10\%$).

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Os cátions K, Ca e Mg, encontrados na profundidade de 0-20 cm nas microbacias, apresentaram teores acima dos observados em diversos trabalhos realizados na Amazônia. O teor médio de K das microbacias foi superior ao observado por Laurence et al. (1999), Oberson et al. (1999) e McGrath et al. (2001).

O carbono orgânico, como a maioria dos atributos estudados, não apresentou diferenças significativas nos seus teores médios entre as microbacias, para a profundidade de 0-20 cm. O teor médio de CO observado nas microbacias é compatível com os resultados encontrados por Botschek et al. (1996) e Ruivo et al. (2002) em Latossolos Amarelos na Amazônia, porém, são bem inferiores às médias encontradas por Laurence et al. (1999) e McGrath et al. (2001).

Ainda relativo à profundidade de 0-20 cm, foram observadas diferenças significativas entre as médias do teor de argila das microbacias. Este é um fato relevante, pois, há diversos estudos que descrevem a relação significativa da argila com outros atributos do solo. Laurence et al. (1999) relataram que solos com alto teor de argila possuem associações com os nutrientes K, Ca e Mg, e que o conteúdo de argila está positivamente correlacionado com a matéria orgânica e a biomassa. Também, McGrath et al. (2001) observaram que o carbono do solo e o P apresentaram correlações significantes com o conteúdo de argila na profundidade de 0-20 cm.

Sob o ponto de vista do horizonte diagnóstico dos solos (40-60 cm), houve diferença estatística entre as médias dos atributos das microbacias da seguinte forma: os atributos P e argila têm comportamento semelhantes, exceto $M2 \neq M3$ para P e $M2 = M3$ para argila; Ca e Mg têm comportamento semelhantes; e CO tem comportamento diferenciado dos demais atributos (Tabela 2).

Os teores médios de P e CO encontrados no subsolo das microbacias são compatíveis com os teores encontrados por Botschek et al. (1996), no horizonte B de Latossolos Amarelos argilosos sob vegetação de floresta em Itacoatiara-AM.

Apesar de não haver diferenças significativas entre as médias dos atributos na profundidade de 0-20 cm, exceto para a fração argila, a microbacia 4 apresenta uma maior frequência de valores mais altos dos atributos K, Mg, CO e argila (Tabela 1). Já, a microbacia 1 apresentou apenas o atributo pH com média mais alta.

Para a profundidade de 40-60 cm, a microbacia 2 apresentou a maior frequência de valores médios mais altos (pH, P e argila), enquanto que a microbacia 1 não apresentou a maior média de nenhum dos atributos (Tabela 2).

Dentre as microbacias, apenas a microbacia 4 apresentou as maiores médias nas duas profundidades para os atributos K e CO. Os atributos que apresentaram o maior CV foram o Ca, na camada de 0-20, e o K, no subsolo (40-60 cm).

O coeficiente de variação fornece a dispersão relativa dos dados, facilitando visualizar a dimensão da dispersão dos valores observados em relação à média. Dentro da camada de 0-20 cm, a microbacia 1 apresentou menores valores de CV para os atributos estudados, exceto para o pH. Em contrapartida, a microbacia 2 apresentou CV maior para os atributos pH, P, Ca, Mg e CO, demonstrando alta dispersão em relação à média. No subsolo (40-60 cm), a microbacia 4 demonstrou menores valores de CV para P, K, Ca e Mg. Já, a microbacia 2, repetindo a alta dispersão apresentada na profundidade de 0-20 cm, mostrou os maiores valores de CV para o K, Ca, Mg e CO.

É importante observar que os valores de CV dos atributos de solo das microbacias são, em média, maiores no horizonte superficial do que no subsolo, exceto o K, que, ao contrário, apresentou maior CV na profundidade de 40-60 em relação à camada superficial. No caso do K, isso se deve, possivelmente, em função da maior influência do material de origem (granitos) no subsolo. Em áreas onde a cobertura vegetal não é perturbada, esse é um comportamento esperado, já que a camada superior sofre maior influência dos fatores de pedogênese do que o subsolo. É também na primeira camada do solo que a ciclagem de nutrientes é predominante, onde os principais processos de troca são mais intensos.

O estudo do CV das propriedades de solo fornece a dispersão dos dados em relação à média. É um parâmetro largamente usado na estatística clássica. Baseado na análise do CV dos atributos de solo, são apresentadas nas Tabelas 1 e 2 as variabilidades encontradas nos horizontes superficial e subsuperficial das 4 microbacias.

A maioria dos atributos estudados nos horizontes A e B apresenta classes de CV semelhantes às observações feitas por Wilding e Drees (1983), com variabilidade baixa para pH nas duas profundidades; moderada para o teor de argila na camada de

0-20 cm; e alta para os atributos K, Ca e Mg, nas duas profundidades. Os atributos que não apresentaram a variabilidade prevista, segundo aqueles autores, foram: o teor de argila na camada de 40-60 cm, que teve variabilidade baixa, quando seria previsto moderada; e o CO que apresentou moderada variabilidade nas duas profundidades, quando seria previsto variabilidade alta.

De acordo com as premissas da estatística clássica, é necessário um grande número de amostras para a obtenção de dados confiáveis de uma propriedade de solo que apresente alto coeficiente de variação (Warrick e Nielsen 1980; Davis et al. 1995).

Em alguns casos, o número necessário de coletas de amostras para determinado atributo foi superior às 185 amostras coletadas neste trabalho, porém, para a maioria dos atributos estudados, o número necessário foi inferior ao coletado.

Observa-se na Tabela 1 que, na profundidade de 0-20 cm, os atributos Ca e Mg necessitam de número de amostras maior do que 185, na hipótese de experimentos casualizados. Porém, os atributos pH, P, K, CO e argila, poderiam ter um número menor de amostras do que o coletado, sem prejudicar o limite de confiança estabelecido. É observado que o número de amostras necessário para a determinação de um atributo aumenta, à medida que o coeficiente de variação também se eleva.

Analisando a profundidade de 40-60 cm, foi constatado que o K foi o único atributo que requer um número de amostras maior do que 185, explicado pelo grande CV apresentado (Tabela 2).

A Figura 4 apresenta gráficos com a estimativa do número necessário de amostras para os atributos de solo das microbacias, de acordo com a probabilidade de erro estabelecida. Observa-se que o número de amostras para cada atributo diminui à medida que o erro provável aumenta.

Não obstante o pH requerer um número muito baixo de amostras, 3 e 2 amostras para as profundidades de 0-20 cm e 40-60 cm, respectivamente, é importante lembrar que o número mínimo recomendado de amostras a ser coletado, segundo Wilding e Drees (1983), é superior a 10.

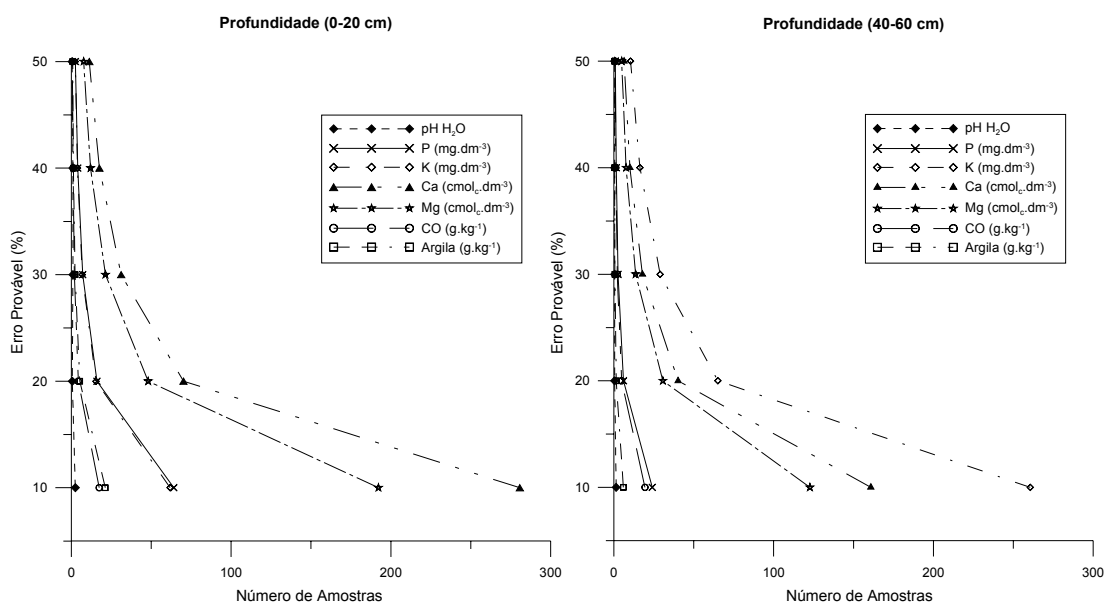


FIGURA 4. Número necessário de amostras nas microbacias em duas profundidades, de acordo com a probabilidade de erro estabelecida; dado por: $n = t^2.CV^2/p^2$ (Davis et al., 1995).

Os gráficos de média e dispersão mostrados na Figura 5 favorecem a visualização das diferenças e semelhanças entre algumas propriedades de solos das microbacias.

Exceto o pH, todos os outros atributos apresentaram valores bem maiores na superfície do solo do que em profundidade. Esse comportamento está compatível com vários estudos realizados em perfis de solos amazônicos (BRASIL, 1980; SEPLAN, 2001; Ruivo et al. 1996; Couto e Oliveira, 2003).

Ficaram evidenciadas as diferenças texturais entre o horizonte superficial e o subsuperficial nas microbacias, com significativo acúmulo de argila em profundidade. Fato esse, destacado por Sombroeck (1984) em estudo de solos na Amazônia. É uma informação importante, pois auxilia na caracterização de alguns tipos de horizonte B, como o B_t (B textural) e o B_w (B latossólico).

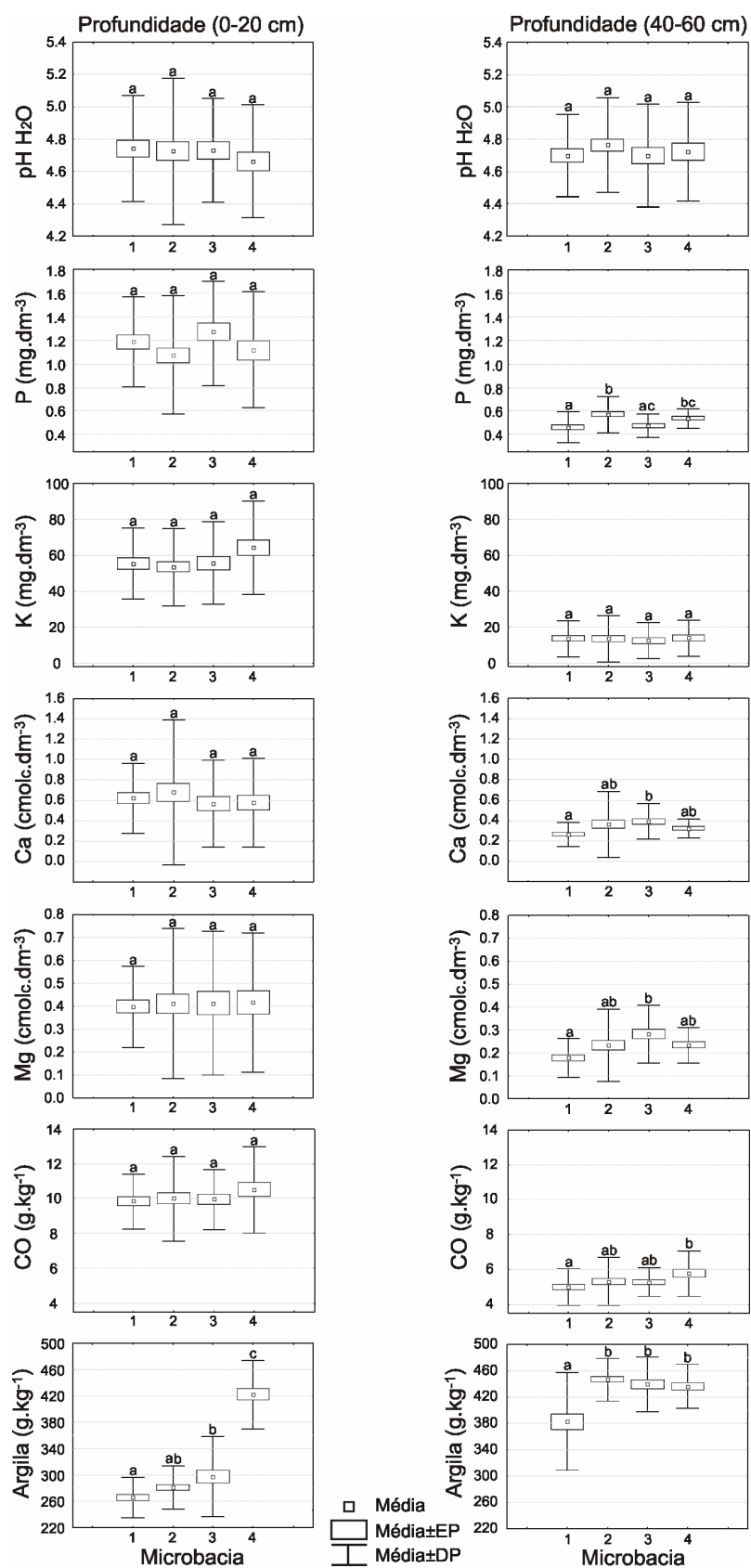


FIGURA 5. Média e dispersão por microbacia dos atributos pH H₂O, P, K, Ca, Mg, CO e Argila nas profundidades 0-20 cm e 40-60 cm (box-plot).

Especificamente, no caso das microbacias 1, 2 e 3, há maior diferença textural entre os horizontes A e B, do que a microbacia 4. Nesta, houve pouco acúmulo de argila no horizonte subsuperficial em relação à superfície, caracterizando maior homogeneidade textural. Porém, não é possível a identificação de horizonte B_t, apenas pela análise das médias do teor de argila das microbacias.

4.2 Relações entre os atributos do solo

Foram analisadas as relações existentes, a partir dos resultados de correlação de Pearson, entre alguns atributos de solo das microbacias em níveis de significância de 1 e 5%, considerando as duas profundidades (Tabela 3).

TABELA 3. Coeficientes de correlação de Pearson entre os atributos pH H₂O, P, K, Ca, Mg, argila, CO, diferença de nível (DN) e índice de avermelhamento (RR) do solo das microbacias.

Correlações dos Atributos de Solos das 4 Microbacias									
Prof. (0-20 cm)									
	pH H ₂ O	P	K	Ca	Mg	Argila	CO	DN	RR
pH H ₂ O	1.000	.690**	.511**	.813**	.820**	.018	.415**	-.409**	-.255**
P		1.000	.461**	.697**	.736**	.038	.372**	-.449**	-.127
K			1.000	.460**	.536**	.322**	.501**	-.269**	.050
Ca				1.000	.906**	.070	.623**	-.390**	-.174*
Mg					1.000	.188*	.656**	-.492**	-.106
Argila						1.000	.299**	-.072	.376**
CO							1.000	-.297**	.067
DN								1.000	.268**
RR									1.000
Prof. (40-60 cm)									
	pH H ₂ O	P	K	Ca	Mg	Argila	CO	DN	RR
pH H ₂ O	1.000	-.052	.251**	.099	.136	.261**	-.130	-.196**	-.149*
P		1.000	.160*	.128	.150*	.180*	.240*	-.138	-.257**
K			1.000	.411*	.421**	.099	.401**	-.354**	-.083
Ca				1.000	.863**	.094	.508**	-.397**	-.083
Mg					1.000	.128	.412**	-.501**	-.090
Argila						1.000	.055	-.148*	-.116
CO							1.000	-.058	.036
DN								1.000	.378**
RR									1.000

* Correlação é significativa em nível de 5%.

** Correlação é significativa em nível de 1%.

Pode-se observar na Tabela 3, que o CO é positivamente correlacionado (sig., $\alpha = 1\%$) com os atributos pH, P, K, Ca, Mg e argila, na profundidade de 0-20 cm, e mantém correlação negativa com a diferença de nível (DN), semelhante às observações de McGrath et al. (2001). Porém, a fração argila não teve o mesmo comportamento do CO, pois, excetuando K, não apresentou correlação significativa com os outros atributos. Isso significa que, naquele ambiente, a matéria orgânica foi mais importante na ciclagem de nutrientes do que a argila; caso semelhante ao observado por Laurence et al. (1999).

No horizonte B (40-60 cm), o CO manteve comportamento semelhante à camada superficial do solo, com exceção para o pH e argila, os quais não apresentaram correlação significativa com aquele atributo.

Pode-se observar que além do CO, o atributo que mantém uma grande frequência de correlação significativa entre o conjunto de atributos, é a DN. Na primeira camada, o relevo, representado pela DN, manteve forte correlação negativa para a maioria dos atributos, positiva para o índice de avermelhamento (RR) e não se correlacionou com a argila.

As Figuras 6 e 7 mostram modelos de regressão linear de atributos que apresentaram alta correlação entre si, além de um modelo com R^2 mínimo de 0,20.

Os principais fenômenos de troca de nutrientes no solo ocorrem na primeira camada. Dessa forma, pode-se verificar na Figura 6 que o CO apresentou modelos lineares significativos na sua correlação com os cátions K, Ca e Mg. Isso permite inferir sobre a alta participação da MO na ciclagem desses nutrientes no horizonte A das microbacias.

Ainda descrevendo sobre a primeira camada do solo das microbacias, a Figura 6 demonstra que o relevo (DN) possui relação linear negativa com o P. Essa relação representa uma função existente entre os teores de fósforo e a cota do terreno, apesar de o modelo de regressão não explicar totalmente esse fenômeno por meio da linearidade. É importante informar que as cotas mais altas do terreno das microbacias são ocupadas por latossolos, caracterizados por alta fixação de P (Smithson e Giller, 2002; Sanchez et al., 2003).

Profundidade (0-20 cm)

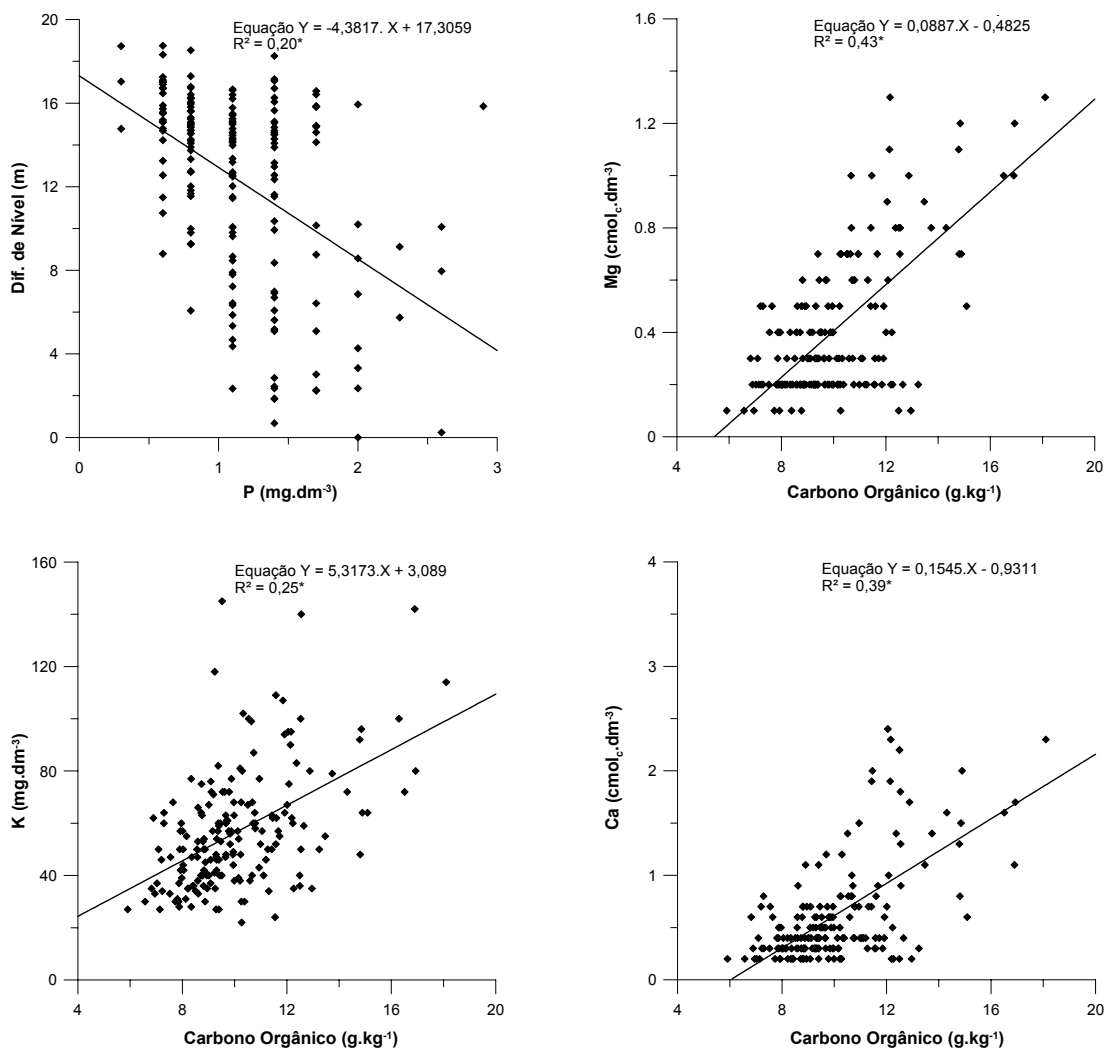


FIGURA 6. Modelos de regressão linear dos atributos: DN x P, Mg x CO, K x CO e Ca x CO, na camada de 0-20 cm (* significativa a $\alpha = 0,01$).

A Figura 7 demonstra modelos de comportamento bastante semelhantes entre a DN x Ca e DN x Mg, na profundidade de 40-60 cm, apresentando correlação negativa, semelhante ao ocorrido com o P na primeira camada de solo (0-20 cm). Esses cátions (Ca e Mg) são nutrientes de pouca mobilidade no solo e facilmente adsorvidos pelos colóides de cargas negativas.

