

WELLINGTON DONIZETE GUIMARÃES

**GEOESTATÍSTICA PARA O MAPEAMENTO DA VARIABILIDADE
ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2013

BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO DE CATALOGAÇÃO E
CLASSIFICAÇÃO
CDA CATALOGARCA

1000 008 0000
1000 008 0000

6105 1 40 1 28

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

T

G963g
2013

Guimarães, Wellington Donizete, 1973-

Geostatística para o mapeamento da variabilidade espacial de
atributos físicos do solo / Wellington Donizete Guimarães. –
Viçosa, MG, 2013.

x, 60f. : il. (algumas color.) ; 29cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Joel Gripp Junior

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Sistemas de informação geográfica. 2. Análise espacial
(Estatística). 3. Física do solo. 4. Agricultura de precisão.

I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil. II. Título.

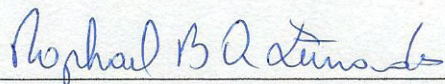
CDD 22. ed. 526

WELLINGTON DONIZETE GUIMARÃES

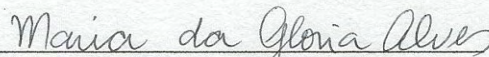
**GEOESTATÍSTICA PARA O MAPEAMENTO DA VARIABILIDADE
ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO**

Tese apresentada à Universidade Federal
de Viçosa, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil, para obtenção do título de *Doctor
Scientiae*.

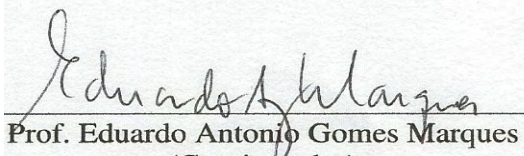
PROVADA: 31 de janeiro de 2013.



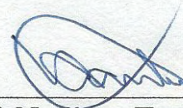
Prof. Raphael Bragança Alves Fernandes



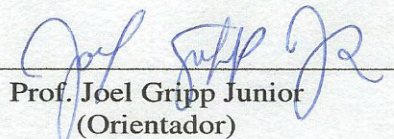
Prof^a Maria da Glória Alves



Prof. Eduardo Antonio Gomes Marques
(Coorientador)



Prof. Nerilson Terra Santos
(Coorientador)



Prof. Joel Gripp Junior
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, pela graduação em Engenharia de Agrimensura, mestrado em Ciências Florestais (Sensoriamento Remoto) e doutorado em Engenharia Civil (Informações Espaciais). Agradeço também a todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Civil e, em especial, ao Setor de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica.

Ao Ifes (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo), campus Vitória, pela liberação, conforme portarias 245/2009, 048/2011 e 004/2012, ao seu corpo docente e, em especial, aos professores Silvia Fernandes Rocha, Dejanyne de Paiva Zamprogno, Oscar Luiz Teixeira de Rezende, Carlos Alexandre Damasceno Ribeiro (in memoriam) e Adelson de Azevedo Moreira.

Ao professor Joel Gripp Junior, pela oportunidade, confiança, amizade e orientação tranquila e segura, desde os tempos de Iniciação Científica.

Ao professor Eduardo Marques pela orientação, incentivo, ensinamentos e amizade, que muito contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao professor Nerilson Terra Santos, pela confiança, disponibilidade, amizade e orientação, principalmente na parte relativa à Geoestatística.

Ao professor Gérson Rodrigues dos Santos (Departamento de Estatística da UFV) por suas inúmeras contribuições.

Às empresas TechGeo (Juiz de Fora-MG) e CPE Ltda (Belo Horizonte-MG).

À FEAM (Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais) e à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais) pelo apoio financeiro.

Ao projeto Plano de Segurança da Água e a Luana Caetano Rocha de Andrade

pela disponibilização de suas bases cartográficas.

Ao Laboratório de Física do Solo da UFV, aos servidores Cláudio Brustolini e Luiz Fernando, e especialmente ao professor Raphael Bragança Alves Fernandes (Departamento de Solos da UFV), por suas sugestões e contribuições.

Aos alunos de graduação e pós-graduação que auxiliaram nos trabalhos de campo ou laboratório: Brahmani, Renan, Marcone, Juliete, Bruno, Rodrigo Nogueira Sigolo, José Júnior, Josimar, Edilson José do Carmo, Paulo Ricardo Corrêa Caixeta, Silvia Fernandes Rocha, Felipe, Gabriel Diniz de Oliveira, Marília Sanglard Almeida.

Aos amigos e professores do programa de pós-graduação em Informações Espaciais: Antônio José Prata Amado da Silva; Leonardo Campos de Assis; Leila Freitas de Oliveira; Afonso Paula dos Santos, Inês Mário Nosoline, Graziela Ferreira Costa, Suelem Farias Pinto, Prof^a Nilcilene das Graças Medeiros, Prof. William Rodrigo Dal Poz, Prof. Moisés Ferreira Costa, Prof. Antônio Simões Silva, Prof. Dalto Domingos Rodrigues, pelo constante apoio, companheirismo, profissionalismo, dedicação e amizade.

Aos moradores da sub-bacia do córrego Palmital pelo apoio e permissão para coleta das amostras de solo: Sra. Nair, Sra. Neide, Adão, Sebastião, Fábio, Sra. Maria Aparecida, Gilmar Edilberto, Vicente, José Geraldo, entre outros.

Aos meus pais Dauro Divino Guimarães e Alicimar Machado Borges, ao meu irmão Wesley Henrique Guimarães e ao meu sobrinho Kayck Macedo M. Guimarães.

À minha querida esposa Tânia de Oliveira Noronha, que viabilizou os trabalhos árduos do laboratório de Física do Solo.

Aos meus sogros Gilson Barbosa Noronha e Leni de Oliveira Noronha, minha cunhada Luciana Noronha e sobrinha Jade Noronha Aquino.

Aos amigos Fabiana Noronha e Maurício pelos bons momentos.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
OBJETIVO GERAL.....	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
CAPÍTULO 1. VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DAS PRINCIPAIS CLASSES DE SOLO OCUPADAS POR PASTAGENS NA ZONA DA MATA DE MINAS GERAIS.....	3
RESUMO.....	3
ABSTRACT.....	4
1. INTRODUÇÃO.....	5
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	6
2.1. Localização e caracterização da área de estudo.....	6
2.2. Aplicativos computacionais.....	6
2.3. Base cartográfica.....	8
2.4. Amostras de solo.....	9
2.4.1. Seleção das áreas de estudo.....	9
2.4.2. Plano de amostragem.....	10

2.4.3. Amostragem.....	17
2.4.4. Caracterização das amostras de solo.....	18
2.5. Análise dos dados.....	18
2.5.1. Análise exploratória e estatísticas descritivas.....	18
2.5.2. Análise geoestatística.....	19
2.5.2.1. Modelagem dos semivariogramas empíricos.....	19
2.5.2.2. Krigagem.....	21
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
3.1. Análise exploratória e estatísticas descritivas.....	22
3.2. Análise geoestatística.....	24
3.2.1. Modelagem dos semivariogramas empíricos.....	24
3.2.2. Krigagem das variáveis.....	26
4. CONCLUSÕES.....	30
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31
6. APÊNDICE.....	35
CAPÍTULO 2. VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM LATOSSOLOS UTILIZADOS COM PASTAGEM E MATA.....	38
RESUMO.....	38
ABSTRACT.....	39
1. INTRODUÇÃO.....	40
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	41
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4. CONCLUSÕES.....	49
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
6. APÊNDICE.....	52
7. CONCLUSÕES GERAIS.....	54
8. APÊNDICE GERAL.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição das fases do relevo na microbacia do Córrego Palmital.....	6
Tabela 2 - Estatísticas descritivas dos dados.....	23
Tabela 3 - Estimativas dos parâmetros dos modelos dos semivariogramas ajustados....	25
Tabela 4 - Estatísticas descritivas dos dados.....	44
Tabela 5 - Estimativas dos parâmetros dos modelos dos semivariogramas ajustados....	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Imagem Ikonos e localização da microbacia do Córrego Palmital, município de Viçosa-MG.....	7
Figura 2 - Esquema do banco de dados geográficos utilizado no estudo.....	8
Figura 3 - Classes de solo da microbacia do Córrego Palmital.....	11
Figura 4 - Usos da terra da microbacia do Córrego Palmital.....	12
Figura 5 - Interseção entre usos da terra e classes de solo e localização das áreas de estudo escolhidas.....	13
Figura 6 - Plano de amostragem usado para coleta na área de estudo de Pastagem e Cambissolo.....	14
Figura 7 - Plano de amostragem usado para coleta na área de estudo de Pastagem e Argissolo.....	15
Figura 8 - Plano de amostragem usado para coleta na área de estudo de Pastagem e Latossolo.....	16
Figura 9 - Uso do sistema RTK para locação do plano de amostragem.....	17
Figura 10 - Plano de informação das amostras.....	18
Figura 11 - Krigagem das variáveis condutividade hidráulica em solo saturado (K_o) e densidade do solo (D_s).....	28
Figura 12 - Krigagem das variáveis microporosidade (M_i), macroporosidade (M_a) e porosidade total (P_t).....	29
Figura 13 - Modelos teóricos ajustados aos semivariogramas empíricos da variável condutividade hidráulica em solo saturado (K_o) para as áreas de Cambissolo, Argissolo	

e Latossolo ocupadas por pastagens.....	35
Figura 14 - Modelos teóricos ajustados aos semivariogramas empíricos da variável microporosidade (Mi) para as áreas de Cambissolo, Argissolo e Latossolo ocupadas por pastagens.....	35
Figura 15 - Modelos teóricos ajustados aos semivariogramas empíricos da variável macroporosidade (Ma) para as áreas de Cambissolo, Argissolo e Latossolo ocupadas por pastagens.....	36
Figura 16 - Modelos teóricos ajustados aos semivariogramas empíricos da variável porosidade total (Pt) para as áreas de Cambissolo, Argissolo e Latossolo ocupadas por pastagens.....	36
Figura 17- Modelos teóricos ajustados aos semivariogramas empíricos da variável densidade do solo (Ds) para as áreas de Cambissolo, Argissolo e Latossolo ocupadas por pastagens.....	37
Figura 18 - Krigagem das variáveis condutividade hidráulica em solo saturado (Ko) e densidade do solo (Ds).....	47
Figura 19 - Krigagem das variáveis microporosidade (Mi), macroporosidade (Ma) e porosidade total (Pt).....	48
Figura 20 - Modelos teóricos ajustados aos semivariogramas empíricos da variável condutividade hidráulica em solo saturado (Ko) para áreas de Latossolo ocupadas por mata secundária e pastagem, respectivamente.....	52
Figura 21 - Modelos teóricos ajustados aos semivariogramas empíricos da variável microporosidade (Mi) para áreas de Latossolo ocupadas por mata secundária e pastagem, respectivamente.....	52
Figura 22 - Modelos teóricos ajustados aos semivariogramas empíricos da variável macroporosidade (Ma) para áreas de Latossolo ocupadas por mata secundária e pastagem, respectivamente.....	52
Figura 23 - Modelos teóricos ajustados aos semivariogramas empíricos da variável porosidade total (Pt) para áreas de Latossolo ocupadas por mata secundária e pastagem, respectivamente.....	53
Figura 24 - Modelos teóricos ajustados aos semivariogramas empíricos da variável densidade do solo (Ds) para áreas de Latossolo ocupadas por mata secundária e pastagem, respectivamente.....	53

RESUMO

GUIMARÃES, Wellington Donizete, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, janeiro de 2013. **Geoestatística para o mapeamento da variabilidade espacial de atributos físicos do solo**. Orientador: Joel Gripp Junior. Coorientadores: Eduardo Antonio Gomes Marques e Nerilson Terra Santos.

O objetivo geral desse trabalho foi mapear a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo condutividade hidráulica em solo saturado, densidade do solo, microporosidade, macroporosidade e porosidade total, e sua relação com usos da terra e classes de solo. Foram avaliadas quatro áreas de estudo, três delas ocupadas por pastagens e solos das classes Latossolo, Argissolo e Cambissolo, e uma de mata secundária e Latossolo. Em cada área de estudo foram coletadas 154 amostras georreferenciadas. Para analisar os dados foi usada a estatística descritiva e a geoestatística. Em relação ao padrão da variabilidade espacial dos atributos físicos do solo para áreas de Latossolo, Argissolo e Cambissolo ocupadas por pastagens, concluiu-se que: o padrão da dependência espacial não se manteve constante e por consequência as classes de solo influenciaram a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo analisados; a média não foi suficiente para representar a distribuição espacial das variáveis analisadas; a malha de amostragem usada foi adequada, pois permitiu captar a dependência espacial da maioria das variáveis analisadas. Em relação ao padrão da variabilidade espacial de atributos físicos do solo para áreas de Latossolo ocupadas por pastagem e mata secundária, concluiu-se que: o padrão da dependência espacial variou conforme o uso da terra; a média não foi suficiente para representar as superfícies interpoladas; a malha de amostragem usada no estudo foi adequada, pois foi possível detectar a dependência espacial em todos os casos analisados.

ABSTRACT

GUIMARÃES, Wellington Donizete, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, January, 2013. **Geostatistics for the spatial variability of soil physical attributes mapping.** Adviser: Joel Gripp Junior. Co-advisers: Eduardo Antonio Gomes Marques and Nerilson Terra Santos.

The general aim of this paper was to map the spatial variability of the soil physical attributes, soil hydraulic conductivity in saturated soil, soil density, micro porosity, macro porosity as well as total porosity, and its relationship with the land usage and soil classes. Four study areas were evaluated; three of them occupied by pastures and soils from the classes Latosol, Argisol and Cambisol, as well as a secondary forest and Latosol. In each study area, one hundred and fifty four georeferenced samples were collected. In order to analyze the data descriptive statistics and geostatistics were used. Regarding the spatial variability pattern of the soil physical attributes for the areas of Latosol, Argisol and Cambisol occupied by pastures, one concluded that: the pattern of spatial dependence was not kept steady and consequently the soil classes influenced the spatial variability of the physical attributes in the analyzed soil; the average was not enough to represent the spatial distribution of the analyzed variables; the used sample mesh was adequate, for it allowed to capture the spatial dependence in most of the analyzed variables. Regarding the pattern of the spatial variability of the soil physical attributes for the areas of Latosol occupied by pasture and secondary forest, one concluded that: the pattern of spatial dependence varied according to the usage of the land; the average was not enough to represent the interpolated surfaces; the sample mesh used in the study was adequate, for it was possible to detect the spatial dependence in all the analyzed cases.

INTRODUÇÃO GERAL

Um dos requisitos para a melhor gestão ambiental do solo é o conhecimento das variáveis que caracterizam esse recurso natural, e em particular de seus atributos físicos. As vantagens do domínio dessas informações envolvem várias aplicações relacionadas com a produtividade de culturas, modelos de recarga de aquífero, modelos de conservação do solo, zoneamento ambiental, assoreamento de cursos d'água, compactação do solo e definição de zonas de manejo, entre outros.

Uma abordagem usada para descrever mais adequadamente essas variáveis consiste em incorporar sua componente espacial. Para tanto, adota-se um conjunto de pontos de coordenadas conhecidas, nos quais as atributos de interesse são avaliadas. A partir deles são produzidas superfícies que representam a distribuição espacial das respostas de certas variáveis, o que pode revelar a existência de padrões que darão suporte ao tomador de decisão na gestão do uso e manejo dos solos.

Diversos métodos estão disponíveis para se obter esse tipo de produto. Entretanto, quando a hipótese da dependência espacial é verificada, a Geoestatística é a técnica mais adequada.

Diante do exposto, foram conduzidos experimentos em áreas da microbacia do Córrego Palmital, no município de Viçosa-MG. As características da microbacia, tanto em relação ao uso da terra quanto às classes de solo existentes, a tornam representativa de uma grande extensão territorial da Zona da Mata Mineira. Consequentemente, conhecer a variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes usos da terra e classes de solo pode ser uma contribuição importante na definição de planos de amostragem realizados em outros locais semelhantes. Outro aspecto interessante a ser obtido a partir deste estudo está relacionado à redução do custo de amostragem, uma vez que o número de amostras pode ser reduzido, bem como o tempo dedicado às atividades de campo e de laboratório.

OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desse trabalho foi avaliar, por meio da Geoestatística, a influência de usos da terra e classes de solo sobre a variabilidade espacial de atributos físicos do solo - condutividade hidráulica em solo saturado, densidade do solo, microporosidade, macroporosidade e porosidade total, em uma microbacia representativa da Zona da Mata de Minas Gerais.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos foram estabelecidos:

- Planejar e locar malhas de pontos para coleta de amostras de solo.
- Avaliar a dependência espacial e mapear a variabilidade espacial da condutividade hidráulica em solo saturado, densidade do solo, microporosidade, macroporosidade e porosidade total para diferentes usos da terra e classes de solo.
- Verificar a influência da combinação entre uso e classe de solo sobre o modelo de variabilidade espacial dos atributos físicos avaliados.

CAPÍTULO 1. VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DAS PRINCIPAIS CLASSES DE SOLO OCUPADAS POR PASTAGENS NA ZONA DA MATA DE MINAS GERAIS

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi avaliar a variabilidade espacial das seguintes atributos físicas do solo: condutividade hidráulica de solo saturado, microporosidade, macroporosidade, porosidade total e densidade do solo para áreas de Latossolo, Argissolo e Cambissolo ocupadas por um mesmo uso da terra (pastagens). Foram coletadas 154 amostras georreferenciadas para cada área de estudo, usando uma malha regular com espaçamento de 10 x 10 m (100 pontos), adensada por uma segunda malha regular com espaçamento de 2,5 x 2,5 m (24 pontos), e uma terceira com 30 pontos distribuídos aleatoriamente. Para analisar os dados foi usada a estatística descritiva e a geoestatística. Os resultados da estatística descritiva e o fato do padrão da dependência espacial não ter se mantido constante indica que as classes de solo influenciaram a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo analisadas e que a média não é suficiente para representar a distribuição espacial das variáveis analisadas. A malha de amostragem usada foi adequada, pois permitiu captar a dependência espacial da maioria das variáveis analisadas.

Termos de indexação: uso da terra, física do solo, geoestatística.

ABSTRACT

The aim of this paper was to evaluate the spatial variability of the physical attributes of the soil, hydraulic conductivity of the saturated soil, microporosity, macroporosity, total porosity and soil density for areas of Latosol, Argisol and Cambisol occupied by pastures. One hundred and fifty four georeferenced samples were collected for each area of study, using a regular grid with 10 x 10 m (100 points) spacing, thickened by a second grid with 2.5 x 2.5 m (24 points) spacing, and a third one with 30 points randomly distributed. In order to analyze the data, descriptive statistics and geostatistics were used. The results from the descriptive statistics and the fact that the spatial dependence pattern was not kept steady indicates that the soil classes influenced the spatial variability of the analyzed soil physical attributes and that the average is not enough to represent the spatial distribution for the analyzed variable. The sample mesh that was used was adequate, for it allowed to capture the spatial dependence of most analyzed variables.

Index terms: land usage, geostatistics, soil physics.

1. INTRODUÇÃO

O mapeamento da variabilidade espacial de atributos do solo é uma preocupação antiga (VIEIRA, 2000), sendo disponíveis na literatura diversos estudos que abordam esse problema sob diferentes aspectos.

Uma das formas de se caracterizar o solo é por meio de seus atributos químicos e físicos, que apresentam inúmeras aplicações e são estudadas com diferentes abordagens e ênfases, tais como a avaliação do efeito da curvatura do terreno sobre a variabilidade espacial de atributos físicos (CAMARGO *et al.*, 2010), variabilidade espacial e planejamento de planos de amostragem (ZANÃO JÚNIOR *et al.*, 2010), relação entre atributos físicos do solo e produtividade de culturas (CHIODEROLI *et al.*, 2012; RODRIGUES *et al.*, 2012), estudos sobre perda de solo em bacias hidrográficas (SILVA *et al.*, 2008), definição de zonas de manejo, agricultura de precisão (COELHO, 2005), estudos de compactação do solo, entre outras.

Em todas essas situações, um dos requisitos é a descrição da variabilidade espacial do atributo de interesse, e seu conhecimento é de fundamental importância a todos aqueles que utilizam a terra para fins agrícolas ou de engenharia (OLIVEIRA, 2008), sendo que sua compreensão pode subsidiar a tomada de decisões (CÂMARA *et al.*, 2004).

Uma abordagem adequada para o mapeamento da variabilidade espacial de atributos do solo é a Geoestatística (VIEIRA, 2000; GUIMARÃES, 1998), mais especificamente, por meio da krigagem e da co-krigagem, que são métodos de interpolação cujas principais características são a ausência de viés e apresentarem variância mínima (VIEIRA, 2000).

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi estudar o padrão da variabilidade espacial dos atributos físicos do solo: condutividade hidráulica em solo saturado, microporosidade, macroporosidade, porosidade total e densidade do solo para áreas de Latossolo, Argissolo e Cambissolo ocupadas por pastagens em uma microbacia representativa da Zona da Mata de Minas Gerais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e caracterização da área de estudo

A área escolhida para realização do estudo foi a microbacia do córrego Palmital, localizada no município de Viçosa, Zona da Mata do Estado de Minas Gerais. A microbacia faz parte do médio curso da bacia do rio Turvo Sujo (FERNANDES, 1996) e abrange nascentes importantes do ribeirão São Bartolomeu, principal fonte de abastecimento do município de Viçosa-MG (ANDRADE, 2010).

