

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS SOLOS DE UMA
MICROBACIA DEGRADADA EM VERA CRUZ, SP

FERNANDO CESAR BERTOLANI

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia Agrícola, da Universidade Estadual de
Campinas, para obtenção do título de Mestre em
Engenharia Agrícola, na Área de Concentração:
Água e Solo

CAMPINAS
Estado de São Paulo - Brasil
Agosto - 1998

58 23113



UNIDADE	BC
N.º DEPARTAMENTO:	UNICAMP
	B462c
V.º	0
TIPO DE B.O.	35836
PREÇO	395,98
C.º	0 <input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	14/11/98
N.º CPD	

CM-00119207-6

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

B462c

Bertolani, Fernando Cesar

Caracterização física dos solos de uma microbacia degradada, em Vera Cruz-SP. / Fernando Cesar Bertolani.--Campinas, SP: [s.n.], 1998.

Orientador: Sidney Rosa Vieira

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Solos - Conservação. 2. Solos - Degradação. 3. Bacias hidrográficas. I. Vieira, Sidey Rosa. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS SOLOS DE UMA
MICROBACIA DEGRADADA EM VERA CRUZ, SP

FERNANDO CESAR BERTOLANI

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Dr. SIDNEY ROSA VIEIRA

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia Agrícola, da Universidade Estadual de
Campinas, para obtenção do título de Mestre em
Engenharia Agrícola, na Área de Concentração:
Água e Solo

CAMPINAS
Estado de São Paulo - Brasil
Agosto - 1998

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS SOLOS DE UMA
MICROBACIA DEGRADADA EM VERA CRUZ, SP

FERNANDO CESAR BERTOLANI

Aprovado em: _____

Comissão julgadora:

Dr. Sidney Rosa Vieira

Prof. Dr. Newton Roberto Boni

Dra. Sonia Carmela Falci Dechen

Parecer

Este exemplar corresponde a redação final da dissertação de Mestrado defendida por Fernando Cesar Bertolani e aprovada pela Comissão Julgadora em de julho de 1998. Campinas, 02 de outubro de 1998.

Sidney Rosa Vieira

PqC. Dr. SIDNEY ROSA VIEIRA

Orientador

Presidente da Banca

Aos meus pais, SYLVIO B. BERTOLANI
e ROSEMARY APP. G. BERTOLANI,
por toda uma história “enraizada” no amor,
dedicação e incentivo que me permitiu
atingir este patamar.

DEDICO

À minha esposa ANA LIRIA, uma
companheira muito especial em todos os
sentidos

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus que nos conduz, mediante Sua imensurável sabedoria, ao caminho da verdade e do amor.

Ao Pesquisador Científico Dr. Sidney Rosa Vieira pelas sugestões, orientação e principalmente pelo exemplo de companheirismo e dedicação.

Aos meus sogros Benedito Francisco Sacomano e Liria Marina Lunardi Sacomano que estão sempre incentivando meu crescimento profissional.

Às minhas irmãs Silmary Bertolani e Andrea Bertolani que me apoiam e torcem por mim.

Ao amigo Marcelo Araújo por solucionar as diversas dúvidas que tive em relação a utilização do sistema de informação geográfica Idrisi.

À Faculdade de Engenharia Agrícola pela cooperação e amizade de seus docentes e pessoal de apoio e administrativo.

À Seção de Conservação do Solo do Instituto Agrônomo pela disponibilização de toda sua estrutura e acolhida amiga dos pesquisadores e pessoal de apoio que foram fundamentais para a realização deste trabalho.

À técnica de laboratório do IAC Luzia Aparecida Felisbino da Silva por ter que ouvir n vezes: “como estão as amostras?”.

À Seção de Pedologia do Instituto Agrônomo pela amizade e apoio dos pesquisadores e pessoal de apoio.

Aos técnicos de apoio José da Silva Pinto Filho e Amarildo Cândido da Silva, e ao Engenheiro Agrônomo Fabrício Garcia Spolon pela ajuda na realização da trabalhosa e numerosa coleta de dados.

À FAPESP pelo financiamento deste projeto - processo nº 96/04338-9.

SUMÁRIO

Lista de figuras.....	i
Lista de tabelas.....	iv
Lista de apêndices.....	v
Resumo.....	vi
Summary.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO.....	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1. Comportamento das propriedades físicas dos solos em diferentes usos e manejos.....	7
3.2. Variabilidade espacial.....	10
3.3. Sistema de informação geográfica.....	13
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
4.1. Meio físico.....	15
4.2. Coleta e análise das amostras.....	19
4.3. Determinações estatísticas.....	26
4.4. Utilização do sistema de informação geográfica.....	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
5.1. Espessura do horizonte A em latossolo vermelho-escuro (LE) e podzólico vermelho-amarelo abrupto (PV2)	
5.2. Comportamento das propriedades físicas estudadas.....	34
5.2.1. Densidade do solo.....	34
5.2.2. Porosidade total.....	35
5.2.3. Curva de retenção.....	36
5.3. Variabilidade espacial da infiltração da água no solo e espessura do horizonte A, em LE, nos cultivos de café e pastagem.....	39

5.4. Variabilidade espacial da infiltração da água no solo e espessura do horizonte A+E, em Podzólico vermelho-amarelo abrupto, nos cultivos de café e pastagem, e em mata/capoeira	44
5.5. Mapas temáticos gerados a partir dos valores de densidade do solo e porosidade total, utilizando o banco de dados do SIG-Idrisi.....	52
6. CONCLUSÕES.....	60
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da microbacia hidrográfica do córrego Água F Vera Cruz, SP	17
Figura 2. Locais de coleta dos anéis volumétricos utilizados para a determinação de densidade do solo, macro e microporosidade e curva de retenção de água, na microbacia do córrego da Água F, Vera Cruz (SP)	20
Figura 3. Câmaras de Richards utilizadas para a determinações da curva de retenção (fotografia do Folder do laboratório de física do solo, IAC).....	22
Figura 4. Locais das malhas de amostragens utilizadas para determinação da infiltração de água em solo saturado e espessura do horizonte A, na microbacia do córrego da Água F, Vera Cruz (SP)	24
Figura 5. Permeâmetro de carga constante no campo (modelo IAC) utilizado para as medições da infiltração da água no solo saturado (fotografia do Folder do laboratório de física do solo, IAC).....	25
Figura 6. Toposseqüência representativa das unidades de solo da microbacia hidrográfica.....	29
Figura 7. Mapa tridimensional da espessura do horizonte A em latossolo vermelho-escuro (LE), nos cultivos de café e pastagem.....	31
Figura 8. Mapa tridimensional da espessura do horizonte A+E em podzólico vermelho-amarelo abrupto (PV2), nos cultivos de café, pastagem e capoeira.....	33
Figura 9. Curva de retenção de água em LE, sob os cultivos de pastagem e café.....	37

Figura 10. Curva de retenção de água em PV1, sob os cultivos de pastagem e café.....	37
Figura 11. Curva de retenção de água em PV2, sob os cultivos de pastagem, café e capoeira.....	38
Figura 12. Curva de retenção de água em PV3, sob cultivos de pastagem e café.....	38
Figura 13. Curva de retenção de água em R (solo litólico), sob os cultivos de pastagem e capoeira.....	39
Figura 14. Semivariogramas escalonados da infiltração da água no horizonte A e B, e espessura do horizonte A, sob o cultivo de pastagem..	42
Figura 15. Semivariogramas escalonados da infiltração da água no horizonte A e B e espessura do horizonte A, sob o cultivo de café.....	43
Figura 16. Semivariogramas escalonados da infiltração da água no horizonte A, E e B e espessura do horizonte A+E, sob o cultivo de café .	47
Figura 17. Semivariogramas escalonados da infiltração da água no horizonte A, E e B e espessura do horizonte A+E, sob o cultivo de mata/capoeira.....	48
Figura 18. Semivariogramas escalonados da infiltração da água no horizonte A, E e B e espessura do horizonte A+E, sob o cultivo de pastagem.....	49
Figura 19. Semivariogramas cruzados da infiltração da água no horizonte A em relação à espessura do horizonte A+E, nos cultivos de café e capoeira, em PV2.....	51
Figura 20. Imagem tridimensional da microbacia hidrográfica do córrego Água F, Vera Cruz (SP)	54

Figura 21. Procedimento para obtenção da imagem contendo informações de solo e uso da microbacia hidrográfica do córrego Água F, Vera Cruz (SP)	55
Figura 22. Mapa temático de densidade do solo, nos horizontes A e B, das unidades de solo da microbacia do córrego Água F	58
Figura 23. Mapa temático de porosidade total, nos horizontes A e B, das unidades de solo da microbacia do córrego Água F	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Degradação do solo provocada pelo homem.....	6
Quadro 2. Unidades de solo da microbacia hidrográfica	18
Quadro 3. Propriedades físicas das unidades de solo da microbacia, nos horizontes e cultivos analisados	35
Quadro 4. Parâmetros da estatística descritiva utilizados nas malhas de amostragens para infiltração da água no solo (mm/h) e espessura do horizonte A (cm).....	40
Quadro 5. Espessuras do horizonte A em latossolo vermelho-escuro e podzólico vermelho-amarelo abrupto, sob os cultivos de café, mata/capoeira e pastagem.....	46

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice 1 - Mapa de solos da microbacia hidrográfica	70
Apêndice 2 - Mapa de uso da terra da microbacia hidrográfica	71
Apêndice 3 – Parâmetros do semivariograma para a infiltração da água no solo e espessura do horizonte A.....	72
Apêndice 4 - Descrição morfológica dos solos da microbacia hidrográfica.	73
Apêndice 5 - Dados analíticos das unidades de solos da microbacia	76
Apêndice 6 – Procedimento utilizado para a realização da análise de geoestatística.....	77
Apêndice 7 - Procedimento utilizado para a obtenção dos mapas de: solo, uso, declividade e temáticos, gerados no sistema de informação geográfica Idrisi.....	82
Apêndice 8 - Dados de infiltração da água com as respectivas análises de estatística descritiva.....	85

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS SOLOS DE UMA MICROBACIA DEGRADADA EM VERA CRUZ, SP

Autor: FERNANDO CESAR BERTOLANI

Orientador: SIDNEY ROSA VIEIRA

RESUMO

O conhecimento das propriedades físicas dos solos em microbacias hidrográficas, principalmente aquelas que indicam a presença de processos erosivos e de degradação, representa um passo inicial e fundamental para a realização de planejamentos conservacionistas. Este trabalho foi conduzido com o objetivo de caracterizar as propriedades físicas dos solos de uma microbacia hidrográfica degradada e também avaliar a variabilidade espacial da infiltração da água em solo saturado e espessura do horizonte A. As amostras e determinações foram realizadas no período de 1996/97, na microbacia hidrográfica do Córrego Água F, Vera Cruz (SP), seguindo-se o seguinte esquema de amostragem: malhas regulares com espaçamento de 10 x 10 m, totalizando 25 pontos, para determinações da infiltração (horizontes A, E e B) e espessura do horizonte A, em latossolo vermelho-escuro (LE) e podzólico vermelho-amarelo abrupto (PV2), nos usos: café, pastagem e mata/capoeira (LE/Café, LE/Pasto, PV2/Café, PV2/Pasto, PV2/Capoeira); os

anéis volumétricos foram coletados em pontos distribuídos em função de solo e uso: 6 perfis em latossolo vermelho-escuro; 4 em podzólico vermelho-amarelo; 4 em podzólico vermelho-amarelo abrupto; 2 em podzólico vermelho-amarelo abrupto raso e 2 perfis em solo litólico), abrangendo todas as unidades de solos da microbacia destinadas às atividades agropecuárias. Os dados obtidos nas malhas quadriculadas foram submetidos à análise da estatística descritiva que, pelos parâmetros analisados, apontou elevada variação da espessura do horizonte A e principalmente da infiltração da água. Com a técnica da geoestatística, utilizando-se o semivariograma escalonado, foi possível detectar estrutura de dependência espacial para a espessura do horizonte A, sob o cultivo de café em ambos os solos (LE e PV2), e também para a infiltração no horizonte E do PV2, em café, pastagem e mata/capoeira. Através do semivariograma cruzado verificou-se correlação espacial positiva entre a espessura do horizonte A e a infiltração, em PV2/Café e PV2/Capoeira. O sistema de informação geográfica Idrisi foi utilizado, como suporte informático, tanto para a escolha dos locais de amostragens, como também para melhorar a visualização dos resultados. Com o Idrisi foi possível construir um banco de dados possibilitando a confecção dos mapas temáticos de densidade e porosidade total. A densidade do solo nos horizontes superficiais no LE, em pastagem e café, mostrou correlação positiva com a infiltração da água. Este fato, aliado à reduzida espessura dos horizontes superficiais, indica intenso processo de degradação dessa unidade de solo. Para o PV2 verificou-se diminuição da espessura do horizonte A, nas culturas de café e pastagem, em relação à encontrada sob mata/capoeira. A perda do horizonte A nas áreas com cultivo indica a ocorrência do processo erosivo e também a importância da cobertura vegetal na preservação e manutenção das camadas superficiais do PV2.

SOIL PHYSICAL CHARACTERIZATION FOR A DEGRADATE
CATCHMENT BASIN, AT VERA CRUZ - SP

Author: FERNANDO CESAR BERTOLANI

Adviser: SIDNEY ROSA VIEIRA

SUMMARY

The knowledgement of soil physical properties in a catchment basin, in special at places which show signs of erosion and degradation, represent the first step for a successful conservation planning as well as to provide additional information for the application of mathematical models that determine the soil erosion potential. This study was carried out to characterize the physical properties of the soil units within a catchment basin and, to evaluate the spatial variability of infiltration rate and thickness of the A horizon, in soil units utilized for agriculture and pasture activities. Soil samples and field measurements were obtained in 1996/97 in the catchment basin in Vera Cruz (SP), according to: regular square grid with 10 meters space, resulting in 25 sampling points at which the saturated rate infiltration and thickness of the A horizon were determined, in dark-red latosol - LE (hapludox) and yellow-red podzolic - PV2 (kandudalf) in: coffee, pasture and natural vegetation; undisturbed soil core samples were collected at 18 points in soil units used for agricultural production. Statistical analysis showed a high

variability in the thickness of the A horizon and soil water infiltration. Through the semivariogram it was possible to show the spatial dependence structure for thickness of A horizon in coffee crop in two soils (LE and PV2). This structure was found for soil water infiltration in the transition horizon of PV2, for all crops. Geographical Information System (Idrisi) was utilized to help the choice of sampling places by overlaying soil map and land use, and to show the spatial results. A data base within the GIS/Idrisi was also created to make the thematic maps of bulk density and soil porosity for the A and B horizons. The cross-semivariogram showed positive spatial correlation between thickness and soil water infiltration, in PV2/coffee crop and PV2/natural vegetation. The bulk density for the LE superficial horizon, in pasture and coffee crop, shows positive correlation with soil water infiltration. This fact and the small thickness of the superficial horizon, indicated a intensive degradation process in this soil unit. In PV2 there was larger variation and also decrease of the thickness of the A horizon, in coffee crop and pasture as obtained in natural vegetation. The loss of the A horizon in the areas used for agricultural production is a further indication of the erosion process and the important function of natural vegetation cover in preserving the superficial horizon.

1 - INTRODUÇÃO

A moderna concepção da agricultura é baseada também na sustentabilidade dos recursos naturais, na qual busca-se a otimização da exploração agrícola sem causar degradação ao ambiente, principalmente no que diz respeito ao solo e à água. A manutenção ou melhoria da qualidade dos solos torna-se um aspecto fundamental para a realização dessa agricultura equilibrada.

A microbacia hidrográfica do córrego Água F é uma área representativa do município de Vera Cruz, tanto com relação à fisiografia (geologia, formas de relevo, solos etc), como também no que diz respeito à estrutura fundiária com predominância de propriedades de porte médio e pequeno. Essa microbacia tem se caracterizado pela degradação dos recursos naturais, principalmente dos solos. Tal situação ocorreu devido à exploração agropecuária praticada nessa área, sem a utilização de práticas conservacionistas e sem respeitar a capacidade de suporte dos solos.

O mapa de erosão do Estado de São Paulo (IPT, 1995) mostra, em escala regional, que a bacia hidrográfica do Rio do Peixe, na qual está inserida a microbacia estudada, é considerada crítica quanto à suscetibilidade dos solos à erosão. Associados à suscetibilidade à erosão, nessa região não existem estudos detalhados dos solos, sendo encontradas somente informações generalizadas contidas no mapa de solos do Estado de São Paulo (1:500.000),

o que indica a necessidade de se realizar uma caracterização das propriedades físicas dos solos.

Segundo MONBEIG (1952), na área estudada as atividades agropecuárias iniciaram-se a partir das primeiras décadas deste século. Tal situação provocou, ao longo dos anos, a degradação dos solos, com conseqüente assoreamento dos rios e córregos, gerando problemas econômicos, sociais e ambientais bastante significativos. A degradação da região foi constatada pela visualização de vários sulcos de erosão e voçorocas com conseqüente assoreamento dos córregos.

Para reverter ou mesmo recuperar essa situação de degradação em prol de uma exploração agrícola sustentável, é necessária a aplicação de planejamentos conservacionistas que possibilitem a redução das perdas de solo, otimizando sua exploração. Dentro desse contexto, a caracterização das propriedades físicas dos solos fornece informações que permitem o planejamento das atividades agropecuárias que possam vir a ocorrer na microbacia, com adequado embasamento científico, tendo em vista a recuperação de áreas degradadas.

A aplicação da técnica da geoestatística na caracterização de algumas dessas propriedades físicas estudadas (infiltração da água no solo e espessura do horizonte A) permite detectar a variabilidade espacial e fornecer informações adicionais que não seriam verificadas com a aplicação da estatística descritiva.

A manipulação e visualização de atributos do solo pode ser feita com facilidade utilizando sistemas de informação geográfica (SIG) os quais, segundo ARONOFF (1989), são sistemas baseados em computação, usados para armazenar e manipular informações georreferenciadas. BURROUGH (1986) e FORMAGGIO et al. (1992), mostraram a importância desse sistema

(SIG) em estudos relacionados ao ambiente e aos recursos naturais e no apoio de decisões de planejamento. Portanto, a utilização de um SIG como ferramenta computacional permite mostrar, por meio de mapas, as propriedades físicas estudadas, melhorando a visualização e interpretação dos resultados obtidos.

2 - OBJETIVOS

Caracterizar as propriedades físicas – densidade do solo, porosidade total, micro e macroporosidade e curva de retenção de água – das principais unidades de solos da microbacia hidrográfica do córrego Água F, localizada no município de Vera Cruz, SP, em avançado estágio de degradação.

Avaliar a variabilidade espacial da infiltração da água no solo e da espessura do horizonte A, em malhas regulares de amostragens, em unidades de solos utilizadas para atividades agropecuárias predominantes na microbacia (café e pastagem).

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As atividades agropecuárias desenvolvidas sem um prévio planejamento conservacionista tem provocado a degradação dos solos transportando as camadas superficiais, ricas em matéria orgânica, para os leitos de córregos e rios. Esse grave processo erosivo tem como conseqüências: (a) a redução do teor de matéria orgânica e da qualidade do solo, o que propicia a constante queda das produtividades, (b) a redução do volume de água dos córregos e rios devido ao assoreamento e (c) a contaminação dos mananciais hídricos pelos resíduos dos pesticidas que são carregados junto aos sedimentos.

Essa degradação dos recursos naturais implica em problemas econômicos, representados por maiores investimentos em fertilizantes e defensivos agrícolas para a manutenção de altas produtividades, problemas sociais como o desemprego com conseqüente abandono do meio rural e principalmente problemas ambientais devido à constante perda de qualidade de vida. LAL (1988) indicou algumas conseqüências da falta de planejamentos conservacionistas: redução elevada da produtividade ou mesmo inviabilização de áreas destinadas ao uso agrícola devido aos processos erosivos e assoreamento de cursos d'água. Segundo esse mesmo autor, aproximadamente 17% dos recursos gastos com problemas causados por sedimentação nos Estados Unidos, são destinados à dragagem de milhões de metros cúbicos de sedimentos em rios provenientes de áreas agrícolas.

Existe a erosão natural dos solos, a qual é variável, em função principalmente do relevo, clima e material de origem existentes na região em

que o solo é formado, porém em escalas de milhões de anos. Com a retirada da cobertura vegetal para a exploração agropecuária, ocorre a aceleração de forma bastante preocupante da degradação dos solos representada pela remoção das camadas superficiais e conseqüente sedimentação dos mananciais hídricos. O relatório do Programa para o Meio Ambiente das Nações Unidas (UNITED NATIONS ENVIROMENT PROGRAM, 1991) exemplifica a elevada porcentagem de áreas degradadas dos continentes (Quadro 1), implicando em sérias reduções na produção de alimentos para a população de nosso planeta.

Quadro 1. Degradação do solo provocada pelo homem.

Continente/região	Área degradada em milhões de ha	% em relação ao total da área produtora de biomassa
Mundo	1.964	17
Europa	219	23
África	494	22
Ásia	746	20
Austrália	103	13
América do Sul	243	14
América Central	63	25
América do Norte	96	5

Uma alternativa para solucionar os problemas de degradação depende do conhecimento das propriedades do solo. Os boletins técnicos de levantamentos de solos contêm algumas dessas informações que são importantes aos planejamentos destinados à exploração agropecuária, mas que por si só não atendem todas as necessidades. A complementação desses dados com informações sobre as propriedades físicas, principalmente infiltração da água no solo, curva retenção de água e densidade do solo, juntamente com um

estudo da variabilidade espacial dessas propriedades, tornam-se fundamentais para o conhecimento do comportamento dos solos e os processos de erosão e degradação.