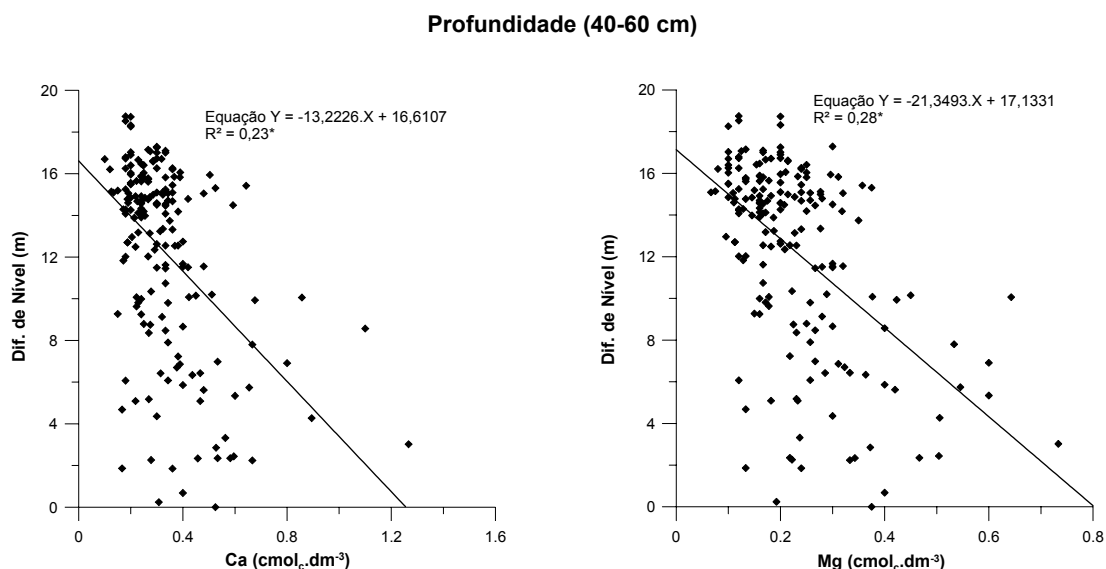


FIGURA 7. Modelos de regressão linear dos atributos: DN x Ca e DN x Mg na camada de 40-60 cm (* significante a $\alpha = 0,01$).

A tendência de redução dos teores de Ca e Mg no subsolo nas maiores cotas da encosta, possivelmente está relacionada à diferença de classes de solo existentes nas microbacias. Foi observado que, nas cotas mais altas, predominam horizontes B_w , diagnóstico para latossolos, e, nas partes baixas da paisagem há a presença de horizontes B_t , onde foram encontrados Argissolos e Plintossolos.

4.3 Análise da distribuição espacial dos atributos do solo

Os atributos de solo das microbacias em duas profundidades foram submetidos à aplicação do semivariograma eq. (10), com a finalidade de avaliar a dependência espacial de cada propriedade estudada. Os atributos foram analisados e ajustados a um modelo de semivariograma, considerando individualmente cada microbacia e também o conjunto, representado por 185 amostras para cada profundidade. Os parâmetros dos semivariogramas das microbacias são apresentados para duas profundidades, em que a Tabela 4 representa a camada de 0-20 cm, e a Tabela 5, a camada de 40-60 cm.

TABELA 4. Parâmetros dos semivariogramas das microbacias na profundidade de 0-20 cm.

Variável	Bacia	Modelo	Efeito Pepita (C ₀)	Patamar (C+C ₀)	Alcance (m)	Relação [C ₀ /(C+C ₀)]x100	DE
Profundidade (0-20 cm)							
Dif. de Nível (m)	1	gaussiano	0,10	51,20	144,21	0,20	Fo
	2	gaussiano	0,10	43,20	144,89	0,23	Fo
	3	gaussiano	3,03	32,40	122,77	9,35	Fo
	4	gaussiano	6,07	32,13	120,56	18,89	Fo
	Todas	esférico	0,010	26,62	216,20	0,04	Fo
RR	1	linear	0,01	22,21	186,40	0,05	Fo
	2	esférico	2,86	11,73	188,18	24,38	Fo
	3	esférico	0,01	9,52	35,30	0,11	Fo
	4	esférico	0,001	0,58	35,50	0,17	Fo
	Todas	linear pat.	4,69	15,04	300,60	31,18	Mo
pH (H ₂ O)	1	esférico	0,0001	0,1002	61,90	0,10	Fo
	2	esférico	0,016	0,603	188,18	2,65	Fo
	3	esférico	0,0006	0,094	65,80	0,64	Fo
	4	esférico	0,0001	0,130	27,90	0,08	Fo
	Todas	esférico	0,0748	0,1616	168,60	46,29	Mo
P (mg/dm ³)	1	exponencial	0,0001	0,132	75,60	0,08	Fo
	2	esférico	0,027	0,753	118,18	3,59	Fo
	3	exponencial	0,053	0,289	122,77	18,34	Fo
	4	esférico	0,008	0,163	25,50	4,91	Fo
	Todas	esférico	0,1191	0,2392	142,70	49,79	Mo
K (mg/dm ³)	1	exponencial	123,50	247,10	121,80	49,98	Mo
	2	esférico	196,00	902,90	188,18	21,71	Fo
	3	esférico	0,10	217,90	33,80	0,05	Fo
	4	exponencial	1,00	611,80	39,00	0,16	Fo
	Todas	exponencial	77,00	531,70	73,20	14,48	Fo
Ca (cmol _c /dm ³)	1	esférico	0,0001	0,069	32,30	0,14	Fo
	2	exponencial	0,079	0,917	118,18	8,62	Fo
	3	esférico	0,019	0,224	115,60	8,48	Fo
	4	esférico	0,0001	0,160	32,10	0,06	Fo
	Todas	exponencial	0,0307	0,164	74,10	18,72	Fo
Mg (cmol _c /dm ³)	1	esférico	0,00003	0,0314	23,10	0,10	Fo
	2	esférico	0,016	0,149	188,18	10,74	Fo
	3	esférico	0,036	0,192	122,77	18,75	Fo
	4	esférico	0,0001	0,082	32,00	0,12	Fo
	Todas	exponencial	0,0106	0,0516	66,60	20,54	Fo
CO (g/kg)	1	exponencial	0,62	2,01	194,70	30,85	Mo
	2	esférico	1,76	6,34	138,60	27,76	Mo
	3	exponencial	0,85	3,28	98,52	25,91	Mo
	4	esférico	3,84	11,74	120,56	32,71	Mo
	Todas	exponencial	0,450	3,8370	63,60	11,73	Fo
Argila (g/kg)	1	exponencial	388,00	974,10	144,21	39,83	Mo
	2	exponencial	88,00	1575,00	188,18	5,59	Fo
	3	esférico	4,40	69,80	122,77	6,30	Fo
	4	esférico	290,00	5690,00	120,56	5,10	Fo
	Todas	esférico	520,00	10.150,00	398,00	5,12	Fo

A classificação da dependência espacial (DE) das propriedades de solo, segundo Cambardella et al. (1994), é estimada pela relação $[C_0/(C+C_0)] \times 100$, como: $\leq 25\%$ - Forte (Fo); entre 25 e 75% - Moderada (Mo) e $> 75\%$ - Fraca (Fr).

TABELA 5. Parâmetros dos semivariogramas das microbacias na profundidade de 40-60 cm.

Variável	Bacia	Modelo	Efeito Pepita (C ₀)	Patamar (C+C ₀)	Alcance (m)	Relação [C ₀ /(C+C ₀)]x100	DE
Profundidade (40-60 cm)							
RR	1	gassiano	4,60	60,20	194,70	7,64	Fo
	2	exponencial	0,76	6,88	15,30	11,05	Fo
	3	exponencial	8,33	16,67	122,77	49,97	Mo
	4	esférico	0,01	6,49	30,30	0,15	Fo
	Todas	esférico	6,92	24,71	398,00	28,00	Mo
pH (H ₂ O)	1	exponencial	0,029	0,088	194,70	32,95	Mo
	2	esférico	0,010	0,199	188,18	5,03	Fo
	3	esférico	0,014	0,033	43,40	42,42	Mo
	4	esférico	0,0001	0,053	33,20	0,19	Fo
	Todas	exponencial	0,0359	0,0719	214,20	49,93	Mo
P (mg/dm ³)	1	esférico	0,004	0,030	144,21	13,33	Fo
	2	esférico	0,00001	0,0233	29,70	0,04	Fo
	3	esférico	0,00001	0,0103	37,90	0,10	Fo
	4	esférico	0,0002	0,0066	16,50	3,03	Fo
	Todas	esférico	0,0088	0,0178	154,30	49,44	Mo
K (mg/dm ³)	1	esférico	11,90	54,47	47,50	21,85	Fo
	2	esférico	19,90	110,72	188,18	17,97	Fo
	3	exponencial	0,10	81,94	88,80	0,12	Fo
	4	exponencial	13,50	104,40	59,40	12,93	Fo
	Todas	exponencial	7,40	52,65	58,20	14,06	Fo
Ca (cmol _c /dm ³)	1	exponencial	0,005	0,029	194,70	17,24	Fo
	2	esférico	0,018	0,170	188,18	10,59	Fo
	3	esférico	0,00001	0,0118	67,00	0,08	Fo
	4	esférico	0,00001	0,0029	21,20	0,34	Fo
	Todas	esférico	0,0080	0,0161	162,30	49,69	Mo
Mg (cmol _c /dm ³)	1	exponencial	0,0044	0,014	144,21	31,43	Mo
	2	esférico	0,0034	0,07	188,18	4,86	Fo
	3	esférico	0,0047	0,018	70,50	26,11	Mo
	4	esférico	0,0022	0,0045	114,30	48,89	Mo
	Todas	esférico	0,0035	0,0085	154,50	41,18	Mo
CO (g/kg)	1	esférico	0,364	0,799	194,70	45,56	Mo
	2	esférico	0,001	0,616	37,60	0,16	Fo
	3	esférico	0,002	0,175	20,20	1,14	Fo
	4	esférico	0,245	1,991	120,56	12,31	Fo
	Todas	exponencial	0,7440	1,7330	398,00	42,93	Mo
Argila (g/kg)	1	esférico	1150,00	9206,00	193,60	12,49	Fo
	2	esférico	604,00	1667,00	188,18	36,23	Mo
	3	exponencial	1,00	855,10	56,10	0,12	Fo
	4	esférico	1,00	1133,00	26,40	0,09	Fo
	Todas	esférico	955,00	2.048,00	237,10	46,63	Mo

A classificação da dependência espacial (DE) das propriedades de solo, segundo Cambardella et al. (1994), é estimada pela relação $[C_0/(C+C_0)] \times 100$, como: $\leq 25\%$ - Forte (Fo); entre 25 e 75% - Moderada (Mo) e $> 75\%$ - Fraca (Fr).

Conforme sugestão de Cambardella et al. (1994), as propriedades de solo foram classificadas de acordo com a magnitude da sua dependência espacial, levando-se em consideração o efeito pepita observado. Por esse critério, quanto menor for a proporção do efeito pepita em relação ao patamar do semivariograma, maior a continuidade do fenômeno, e maior será a dependência espacial apresentada pela variável.

Os atributos na profundidade de 0-20 cm tiveram a dependência espacial dentro de um alcance, variando de 63,60 m para o CO, até um máximo de 398,00 m para a fração argila (Tabela 4).

No horizonte subsuperficial (40-60 cm), mostrado na Tabela 5, o único atributo que apresentou forte dependência espacial foi o K (modelo exponencial), considerando-se conjuntamente as 4 microbacias. O alcance variou de 58,20 m para o K, até a maior distância de 398,00 m para o CO e RR.

Então, dentro do alcance (a), considerando-se a distância coletada das amostras (20x20 m), as amostras não são independentes, o que seria uma restrição para a aplicação da estatística convencional.

Analisando-se, individualmente, as microbacias na profundidade de 40-60 cm, pode-se observar que o modelo de semivariograma ajustado com maior frequência foi o esférico, seguido pelo exponencial. Também, a maioria dos atributos apresenta forte dependência espacial, quando considerada separadamente cada bacia, e moderada quando analisada conjuntamente. Isso pode ser explicado pela maior variabilidade quando se considera todos os 185 pontos amostrais em relação à menor quantidade de pontos para cada microbacia, individualmente. Pois, locais mais próximos são mais semelhantes entre si do que os mais distantes (Isaaks e Srivastava, 1989).

Sob o ponto de vista dos atributos diagnósticos no universo pedológico considerado e de posse de trabalhos anteriores realizados na área (Couto e Oliveira, 2003), a soma de bases, o conteúdo de argila e a cor (expressa pelo índice de avermelhamento), são os mais importantes e apresentam comportamento distinto entre as microbacias.

Na profundidade de 40-60 cm, relativa ao horizonte diagnóstico, as microbacias 1 e 2, apesar de apresentarem uma composição de solos bem distinta

entre si, mostraram um alcance para o teor de argila bem superior ao das outras microbacias. Aparentemente, o grande alcance do teor de argila para a microbacia 1 não se justifica, pois esta bacia apresenta o mais variado universo pedológico entre todas elas. Pode-se aventar que os processos de gênese do solo atuantes neste contexto (latolização e podzolização, associado à plintização), possibilitaram a micro-diversidade de ambientes muito bem definidos, isto é, grande variação de textura (Tabela 2) confinada a pequenos espaços. Esta presença de pequenos “clusters” com diferentes conteúdos de argila (variação de 261 até 503 g.kg⁻¹) produziu uma estrutura espacial entre os pares de observações, muito bem definida.

Quanto ao índice de avermelhamento, a microbacia 4, caracterizada por um universo pedológico mais simples (LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico), expressou sua maior homogeneidade, principalmente na profundidade de 40-60 cm, onde o efeito pigmentante da matéria orgânica é muito menor.

A microbacia 1, caracterizada por uma maior variação de solos na catena, apresentou o maior alcance para pH, P, Ca, CO, argila e RR no horizonte diagnóstico. A explicação provável para este comportamento, é que a dependência espacial destes atributos está mais relacionada com os aspectos fisiográficos (forma da pendente, declividade da bacia, perfil da encosta) do que com os processos atuais de gênese do solo, comentados acima.

Em média, o alcance aumentou 1,4 vezes com o aumento da profundidade. Diversos outros trabalhos mostram o aumento da dependência espacial nos horizontes subsuperficiais (Couto e Klamt, 1999; Lobato, 2000), principalmente em áreas cultivadas (Maraschin, 2003).

Os valores médios do alcance para as profundidades de 0-20 cm e 40-60 cm foram respectivamente 161 e 222 metros, inferiores aos obtidos por Couto et al. (1997), trabalhando em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico em área de cerrado (361 e 550 metros, respectivamente). No caso de uma floresta primária, como neste estudo, a reciclagem de nutrientes nos primeiros centímetros do solo promoveu grande variabilidade espacial, haja vista a grande profusão de raízes de diferentes espécies ocupando diferentes espessuras, principalmente no horizonte A.

O ordenamento das microbacias, considerando-se o alcance da dependência espacial na profundidade de 0-20 cm, permitiu identificar, pelo menos, duas

seqüências em ordem crescente. São elas: M4<M1<M3<M2 para pH, P e Ca, e M3<M4<M1<M2 para K e RR. Fica patente o predomínio da microbacia 2, justificado não só pelo maior número de observações, os quais proporcionam melhor estrutura espacial entre os pares de observações, mas também pela maior homogeneidade de seus aspectos fisiográficos (menor declive e pedoforma com pendentes de maior comprimento de rampa).

Para a profundidade de 40-60 cm, a única seqüência identificada foi a seguinte: M4<M3<M2<M1 para pH, Ca e argila. Neste caso, houve predomínio da microbacia 1.

Outro ponto que merece destaque é o fato de que nesta análise de ordenamento, não se encontrou para nenhum dos atributos considerados, uma mesma seqüência para as duas profundidades. Isto comprova não haver um padrão de dependência espacial entre microbacias, tão diminutas e próximas, nesta área de floresta primária.

Nas Figuras 8, 9 e 10, são apresentados os mapas da distribuição espacial dos atributos argila, P, K, Ca, Mg e CO, nas duas profundidades.

Observa-se, na Figura 8, que a distribuição de P seguiu padrão semelhante à distribuição da fração argila na camada de 0-20 cm. Da mesma forma, comportou-se a distribuição dos teores de CO (Figura 10). Isso evidencia a possível ocorrência de um processo erosivo superficial, com acúmulo de P, argila e CO nas cotas inferiores das microbacias, apesar de aquele ambiente possuir a sua cobertura vegetal não perturbada.

De um modo geral, os valores dos atributos tendem a se elevar nas partes baixas da paisagem, exceto na microbacia 1. Neste caso, pode-se inferir que, além da microbacia 1 ser muito heterogênea quanto às classes de solo, ainda difere muito das outras microbacias quanto ao seu formato. Enquanto que as microbacias 2, 3 e 4 possuem um relativo equilíbrio entre as dimensões, comprimento e largura, a microbacia 1 possui a forma alongada com diminuta área de deposição. Essas diferenças podem ser expressas pelo fator forma (F), que, segundo Resende et al. (2002), é obtido pela relação: $F = A/L^2$, em que, A é área (m²) e L é o comprimento da microbacia (m). Os fatores forma das microbacias são: F(microbacia 1) = 1,2; F(microbacia 2) = 0,4; F(microbacia 3) = 0,8 e F(microbacia 4) = 0,7.

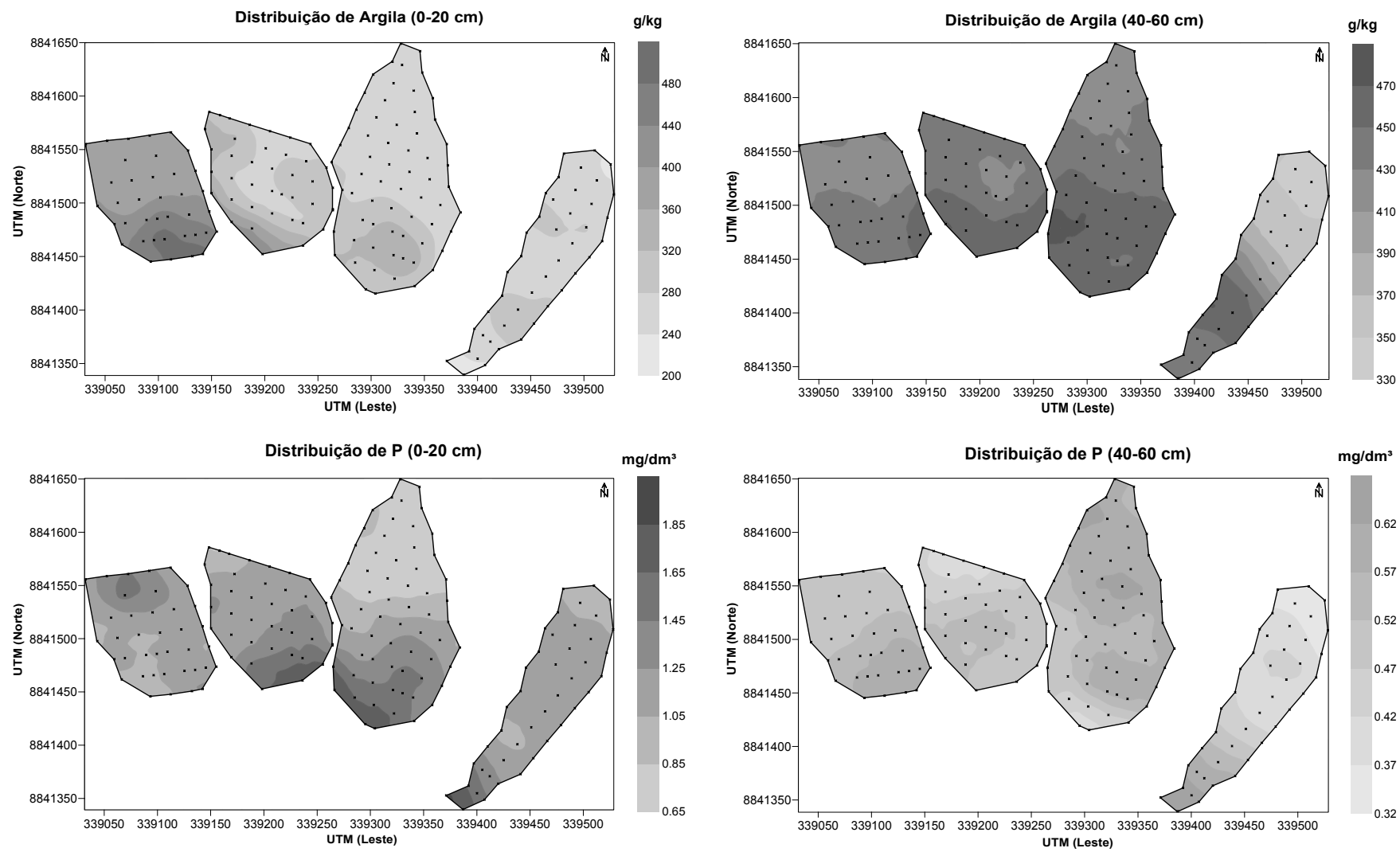


FIGURA 8. Distribuição espacial dos teores de argila e P nas microbacias em duas profundidades (0-20 cm e 40-60 cm).