A microbacia possui uma área de, aproximadamente, 127,6056 hectares, localizando-se entre os meridianos de 42° 50' 37" W e 42° 51' 21" W, e entre os paralelos de 20° 48' 35" S e 20° 49' 26" S (Figura 1). O clima da área é enquadrado no tipo CWa, caracterizado por inverno seco e verão chuvoso, conforme classificação de Köppen (FERNANDES *et al.*, 2007).

Segundo registros da Estação Meteorológica de Viçosa para os anos de 1998 a 2007, os valores médios anuais de temperatura, precipitação total anual e umidade relativa do ar foram de 20,1°C, 1.284 mm e 81 %, respectivamente.

O relevo da microbacia possui altitudes que variam de 725 até 855 m, totalizando uma amplitude de 130 m. Sua declividade encontra-se resumida na Tabela 1, de acordo com a classificação adotada em Resende *et al.* (2002).

Tabela 1 - Distribuição das fases do relevo na microbacia do Córrego Palmital

Fases	Declividade (%)	Área (ha)	Área (%)
Plana	0 - 3	2,3673	1,85
Suave ondulada	3 - 8	15,9613	12,51
Ondulada	8 - 20	35,4444	27,78
Forte-ondulada	20 - 45	52,6621	41,27
Montanhosa	45 - 75	19,8452	15,55
Escarpada	> 75	1,3259	1,04
Total		127,6062	100,00

2.2. Aplicativos computacionais

Os procedimentos relativos à seleção das áreas de estudo, elaboração dos planos de amostragem, produção dos mapas e análises estatísticas e geoestatísticas foram realizados com o *software* de SIG ArcGIS Desktop versão ArcInfo 10 (ESRI, 2004) e seu módulo de geoestatística *Geostatistical Analyst* (ESRI, 2004a).

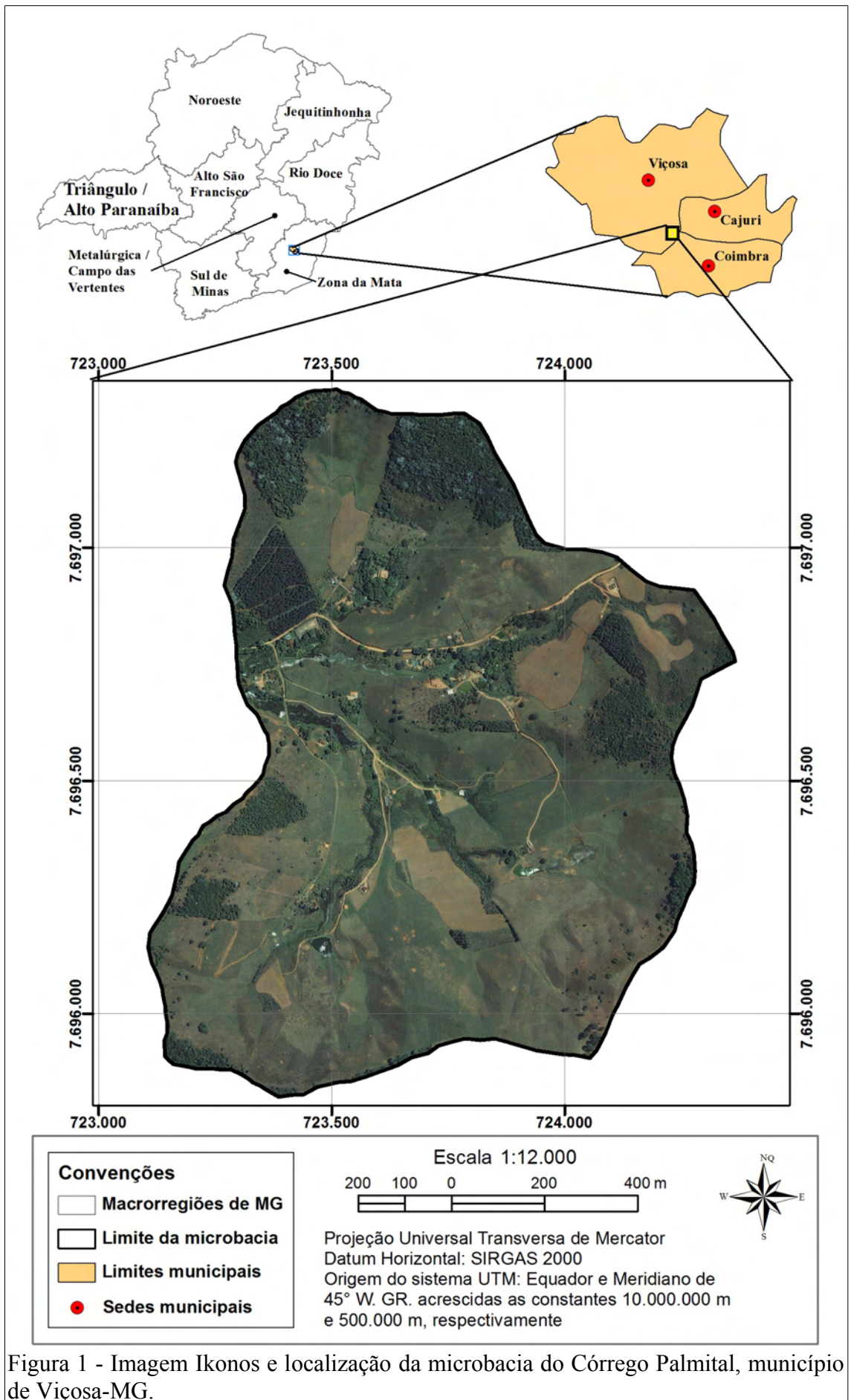


Figura 1 - Imagem Ikonos e localização da microbacia do Córrego Palmital, município de Viçosa-MG.

2.3. Base cartográfica

A base cartográfica usada inicialmente para execução desse trabalho constou dos planos de informação listados abaixo.

a) Base elaborada por Andrade (2010):

- Limites da microbacia hidrográfica do Córrego Palmital;
- Classes do solo (Figura 3), provenientes de mapeamento na escala 1:5.000;
- Uso da terra (Figura 4);

b) Base disponibilizada pelo Plano de Segurança da Água (PSA), executado no Departamento de Engenharia Civil da UFV:

- Curvas de nível com equidistância vertical de 5 m;
- Rede hidrográfica;
- Rede viária;
- Imagem ortorretificada.

Todos esses planos de informação estão detalhados no esquema de banco de dados geográficos (Figura 2), conforme notação UML-Geoframe proposta por Lisboa Filho (1999).

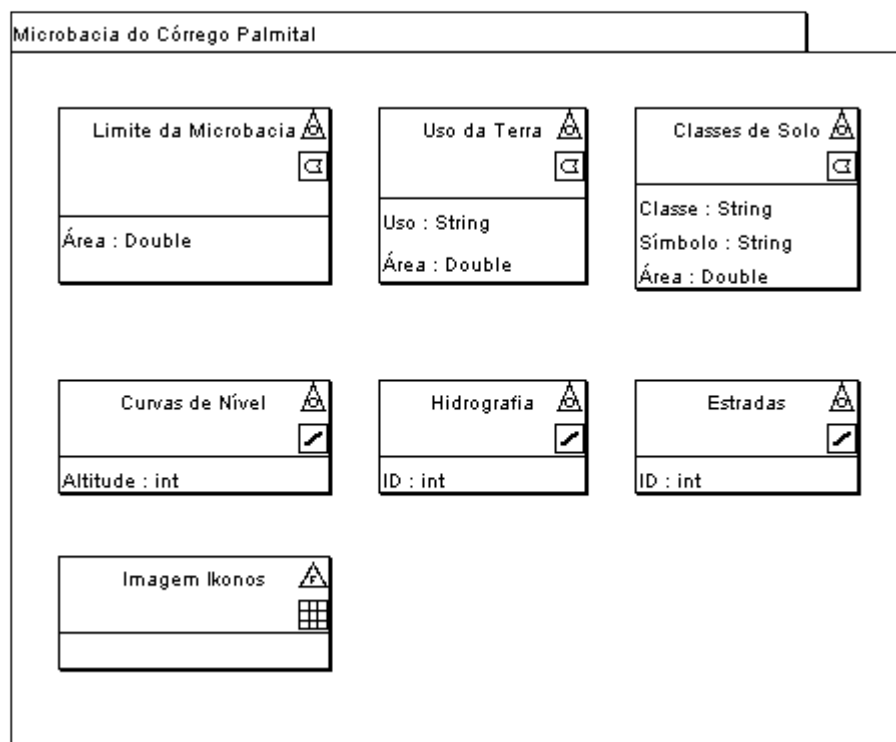


Figura 2 - Esquema do banco de dados geográficos utilizado no estudo.

Esses planos de informação estavam referenciados ao datum SAD 69 Técnica Doppler ou GPS. No entanto, conforme estabelecido pelo IBGE (BRASIL, 2005), desde

25 de fevereiro de 2005 o SIRGAS2000 foi adotado como sistema de referência geodésico do Brasil. Embora esse decreto permita a coexistência entre os dois data até 2014, a recomendação é usar SIRGAS2000. Além disso, o SIRGAS2000 é equivalente ao WGS84 (usado pelo GNSS¹), o que facilita os procedimentos necessários à locação das amostras. Conseqüentemente, optou-se por converter os dados para SIRGAS2000, conforme descrito em Guimarães & Gripp Jr. (2010). O sistema de projeção adotado foi o UTM.

2.4. Amostras de solo

O planejamento, coleta e caracterização das amostras de solo envolveram as etapas descritas a seguir.

2.4.1. Seleção das áreas de estudo

A prospecção inicial das áreas de estudo foi feita a partir da combinação (interseção) dos planos de informação de classes do solo (Figura 3) e usos da terra (Figura 4) da microbacia.

Os usos da terra presentes eram café (2,3 %), cana (0,2 %), eucalipto (6,0 %), feijão (0,9 %), lago (0,8 %), mata secundária (17,8 %), milho (5,0 %), pastagem (62,1 %), pomar (0,5 %), benfeitorias (2,8 %) e taboal (1,6 %). Desses, optou-se por trabalhar com áreas de pastagem em razão de ocuparem a maior parte da microbacia, o que também é o padrão para a Zona da Mata Mineira, pois 58,4 % de sua área é ocupada por pastagens, segundo o Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2012).

Os solos da área foram classificados por Andrade (2010) em:

- ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico latossólico, textura argilosa/muito argilosa, A moderado, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo ondulado;
- ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, textura argilosa, A moderado, álico, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo plano e suave ondulado;
- CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico latossólico, textura argilosa, A moderado, álico, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo forte ondulado e montanhoso;
- LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, textura muito

¹ Acrônimo para *Global Navigation Satellite System* (Sistemas Globais de Navegação por Satélite). Exemplos: GPS (Estados Unidos); Galileo (Europa); GLONASS (Rússia); e COMPASS (China).

argilosa, A moderado, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo forte ondulado e montanhoso;

- LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, textura muito argilosa, A moderado, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo ondulado;
- LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, textura muito argilosa, A moderado, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo suave ondulado e ondulado (topo de elevação).

Cabe salientar que as condições de relevo descritas para essas classes de solo são de caráter geral, para a microbacia como um todo. Entretanto, pode ocorrer que alguma delas, como as de Argissolo ou Latossolo, descritas como sendo de relevo ondulado, forte ondulado ou montanhoso também seja encontradas em áreas mais planas.

Essas classes de solo foram agrupadas em três grupos, segundo a classificação no primeiro nível categórico: Argissolo (25,9 %); Cambissolo (17,9 %); e Latossolo (56,2 %).

Após a interseção dos planos de informação de usos da terra e classes de solo (Figura 5) foram identificadas diversas áreas pertencentes a alguma das combinações de interesse (Pastagem e Cambissolo, Pastagem e Argissolo e Pastagem e Latossolo). A partir dessa classificação, três áreas de estudo dentro da microbacia foram escolhidas com base no plano de amostragem conforme descrito a seguir.

2.4.2. Plano de amostragem

Foi definido que cada área de estudo deveria ser constituída por 154 pontos amostrais distribuídos da seguinte forma: a) uma malha retangular com 100 pontos espaçados de 10 x 10 m; b) uma segunda malha interna à primeira, com 24 pontos e espaçamento de 2,5 x 2,5 m, cuja finalidade foi minimizar o efeito pepita; c) 30 pontos lançados de forma aleatória para adensar as duas malhas regulares. O número de pontos usados para a amostragem varia muito entre os diversos trabalhos disponíveis na literatura, podendo-se citar Alves *et al.* (2011), Santos *et al.* (2012a), Santos *et al.* (2012b) e Oliveira Junior *et al.* (2011), que usaram 28, 36, 126 e 135 pontos, respectivamente.

Assim, dentro da microbacia, cada área que comportava esse plano de amostragem foi analisada e foram escolhidas as três áreas de acesso mais fácil e que permitiram lançar a malha de amostragem principal mais afastada das bordas das classes de solo (Figuras 5, 6, 7 e 8).

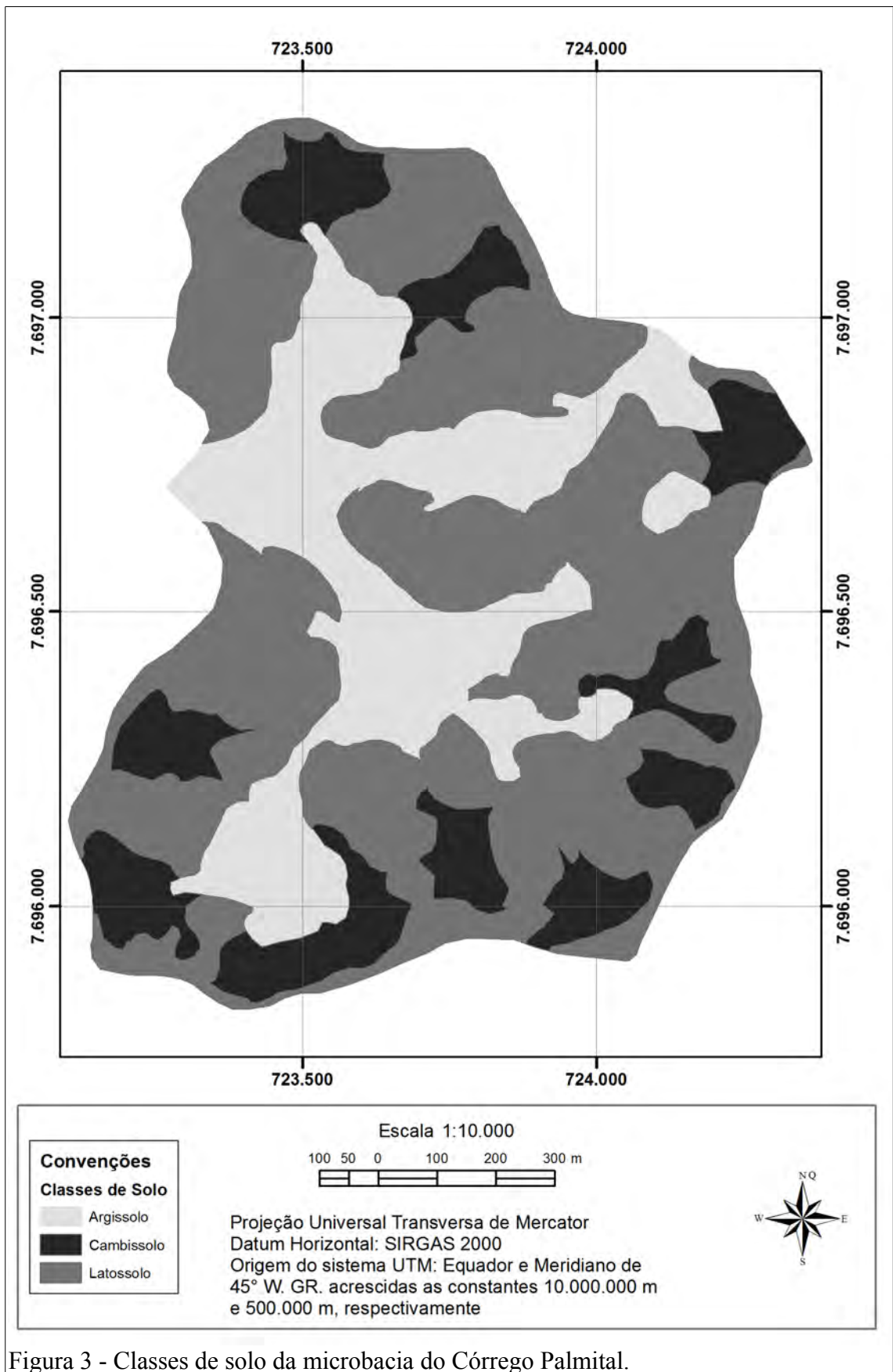


Figura 3 - Classes de solo da microbacia do Córrego Palmital.

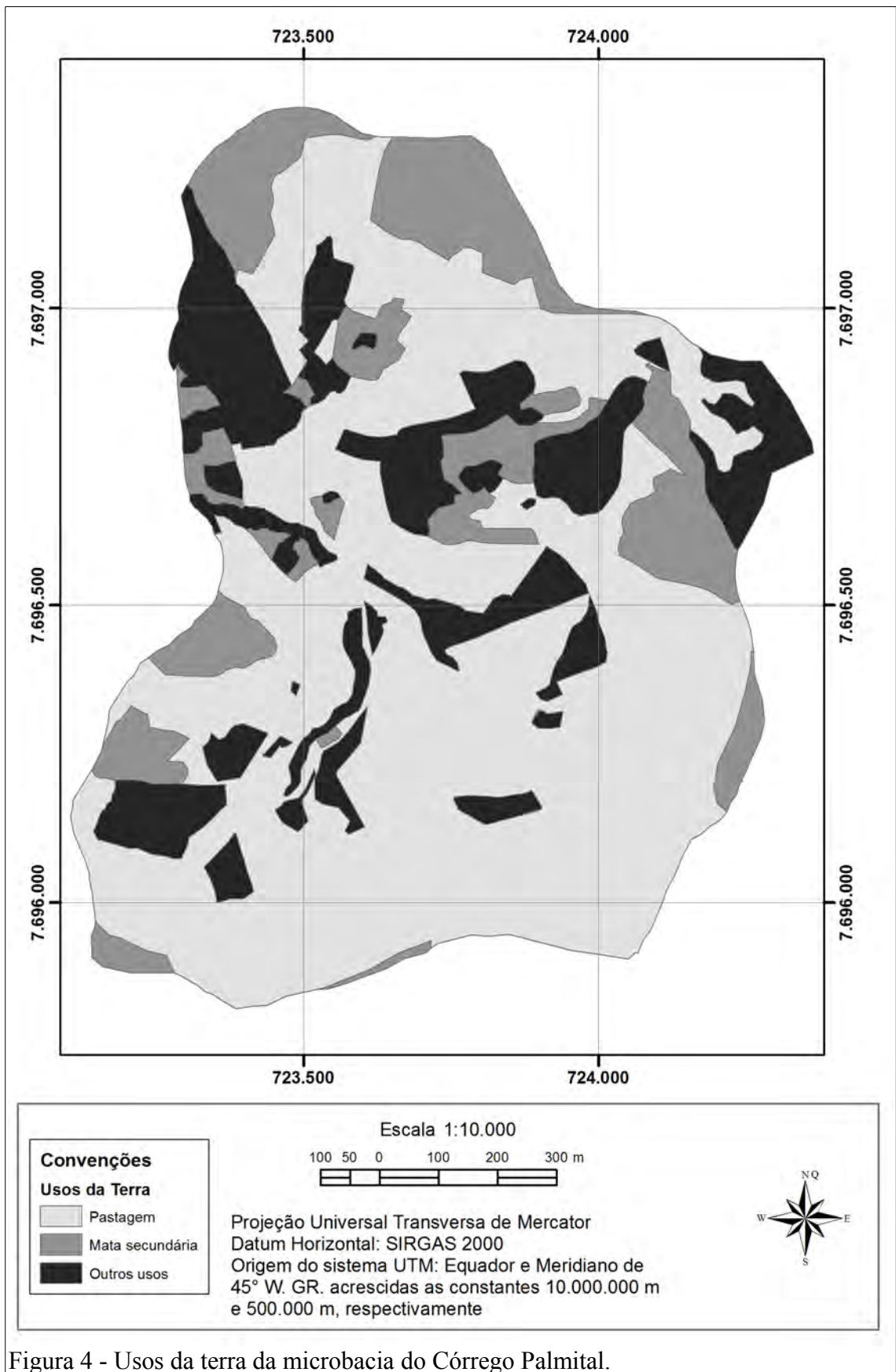


Figura 4 - Usos da terra da microbasin do Córrego Palmital.