3.1. Comportamento das propriedades físicas dos solos em diferentes usos e manejos

Os sistemas de cultivos influenciam de forma bastante significativa na alteração das propriedades físicas do solo, sendo que a magnitude dessa influência dependerá diretamente do preparo do solo e manejo da cultura utilizada em cada sistema de cultivo.

A composição granulométrica também tem grande influência na variação das propriedades do solo principalmente densidade e porosidade (BRADY, 1974), as quais são importantes índices que permitem detectar as alterações ocorridas no solo devido ao uso. Os valores ótimos para essas propriedades físicas (ARCHER & SMITH, 1972) são atingidos quando proporcionam máxima disponibilidade de água para o desenvolvimento das plantas.

Os fatores relacionados com o preparo do solo que podem causar modificações físicas no perfil são: intensidade de mobilização, tipo de equipamento, manejo de resíduos vegetais e suas condições de umidade no momento de trabalho (ANJOS et al., 1994). Estudo realizado com solos de várzea do Rio Grande do Sul (PEÑA et al., 1996) mostrou que a sucessão de culturas arroz irrigado/pecuária, além de proporcionar baixo retorno financeiro, vem contribuindo para aumentar ainda mais as limitações físicas dos solos de várzeas, pois ambas as explorações afetam negativamente as condições físicas do solo, principalmente pelo pisoteio intenso do gado e uso contínuo de máquinas e implementos agrícolas.

Outros trabalhos também têm mostrado alterações das propriedades físicas sob diferentes sistemas de usos e manejos, em relação ao estado natural, provocando sua degradação (MACHADO et al., 1981; BELTRAME et al., 1981; LEITE & MEDINA, 1984; VIEIRA & MUZILLI, 1984; CENTURION & DEMATTÊ, 1985, VIEIRA et al., 1996).

A infiltração de água no solo, uma das propriedades analisadas neste trabalho, é um processo físico muito complexo, pois o solo é um meio que possui grande variabilidade espacial (VIEIRA et al., 1981; REICHERT et al., 1992). Essa variabilidade está relacionada com o tipo de solo e é atribuída aos sistemas de preparo que afetam os processos de infiltração e evaporação de água principalmente pelas modificações introduzidas na rugosidade superficial e na porosidade (HILLEL, 1980; PAZ & TABOADA, 1996). As modificações ocorridas no solo, provocadas pelos sistemas de preparo, promovem a remoção da cobertura vegetal e desagregação do solo, tornando-o mais suscetível à formação de crosta superficial e, conseqüentemente acelerando os processos erosivos (SALTON & MIELNICZUK, 1995).

Os levantamentos de solos existentes atualmente na região de estudo não possuem informações referentes ao manejo de solo e água, pelo baixo detalhamento de propriedades físicas das unidades de solo (macro e microporosidade, densidade do solo, curva de retenção de água e infiltração da água no solo). O conhecimento dessas propriedades é vital para o sucesso dos planejamentos agropecuários realizados nessa região (ZIMBACK & CARVALHO, 1996).

A espessura do horizonte A dos solos também é uma propriedade importante a ser analisada, principalmente em sistemas de cultivos altamente tecnificados. ALBUQUERQUE et al. (1996) encontraram correlação positiva entre a espessura do horizonte A e produtividade de grãos de milho, em área

de plantio direto. Essa correlação propicia um maior conhecimento da área podendo refletir em redução dos custos no sistema de produção.

Outro fator importante com relação ao horizonte A é o conhecimento da sua espessura de acordo com a posição no relevo. Isto deve ser levado em consideração não apenas nas áreas de exploração comercial, a qual reflete em diferentes produtividades, mas também em áreas experimentais podendo ocorrer alterações no resultado dos tratamentos. Em manejo convencional, estudando a espessura do horizonte A, MILLER et. al. (1988) verificaram que os solos mais rasos estão localizados nos pontos mais inclinados e superiores do relevo, e os mais profundos nas partes mais baixas.

Estudo relacionando a produção agrícola e perdas de horizontes superficiais do solo (LAL, 1985) mostrou que, em solos com horizontes subsuperficiais de baixa fertilidade natural, a adição de fertilizantes não compensa a perda do horizonte superficial.

Em regiões de clima tropical, esse aspecto deve ser levado em consideração, pois a manutenção da matéria orgânica no horizonte superficial do solo, além de melhorar a qualidade do solo, concentra e disponibiliza a maior quantidade de nutrientes nesse horizonte, principalmente com relação ao nitrogênio, que tem na matéria orgânica sua principal fonte.

A influência do manejo sobre o comportamento das propriedades do solo foi verificada também em trabalho realizado por CASTRO et. al. (1987), em latossolo vermelho-amarelo textura argilosa. Nesse trabalho a retenção de água nas camadas superficiais sob plantio direto foi maior em comparação com os resultados obtidos em plantio convencional, sendo reflexo da redução da macroporosidade e do aumento da densidade do solo.

Analisando a retenção de água em diferentes horizontes de um podzólico vermelho-amarelo, MOREIRA & SILVA (1987) encontraram

diferenças na disponibilidade de água entre os horizontes A e B. Esse fato, segundo os autores, ocorre em virtude do maior teor de argila encontrado no horizonte subsuperficial (Bt).

CORRÊA (1984), realizando uma caracterização físico-hídrica em perfis de latossolos e podzólicos, representada pela curva de retenção de água, mostrou a importância de se conhecer o comportamento da retenção de água no solo em trabalhos de planejamentos agropecuários como irrigação e também em cálculos de balanço hídrico para diferentes classes de solo.

Fica evidente que o conhecimento das propriedades físicas dos solos é fundamental para a utilização de um manejo adequado, preservando o horizonte superficial em boas condições para o desenvolvimento das plantas e, evitando alterações indesejáveis nas propriedades do solo que o levaria à degradação.

3.2. Variabilidade Espacial

A estatística descritiva tem como conceito a independência espacial das amostras e também a distribuição normal dos valores. Os seus princípios e fundamentos estão embasados principalmente em FISHER (1950) e SNEDECOR (1967). Algumas variações existentes nos solos têm seu efeito minimizado através de casualização e repetições. A estatística descritiva porém, não permite visualizar determinadas informações que podem, entretanto, ser detectadas com a utilização da geoestatística. O emprego da estatística descritiva tem limitado o uso de metodologias aplicadas na experimentação em uso e manejo do solo. VIEIRA & DE MARIA (1994) indicaram a necessidade de se fazer uso de grandes parcelas, e com muitas repetições, para se ter maior sensibilidade à heterogeneidade do solo. Vários trabalhos têm mostrado que as propriedades do solo não variam ao acaso, mas apresentam correlação ou dependência espacial (VAUCLIN et al., 1982;

VIEIRA et al., 1983; REICHARDT et al., 1984; PREVEDELLO, 1987; MILLER et al., 1988).

Torna-se evidente que o procedimento estatístico descritivo, por si só, passa a ser insuficiente para retratar fielmente os efeitos dos tratamentos, necessitando-se de procedimentos complementares.

A coleta de amostras inteiramente casualizadas e também com um plano espacial determinado (malhas quadriculadas ou transeções) são formas de amostragens que se complementam. A amostragem regionalizada permite tanto o emprego da estatística descritiva quanto o da geoestatística. Daí o interesse por esta forma de amostragem e do estudo da variabilidade do solo (REICHARDT et al., 1986).

A técnica da geoestatística foi elaborada por MATHERON (1963), desenvolvendo a base da teoria das variáveis regionalizadas. Atualmente a geoestatística vem sendo utilizada tanto na ciência do solo (CAMBARDELLA et al., 1994; ALBUQUERQUE et al., 1996; SALVIANO, 1996; VIEIRA et al., 1997) como também em outras áreas: nematologia (WALLACE & HAWKINS, 1994), entomologia (NESTEL & KLEIN, 1995; SCHOTZKO & KNUDSEN, 1992) e principalmente na agricultura de precisão (MCBRATNEY & PRINGLE, 1997; BOUMA, 1997). A aplicação da geoestatística é muito promissora na agricultura de precisão, pois o sucesso dessa técnica depende das informações georreferenciadas do comportamento do solo para a aplicação exata da quantidade de adubo, distribuição de sementes, aplicação de herbicidas etc.

MCBRATNEY & PRINGLE (1997) apontaram a importância do semivariograma para a determinação da variabilidade espacial dos solos, em áreas destinadas à agricultura de precisão. Os autores ressaltaram também a

importância da elaboração do banco de dados contendo todas as informações necessárias, as quais permitem o conhecimento detalhado da área.

A geoestatística detecta se os valores de uma propriedade do solo estão, de alguma forma, relacionados à sua distribuição espacial. Portanto, as observações tomadas a curtas distâncias devem ser mais semelhantes do que aquelas tomadas a distâncias maiores. É sabido que muitas propriedades do solo obedecem a uma distribuição normal, outras porém, como a infiltração da água, condutividade hidráulica, seguem distribuição assimétrica, geralmente log-normal (NIELSEN et al., 1973).

VIEIRA et al. (1981), estudando a infiltração da água no solo, estimaram alguns pontos da população estudada através da krigeagem, que é um processo de interpolação de dados no qual leva-se em consideração os vizinhos mais próximos. Os autores verificaram que o uso de amostragem regionalizada permitiu a solução de problemas ligados à interpretação e uso dos dados da taxa de infiltração nos solos estudados.

A amostragem sistemática e a utilização da geoestatística em estudos realizados em topossequências mostraram-se importantes para o entendimento da variabilidade espacial de alguns parâmetros do solo permitindo, por exemplo, a identificação espacial das áreas de baixa fertilidade e a caracterização da aleatoriedade de capacidade de aeração (MOURA, 1991).

Um dos aspectos de grande interesse na análise da variabilidade espacial de propriedades físicas de solos é o estudo da correlação entre propriedades e seu efeito sobre o comportamento das plantas cultivadas (SALVIANO, 1996). O conhecimento da interação entre propriedades adquire grande importância no desenvolvimento e testes de modelos. Essa técnica possibilita simplificações no estudo de certas propriedades cuja determinação em condições de campo é bastante trabalhosa, como é o caso da

condutividade hidráulica do solo não saturado (BACCHI & REICHARDT, 1992).

Estudos agronômicos dos sistemas solo-água-planta devem considerar tanto a variabilidade natural dos solos provocada pelas diferentes formas com que os fatores e processos de formação do solo atuaram ao longo do tempo (AGBU & OLSON, 1990), como também a variabilidade relacionada ao manejo que acentua a alteração das propriedades dos solos (KACHANOSKI et al., 1985).

Se a variabilidade espacial de ordem antrópica não é considerada, podem ocorrer sérios erros em resultados experimentais e também proporcionar mau uso de áreas agrícolas com finalidade comercial (ALBUQUERQUE et al., 1996). Dentro desse contexto, é fundamental realizar a coleta de um maior número de amostras e, se possível, em formas de malhas regulares.

Para áreas em que já foram utilizadas malhas quadradas para coletas de amostras na avaliação de propriedades do solo, SOUZA et. al. (1997) sugerem para futuras amostragens, que o intervalo tenha valores menores que o alcance da dependência espacial. O intervalo de amostragens recomendado permite a interpolação entre pontos amostrais e também a elaboração de mapa sobre a área estudada.

3.3 Sistema de informação geográfica

LIMA et al. (1992) mostraram que o uso do sistema de informação geográfica no armazenamento e processamento das informações obtidas no campo é fundamental para se obter a sistematização de diferentes fontes de dados, em planos de informação, tais como solos, geologia, topografia, uso/cobertura vegetal etc. Portanto, o SIG possibilita a obtenção de mapas

temáticos, através da digitalização de planos de informação e da posterior integração e manipulação desses dados por meio de regras adequadas.

SILVA et al. (1993), utilizaram um sistema de informação geográfica no estudo de uso da terra, visualizando as variações espaciais e temporais e também, aperfeiçoando o armazenamento e transferência de dados para decisões que conduzem à conservação do solo e da água pela preservação das florestas em solos inaptos às culturas.

BERTOLANI et al. (1997) utilizaram o sistema de informação geográfica Idrisi no levantamento pedológico semidetalhado do município de Vera Cruz, gerando mapas temáticos de propriedades do solo para serem utilizados em trabalhos de planejamento conservacionista nesse município.

Outros trabalhos na área de planejamento agropecuário e estudos de propriedades do solo também utilizaram o SIG (ASSAD, 1995; DONZELLI et al., 1992; FORMAGGIO et al., 1992; LIMA, 1992), mostrando a importância desse sistema para agilizar e obter melhor qualidade nos trabalhos realizados.

4 - MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Meio Físico

Por definição, microbacia hidrográfica compreende uma área de formação natural, drenada por um curso d'água e seus afluentes, a montante de uma seção transversal considerada, para onde converge toda a água da área considerada (BRASIL, 1987). Por se tratar de um ecossistema agrícola, a microbacia hidrográfica constitui um campo ideal para estudo do comportamento dos solos frente ao uso e manejo (FREITAS & KER, 1996).

A microbacia hidrográfica estudada situa-se no oeste do Estado de São Paulo, a sudoeste da província geomorfológica do Planalto Ocidental, entre as coordenadas 22°10' e 22°20' de lat. S e 50°53' e 50°47' de long. W (Figura 1). O clima, segundo Köppen, é caracterizado como Cwa, mesotérmico de inverno seco, com precipitação média anual de 1.254 mm, segundo o Departamento de Água e Energia Elétrica de Garça.

Os solos dessa microbacia têm como material de origem o arenito do Grupo Bauru (Cretácio Superior), formações Marília e Adamantina. A formação Marília é constituída por arenitos de granulação fina a grossa, com presença de nódulos carbonáticos, ocupando áreas de platô elevados na paisagem, associados às escarpas (SOARES et al., 1980). Já a Formação Adamantina ocorre apenas em alguns pontos localizados nas calhas dos rios, sendo constituída por arenitos de granulação fina a muito fina, podendo apresentar cimentação ou nódulos carbonáticos, com lentes de siltitos arenosos e argilitos (IPT, 1981).

Essas formações dão origem a solos de textura arenosa e média, apresentando alta suscetibilidade ao desenvolvimento de sulcos, ravinas e voçorocas (IPT, 1986). Aliado à alta suscetibilidade à erosão, os solos desta microbacia apresentam-se em avançado estágio de degradação, devido à exploração intensiva das atividades agrícolas, sem respeitar sua capacidade de suporte, causando também o assoreamento dos córregos e rios da região.

O relevo da microbacia apresenta dois compartimentos bem definidos: um superior, correspondendo ao platô elevado, e um inferior, representado pelas baixas colinas do Vale do Peixe que desenvolve-se a aproximadamente 100 metros abaixo da escarpa (QUEIROZ NETO & JOURNAUX, 1978).

Em relação à degradação, as áreas mais críticas da microbacia hidrográfica encontram-se principalmente próximo às regiões de declive bastante acentuado (escarpa), englobando os solos podzólicos vermelho-amarelos abruptos e podzólicos vermelho-amarelos abruptos rasos que não possuem mais cobertura vegetal natural.

A vegetação natural é a floresta latifoliada subcaducifolia (LEITÃO FILHO, 1982) apresentando apenas alguns remanescentes nas encostas íngremes ou galerias que margeam os cursos d'água.

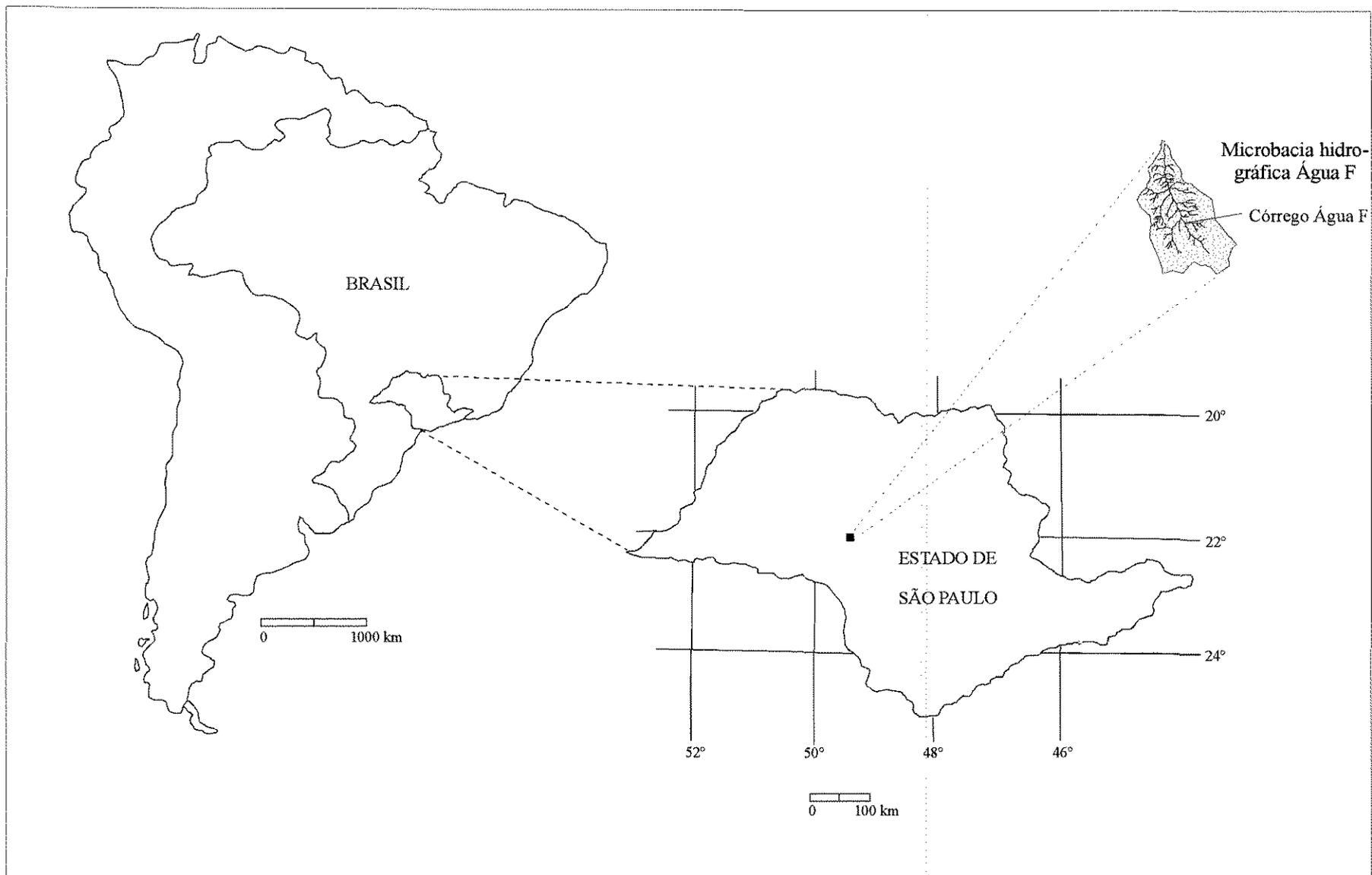


Figura 01: Mapa de localização da microbacia hidrográfica do córrego Água F em Vera Cruz, SP

De acordo com levantamento pedológico detalhado da microbacia hidrográfica do córrego Água F que está sendo realizado pela equipe de Pedologia (Centro de Solos e Recursos Agroambientais) do IAC, o latossolo vermelho-escuro álico textura média (LE) e o podzólico vermelho-amarelo abrupto eutrófico textura arenosa/média (PV2), ocupam a maior área da microbacia (Quadro 2). A área ocupada por unidade de solo foi calculada utilizando o sistema de informação geográfica Idrisi a partir do mapa de solos digitalizado.

Quadro 2. Unidades de solo da microbacia hidrográfica do córrego Água F, em Vera Cruz, SP.

Símbolo	Classificação	Área	
		ha	%
LE	Latossolo vermelho-escuro álico, Tb, A moderado, textura média	146,60	10
PV1	Podzólico vermelho-amarelo distrófico ou álico, Tb, A moderado, textura arenosa/média	212,85	14
PV2	Podzólico vermelho-amarelo eutrófico, Ta, A moderado, textura arenosa/média	925,92	60,5
PV3	Podzólico vermelho-amarelo raso eutrófico, Ta, A moderado, textura arenosa/média	51,97	3,3
R	Solo litólico eutrófico, textura arenosa, substrato arenito	153,29	10
GP	Solo Gley pouco húmico eutrófico	32,26	2
A	Solo aluvial eutrófico	4,20	0,2

4.2. Coleta e análise das amostras

As determinações de **densidade do solo** foram realizadas seguindo as recomendações de CAMARGO et al. (1986) nas principais unidades de solos e manejos mais importantes da microbacia (Figura 2). O cálculo foi efetuado utilizando-se da seguinte equação:

$$D_s = m/V$$

onde D_s é a densidade do solo ($\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$), m é a massa de solo (kg) contida no anel volumétrico e V é o volume do anel volumétrico (dm^3) que contém a amostra.

A porosidade total, macro e microporosidade e a curva de retenção de água foram obtidas com a utilização de câmaras de Richards (RICHARDS & FIREMAN, 1943), seguindo os procedimentos adotados pelo laboratório de Física do solo do Centro de Solos e Recursos Agroambientais (Conservação do solo) do IAC:

Porosidade total: a porosidade total foi determinada utilizando-se o volume de água de uma amostra com volume conhecido, quando a mesma está saturada, pois a água está preenchendo todos os poros da mesma. O seu cálculo é realizado pela diferença entre o peso da amostra saturada (P_{sa}) e o peso da amostra seca (P_{se}), dividida pela densidade da água (d_a). Esse valor obtido é dividido pelo volume da amostra (V_a), sendo representado pela equação:

$$P_t = [(P_{sa} - P_{se}) / d_{H_2O}] / V_a,$$

onde P_t é a porosidade total ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$), P_{sa} é o peso da amostra saturada (kg), P_{se} representa peso (kg) da amostra seca, d_{H_2O} é a densidade da água ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) tendo o valor igual a 1, e V_a é o volume da amostra (m^3).