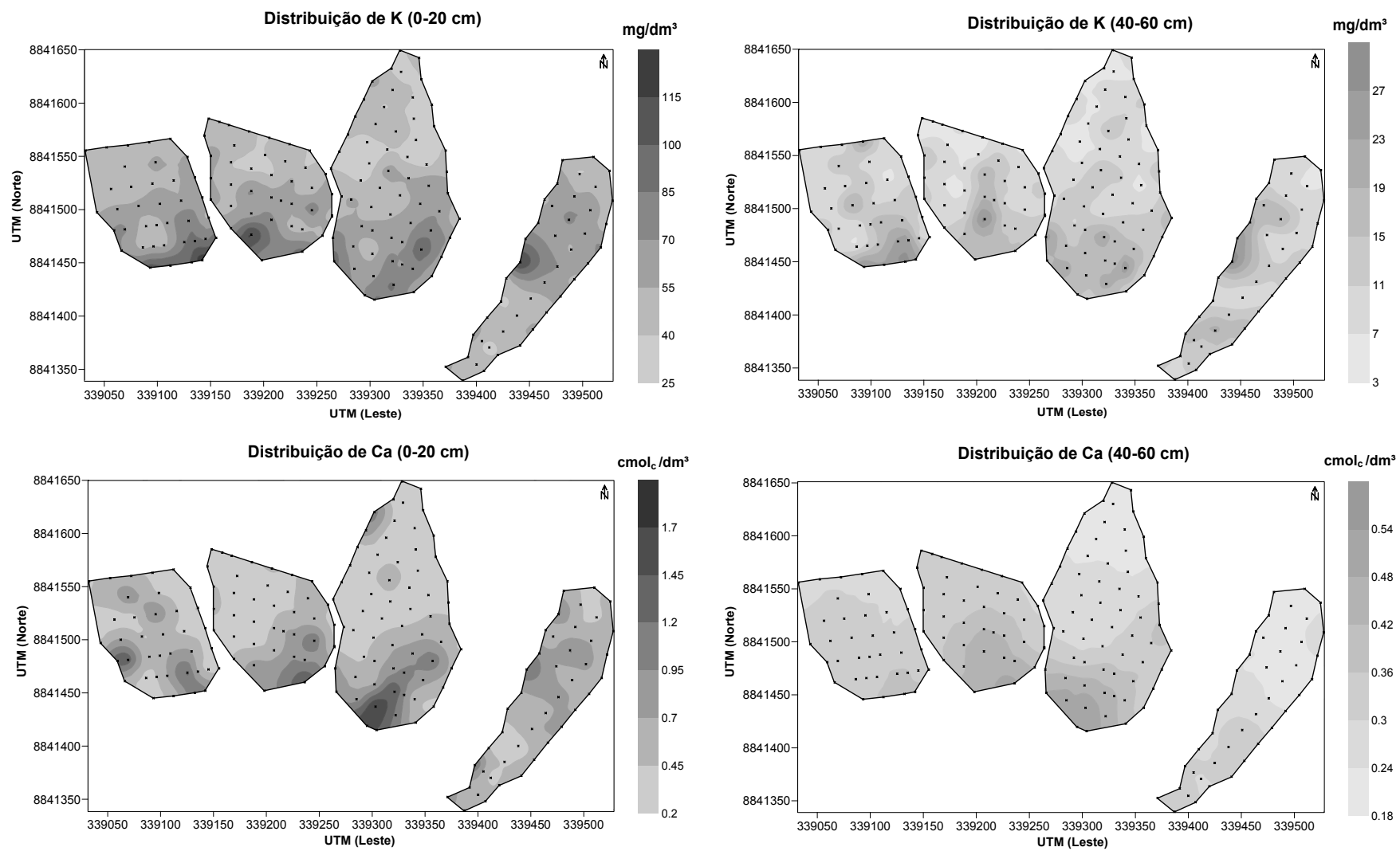


FIGURA 9. Distribuição espacial dos teores de K e Ca nas microbacias em duas profundidades (0-20 cm e 40-60 cm).

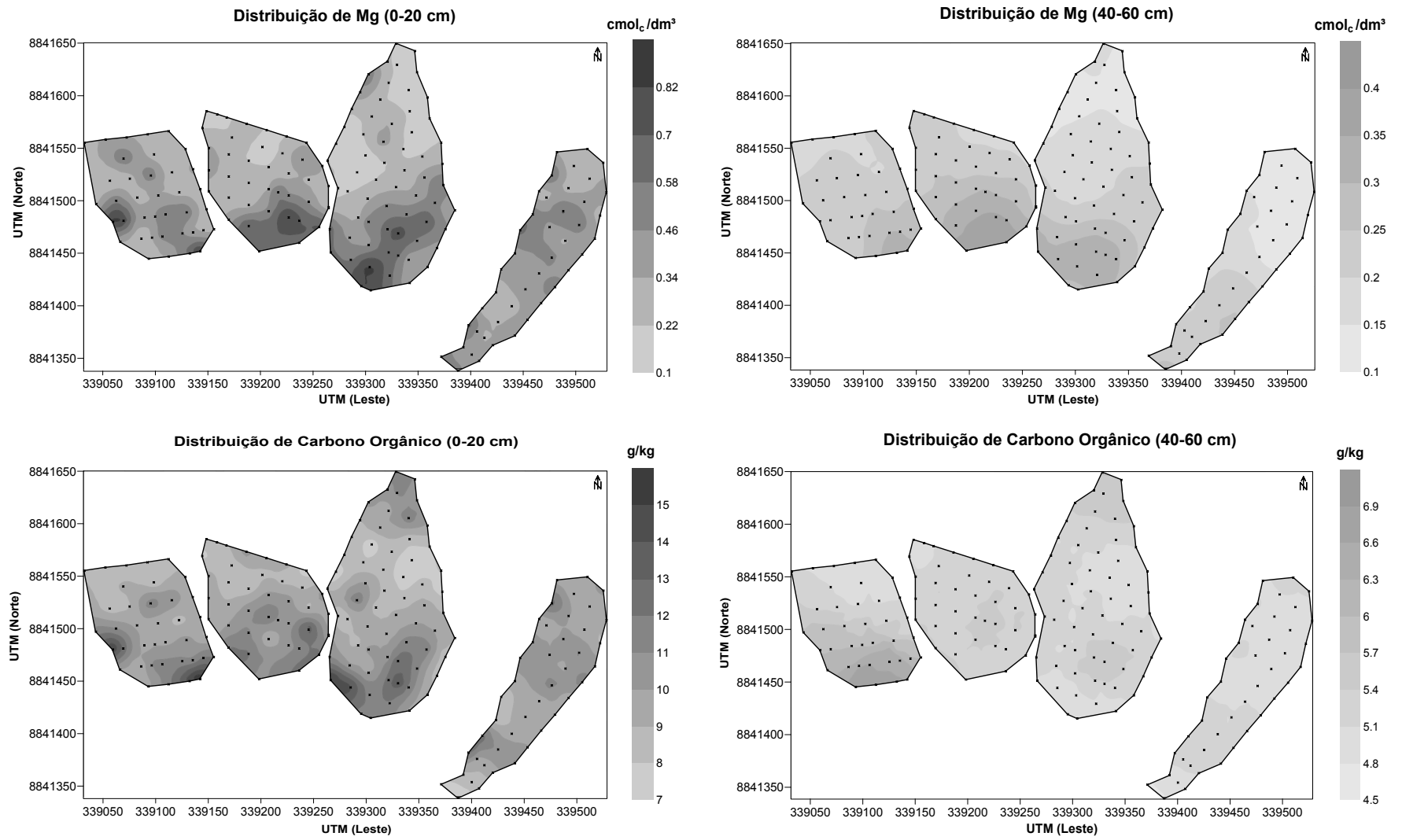


FIGURA 10. Distribuição espacial dos teores de Mg e CO nas microbasias em duas profundidades (0-20 cm e 40-60 cm).

4.4 Estoques de atributos do solo das microbacias

Os estoques dos atributos P, K, Ca, Mg e CO, foram estimados nas microbacias, na profundidade de 0-60 cm. O P foi estimado em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, devido o seu baixo teor; já, os outros atributos, são apresentados na unidade $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Os solos das microbacias apresentaram um aumento da densidade aparente do horizonte A para o horizonte B, principalmente na ocorrência do horizonte B_t. A média da densidade aparente nos horizontes de superfície foi de $1358\pm 81 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$, enquanto que para os horizontes subsuperficiais, a média foi $1456\pm 83 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$. Esses valores são compatíveis com estudos realizados em solos da Amazônia por Moraes et al. (1996), que encontrou a variação de $1300 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$ nos primeiros 5 cm do solo e $1510 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$ na profundidade de 20-30 cm. Também Melo (2003), estudando solos no estado do Acre, encontrou $1100 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$ nos horizontes superficiais e $1500 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$ no subsolo.

A Figura 11 apresenta as variações da densidade aparente conforme a profundidade dos solos das microbacias. Esse comportamento foi semelhante às observações feitas por Sombroek (1984), quando analisou vários perfis de solo da região amazônica.

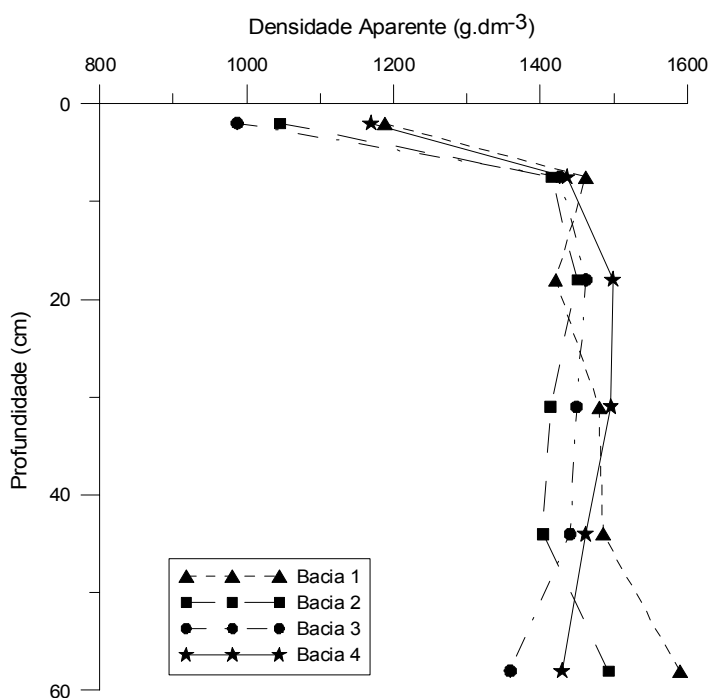


FIGURA 11. Variação da densidade aparente média das microbacias com a profundidade.

Os parâmetros estatísticos do estoque dos atributos estimados são apresentados na Tabela 6. Pode-se observar que, apesar de não haver diferenças significativas entre as microbacias para as médias de alguns atributos estudados, a microbacia 2 apresentou os menores estoques dos atributos, exceto o CO, que foi menor na microbacia 1. Porém, a microbacia 1 apresentou o maior estoque de P, embora a sua média não diferiu significativamente das médias das microbacias 3 e 4.

Apesar de o teor de CO decrescer com a profundidade, o estoque deste atributo não seguiu esta tendência com a mesma intensidade, pois o aumento da densidade aparente com a profundidade compensou aquela diminuição no teor.

A única seqüência de microbacias a se repetir, é quanto ao estoque dos atributos Ca e Mg, que possuem o mesmo ordenamento crescente: $M2 < M1 < M4 < M3$. Apesar de o estoque do atributo Ca ser baixo nas microbacias, os resultados observados são compatíveis com o estudo realizado por Moraes et al. (1996).

Foi observado que a maior freqüência dos menores valores de estoques de nutrientes ocorreu nas microbacias 1 e 2, enquanto as microbacias 3 e 4 apresentaram os maiores estoques, embora alguns valores da média não sejam significativamente diferentes (Tabela 6). É importante destacar que as microbacias 3 e 4 possuem a sua área quase que totalmente formada por latossolos argilosos, enquanto que as microbacias 1 e 2, além de Latossolos, possuem Argissolos e Plintossolos.

Analisando-se individualmente as microbacias, percebe-se que a microbacia 1 possui o menor estoque médio de CO e a microbacia 4, o maior, apesar de não haver diferenças significativas entre as microbacias 1, 2 e 3. É importante destacar que a microbacia 1 também possui os menores teores de argila nas duas profundidades, evidenciando a influência que a fração argila exerce no estoque de CO.

Na Tabela 7 são apresentados os parâmetros dos semivariogramas para o estoque de nutrientes nas quatro microbacias. Os modelos ajustados de semivariograma consideraram a quantidade de 185 pontos representando as quatro microbacias, melhorando assim a confiabilidade da modelagem geoestatística, quando comparados com aqueles modelos obtidos para cada microbacia isoladamente. Essa constatação confirmou a melhoria da aplicação da geoestatística quando é empregada quantidade maior de pontos observados (Webster e Oliver, 1992).

TABELA 6. Estatística descritiva do estoque de nutrientes das microbacias na profundidade de 0 a 60 cm.

Parâmetros estatísticos do estoque de nutrientes (0-60 cm)							
Variável	Bacia	N	Média	DP	CV	Mín.	Máx.
P (kg.ha⁻¹)	1	43	10,42 ^a	3,04	29,2	5,64	19,91
	2	65	8,79 ^b	2,09	23,8	5,49	13,92
	3	39	10,05 ^{ab}	3,09	30,7	5,58	19,75
	4	38	9,97 ^{ab}	2,91	29,2	5,77	19,13
	Total	185	9,68	2,78	28,7	5,49	19,91
K (t.ha⁻¹)	1	43	0,42 ^{ab}	0,16	38,1	0,20	0,92
	2	65	0,38 ^b	0,15	39,5	0,20	0,97
	3	39	0,42 ^{ab}	0,20	47,6	0,16	0,96
	4	38	0,47 ^a	0,22	46,8	0,22	1,09
	Total	185	0,42	0,18	42,9	0,16	1,09
Ca (t.ha⁻¹)	1	43	1,13 ^a	0,47	41,6	0,52	2,32
	2	65	1,10 ^a	0,91	82,7	0,39	5,99
	3	39	1,16 ^a	0,65	56,0	0,55	3,82
	4	38	1,14 ^a	0,59	51,8	0,62	2,87
	Total	185	1,13	0,71	62,8	0,39	5,99
Mg (t.ha⁻¹)	1	43	0,44 ^a	0,16	36,4	0,19	0,72
	2	65	0,41 ^a	0,23	56,1	0,14	1,51
	3	39	0,51 ^a	0,28	54,9	0,23	1,46
	4	38	0,50 ^a	0,26	52,0	0,21	1,22
	Total	185	0,46	0,24	52,2	0,14	1,51
Carbono Orgânico (t.ha⁻¹)	1	43	56,73 ^a	8,30	14,6	40,65	84,57
	2	65	59,35 ^{ab}	11,03	18,6	38,71	109,17
	3	39	59,22 ^{ab}	9,59	16,2	43,62	93,46
	4	38	64,35 ^b	10,57	16,4	48,43	90,31
	Total	185	59,74	10,30	17,2	38,71	109,17

N – número de observações; Média seguida de mesma letra não difere significativamente entre si pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$); DP – desvio padrão; CV – coeficiente de variação (%).

TABELA 7. Parâmetros dos semivariogramas dos estoques de nutrientes das 4 microbacias na profundidade de 0 a 60 cm.

Parâmetros dos semivariogramas dos estoques de nutrientes						
Variável	Modelo	Efeito Pepita (C₀)	Patamar (C+C₀)	Alcance (m)	Relação [C₀/(C+C₀)].100	DE
Prof. (0-60 cm)						
P (kg.ha ⁻¹)	exponencial	4,2800	8,5610	196,20	50,0	Mo
K (t.ha ⁻¹)	exponencial	0,0044	0,0305	48,60	14,4	Fo
Ca (t.ha ⁻¹)	exponencial	0,1632	0,3274	126,30	49,8	Mo
Mg (t.ha ⁻¹)	exponencial	0,0069	0,0435	58,50	15,9	Fo
CO (t.ha ⁻¹)	exponencial	47,7000	95,5000	185,40	49,9	Mo

A classificação da dependência espacial (DE) das propriedades de solo, segundo Cambardella (1994), é estimada pela relação $[C_0/(C+C_0)] \times 100$, como: $\leq 25\%$ - Forte (Fo); entre 25 e 75% - Moderada (Mo) e $> 75\%$ - Fraco (Fr).

Pode-se observar na Tabela 7, que o modelo exponencial foi o melhor para representar a dependência espacial dos atributos, sendo que, P, Ca e CO, apresentaram moderada dependência espacial, enquanto que K e Mg, forte dependência espacial com baixo efeito pepita.

O alcance a mostrou dependência espacial variando de 48,60 m para o K, até um máximo de 196,20 m para o P. Isto sugere que o espaçamento utilizado de coleta das amostras (20x20 m) foi adequado para a estimativa do estoque dos atributos, considerando-se a aplicação da geoestatística.

A Figura 12 apresenta os mapas de distribuição espacial do estoque de P, K, Ca e Mg. A estimativa da distribuição do estoque de atributos dos solos das microbacias, por meio de técnicas geoestatísticas, ofereceu a organização do solo em classes homogêneas obtidas a partir da identificação do arranjo espacial dos atributos estudados, confirmando a abordagem realizada por McBratney e Webster (1981) e Webster e Oliver (1992).

Os mapas de distribuição espacial do estoque dos nutrientes P, K, Ca e Mg, demonstrados na Figura 12, permitem observar um padrão muito semelhante entre o Ca e Mg, e até com o K. Porém, o atributo P apresentou estoques com distribuição diferente desses cátions e com ligeira semelhança com a distribuição do CO. O estoque de CO, considerando o aspecto do relevo, é demonstrado na Figura 13.

As médias dos estoques de CO nas profundidades de 0-20 cm e 0-30 cm, são apresentadas na Tabela 8.

Os dados mostram que, na primeira profundidade (0-20 cm), houve muita semelhança com os resultados obtidos por Cerri et al. (2004b), utilizando modelagem geoestatística em Rondônia.

Também, na profundidade de 0-30 cm, o estoque de carbono do solo das microbacias apresentou-se compatível com os resultados obtidos por Moraes et al. (1996) e Melo (2003).

Já, Neill et al. (1997) encontraram estoques de CO semelhantes a este estudo em algumas localidades de Rondônia e também valores superiores em outras regiões.

Porém, Batjes e Dijkshoorn (1999) e Bernoux et al. (2002), observaram para a profundidade de 0-30 cm, valores superiores de estoque de CO em solos amazônicos sob floresta do que os encontrados neste trabalho.

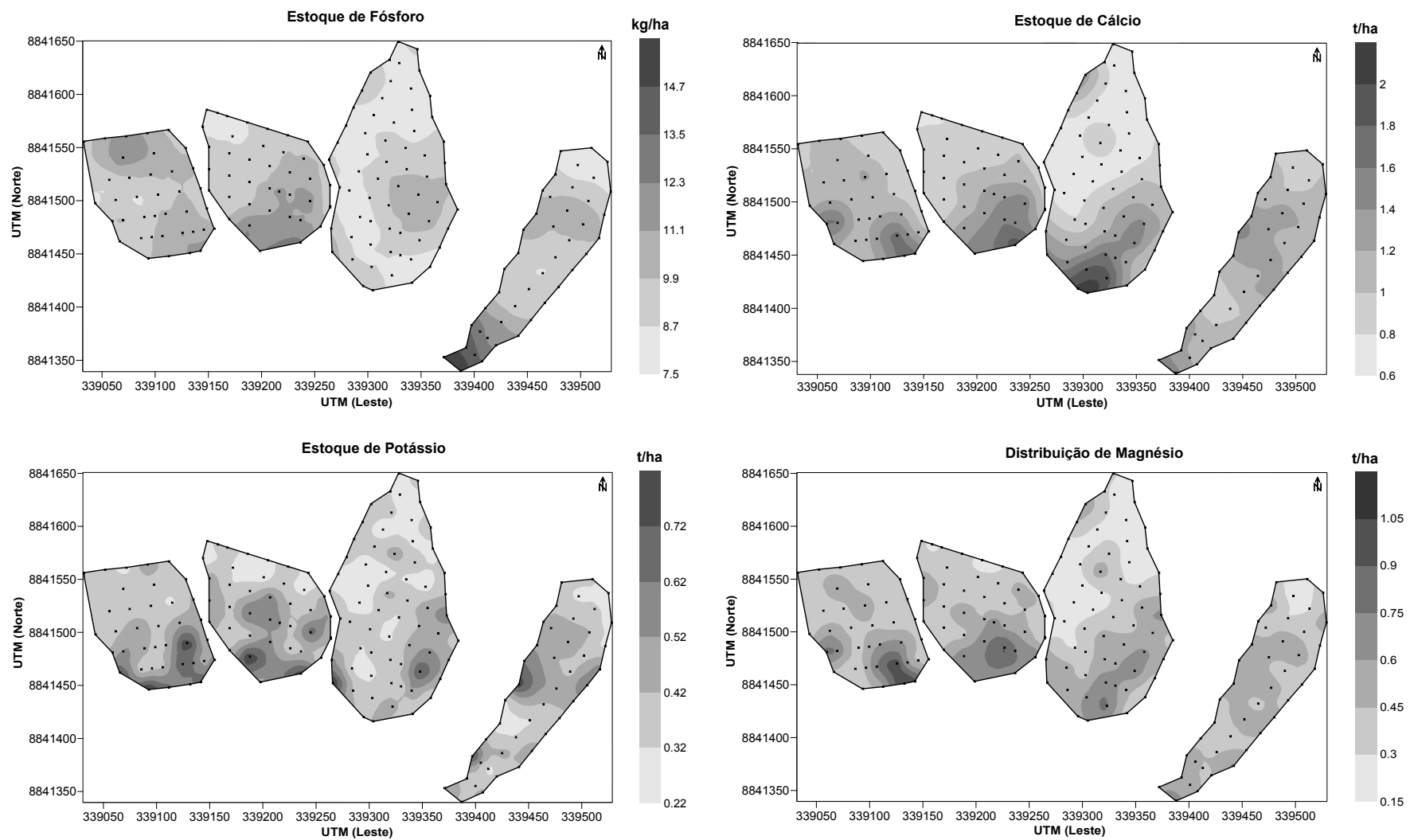


FIGURA 12. Distribuição espacial do estoque de P, K, Mg e Ca das microbacias na profundidade (0-60 cm).

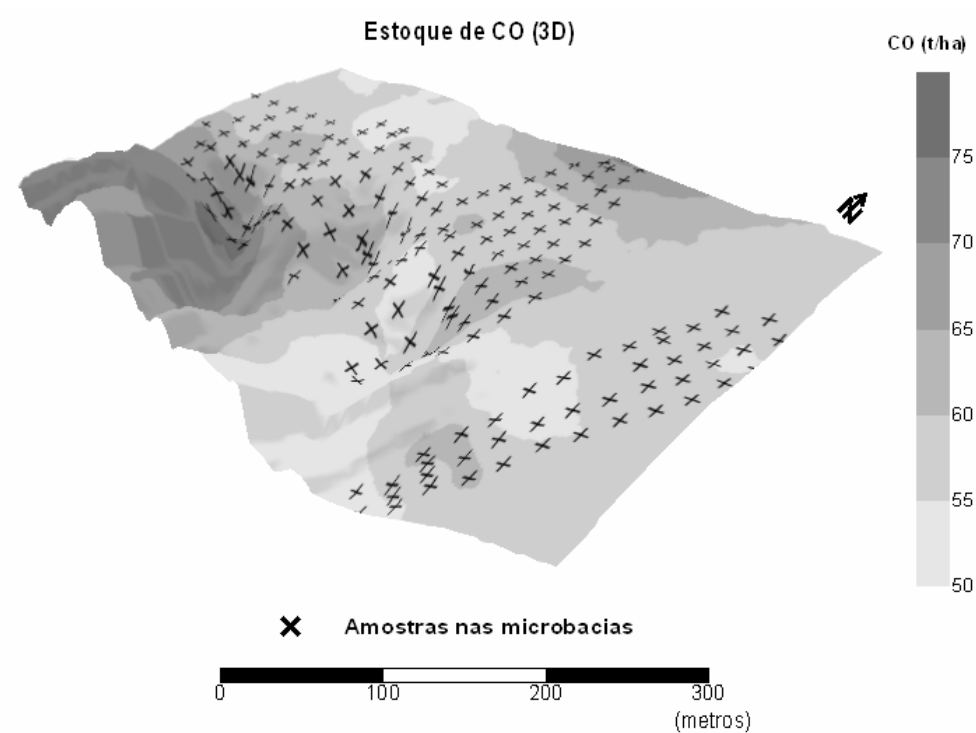


FIGURA 13. Distribuição espacial do estoque de CO (0-60 cm) em t/ha (perfil do relevo 3D).