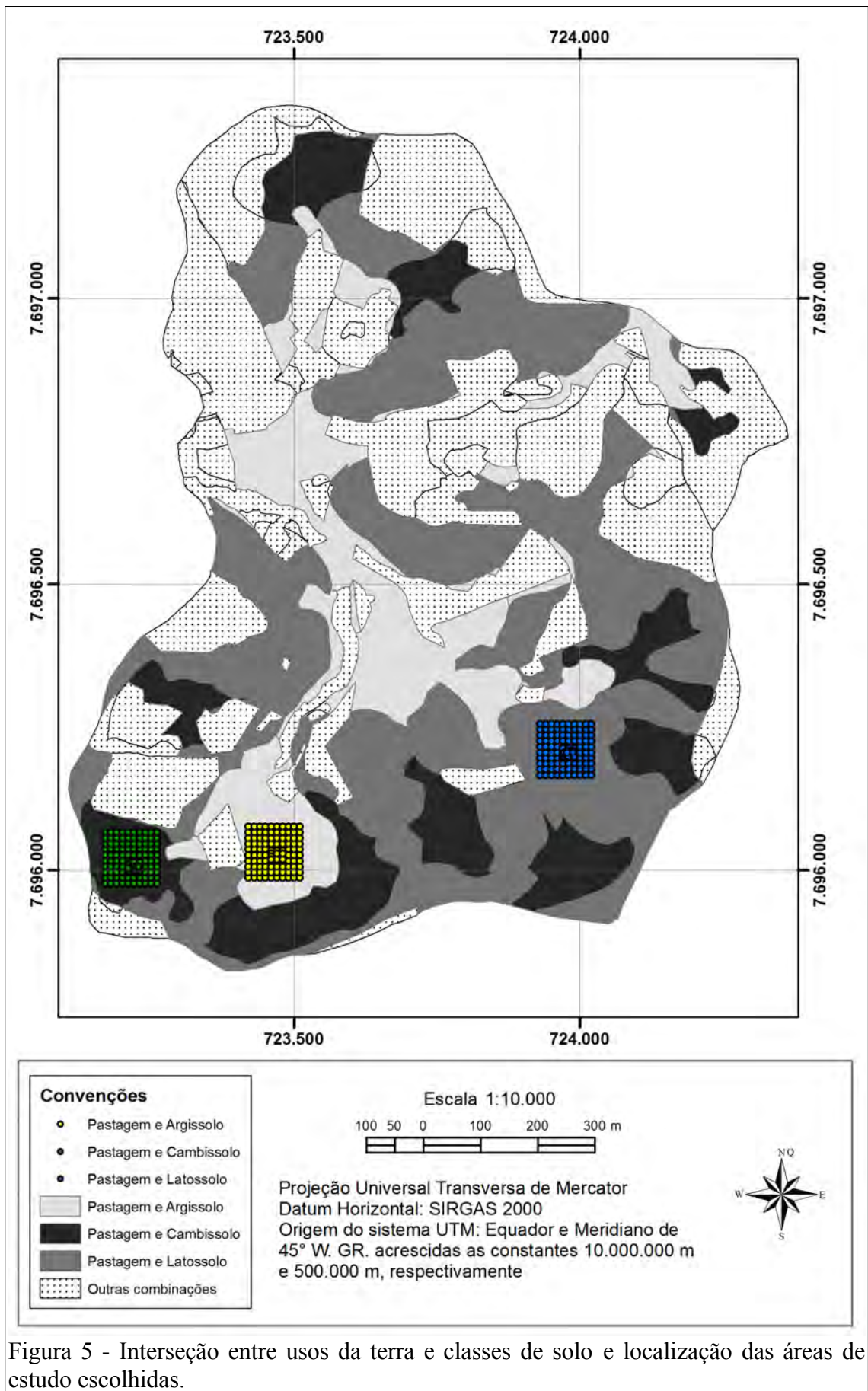


Figura 5 - Interseção entre usos da terra e classes de solo e localização das áreas de estudo escolhidas.

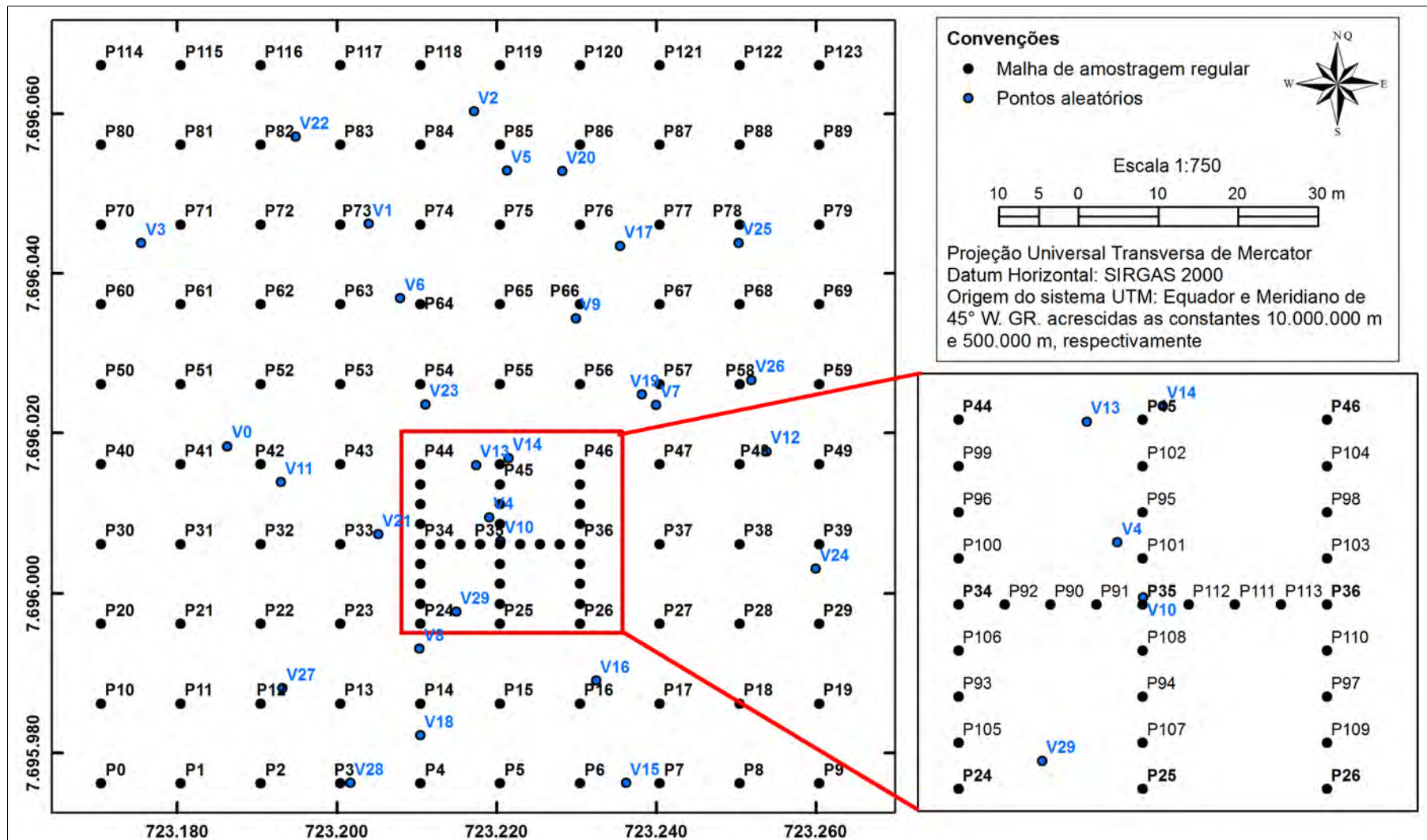


Figura 6 - Plano de amostragem usado para coleta na área de estudo de Pastagem e Cambissolo.

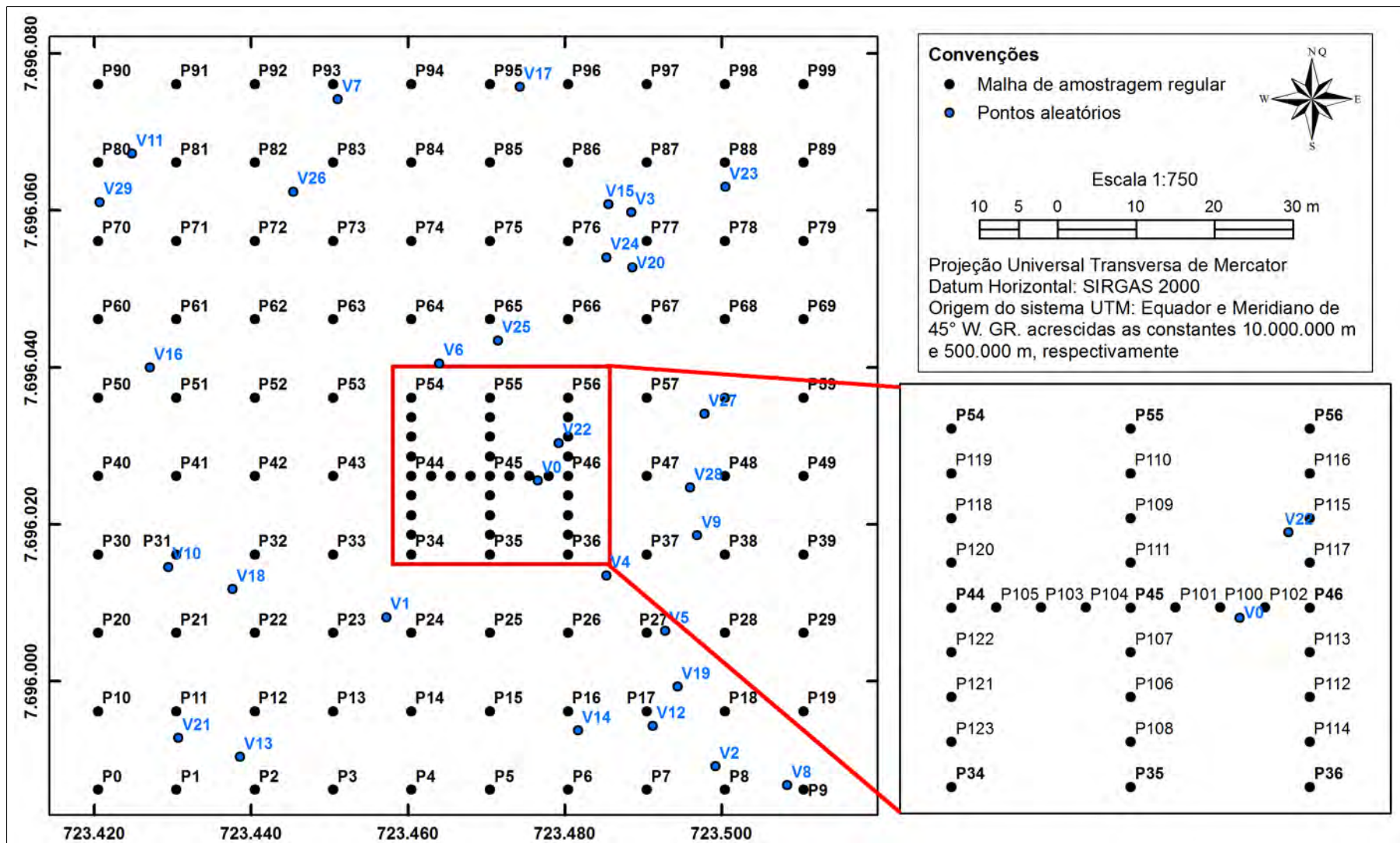


Figura 7 - Plano de amostragem usado para coleta na área de estudo de Pastagem e Argissolo.

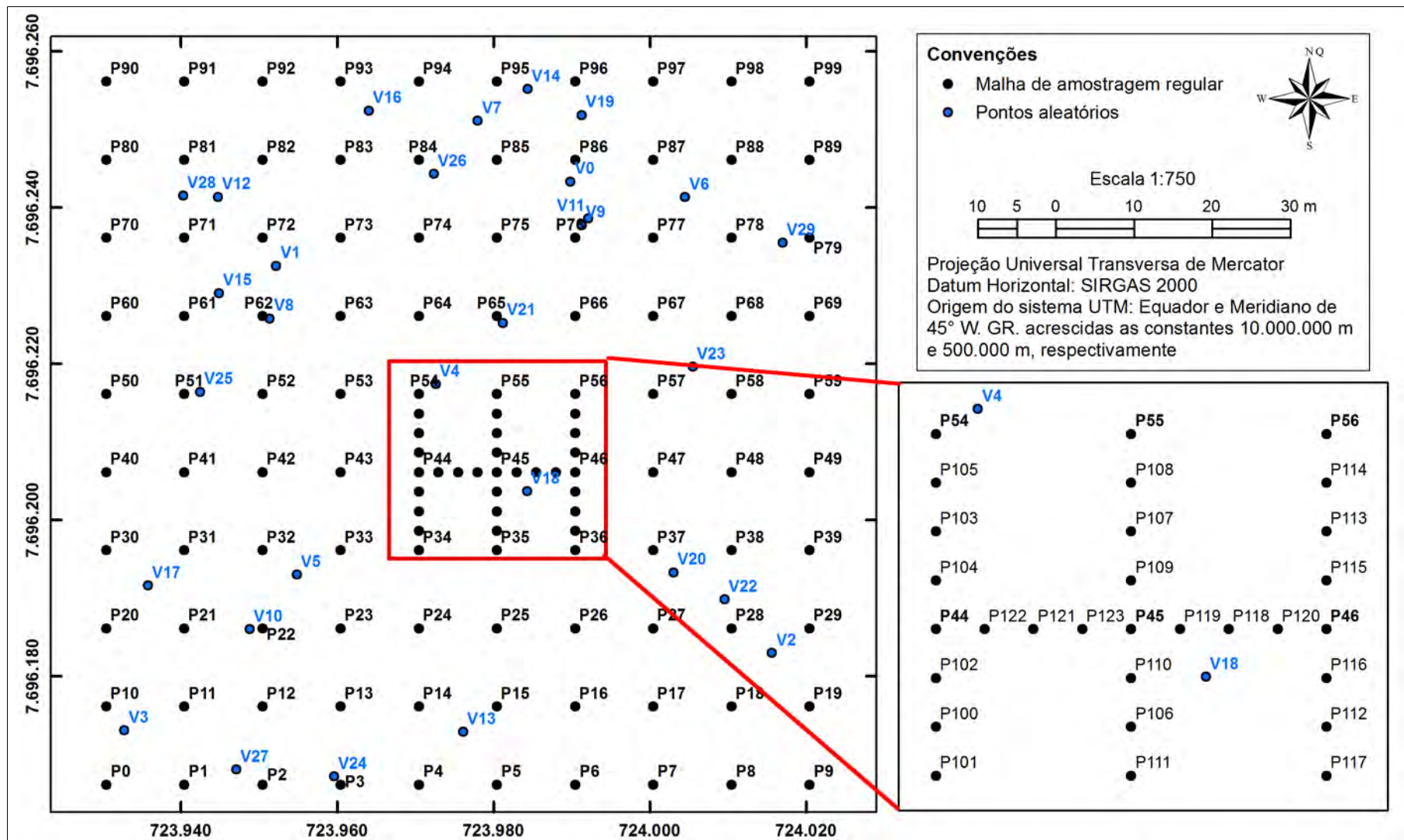


Figura 8 - Plano de amostragem usado para coleta na área de estudo de Pastagem e Latossolo.

As três áreas avaliadas são ocupadas por pastagens de capim braquiária, formadas por plantio convencional onde foi possível o uso de máquinas para o gradeamento, visto que algumas partes do terreno são muito íngremes e para todas elas não se faz uso de queima como técnica de manejo.

A pastagem da área de Cambissolo tem aproximadamente 40 anos, substituiu plantações de café e a última adubação e correção de acidez ocorreu a seis anos. O manejo atual do rebanho de 12 bovinos adultos é feito em sistema de rotação de áreas, de forma que a área é usada por 15 dias e tem período de descanso de 30 dias.

A pastagem da área de Argissolo é a mais recente, com aproximadamente oito anos e substituiu plantações de milho e feijão. Em seu manejo não se faz adubação e correção de acidez e, em média, a área é ocupada por seis bois durante o ano.

Na área de Latossolo a pastagem tem aproximadamente 10 anos, sendo usada para o pastejo de 16 bois ao longo do ano. Essa área já foi usada para plantações de cana e milho, sendo essa a última cultura que recebeu adubação.

2.4.3. Amostragem

A locação dos pontos do plano de amostragem foi realizada em duas etapas. Na primeira foram implantados marcos de coordenadas conhecidas (monografias no Apêndice B) próximos das áreas de estudo por meio do rastreamento com tecnologia GNSS e pós-processamento para correção diferencial. Na segunda etapa os pontos do plano de amostragem foram locados usando tecnologia RTK² (Figura 9), sendo usados receptores GNSS L1/L2 da marca TechGeo, modelo GTR-G².

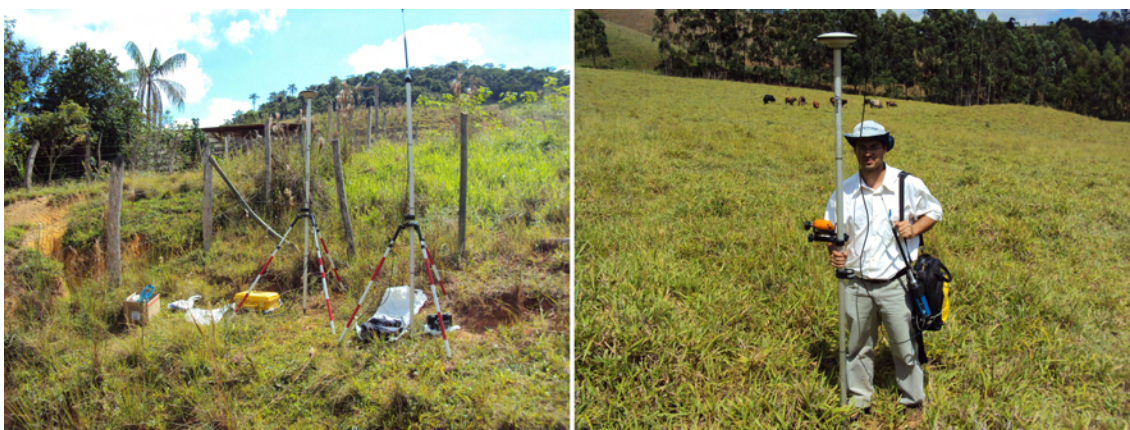


Figura 9 - Uso do sistema RTK para locação do plano de amostragem.

Os equipamentos (receptores GNSS, piquetes, trenas, marcos etc) usados na locação foram disponibilizados pelo Departamento de Engenharia Civil da UFV.

2 Acrônimo para *Real Time Kinematic* (Cinemático em Tempo Real). Tecnologia que permite, dentre outras aplicações, local pontos de coordenadas conhecidas com precisão na ordem de centímetros.

As amostras de solo indeformadas foram coletadas com trado tipo Uhland a partir de uma profundidade de 10 cm, após a retirada de toda a serrapilheira e a porção superior da vegetação do solo, de forma a evitar a presença de raízes. Como o anel volumétrico tem em torno de 5,0 cm de altura, a amostra foi coletada aproximadamente entre o 10º e o 15º cm.

2.4.4. Caracterização das amostras de solo

A caracterização física do solo foi obtida conforme descrito em EMBRAPA (1997) e consistiu na determinação dos atributos condutividade hidráulica em solo saturado (Ko), densidade do solo (Ds), microporosidade (Mi), macroporosidade (Ma) e porosidade total (Pt). Os ensaios de laboratório foram conduzidos no Laboratório de Física dos Solos do Departamento de Solos da UFV.

Os resultados dessa etapa foram estruturados em um banco de dados geográficos para análise geoestatística e cada área de estudo deu origem a um plano de informação no formato vetorial (Figura 10). Seus atributos alfanuméricos são descritos abaixo:

- Ponto: identificador do ponto amostrado em campo. Exemplo: P1; P2; P3 etc;
- Ko_cmh⁻¹: condutividade hidráulica na temperatura de referência (20°C) com unidade em cmh⁻¹;

Amostras	
Ponto	: String
Ko_cmh-1	: double
Mi_m3m-3	: double
Ds_gcm-3	: double
Dp_gcm-3	: double
PT_m3m-3	: Double
Ma_m3m-3	: Double

- Mi_m³m⁻³: microporosidade;
- Ds_gcm⁻³: densidade do solo com unidade em g cm⁻³;
- Dp_g cm⁻³: densidade de partícula com unidade em g cm⁻³;
- PT_m³m⁻³: porosidade total;
- Ma_m³m⁻³: macroporosidade.

Figura 10 - Plano de informação das amostras.

2.5. Análise dos dados

Os dados provenientes dos ensaios de laboratório foram analisados por meio de técnicas de análise exploratória e geoestatística, detalhadas a seguir.

2.5.1. Análise exploratória e estatísticas descritivas

O primeiro passo dessa etapa foi identificar e avaliar os valores discrepantes

(*outliers*), pois eles têm grande influência sobre o semivariograma e, conseqüentemente, sobre o resultado da interpolação (ISAACS & SRIVASTAVA, 1989).