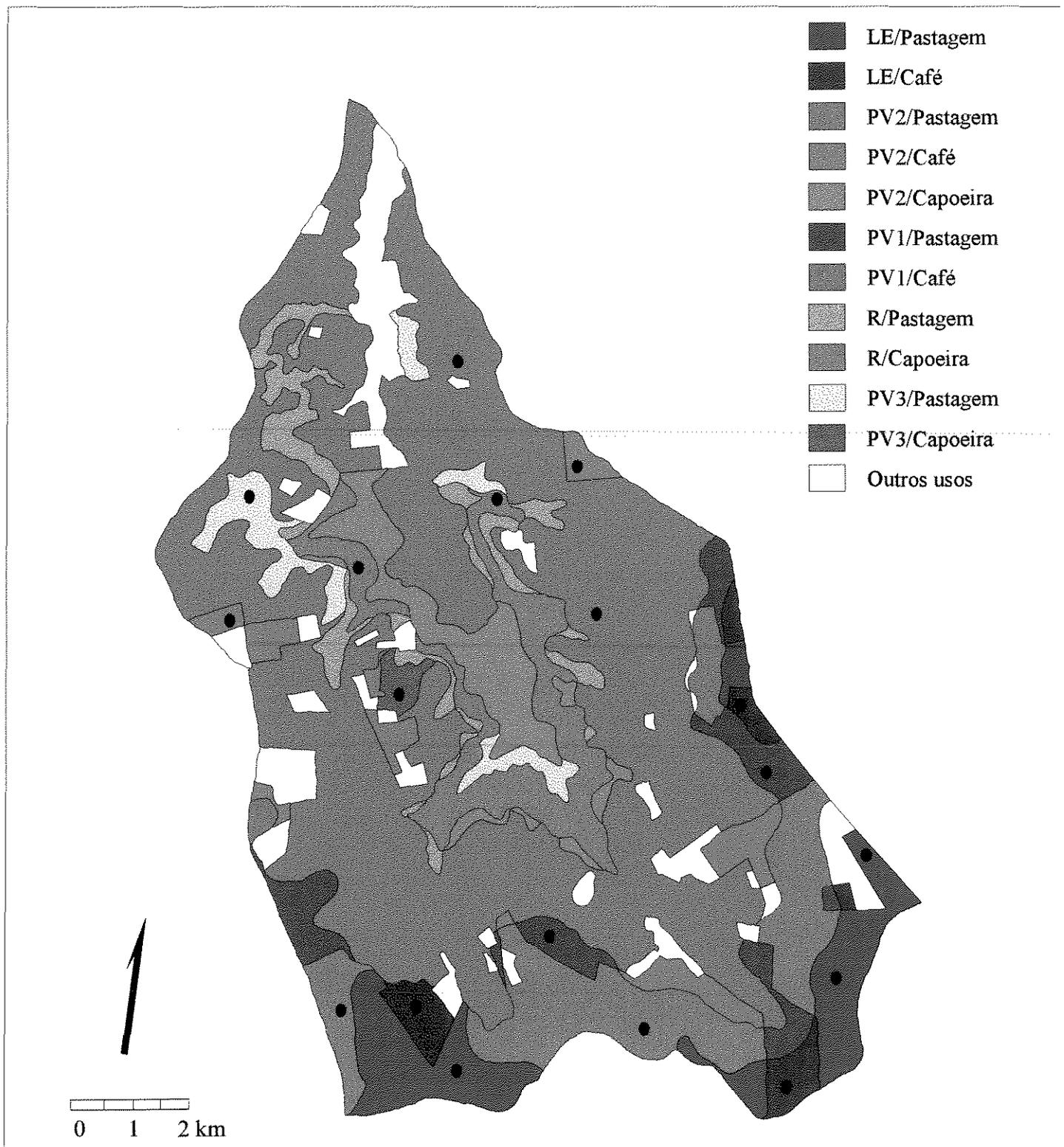


Figura 2. Locais de coleta dos anéis volumétricos utilizados para determinação de densidade do solo, micro e macroporosidade e curva de retenção de água, na microbacia do córrego Água F, Vera Cruz (SP).

Macroporosidade: essa propriedade é determinada pela diferença entre o peso da amostra saturada e o peso após submetida à tensão de 6 kPa. Considera-se, nessa tensão, que toda a água contida nos macroporos é eliminada, restando apenas a água contida nos microporos.

$$\text{Mac} = [(P_{sa} - P_6) / d_{H_2O}] / V_a,$$

onde Mac é a macroporosidade ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$), P_{sa} é o peso saturado (kg), P_6 é o peso da amostra (kg) após submetido a tensão de 6 kPa, d_{H_2O} é a densidade da água ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) com valor igual a 1, e V_a é o volume da amostra (m^3).

Microporosidade: esta propriedade é determinada através da diferença entre a porosidade total e a macroporosidade, calculadas anteriormente. Determinou-se a microporosidade com a seguinte equação:

$$\text{Mic} = P_t - \text{Mac},$$

onde Mic é a microporosidade ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$).

Curva de retenção da água no solo: as curvas foram obtidas em amostras indeformadas coletadas em anéis volumétricos (100 cm^3), as quais foram saturadas com água e submetidas às tensões de 0,5, 2, 6, 10, 30, 100 kPa (tanques de baixas tensões) e, posteriormente com amostras deformadas, submetidas às tensões de 300, 800 e 1500 kPa (câmaras de Richards - altas tensões) sendo pesadas em cada tensão (Figura 3). Após esse processo, as amostras foram levadas à estufa, secas por 24 horas e pesadas novamente. Como a umidade do solo foi determinada pelo volume de água que preenche os poros da amostra e a densidade da água é considerada 1, então seu cálculo foi realizado pela diferença entre o peso da amostra seca e o peso após ser submetida a uma determinada pressão. Esse procedimento foi repetido para todas as tensões (0,5, 2, 6, 10, 30, 100, 300, 800 e 1500 kPa). Portanto, para

cada tensão é determinada uma umidade correspondente. Após realizados os cálculos foi feita a curva de retenção com os valores de teor de água em função das respectivas tensões como mostra o fluxograma abaixo.

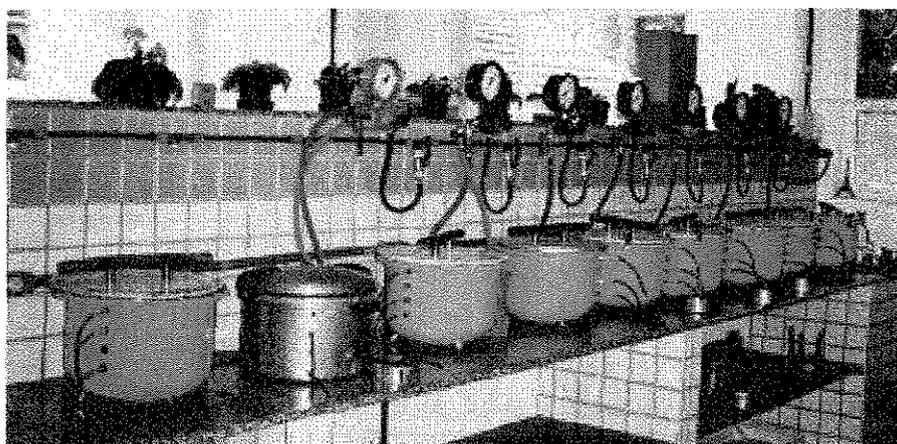
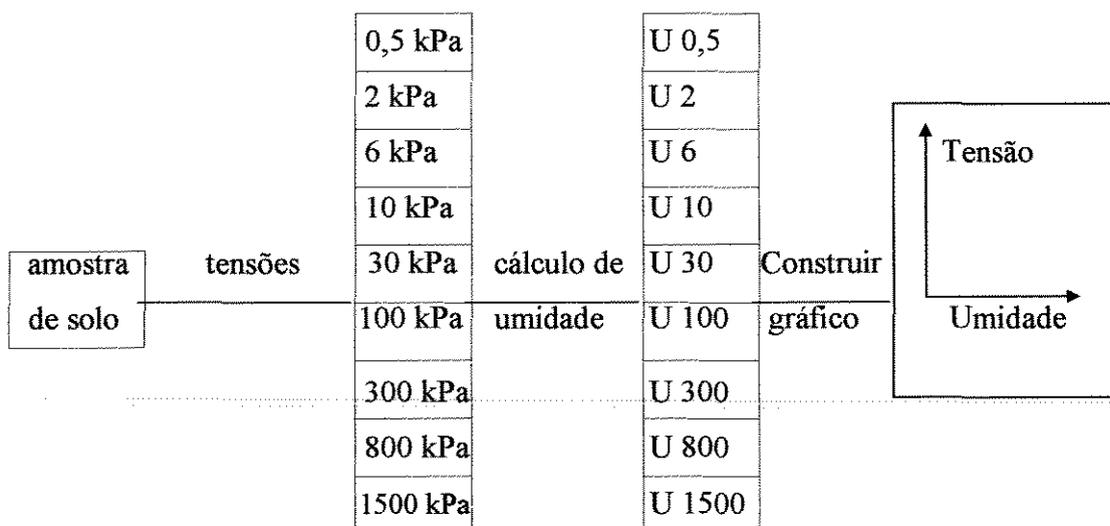


Figura 3. Câmaras de Richards utilizadas nas determinações da curva de retenção (Folder do Laboratório de Física do Solo, IAC)

Para as análises de densidade do solo e de porosidade, as amostras foram coletadas nos horizontes diagnósticos de superfície e subsuperfície, em 18 perfis escolhidos de acordo com o mapa solo x uso, estando distribuídos por toda a microbacia: 6 perfis em latossolo vermelho-escuro - LE (3 em cultivo de café e 3 em pastagem); 4 perfis em podzólico vermelho-amarelo - PV1 (2 em café e 2 em pastagem); 4 perfis em podzólico vermelho-amarelo abrupto - PV2 (2 em café e 2 em pastagem), 2 perfis em podzólico vermelho-amarelo abrupto raso - PV3 (1 em café e 1 em pastagem) e 2 perfis em solo litólico (1 em pastagem e 1 em mata/capoeira).

Nas unidades de solo utilizadas para as atividades agropecuárias de maior representatividade (café e pastagem) e em condição natural (capoeira) foram efetuadas as determinações de infiltração e espessura do horizonte A em parcelas de 40 x 40 m, com pontos de 10 em 10 m (Figura 4). Essas parcelas constituem-se em malhas quadriculadas com um total de 25 pontos onde cada estaca representa um local de amostragem. As determinações foram realizadas em função de solo e uso.

Para o LE foram realizadas as determinações nos horizontes A e B, sob os cultivos de café e pastagem; para o PV2, nos horizontes A, E e B, sob os cultivos de café, pastagem e em mata/capoeira.

Não foi realizada malha de amostragem em mata/capoeira no LE devido à inexistência de áreas preservadas nessa unidade de solo. No PV2, a determinação da infiltração da água no horizonte E foi realizada próximo ao horizonte Bt, para detectar a influência da transição abrupta determinada tanto pelo incremento de argila como também pelo maior adensamento do horizonte Bt.

A descrição morfológica foi realizada segundo LEMOS & SANTOS, 1996).

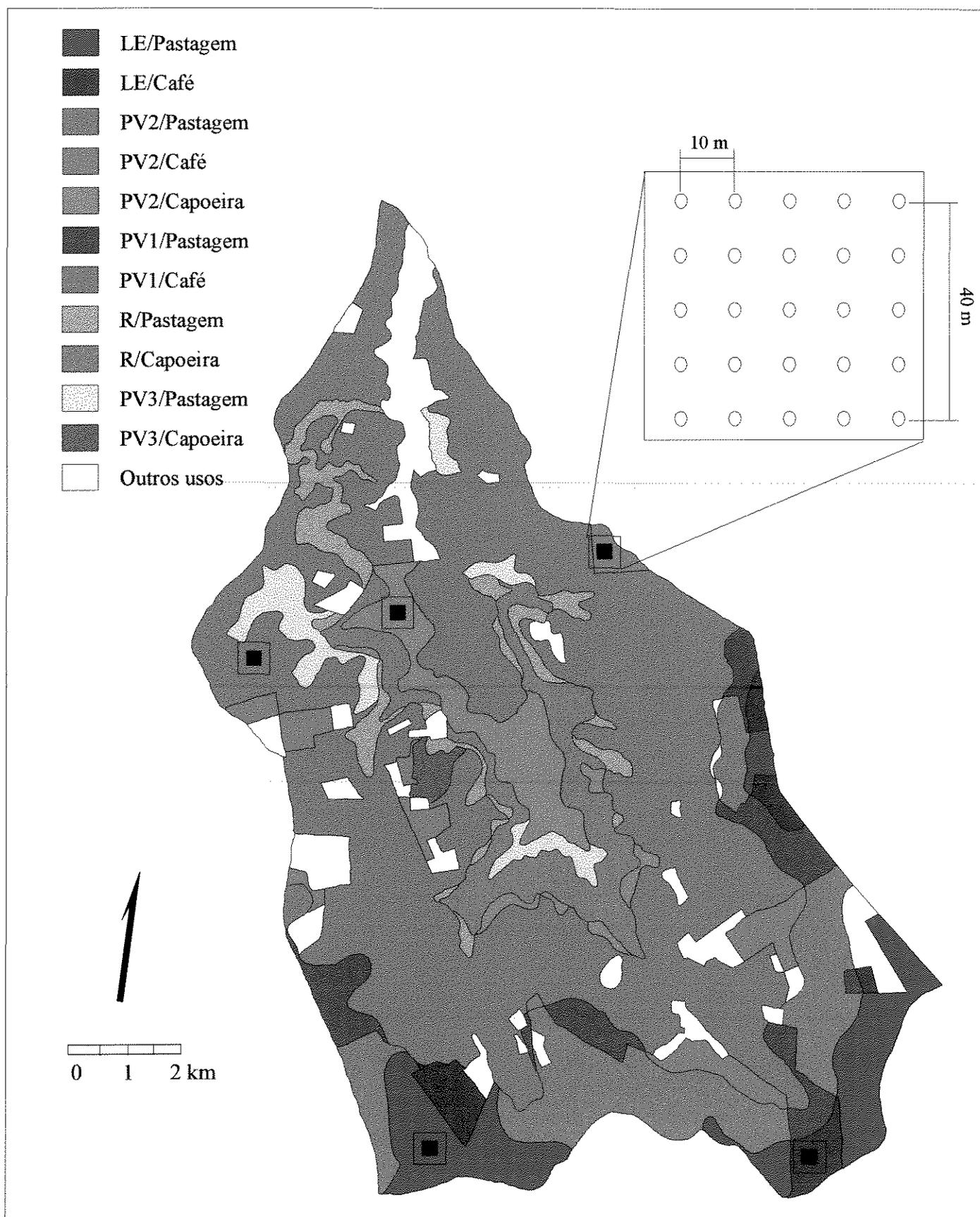


Figura 4. Locais das malhas de amostragens utilizadas para a determinação da infiltração de água em solo saturado e espessura do horizonte A+E, na microbacia do córrego Água F, Vera Cruz (SP).

A espessura do horizonte A foi obtida nos pontos de amostragens das malhas quadriculadas e realizada por meio de medições com régua graduada. No LE, as medições foram realizadas em pequenas trincheiras pois a transição dos horizontes no latossolo é de difícil visualização. Já para o podzólico vermelho-amarelo abrupto foi possível detectar a transição dos horizontes com auxílio de trado devido à diferença textural abrupta. Considerou-se a espessura do horizonte A, nesse solo, como sendo a somatória dos horizontes A+E.

Para as análises de infiltração foi utilizado o permeâmetro de carga constante no campo - modelo IAC (Figura 5). Uma das maiores vantagens deste instrumento em relação ao permeâmetro de Guelph (REYNOLDS & ELRICK, 1985) é a conexão feita com mangueiras plásticas flexíveis que separa o reservatório cilíndrico de água e a peça que é introduzida no solo. Essa separação evita que o peso do reservatório de água cause a compactação do fundo do orifício e conseqüentemente altere o fluxo de carga constante.

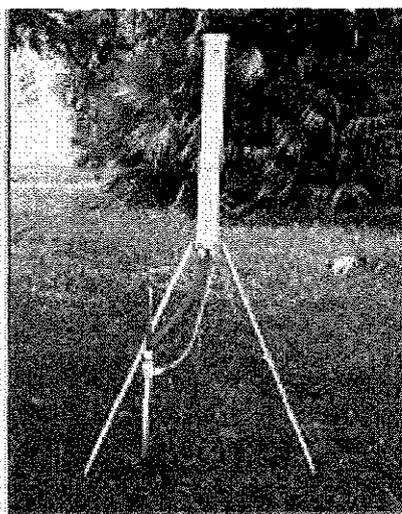


Figura 5. Permeâmetro de carga constante no campo (modelo IAC) utilizado para as medições da infiltração da água no solo saturado (Folder do Laboratório de Física do Solo, IAC)

Para se utilizar o permeâmetro seguem-se os seguintes passos: abre-se um orifício no solo com trado apropriado, na profundidade desejada. Abastece-se o reservatório cilíndrico com água, vedando-o bem para criar a condição de vácuo no sistema. A peça inferior é introduzida no orifício e realiza-se a leitura na carga hidráulica desejada.

A infiltração é calculada a partir do fluxo constante obtido no permeâmetro de carga constante, utilizando-se a seguinte equação:

$$I = 60 * \left[\frac{Dp^2}{Do^2 + 4DoH_2} \right] * Q$$

onde: Dp é o diâmetro do permeâmetro (cm), Do é o diâmetro do orifício da amostragem (cm), H é a carga hidráulica utilizada na medição, e Q é o fluxo de taxa constante (mm/min.)

4.3. Determinações estatísticas

Os dados foram submetidos aos procedimentos da estatística descritiva, para a obtenção dos seguintes parâmetros: média, coeficiente de variação, mínimo, máximo, simetria e curtose. Estes procedimentos foram determinados para verificar a distribuição das propriedades estudadas (SNEDECOR, 1967).

A geoestatística foi utilizada com o propósito de avaliar a estrutura espacial da variância da infiltração da água no solo e da espessura do horizonte A. Essa técnica dispõe de várias ferramentas para a análise de dependência espacial. O semivariograma é uma dessas ferramentas e expressa o grau de dependência espacial entre amostras dentro de um campo específico, utilizando-se a seguinte expressão para seu cálculo (VIEIRA et al., 1983):

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

onde N(h) é o número de pares de amostras separados por uma distância h e Z representa os valores medidos para propriedades do solo. O gráfico de $\gamma(h)$

versus h representa o semivariograma e o ajuste matemático dos dados no gráfico, define os seguintes parâmetros: **1 - efeito pepita (C_0)** - valor de γ quando $h = 0$; **2 - alcance da dependência espacial (a)** - é o valor de h quando a semivariância (γ) estabiliza próximo a um valor constante; **3 - patamar (C)** - valor da semivariância (γ) quando se obtém valor constante.

Os semivariogramas obtidos com a fórmula acima foram escalonados para facilitar a interpretação dos resultados, pois o escalonamento permite a comparação de semivariogramas de diferentes variáveis (VIEIRA et al., 1997). O escalonamento é obtido com a divisão dos valores de semivariância pela variância respectiva. Estes valores escalonados foram utilizados para construir o gráfico do semivariograma.

O semivariograma cruzado é outra ferramenta da geoestatística e é utilizado para verificar a correlação espacial entre duas séries de variáveis medidas na mesma malha de amostragem, avaliando se a variabilidade de uma série é acompanhada pela de outra. Para o cálculo do semivariograma cruzado utiliza-se a seguinte expressão (VIEIRA et al., 1983):

$$\gamma_{12}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z_1(x_i) - Z_1(x_{i+h})][Z_2(x_i) - Z_2(x_{i+h})]$$

onde Z_1 representa a infiltração saturada da água no solo e Z_2 a espessura do horizonte A.

O semivariograma cruzado é calculado apenas para os locais onde as duas variáveis foram medidas (BHATTI et al., 1991), e pode assumir valores positivos, quando o incremento em uma variável é acompanhado pelo da outra variável e negativo, quando o incremento em uma variável corresponde ao decréscimo da outra.

4.4. Utilização do sistema de informação geográfica

Com o sistema de informação geográfica Idrisi (EASTMAN, 1995) foram elaborados mapas de solo, de uso do solo e do modelo digital de terreno, com projeção em UTM e unidade de medida em metros.

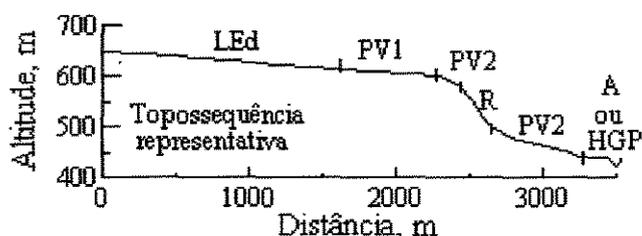
A entrada dos dados no sistema de informação geográfica foi realizada pela digitalização dos mapas em mesa digitalizadora gerando-se os seguintes planos de informações (PIs): 1 - Unidades de solo, obtido através do levantamento pedológico detalhado que está sendo realizado pela equipe de Pedologia - Centro de Solos e Recursos Agroambientais do IAC (Apêndice 1); 2 - Declividade, obtido através da folha SF-22-Z-A-III-3 (Alvinlândia), na escala de 1:50.000, com curvas de nível espaçadas de 20 metros, e estabelecida pelo IBGE (1973); 3 - Uso do solo, obtido pela análise de imagem de satélite -Landsat - bandas RGB: 3 4 5 (Apêndice 2).