TABELA 8. Média do estoque de CO ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) nas microbacias em profundidades de 0-20 cm e 0-30 cm.

Esteque de Carbono Orgânico das Microbacias			
Variável	Bacia	N.º de Observações	Média
CO – $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ (0 – 20 cm)	1	43	2,71
	2	65	2,62
	3	39	2,68
	4	38	2,96
	Total	185	2,72
CO – $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ (0 – 30 cm)	1	43	3,43
	2	65	3,53
	3	39	3,54
	4	38	3,85
	Total	185	3,57

4.5 Distribuição espacial das classes pedológicas nas microbacias

Apesar de existirem levantamentos pedológicos abrangendo a área da pesquisa, como os realizados pela SEPLAN (SEPLAN, 2001), na escala 1:250.000, e por Couto e Oliveira (2003), na escala 1:100.000, o detalhamento dos mapas ainda é muito pequeno, considerando as dimensões das quatro microbacias estudadas. Este último levantamento citado, é um trabalho de reconhecimento realizado na Fazenda Rohsamar, segundo o qual, as microbacias estão inseridas na unidade de mapeamento PVd (ARGISSOLO VERMELHO Distrófico plúntico, com inclusão de LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico e ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plúntico).

A identificação das classes pedológicas nas microbacias em uma escala maior fundamentou-se na idéia da análise por técnicas geoestatísticas dos atributos textura e cor. Esses atributos foram submetidos às funções de semivariograma para avaliar a dependência espacial e os modelos testados por validação cruzada (cross validation), conforme demonstra a Figura 14.

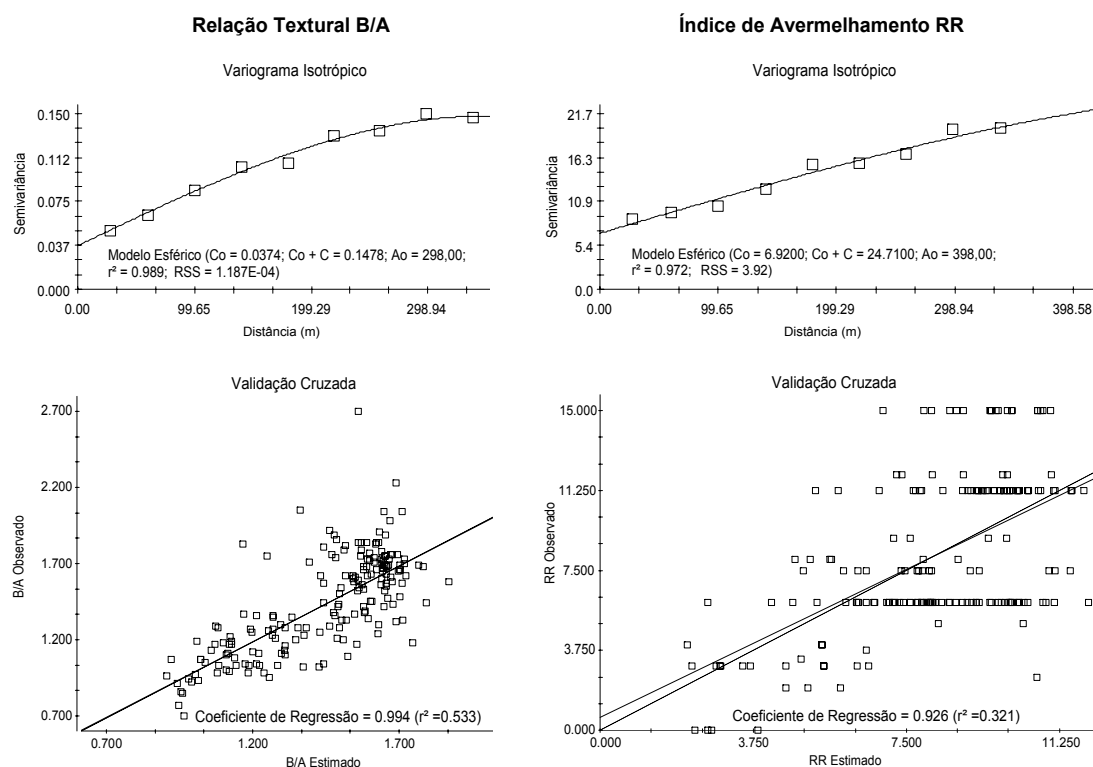


FIGURA 14. Modelos esféricos de semivariograma e teste de validação cruzada para os atributos relação textural (RT) e índice de avermelhamento (RR).

Os modelos de semivariograma dos atributos relação textural (RT) e índice de avermelhamento (RR) apresentam proporções do efeito pepita (C_0) em relação ao patamar ($C+C_0$), igual a 25% e 28%, respectivamente; o que, segundo Cambardella et al. (1994), os classificam quanto à dependência espacial, como forte e moderada (Figura 14).

Pode-se observar na Figura 15, que a diferença textural média entre os horizontes A e B, é maior nas microbacias 1, 2 e 3, e muito baixa na 4. Isso foi um indicativo de ocorrência de latossolos na microbacia 4, caracterizados pela presença de horizonte subsuperficial B latossólico (sem acúmulo de argila suficiente para caracterizar um B textural).

Uma informação importante obtida pelo estudo da relação textural associada à paisagem foi a localização das áreas que possuem um aumento do gradiente textural com a profundidade do perfil, permitindo a identificação de possíveis horizontes Bt.

As modelagens do relevo e da distribuição espacial da relação textural das microbacias são demonstradas na Figura 16.

Essa estratificação prévia delineou unidades mais homogêneas dentro de um sistema natural que possui alta variabilidade dos atributos e complexos processos de pedogênese. São procedimentos fundamentais quando se pretende delimitar unidades de solos para diversos fins, conforme destacam (McBratney e Webster, 1981; Wilding e Drees, 1983; Webster, 2000; McBratney et al., 2003).

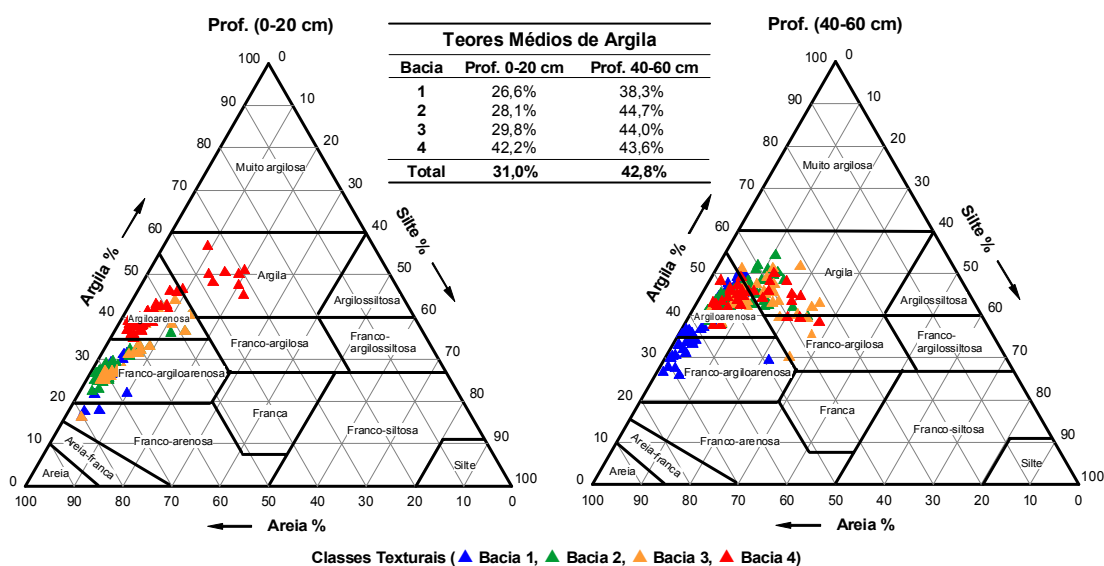


FIGURA 15. Classes texturais de duas profundidades das 4 microbacias.

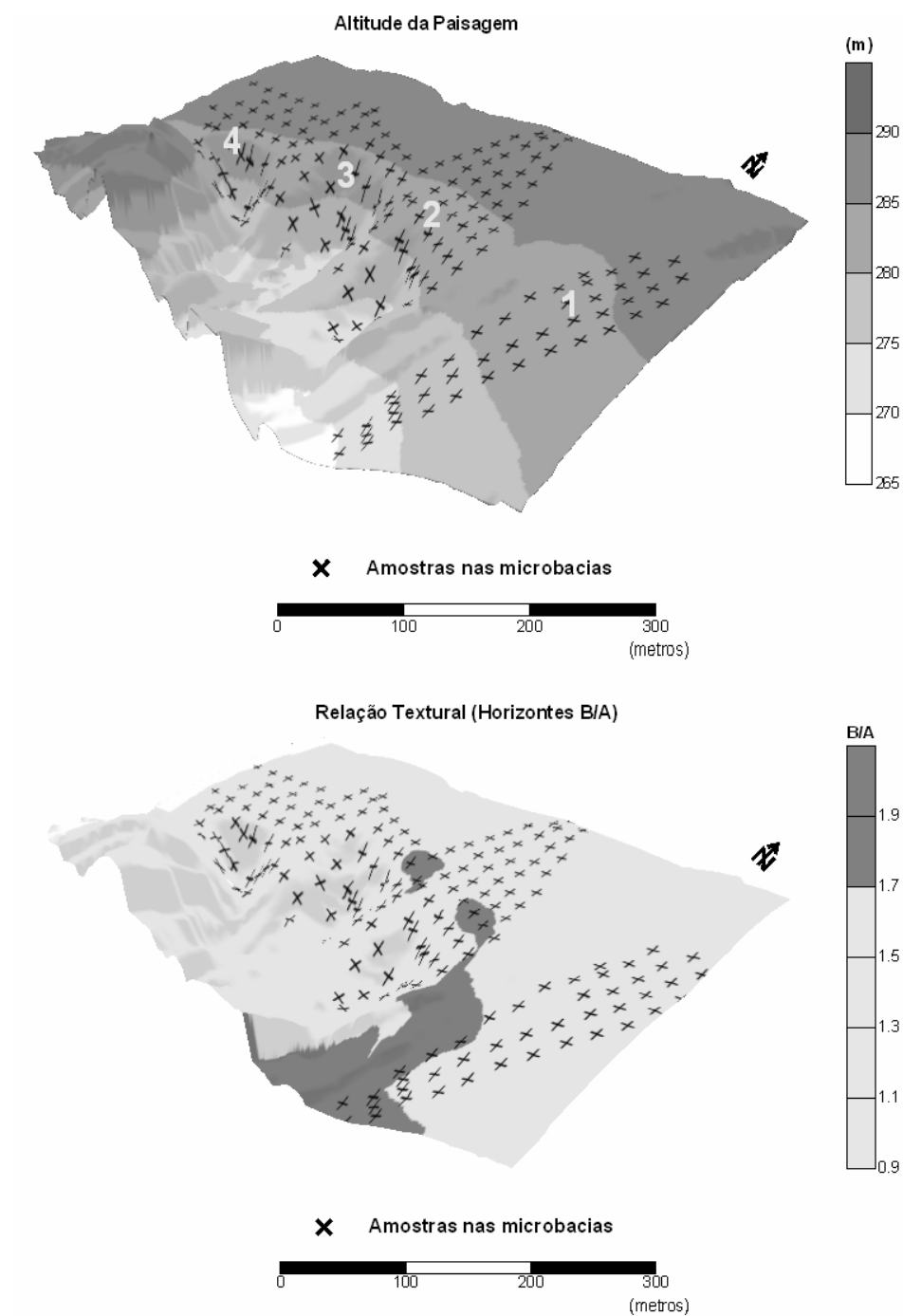
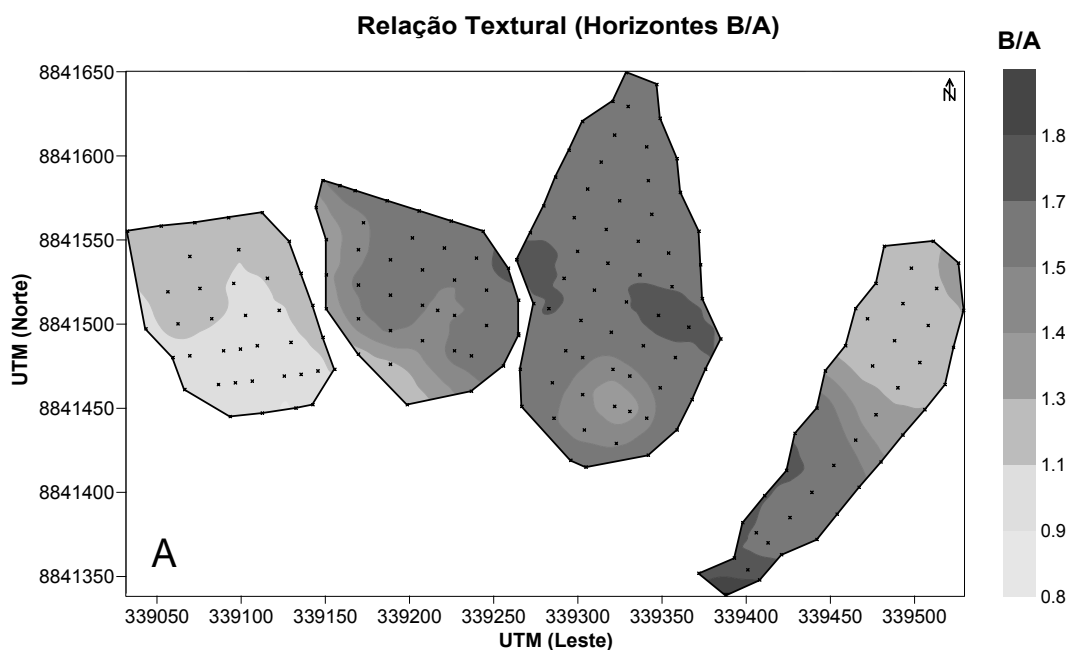


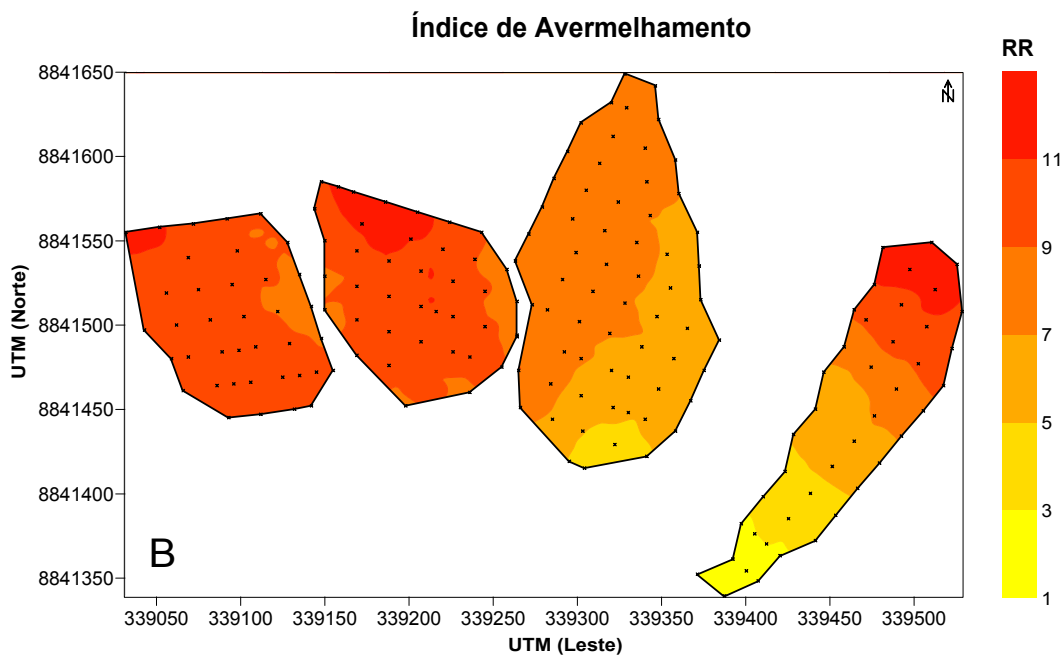
FIGURA 16. Modelos em 3D da altitude da paisagem e da relação textural (B/A).

Os mapas da distribuição espacial da RT e do RR são apresentados na Figura 17. O mapa da RT (Figura 17-A) identificou áreas, onde o fator (B/A) foi superior a 1,7. Dessa forma, ficou estabelecido um limite entre possíveis horizontes diagnósticos Bt e Bw ($B/A > 1,7 - Bt$; $B/A < 1,7 - Bw$).



Distribuição espacial da relação textural B/A, onde:

B/A menor ou igual a 1.7, possivelmente, presença de Horizonte B Latossólico;
B/A maior que 1.7, possivelmente, presença de Horizonte B Textural.



Distribuição espacial do Índice de Avermelhamento dos solos (Torrent e Barrón, 1993)

Para o caso em estudo:

RR menor que 5, solos amarelos;
RR variando de 5 a menos que 9, solos vermelho-amarelos;
RR igual a 9 ou maior, solos vermelhos.

FIGURA 17. Mapas interpolados por krigagem ordinária, demonstrando a distribuição espacial dos atributos: (A) relação textural-B/A e (B) índice de avermelhamento-RR na profundidade de 40-60 cm.

O mapa do RR (Figura 17-B) complementa as informações sobre a cor dos solos existentes nas microbacias. Esse mapa mostra a distribuição espacial do atributo RR, originado dos três parâmetros da cor (matiz, valor e croma) do horizonte B (40-60 cm), conforme sugere Torrent e Barrón (1993).

De acordo com os critérios de cor recomendados pela EMBRAPA (1999), foi constituída uma correspondência entre a nomenclatura da cor e o RR, da seguinte forma: $RR < 5$, solos amarelos; RR variando de 5 – 9, solos vermelho-amarelos; e $RR \geq 9$, solos vermelhos.

Conhecida a distribuição espacial das propriedades, relação textural e índice de avermelhamento, a idéia foi identificar as classes pedológicas existentes por meio da sobreposição dos mapas estimados (Figura 18). O primeiro atributo considerado (RT) permitiu distinguir solos com e sem processos de migração de argila para o subsolo, indicativo da ocorrência de processos pedogenéticos de podzolização ou latolização. O segundo atributo (RR) permitiu a separação de três cores de solos, auxiliando a separação das classes no 2º nível categórico dos solos, de acordo com o SiBCS.

Apesar de a cerosidade ser um atributo importante para a classificação de solos, principalmente na caracterização de horizontes Bt, esta propriedade não foi considerada na modelagem do presente trabalho, devido a sua quase ausência nos Argissolos daquela área, conforme observado em levantamento pedológico realizado anteriormente por Couto e Oliveira (2003).

A geoestatística ofereceu informações importantes sobre a distribuição espacial dos atributos de solo nas microbacias, porém, a correta identificação das classes pedológicas só poderia ser confirmada pela abertura de perfis de trincheira. Esse procedimento é recomendado por McBratney et al (2003) para a elaboração de mapeamentos digitais de solos, quando destacam que os levantamentos de campo são essenciais para o ajuste dos mapas.

Desta forma, foram selecionados cinco locais para abertura de trincheiras, tomando-se como base, exclusivamente, as informações geradas pelo mapa da sobreposição dos atributos RT e RR. Os perfis foram coletados e descritos conforme Lemos e Santos (1996) e classificados segundo o SiBCS (EMBRAPA, 1999).

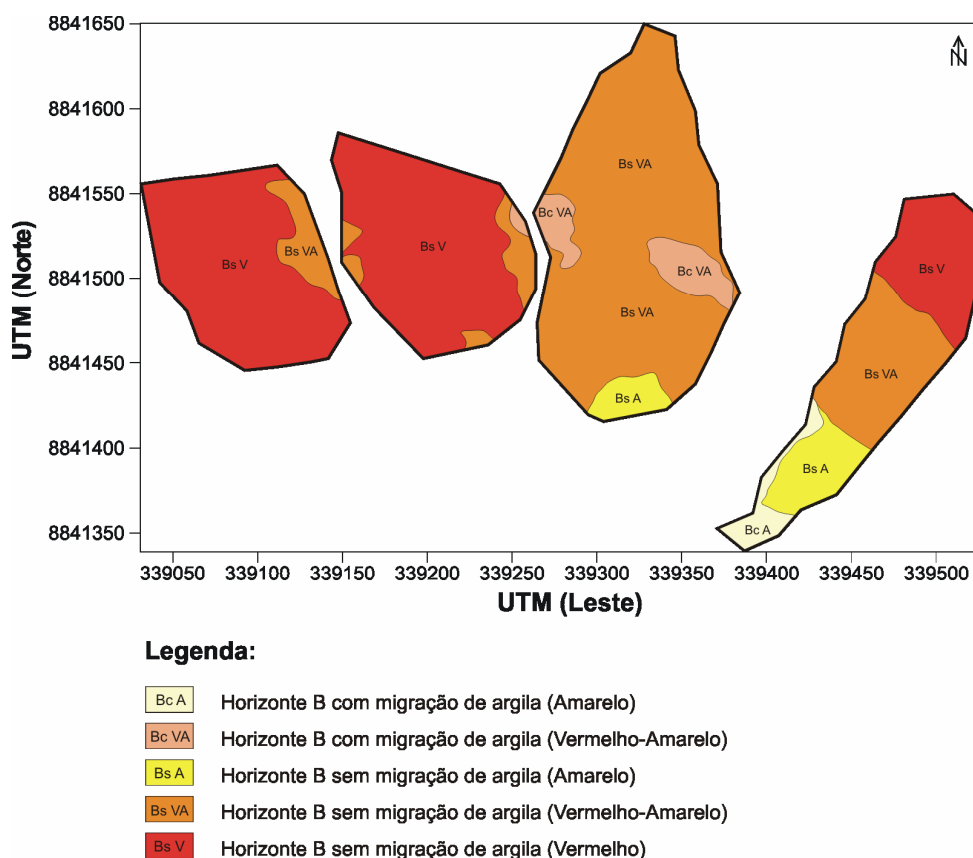


FIGURA 18. Mapa gerado por meio da sobreposição dos mapas da relação textural (RT) e índice de avermelhamento (RR).