Para identificar os valores candidatos a *outlier* foi usado o método *boxplot* (DEVORE, 2006). Em paralelo usou-se a análise das semivariâncias de todos os pareamentos possíveis entre os 154 pontos da malha de amostragem, conforme descrito em ESRI (2004b). Dessa forma, os valores do entorno de um ponto também foram analisados. Como critério final avaliou-se se a retirada do ponto alterava os parâmetros da validação cruzada, pois o intuito foi manter o maior número de pontos possível.

Após a identificação e eliminação dos valores discrepantes o passo seguinte foi caracterizar e resumir o conjunto de dados. Para isso foi usada a estatística descritiva, tendo sido calculados: menor valor, maior valor, média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e curtose.

2.5.2. Análise geoestatística

Essa análise foi realizada em duas etapas. Na primeira avaliou-se a dependência espacial, por meio da modelagem dos semivariogramas empíricos de cada variável. Na segunda, para os casos nos quais ocorreu dependência espacial, foi feita a interpolação por krigagem.

2.5.2.1. Modelagem dos semivariogramas empíricos

O ajuste dos modelos teóricos aos semivariogramas empíricos foi feito de forma iterativa, por tentativas. Iniciou-se com um semivariograma omnidirecional antes de avaliar a anisotropia, pois, conforme Andriotti (2003), ele permite agrupar mais pares de pontos que os direcionais e, conseqüentemente, se não apresentar dependência espacial, não se espera que a mesma ocorra nos direcionais.

Nessa etapa um item importante consiste na definição do tamanho e número de lags usados para agrupar os pares de pontos. Para escolha desses parâmetros usou-se como referência a regra empírica na qual o produto entre o tamanho e o número de lags deve ser aproximadamente igual à metade da maior distância de separação entre pares de pontos da malha amostral (CLARK, 1979; ESRI, 2004b). Para a malha de amostragem adotada esse limite corresponde à 64 m.

Outro ponto observado no decorrer da análise, salientado por Journel & Huijbregts (1978) e Andriotti (2003), é que cada lag deve ter no mínimo 30 pares de pontos. O *software* usado na análise geoestatística não fornece essa informação de forma direta. No entanto, ele foi usado para gerar uma tabela com as distâncias entre

todos os pareamentos de ponto possíveis, a partir da qual foi possível gerar uma distribuição de frequências em planilha eletrônica e assim checar esse dado.

Quanto ao método usado na vizinhança de busca, Vieira (2000) apresenta e discute as vantagens e desvantagens de alguns dos métodos disponíveis. No caso desse estudo considerou-se um raio de busca igual ao alcance, sem quadrantes e quatro e 12 vizinhos para os números mínimo e máximo de pontos, respectivamente.

Os modelos teóricos esférico, exponencial, circular e gaussiano foram avaliados. O ajuste foi realizado por tentativa e erro e o critério usado para escolha dos modelos foram os parâmetros provenientes da validação cruzada, conforme sugere Vieira *et al.* (1983). Esse critério também é sugerido por Faraco *et al.* (2008), que comparou métodos de avaliação da qualidade do ajuste de modelos teóricos a semivariogramas (validação cruzada, Akaike, Filliben e máximo valor do logaritmo da função verossimilhança). Os parâmetros calculados pelo aplicativo usado são resumidos a seguir, mas podem ser encontrados de forma detalhada em ESRI (2004b):

- Equação de regressão entre valores estimados e medidos. O ideal é que ela tenha os coeficientes angular e linear iguais a um e zero, respectivamente.
- Equação de regressão entre erros e valores medidos. Um bom ajuste ocorre quando não existe associação entre o valor verdadeiro e o erro de estimação.
- Média do erro de estimação. Quanto mais próximo de zero, maior o indício de que as estimativas são não-viesadas. No entanto, cabe salientar que a escala da variável pode interferir nesse valor.
- RMS (*Root Mean Square* - raiz quadrada do erro médio quadrático). Valores de RMS menores são melhores, pois indicam que os valores estimados pela interpolação estão mais próximos dos valores medidos em campo.
- ASE (*Average Standard Error* - média do desvio padrão proveniente da krigagem). O ideal é que seu valor esteja próximo ao RMS.
- MS (*Mean Standardized* - média do erro após padronização). Como a interpolação por krigagem é um método não viesado, deve ser próximo de zero.
- RMSS (*Root Mean Square Standardized* - raiz quadrada do erro quadrático padronizado). O ideal é que tenha valor próximo de um.

Para os casos nos quais esses parâmetros eram muito semelhantes o critério final foi a inspeção visual, na qual observou-se qual dos modelos teóricos avaliados ajustou-se melhor ao semivariograma empírico.

A partir dos parâmetros de cada modelo escolhido (efeito pepita, contribuição e patamar) foi calculado o índice de dependência espacial proposto por Zimback (2001).

Os procedimentos descritos acima foram repetidos para todas as variáveis de cada área de estudo, em busca de um modelo isotrópico que representasse sua estrutura de dependência espacial. Para aquelas que a apresentaram também foi avaliada a existência de tendência e anisotropia. Para a escolha entre os modelos isotrópico e anisotrópico também foram usados os parâmetros da validação cruzada.

2.5.2.2. Krigagem

Para a interpolação das variáveis que apresentaram dependência espacial foi usada a krigagem ordinária, adotando os modelos teóricos escolhidos e a vizinhança de busca descrita anteriormente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise exploratória e estatísticas descritivas

Para a variável condutividade hidráulica em solo saturado (K_o) foram detectados valores discrepantes (*outliers*) nas três áreas de estudo (Tabela 2). Mesmo excluindo esses valores os coeficientes de variação (CV) de K_o foram bem superiores aos das demais variáveis, sendo considerados altos (CV > 60,1 %), segundo classificação proposta por Warrick & Nielsen (1980). Mas essa é uma das características dessa variável, descrita por Guimarães (1998) como de grande importância em projetos e manejos agrícolas, de difícil determinação em campo, elevado valor de coeficiente de variação e boa correlação com outras variáveis de determinação mais simples, como textura, densidade do solo, porosidade e matéria orgânica. Esses valores elevados do CV de K_o , obtidos em laboratório, também são compatíveis com CVs de dados provenientes de ensaios de campo, que fizeram uso do permeâmetro de Guelph, conforme estudos realizados por Rezende *et al.* (1999), Fontes *et al.* (2001) e Guimarães *et al.* (2002), entre outros.

Ao comparar os valores de média e mediana de K_o observa-se que a primeira é sempre maior. Isso ocorre porque a média é mais sensível a valores extremos, os quais estão do lado direito da distribuição, conforme indica o sinal positivo do coeficiente de assimetria (C_a). Essa assimetria ocorreu provavelmente porque alguns dos fatores que podem interferir no valor K_o – caminho preferencial causado por animais, fissura ocorrida no momento da coleta ou transporte, presença de raiz, descolamento da amostra de solo da borda do anel - tenderem a superestimá-lo. As medidas estatísticas anteriores e o coeficiente de curtose (C_c) sugerem que os dados não seguem uma distribuição normal. No entanto, para fins de interpolação por krigagem ordinária esse não é um pré-requisito (CRESSIE, 1991).

A macroporosidade (M_a) apresentou CVs classificados como médios (12,1 a 60 %), enquanto microporosidade (M_i), porosidade total (P_t) e densidade do solo foram classificadas como tendo CV baixo (< 12 %). Cabe salientar que a M_a é obtida de forma indireta, pela diferença entre porosidade total (P_t) e microporosidade (M_i), ambas determinadas por ensaios de laboratório. Conseqüentemente, a propagação dos erros cometidos nos ensaios tendem a acumular na macroporosidade, o que explica seu maior CV.

Com exceção de K_o , as estatísticas descritivas das demais variáveis (Tabela 2)

indicam que elas apresentam distribuição normal. Para cada variável o sinal do coeficiente de assimetria foi o mesmo em todas as três áreas de estudo.

A densidade do solo apresentou valores médios e medianos muito próximos, mas na área de Cambissolo o coeficiente de variação e a amplitude foram maiores do que nas demais, inclusive com o valor de mínimo compatível com áreas de mata. Isso ocorreu porque das três áreas, essa é a mais acidentada, e alguns dos locais amostrados estão em encostas íngremes, nas quais a movimentação do rebanho tende a ser menor. Esse mesmo fator também pode explicar o valor de mínimo verificado na área de Latossolo.

Tabela 2 - Estatísticas descritivas dos dados

Variável ⁽¹⁾	AE ⁽²⁾	n ⁽³⁾	Mín ⁽⁴⁾	\bar{X} ⁽⁵⁾	Me ⁽⁶⁾	Máx ⁽⁷⁾	S ⁽⁸⁾	CV (%) ⁽⁹⁾	Ca ⁽¹⁰⁾	Cc ⁽¹¹⁾
Ko (cm h ⁻¹)	PC	149	0,31	10,34	6,37	62,66	11,26	108,85	2,61	11,04
	PA	151	0,01	8,17	3,82	79,03	11,65	142,58	2,93	14,15
	PL	150	0,00	4,73	2,14	30,21	6,23	131,83	1,82	5,88
Mi (m ³ m ⁻³)	PC	154	0,25	0,39	0,39	0,48	0,04	9,60	-0,36	4,52
	PA	154	0,33	0,41	0,41	0,48	0,03	7,91	-0,16	2,54
	PL	154	0,34	0,40	0,40	0,47	0,02	5,87	-0,06	2,96
Ma (m ³ m ⁻³)	PC	154	0,04	0,12	0,11	0,30	0,05	41,36	1,44	4,67
	PA	154	0,00	0,09	0,08	0,22	0,04	47,76	0,31	2,92
	PL	154	0,01	0,09	0,09	0,23	0,04	46,81	0,54	3,03
Pt (m ³ m ⁻³)	PC	154	0,37	0,51	0,50	0,65	0,06	10,83	0,56	2,80
	PA	154	0,41	0,50	0,50	0,59	0,03	6,58	0,12	2,83
	PL	154	0,38	0,49	0,49	0,65	0,04	7,26	0,53	4,83
Ds (g cm ⁻³)	PC	154	0,91	1,24	1,27	1,57	0,13	10,47	-0,70	3,05
	PA	154	1,08	1,27	1,27	1,49	0,08	6,37	-0,01	2,70
	PL	154	0,88	1,25	1,27	1,48	0,08	6,56	-0,88	5,25

⁽¹⁾ Ko = condutividade hidráulica em solo saturado, Mi = microporosidade, Ma = macroporosidade, Pt = porosidade total, Ds = densidade do solo; ⁽²⁾ área de estudo: PC = pastagem e Cambissolo, PA = pastagem e Argissolo, PL = pastagem e Latossolo; ⁽³⁾ número de amostras; ⁽⁴⁾ menor valor; ⁽⁵⁾ média; ⁽⁶⁾ mediana; ⁽⁷⁾ maior valor; ⁽⁸⁾ desvio padrão; ⁽⁹⁾ coeficiente de variação; ⁽¹⁰⁾ coeficiente de assimetria; ⁽¹¹⁾ coeficiente de curtose

3.2. Análise geoestatística

3.2.1. Modelagem dos semivariogramas empíricos

A análise geoestatística realizada por meio de semivariogramas mostrou que as variáveis microporosidade, macroporosidade e porosidade total não apresentam dependência espacial (efeito pepita puro – EPP) na área de Argissolo (Tabela 3). Assim, a variabilidade dessas variáveis pode ser considerada como aleatória. O uso de um espaçamento menor na grade de amostragem poderia permitir detectar dependência espacial dessas variáveis (CAMBARDELLA *et al.*, 1994). Quanto ao índice de dependência espacial (IDE) das demais variáveis, segundo classificação proposta por Zimback (2001), houve predominância de dependência espacial moderada (25 a 75 %), com dez variáveis dentro desse intervalo, enquanto as demais foram classificadas como de IDE fraco (< 25 %) (Tabela 3). Vale ressaltar que quanto maior o valor do IDE, mais o semivariograma explica a variância dos dados. Pode-se considerar que a malha de amostragem usada foi adequada, pois conseguiu captar a dependência espacial em 12 dos 15 casos analisados.

Quanto aos modelos teóricos usados para modelar a dependência espacial, o mais usado foi o esférico (seis), seguido do gaussiano (quatro), exponencial (um) e circular (um).

Ao comparar cada variável, observa-se diferenças consideráveis, entre as três áreas de estudo, nos valores do efeito pepita e do patamar (Tabela 3). Nesse sentido, as maiores diferenças ocorrem para as variáveis condutividade hidráulica e densidade do solo da área de Latossolo em relação às de Cambissolo e Argissolo.

Outro resultado importante dos semivariogramas são os valores do alcance. Ele indica a linha divisória entre a aplicação da Estatística Clássica (pode ser usada sem restrições para distâncias maiores que o alcance) ou da Geoestatística (para distâncias menores que o alcance as amostras são correlacionadas e podem ser utilizadas para interpolação dos locais não amostrados) (VIEIRA, 2000). Assim, o valor do alcance deveria ser considerado em planos de amostragem (ZANÃO JR. *et al.*, 2010).

Os semivariogramas das variáveis da área de Cambissolo apresentaram maiores valores de alcance que os das demais áreas avaliadas (Tabela 3). Portanto, caso se quisesse usar a Geoestatística para interpolar uma dessas variáveis, a área de Cambissolo precisaria de um número menor de amostras (ZANÃO JR. *et al.*, 2010). Para exemplificar essa afirmação, suponha que se quisesse amostrar uma área de 100 x

100 m. Para uma variável com alcance de 50 m e malha de amostragem regular com espaçamento de 25 x 25 m, seriam necessários 25 pontos para cobrir toda a área. Já para uma variável com alcance de 25 m e malha de 12,5 x 12,5 m, o número de pontos aumentaria para 81.

A variável que apresentou menores valores de alcance foi Ko (Tabela 3), a qual possui coeficientes de variação mais elevados e da qual foram eliminadas algumas amostras para todas as áreas de estudo (Tabela 2).

Ainda com relação ao alcance, as diferenças observadas entre as variáveis e também entre as classes de solo (Tabela 3) mostram o quanto esse parâmetro é importante no planejamento de um experimento, seja no caso que se pressuponha aleatoriedade dos dados ou para aplicação da Geoestatística.

Tabela 3 - Estimativas dos parâmetros dos modelos dos semivariogramas ajustados

Variável	UE	C_0 ⁽¹⁾	$C_0 + C_1$ ⁽²⁾	Alcance (m)	Modelo ⁽³⁾	IDE (%) ⁽⁴⁾
Ko (cm h ⁻¹)	PC	67,3	130,0	38,9	EXP	48
	PA	79,1	140,3	20,7	ESF	44
	PL	16,0	38,4	29,5	ESF	58
Mi (m ³ m ⁻³)	PC	0,0009	0,0015	69,6	GAU	40
	PA	0,0011	0,0011	0	EPP	0
	PL	0,0004	0,0006	40,5	GAU	21
Ma (m ³ m ⁻³)	PC	0,0014	0,0016	64,4	CIR	53
	PA	0,0017	0,0017	0	EPP	0
	PL	0,0010	0,0020	49,7	ESF	49
Pt (m ³ m ⁻³)	PC	0,0014	0,0023	69,6	GAU	63
	PA	0,0011	0,0011	0	EPP	0
	PL	0,0007	0,0014	40,3	ESF	51
Ds (g cm ⁻³)	PC	0,0063	0,0149	69,6	GAU	70
	PA	0,0056	0,0067	43,1	ESF	16
	PL	0,0023	0,0071	35,7	ESF	68

⁽¹⁾ Efeito pepita; ⁽²⁾ Patamar; ⁽³⁾ ESF = esférico; EXP = exponencial; GAU = gaussiano; CIR = circular; EPP = efeito pepita puro; ⁽⁴⁾ Índice de dependência espacial; ⁽⁵⁾ F = fraca, M = moderada, T= forte

Os gráficos com os modelos teóricos ajustados aos semivariogramas empíricos são apresentados no Apêndice desse capítulo (Figuras 13, 14, 15, 16 e 17) e estão resumidos na Tabela 3. Os resultados apresentados referem-se ao caso de semivariogramas omnidirecionais, pois na análise de tendência e de anisotropia não se obteve modelos melhores.

3.2.2. Krigagem das variáveis

O produto final da krigagem é a superfície interpolada de cada variável, que mostra sua distribuição espacial. A partir dela é possível identificar a localização e a abrangência dos valores extremos (valores menores e maiores) em seu entorno, o grau de homogeneidade da área e as direções de maior gradiente. Além disso, ainda que de forma qualitativa, essas superfícies podem revelar se há algum padrão que sugira que a variável interpolada tenha correlação com outras variáveis, tais como declividade, altimetria, manejo, uso da terra etc. Outra característica da krigagem que deve ser lembrada é que ela não preserva os valores dos dados originais, por isso os valores de máximo da Tabela 2 não aparecem na legenda das Figuras 11 e 12.

Outro ponto importante sobre dependência espacial e krigagem, que pode ser compreendido a partir de exemplo apresentado por Royle (1979), é que um mesmo conjunto de dados (e consequentemente os mesmos parâmetros da estatística descritiva), com localizações diferentes, poderiam ter superfícies bem distintas. Os aspectos citados mostram o quanto é importante conhecer a distribuição espacial das variáveis.

Para a área de Argissolo as variáveis microporosidade, macroporosidade e porosidade total não apresentaram dependência espacial e por isso foram interpoladas pelo método IDW (interpolação ponderada pelo inverso da distância). Camargo *et al.* (2010) também encontraram efeito pepita puro para a macroporosidade em área ocupada por cana-de-açúcar (malha de amostragem de 10 x 10 m e profundidade de amostragem de 0,0 a 0,20 m), tanto em áreas côncavas quanto convexas. Mas no caso da microporosidade e porosidade total esses autores detectaram dependência espacial.

As superfícies de condutividade hidráulica em solo saturado (K_o) (Figura 12) apresentaram distribuições espaciais distintas, sendo que fica evidente a localização e influência dos locais com valores de K_o maiores (picos) em seu entorno. Na área de Cambissolo, de relevo mais acidentado, observa-se boa coincidência entre valores de máximo da superfície interpolada de K_o e locais de maior declividade, o que ocorre provavelmente devido ao menor acesso e permanência do gado. A superfície interpolada para K_o da área de Latossolo é a mais homogênea entre as três áreas avaliadas e, embora não tenha o menor coeficiente de variação (Tabela 2), seu desvio padrão é o menor.

A microporosidade (Figura 12) também apresentou distribuição espacial diferente entre as três áreas. O mesmo é válido para macroporosidade (Figura 12) e porosidade total (Figura 12). Para a área de Cambissolo, que possui o relevo mais

acidentado entre as três, os locais de maior declividade apresentaram valores maiores para as três variáveis associadas à porosidade. Para as áreas de Argissolo e Latossolo, que são mais planas, essa relação não fica evidenciada. Um dos usos da avaliação de atributos físicos do solo é utilizar tais informações como indicador de sua adequabilidade à produção de determinada cultura, conforme exemplo de Chioderoli *et al.* (2012), que concluíram que a microporosidade foi um bom indicador para a produção de massa seca de forragem em área de Latossolo.

Para a densidade do solo (Figura 11), o padrão de distribuição espacial foi distinto para as três áreas de estudo. Observou-se na área de Cambissolo a existência de certa uniformidade na direção oeste-leste para os gradientes da densidade. Também para essa classe de solo os locais de menor densidade tendem a coincidir com aqueles de maior declividade, localizados a oeste.

As distribuições espaciais dos atributos físicos do solo avaliados e seus respectivos valores de média (Figuras 11 e 12) mostram que partes consideráveis das áreas de estudo estão abaixo ou acima desse valor e, conseqüentemente, não é adequado assumir a média para representar o todo das áreas. Além disso, também fica evidente que as classes de solo afetam as distribuições espaciais dessas variáveis.