Os dados das análises referentes às propriedades físicas obtidos neste trabalho foram armazenados no banco de dados do SIG para facilitar sua manipulação e criar mapas temáticos da densidade do solo e de porosidade total, nos horizontes A e B. A utilização deste sistema, sob suporte informático, permite a obtenção de informações mais adequadas e eficientes em comparação com métodos tradicionais de análise (ASSAD, 1995).

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A topossequência predominante (Figura 6) dos solos da microbacia hidrográfica estudada caracteriza-se pela seqüência apresentada a seguir.

Os solos com horizonte B latossólico (latossolo vermelho-escuro - LE) ocorrem nos topos, em relevo suave ondulado. Essa unidade de solo apresenta-se com textura média ao longo de todo o perfil e estrutura em blocos subangulares, não possuindo sério impedimento físico para a infiltração da água no solo.



LEd: latossolo vermelho-escuro; PV1: podzólico vermelho-amarelo; PV2: podzólico vermelho-amarelo abrupto; R: solo litólico; A:aluvial; HGP:gley pouco húmico.

Figura 6. Topossequência representativa dos solos da microbacia hidrográfica do córrego Água F

Na seqüência, tem-se uma faixa transicional entre o latossolo vermelho escuro (LE) e o podzólico vermelho-amarelo abrupto (PV2) na qual aparece o podzólico vermelho-amarelo (PV1) - Figura 6. Esse solo tem como características principais a textura arenosa/média com incremento gradual de argila do horizonte Ap para o horizonte Bt, e a estrutura em blocos

subangulares. Essas características, juntamente com a posição em relevo suave ondulado, também conferem boas condições à percolação da água no perfil do solo.

Com a passagem do relevo para situações de maior declividade (na ruptura do declive, antes da escarpa e também na base), ocorrem solos caracterizados por horizonte B textural, com gradiente textural abrupto (PV2). Esses solos apresentam os horizontes A e E com textura arenosa, possuindo teor de argila entre 4 e 10 % passando, dentro de uma faixa de 2,5 a 8 cm, para um teor de argila de aproximadamente 25 %, sendo representado pelo B textural (horizonte diagnóstico de subsuperfície).

A mudança textural abrupta, que é a faixa transicional localizada entre os horizontes E e Bt, representa um importante impedimento físico à percolação da água em profundidade. Essa característica pode propiciar, em chuvas de elevado índice pluviométrico, a saturação hídrica dos horizontes A e E com posterior arraste e transporte das partículas do solo, pelo escoamento superficial.

Nas escarpas encontram-se solos pouco desenvolvidos, solos litólicos (R) e podzólicos vermelho-amarelos rasos (PV3), enquanto nas regiões de baixada predominam os solos hidromórficos, gley pouco húmicos (GP) e solos aluviais (A) em menor proporção. Os solos litólicos, devido à proximidade do material de origem (Arenito de Bauru), possuem textura arenosa, com elevada saturação por bases.

Os solos aluviais apresentam propriedades bastante típicas, como a distribuição irregular da granulometria e do teor de matéria orgânica ao longo do perfil. Os solos gley pouco húmicos apresentam, no horizonte diagnóstico de subsuperfície, textura média com evidentes sinais de hidromorfismo (gleização), devido a má drenagem.

5.1. Espessura do horizonte A em latossolo vermelho-escuro (LE) e podzólico vermelho-amarelo abrupto (PV2)

A pequena variação do horizonte A no latossolo vermelho-amarelo, sob as culturas de café e pastagem (Figura 7), indica menor erosão em sulcos, provocada pelo escoamento superficial da água. Essa condição é notada no LE, principalmente por sua posição no relevo e condição da infiltração da água no perfil do solo.

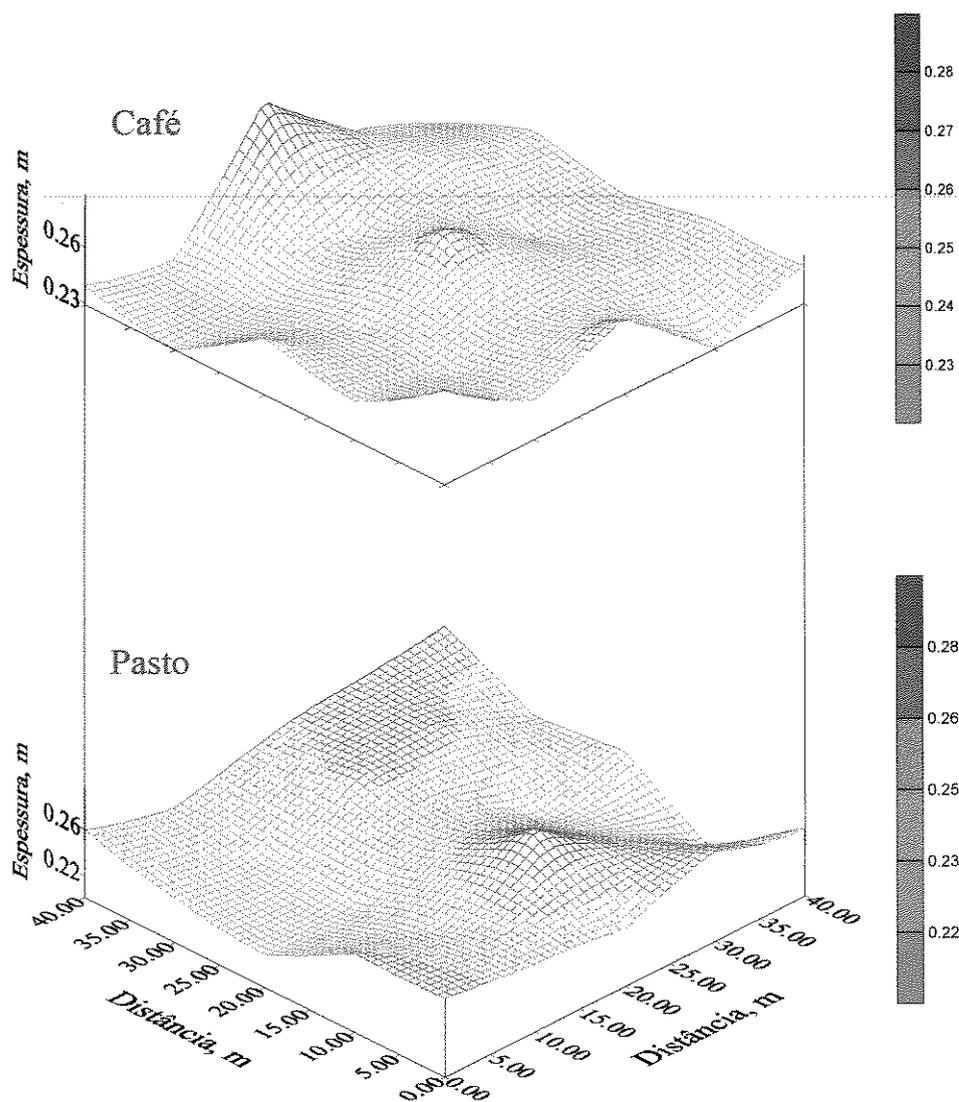


Figura 7. Mapa tridimensional da espessura do horizonte A em latossolo vermelho-escuro (LE), nos cultivos de café e pastagem

As pequenas espessuras do horizonte A encontradas (média de 25cm), em ambos os cultivos estudados (café e pastagem) indicam a ocorrência de erosão laminar pois, sob condições naturais esse solo apresenta o horizonte A com maior espessura.

Já o podzólico vermelho-amarelo abrupto (PV2) constitui-se no solo de maior problema em termos físicos pois, além da mudança textural abrupta, encontra-se em relevos ondulado a forte ondulado. Ressalte-se que a espessura dos horizontes A+E tem ligação direta com os processos erosivos pois, quanto menos espessos forem esses horizontes, mais rápida será a sua saturação hídrica, em chuvas de elevado índice pluviométrico, aumentando o escoamento superficial com conseqüente erosão em sulcos. Esse fato é notado nos dados de espessura dos horizontes A+E (Figura 8), em café e pastagem, encontrando-se grande variação, o que indica sinais de processos erosivos em sulcos.

Nota-se também, na Figura 8, que a variação de espessura nos horizontes A+E, nos cultivos de café e pastagem foi maior quando comparada com o que foi encontrada em mata/capoeira, indicando a importância da cobertura vegetal na manutenção dos horizontes superficiais nos podzólicos vermelho-amarelos abruptos.

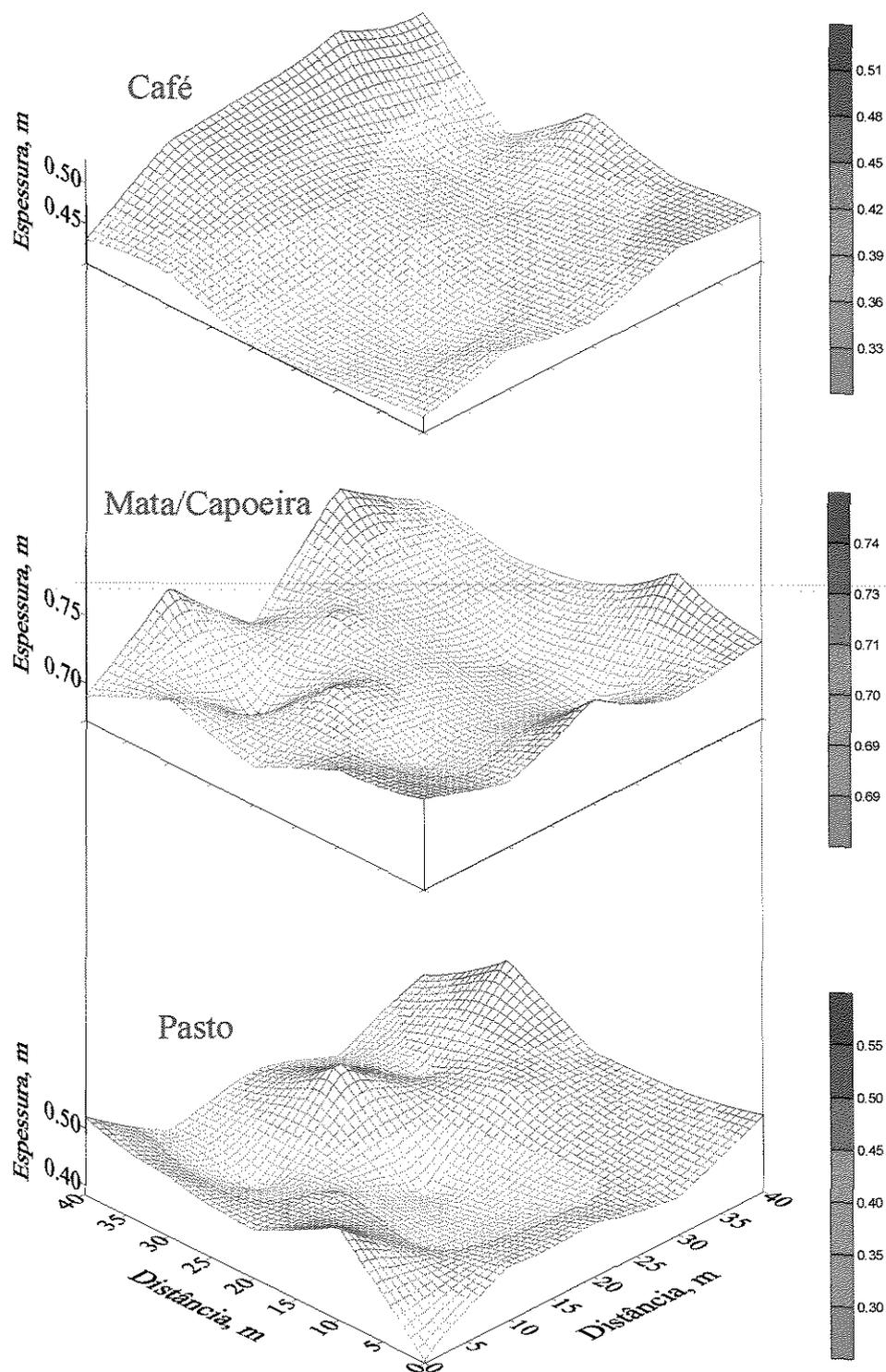


Figura 8. Mapa tridimensional da espessura do horizonte A+E em podzólico vermelho-amarelo abrupto (PV2), nos cultivos de café, pastagem e capoeira.

5.2. Comportamento das propriedades físicas

5.2.1. Densidade do solo

Os valores de densidade do solo (Quadro 3) indicam que, para o LE e o PV1 em todos os cultivos, exceto em PV1/pasto, foram maiores no horizonte superficial, causados pelo manejo intensivo. Vários autores encontraram o mesmo comportamento, principalmente em culturas anuais (SIDIRAS et al., 1982; VIEIRA & MUZILLI, 1984; ALBUQUERQUE et. al., 1995).

Já para o PV2 e PV3 em todos os cultivos, a densidade do solo no horizonte A apresentou valores menores em relação ao horizonte Bt. O comportamento inverso dessa propriedade nos podzólicos vermelho-amarelos abruptos, em relação ao observado no LE e PV1, mesmo sob cultivo, pode ser explicada pelo elevado teor da fração areia existente no horizonte superficial que, juntamente com a matéria orgânica, propiciam boas condições para a manutenção da porosidade nessas unidades de solo e conseqüentemente dos seus valores de densidade.

Nos litólicos (R), tanto sob pastagem como também em mata/capoeira, foram encontrados os menores valores de densidade do solo tendo correlação direta com a elevada macroporosidade.

Os maiores valores de densidade do solo foram encontrados no horizonte Bt dos podzólicos vermelho-amarelos abruptos (PV2 e PV3) apresentando correlação positiva com os valores de infiltração de água encontrados nesse solo. O aumento da densidade do solo e a conseqüente redução da infiltração da água no solo confirmam o forte impedimento físico para a percolação da água, no horizonte Bt.

Quadro 3. Propriedades físicas dos solo da microbacia hidrográfica, nos horizontes e cultivos analisados

Solo/Uso (n° perfis)	horizonte	Propriedades físicas							C%
		PT ¹	mac ²	mic ³	dens ⁴	granulometria			
		-----%-----			kg. dm ⁻³	-----%-----			
		areia	silte	argila					
LE/café (4)	A	0,51	0,29	0,22	1,43	73	9	18	0,6
	B	0,52	0,27	0,25	1,36	72	8	20	0,4
LE/pasto (4)	A	0,48	0,21	0,27	1,42	73	9	18	0,3
	B	0,49	0,24	0,25	1,39	70	11	21	0,4
PV1/café (2)	A	0,46	0,20	0,26	1,54	80	8	12	0,5
	B	0,47	0,26	0,21	1,45	70	9	21	0,7
PV1/pasto (2)	A	0,50	0,23	0,27	1,33	79	9	12	0,6
	B	0,48	0,25	0,23	1,43	74	9	17	0,4
PV2/café (4)	A	0,42	0,21	0,21	1,47	81	14	5	0,8
	E ⁵	0,44	0,27	0,17	1,55	84	12	4	0,5
PV2/mata (2)	B	0,52	0,38	0,13	1,52	60	16	24	0,3
	A	0,48	0,36	0,12	1,46	81	13	6	0,8
PV2/pasto (2)	E	0,45	0,24	0,21	1,54	83	13	4	0,4
	B	0,49	0,40	0,10	1,58	62	12	26	0,2
PV3/café (2)	A	0,47	0,15	0,34	1,45	82	15	3	0,7
	E	0,39	0,18	0,21	1,62	82	14	4	0,3
PV3/pasto (2)	B	0,48	0,37	0,10	1,65	65	12	23	0,2
	A	0,46	0,34	0,12	1,38	85	10	5	0,9
R/pasto (2)	E	0,44	0,26	0,17	1,49	86	11	3	0,4
	B	0,47	0,37	0,10	1,57	57	20	23	0,3
R/mata (2)	A	0,44	0,25	0,19	1,52	78	15	7	1,0
	E	0,41	0,18	0,23	1,53	82	13	5	0,5
	B	0,45	0,35	0,10	1,65	56	19	25	0,2
	A	0,47	0,43	0,04	1,41	5	14	81	1,2
	A	0,50	0,33	0,16	1,36	6	12	82	1,0

¹porosidade total; ²macroporosidade; ³microporosidade; ⁴densidade do solo;

⁵horizonte E, transicional entre A e B determinado próximo ao horizonte Bt.

5.2.2. Porosidade total

Observa-se (Quadro 3) que, apesar dos valores de densidade do solo no horizonte A, em LE e PV1 sob pastagem apresentarem valores maiores em relação ao horizonte B, a porosidade total praticamente não foi alterada nesses dois horizontes. Ocorreu apenas modificação na relação macro e

microporosidade com uma diminuição dos macroporos e conseqüentemente aumento da microporosidade.

Para os mesmos solos porém sob o cultivo de café, observou-se que não houve grandes alterações dos valores da porosidade total, nos horizontes A e B. No entanto, para o LE, os valores de macroporosidade foram maiores no horizonte A, mostrando uma situação inversa daquela ocorrida sob pastagem. Esse fato ocorreu devido a grande quantidade de raízes provenientes da cobertura vegetal existente na área de LE/café, favorecendo a manutenção da macroporosidade.

Já sob pastagem, o LE, apesar de possuir cobertura vegetal, esta não possui bom desenvolvimento, pois são pastagens degradadas, ocasionando espaços com solo descoberto. Aliado a esse fato, o pisoteio do gado provocou a redução da macroporosidade em superfície denotando maior porcentagem de microporosidade.

5.2.3. Curva de retenção de água no solo

Os dados de retenção de água também foram determinados em função de solo e uso, nos seguintes horizontes: LE e PV1, nos horizontes A e B (Figuras 9 e 10); PV2, nos horizontes A, E e Bt (Figura 11); e R, somente no horizonte A devido à ausência do horizonte B (Figura 12).

Observou-se que, para LE e PV1 em pastagem, o comportamento da curva de retenção foi semelhante nos horizontes A e B (Figuras 9 e 10). Apesar de existir essa semelhança no comportamento de retenção de água nos horizontes A e B, verificaram-se maiores valores de microporosidade nos horizontes superficiais, em ambos os cultivos. Esse fato confirma estudo realizado por BAEUMER & BEKERMANS (1973) em solos com baixos teores de argila, onde o acúmulo de matéria orgânica superficial tem maior influência sobre o comportamento da retenção de água do que a porosidade.

No cultivo de café, ainda em relação ao LE e PV1, verificou-se um comportamento diferenciado, tendo o horizonte B maior disponibilidade de água para as plantas, evidenciada pelos maiores valores de umidade em todas as tensões analisadas.

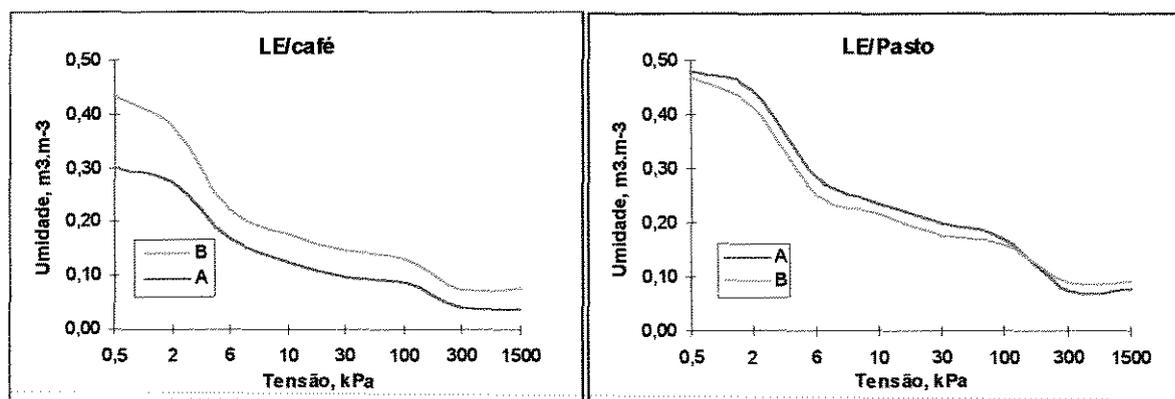


Figura 9. Curva de retenção de água em LE, sob cultivos de pastagem e café

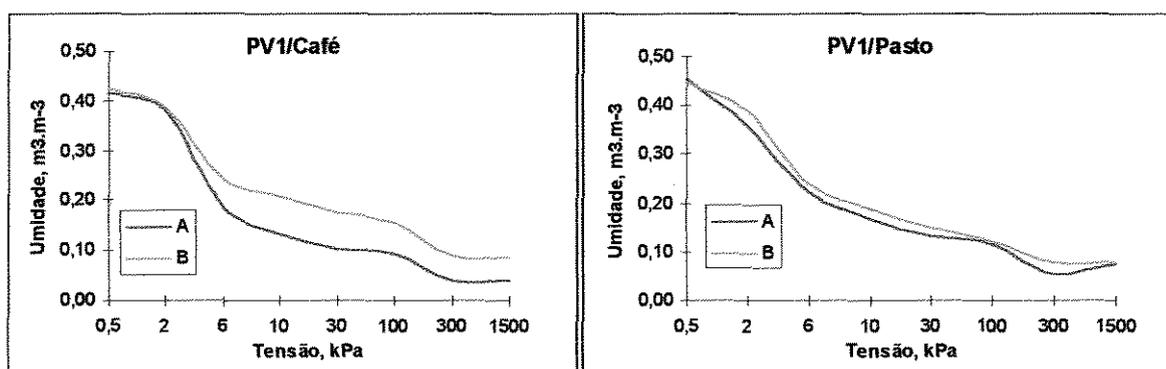


Figura 10. Curva de retenção de água em PV1, sob cultivos de pastagem e café

SIDIRAS et. al. (1983), comparando sistemas de cultivos (plantio direto e plantio convencional) também encontraram, em latossolo roxo, diferença na disponibilidade de água para as plantas. Essa diferença foi detectada por valores superiores no teor de água retida a 33 kPa, em plantio direto.