A classificação dos perfis de trincheira permitiu o ajuste do mapeamento pedológico das microbacias, determinando alterações no mapa provisório gerado pela sobreposição dos mapas dos atributos RT e RR (Figura 18). A principal modificação foi em decorrência da classificação do perfil n.º 01 (Figura 1B) como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plúntico em local que possui migração de argila do horizonte A para o horizonte B, e que, portanto, indicaria a presença de Argissolo (caracterizado por horizonte B textural). Neste caso, a descrição completa do perfil n.º 01 demonstrou que houve migração de argila do horizonte superficial para o subsuperficial, porém, não suficiente para caracterizar um B textural, devido a uma descontinuidade litológica nos dois últimos horizontes subsuperficiais. Dessa forma, ficou evidente a importância do levantamento pedológico de campo para ajustar o modelo proposto.

Foi constatado também que, isoladamente, as amostras coletadas nas profundidades de 0-20 e 40-60 cm, cujos resultados foram utilizados na geração do mapa de sobreposição de RT e RR, não permitiram a completa identificação de todas as classes de solo existentes nas microbacias. Para tanto, foi necessária a associação complementar do fator relevo (altimetria) com os atributos RT e RR, na distinção das classes pedológicas da área de estudo.

Quando foram analisados, conjuntamente, o relevo da paisagem e a distribuição das classes de solo nas microbacias, verificou-se que horizontes Bt ocorreram em cotas inferiores a 280 m de altitude, e encontraram-se associados a processos de plintização. Nesse contexto, foram observadas na paisagem das microbacias as classes, Argissolos (com caráter plíntico) e Plintossolos, em altitudes menores que 280 m, e, nas cotas superiores, Latossolos.

O mapa da classificação pedológica foi elaborado em escala aproximada de 1:4.500, conforme demonstrado na Figura 19. Segundo Resende et al. (2002), essa escala de mapa é empregada em levantamentos ultradetalhados de solo, e possui área mínima mapeável menor do que 0,4 ha. Esse tipo de levantamento separa as unidades de mapeamento com variação estreita, muito homogênea, e é utilizado para planejamento e localização de áreas de exploração muito pequenas.

O detalhamento das classes de solo distribuídas pelas microbacias identificou características pedológicas marcantes, como a presença de plintita e a migração de argila para o subsolo em determinadas locais. O acréscimo de argila com a profundidade comprova a observação feita por Sombroek (1984), que mapeamentos mais recentes identificaram solos moderadamente profundos com um subsolo menos poroso e textura mais pesada que o horizonte superficial na borda meridional da Bacia Amazônica, diferentemente dos mapeamentos pedológicos mais antigos.

Foi observada ampla ocorrência de plintita e petroplintita nos solos das microbacias, constituindo atributos pertinentes a material laterítico brando ou rijo, respectivamente. Essas formações de concentração de ferro, ou de ferro e alumínio, apresentam consistência firme ou muito firme e pequena dureza, porém tem como propriedade inerente à capacidade de endurecer irreversivelmente quando expostas a sucessivos processos de secagem e umedecimento, transmutando-se por solidificação em petroplintita (Oliveira et al., 1992).

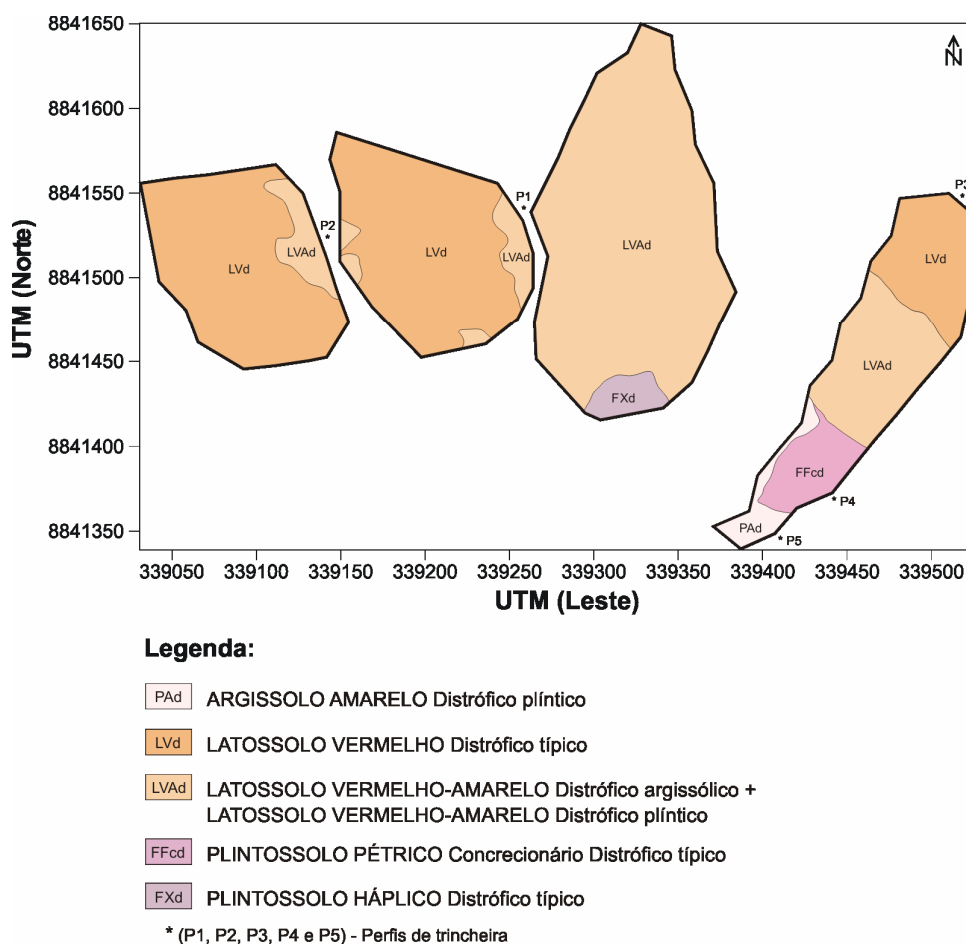


FIGURA 19. Distribuição das classes de solos das microbacias, segundo o SiBCS (EMBRAPA, 1999), em escala aproximada de 1:4.500.

A presença de plintita e petroplintita nos solos das microbacias é um fator relevante, pois é o responsável direto pela classificação de plintossolos e, nos casos em que não foi suficiente para caracterizar horizontes plínticos, fornece a adjetivação plíntica no SiBCS. Além disso, indicam solos formados sob condições de má drenagem e de elevadas concentrações de Fe.

Observou-se também que, quando o valor do RR está na faixa de 3-5 (Figura 17B), os solos predominantes são os Plintossolos. Possivelmente, a mistura de cores dos mosqueados com o matiz do solo proporcionaram um padrão de cor dentro desse intervalo de índice de avermelhamento.

As classes de solo identificadas nas microbacias também tiveram a sua correspondência aproximada nos sistemas FAO (1988) e Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1999), conforme demonstrado na Tabela 9.

TABELA 9. Correspondência aproximada para os solos das microbacias entre SiBCS (1999), FAO (1988) e Soil Taxonomy (1999).

Perfil	SiBCS	FAO	Soil Taxonomy
01	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plíntico (LVAd)	Plinthic Ferralsol (FRp)	Plinthic Kandlustox
02	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico argissólico (LVAd)	Haplic Ferralsol (FRh)	Typic Kandlustox
03	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico (LVd)	Rhodic Ferralsol (FRr)	Typic Haplustox
04	PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário Distrófico típico (FFcd)	Dystric Plinthosol (PTd)	Kandic Plinthaquults
05	ARGISSOLO AMARELO Distrófico plíntico (PAd)	Plinthic Acrisol (ACp)	Typic Plinthustults
*	PLINTOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico (FXd)	Dystric Plinthosol (PTd)	Plinthic Haplustox
*	Classe de solo identificada (perfil não descrito)		

A distribuição das classes de solos (Figura 19) demonstra que as microbacias 2, 3 e 4 são constituídas, quase que totalmente, por latossolos. Já, a microbacia 1, apresenta uma constituição pedológica heterogênea em relação às outras. Esse comportamento demonstra a complexa dinâmica dos fatores de formação de solo (Jenny, 1941), em que há uma grande variabilidade em um pequeno espaço. Neste caso, possivelmente, os fatores relevo e material de origem tiveram maior influência na formação das distintas classes de solo do que o clima, os organismos e o tempo.

A expectativa da existência de menor quantidade de litter nas áreas ocupadas por plintossolos não foi confirmada. Era esperado que, devido à presença de maior umidade do solo durante o ano, proporcionada pela drenagem imperfeita dos plintossolos, haveria maior retenção de biomassa pela vegetação localizada naquelas áreas. Porém, Selva (2005) estimou a quantidade de litter produzido nas quatro microbacias (média total = 11,4 t.ha⁻¹.ano⁻¹) e observou não haver diferenças significativas entre elas na produção de litter.

Também não ocorreram diferenças significativas nas médias de biomassa entre as microbacias. Foram estimadas as seguintes médias de biomassa (dap > 30 cm): microbacia 1 = 247,44 t.ha⁻¹, microbacia 2 = 245,81 t.ha⁻¹, microbacia 3 = 235,52 t.ha⁻¹, microbacia 4 = 182,98 t.ha⁻¹ e a média total = 233,13±226,41 t.ha⁻¹

(Feldpausch, Ted – não publicado). Embora os valores médios de biomassa das 4 microbacias não apresentem diferenças significativas entre si, o maior valor observado foi na microbacia 1, justamente onde se localiza a maior variação de classes pedológicas.

5 CONCLUSÕES

1. Apesar de existir uma aparente homogeneidade na paisagem estudada, a área das microbacias apresenta variabilidade espacial alterando-se de moderada a alta, para a maioria dos atributos físico-químicos do solo.

2. A análise da distribuição dos nutrientes, de uma forma geral, mostra que os solos das microbacias possuem baixa fertilidade, considerando-se os padrões agrícolas. Porém, mesmo com esses níveis de nutrientes, os solos estão mantendo uma exuberante cobertura florestal.

3. Todos os atributos estudados mostraram dependência espacial dentro da escala de espaço observada (20x20 m), tanto no horizonte superficial como no subsuperficial; ou seja, nesse espaço de coleta de amostras, os atributos não são independentes.

4. A modelagem aplicada permitiu estimar o estoque de nutrientes das 4 microbacias, bem como o alcance e a magnitude da dependência espacial de cada atributo estudado. Além disso, foi possível identificar áreas homogêneas na escala de microbacias, demonstradas por meio de mapas de distribuição espacial.

5. Para a região dos estudos, é possível distinguir as principais classes de solo ocorrentes até o 2º nível categórico do SiBCS, por meio da análise geoestatística das variáveis, relação textural e índice de avermelhamento, amostradas com tradagens até 60 cm, quando associadas com a altimetria da paisagem. Porém, são

indispensáveis o conhecimento pedológico e o trabalho posterior de campo para a aplicação e o ajuste dessa modelagem.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATJES, N. H.; DIJKSHOORN, J. A. Carbon and nitrogen stocks in the soils of the Amazon Region. **Geoderma**, v. 89, p. 273-286, 1999.

BERNOUX, M.; CARVALHO, M. C. S.; VOLKOFF, B. et al. Brazil's soil carbon stocks. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 66, p. 888-896, 2002.

BOTSCHEK, J.; FERRAZ, J.; JAHNEL, M.; SKOWRONEK, A. Soil chemical properties of a toposequence under primary rain forest in the Itacoatiara vicinity (Amazonas, Brazil). **Geoderma**, v. 72, p. 119-132, 1996.

BOURENNANE, H.; SALVADOR-BLANES, S.; CORNU, S. et al. Scale of spatial dependence between chemical properties of topsoil and subsoil over a geologically contrasted area (Massif central, France). **Geoderma**, v. 112, p. 235-251, 2003.

BUOL, S. W.; ESWARAN, H. Oxisols. **Advances in Agronomy**, v. 68, p. 151-195, 2000.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Projeto **RADAMBRASIL**. Folha SC. 21 - Juruena. Rio de Janeiro: MMESG, 1980. 460 p. (Levantamento de Recursos Naturais, 20).

BRUS, D. J.; DE GRUIJTER, J. J. Random sampling or geostatistical modelling? Choosing between design-based and model-based sampling strategies for soil (with discussion). **Geoderma**, v. 80, p. 1-44, 1997.

CAMARGO, O. A. et al. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1986. 94 p. (Boletim Técnico, 106)

CAMARGO, E. C. G. Geoestatística: fundamentos e aplicações. In: G. Câmara, J. S. de Medeiros (Eds). **Geoprocessamento para projetos ambientais**. São José dos Campos: INPE, 1998. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/5geoest.pdf>. Acesso em: 17 out. 2003.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M. et al. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 58, p. 1501-1511, 1994.

CAMPOS, R. C. **Determinação da cor do solo e sua utilização na predição dos teores de hematita**. 2001. 59 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, Piracicaba, 2001.

CARVALHO, J. R. P.; VIEIRA, S. R. **Avaliação e comparação de estimadores de krigagem para variáveis agrônomicas: uma proposta**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2001. 21 p. (Documentos / Embrapa Informática Agropecuária; 3).

CASTRIGNANÒ, A.; GIUGLIARINI, L.; RISALITI, R. et al. Study of spatial relationships among some soil physico-chemical properties of a field in central Italy using multivariate geostatistics. **Geoderma**, v. 97, p. 39-60, 2000.

CERRI, C. E. P., BERNOUX, M.; CHAPLOT, V. et al. Assessment of soil property spatial variation in an Amazon pasture: basis for selecting an agronomic experimental area. **Geoderma**, v. 123, p 51-68, 2004a.

CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C.; PAUSTIAN, K. et al. Combining soil C and N spatial variability and modeling approaches for measuring and monitoring soil carbon sequestration. **Environmental Management**, v. 33, Supplement 1, p. 274-288, 2004b.

CLARK, I. **Practical geostatistics**. Alloa, Central Scotland: Geostokos Limited, 2001. 119p. Disponível em: <http://w3eos.who.edu/12.747/resources/pract_geostat/pg1979_latex.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2004.

COUTO, E. G.; CUNHA, C. N. Application of multivariate analysis to identify soil landscapes in the Pantanal of Mato Grosso – Brazil. In: WCSS, 17. **Anais eletrônicos...** Thailand: 2002. Disponível em: <http://www.sfst.org/Proceedings/17WCSS_CD/papers/1902.pdf>. Acesso em: 20 out. 2003.

COUTO, E. G.; KLAMT, E. Variabilidade espacial de micronutrientes em solo sob pivô central no sul do Estado de Mato Grosso. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 34, n. 12, p. 2321-2329, dez. 1999.

COUTO, E. G.; OLIVEIRA, V. A. **Levantamento de reconhecimento de alta intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do imóvel da Rohden Industria Ligna LTDA, município de Juruena/MT**. Cuiabá: UFMT/IBGE, 2003. 92 p.

- COUTO, E. G.; STEIN, A.; KLAMT, E. Large area spatial variability of soil chemical properties in central Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 66, p. 139-152, 1997.
- DAVIS, J. G.; HOSSNER, L. R.; WILDING, L. P.; MANU, A. Variability of soil chemical properties in two sandy, dunal soils of Niger. **Soil Science**, v. 159, p. 321-330, 1995.
- DOBERMANN, A.; GOOVAERTS, P.; GEORGE, T. Sources of soil variation in an acid Ultisol of the Philippines. **Geoderma**, v. 68, p. 173-191, 1995.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Reunião Técnica de Levantamento de Solos, 10. **Súmula...** Rio de Janeiro: EMBRAPA/SNLCS, 1979. 83 p. (Miscelânea, 1).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. revista e atualizada. Rio de Janeiro: CNPS/EMBRAPA, 1997. 212 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 1999. 412 p.
- FAO/UNESCO. **Soil map of the world: revised legend**. World Soil Resources Report 60. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1988. 119 p.
- GOOVAERTS, P. Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties. **Biol. Fertil. Soils**, v. 27, p. 315-334, 1998.
- GOOVAERTS, P. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. **Geoderma**, v. 89, p. 1-45, 1999.
- GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística básica e aplicada**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2004. 76 p.
- HEUVELINK, G. B. M.; WEBSTER, R. Modelling soil variation: past, present, and future. **Geoderma**, v. 100, p. 269-301, 2001.
- IBAMA. **Amazônia**. Disponível em:
<<http://www.ibama.gov.br/ecossistemas/amazonia.htm>>. Acesso em: 10 mar. 2005.
- IBGE. **Projeto zoneamento das potencialidades dos recursos naturais da Amazônia Legal**. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Convênio IBGE/SUDAM. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. 212 p.
- IBGE. **Mapa de Biomas do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE/MMA, 2004.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **Applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.

JENNY, H. **Factors of soil formation: a system of quantitative pedology**. MacGraw-Hill, New York, 1941. 281 p.

JOURNEL, A. C., HUIJBREGTS, C. J. **Mining geostatistics**. Academic, London, 1978. 600p.

KONEN, M. E.; BURRAS, C. L.; SANDOR, J. A. Organic carbon, textura, and quantitative color measurement relationships for cultivated soils in North Central Iowa. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 67, p. 1823-1830, 2003.

KRAVCHENKO, A.; BULLOCK, D. G. A comparative study of interpolation methods for mapping soil properties. **Agron. J.**, v. 91, p 393-400, 1999.

KUZYAKOVA, I. F.; ROMANENKOV, V. A.; KUZYAKOV, Ya. V. Geostatistics in soil agrochemical studies. **Eurasian Soil Science**, v. 34, n. 9, p. 1011-1017, 2001.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos multivariados**. Rio Claro: UNESP, DGA, IGCE. Texto Didático 03, 2002. 120 p.

LANDIM, P. M. B.; MONTEIRO, R. C.; CORSI, A. C. **Introdução à confecção de mapas pelo software SURFER**. Rio Claro: UNESP, DGA, IGCE. Texto Didático 08, 2002. 21 p.

LAURANCE, W. F.; FEARNSIDE, P. M.; LAURANCE, S. G. et al. Relationship between soils and Amazon forest biomass: a landscape-scale study. **Forest Ecology and Management**, v. 118, p. 127-138, 1999.

LE MOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 84 p.

LIBARDI, P. L.; PREVEDELLO, C. L.; PAULETTO, E. A. et al. Variabilidade espacial da umidade, textura e densidade de partículas ao longo de uma transeção. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 10, p. 85-90, 1986.

LOBATO, L. A. O. **Distribuição espacial de atributos pedológicos em áreas de cerrados mesotróficos no Pantanal de Poconé-MT**. 2000. 142 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Universidade Federal de Mato Grosso, FAMEV, Cuiabá, 2000.

MALHI, Y.; PHILLIPS, O. L.; LLOYD, J. et al. An international network to monitor the structure, composition and dynamics of Amazonian forests (RAINFOR). **Journal of Vegetation Science**, v. 13, p. 439-450, 2002.

- MARASCHIN, L. **Aplicações da geoestatística em atributos do solo e da planta em um talhão comercial para produção de soja em Sorriso, Mato Grosso**. 2003. 93 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Universidade Federal de Mato Grosso, FAMEV, Cuiabá, 2003.
- MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Econ. Geology**, v. 46, p. 1246-266, 1963.
- McBRATNEY, A. B.; DE GRUIJTER, J. J.; BRUS, D. J. Spacial prediction and mapping of continuous soil classes. **Geoderma**, v. 54, p. 39-64, 1992.
- McBRATNEY, A. B.; SANTOS, M. L. M.; MINASNY, B. On digital soil mapping. **Geoderma**, v. 117, p. 3-52, 2003.
- McBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. Spatial dependence and classification of the soil along a transect in northeast Scotland. **Geoderma**, v. 26, p. 63-82, 1981.
- McGRATH, D. A.; SMITH, C. K.; GHOLZ, H. L.; OLIVEIRA, F. A. Effects of land-use change on soil nutrient dynamics in Amazônia. **Ecosystems**, v. 4, p. 625-645, 2001.
- MELO, A. W. F. **Avaliação do estoque e composição isotópica do carbono do solo no Acre**. 2003. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, Piracicaba, 2003.
- MORAES, J. F. L.; CERRI, C. C.; MELILO, J. M. et al. Soil carbon stocks of the Brazilian Amazon Basin. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 59, p. 244-247, 1995.
- MORAES, J. F. L.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Soil properties under Amazon forest and changes due to pasture installation in Rondônia, Brazil. **Geoderma**, v. 70, p. 63-81, 1996.
- MUNSELL COLOR COMPANY. **Munsell soil color charts**. Baltimore, 1975.
- NEILL, C.; MELILLO, J. M.; STEUDLER, P. A. et al. Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in the southwestern Brazilian Amazon. **Ecological Applications**, v. 7(4), p. 1216-1225, 1997.
- NOGUEIRA, F.; COUTO E. G.; BERNARDI, C. J. Geostatistics as a tool to improve sampling and statistical analysis in wetlands: a case study on dynamics of organic matter distribution in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **Braz. J. Biol.**, v. 62, p. 861-870, 2002.
- OBERSON, A.; FRIESEN, D. K.; TIESSEN, H.; MOREL, C.; STAHEL, W. Phosphorus status and cycling in native savanna and improved pastures on a acid low-P Colombian Oxisol. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 55, p. 77-88, 1999.