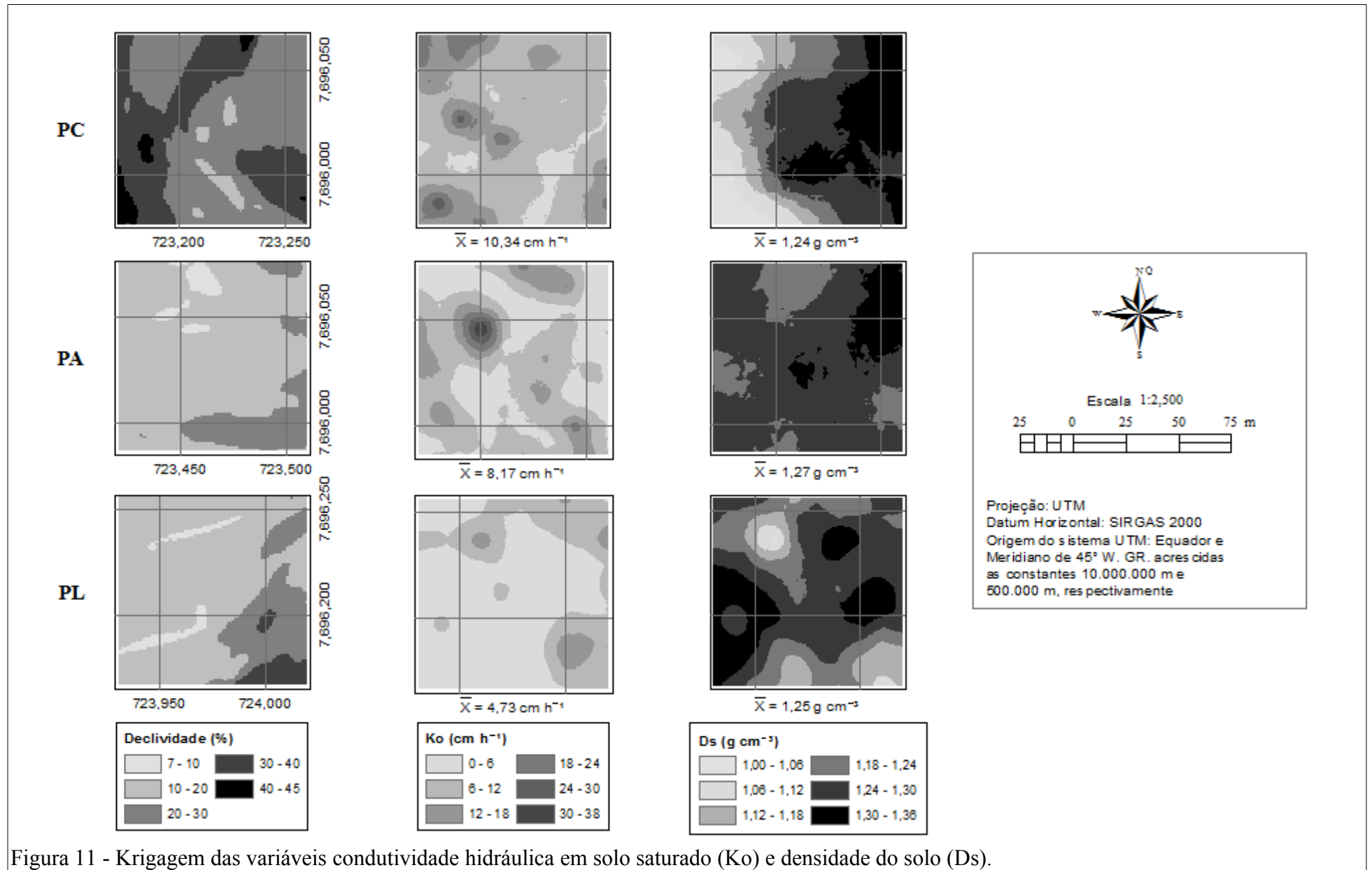


Figura 11 - Krigagem das variáveis condutividade hidráulica em solo saturado (Ko) e densidade do solo (Ds).

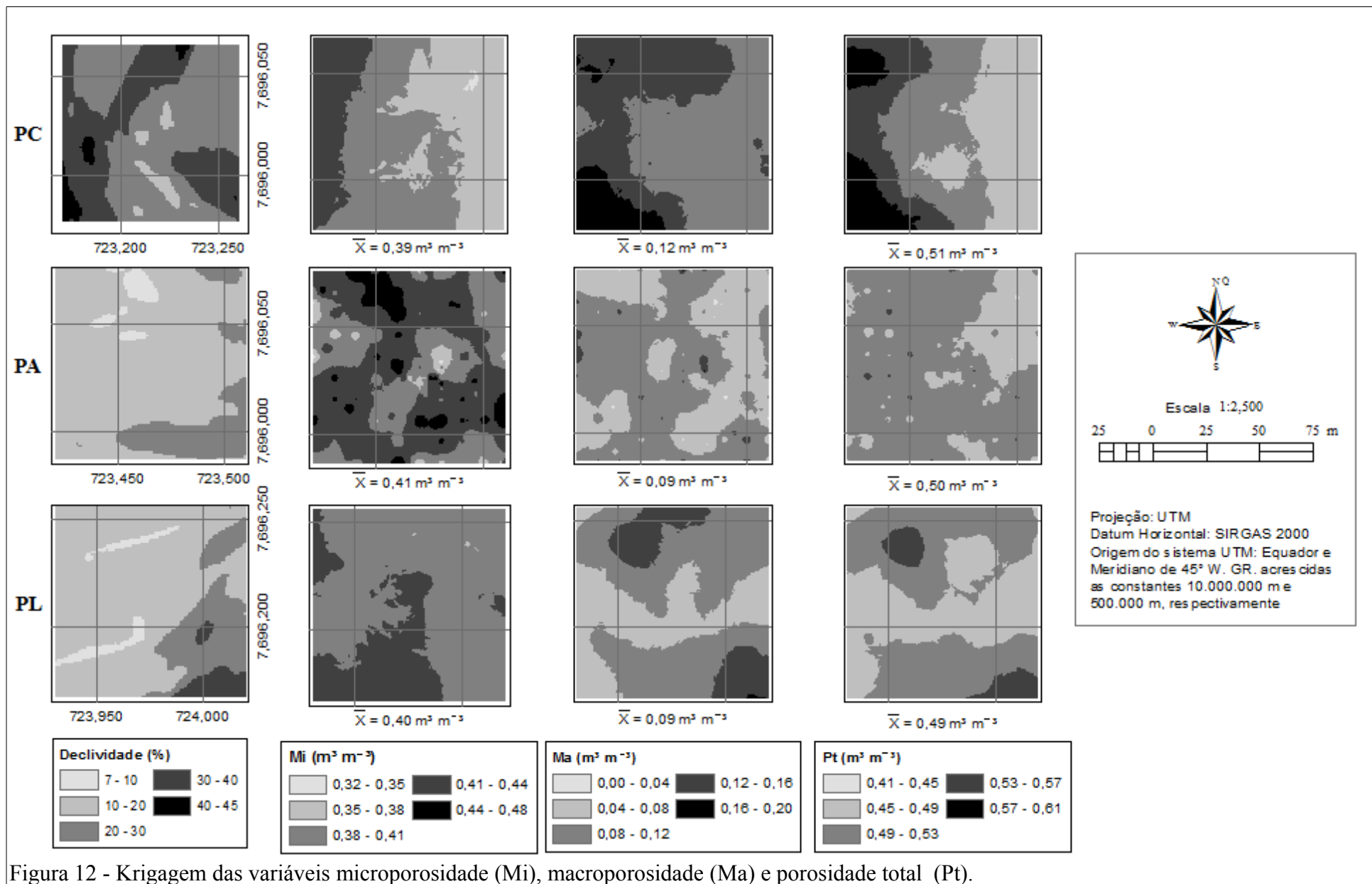


Figura 12 - Krigagem das variáveis microporosidade (Mi), macroporosidade (Ma) e porosidade total (Pt).

4. CONCLUSÕES

Os resultados da estatística descritiva e o fato do padrão da dependência espacial não ter se mantido constante indica que as classes de solo influenciaram a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo analisadas.

A média não é suficiente para representar a distribuição espacial das variáveis analisadas.

A malha de amostragem usada foi adequada, pois permitiu captar a dependência espacial da maioria das variáveis analisadas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, W.W.A.; DANTAS NETO, J.; MATOS, J.A.; AZEVEDO, C.A.V.; PORDEUS, R.V. Análise Geoestatística da distribuição de água no solo aplicada por sistema de irrigação localizada. **Revista Caatinga**, v.24, n.2, p.143-151, 2011.

ANDRADE, L.C.R. Estudo da influência do meio físico e das atividades antrópicas na qualidade da água na sub-bacia do Córrego Palmital – Viçosa/MG. 2010. 154p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

ANDRIOTTI, J.L.S. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2003. 165p.

BRASIL. Resolução do IBGE N° 1/2005 – Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro. Disponível em <ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/pmrg/legislacao/RPR_01_25fev2005.pdf>. Acesso em 19/07/2011.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.; DRUCK, S.; CARVALHO, M.S. Análise Espacial e Geoprocessamento. In: **Análise espacial de dados geográficos**. Editores Técnicos: DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004.

CAMARGO, L.A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T. Spatial variability of physical attributes of an Alfisol under different hillslope curvatures. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.3, p.617-630, 2010.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F. & KONOPKA, A.E. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society American Journal, Madison**, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.

CHIODEROLI, C.A.; MELLO, L.M.M.; NORONHA, R.H.F.; PARIZ, C.M.; LIMA, R.C. Spatial and linear correlations between soil and corn. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.3, p.765-774, 2012.

CLARK, I. **Practical geostatistics**. London: Applied science publishers Ltda, 1979. 123p.

COELHO, A. M. **Agricultura de Precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. 62p.

CRESSIE, N.A.C. **Statistics for spatial data**. New York: John Wiley, 1991. 900p.

DEVORE, J.L. **Probabilidade e estatística: para engenharia e ciências**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning. 2006. 694p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de

Solos, 1997. 212p.

ESRI. **Using ArcMap**. Redlands, CA – USA: ESRI Press, 2004a. 598p.

ESRI. **Using ArcGIS Geostatistical Analyst**. Redlands, CA – USA: ESRI Press, 2004b. 300p.

FARACO, M.A.; OPAZO, M.A.U.; SILVA, E.A.A.; JOHANN, J.A.; BORSSOI, J.A. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.2, p.463-476, 2008.

FERNANDES, M.M. Caracterização de Solos e uso Atual empregando Aerofotos Não-Convencionais nas Sub-Bacias Marengo, Palmital e Silibar – Rio Turvo Sujo, MG. 1996. 98p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG.

FERNANDES, M.M.; KER, J.C.; DE REZENDE, S.B. Delineamento semi-detalhado de solos empregando aerofotos não-convencionais na sub-bacia Palmital – Rio Turvo Sujo, MG. **Revista Geonomos**, Belo Horizonte, Instituto de Geociências da UFMG, v.15, n.2, p.1-7, 2007.

FONTES, J.T.; NORONHA, T.O.; FONTES, L.E.F.; FERNANDES, R.B.A. Variabilidade na estimativa da condutividade hidráulica em meio saturado e potencial mátrico determinados pelo permeâmetro de Guelph. In: XXVIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2001, Londrina. *Ciência do Solo: Fator de produtividade competitiva com sustentabilidade*, 2001. p.275.

GUIMARÃES, E.C. Aplicação da geoestatística e do sistema de informação geográfica no mapeamento da condutividade hidráulica do solo, no sistema de manejo convencional e de plantio direto. In: II Workshop de pós-graduação, 1998. *Anais do II Workshop de pós-graduação da FEAGRI/UNICAMP*. Campinas- SP, 1998. p.20-23.

GUIMARÃES, E.C.; TAVARES, M.; REZENDE, R.C.A. Determinação do tamanho de amostra para a estimativa da condutividade hidráulica do solo saturado em diferentes condições de plantio. In: Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria, 2002, Rio Claro. *Anais da 47 Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria*, 2002. v.1, p.1-4.

GUIMARÃES, W.D.; GRIPP JR, J. **Cartografia Digital**. Viçosa, 2010 (Apostila das disciplinas de Cartografia Digital I e II, Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, Universidade Federal de Viçosa).

IBGE. Censo Agropecuário 2006: Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação – Segunda Apuração. Rio de Janeiro, 2012.

JOURNAL, A.G.; HUIJBREGTS, C.J. **Mining Geostatistics**. Londres: Academic Press, 1978. 600p.

LISBOA FILHO, J.; IOCHPE, C. Um estudo sobre modelos conceituais de dados para projeto de bancos de dados geográficos. **Revista IP-Informática Pública**, Belo

Horizonte, v.1, n.2, p.67-90, 1999.

OLIVEIRA, J.B. **Pedologia Aplicada**. 3. ed. Piracicaba: FEALQ, 2008. 592p.

OLIVEIRA JUNIOR, J.C.; SOUZA, L.C.P.; MELO, V.F.; ROCHA, H.O. Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de solos da formação Guabirotuba, Curitiba (PR). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.5, p.1481-1490, 2011.

RESENDE, M.; LANI, J.L.; REZENDE, S.B. Pedossistemas da mata atlântica: considerações pertinentes sobre a sustentabilidade. **Revista Árvore**, Viçosa, v.26, p.161-269, 2002.

REZENDE, R.C.A.; GUIMARÃES, E.C.; MORAES, A.S. Tamanho de amostra para estimar a condutividade hidráulica do solo saturado nos sistemas de manejo convencional e de plantio direto, utilizando o permeâmetro de Guelph. In: XXVII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 1999, Brasília. Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 1999. v.1, p.119-122.

RODRIGUES, M.S.; CORÁ, J.E.; FERNANDES, C. Spatial Relationships Between Soil attributes and corn yield in no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.2, p.599-609, 2012.

ROYLE, A.G. Why geostatistics? **Engineering & Mining Journal**, v.180, n.5, p.92-101, 1979.

SANTOS, K.S.; MONTENEGRO, A.A.A.; ALMEIDA, B.G.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; ANDRADE, T.S.; FONTES JÚNIOR, R.V.P. Variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.8, p.828-835, 2012a.

SANTOS, E.O.J.; GONTIJO, I.; NICOLE, L.R. Variabilidade espacial de cálcio, magnésio, fósforo, potássio no solo e produtividade da pimenta-do-reino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.10, p.1062-1068, 2012b.

SILVA, A.M.; MELLO, C.R.; CURI, N.; OLIVEIRA, P.M. Simulação da variabilidade espacial da erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica de Latossolos no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.5, p.2125-2134, 2008.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F., ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, G.R. (Ed.). **Tópicos em Ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2000, v.1, p.1-54.

VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, Berkeley, v.51 n.3, p.1-75, 1983.

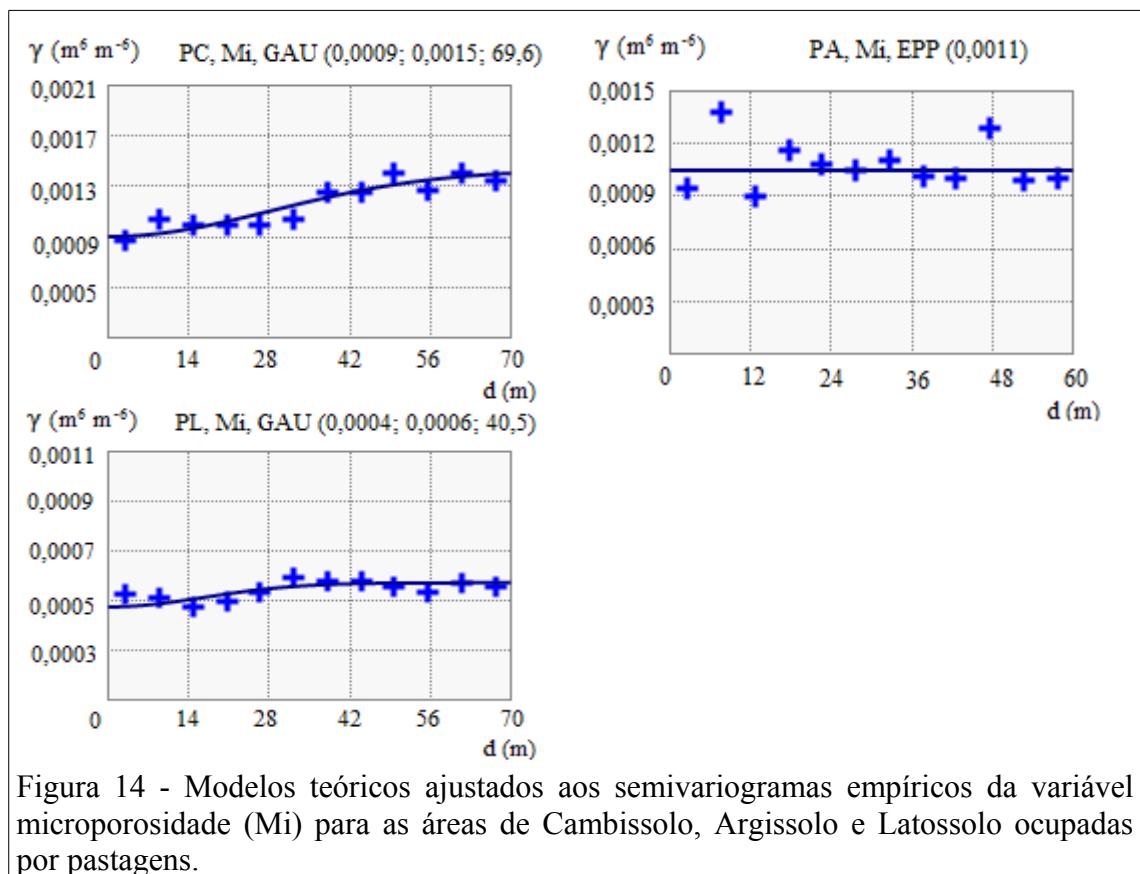
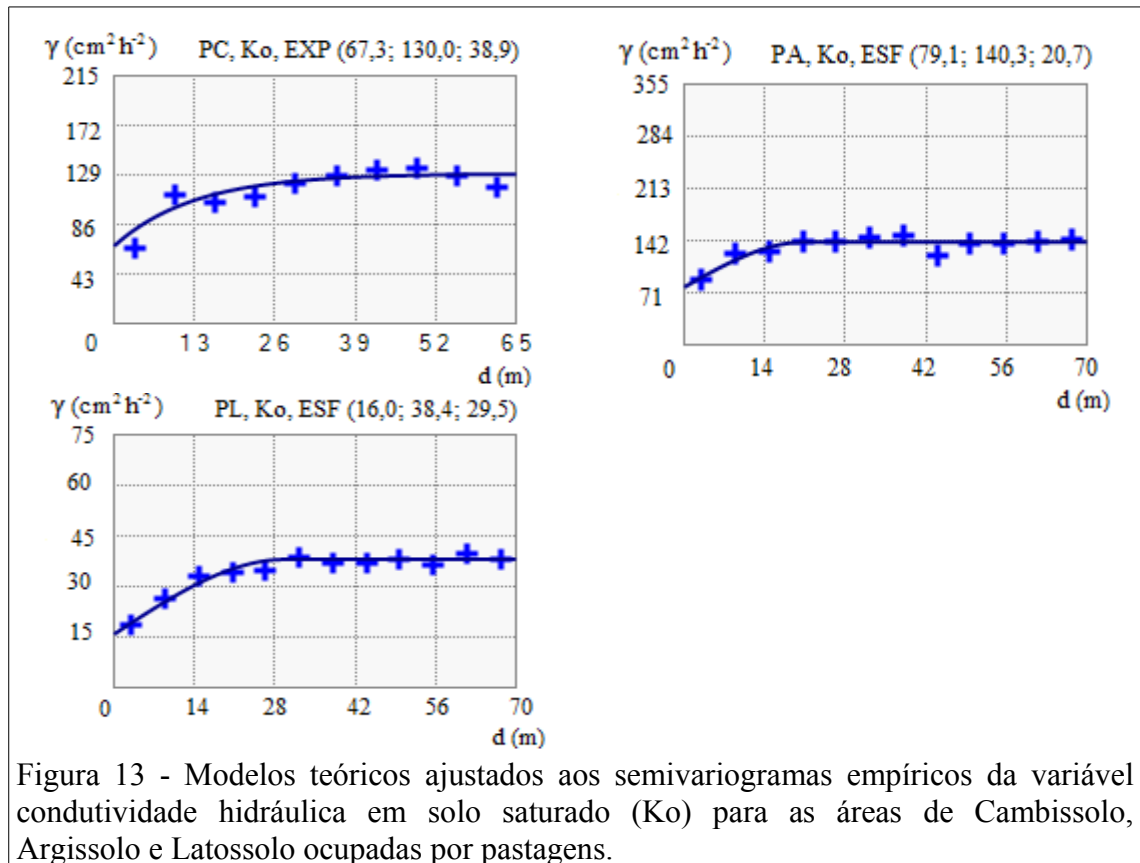
WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed). **Applications of soil physics**. New York: Academic, 1980. Cap.2, p.319-344.