No PV2 observou-se que os valores de umidade obtido nas diferentes tensões analisadas (Figura 11) foram maiores, no horizonte Bt, em todos os

cultivos. Esse comportamento está ligado ao adensamento do horizonte Bt, o qual possui uma estrutura que propicia o aumento da capacidade de retenção da água no solo. Esse mesmo comportamento foi observado no PV3, sob os cultivos de café e pastagem (Figura 12).

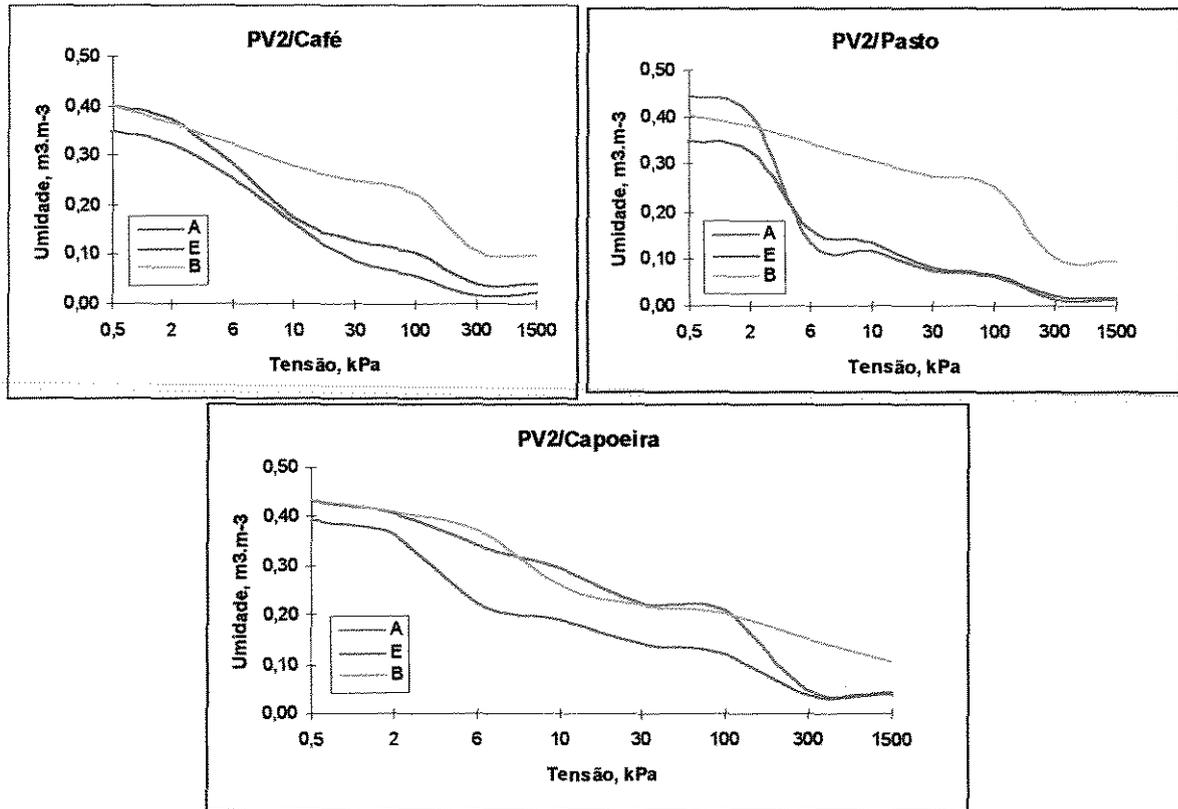


Figura 11. Curva de retenção de água em PV2, sob cultivos de pastagem, café e capoeira

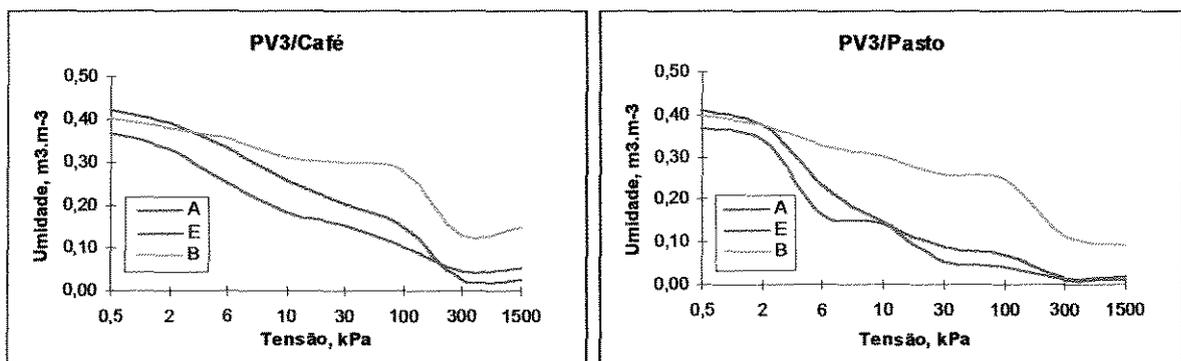


Figura 12. Curva de retenção de água em PV3, sob cultivos de pastagem e café

Os solos litólicos apresentaram comportamentos semelhantes de acordo com a curva de retenção de água, em pastagem e mata/capoeira (Figura 13). O elevado teor de matéria orgânica nos solos litólicos teve grande influência sobre o comportamento da retenção de água, verificado por elevados valores de umidade encontrados principalmente até a tensão de 100kPa.

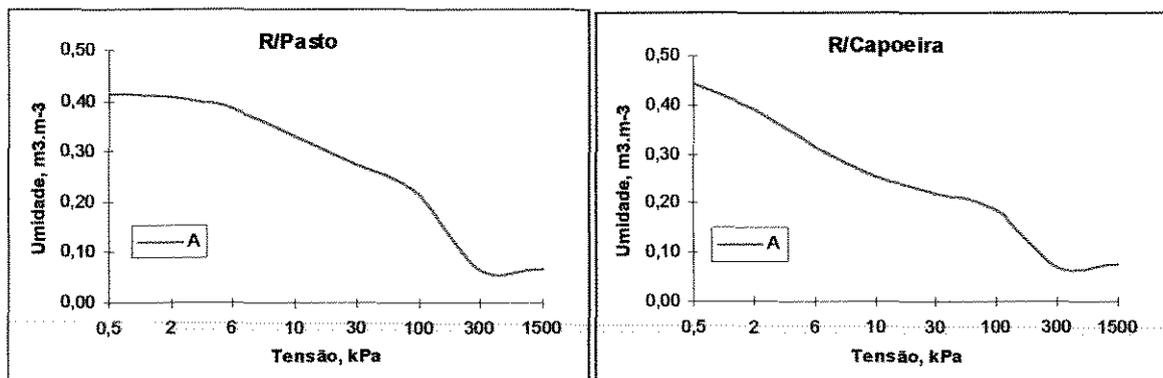


Figura 13. Curva de retenção de água em R, sob cultivos de pastagem e capoeira

5.3. Variabilidade espacial da infiltração da água no solo e espessura do horizonte do horizonte A, em latossolo vermelho-escuro (LE), nos cultivos de café e pastagem

A classe dos latossolos, em condição natural, possui pequenas variações em profundidade na composição granulométrica (OLIVEIRA et. al., 1992). Essa característica, aliada à cobertura vegetal existente, propicia condições adequadas para a infiltração da água no perfil do solo, reduzindo ou mesmo impedindo o escoamento superficial. Quando submetido ao cultivo, o solo sofre alterações em suas propriedades, podendo se comportar de diferentes maneiras conforme sua utilização e seu estágio atual de degradação.

Verificou-se variação espacial bastante acentuada nas duas propriedades amostradas (Quadro 4). Essa variação é verificada pelos valores de mínimo e máximo, denotando uma amplitude bastante elevada, porém esse fato não significa necessariamente que será encontrada dependência espacial. O efeito

pepita puro encontrado para a infiltração no horizonte B (pastagem) e horizonte A (café), comprova que não foi detectada dependência espacial para a malha de amostragem realizada, mesmo apresentando variância bastante elevada.

Quadro 4. Parâmetros da estatística descritiva utilizados nas malhas de amostragens para infiltração da água no solo (mm/h) e espessura do horizonte A (cm)

Parâmetros da estatística descritiva							
	Média	Variância (%)	C.V.	Mínimo	Máximo	Simetria	Curtose
LE/CAFÉ							
Inf-A	416,2	15.600,0	30,0	216,8	691,0	0,7	2,2
Inf-B	415,6	14.100,0	72,7	28,6	562,6	-0,5	1,9
horA	24,8	2,4	6,2	23,0	29,0	0,9	2,2
LE/PASTO							
Inf-A	248,9	11.000,0	42,1	100,7	445,6	0,6	2,0
Inf-B	502,2	11.400,0	21,3	302,2	655,5	-0,4	2,0
horA	25,4	4,3	8,2	20,0	30,0	-0,3	3,3
PV/CAFÉ							
Inf-A	217,9	6.964,0	38,3	100,7	402,9	0,4	2,2
Inf-E	70,1	1.485,0	54,9	21,5	144,5	0,4	1,7
Inf-B	20,5	81,6	43,9	5,3	43,1	0,5	2,7
horA	44,6	12,6	7,9	40,0	53,0	0,6	2,6
PV/CAPOEIRA							
Inf-A	407,5	6.581,0	19,9	230,2	575,5	-0,3	2,8
Inf-E	133,8	7.504,0	64,7	50,4	474,8	0,4	3,5
Inf-B	50,9	284,0	33,1	21,5	86,3	0,2	2,3
horA	71,3	5,2	3,2	67,0	75,0	-0,1	2,2
PV/PASTO							
Inf-A	426,5	20.800,0	33,8	215,8	805,7	0,9	3,3
Inf-E	236,2	23.000,0	64,2	48,5	567,1	0,8	2,6
Inf-B	48,1	730,4	56,2	13,6	103,2	0,6	2,4
horA	46,6	24,6	10,6	38,0	57,0	0,1	2,4

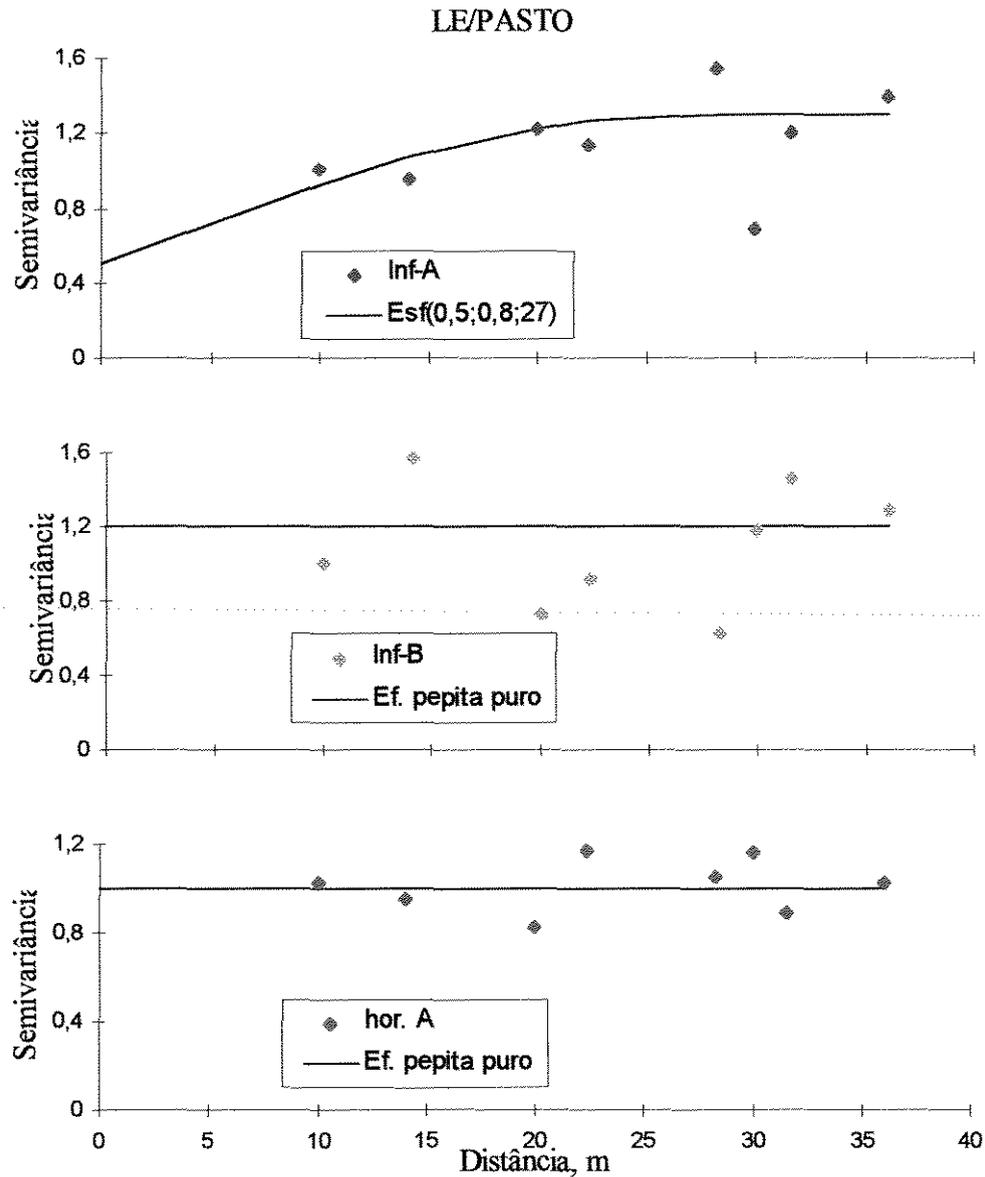
Inf-A: infiltração no horizonte A; Inf-E: infiltração no horizonte E; Inf-B: infiltração no horizonte B; hor-A: espessura do horizonte A

Observa-se, ainda, (Quadro 4) que tanto a infiltração da água no solo como a espessura do horizonte A, na maioria das malhas de amostragens, não

seguem uma distribuição normal pois, para que isso ocorra, os valores de simetria deveriam estar próximos a zero e os de curtose próximos a 3. Esses parâmetros mostram o comportamento da curva de distribuição de Gauss, indicando se os valores de média e desvio padrão podem representar a propriedade analisada. Caso não representem, torna-se necessário a realização de análises complementares utilizando-se a técnica da geoestatística.

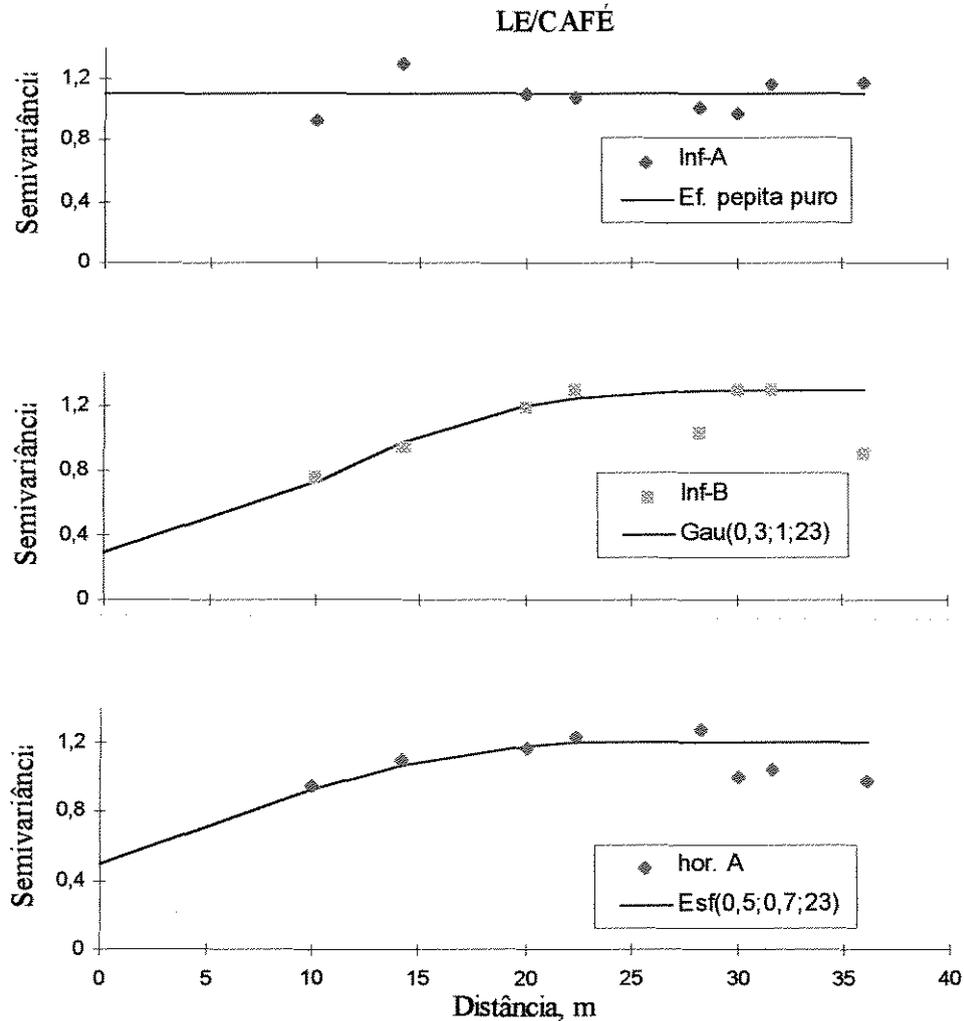
No latossolo vermelho-escuro textura média (LE) detectou-se um comportamento diferenciado nas alterações das propriedades físicas (Quadro 4) em função de diferentes usos (café, pastagem). Na pastagem observou-se dependência espacial apenas para a infiltração da água no horizonte A, verificado pelo comportamento dos semivariogramas escalonados (Figura 14).

Já para o cultivo de café verificou-se dependência tanto para a infiltração no horizonte B, como também para a espessura do horizonte A (Figura 15). Nas medições em que não foram verificadas a dependência espacial, o gráfico apresenta-se como uma reta paralela ao eixo x, e é denominado efeito pepita puro (Figuras 14 e 15).



$Esf(Co,C1,a) \Rightarrow$ Esf: modelo esférico; Co: efeito pepita; C1: patamar - Co; a: alcance; Inf-A: infiltração no hor.A; Inf-B: infiltração no hor.B; hor.-A: espessura do hor. A

Figura 14. Semivariogramas escalonados da infiltração da água no horizonte A e B, e espessura do horizonte A, sob o cultivo de pastagem



$Esf(Co,C1,a) \Rightarrow$ Esf: modelo esférico; Co: efeito pepita; C1: patamar - Co; a: alcance; Gau: modelo gaussiano; Inf-A: infiltração no hor.A; Inf-B: infiltração no hor. B; hor.-A: espessura do horizonte A

Figura 15. Semivariogramas escalonados da infiltração da água no horizonte A e B e espessura do horizonte A, sob o cultivo de café.

O efeito pepita puro pode se referir a um erro analítico (variabilidade não explicada) ou pode ser devido à microvariações não detectadas em função da distância de amostragem utilizada (CAMBARDELLA et al., 1994).

Os mesmos autores determinaram faixas de dependência espacial, sendo considerada: forte quando o efeito pepita é $< 25\%$ do patamar; moderada quando esse valor está entre 25 e 75%; e fraca quando o efeito pepita for $>25\%$. Esse parâmetro é expresso como % do patamar para facilitar a comparação do grau de dependência espacial (TRANGMAR et. al., 1987). A partir dessa escala verificou-se que os semivariogramas das propriedades estudadas em solos com cultivo de pastagem e café, possuem moderada dependência espacial (Figuras 14 e 15).

Foram analisadas também, pelo semivariograma escalonado, as distâncias máximas nas quais as variáveis estão espacialmente correlacionadas. A esse parâmetro dá-se o nome de alcance. Para os semivariogramas de infiltração verificou-se que os valores de alcance foram de 23 e 27 m, e para a espessura do horizonte A o valor foi 23. A partir do alcance as variáveis citadas não possuem mais correlação espacial, ou se houver, não foram detectadas pelo esquema de amostragem utilizado.

5.4. Variabilidade espacial da infiltração saturada da água no solo e espessura do horizonte do horizonte A+E, em podzólico vermelho-amarelo abrupto (PV2), nos cultivos de café e pastagem, e em capoeira

Além do comportamento diferenciado das propriedades físicas nos horizontes A e Bt do PV2, caracterizada pela transição abrupta desses horizontes, verificou-se também, com o uso da geoestatística, variações na estrutura espacial dessas propriedades em função dos diferentes cultivos.