- OLIVEIRA, J. B.; JACOMINE, P. K. T.; CAMARGO, M. N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201 p.
- ORTIZ, G. C. **Aplicação de métodos geoestatísticos para identificar a magnitude e a estrutura da variabilidade espacial de variáveis físicas do solo**. 2002. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, Piracicaba, 2002.
- REICHARDT, K.; VIEIRA, S. R.; LIBARDI, P. L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 10, p. 1-6, 1986.
- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B. et al. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 3. ed. Viçosa: NEPUT, 2002. 338 p.
- ROBERTSON, G. P. **GS+**: Geostatistic for the enviroment sciences – GS+ user's guide version 5. Plainwell, Gamma Desing Software, 2000. 200 p.
- RUIVO, M. L. P.; QUANZ, B.; BAIA, S. P.; BUSSETI, E. P. C.; NAGAISHI, T. Y. The soils of the LBA experimental sites (Caxiuanã, Pará State, Brazil). In: WCSS, 17. **Anais eletrônicos...** Thailand: 2002. Disponível em: <<http://www.idd.go.th/Wcss2002/papers/2152.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2003.
- SANCHEZ, P. A.; LOGAN, T. J. Myths and science about the chemistry and fertility of soils in the tropics. In: Lal, R.; Sanchez, P. A. (Ed.). **Myths and science of soil of the tropics**. Madison: SSSA, 1992. p. 35-46. (Special Publication, 29).
- SANCHEZ, P. A.; PALM, C. A.; BUOL, S. W. Fertility capability soil classification: a tool to help assess soil quality in the tropics. **Geoderma**, v. 114, p. 157-185, 2003.
- SELVA, E. C. **Produção e exportação de carbono via liteira em microbacias na região sul da Amazônia**. 2005. 77 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Universidade Federal de Mato Grosso, FAMEV, Cuiabá, 2005.
- SEPLAN. **Diagnóstico Sócio-Econômico-Ecológico do Estado de Mato Grosso**. Governo do Estado de Mato Grosso - Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral. 2001 (CD ROM).
- SMITHSON, P. C; GILLER, K. E. Appropriate farm management practices for alleviating N and P deficiencies in low-nutrient soils of the tropics. **Plant and Soil**, v. 245, p. 169-180, 2002.
- SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey laboratory methods manual**. Soil Survey Investigations, Report 42 (Version 3.0). U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE, 1996. 693 p.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil Taxonomy**: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Second Edition. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1.999. (USDA, Handbook 436).

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy**. Ninth Edition. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 2003.

SOMBROECK, W. G. Soils of the Amazon Region. In: H. Sioli 1984. **The Amazon, limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin**. Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht/Boston/Lancaster, p. 521-536, 1984.

STATISTICAL PACKAGE FOR THE SOCIAL SCIENCES - SPSS for Windows. **Base User's Guide, Release 10**. Norusis, Marija J., Chicago, USA: SPSS Inc., 2000.

STEIN, A.; ETTEMA, C. An overview of spatial sampling procedures and experimental design of spatial studies for ecosystem comparisons. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 94, p. 31-47, 2003.

SUN. B.; ZHOU, S.; ZHAO, Q. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China. **Geoderma**, v. 115, p. 85-99, 2003.

SURFER. **Surfer 8.0**: Contouring and 3d surface mapping for scientists and engineers. User's Guide. New York: Golden Software, Inc., 2002. 619 p.

TOMÉ JR. J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247 p.

TORRENT, J.; BARRÓN, V. **Laboratory measurement of soil color**: theory and practice. In: Soil Color. Madison: SSSA, 1993. p. 21-33 (SSSA, Special Publication, 31).

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, v. 38, p. 45-94, 1985.

VAN GROENIGEN, J. W.; SIDERIUS, W.; STEIN, A. Constrained optimisation of soil sampling for minimisation of the kriging variance. **Geoderma**, v. 87, p. 239-259, 1999.

VAN WAMBEKE, A. **Soils of the tropics**: properties and appraisal. Second Edition. Ithaca: Cornell University – Department of Crop and Soil Sciences, 2002.

VANDER ZAAG, P.; YOST, R. S.; TRANGMAR, B. B. et al. An assessment of chemical properties for soil of Rwanda whit use of geostatistical techniques. **Geoderma**, v. 34, p. 293-314, 1984.

VENDRUSCULO, L. G. **Uso de índices de desempenho e do critério de akaike para ajuste de modelos de semivariograma**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2003. 5 p. (Comunicado Técnico, 58).

VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um Latossolo Roxo de Campinas (SP). **Bragantia**, v. 56, n. 1, p. 181-190, 1997. ISSN 0006-8705.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: R. F. Novais, V. H. Alvarez, et al. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: SBPC, v. I, 2000, p. 1-54.

VIEIRA, S. R.; CASTRO, O. M.; TOPP, G. C. Spatial variability of some soil physical properties in three soils of São Paulo, Brazil. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 27, n. 2, p. 333-341, fev. 1992.

VIEIRA, S. R.; PAZ-GONZÁLEZ, A. Analysis of the spatial variability of crop yield and soil properties in small agricultural plots. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 1, p. 127-138, 2003.

VOLTZ, M.; LAGACHERIE, P.; LOUCHART, X. Predicting soil properties over a region using sample information from a mapped reference area. **European Journal of Soil Science**, v. 48, p. 19-30, 1997.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D. (Ed.). *Application of soil physics*. New York: **Academic Press**, p. 319-344, 1980.

WEBSTER, R. Is soil variation random? **Geoderma**, v. 97, p. 149-163, 2000.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. Sample adequately to estimate variograms of soil properties. **Journal of Soil Science**, v. 43, p. 177-192, 1992.

WILDING, L. P.; DREES, L. R. Spatial variability and pedology. In: L. P. Wilding; N. E. Smeck et al. (Ed.). *Pedogenesis and Soil Taxonomy I. Concepts and Interactions*. Amsterdam: **Elsevier**, 1983, p. 83-116.

YOST, R. S.; UEHARA, G.; FOX, R. L. Geostatistical analysis of soil chemical properties of large land areas. I. Semi-variograms. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 46, p. 1028-1032, 1982a.

YOST, R. S.; UEHARA, G.; FOX, R. L. Geostatistical analysis of soil chemical properties of large land areas. II. Kriging. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 46, p. 1033-1037, 1982b.

ZIMBACK, C. R. L. **Geoestatística**. Botucatu: UNESP, 2003. 25 p.

APÉNDICES

APÊNDICE A

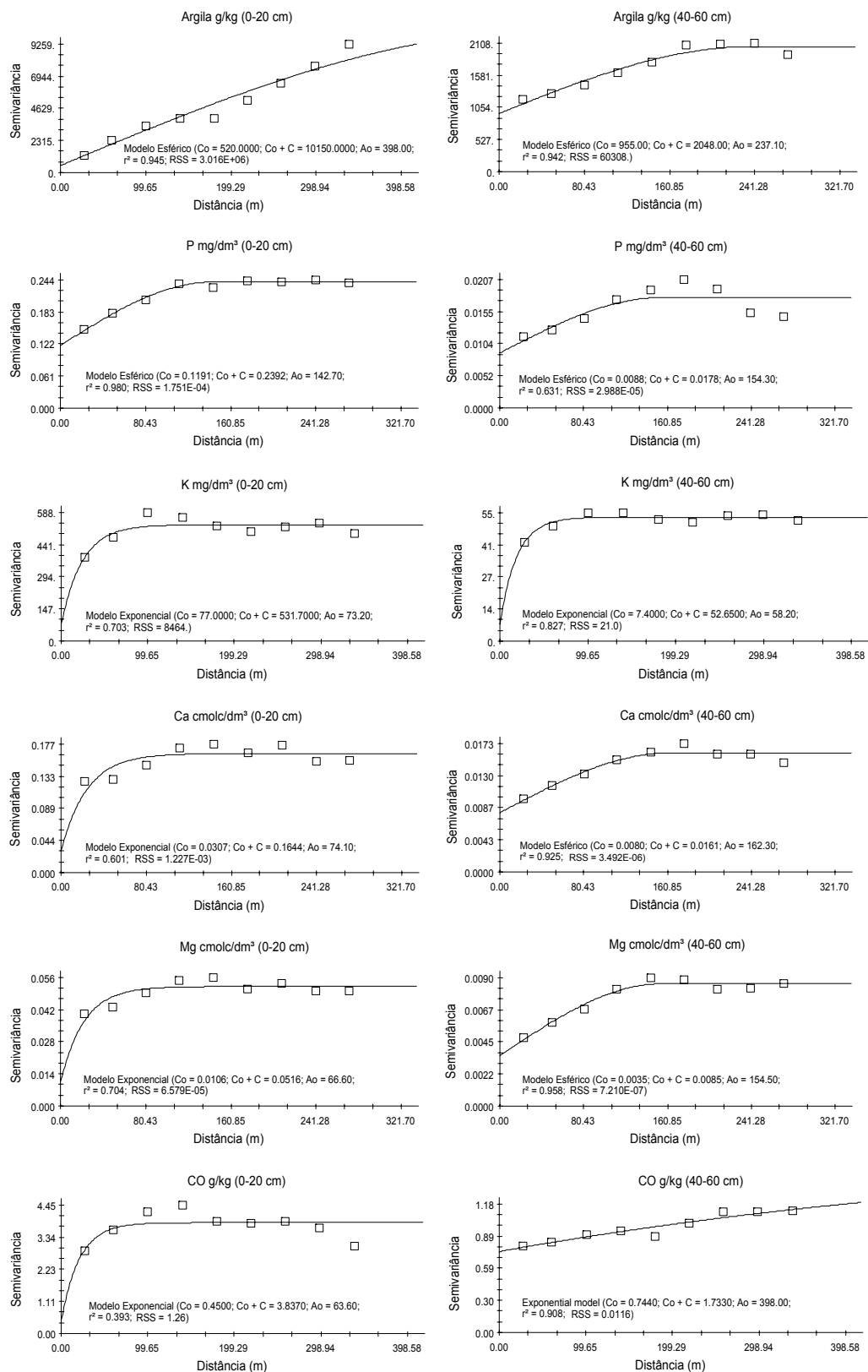


FIGURA 1A – Modelos de semivariogramas de teores dos atributos argila, P, K, Ca, Mg e CO nas profundidades de 0-20 cm e 40-60 cm.

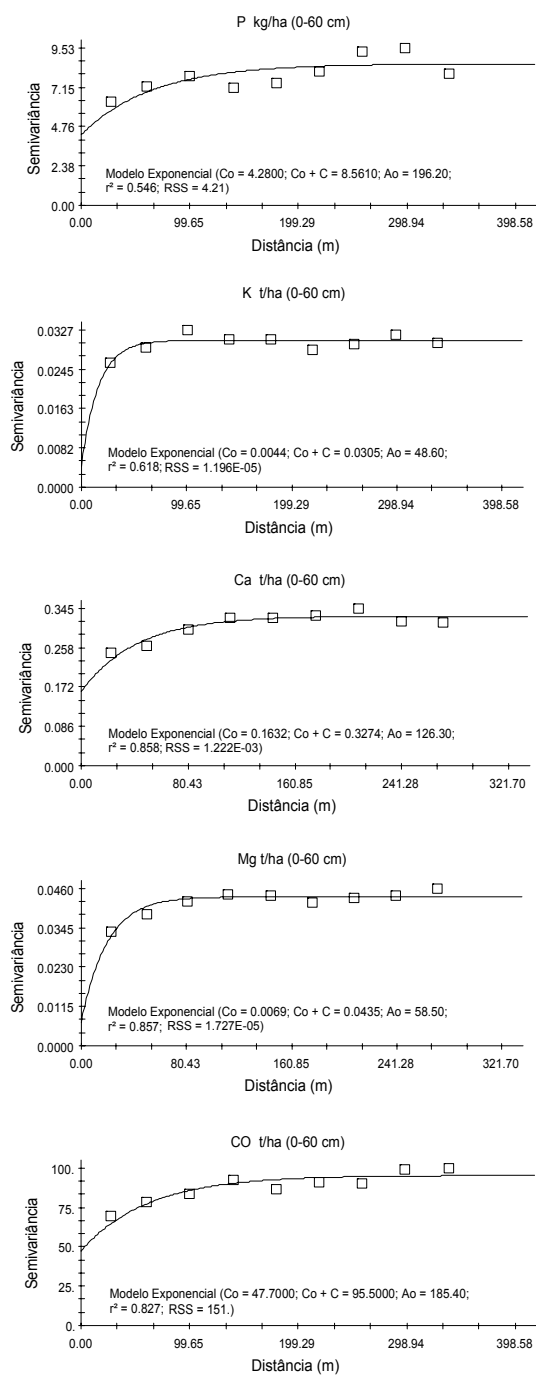


FIGURA 2A – Modelos de semivariogramas dos estoques de P, K, Ca, Mg e CO na profundidade de 0-60 cm.

APÊNDICE B

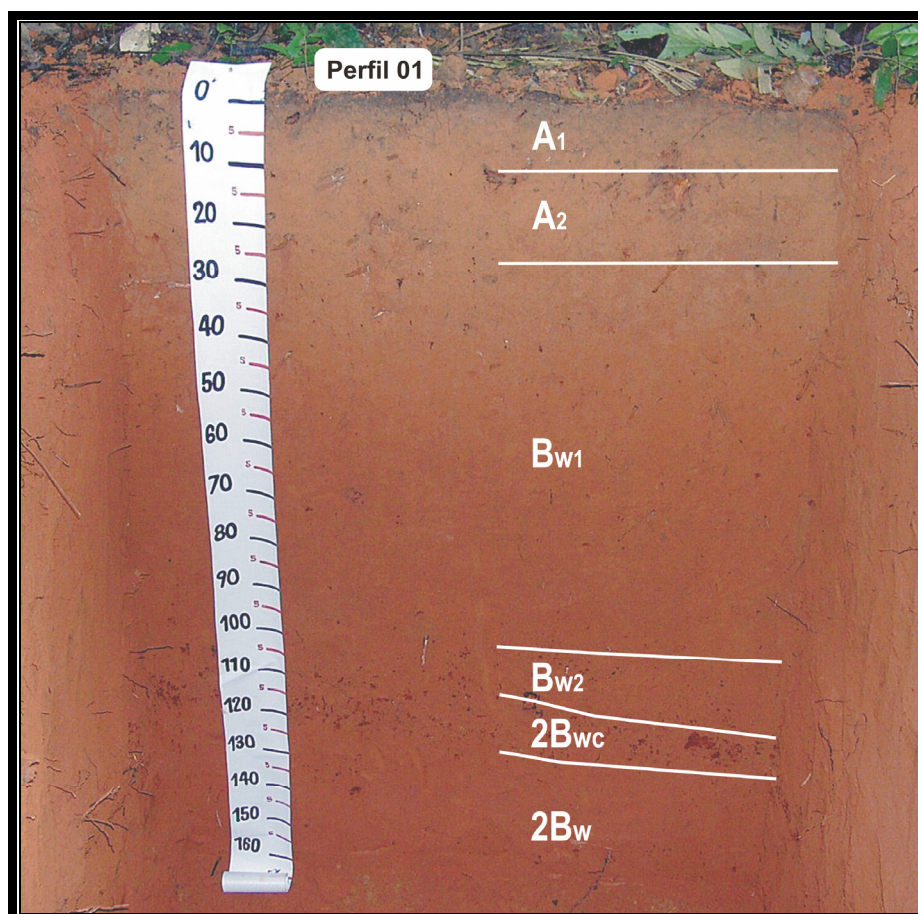
Descrição e Classificação dos Perfis (EMBRAPA, 1999)

FIGURA 1B – Perfil 01 (LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plíntico, textura média, A moderado, fase floresta ombrófila, relevo plano).

PERFIL N°: 01

DATA: 13/05/2004

CLASSIFICAÇÃO: LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plíntico, textura média, A moderado, fase floresta ombrófila, relevo plano.

UNIDADE – LVAd.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Interior da Fazenda Rosahmar, Município de Juruena-MT. Entre as microbacias 2 e 3, Coordenadas Geográficas 10°28'34,1" S e 58°28'05,4" WGr.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Perfil descrito e coletado em trincheira situada no terço médio de encosta em relevo plano, sob vegetação original.

ALTITUDE: 256 metros.

LITOLOGIA: Granitos e Gnaisses.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Complexo Xingu.

CRONOLOGIA: Pré-Cambriano

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produtos de decomposição das litologias supracitadas.

PEDREGOSIDADE: Não pedregoso.

ROCHOSIDADE: Não rochoso.

RELEVO LOCAL: Plano.

RELEVO REGIONAL: Suave ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta Ombrófila.

USO ATUAL: Sistema Agroflorestal (local ainda não explorado).

CLIMA: Am, da classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR: João Paulo Novaes Filho.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A₁ 0-10 cm, bruno-forte (7,5YR 5/6, úmida); franco-arenosa; moderada pequena granular; macia, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

A₂ 10-26 cm, bruno-forte (7,5YR 5/8, úmida); franco-argiloarenosa; moderada pequena granular; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica a plástica e ligeiramente pegajosa a pegajosa; transição plana e gradual.

- B_{w1}** 26-106 cm, vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmida); franco-argiloarenosa; fraca pequena e média blocos subangulares; dura, friável a firme, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.
- B_{w2}** 106-125 cm, vermelho-amarelado (5YR 5/6, úmida); franco-argiloarenosa; fraca pequena e média blocos subangulares; dura, friável a firme, plástica e pegajosa; transição ondulada e abrupta (19-22 cm).
- 2B_{wc}** 125-136 cm, vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmida); franco-argiloarenosa cascalhenta; fraca pequena blocos subangulares; dura, friável a firme, plástica e pegajosa; transição ondulada e abrupta (7-10 cm).
- 2B_w** 136-170 cm⁺, vermelho (2,5YR 4/6, úmida); franco-argiloarenosa; moderada pequena granular; macia, friável, plástica e pegajosa.

Raízes: Comuns, fasciculadas, pequenas e poucas, pivotantes, finas no A, poucas, secundárias, pequenas nos horizontes B_{w1} e B_{w2}, raras, secundárias e pequenas nos horizontes 2B_{wc} e 2B_w.

Observação: Presença de concreções de petroplintita no horizonte 2B_{wc}.

TABELA 1B – Análises físicas e químicas do solo do perfil 01.

Análises Físicas e Químicas

Perfil: 01
Fazenda Rosahmar, Juruena-MT

Horizonte	Frações da amostra total g/kg				Composição granulométrica da terra fina g/kg			Argila dispersa em água g/kg	Grau de floculação %	Relação Silte/Argila	Densidade g/cm ³		Porosidade cm ³ /100cm ³
	Símbolo	Profundidade cm	Calhaus > 20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia 2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm				Argila < 0,002 mm	Solo	
A ₁	0-10				744	98	158			0,6			
A ₂	10-26				698	88	214			0,4			
B _{w1}	26-106				564	88	348			0,3			
B _{w2}	106-125				564	122	314			0,4			
2B _{wc}	125-136				598	122	281			0,4			
2B _w	136-170+				564	155	281			0,6			

Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo Sortivo cmol _c /kg					Valor V (sat. Por bases) %	100·Al ³⁺ / S + Al ³⁺ %	P assimilável mg/kg		
	Água	KCl 1N	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S (soma)	Al ³⁺				H ⁺	Valor T
A ₁	4,8	4,0	0,5	0,09		0,6	0,6	4,4	5,6	10	51	1,1
A ₂	5,0	4,2	0,5	0,05		0,6	0,5	4,0	5,1	11	47	0,7
B _{w1}	5,5	5,0	0,3	0,03		0,3	0,1	3,8	4,2	8	23	0,1
B _{w2}	5,5	5,1	0,4	0,02		0,4	0,2	3,5	4,1	10	32	0,1
2B _{wc}	5,6	5,0	0,3	0,02		0,3	0,2	3,6	4,1	8	38	0,1
2B _w	5,9	5,0	0,3	0,02		0,3	0,3	3,8	4,4	7	48	0,1

Horizonte	C (orgânico) g/kg	N g/kg	C/N	Ataque sulfúrico g/kg					Relações Moleculares			Fe ₂ O ₃ livre g/kg	Equivalente de CaCO ₃ g/kg
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SiO ₂ /Al ₂ O ₃ (Ki)	SiO ₂ /R ₂ O ₃ (Kr)		
A ₁	10,3												
A ₂	5,7												
B _{w1}	2,7												
B _{w2}	2,5												
2B _{wc}	2,6												
2B _w	1,6												

Relação textural: 1,65

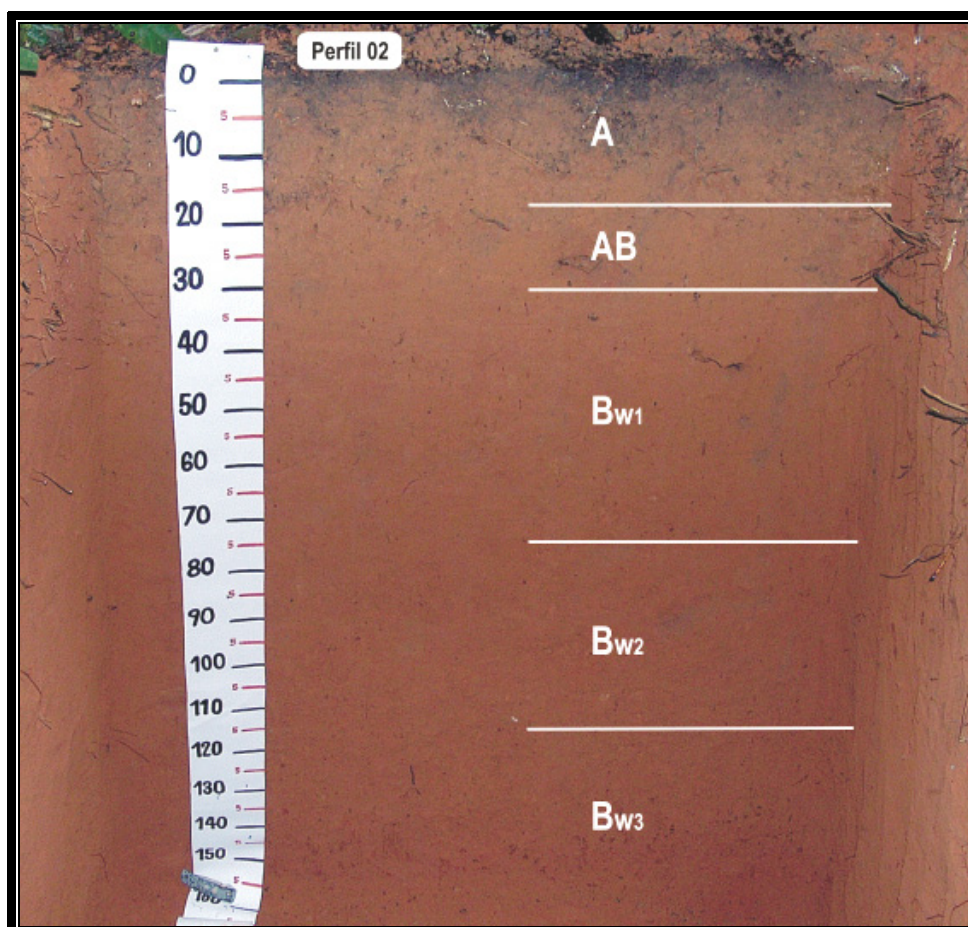


FIGURA 2B – Perfil 02 (LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico argissólico, textura média, A moderado, fase floresta ombrófila, relevo plano).