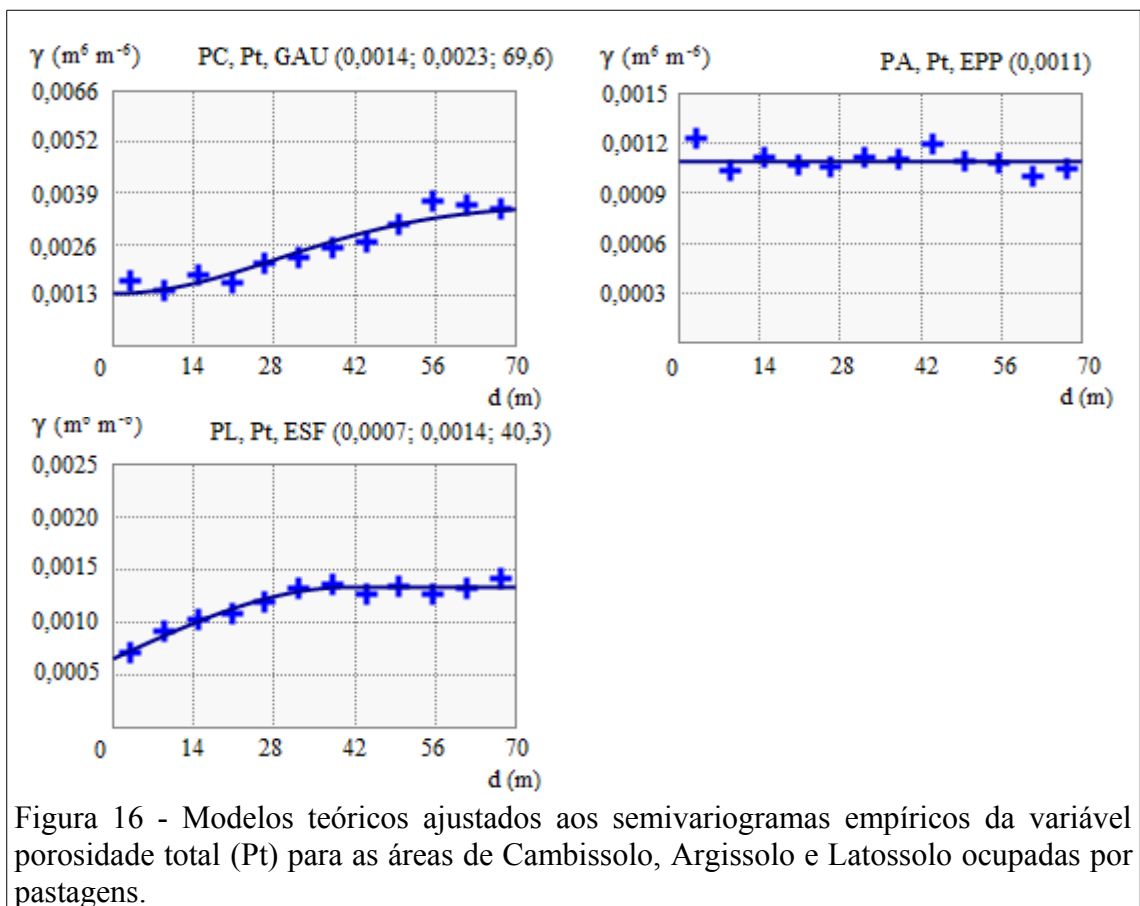
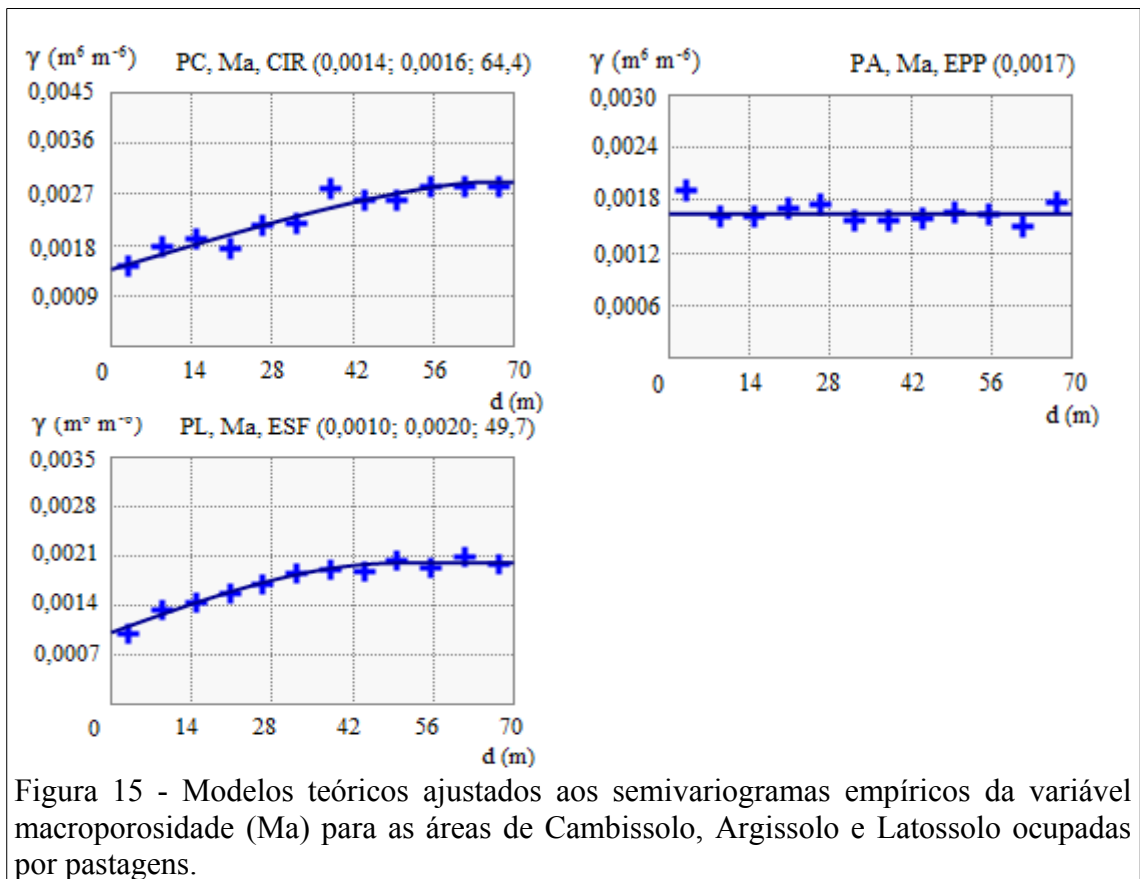
ZANÃO JÚNIOR, L.A.; LANA, R.M.Q.; GUIMARÃES, E.C.; PEREIRA, J.M.A.

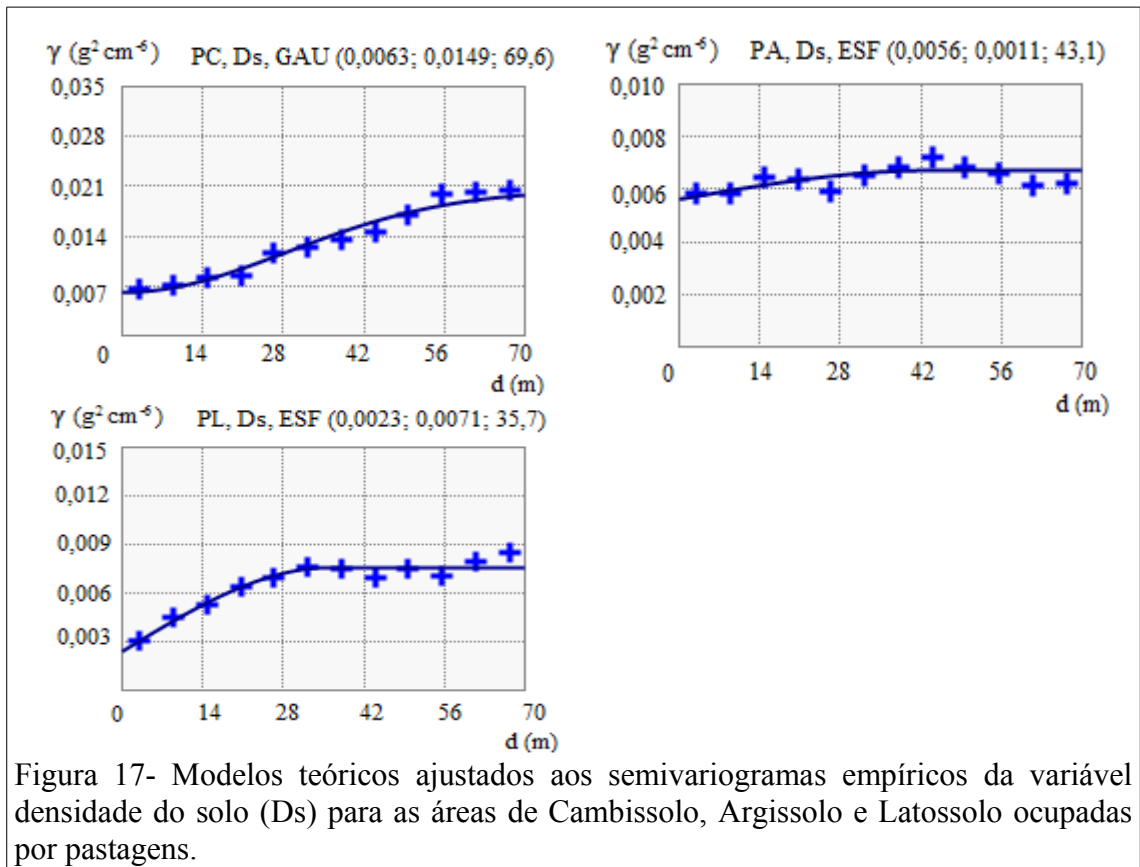
Variabilidade espacial dos teores de macronutrientes em latossolos sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.2, p.389-400, 2010.

ZIMBACK, C.R.L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo. Botucatu, Universidade Estadual Paulista, 2001. 114p. Tese (livre-Docência).

6. APÊNDICE







CAPÍTULO 2. VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM LATOSSOLOS UTILIZADOS COM PASTAGEM E MATA

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo condutividade hidráulica de solo saturado, microporosidade, macroporosidade, porosidade total e densidade do solo para áreas de Latossolo ocupadas por pastagem e mata secundária. Foram coletadas 154 amostras georreferenciadas em cada área de estudo, usando uma malha regular com espaçamentos de 10 x 10 m (100 pontos), adensada por uma segunda malha regular com espaçamento de 2,5 x 2,5 m (24 pontos), e uma terceira com 30 pontos distribuídos aleatoriamente. Para analisar os dados foi usada a estatística descritiva e a geoestatística. Tanto os parâmetros dos semivariogramas ajustados quanto a distribuição espacial das variáveis indicaram que a dependência espacial variou conforme o uso da terra, e que o valor médio das variáveis não é suficiente para representar os atributos avaliados. A malha de amostragem usada no estudo foi adequada, pois foi possível detectar a dependência espacial em todos os casos analisados.

Termos de indexação: uso da terra, física do solo, geoestatística.

ABSTRACT

The present paper had the aim to evaluate the spatial variability of physical attributes, saturated soil hydraulic conductivity, microporosity, macroporosity, total porosity and soil density for the areas of Latosol occupied by pasture and secondary forest. One hundred and fifty four samples georeferenced in each area of study was collected, using a regular grid with 10 x 10 m (100 points) spacing, thickened by a second regular grid of 2.5 x 2.5 m (24 points) spacing, and a third one with 30 points randomly distributed. In order to analyze the data descriptive statistics and geostatistics were used. Both the semivariograms parameters as well as the spatial variables indicated that the spatial dependence varied according to the usage of the land, and the average value for the variables is not enough to represent the evaluated. The sample mesh used in the study was adequate, for it was possible to detect the spatial dependence in all the analyzed cases.

Index terms: land usage, soil physics, geostatistics.

1. INTRODUÇÃO

Um dos requisitos para a gestão de bacias hidrográficas é o diagnóstico do meio físico, no qual devem ser considerados tanto o uso da terra quanto o seu zoneamento ambiental (SILVA & PRUSKI, 2000).

Parte dessa caracterização depende do conhecimento da variabilidade espacial de atributos físicos do solo, os quais estão relacionados com a produção de culturas (CHIODEROLI *et al.*, 2012) e perda de solo em bacias hidrográficas (SILVA *et al.*, 2008), entre outros fatores, e podem ser influenciados pelo uso da terra. No caso da microbacia do córrego Palmital, dentre os vários usos da terra presentes, os mais representativos são pastagem e mata secundária, ocupando 62,1 % e 17,8 % de sua área, respectivamente. Quanto às classes de solos, 56,2 % da microbacia é dominada pelo Latossolo.

Uma abordagem adequada para o mapeamento dessa variabilidade espacial é a Geoestatística (VIEIRA, 2000; GUIMARÃES, 1998), por meio da krigagem, que é um método de interpolação cujas principais características são a ausência de viés e variância mínima (VIEIRA, 2000).

Em um contexto econômico no qual a mudança entre usos da terra é dinâmico, conhecer a variabilidade espacial de atributos físicos do solo pode ser um instrumento importante na definição de zoneamentos adequados à produção e à gestão ambiental.

Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar, por meio da Geoestatística, a influência do uso da terra sobre o padrão da variabilidade espacial de atributos físicos do solo para áreas de Latossolo ocupadas por pastagem e mata secundária.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os dois usos da terra amostrados estão localizados na microbacia do córrego Palmital, que abrange importantes nascentes do ribeirão São Bartolomeu, principal fonte de abastecimento do município de Viçosa-MG (ANDRADE, 2010). A microbacia localiza-se entre os meridianos de 42° 50' 37" W e 42° 51' 21" W, e entre os paralelos de 20° 48' 35" S e 20° 49' 26" S. O clima é enquadrado no tipo CWa, caracterizado por apresentar inverno seco e verão chuvoso, conforme classificação de Köppen (FERNANDES *et al.*, 2007). Segundo registros da Estação Meteorológica de Viçosa para os anos de 1998 a 2007, os valores médios anuais de temperatura, precipitação total anual e umidade relativa do ar foram de 20,1 °C, 1.284 mm e 81 %, respectivamente. O relevo possui altitudes que variam de 725 até 855 m, com a maior parte de suas áreas com declividade ondulada e forte-ondulada, segundo classificação usada por Resende *et al.* (2002).

A área de estudo ocupada por pastagem de capim braquiária tem aproximadamente 10 anos, tendo sido formada por plantio convencional. Já foi usada para plantações de cana e milho, sendo essa a última cultura que recebeu adubação. Em seu manejo não se faz uso de queima e essa área é usada para o pastejo de 16 bois ao longo do ano. A área ocupada por mata secundária, substituiu plantações de café e foi formada pelo processo de regeneração natural com início aproximado no ano de 1985 (RIBAS *et al.*, 2003).

Foram coletadas 154 amostras georreferenciadas em cada área de estudo. Uma malha regular principal com espaçamento de 10 x 10 m (100 pontos), adensada por uma segunda malha regular com espaçamento de 2,5 x 2,5 m (24 pontos), e uma terceira com 30 pontos distribuídos aleatoriamente foi utilizada nesse estudo. A finalidade desses dois últimos conjuntos de pontos foi minimizar o efeito pepita, pois em caso de dependência espacial, o que se espera é que a redução da distância de amostragem reduza esse parâmetro. O número de pontos usados para a amostragem varia muito entre os diversos trabalhos disponíveis na literatura, podendo-se citar Alves *et al.* (2011), Santos *et al.* (2012a), Santos *et al.* (2012b) e Oliveira Junior *et al.* (2011), que usaram 28, 36, 126 e 135 pontos, respectivamente.

A locação dos pontos do plano de amostragem foi realizada em duas etapas. Na primeira foram implantados marcos de coordenadas conhecidas próximos às áreas de estudo, por meio do rastreamento com tecnologia GNSS e pós-processamento para

correção diferencial. Na segunda etapa os pontos do plano de amostragem foram locados usando tecnologia RTK (marca TechGeo, modelo GTR-G²) e estação total (marca Topcon, modelo GTS 212) para as áreas de pastagem e mata secundária, respectivamente.

Amostras de solo indeformadas foram coletadas com trado tipo Uhland a partir de uma profundidade de 10 cm. Como o anel volumétrico tem em torno de 5,0 cm de altura, a amostra foi coletada aproximadamente entre o 10^o e o 15^o cm. A caracterização física do solo foi obtida conforme descrito em EMBRAPA (1997) e consistiu na determinação dos atributos condutividade hidráulica em solo saturado (K_o), densidade do solo (D_s), microporosidade (M_i), macroporosidade (M_a) e porosidade total (P_t).

Para a análise dos dados foi usada a estatística descritiva e a geoestatística, tendo sido usado o *software* de SIG ArcGIS Desktop versão ArcInfo 10 (ESRI, 2004) e seu módulo de geoestatística *Geostatistical Analyst* (ESRI, 2004a).

A análise geoestatística foi realizada em duas etapas. Na primeira avaliou-se a dependência espacial, por meio da modelagem dos semivariogramas empíricos de cada variável. Foram avaliados os modelos teóricos esférico, exponencial, circular e gaussiano. O ajuste foi realizado por tentativa e erro e o critério usado para escolha dos modelos foram os parâmetros provenientes da validação cruzada, conforme sugere Vieira *et al.* (1983). Esse critério também é sugerido por Faraco *et al.* (2008), que comparou métodos de avaliação da qualidade do ajuste de modelos teóricos a semivariogramas (validação cruzada, Akaike, Filliben e máximo valor do logaritmo da função verossimilhança). Para definição do tamanho e número de *lags* usado para agrupar os pares de pontos usou-se como referência a regra empírica na qual o produto entre o tamanho e o número de *lags* deve ser aproximadamente igual à metade da maior distância de separação entre pares de pontos da malha amostral (CLARK, 1979; ESRI, 2004a). Para a malha de amostragem adotada esse limite corresponde a 64 m. Outro ponto observado no decorrer da análise, salientado por Journel & Huijbregts (1978) e Andriotti (2003), é que cada *lag* deve ter no mínimo 30 pares de pontos. A partir dos parâmetros de cada modelo escolhido (efeito pepita, contribuição e patamar) foi calculado o índice de dependência espacial proposto por Zimback (2001).

Na segunda etapa da análise geoestatística, para os casos nos quais ocorreu dependência espacial, foi feita a interpolação por krigagem ordinária.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Do conjunto de variáveis analisadas, provavelmente a densidade do solo (D_s) seja a que mais ajude a explicar o resultado das demais. Quanto maior a D_s , maior a compactação do solo e menor tende a ser a macroporosidade (Ma). Se ela é menor, os espaços entre as partículas é menor e a tendência é que a condutividade hidráulica em solo saturado (K_o) também seja menor. O mesmo raciocínio é válido para a porosidade total (Pt).

Para a D_s no mesmo uso da terra, a proximidade entre os valores da média e da mediana e dos coeficientes de assimetria e curtose (Tabela 4) indicam que a distribuição possa ser normal. Comparando-se os valores de D_s entre as duas áreas avaliadas, observa-se que a pastagem tendeu a apresentar maiores valores. Embora o valor de mínimo para a pastagem seja mais compatível com áreas de mata, ele pode ser explicado porque há locais no terreno que são mais íngremes e nos quais a densidade tende a ser menor, pois há menos pastejo e permanência do gado. Os coeficientes de variação dessa variável foram considerados baixos ($CV < 12\%$), segundo classificação proposta por Warrick & Nielsen (1980).

Valores discrepantes para K_o foram encontrados nas duas áreas avaliadas (Tabela 4). Os coeficientes de variação dessa variável foram considerados altos ($CV > 60,1\%$) para as duas áreas de estudo. Em cada uma delas, o fato da média ser superior ao valor da mediana, aliado aos valores de assimetria e curtose (Tabela 4), sugerem que os dados não tem distribuição normal e os valores maiores estão concentrados do lado direito da distribuição. Ao comparar os valores de mínimo, máximo, média e mediana entre as duas áreas avaliadas (Tabela 4), observa-se que a mata secundária apresenta maiores valores de K_o . Isso provavelmente é consequência de fatores como compactação do solo por movimentação de animais nas áreas de pastagem, e também do sistema radicular das plantas nas áreas de mata. Quanto à compactação, isto pode ser comprovado para a pastagem quando se considera os valores da densidade do solo, que são superiores aos da mata (Tabela 4).

Nos dois usos considerados, a macroporosidade (Ma) apresentou CVs classificados como médios (12,1 a 60%), enquanto a microporosidade (Mi) e a porosidade total (Pt) tiveram CV baixos ($< 12\%$). Como a Ma é obtida de forma indireta, pela diferença entre Pt e Mi , ambas determinadas por ensaios de laboratório, a propagação dos erros cometidos nos ensaios tende a acumular nessa variável, e por

consequência seu CV tende a ser maior.