Foi observado que a espessura do horizonte A+E no PV2, sob mata/capoeira (Quadro 5), teve o menor coeficiente de variação (3,21) e as maiores espessuras em todos os pontos analisados, em relação aos cultivos de café e pastagem. Esses valores indicam o menor estágio de degradação

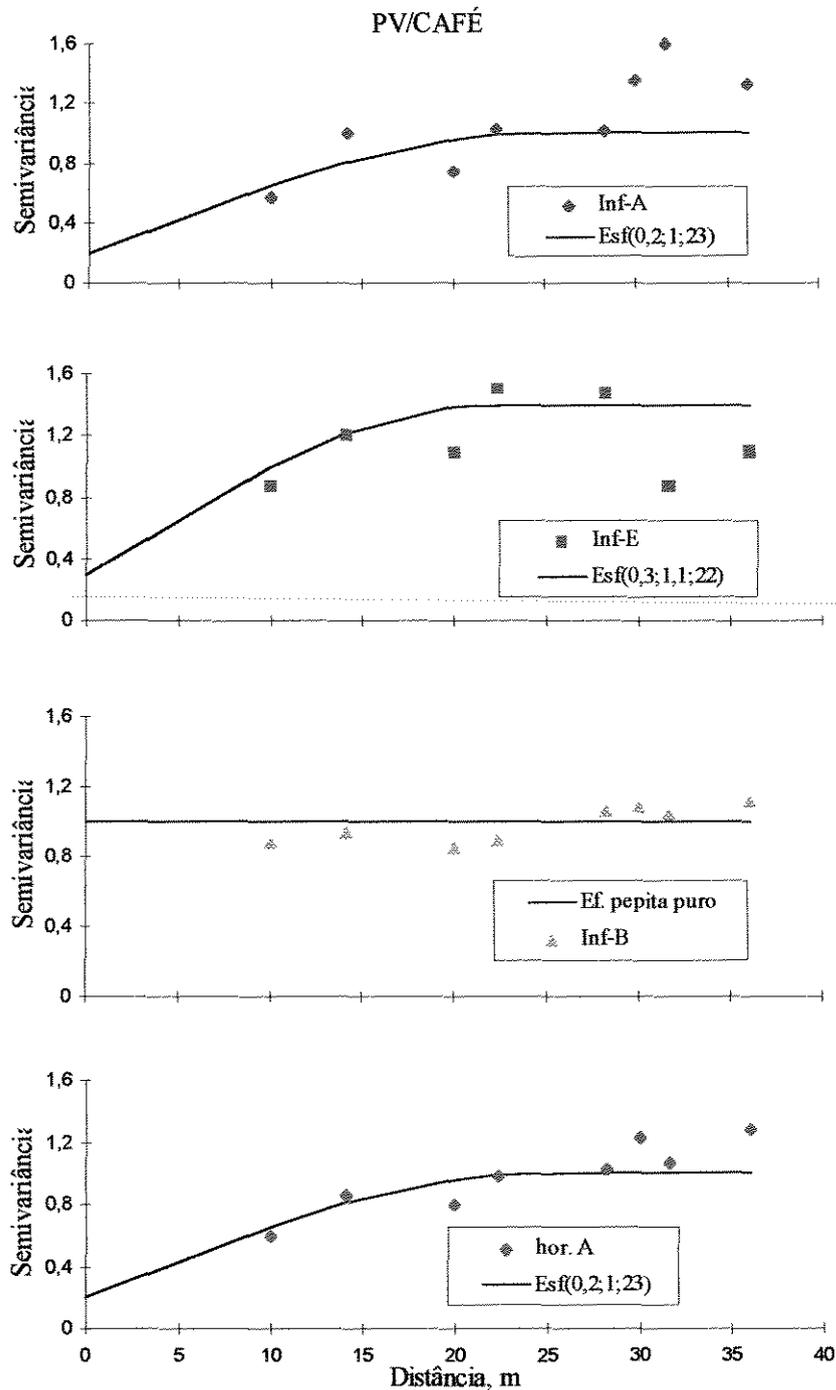
encontrado no PV2 sob mata/capoeira, determinando a importância da cobertura vegetal nesse solo, para evitar a perda da camada superficial.

No entanto, a dependência espacial para a espessura do horizonte A+E, foi encontrada apenas no cultivo de café (Figura 16). Nos demais usos (Figura 17 e 18) verificou-se o efeito pepita puro.

Nota-se que apesar da grande variação existente nessa propriedade em todos os cultivos, devido a grande amplitude encontrada, a dependência espacial dos dados foi verificada apenas na malha de amostragem sob café. Isso indica novamente que, assim como foi visto no LE, a variabilidade espacial não implica necessariamente em uma dependência espacial das variáveis amostradas na área degradada.

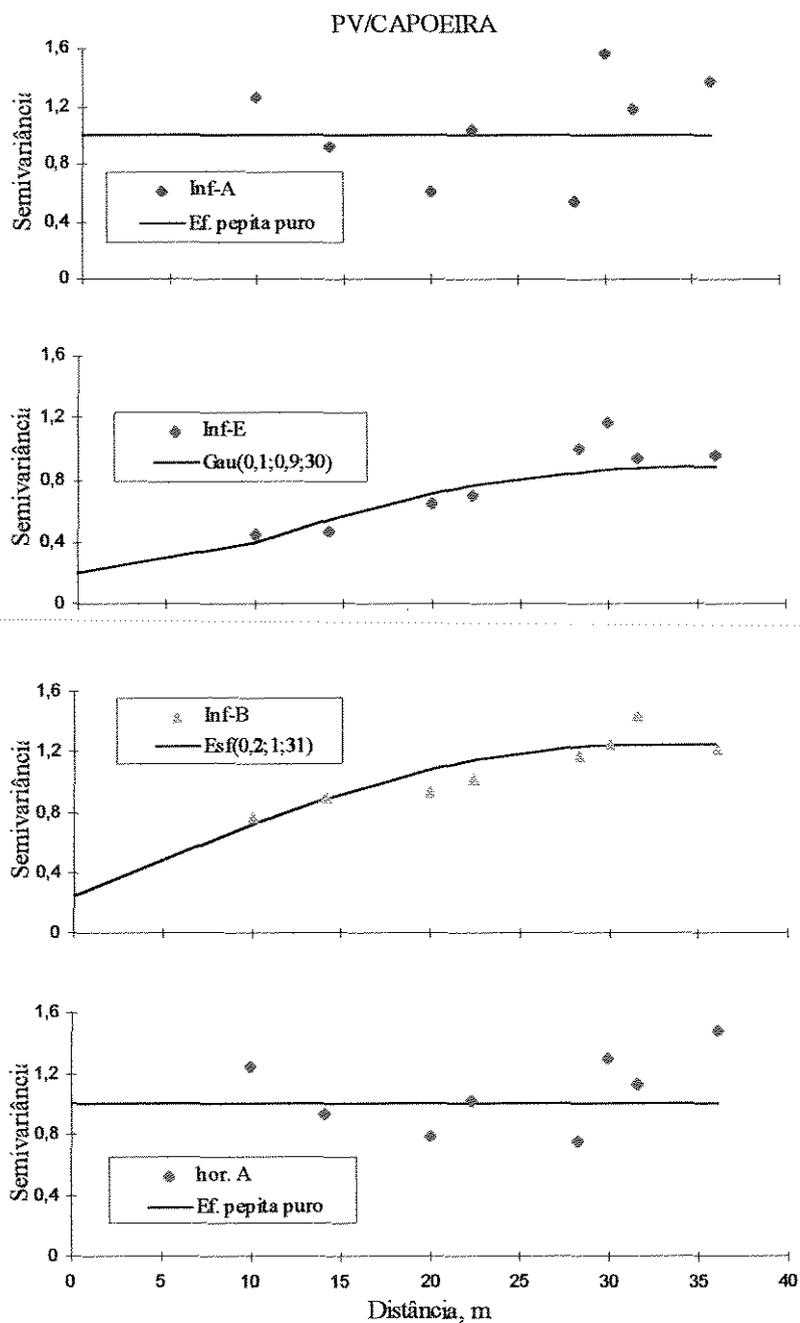
Quadro 5. Espessuras do horizonte A em latossolo vermelho-escuro e podzólico vermelho-amarelo abrupto, sob os cultivos de café, mata/capoeira e pastagem

Pontos	Espessura do horizonte A				
	latossolo vermelho-escuro		podzólico vermelho-amarelo abrupto		
	Café	Pasto	Café	Mata/Cap.	Pasto
	-----cm-----				
1	28	27	42	74	39
2	25	26	45	72	48
3	27	25	43	75	48
4	23	28	47	72	45
5	25	26	46	73	52
6	25	27	41	73	55
7	24	25	40	70	44
8	25	30	42	70	42
9	25	25	44	68	46
10	25	20	45	75	49
11	26	23	40	70	47
12	24	23	41	73	46
13	27	26	44	71	38
14	24	23	42	68	50
15	24	25	48	71	48
16	23	24	44	72	49
17	23	23	46	67	39
18	24	27	46	72	54
19	26	27	42	70	44
20	25	24	40	70	57
21	24	26	43	69	52
22	23	24	50	74	42
23	29	26	51	68	45
24	25	27	53	75	40
25	23	28	50	71	47
média	24,88	25,4	44,6	71,32	46,64
variância	2,42	4,32	12,64	5,26	24,63
C.V.	6,26	8,18	7,97	3,21	10,64
mínimo	23	20	40	67	38
máximo	29	30	53	75	57
simetria	0,89	-0,30	0,68	-0,04	0,13
curtose	2,2	3,36	2,6	2,17	2,41



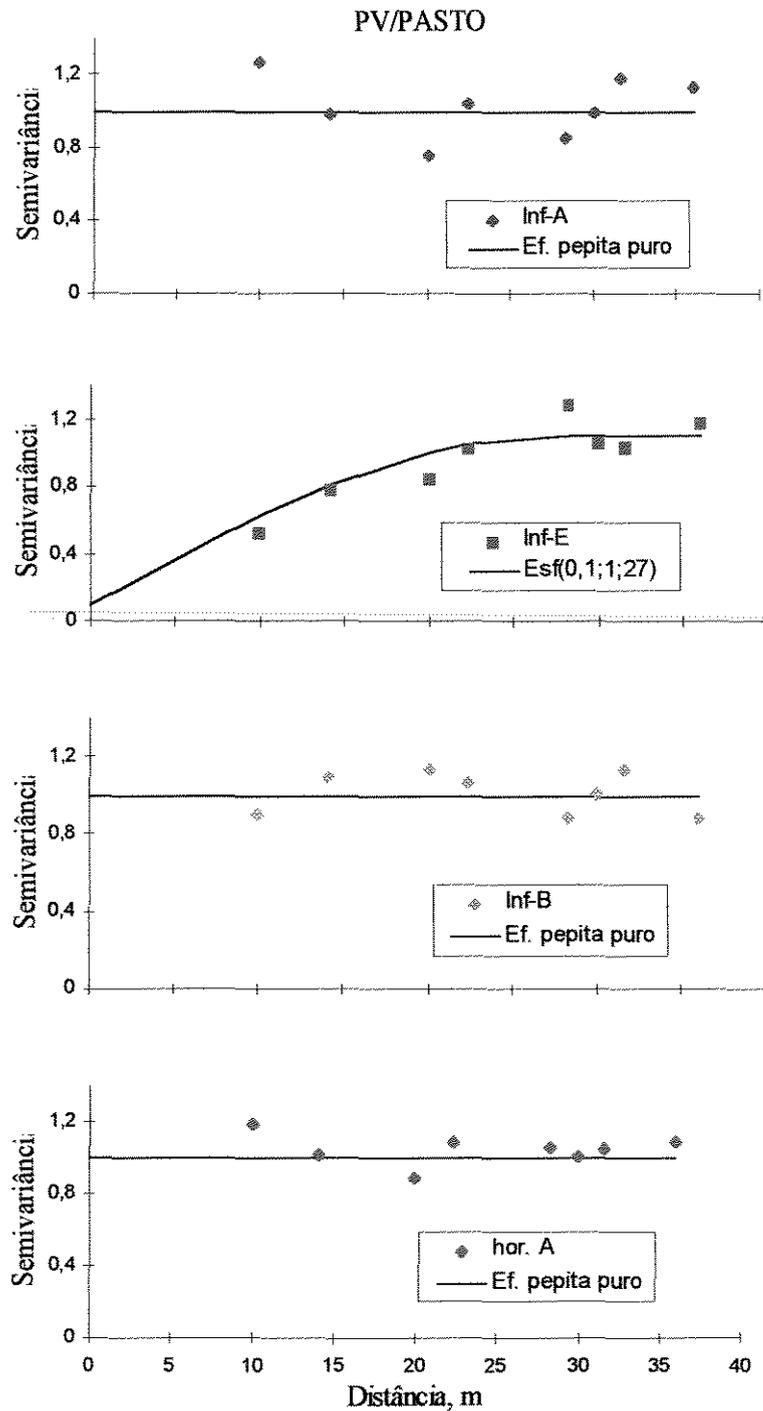
$Esf(Co,C1,a) \Rightarrow$ Esf: modelo esférico; Co: efeito pepita; C1: patamar - Co; a: alcance; Inf-A: infiltração no horizonte A; Inf-E: infiltração no horizonte E; Inf-B: infiltração no horizonte B; hor.-A: espessura do horizonte A+E

Figura 16. Semivariogramas escalonados da infiltração da água no horizonte A, E e B e espessura do horizonte A+E, sob o cultivo de café.



$Esf(Co,C1,a) \Rightarrow$ Esf: modelo esférico; Co: efeito pepita; C1: patamar - Co; a: alcance; Gau: modelo gaussiano; Inf-A: infiltração saturada no horizonte A; Inf-E: infiltração no horizonte E; Inf-B: infiltração no horizonte B; hor.-A: espessura do horizonte A+E

Figura 17. Semivariogramas escalonados da infiltração da água no horizonte A, E e B e espessura do horizonte A+E, sob o cultivo de mata/capoeira.



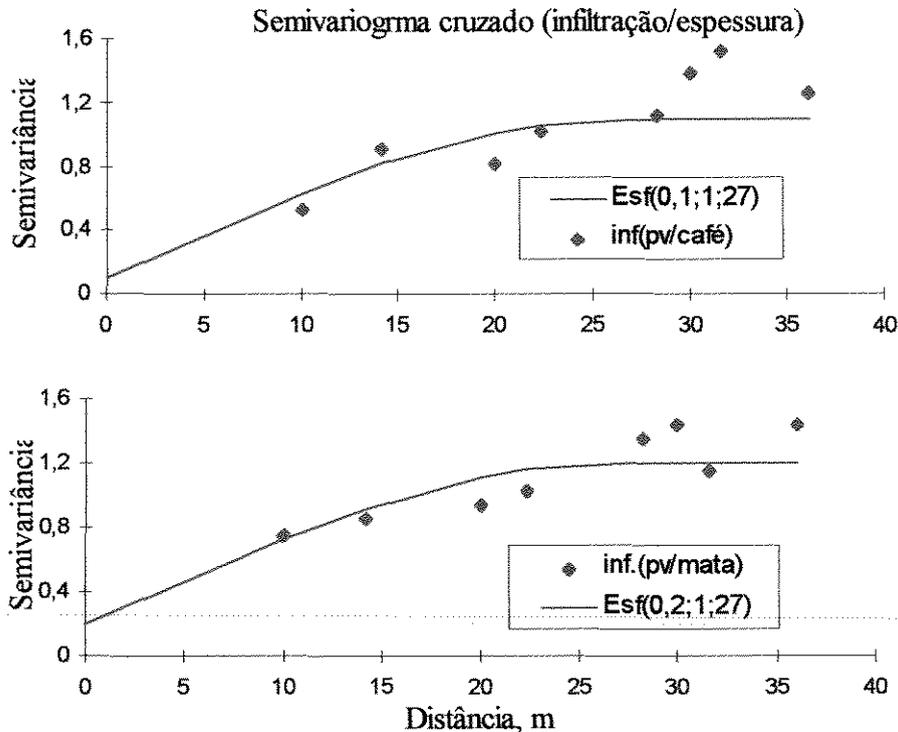
$Esf(Co,C1,a) \Rightarrow$ Esf: modelo esférico; Co: efeito pepita; C1: patamar - Co; a: alcance; Inf-A: infiltração no horizonte A; Inf-E: infiltração no horizonte E; Inf-B: infiltração no horizonte B; hor.-A: espessura do horizonte A+E

Figura 18. Semivariogramas escalonados da infiltração da água no horizonte A, E e B e espessura do horizonte A+E, sob o cultivo de pastagem.

Comparando os semivariogramas escalonados (Figuras 16, 17 e 18), observou-se que a variabilidade da infiltração da água nos horizontes A e (transicional) E, foram semelhantes nas malhas de amostragens PV2/capoeira e PV2/pasto. Em ambas as malhas observou-se o efeito pepita puro, no horizonte A e o mesmo valor de efeito pepita (0,1) no horizonte E. Isso pode indicar que o comportamento da infiltração da água nos horizontes A e E do podzólico vermelho-amarelo abrupto, sob pastagem, se assemelha àquelas encontradas em condições naturais. Esse mesmo comportamento não foi verificado para a cultura de café.

Pela análise do semivariograma cruzado (Figura 19), ferramenta da geoestatística utilizada para verificar a correlação espacial entre duas séries de variáveis medidas na mesma malha de amostragem, foi possível avaliar se a variabilidade da infiltração da água no solo é acompanhada pela da espessura do horizonte A+E. Esse comportamento ocorreu tanto no podzólico vermelho-amarelo abrupto (PV2), sob o cultivo de café, como em mata/capoeira.

A correlação entre a espessura do horizonte A+E e a infiltração da água nesse solo foi verificada como positiva, devido os valores de semivariância estarem acima do eixo x (Figura 19).



$Esf(Co,C1,a) \Rightarrow$ Esf: modelo esférico; Co: efeito pepita; C1: patamar - Co; a: alcance; inf(pv/café): infiltração em PV2 sob cultivo de café; inf(pv/mata): infiltração em PV2 sob mata/capoeira.

Figura 19. Semivariogramas cruzados da infiltração no horizonte A em relação à espessura do horizonte A+E, nos cultivos de café e capoeira, em PV2.

Em solos degradados, como é o caso da microbacia hidrográfica estudada, a dificuldade para se detectar uma estrutura de dependência espacial é maior quando comparada com solos menos alterados pelos processos erosivos. A ausência dessa estrutura foi verificada nos semivariogramas em várias malhas de amostragens, tanto para a infiltração de água no solo como também para a espessura do horizonte A, sendo representada pelo efeito pepita puro. Esse fato ocorre não apenas devido aos fatores de formação do solo que já impõem ao mesmo uma variabilidade natural, mas principalmente pelas conseqüências dos intensos processos erosivos, provocadas pelo uso incorreto

do solo. Resultado semelhante foi encontrado por BERG & KLAMT (1997) estudando a variabilidade espacial de propriedades do solo. Os autores verificaram que a desuniformidade de aplicação do calcário e diferentes dosagens induziu à variações do pH a curtas distâncias, ocasionando o efeito pepita puro.

É provável que a formação de sulcos ocasionados pelo escoamento superficial da água, uma das conseqüências do manejo incorreto do solo ao longo de vários anos, seja a de maior influência na dificuldade de detectar-se a dependência espacial das propriedades dos solos em áreas degradadas e na escala estudada. Nos locais onde se formam esses sulcos, ocorrem a retirada de parte, ou mesmo de todo o horizonte superficial, alterando conseqüentemente, de forma bastante irregular, suas propriedades (estrutura, textura, porosidade etc.). Esse fato confere aos solos degradados da microbacia estudada diferentes comportamentos em pequenas distâncias (metros ou até mesmo centímetros), implicando em uma variação muito mais acentuada e irregular, em relação a sua condição natural. Portanto, o conhecimento do atual estado de degradação e a escolha correta das distâncias entre os pontos de amostragens, é fundamental para se detectar as microvariações que possam ocorrer nas áreas de estudo.

5.5. Mapas temáticos gerados a partir dos valores de densidade do solo e porosidade total, utilizando o banco de dados do SIG Idrisi

Com o mapa de declividade, gerado no sistema de informação geográfica, foi possível obter um modelo digital de terreno (mapa tridimensional) para visualizar o relevo e superfícies geomorfológicas da microbacia (Figura 20). Analisando o modelo digital de terreno e o mapa de solos observou-se uma correlação bastante significativa entre compartimentos

geomorfológicos e os solos. Nos topos predominam o LE e o PV1; nas áreas de maior declividade (antes da ruptura de declive e na base da escarpa) tem-se o PV2; na escarpa encontram-se os solos litólicos e o PV3; e nas cotas mais baixas da microbacia, próximo ao córrego, observam-se o GP e A.

Através das observações contidas nos mapas de solo e uso (Figura 21), foi possível obter com precisão os locais apropriados para a coleta das amostras em relação ao solo e uso (LE-café, LE-pastagem, PV2-café, PV2-pastagem, PV2-mata/capoeira).

A partir desse mapa (solo x uso) e o banco de dados gerado no SIG-Idrisi contendo a densidade do solo e a porosidade total, foi possível realizar a ligação do mapa e dados e conseqüentemente gerar os mapas temáticos contendo informações do horizonte superficial e subsuperficial.

Existem trabalhos em que foram obtidos valores ou faixas de valores para a densidade do solo e porosidade total. ARCHER & SMITH, (1972) verificaram um valor ótimo de densidade do solo, a de $1,75 \text{ kg.dm}^{-3}$ para solos de textura areia franca, $1,50 \text{ kg.dm}^{-3}$ para solos franco arenosos, $1,40 \text{ kg.dm}^{-3}$ para franco siltosos e, $1,20 \text{ kg.dm}^{-3}$ para franco argilosos.

BRADY (1974) determinou intervalos de densidade do solo de acordo com a granulometria. Para solos arenosos, a faixa de variação da densidade do solo é de $1,20$ a $1,80 \text{ kg.dm}^{-3}$ e a de porosidade é de 35 a 50 % e, para solos argilosos, a variação da densidade é de $1,00$ a $1,60 \text{ kg.dm}^{-3}$ e da porosidade é de 40 a 60%.