PERFIL N°: 02

DATA: 14/05/2004

CLASSIFICAÇÃO: LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico argissólico, textura média, A moderado, fase floresta ombrófila, relevo plano.

UNIDADE – LVAd.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Interior da Fazenda Rosahmar, Município de Juruena-MT. Entre as microbacias 3 e 4, Coordenadas Geográficas 10°28'33,3" S e 58°28'09,5" WGr.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Perfil descrito e coletado em trincheira situada no terço superior de encosta em relevo plano, sob vegetação original.

ALTITUDE: 255 metros.

LITOLOGIA: Granitos e Gnaisses.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Complexo Xingu.

CRONOLOGIA: Pré-Cambriano

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produtos de decomposição das litologias supracitadas.

PEDREGOSIDADE: Não pedregoso.

ROCHOSIDADE: Não rochoso.

RELEVO LOCAL: Plano.

RELEVO REGIONAL: Suave ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta Ombrófila.

USO ATUAL: Sistema Agroflorestal (local ainda não explorado).

CLIMA: Am, da classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR: João Paulo Novaes Filho.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0-18 cm, bruno-forte (7,5YR 4/6, úmida); franco-arenosa; moderada, média, granular; macia, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- AB 18-30 cm, vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmida); franco-argiloarenosa; moderada pequena granular; macia, friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.
- B_{w1} 30-73 cm, vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmida); franco-argiloarenosa; fraca pequena blocos subangulares; macia, friável, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.
- B_{w2} 73-112 cm, vermelho-amarelado (5YR 5/6, úmida); argiloarenosa; fraca pequena e média blocos subangulares; macia, friável, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

B_{w3} 112-160 cm⁺, vermelho-amarelado (5YR 4/6, úmida); franco-argiloarenosa; fraca pequena e média blocos subangulares; macia, friável, plástica e pegajosa.

Raízes: Comuns, fasciculadas, pequenas e poucas, pivotantes, médias no horizonte A; poucas, secundárias, pequenas nos horizontes B_{w1}, B_{w2} e B_{w3}.

TABELA 2B – Análises físicas e químicas do solo do perfil 02.

Análises Físicas e Químicas

Perfil: 02

Fazenda Rosahmar, Juruena-MT

Horizonte	Profundidade cm	Frações da amostra total g/kg			Composição granulométrica da terra fina g/kg			Argila dispersa em água g/kg	Grau de floculação %	Relação Silte/Argila	Densidade g/cm ³		Porosidade cm ³ /100cm ³
		Calhaus > 20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia 2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila < 0,002 mm				Solo	Partículas	
A	0-18				734	68	198			0,3			
AB	18-30				698	55	248			0,2			
B _{w1}	30-73				598	55	348			0,2			
B _{w2}	73-112				599	50	351			0,1			
B _{w3}	112-160+				631	88	281			0,3			

Horizonte	pH (1:2,5)			Complexo Sortivo cmol _c /kg					Valor V (sat. Por bases) %	100.Al ³⁺ / S + Al ³⁺ %	P assimilável mg/kg	
	Água	KCl 1N	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S (soma)	Al ³⁺	H ⁺				Valor T
A	4,9	4,2	0,9	0,10		1,0	0,2	4,7	5,9	17	17	1,0
AB	4,9	4,2	0,6	0,02		0,6	0,4	3,6	4,6	13	39	0,4
B _{w1}	5,0	4,4	0,5	0,04		0,5	0,6	3,4	4,5	12	52	0,1
B _{w2}	5,1	4,7	0,4	0,05		0,5	0,2	3,8	4,5	10	31	0,1
B _{w3}	5,5	5,0	0,2	0,07		0,3	0,2	3,7	4,2	7	42	0,1

Horizonte	C (orgânico) g/kg	N g/kg	C/N	Ataque sulfúrico g/kg					Relações Moleculares			Fe ₂ O ₃ livre g/kg	Equivalente de CaCO ₃ g/kg
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SiO ₂ /Al ₂ O ₃ (Ki)	SiO ₂ /R ₂ O ₃ (Kr)		
A	11,3												
AB	5,3												
B _{w1}	4,0												
B _{w2}	3,2												
B _{w3}	1,9												

Relação textural: 1,50

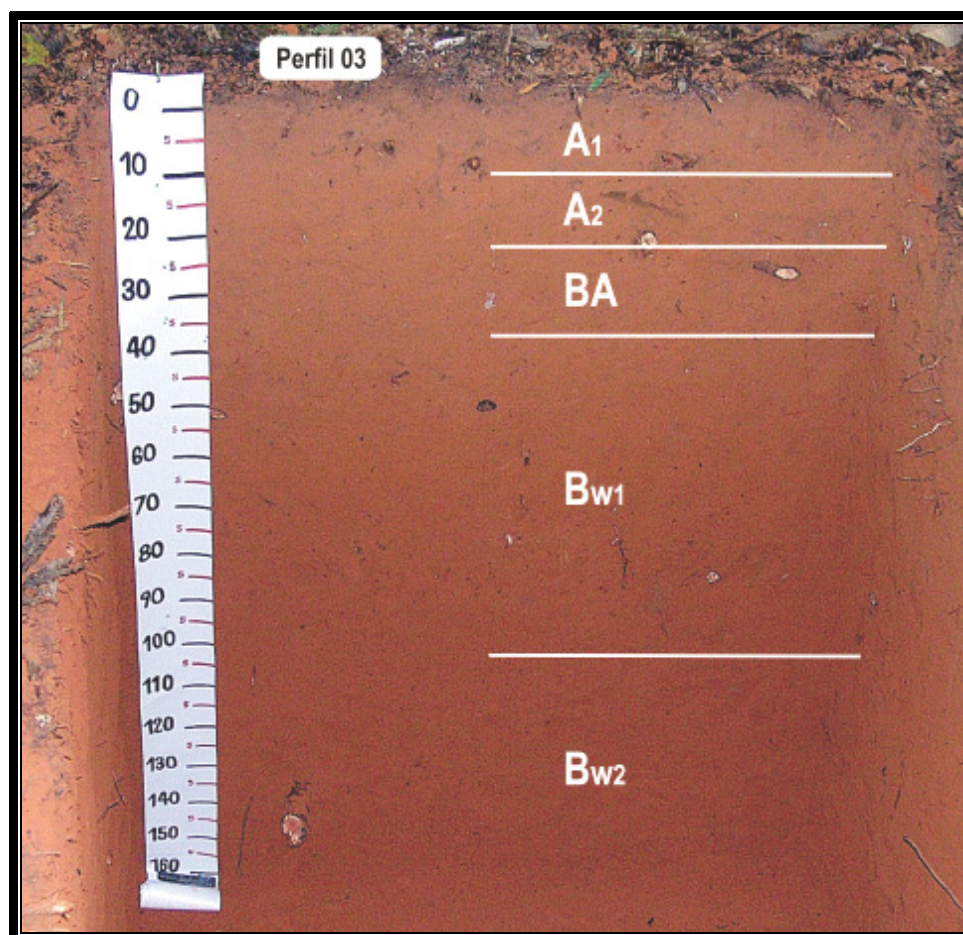


FIGURA 3B – Perfil 03 (LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, textura média, A moderado, fase floresta ombrófila, relevo plano).

PERFIL N°: 03

DATA: 16/05/2004

CLASSIFICAÇÃO: LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, textura média, A moderado, fase floresta ombrófila, relevo plano.

UNIDADE – LVd.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Interior da Fazenda Rosahmar, Município de Juruena-MT. Na parte superior da microbacia 1, Coordenadas Geográficas 10°28'33,9" S e 58°27'57,0" WGr.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Perfil descrito e coletado em trincheira situada na parte superior de encosta em relevo plano, sob vegetação original.

ALTITUDE: 271 metros.

LITOLOGIA: Granitos e Gnaisses.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Complexo Xingu.

CRONOLOGIA: Pré-Cambriano

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produtos de decomposição das litologias supracitadas.

PEDREGOSIDADE: Não pedregoso.

ROCHOSIDADE: Não rochoso.

RELEVO LOCAL: Plano.

RELEVO REGIONAL: Suave ondulado e ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta Ombrófila.

USO ATUAL: Sistema Agroflorestal (local ainda não explorado).

CLIMA: Am, da classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR: João Paulo Novaes Filho.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A₁ 0-9 cm, vermelho-amarelado (5YR 5/6, úmida); franco-arenosa; moderada a forte pequena granular; macia, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- A₂ 9-21 cm, vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmida); franco-argiloarenosa; moderada a forte pequena granular; macia, friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.
- BA 21-36 cm, vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmida); franco-argiloarenosa; forte pequena granular; macia, friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.
- B_{w1} 36-102 cm, vermelho (2,5YR 5/8, úmida); franco-argiloarenosa; forte muito pequena granular; macia, friável, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

B_{w2} 102-160 cm⁺, vermelho (2,5YR 5/8, úmida); franco-argiloarenosa; forte muito pequena granular; macia, friável, plástica e pegajosa.

Raízes: Comuns, fasciculadas, pequenas e poucas, pivotantes, médias no horizonte A, comuns, fasciculadas, pequenas e poucas pivotantes, médias nos horizontes B_{w1} e B_{w2}.

Observação: Presença isolada de um seixo rolado de granito com diâmetro aproximado de 12 cm, na profundidade de 90 cm.

TABELA 3B – Análises físicas e químicas do solo do perfil 03.

Análises Físicas e Químicas

Perfil: 03

Fazenda Rosahmar, Juruena-MT

Horizonte	Frações da amostra total g/kg			Composição granulométrica da terra fina g/kg					Argila dispersa em água g/kg	Grau de flocculação %	Relação Silte/Argila	Densidade g/cm ³		Porosidade cm ³ /100cm ³
	Símbolo	Profundidade cm	Calhaus > 20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia 2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila < 0,002 mm				Solo	Partículas	
A ₁	0-9				730	88	182			0,5				
A ₂	9-21				698	88	214			0,4				
BA	21-36				698	88	214			0,4				
B _{w1}	36-102				598	88	314			0,3				
B _{w2}	102-160+				631	88	281			0,3				

Horizonte	pH (1:2,5)			Complexo Sortivo cmol/kg					Valor V (sat. por bases) %	100.Al ³⁺ S + Al ³⁺ %	P assimilável mg/kg	
	Água	KCl 1N	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S (soma)	Al ³⁺	H ⁺				Valor T
A ₁	4,2	3,8	1,7	0,07		1,8	0,7	4,8	7,3	24	28	1,1
A ₂	4,5	3,9	0,7	0,04		0,7	1,0	4,0	5,7	13	57	0,4
BA	4,5	4,0	0,3	0,03		0,3	0,8	3,6	4,7	7	71	0,2
B _{w1}	5,0	4,3	0,3	0,02		0,3	0,7	3,4	4,4	7	68	0,3
B _{w2}	5,5	4,7	0,3	0,01		0,3	0,3	3,6	4,2	7	49	0,1

Horizonte	C (orgânico) g/kg	N g/kg	C/N	Ataque sulfúrico g/kg					Relações Moleculares			Fe ₂ O ₃ livre g/kg	Equivalente de CaCO ₃ g/kg
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SiO ₂ /Al ₂ O ₃ (Ki)	SiO ₂ /R ₂ O ₃ (Kr)		
A ₁	9,6												
A ₂	6,1												
BA	5,0												
B _{w1}	3,8												
B _{w2}	3,7												

Relação textural: 1,36

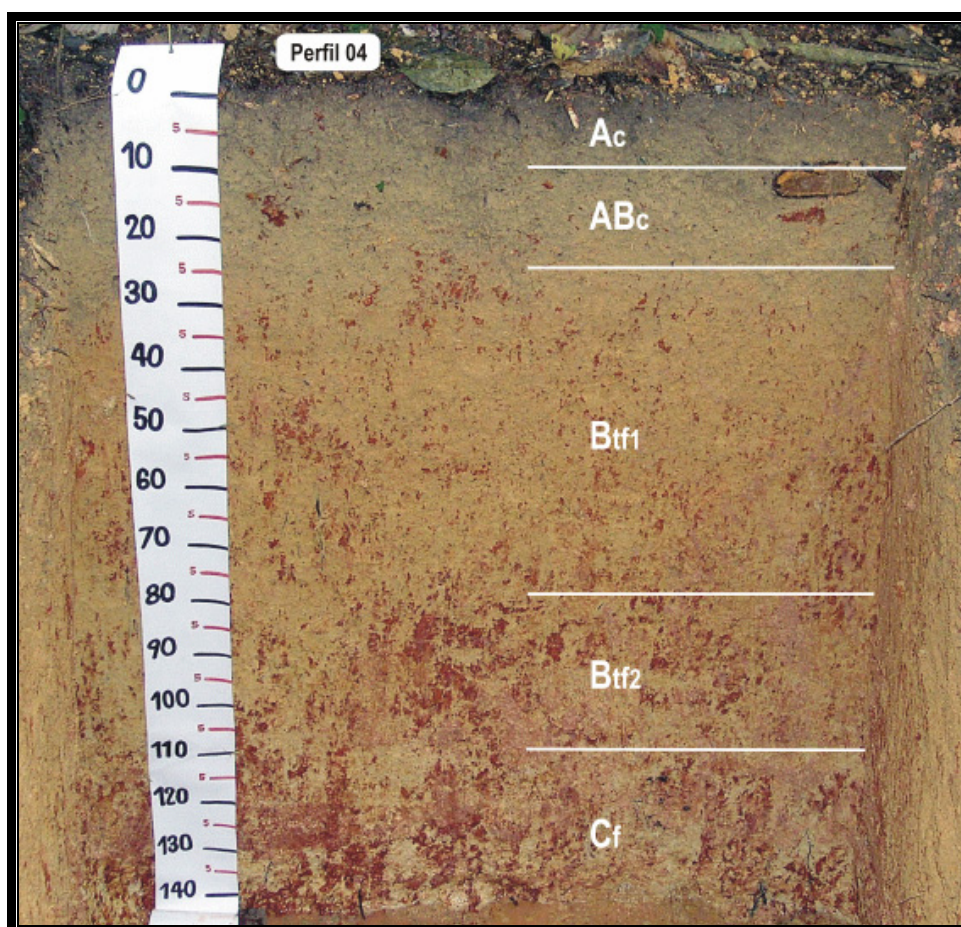


FIGURA 4B – Perfil 04 (PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário Distrófico típico, textura média muito cascalhento/argilosa, A moderado, fase floresta ombrófila, relevo suave ondulado).

PERFIL N°: 04

DATA: 17/05/2004

CLASSIFICAÇÃO: PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário Distrófico típico, textura média muito cascalhenta/argilosa, A moderado, fase floresta ombrófila, relevo suave ondulado.

UNIDADE – FFcd.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Interior da Fazenda Rosahmar, Município de Juruena-MT. Na parte mediana da microbacia 1, Coordenadas Geográficas 10°28'39,1" S e 58°27'59,7" WGr.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Perfil descrito e coletado em trincheira situada na parte média de encosta em relevo suave ondulado, sob vegetação original.

ALTITUDE: 236 metros.

LITOLOGIA: Granitos e Gnaisses.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Complexo Xingu.

CRONOLOGIA: Pré-Cambriano

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produtos de decomposição das litologias supracitadas.

PEDREGOSIDADE: Não pedregoso.

ROCHOSIDADE: Não rochoso.

RELEVO LOCAL: Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL: Suave ondulado e ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Mal drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta Ombrófila.

USO ATUAL: Sistema Agroflorestal (local ainda não explorado).

CLIMA: Am, da classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR: João Paulo Novaes Filho.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A_c 0-9 cm, bruno-amarelado-claro (10YR 6/4, úmida); franco-arenosa muito cascalhenta; fraca pequena granular; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara .

AB_c 9-23 cm, amarelo-brunado (10YR 6/6, úmida); franco-argiloarenosa muito cascalhenta; fraca pequena granular; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

B_{tf1} 23-79 cm, mosqueado abundante, médio a grande e proeminente, amarelo (10YR 7/8, úmida); argiloarenosa; moderada pequena blocos subangulares; dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

B_{tf2} 79-110 cm, mosqueado abundante, grande e proeminente, amarelo (10YR 7/8, úmida); franco-argilosa; moderada pequena blocos subangulares; dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

C_f 110-150 cm⁺, mosqueado abundante, grande e proeminente, amarelo (10YR 8/8, úmida); franco-arenosa; fraca pequena blocos subangulares; firme, plástica e ligeiramente pegajosa.

Raízes: Comuns, fasciculadas, pequenas, poucas, pivotantes, médias nos horizontes A_c, AB_c; raras, secundárias, pequenas nos horizontes B_{tf1} e B_{tf2}.

TABELA 4B – Análises físicas e químicas do solo do perfil 04.

Análises Físicas e Químicas

Perfil: 04

Fazenda Rosahmar, Juruena-MT

Horizonte	Frações da amostra total g/kg			Composição granulométrica da terra fina g/kg			Argila dispersa em água g/kg	Grau de flocculação %	Relação Silte/Argila	Densidade g/cm ³		Porosidade cm ³ /100cm ³
	Símbolo	Profundidade cm	Calhaus > 20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia 2-0,05 mm				Silte 0,05-0,002 mm	Argila < 0,002 mm	
A _c	0-9				731	102	167			0,6		
AB _c	9-23				698	88	214			0,4		
B _{tf1}	23-79				431	188	381			0,5		
B _{tf2}	79-110				430	212	358			0,6		
C _f	110-150+				564	248	188			1,3		

Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo Sortivo cmol _c /kg						Valor V (sat. por bases) %	100.Al ³⁺ S + Al ³⁺ %	P assimilável mg/kg	
	Água	KCl 1N	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S (soma)	Al ³⁺	H ⁺				Valor T
A _c	4,5	3,9	0,4	0,10		0,5	0,7	4,3	5,5	9	59	1,6
AB _c	4,8	4,1	0,6	0,07		0,7	0,6	4,1	5,4	13	47	0,4
B _{tf1}	5,0	4,4	0,5	0,13		0,6	0,4	3,6	4,6	14	39	0,3
B _{tf2}	5,2	4,5	1,6	0,12		1,7	0,5	3,5	5,7	30	23	0,5
C _f	5,3	4,3	0,3	0,10		0,4	0,7	3,4	4,5	9	64	0,6

Horizonte	C (orgânico) g/kg	N g/kg	C/N	Ataque sulfúrico g/kg						Relações Moleculares			Fe ₂ O ₃ livre g/kg	Equivalente de CaCO ₃ g/kg
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SiO ₂ /Al ₂ O ₃ (Ki)	SiO ₂ /R ₂ O ₃ (Kr)	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃		
A _c	11,5													
AB _c	6,6													
B _{tf1}	3,6													
B _{tf2}	1,7													
C _f	1,0													

Relação textural: 1,94

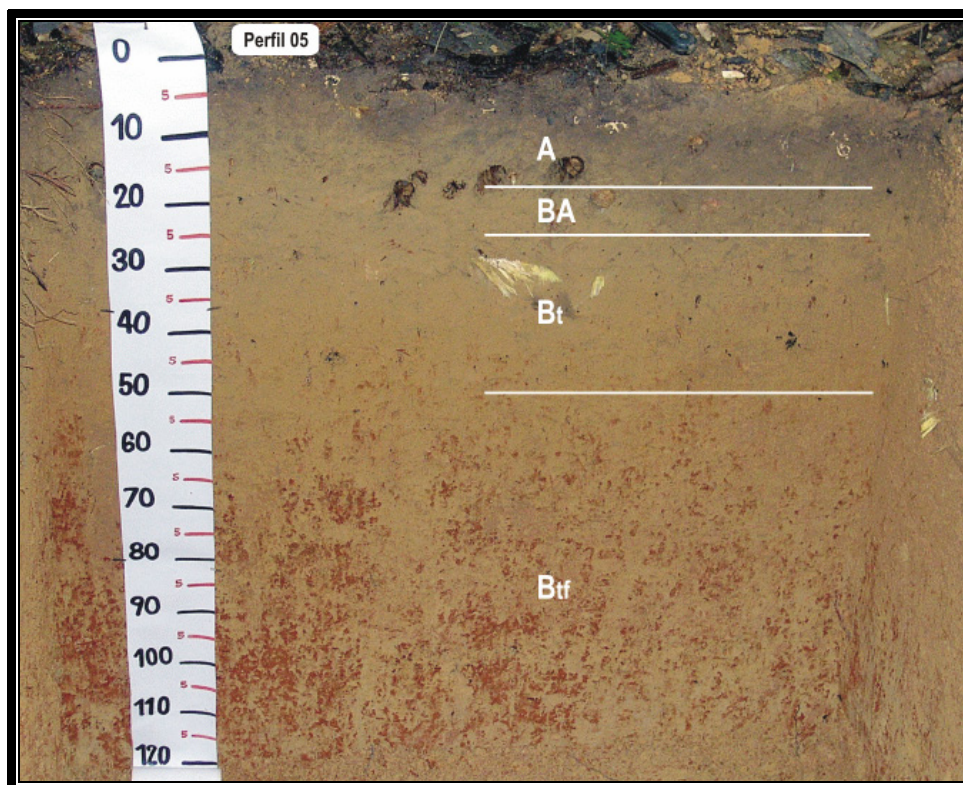


FIGURA 5B – Perfil 05 (ARGISSOLO AMARELO Distrófico plíntico, textura média/média, A moderado, fase floresta ombrófila, relevo ondulado).

PERFIL Nº: 05

DATA: 17/05/2004

CLASSIFICAÇÃO: ARGISSOLO AMARELO Distrófico plíntico, textura média/média, A moderado, fase floresta ombrófila, relevo ondulado.

UNIDADE – PAd.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Interior da Fazenda Rosahmar, Município de Juruena-MT. Na parte inferior da microbacia 1, Coordenadas Geográficas 10°28'42,1" S e 58°28'02,1" WGr.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Perfil descrito e coletado em trincheira situada no terço médio inferior da encosta com declive de 10%, sob vegetação original.

ALTITUDE: 232 metros.

LITOLOGIA: Granitos e Gnaisses.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Complexo Xingu.

CRONOLOGIA: Pré-Cambriano

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produtos de decomposição das litologias supracitadas.

PEDREGOSIDADE: Não pedregoso.

ROCHOSIDADE: Não rochoso.

RELEVO LOCAL: Ondulado.

RELEVO REGIONAL: Suave ondulado e ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Imperfeitamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta Ombrófila.

USO ATUAL: Sistema Agroflorestal (local ainda não explorado).