Tabela 4 - Estatísticas descritivas dos dados

Variável ⁽¹⁾	AE ⁽²⁾	n ⁽³⁾	Mín ⁽⁴⁾	\bar{X} ⁽⁵⁾	Me ⁽⁶⁾	Máx ⁽⁷⁾	S ⁽⁸⁾	CV (%) ⁽⁹⁾	Ca ⁽¹⁰⁾	Cc ⁽¹¹⁾
Ko (cm h ⁻¹)	ML	150	0,19	19,86	12,32	78,25	18,85	94,88	1,21	5,54
	PL	150	0,00	4,73	2,14	30,21	6,23	131,83	1,82	5,88
Mi (m ³ m ⁻³)	ML	154	0,32	0,41	0,41	0,48	0,03	8,60	-0,19	2,57
	PL	154	0,34	0,40	0,40	0,47	0,02	5,87	-0,06	2,96
Ma (m ³ m ⁻³)	ML	154	0,05	0,22	0,22	0,38	0,06	28,66	0,14	3,00
	PL	154	0,01	0,09	0,09	0,23	0,04	46,81	0,54	3,03
Pt (m ³ m ⁻³)	ML	154	0,48	0,63	0,62	0,73	0,04	6,17	-0,15	4,07
	PL	154	0,38	0,49	0,49	0,65	0,04	7,26	0,53	4,83
Ds (g cm ⁻³)	ML	154	0,64	0,92	0,92	1,21	0,09	10,07	-0,06	3,42
	PL	154	0,88	1,25	1,27	1,48	0,08	6,56	-0,88	5,25

⁽¹⁾ Ko = condutividade hidráulica em solo saturado, Mi = microporosidade, Ma = macroporosidade, Pt = porosidade total, Ds = densidade do solo; ⁽²⁾ Área de estudo: ML = mata secundária e Latossolo, PL = pastagem e Latossolo; ⁽³⁾ número de amostras; ⁽⁴⁾ menor valor; ⁽⁵⁾ média; ⁽⁶⁾ mediana; ⁽⁷⁾ maior valor; ⁽⁸⁾ desvio padrão; ⁽⁹⁾ coeficiente de variação; ⁽¹⁰⁾ coeficiente de assimetria; ⁽¹¹⁾ coeficiente de curtose

A análise geoestatística realizada por meio de semivariogramas mostrou que todas as variáveis, nas duas áreas avaliadas, apresentaram dependência espacial (Tabela 5), que foi modelada por meio dos modelos teóricos esférico (nove variáveis) e gaussiano (uma variável) (Tabela 5). Ainda com relação a dependência espacial, para o índice de dependência espacial (IDE) calculado segundo proposto por Zimback (2001), houve predominância de dependência espacial moderada (25 a 75 %), com nove variáveis dentro desse intervalo, enquanto apenas uma variável foi classificada como de IDE fraco (< 25 %) (Tabela 5). Vale ressaltar que quanto maior o valor do IDE, mais o semivariograma explica a variância dos dados. A malha de amostragem usada foi adequada, pois conseguiu captar a dependência espacial de todas as variáveis para os dois usos da terra avaliados.

Ao se comparar os valores do efeito pepita e do patamar entre os dois usos da terra (Tabela 5), os valores da área de pastagem foram sempre menores. Como o efeito pepita reflete os erros de amostragem e de microescala e o patamar a variância dos dados amostrais, isso pode ser explicado, em parte, pelo fato de o sistema radicular da pastagem ser mais uniforme e raso que o da mata e, conseqüentemente, interferir menos nas amostras de solo.

Em termos de continuidade espacial, a pastagem apresentou alcances maiores

para as variáveis Ma, Pt e Ds, enquanto na mata secundária as variáveis Ko e Mi apresentaram continuidade maior (Tabela 5). Deve-se salientar que o alcance indica a linha divisória entre a aplicação da estatística clássica ou da geoestatística (VIEIRA, 2000), e deve ser considerado na definição de planos de amostragem (ZANÃO JR. *et al.*, 2010). Para exemplificar, supondo que se quisesse repetir o mesmo experimento e também fazendo uso da geoestatística, um espaçamento de 15 x 15 m provavelmente seria adequado para detectar a dependência espacial, considerando que o menor valor de alcance observado foi de 18,4 m. Por outro lado, caso a intenção fosse obter amostras aleatórias, o espaçamento teria de ser superior a 50 x 50 m.

Quanto ao índice de dependência espacial (IDE), Segundo classificação proposta por Zimback (2001), houve predominância de dependência espacial moderada (25 a 75 %), com nove variáveis dentro desse intervalo, enquanto apenas uma variável foi classificada como de IDE fraco (< 25 %) (Tabela 5). Vale ressaltar que quanto maior o valor do IDE, mais o semivariograma explica a variância dos dados.

Tabela 5 - Estimativas dos parâmetros dos modelos dos semivariogramas ajustados

Variável	AE ⁽¹⁾	C ₀ ⁽²⁾	C ₀ + C ₁ ⁽³⁾	Alcance (m)	Modelo ⁽⁴⁾	IDE(%) ⁽⁵⁾
Ko (cm h ⁻¹)	ML	268,9	361,5	39,8	ESF	26
	PL	16,0	38,4	29,5	ESF	58
Mi (m ³ m ⁻³)	ML	0,0005	0,0013	49,3	ESF	57
	PL	0,0004	0,0006	40,5	GAU	21
Ma (m ³ m ⁻³)	ML	0,0026	0,0039	36,7	ESF	32
	PL	0,0010	0,0020	49,7	ESF	49
Pt (m ³ m ⁻³)	ML	0,0009	0,0015	33,1	ESF	35
	PL	0,0007	0,0014	40,3	ESF	51
Ds (g cm ⁻³)	ML	0,0024	0,0082	18,4	ESF	71
	PL	0,0023	0,0071	35,7	ESF	68

⁽¹⁾ Área de estudo: ML = mata secundária e Latossolo, PL = pastagem e Latossolo; ⁽²⁾ Efeito pepita; ⁽³⁾ Patamar; ⁽⁴⁾ ESF = esférico; EXP = exponencial; GAU = gaussiano; EPP = efeito pepita puro; ⁽⁵⁾ Índice de dependência espacial; ⁽⁶⁾ F = fraco, M = moderado, T = forte

As superfícies resultantes da krigagem mostram a distribuição espacial de cada variável, sua amplitude, a localização de valores extremos e o grau de homogeneidade da área. Além disso, ainda que de forma qualitativa, podem revelar se há algum padrão que sugira que a variável interpolada tenha relação com outras variáveis, tais como declividade, altimetria, manejo, uso da terra etc.

Conforme exemplificado por Royle (1979), um mesmo conjunto de dados (e consequentemente os mesmos parâmetros da estatística descritiva), mas com localizações diferentes, poderiam ter superfícies bem distintas. Os aspectos citados mostram o quanto é importante conhecer a distribuição espacial das variáveis.

As superfícies de condutividade hidráulica em solo saturado (Figura 18) são bem distintas em termos de homogeneidade e amplitude de valores. Considerando esses aspectos, a área de mata teria uma capacidade de condutividade de água bem superior à de pastagem. Na área de estudo de pastagem, observa-se certa coincidência entre as localizações dos valores de máximo de K_0 e os locais de maior declividade, provavelmente devido ao acesso ser mais difícil e, consequentemente, ao menor pastejo do rebanho. Para a área de mata essa relação entre valores de máximo e locais de maior declividade não foi observada.

A microporosidade (Figura 19), macroporosidade (Figura 19) e porosidade total (Figura 19) também apresentaram padrões das distribuições espaciais diferentes para os dois usos da terra, embora com maior uniformidade do que a condutividade hidráulica. Além da distribuição espacial, outro ponto relevante nessas figuras é o efeito do uso da terra sobre a amplitude de cada variável. A microporosidade na área de mata secundária variou de 0,36 até 0,46 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, enquanto que na área de pastagem o intervalo foi de 0,36 até 0,44 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ (Figura 19). Já a macroporosidade variou de 0,14 até 0,30 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ para a área de mata secundária, e de 0,04 até 0,18 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ para a área de pastagem (Figura 19).

Para a densidade do solo (Figura 18), o padrão de distribuição espacial foi distinto para as duas áreas de estudo. Comparando, de forma qualitativa, as distribuições espaciais da porosidade total e da densidade do solo, principalmente nos locais de máximo e mínimo, observa-se uma relação inversa entre as duas variáveis. Mas para confirmar essa hipótese deveria ser realizada uma análise de regressão ou co-krigagem.

Os resultados da estatística descritiva (Tabela 4), a existência de dependência espacial (Tabela 5) e as distribuições espaciais (Figuras 18 e 19) reforçam que o uso da média não seria suficiente para representar essas variáveis adequadamente e também que o uso da terra influenciou os atributos físicos avaliados.

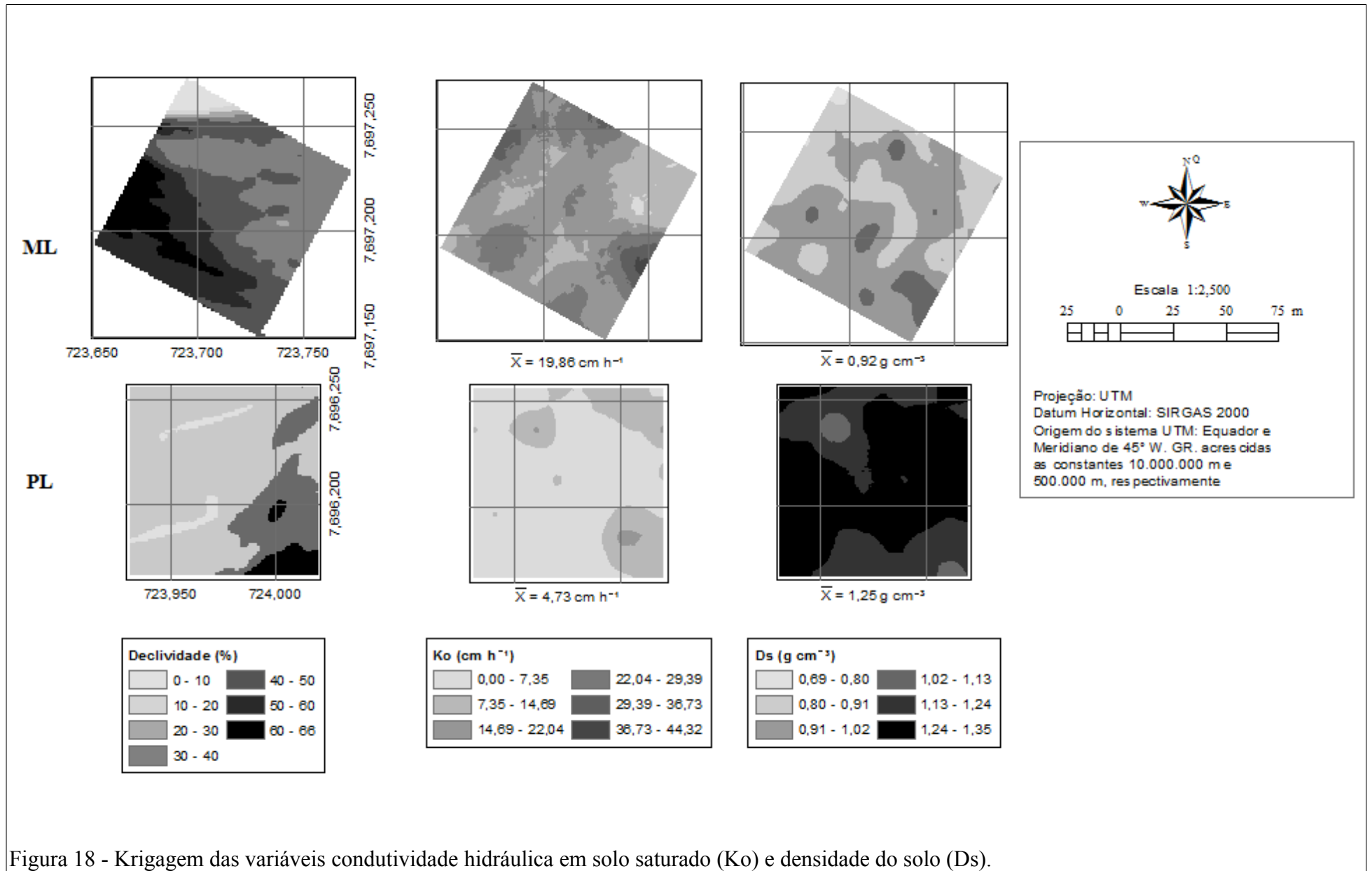
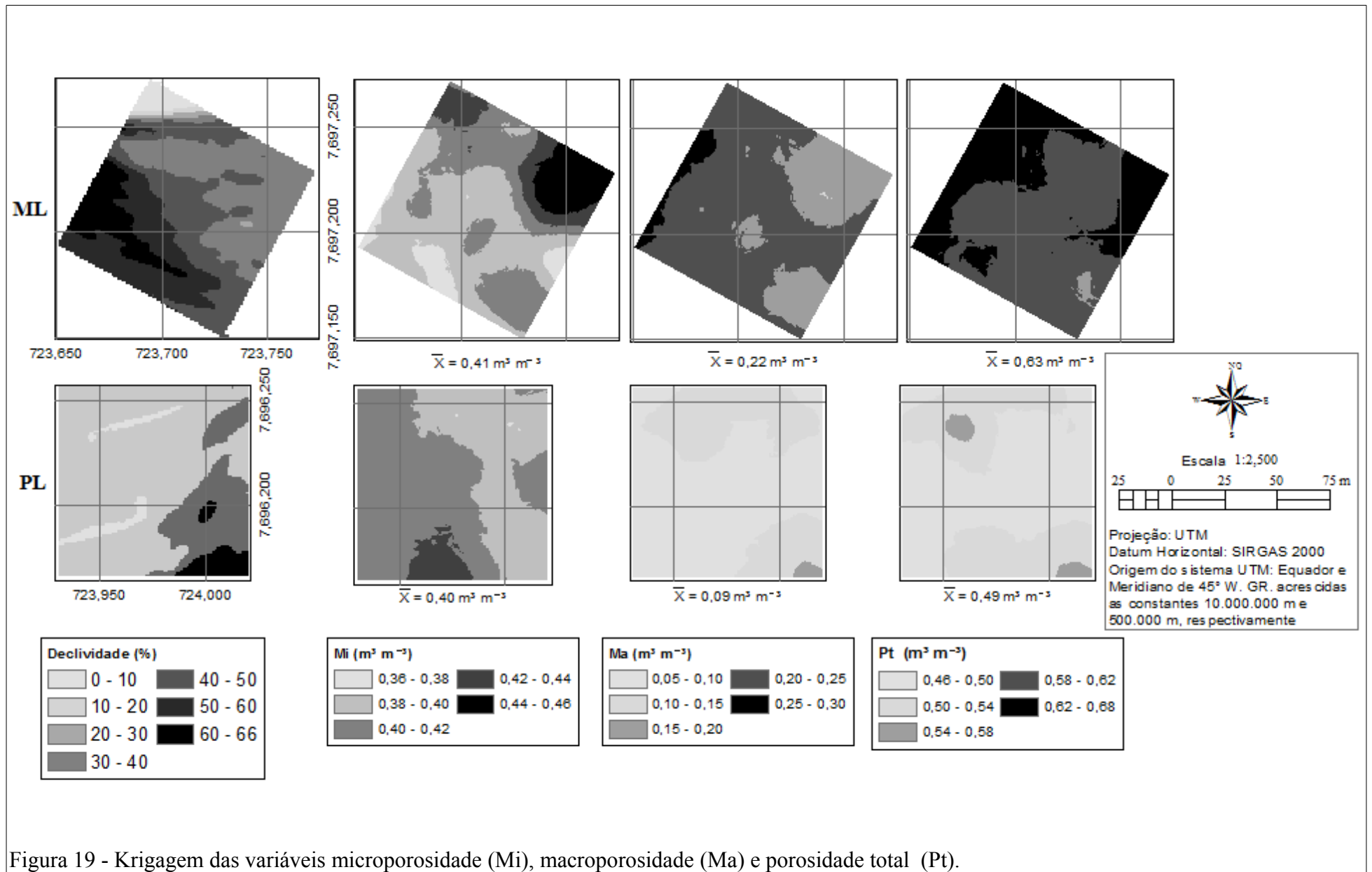


Figura 18 - Krigagem das variáveis condutividade hidráulica em solo saturado (Ko) e densidade do solo (Ds).



4. CONCLUSÕES

Os parâmetros dos semivariogramas ajustados para modelar a dependência espacial dos atributos físicos do solo analisados, as superfícies provenientes da krigagem e os resultados da estatística descritiva indicam que o padrão da dependência espacial variou conforme o uso da terra e que a média não é suficiente para representar as superfícies interpoladas.

A malha de amostragem usada no estudo foi adequada, pois foi possível detectar a dependência espacial em todos os casos analisados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, L.C.R. Estudo da influência do meio físico e das atividades antrópicas na qualidade da água na sub-bacia do Córrego Palmital – Viçosa/MG. 2010. 154p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

ANDRIOTTI, J.L.S. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2003. 165p.

CHIODEROLI, C.A.; MELLO, L.M.M.; NORONHA, R.H.F.; PARIZ, C.M.; LIMA, R.C. Spatial and linear correlations between soil and corn. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.3, p.765-774, 2012.

CLARK, I. **Practical geostatistics**. London: Applied science publishers Ltda, 1979. 123p.

DEVORE, J.L. **Probabilidade e estatística: para engenharia e ciências**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning. 2006. 694p

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

ESRI. **Using ArcMap**. Redlands, CA – USA: ESRI Press, 2004a. 598p.

ESRI. **Using ArcGIS Geostatistical Analyst**. Redlands, CA – USA: ESRI Press, 2004b. 300p.

FARACO, M.A.; OPAZO, M.A.U.; SILVA, E.A.A.; JOHANN, J.A.; BORSSOI, J.A. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.2, p.463-476, 2008.

FERNANDES, M.M.; KER, J.C.; DE REZENDE, S.B. Delineamento semi-detalhado de solos empregando aerofotos não-convencionais na sub-bacia Palmital – Rio Turvo Sujo, MG. **Revista Geonomos**, Belo Horizonte, Instituto de Geociências da UFMG, v.15, n.2, p.1-7, 2007.

GUIMARÃES, E.C. Aplicação da geoestatística e do sistema de informação geográfica no mapeamento da condutividade hidráulica do solo, no sistema de manejo convencional e de plantio direto. In: II Workshop de pós-graduação, 1998. Anais do II Workshop de pós-graduação da FEAGRI/UNICAMP. Campinas- SP, 1998. p.20-23.

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R. Mohan. **An Introduction to Applied Geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.

JOURNEL, A.G.; HUIJBREGTS, C.J. **Mining Geostatistics**. Londres: Academic Press, 1978. 600p.

RESENDE, M.; LANI, J.L.; REZENDE, S.B. Pedossistemas da mata atlântica: considerações pertinentes sobre a sustentabilidade. **Revista Árvore**, Viçosa, v.26, p.161-269, 2002.

RIBAS, R.F.; MEIRA NETO, J.A.A.; SILVA, A.F.; SOUZA, A.L. Composição florística de dois trechos em diferentes etapas serais de uma floresta estacional semidecidual em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**. 2003, v.27, n.6, p.821-830.

ROYLE, A.G. Why geostatistics? **Engineering & Mining Journal**, v.180, n.5, p.92-101, 1979.

SILVA, A.M.; MELLO, C.R.; CURI, N.; OLIVEIRA, P.M. Simulação da variabilidade espacial da erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica de Latossolos no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.32, n.5, p.2125-2134, 2008.

SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F. Gestão de Recursos Hídricos: Aspectos Legais, econômicos, administrativos e sociais. Brasília – DF: Secretaria de Recursos Hídricos. Viçosa-MG: Universidade Federal de Viçosa. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 2000. 659p.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F., ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, G.R. (Ed.). **Tópicos em Ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2000, v.1, p.1-54.

VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, Berkeley, v.51 n.3, p.1-75, 1983.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed). **Applications of soil physics**. New York: Academic, 1980. Cap.2, p.319-344.

ZANÃO JÚNIOR, L.A.; LANA, R.M.Q.; GUIMARÃES, E.C.; PEREIRA, J.M.A. Variabilidade espacial dos teores de macronutrientes em latossolos sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.2, p.389-400, 2010.

ZIMBACK, C.R.L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo. Botucatu, Universidade Estadual Paulista, 2001. 114p. Tese (livre-Docência).

6. APÊNDICE

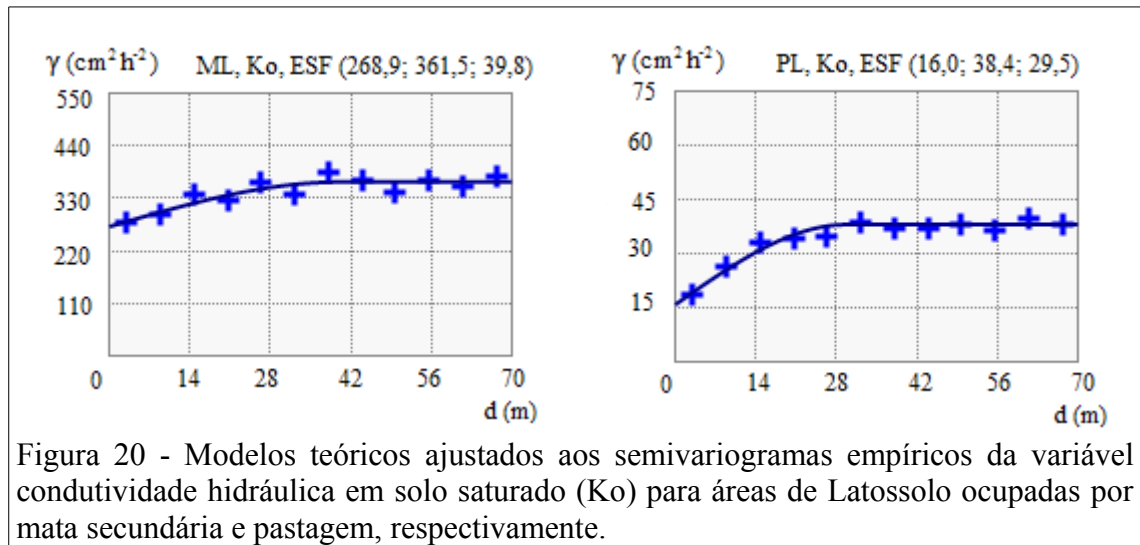


Figura 20 - Modelos teóricos ajustados aos semivariogramas empíricos da variável condutividade hidráulica em solo saturado (K_o) para áreas de Latossolo ocupadas por mata secundária e pastagem, respectivamente.