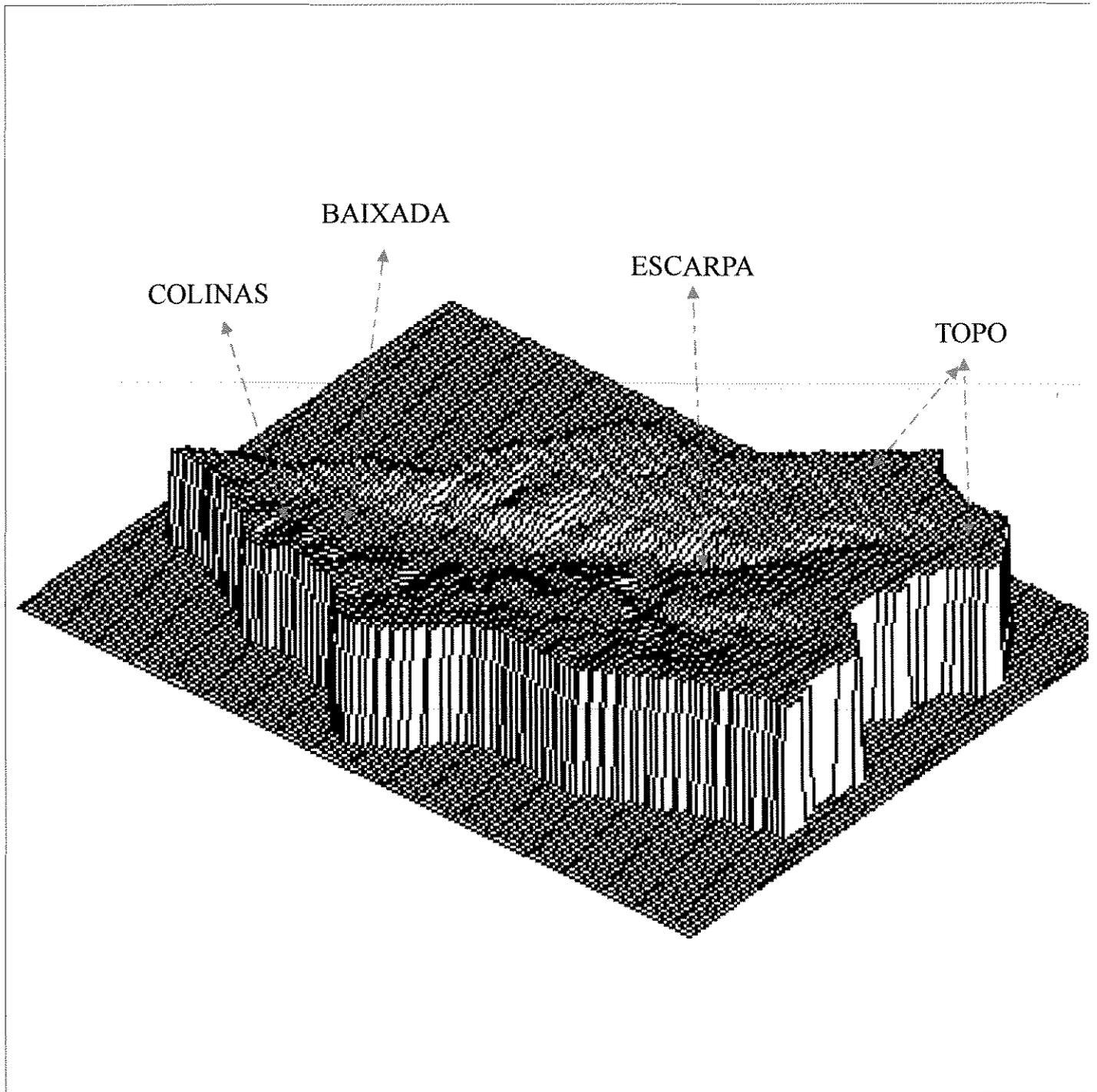


Figura 20. Imagem tridimensional da microbacia hidrográfica do córrego Água F, Vera Cruz (SP).

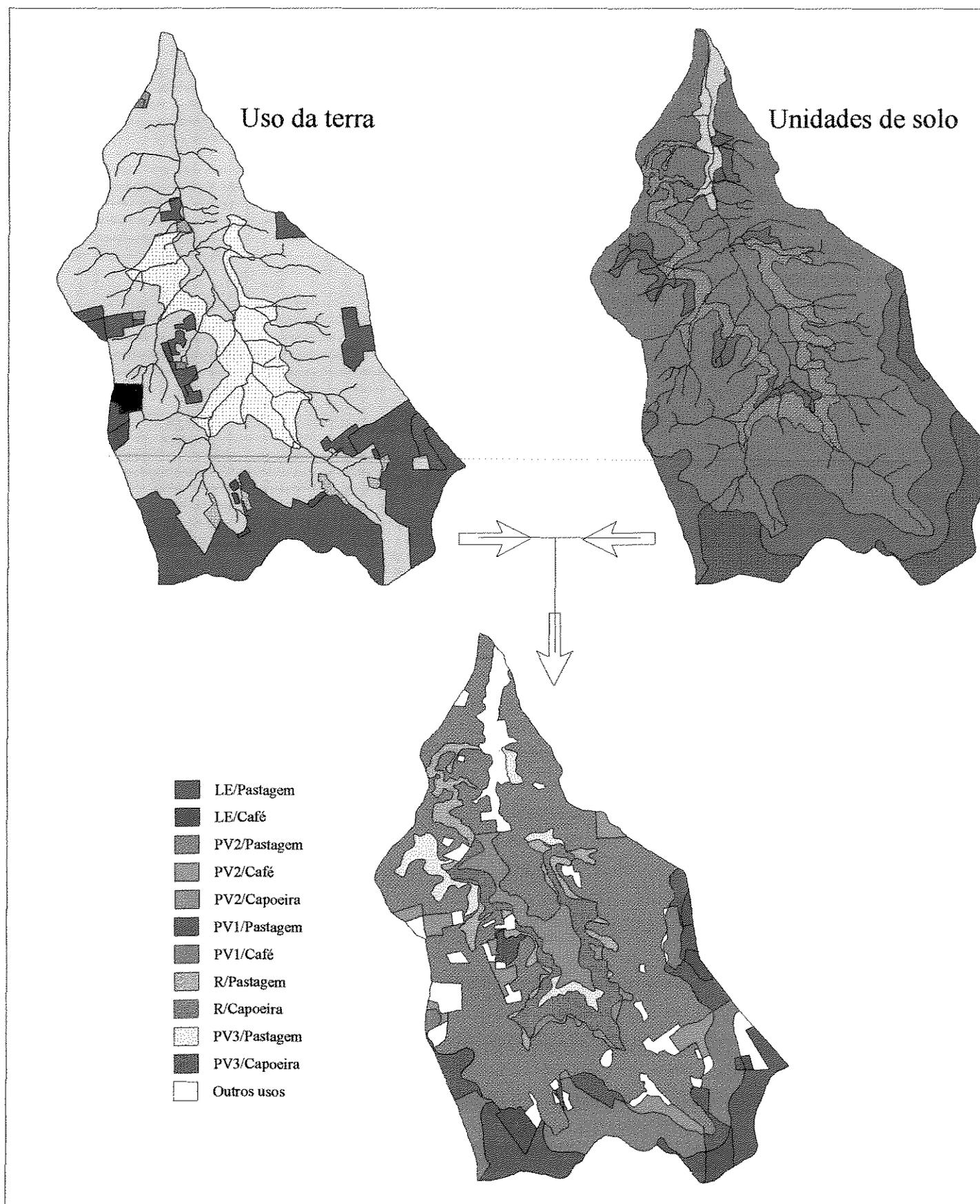


Figura 21. Procedimento para obtenção do mapa contendo informações de solo e uso da microbacia hidrográfica do córrego Água F, Vera Cruz (SP).

No entanto não foram encontrados na literatura intervalos de valores para essas propriedades nos horizontes superficiais e subsuperficiais, e em função de solo e uso. A dificuldade de se encontrar esses valores se deve tanto à variabilidade natural do solo, como também as diferentes maneiras de manejá-lo o que reflete em comportamentos diferenciados das suas propriedades físicas.

Portanto, as faixas dos valores de densidade do solo e porosidade total utilizadas na realização dos mapas temáticos foram definidas com base na amplitude dos dados obtidos na microbacia, sendo as seguintes: porosidade total ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$), faixa 1 - 0,55 a 0,50; faixa 2 - 0,50 a 0,45; faixa 3 - 0,45 a 0,39; para densidade do solo ($\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$), faixa 1 - 1,65 a 1,55; faixa 2 - 1,55 a 1,45; faixa 3 - 1,45 a 1,33.

Por meio do mapa temático de densidade do solo, apresentado na Figura 22 pode-se observar que para o PV2 e PV3, no horizonte A, a maior área da microbacia está compreendida no intervalo intermediário de densidade do solo ($1,55 - 1,45 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$) e para o horizonte B a grande maioria das áreas enquadra-se no primeiro intervalo ($1,65 - 1,55 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$), confirmando o maior adensamento do horizonte Bt.

No mapa temático de porosidade total (Figura 23) observou-se que na maior parte da microbacia, em ambos os horizontes a porosidade permaneceu na faixa intermediária ($0,50 - 0,45 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$), com exceção do PV3/pastagem e PV2/café que ficaram enquadrados na faixa inferior ($0,44 - 0,39 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$).

Ressalte-se que os valores inseridos no banco de dados para a geração dos mapas temáticos foram as médias das propriedades do solo obtidas a partir de amostragens aleatórias, não sendo, portanto, detectadas as variações existentes dentro das unidades de solo.

Em áreas degradadas, a exemplo da microbacia estudada, verificou-se a necessidade da realização de amostragens mais detalhadas para o estudo das propriedades físicas dos solos, tanto para planejamentos agrícolas, como para trabalhos mais específicos como a utilização de modelos para cálculo de erosão. Caso a amostragem de solos fosse realizada apenas de forma aleatória (Figura 2), não seria possível detectar a elevada variabilidade da espessura do horizonte A existente nos podzólicos vermelho-amarelos abruptos (PV2) e nem a correlação positiva existente entre a variabilidade dessa espessura e a infiltração da água. Portanto, os mapas temáticos gerados a partir de amostragens aleatórias fornecem informações generalizadas (Figuras 22 e 23), não detectando as variações existentes em cada unidade de solo causadas pelos processos de degradação.

Na realização de uma atividade agrícola que emprega alta tecnologia e que visa ao máximo a redução dos custos de produção, a amostragem aleatória das propriedades do solo não é suficiente pois, considera a homogeneidade do solo. Torna-se necessário a utilização de malhas regulares de amostragens para fornecer informações complementares, as quais implicarão em economia com fertilizantes, corretivos e máquinas agrícolas.

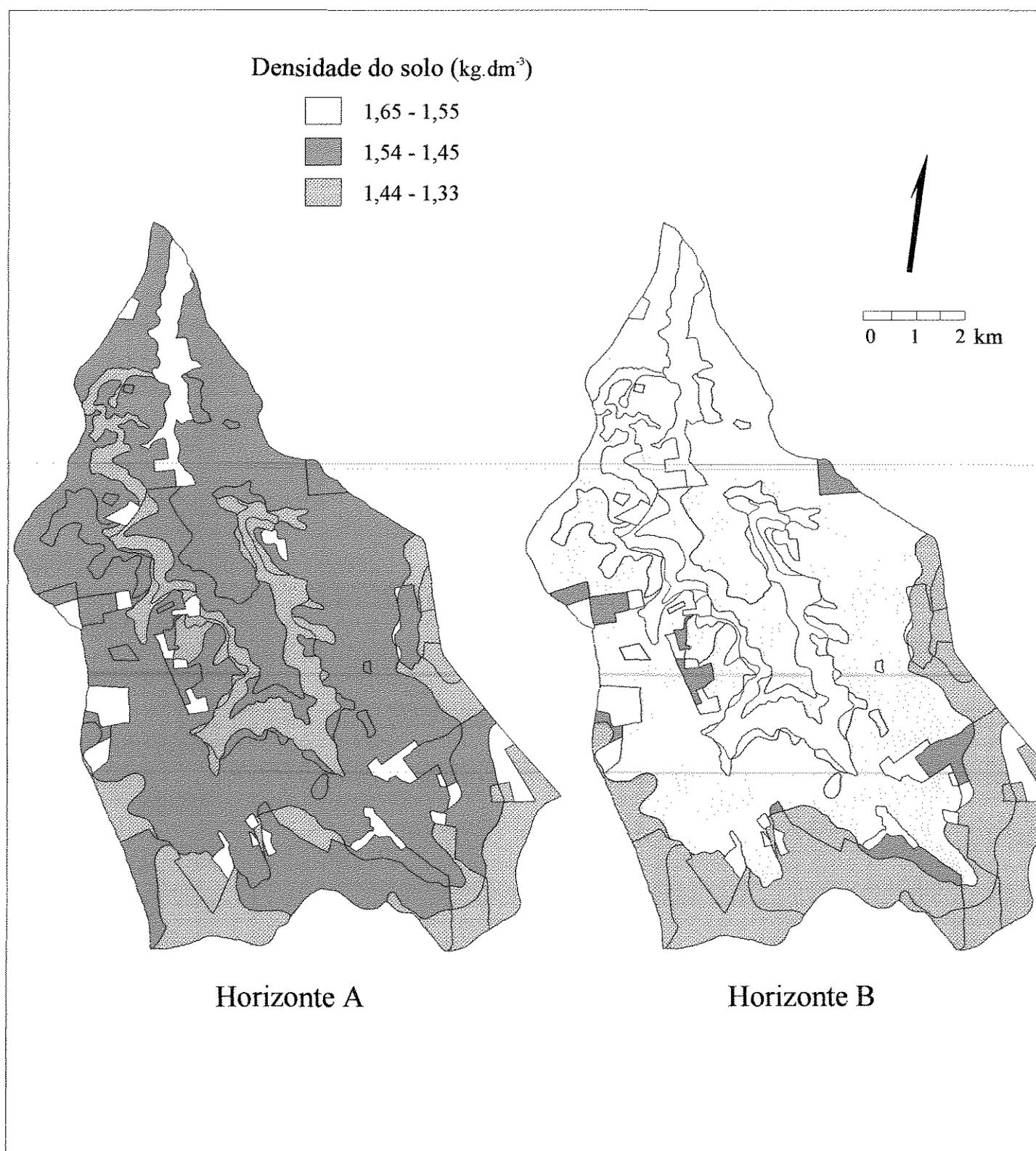


Figura 22. Mapa temático de densidade do solo, nos horizontes A e B, das unidades de solo da microbacia hidrográfica do córrego Água F, Vera Cruz (SP).

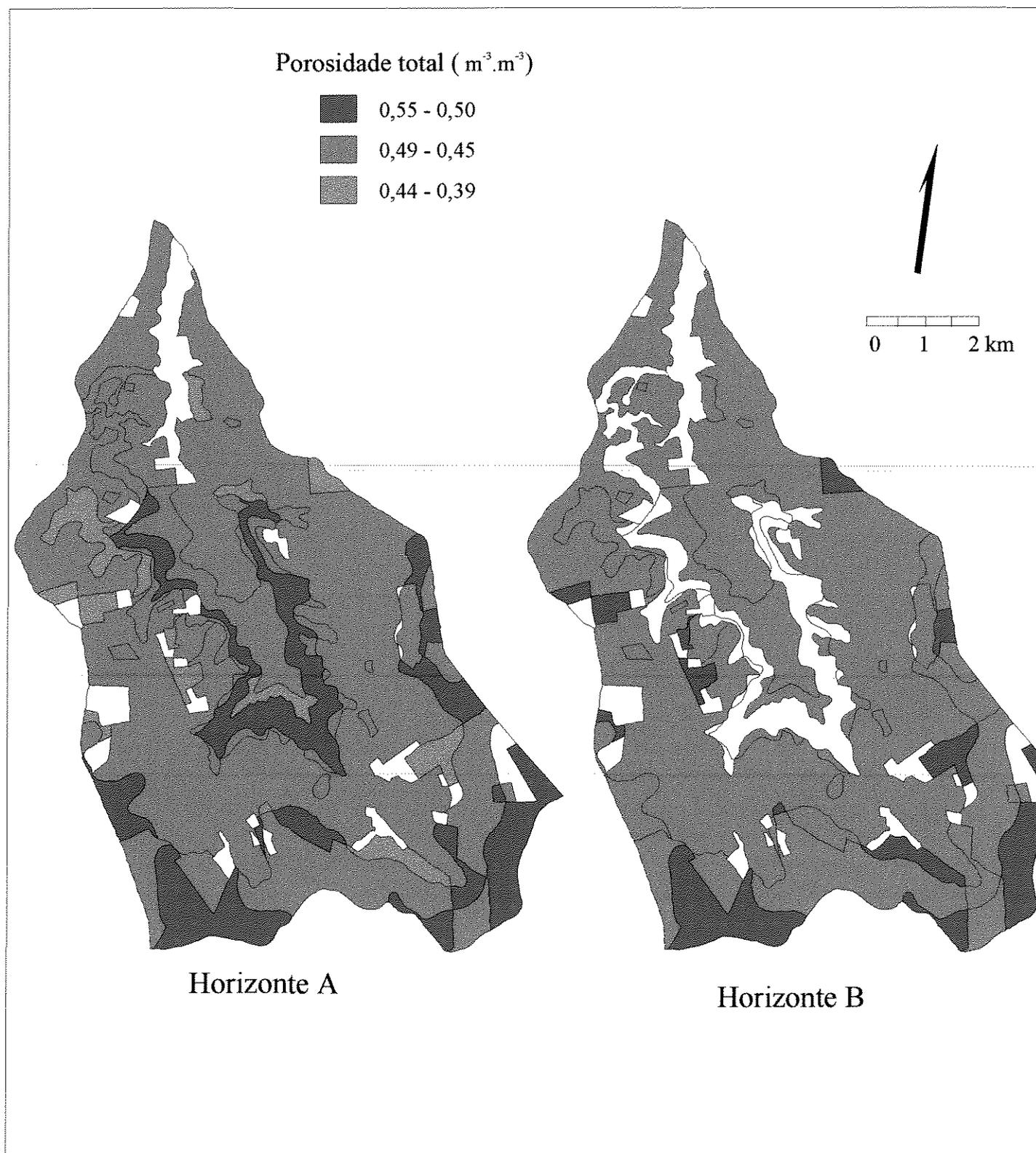


Figura 23. Mapa temático de porosidade total, nos horizontes A e B, das unidades de sol da microbacia hidrográfica do córrego Água F, Vera Cruz (SP).

6 – CONCLUSÕES

1. A brusca diminuição da infiltração da água, do horizonte E para o B textural e a diminuição da densidade do horizonte Bt, em todos os cultivos, confirma o forte impedimento físico à percolação da água proporcionado pelo caráter abrupto existente no PV2.
2. A alteração das propriedades físicas no horizonte superficial, comprovada pelo aumento da densidade do solo e diminuição da macroporosidade, foi maior no LE, em ambos os manejos (café e pastagem), em comparação com os demais solos da microbacia.
3. Há correlação positiva da infiltração e espessura do horizonte A+E em PV2, nos cultivos de café e capoeira, detectada através da utilização do semivariograma cruzado.
4. A variação espacial da espessura do horizonte A+E foi bastante elevada no PV2 nos cultivos de café e pastagem, indicando intensa atividade dos processos erosivos. Em mata/capoeira a cobertura vegetal reduziu a perda do horizonte A+E, comprovado pela maior espessura e menor variação espacial.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGBU, P.A.; OLSON, K.R. Spatial variability of soil properties in selected Illinois Mollisols. **Soil Sci.**, 150(5), november, p777-785, 1990.
- ALBUQUERQUE, J.A., REINERT, D.J. & FIORIN, J.E. Variabilidade de solo e planta em podzólico vermelho-amarelo. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 20(1): 151-157, 1996.
- ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. & FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 19(1): 115-119, 1995.
- ANJOS, J.T.; UBERTI, A.A.A.; VIZZOTTO, V.J.; LEITE, G.B. & KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 18(1): 139-145, 1994.
- ARCHER, J.R. & SMITH, P.D. The relation between bulk density available water capacity and air capacity of soil. **J. Soil Sci.**, London, 23: 475-480, 1972.
- ARONOFF, S. Geographic information systems: a management perspective. Ottawa, Canada, WDL Publications, 1989. 294 p.
- ASSAD, M.L.L. Uso de um sistema de informação geográfica na determinação da aptidão agrícola das terras. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 19(1): 133-139, 1995.
- BACCHI, O.O.S. & REICHARDT, K. Estimativa da condutividade hidráulica do solo através de escalonamento do potencial matricial. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 16(1): 1-6, 1992.