CLIMA: Am, da classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR: João Paulo Novaes Filho.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0-16 cm, bruno-amarelado (10YR 5/4, úmida); franco-arenosa; fraca a moderada média granular; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e clara .
- BA 16-23 cm, amarelo (10YR 7/8, úmida); franco-argiloarenosa; fraca a moderada média granular; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e clara .
- B_t 23-50 cm, amarelo-brunado (10YR 6/8, úmida); franco-argiloarenosa; fraca pequena blocos subangulares; dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.
- B_{tf} 50-120 cm⁺, mosqueado abundante, médio a grande e proeminente, amarelo-brunado (10YR 6/8, úmida); franco-argiloarenosa; moderada média blocos subangulares; dura, firme, plástica e pegajosa.

Raízes: Comuns, fasciculadas, pequenas, poucas, pivotantes, médias nos horizontes A, BA e B_t; raras, secundárias, pequenas no horizonte B_{tf}.

TABELA 5B – Análises físicas e químicas do solo do perfil 05.

Análises Físicas e Químicas

Perfil: 05

Fazenda Rosahmar, Juruena-MT

Horizonte	Frações da amostra total g/kg			Composição granulométrica da terra fina g/kg					Grau de flocculação %	Relação Silte/Argila	Densidade g/cm ³		Porosidade cm ³ /100cm ³
	Símbolo	Profundidade cm	Calhaus > 20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia 2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila < 0,002 mm			Solo	Partículas	
A	0-16				747	88	165			0,5			
BA	16-23				664	88	248			0,4			
B _t	23-50				598	88	314			0,3			
B _{if}	50-120+				631	55	314			0,2			
Horizonte	pH (1:2,5)			Complexo Sortivo cmol _e /kg					Valor V (sat. por bases) %	$\frac{100 \cdot Al^{3+}}{S + Al^{3+}}$ %	P assimilável mg/kg		
	Água	KCl 1N	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S (soma)	Al ³⁺	H ⁺				Valor T	
A	4,5	3,9	0,5	0,13		0,6	0,8	4,9	6,3	10	56	1,7	
BA	4,6	4,0	0,4	0,23		0,6	0,7	4,2	5,5	11	53	1,2	
B _t	4,9	4,2	0,8	0,10		0,9	0,4	4,4	5,7	16	31	0,4	
B _{if}	5,2	4,7	0,3	0,26		0,6	0,2	3,9	4,7	12	26	0,1	
Horizonte	C (orgânico) g/kg	N g/kg	C/N	Ataque sulfúrico g/kg					Relações Moleculares			Fe ₂ O ₃ livre g/kg	Equivalente de CaCO ₃ g/kg
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SiO ₂ /Al ₂ O ₃ (Ki)	SiO ₂ /R ₂ O ₃ (Kr)		
A	10,9												
BA	6,1												
B _t	4,8												
B _{if}	2,5												

Relação textural: 1,77

APÊNDICE C

Perfil 1

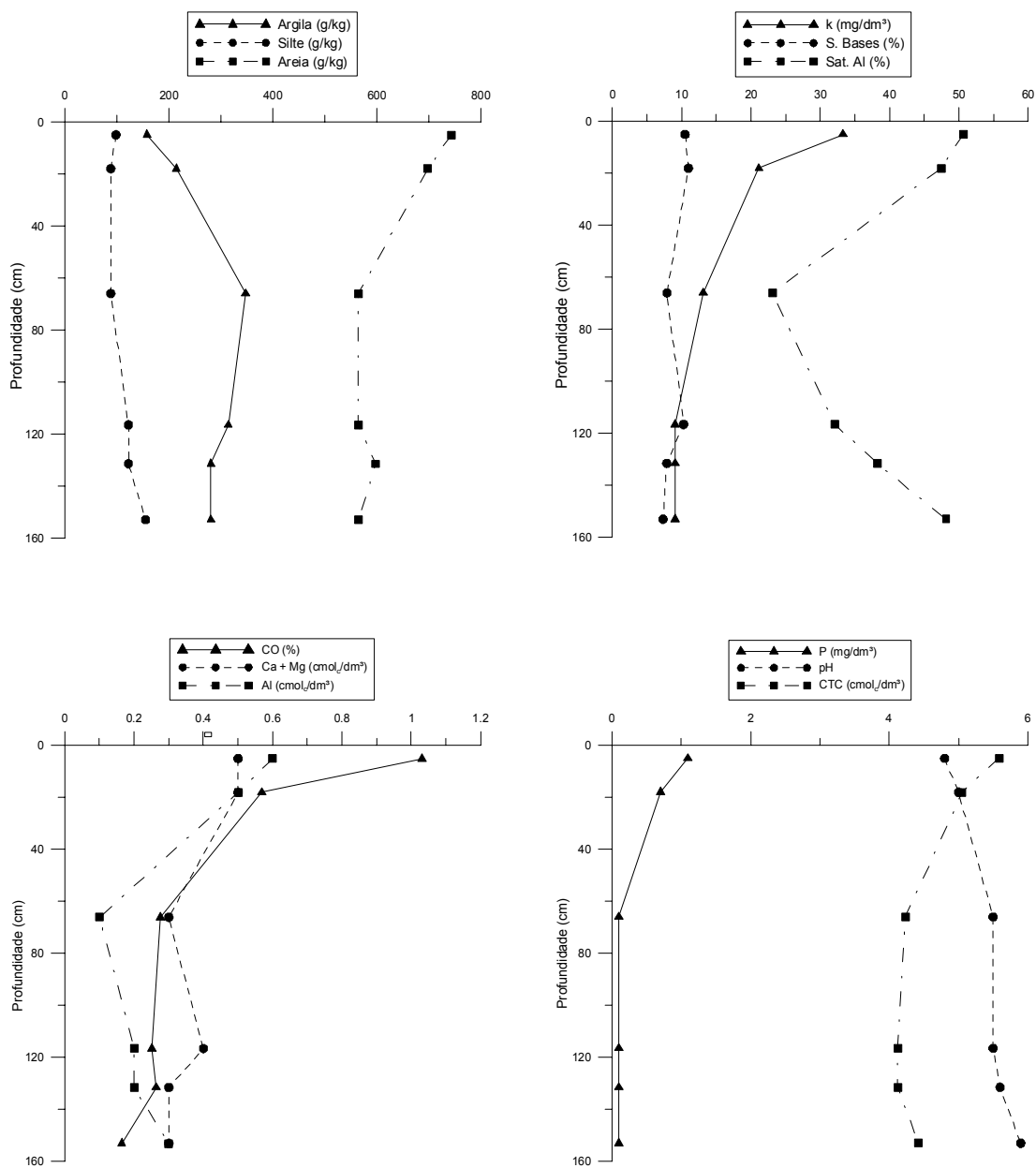


FIGURA 1C – Gráficos dos atributos de solo do perfil 01 (ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plúntico, textura média, A moderado, fase floresta ombrófila, relevo plano).

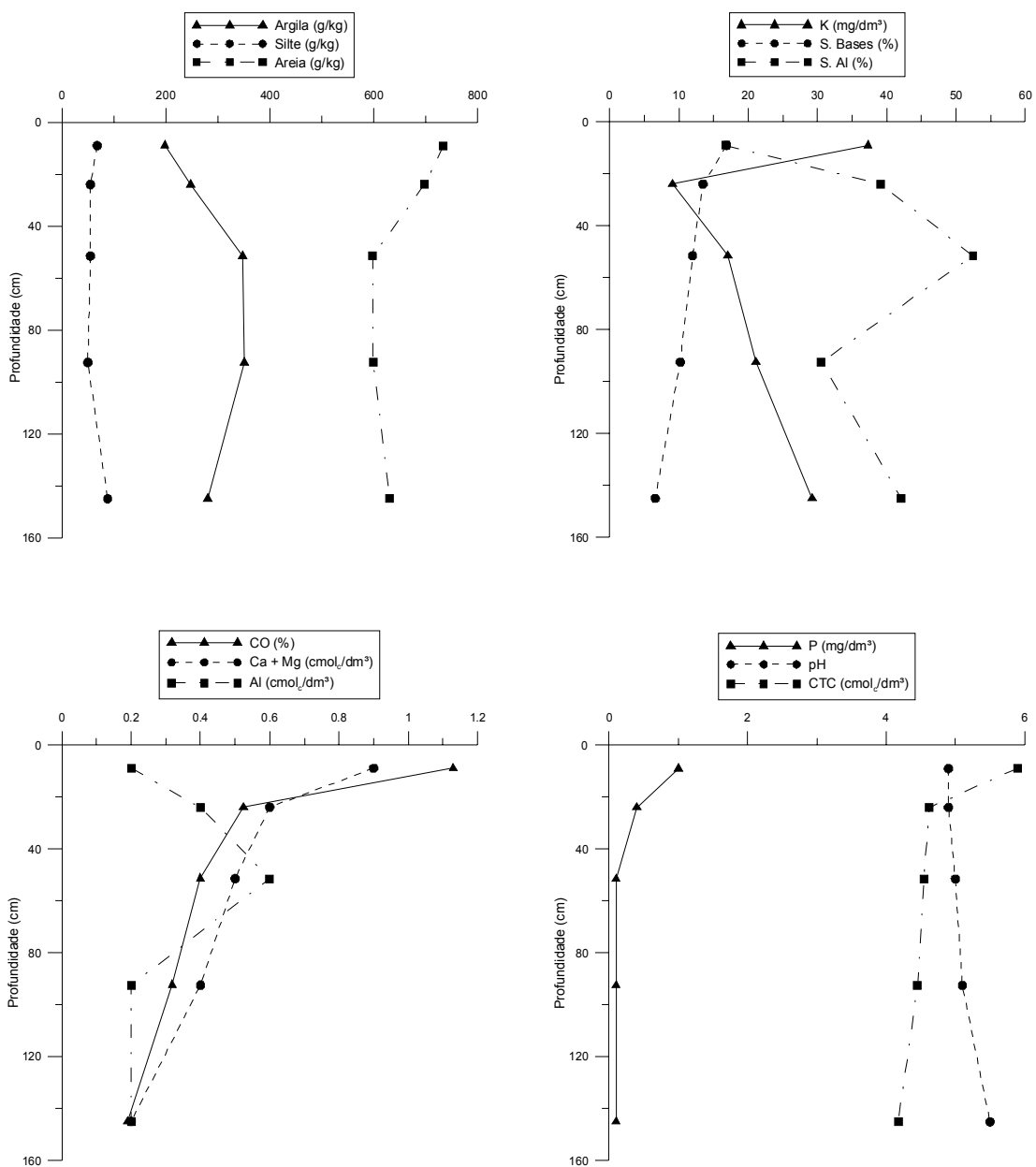
Perfil 2

FIGURA 2C – Gráficos dos atributos de solo do perfil 02 (LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico argissólico, textura média, A moderado, fase floresta ombrófila, relevo plano).

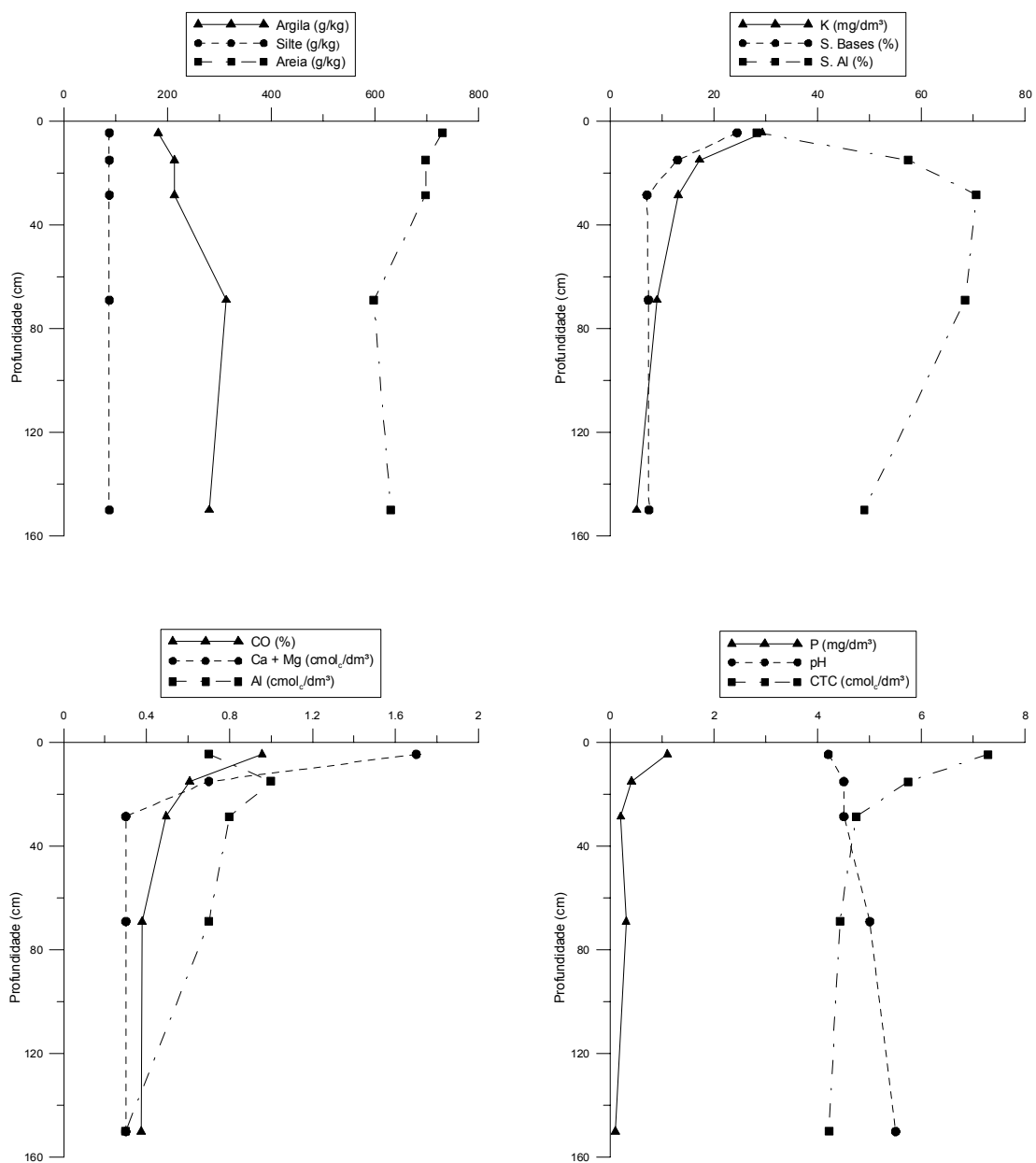
Perfil 3

FIGURA 3C – Gráficos dos atributos de solo do perfil 03 (LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, textura média, A moderado, fase floresta ombrófila, relevo plano).

Perfil 4

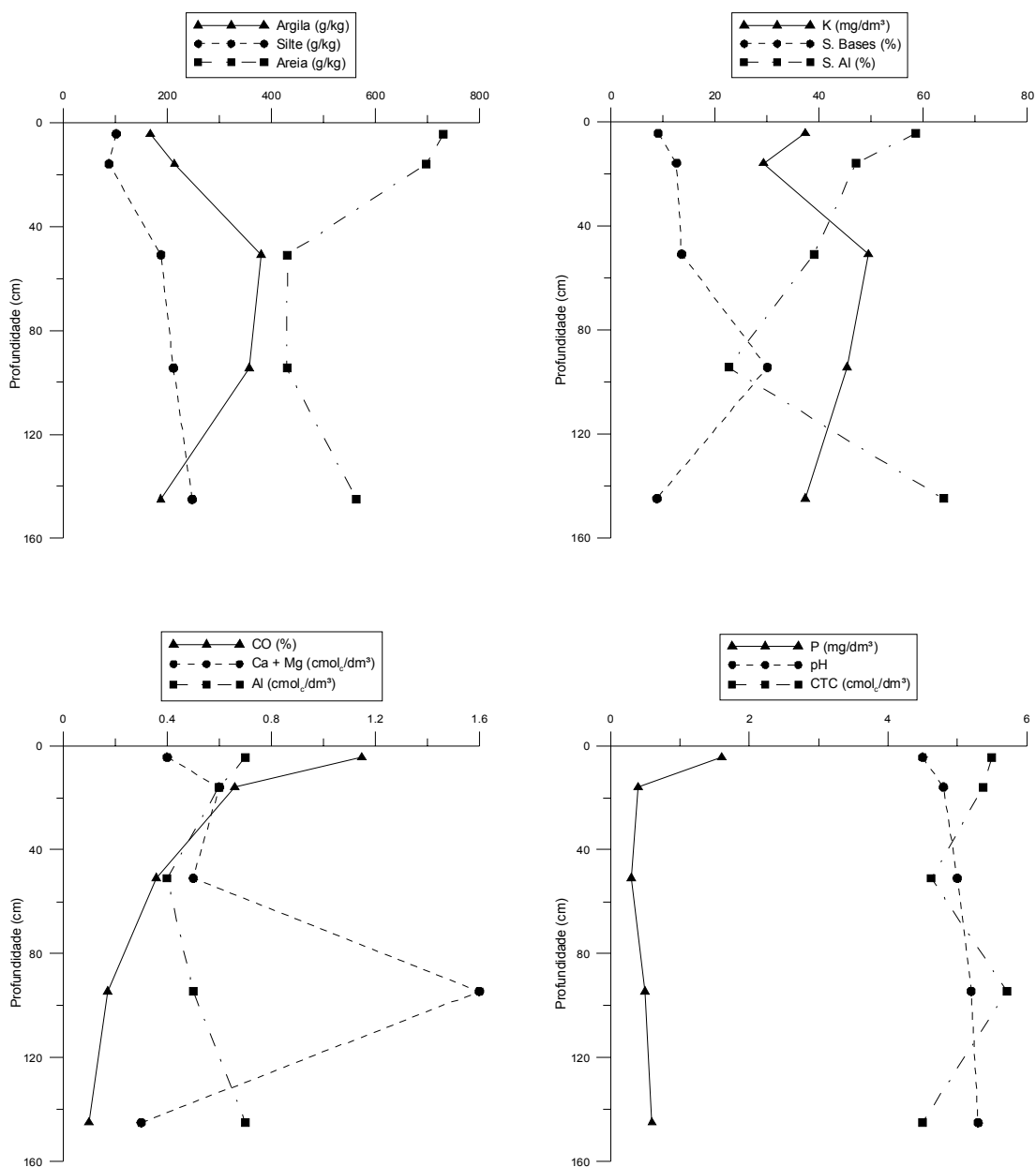


FIGURA 4C – Gráficos dos atributos de solo do perfil 04 (PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário Distrófico típico, textura média muito cascalhento/argilosa, A moderado, fase floresta ombrófila, relevo suave ondulado).

Perfil 5

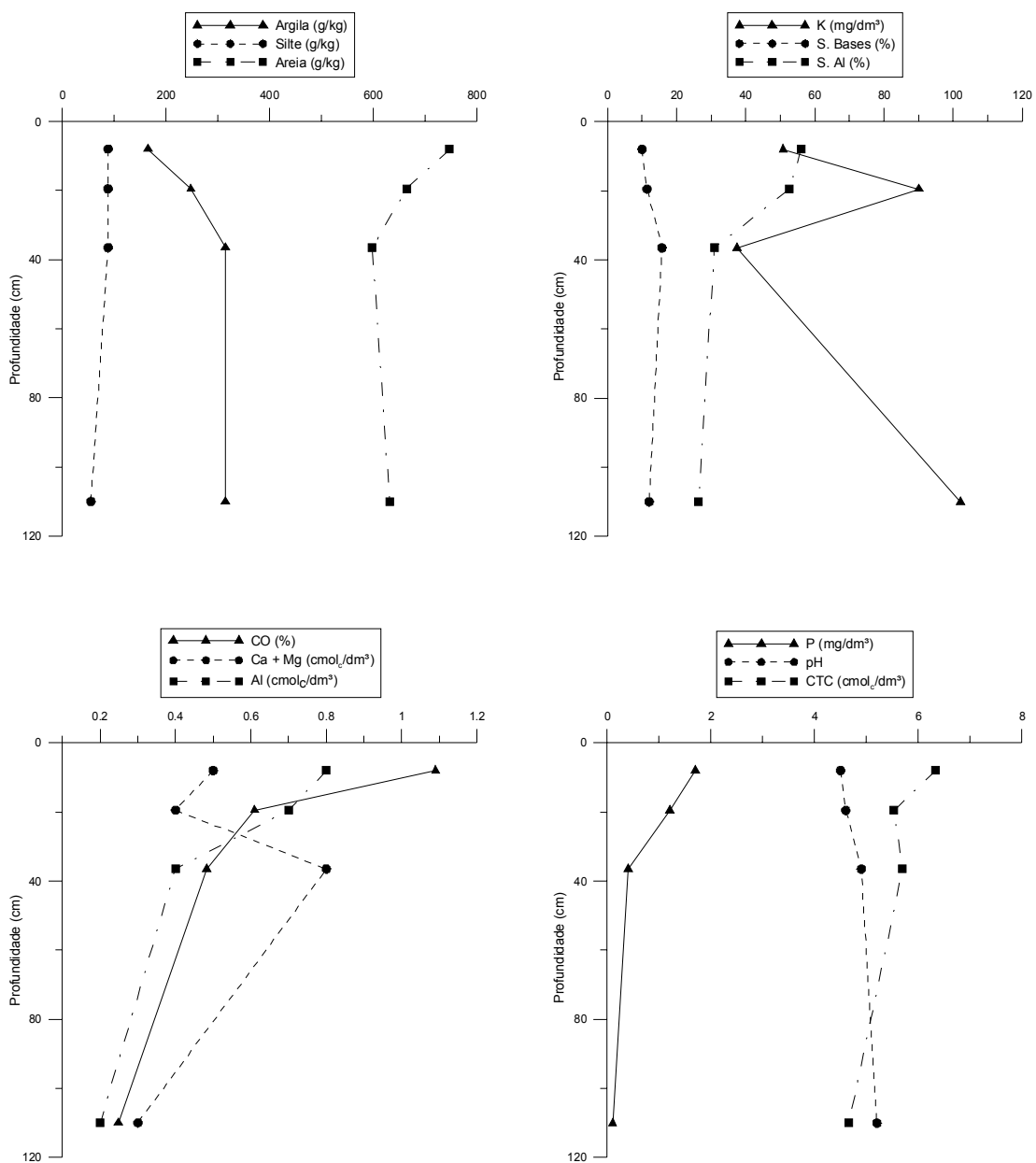


FIGURA 5C – Gráficos dos atributos de solo do perfil 05 (ARGISSOLO AMARELO Distrófico plântico, textura média/média, A moderado, fase floresta ombrófila, relevo ondulado).

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)