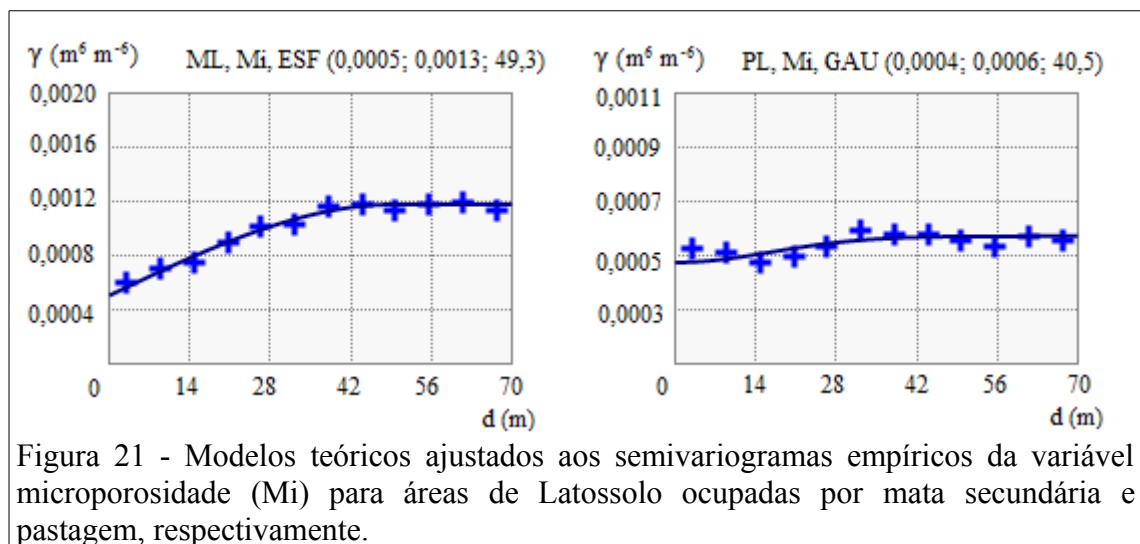


Figura 21 - Modelos teóricos ajustados aos semivariogramas empíricos da variável microporosidade (M_i) para áreas de Latossolo ocupadas por mata secundária e pastagem, respectivamente.

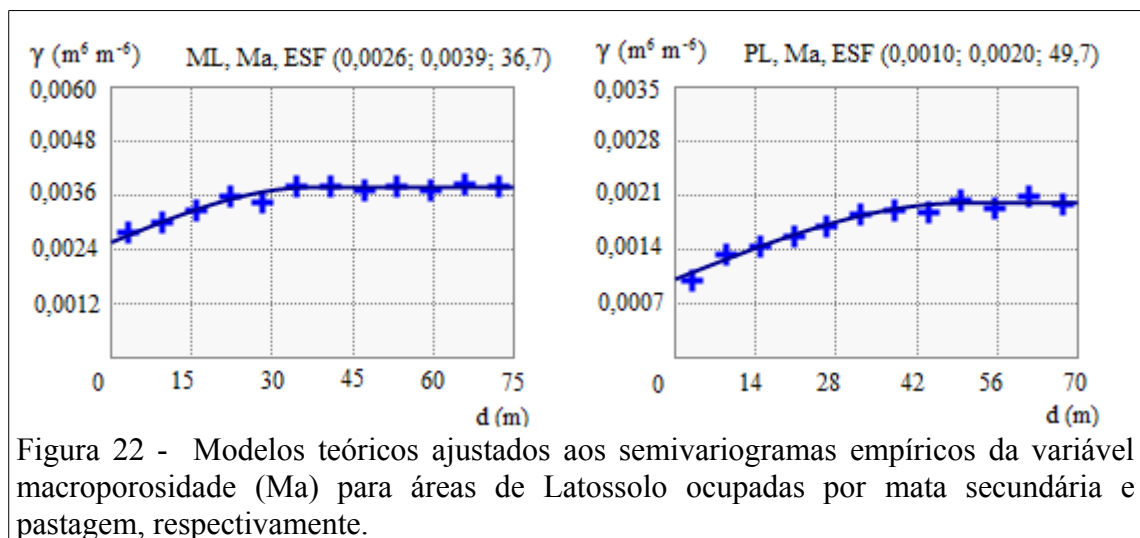


Figura 22 - Modelos teóricos ajustados aos semivariogramas empíricos da variável macroporosidade (M_a) para áreas de Latossolo ocupadas por mata secundária e pastagem, respectivamente.

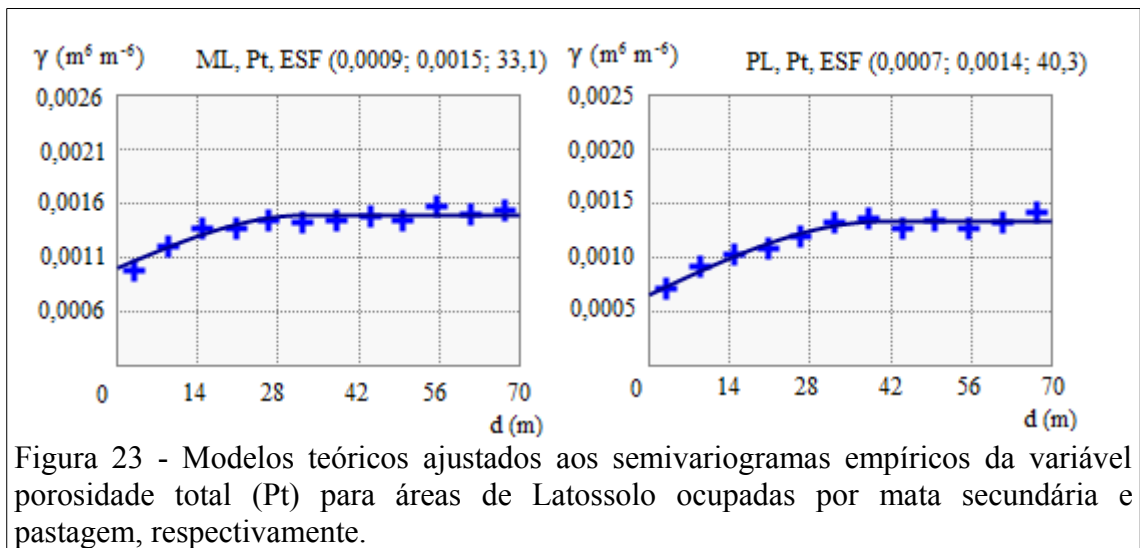


Figura 23 - Modelos teóricos ajustados aos semivariogramas empíricos da variável porosidade total (Pt) para áreas de Latossolo ocupadas por mata secundária e pastagem, respectivamente.

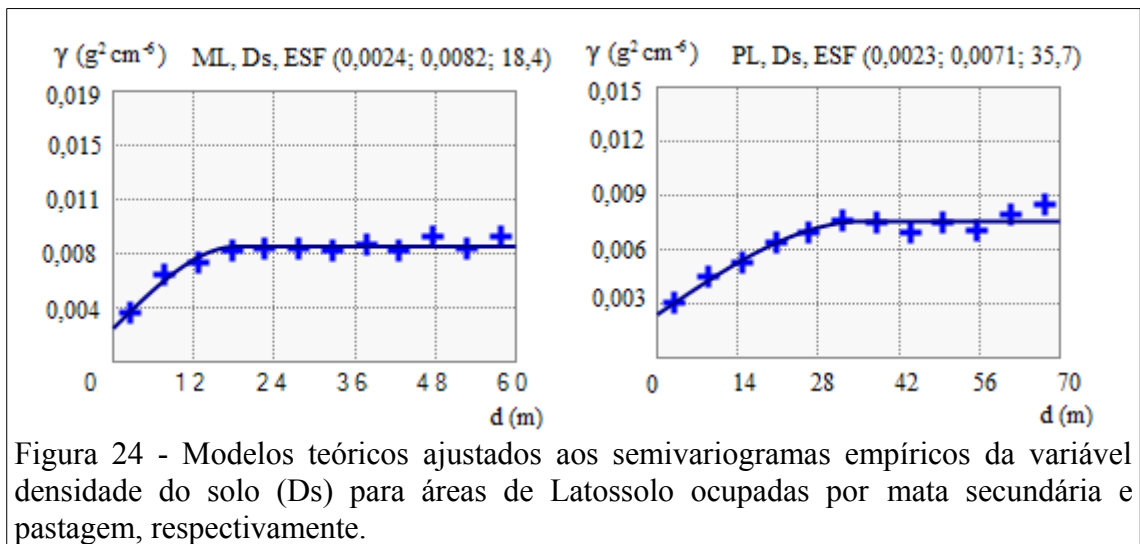


Figura 24 - Modelos teóricos ajustados aos semivariogramas empíricos da variável densidade do solo (Ds) para áreas de Latossolo ocupadas por mata secundária e pastagem, respectivamente.

7. CONCLUSÕES GERAIS

Para o objetivo do Capítulo 1, que foi estudar o padrão da variabilidade espacial dos atributos físicos do solo condutividade hidráulica em solo saturado, microporosidade, macroporosidade, porosidade total e densidade do solo para áreas de Latossolo, Argissolo e Cambissolo ocupadas por pastagens:



- Os resultados da estatística descritiva e o fato do padrão da dependência espacial não ter se mantido constante indica que as classes de solo influenciaram a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo analisadas.
- A média não é suficiente para representar a distribuição espacial das variáveis analisadas.
- A malha de amostragem usada foi adequada, pois permitiu captar a dependência espacial da maioria das variáveis analisadas.

Para o objetivo do Capítulo 2, que foi estudar o padrão da variabilidade espacial de atributos físicos do solo para áreas de Latossolo ocupadas por pastagem e mata secundária:

- Os parâmetros dos semivariogramas ajustados para modelar a dependência espacial dos atributos físicos do solo analisados, as superfícies provenientes da krigagem e os resultados da estatística descritiva indicam que o padrão da dependência espacial variou conforme o uso da terra e que a média não é suficiente para representar as superfícies interpoladas.
- A malha de amostragem usado no estudo foi adequada, pois foi possível detectar a dependência espacial em todos os casos analisados.

8. APÊNDICE GERAL

APÊNDICE A

	Universidade Federal de Viçosa Engenharia de Agrimensura e Cartográfica Monografia de Marco Geodésico	
---	--	---

Identificação do Marco: PC_01	
Data de ocupação: 11/07/2011	Tempo de ocupação: 1 hora e 30 minutos
Receptor: marca TechGeo, modelo GTR-A (L1)	
Responsável técnico pelo rastreamento e processamento dos dados: Wellington D. Guimarães	
Localização: final da estrada de acesso a área e dentro de um cafezal. Fica ao lado da pastagem onde foram coletadas as amostras de solo referentes à área de estudo de pastagem e Cambissolo. Tanto o cafezal quanto a pastagem de são de propriedade de Nair Pereira de Freitas.	
Descrição da Materialização: parafuso cravado em marco de concreto cilíndrico.	

SIRGAS 2000	
COORDENADAS ELIPSOIDAIAS	Precisões (m)
Latitude(ϕ) = 20° 49' 18,50867" S	$\sigma_{(\phi)} = 0,002$
Longitude(λ) = 42° 51' 16,86175" W	$\sigma_{(\lambda)} = 0,001$
Altitude (h) = 772,087 m	$\sigma_{(h)} = 0,002$
Coordenadas Planas UTM (m)	
N= 7.696.086,911	E= 723.262,965
Meridiano central = 45° W	
Fator K = 1,0002161	
Convergência Meridiana= -0° 45' 46,4"	
Coordenadas LTM (m)	
N= 2.696.622,714	E= 163.079,799
Meridiano Central= 42° 30' W	

COORDENADAS NO PLANO TOPOGRÁFICO LOCAL (m)	
X = 149.689,995	
Y = 249.626,945	
Altitude Ortométrica (H) Datum Imbituda - SC	
H = 778,677 m	Ondulação = -6,59 m
Observações: Usou-se o ponto médio (N=7.696.460 m; E= 723.573 m; H= 780 m) dos pontos rastreados como origem do Plano Topográfico Local, ao qual atribuiu-se as coordenadas $X_o=150.000,000$ m e $Y_o=250.000,000$ m. O <i>software</i> usado para conversão foi o Topograph versão 98.1.14. Fonte da ondulação do geoide: <i>software</i> do IBGE MAPGEO2010 versão 1.0.	

Foto





Universidade Federal de Viçosa
Engenharia de Agrimensura e Cartográfica
 Monografia de Marco Geodésico



Identificação do Marco: PA_01	
Data de ocupação: 16/08/2011	Tempo de ocupação: 1 hora e 54 minutos
Receptor: marca TechGeo, modelo GTR-A (L1)	
Responsável técnico pelo rastreamento e processamento dos dados: Wellington D. Guimarães	
Localização: quintal na propriedade de Adão Célio da Silva. Fica ao lado da pastagem onde foram coletadas as amostras de solo referentes à área de estudo de pastagem e Argissolo.	
Descrição da Materialização: parafuso cravado em marco de concreto cilíndrico.	

SIRGAS 2000	
COORDENADAS ELIPSOIDAIAS	Precisões (m)
Latitude(ϕ) = 20° 49' 18,93318" S	$\sigma_{(\phi)} = 0,001$
Longitude(λ) = 42° 51' 12,77707" W	$\sigma_{(\lambda)} = 0,001$
Altitude (h) = 755,075	$\sigma_{(h)} = 0,001$
Coordenadas Planas UTM (m)	
N= 7.696.072,280	E= 723.380,913
Meridiano central = 45° W	
Fator K = 1,0002167	
Convergência Meridiana= -0° 45' 47,9"	
Coordenadas LTM (m)	
N= 2.696.609,917	E= 163.197,936
Meridiano Central= 42° 30' W	

COORDENADAS NO PLANO TOPOGRÁFICO LOCAL (m)	
X = 149.807,932	
Y = 249.612,316	
Altitude Ortométrica (H) Datum Imbituda - SC	
H = 761,645 m	Ondulação = -6,57 m
Observações: Usou-se o ponto médio (N=7.696.460 m; E= 723.573 m; H= 780 m) dos pontos rastreados como origem do Plano Topográfico Local, ao qual atribuiu-se as coordenadas $X_o=150.000,000$ m e $Y_o=250.000,000$ m. O <i>software</i> usado para conversão foi o Topograph versão 98.1.14. Fonte da ondulação do geóide: <i>software</i> do IBGE MAPGEO2010 versão 1.0.	

Foto





Universidade Federal de Viçosa
Engenharia de Agrimensura e Cartográfica
 Monografia de Marco Geodésico



Identificação do Marco: PL 01	
Data de ocupação: 01/03/2012	Tempo de ocupação: 1 hora e 25 minutos
Receptor: marca TechGeo, modelo GTR-A (L1)	
Responsável técnico pelo rastreamento e processamento dos dados: Wellington D. Guimarães	
Localização: próximo a uma lagoa na propriedade de Sebastião Lopes da Silva Filho. Fica ao lado da pastagem onde foram coletadas as amostras de solo referentes à área de estudo de pastagem e Latossolo.	
Descrição da Materialização: parafuso cravado em marco de concreto cilíndrico.	

SIRGAS 2000	
COORDENADAS ELIPSOIDAIAS	Precisões (m)
Latitude(ϕ) = 20° 49' 10,43441" S	$\sigma_{(\phi)} = 0,002$
Longitude(λ) = 42° 50' 54,28604" W	$\sigma_{(\lambda)} = 0,001$
Altitude (h) = 743,261	$\sigma_{(h)} = 0,002$
Coordenadas Planas UTM (m)	
N= 7.696.326,554	E= 723.919,137
Meridiano central = 45° W	
Fator K = 1,0002197	
Convergência Meridiana= -0° 45' 54,2"	
Coordenadas LTM (m)	
N= 2.696.872,456	E= 163.732,04
Meridiano Central= 42° 30' W	

COORDENADAS NO PLANO TOPOGRÁFICO LOCAL (m)	
X = 150.346,104	
Y = 249.866,568	
Altitude Ortométrica (H) Datum Imbituda - SC	
H = 749,831 m	Ondulação = -6,57 m
Observações: Usou-se o ponto médio (N=7.696.460 m; E= 723.573 m; H= 780 m) dos pontos rastreados como origem do Plano Topográfico Local, ao qual atribuiu-se as coordenadas $X_0=150.000,000$ m e $Y_0=250.000,000$ m. O <i>software</i> usado para conversão foi o Topograph versão 98.1.14. Fonte da ondulação do geóide: <i>software</i> do IBGE MAPGEO2010 versão 1.0.	

Foto





Universidade Federal de Viçosa
Engenharia de Agrimensura e Cartográfica
 Monografia de Marco Geodésico



Identificação do Marco: ML_01	
Data de ocupação: 04/05/2012	Tempo de ocupação: 2 horas e 26 minutos
Receptor: marca TechGeo, modelo GTR-A (L1)	
Responsável técnico pelo rastreamento e processamento dos dados: Wellington D. Guimarães	
Localização: pastagem na propriedade de Vicente Tadeu da Silva. Fica ao lado da mata secundária de propriedade de Gilmar Edilberto Valente, onde foram coletadas as amostras de solo referentes à área de estudo de mata secundária e Latossolo.	
Descrição da Materialização: parafuso cravado em marco de concreto cilíndrico.	

SIRGAS 2000	
COORDENADAS ELIPSOIDAIS	Precisões (m)
Latitude(ϕ) = 20° 48' 41,97174" S	$\sigma_{(\phi)} = 0,001$
Longitude(λ) = 42° 51' 04,77213" W	$\sigma_{(\lambda)} = 0,001$
Altitude (h) = 795,462	$\sigma_{(h)} = 0,001$
Coordenadas Planas UTM (m)	
N= 7.697.206,056	E= 723.627,563
Meridiano central = 45° W	
Fator K = 1,0002181	
Convergência Meridiana= -0° 45' 49,4"	
Coordenadas LTM (m)	
N= 2.697.747,148	E= 163.426,922
Meridiano Central= 42° 30' W	

COORDENADAS NO PLANO TOPOGRÁFICO LOCAL (m)	
X = 150.054,558	
Y = 250.745,985	
Altitude Ortométrica (H) Datum Imbituda - SC	
H = 802,042 m	Ondulação = -6,58 m
Observações: Usou-se o ponto médio (N=7.696.460 m; E= 723.573 m; H= 780 m) dos pontos rastreados como origem do Plano Topográfico Local, ao qual atribuiu-se as coordenadas $X_0=150.000,000$ m e $Y_0=250.000,000$ m. O <i>software</i> usado para conversão foi o Topograph versão 98.1.14. Fonte da ondulação do geóide: <i>software</i> do IBGE MAPGEO2010 versão 1.0.	

Foto





Identificação do Marco: ML 02	
Data de ocupação: 04/05/2012	Tempo de ocupação: 2 horas e 21 minutos
Receptor: marca TechGeo, modelo GTR-A (L1)	
Responsável técnico pelo rastreamento e processamento dos dados: Wellington D. Guimarães	
Localização: pastagem na propriedade de Vicente Tadeu da Silva. Fica ao lado da mata secundária de propriedade de Gilmar Edilberto Valente, onde foram coletadas as amostras de solo referentes à área de estudo de mata secundária e Latossolo.	
Descrição da Materialização: parafuso cravado em marco de concreto cilíndrico.	

SIRGAS 2000	
COORDENADAS ELIPSOIDAIAS	Precisões (m)
Latitude(ϕ) = 20° 48' 41,55113" S	$\sigma_{(\phi)} = 0,001$
Longitude(λ) = 42° 51' 04,76427" W	$\sigma_{(\lambda)} = 0,001$
Altitude (h) = 800,912	$\sigma_{(h)} = 0,001$
Coordenadas Planas UTM (m)	
N= 7.697.218,990	E= 723.627,963
Meridiano central = 45° W	
Fator K = 1,0002181	
Convergência Meridiana= -0° 45' 49,4"	
Coordenadas LTM (m)	
N= 2.697.760,084	E= 163.427,122
Meridiano Central= -42° 30' W	

COORDENADAS NO PLANO TOPOGRÁFICO LOCAL (m)	
X = 150.054,958	
Y = 250.758,9177	
Altitude Ortométrica (H) Datum Imbituda - SC	
H = 807,492 m	Ondulação = -6,58 m
Observações: Usou-se o ponto médio (N=7.696.460 m; E= 723.573 m; H= 780 m) dos pontos rastreados como origem do Plano Topográfico Local, ao qual atribuiu-se as coordenadas $X_0=150.000,000$ m e $Y_0=250.000,000$ m. O <i>software</i> usado para conversão foi o Topograph versão 98.1.14. Fonte da ondulação do geóide: <i>software</i> do IBGE MAPGEO2010 versão 1.0.	

Foto