- BAEUMER, C.R. & BAKERMANS, W.A.P. Zero-tillage. *Advances in Agronomy*, New York, 25: 77-123, 1973.
- BELTRAME, L.F.S.; GONDIM, L.A.P. & TAYLOR, J.C. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 5(3): 145-149, 1981.
- BERG, M. Van den & KLAMT, E. Variabilidade espacial de características de solos na região do planalto médio, RS: I. análise de variância por amostragem aninhada. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 21(3): 393-399, 1997.
- BERTOLANI, F.C.; ROSSI, M.; PRADO, H. Utilização de um sistema de informação geográfica no levantamento pedológico semidetalhado do município de Vera Cruz - SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Rio de Janeiro, 1997. Resumos expandidos. CD-Rom. Rio de Janeiro, SBCS e Embrapa/SNLCS, 1997.
- BHATTI, A.U.; MULLA, D.J. & FRAZIER, B.E. Estimation of soil properties and wheat yields on complex eroded hills using geostatistics and thematic mapper images. **Remote Sens. Environ.** New York, 37: 181-91, 1991.
- BOUMA, J. From soil survey to a soil database precision agriculture. *Precision Agriculture '97 - Spatial Variability in Soil and Crop*, Stanford, J.V. (Ed) - BIOS Scientific Publishers Limited, 1, 61-69, 1997.
- BRADY, N.C. *Nature and properties of soils*. 8 ed. New York, McMillan, 1974. 639 p.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas. Manual Operativo. Brasília, DF, Coordenação Nacional do PNMH, Ministério da Agricultura, 1987. 60 p.
- BURROUGH, P.A. *Principles of geographical information systems for Land Resources Assessment*. Clarendon Press, Oxford, 1986. 194 p.
- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. & VALADARES, J.M.A.S. *Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto*

- Agrônomo de Campinas. Campinas, Instituto Agrônomo, 1986. 94 p. (Boletim técnico, 106)
- 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 Soil. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.58, p.1501-1508, 1994.
- CASTRO, O.M.; CAMARGO, O.A.; VIEIRA, S.R.; DECHEN, S.C.F. & CANTARELLA, H. Caracterização química e física de dois latossolos em plantio direto e convencional. Campinas, Instituto Agrônomo, 1987. 23 p. (Boletim técnico, 11)
- CENTURION, J.F. & DEMATTÊ, J.L.I. Efeito de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 9(3); p.263-266, 1985.
- CORRÊA, J.C. Características físico-hídricas dos solos latossolo amarelo, podzólico vermelho-amarelo e podzol hidromórfico do Estado do Amazonas. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, 19(3):347-360, mar. 1984.
- DONZELI, P.L.; VALÉRIO FILHO, M.; PINTO, S. A. F.; NOGUEIRA, F. de P.; ROTTA, C.L. & LOMBARDI NETO, F. Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao diagnóstico básico para planejamento e monitoramento da microbacia hidrográfica. In: Lombardi Neto, F. & Camargo, O.A. Microbacia do córrego São Joaquim (município de Pirassununga, SP). Campinas, Instituto Agrônomo, 1992. p.91-119. (Documentos IAC, 29)
- EASTMAN, J.R. Idrisi for Windows User's Guide. Worcester: Clark University, 1995. 390 p.
- FISHER, R. A. Statistical methods for research workers. Edinburgh, F.A.E. Crew, 1950. 365 p.
- FORMAGGIO, A.R.; ALVES, D.S. & EPIPHÂNIO, J.C.N. Sistema de informações geográficas na obtenção de mapas de aptidão agrícola e de taxa de adequação de uso das terras. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas 16(2): 249-256, 1992.

- FREITAS, P. L. & KER, J. C. Manejo integrado de solos em microbacias hidrográficas. In: CASTRO FILHO, C. & MUZILLI, O., eds. Londrina, IAPAR/SBCS, 1996 p.43-57.
- HILLEL, D. Applications of soil physics. New York, Academic Press, 1980. 385 p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. São Paulo. Carta do Brasil: Alvinlândia. Ministério do Planejamento e Coordenadoria Geral, 1973. Escala 1:50.000.
- IPT. Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo. Mapa de Erosão do Estado de São Paulo. 1ª ed. São Paulo, IPT. 1995.
- IPT. Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo. Mapa geológico do Estado de São Paulo. São Paulo, IPT, 1981. v.2.
- IPT. Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo. Orientação para o combate à erosão do Estado de São Paulo, Bacia do Peixe-Paranapanema. São Paulo, IPT, 1986, v.6., 739p, (IPT, Relatório 24)
- KACHANOSKI, R.G.; ROLSTON, D.E.; JONG, E. Spatial and spectral relationships of soil properties and microtopography I. Density and thickness of A horizon. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 49, n.4, july-aug., p. 804-811, 1985.
- KRIGE, D. G. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the witwaterland. *J. Chem. Metall. and Min. Soc.*, South Africa, 52(6): 119-139, 1951.
- LAL, R. Soil erosion and its relation to productivity in tropical soil. In: EL-SWAIFY, S. A.; MOLDENHAUER, W.C.; ANDREW, L., eds. Soil erosion and conservation. Ankeny: Soil Conservation Society of America, 1985. p. 237-247.
- LAL, R. Soil erosion research methods. Ankeny: Soil Conservation Society of America, 1988. p. 1-6: Soil erosion by wind and water: problems and prospects.

- LEITÃO FILHO, H.F. Aspectos taxonômicos das florestas do Estado de São Paulo, *Silvicultura*, São Paulo, 16A(1): 197-206, 1982.
- LEITE, J.A. & MEDINA, B.F. Efeito de sistemas de manejo sobre as propriedades físicas de um latossolo amarelo do Amazonas. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, 19(11), 1417-1422, 1984.
- LEMOS, R.C. de & SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 3.ed. Campinas, SBCS/CNPS, 1996. 83 p.
- LIMA, E.R.V., KUX, W.J.H. & SAUSEN, T.M. Sistemas de informação geográfica e técnicas de sensoriamento remoto na elaboração de mapa de riscos de erosão no sertão da Paraíba. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 16(2): p.257-263, 1992.
-
- MACHADO, J.A., PAULA SOUZA, D.M. & BRUM, A.C.R.. Efeito de anos de cultivo convencional em propriedades físicas do solo. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 5(3), 187-189, 1981.
- MATHERON, G. Principles of geostatistics. *Economic Geology*, 58(1): 1246-1266, 1963.
- MCBRATNEY, A.B., PRINGLE, M.J. Spatial variability in soil - implications for precision agriculture. *Precision Agriculture '97 - Spatial Variability in Soil and Crop*, Stanford, J.V. (Ed) - BIOS Scientific Publishers Limited, 1, 3-31, 1997.
- MILLER, M.P.; SINGER, M.J. & NIELSEN, D.R. Spacial variability of wheat yield and soil properties on complex hills. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, 52:1133-1141, 1988.
- MONBEIG, P. - Pionniers et planteurs de São Paulo. Paris, Libr. Armand Colin, 1952. 376 p.
- MOREIRA, J.A.A. & SILVA, C.J.C.G. Características de retenção de água de um solo podzólico vermelho-amarelo de Goiana, Pernambuco. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, 22(4):411-418, abr. 1987.

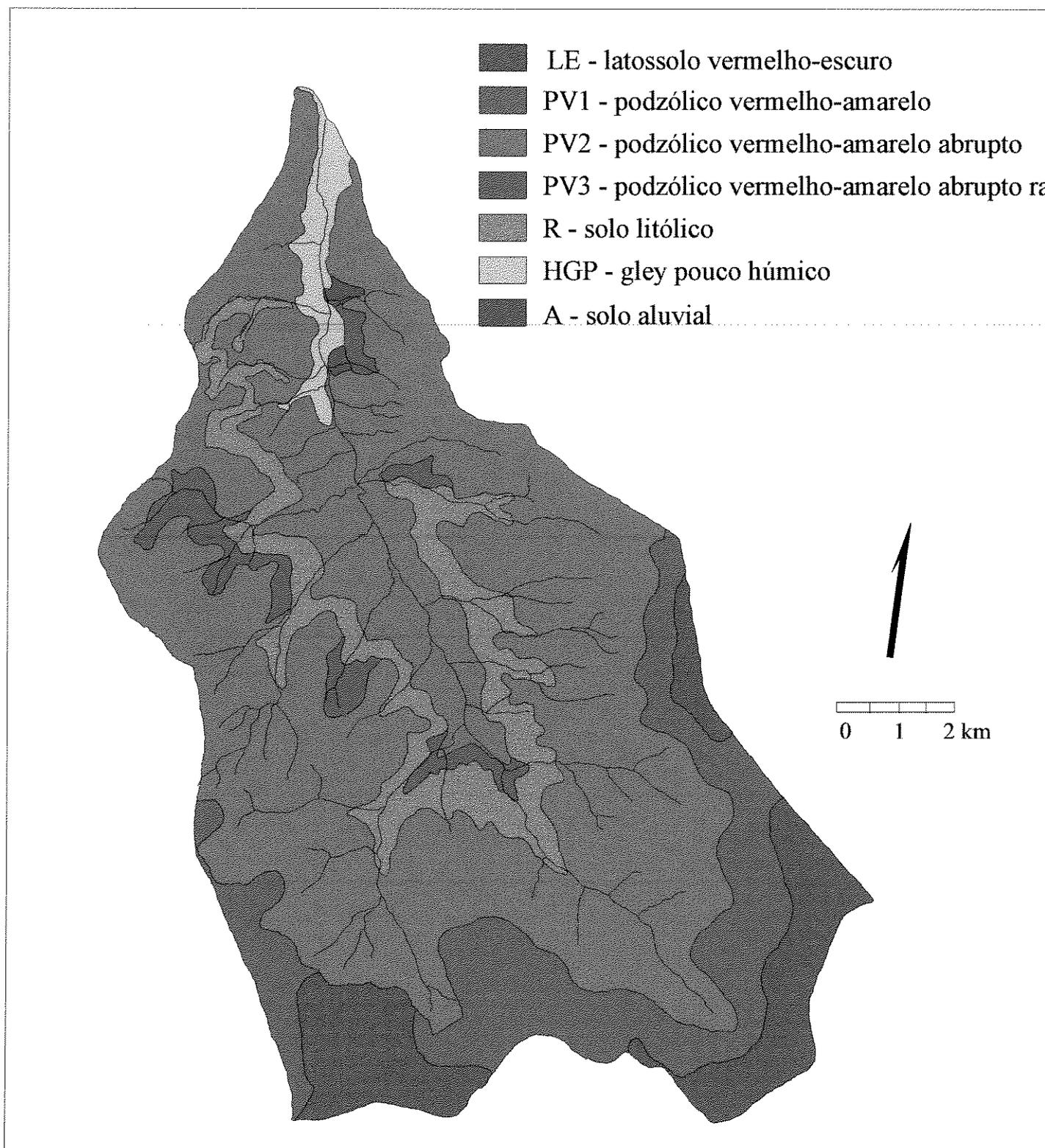
- MOURA, E. G. Avaliação das qualidades físicas dos solos de duas transeções na baixada ocidental maranhense. Botucatu. 1991. 130 p. (Dissertação de Mestrado - UNESP/Botucatu)
- NESTEL, D. & KLEIN, M. Geoestatistical analysis of leafhopper (Homoptera: Cicadellidae) Colonization and Spread in diciduous orchards. *Environ. Entomol.*, College Park, V.24, n.5, p.1032-1039, 1995.
- NIELSEN, D.R.;BIGGAR, J.W. & EHR, K.T. Spatial variability of field measured soil water properties. *Hilgardia*, Berkely, 42:215-259, 1973.
- OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K.T. & CAMARGO, M.N. Classes gerais de solos do Brasil - Guia auxiliar para seu reconhecimento. Jaboticabal, FUNEP, 1992. 201 p.
-
- PAZ, A.G. & TABOADA, M.T. Medida del microrrelieve del suelo y estimación de la retención hídrica en depresiones de la superficie. In: Grandal d'Anglade, A. y Pagés Valcarlos, J., eds. IV Reunión de Geomorfología. A Coruña, Sociedad Española de Geomorfología, 1996. p 829-841.
- PEÑA, Y.A., GOMES, A. de S. & SOUZA, R.A. Influência de diferentes sistemas de cultivo nas propriedades físicas de um solo de várzea cultivado com arroz irrigado. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 20(3), 517-523, 1996.
- PREVEDELLO, B.M.S. Variabilidade espacial de parâmetros de solo e planta. Piracicaba, 1987. 166p. (Tese de Doutorado - ESALQ/USP).
- QUEIROZ NETO, J.P. & JOURNAUX, A., coords. - Carta Geomorfológica do Vale do Rio do Peixe em Marília (SP), escala 1:100.000. São Paulo, Instituto de Geografia, USP, 1978.
- REICHARDT, K. ; KIRDA, C. ; ZAPATA, F. ; HARDARSON, G. & AXMANN, H. Evaluation of soil-water and plant nitrogen status by nuclear techniques. In: PROCEEDINGS OF THE REGIONAL WORKSHOP ON NUCLEAR TECHNIQUES IN CROP PRODUCTION. Piracicaba, CENA, 1984. p.239-246.

- REICHARDT, K.; VIEIRA, S.R. & LIBARDI, P.L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 10(1), 1-6, 1986.
- REICHERT, M.J., ALMEIDA, M. & CABEDA, M.S.V. Selamento superficial e infiltração de água em solos do Rio Grande do Sul. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 16(3), 289-298, 1992.
- REYNOLDS, W.D. & ELRICK, D.E. Measurement of field-saturated hydraulic conductivity, sorptivity and conductivity-pressure head relationship using the "Guelph permeameter". In: NATIONAL WATER WELL ASSOCIATION CONFERENCE ON CHARACTERIZATION AND MONITORING OF THE VADOSE (Unsaturated) ZONE, Denver, Colorado, 1985. Proceedings, 25 p.
-
- RICHARDS, L.A. & FIREMAN, M. Pressure plate apparatus for measuring moisture sorption and transmission by soils. **Soil Sci.**, 56: 395-404, 1943.
- RICHARDS, L.A. Physical condition of water in soil. In: BLACK, C.A. Methods of Soil Analysis I. **American Society of Agronomy**, Madison, 1965. p.128-151.
- SALTON, J.C. & MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um podzólico vermelho-escuro de Eldorado do Sul (RS). **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 19(2): 313-319, 1995.
- SALVIANO, A.A.C. Variabilidade de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* em solo degradado do município de Piracicaba-SP. Piracicaba, 1996. 91p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- SCHOTZKO, D. J. & KNUDSEN, L. E. Use of geostatistics to evaluate a spatial simulation of *Lygus hesperus* (Heteroptera: Miridae) in lentils. **J. Econ. Entomol.**, College Park, 21(6): 1271-1282, 1992.
- SIDIRAS, N.; HENKLAIN, J.C. & DERPSCH, R. Comparison of three different tillage systems with respect to aggregate stability, the soil and water conservation and the yields of soyben and wheat on a oxisol: In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL SOIL TILLAGE RESEARCH ORGANIZATION, 9., Osijek, 1982. p. 537-544.

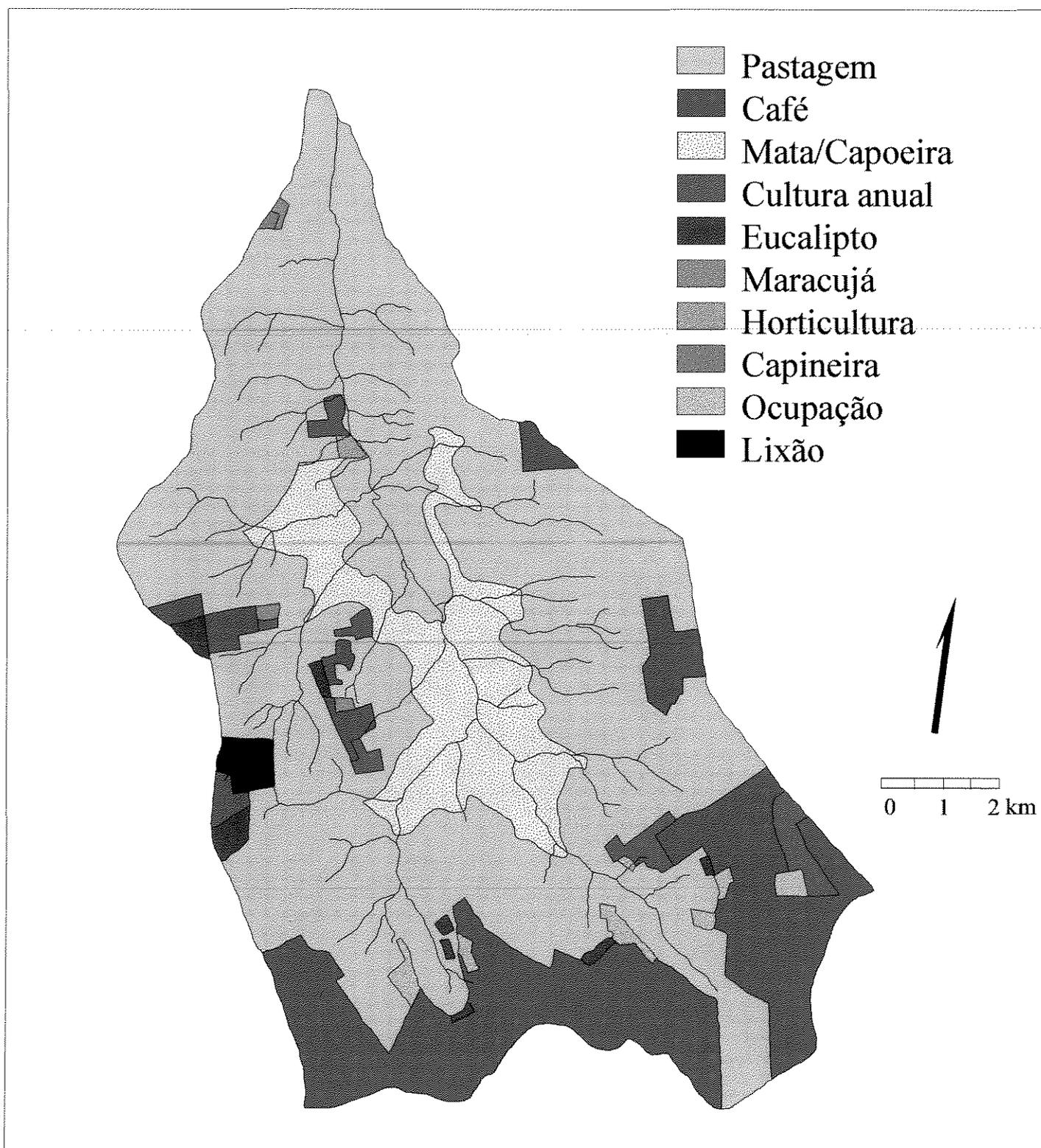
- SIDIRAS, N.; DERPSCH, R.; MONDARDO, A. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo na variação da umidade e rendimento da soja, em Latossolo Roxo distrófico (Oxisol). **R. bras. Ci Solo**, Campinas, 7(1), 103-106, 1983.
- SILVA, J.R.; GLORIA, S.D.; PHILIPSON, W.R. & McNEIL, R.J. Estudo da mudança de uso da terra através de um sistema de análise georreferenciada. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 17(3):451-457, 1993.
- SNEDECOR, G. W. Statistical methods. Ames, Iowa State University Press, 1967. 583 p.
- SOARES, P. C. ; LANDIN, P. M. B. ; FÚLFARO, V. J. ; SOBREIRO NETO, A. P. Ensaio de caracterização estratigráfica do cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. **R. bras. Geociências**, São Paulo, 10(3), 177-185, 1980.
- SOUZA, L.S.; COGO, N.P.; VIEIRA, S.R. variabilidade de propriedades físicas químicas do solo em um pomar cítrico, **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 21:367-372, 1997.
- TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; WADE, M.K.; UEHARA, G. & SUDJADI, M. Spatial variation of soil properties and rice yield on recently cleared land. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 51(3), p. 668-674, 1987.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAM. International Soil Reference and Information Centre. GIS evaluation of GLASOD map. Nairobi: UNIP-ISRIC, 1991
- VAUCLIN, M. ; VIEIRA, S.R. ; BERNARDI, R. & HATFIELD, J.L. Spatial variability of surface temperature along two transects of bare soil. **Wat. Res. Res.**, Washington, 8 (6): 1676-1686, 1982.
- VIEIRA, S.R.; BERTOLANI, F.C.; PRIMAVESI, O. Alterações, na qualidades dos solos de uma microbacia, pelo uso e manejo. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO - SOLO/SUELO. Águas de Lindóia, 1996. Resumo expandido. Piracicaba. CD-Rom.

- VIEIRA, S.R. & DE MARIA, I.C. Delineamento experimental e análise estatística na pesquisa em conservação do solo . In: REUNIÓN SOBRE METODOLOGIA PARA INVESTIGACIÓN EN MANEJO DE SUELOS, Passo Fundo, 1990. Dialogos, editado por Puignam et al. Montevideo. IICA, 1994. p.3-11. (Diálogo, 39).
- VIEIRA, S. R. ; HATFIELD, J. L. ; NIELSEN, D. R. & BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, Berkeley, 51 (3): 1-75, 1983.
- VIEIRA, M.J. & MUZILLI, O. Características físicas de um latossolo vermelho-escuro sob diferentes sistema de manejo. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, 19(7): 873-882, 1984.
- VIEIRA, S. R. ; NIELSEN, D. R. & BIGGAR, J. W. Spatial variability of field measured infiltration rate. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, 45: 1040-1048. 1981.
- VIEIRA, S.R.; TILLOTSON, P.M.; BIGGAR, J.W. & NIELSEN, D.R. Scaling of semivariograms and the kriging estimation of field-measured properties. *Campinas, R. bras. Ci. Solo*, 21(4), p.525-533, 1997.
- WALLACE, M. K. & HAWKINS, D. M. Aplications of geoestatistic in plant nematology. **J. Nematol.** 26(2), n.4, p. 626-634, 1994.
- ZIMBACK, C.L.R. & CARVALHO, A.M. de. Caracterização hídrica dos solos de três microbacias hidrográficas, na região de Marília (SP). **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 20(3): p.459-466, 1996.

Apêndice 1. Mapa das unidades de solo da microbacia hidrográfica do córrego Água F, Vera Cruz (SP).



Apêndice 2. Mapa do uso da terra da microbacia hidrográfica do córrego Água F, Vera Cruz (SP).



Apêndice 3 - Parâmetros do semivariograma para a infiltração da água no solo e espessura do horizonte A

Propr.	Co	C1	A	FS	MR	VR
LE/CAFÉ						
Inf-A	0,5	0,8	27	15.620	0,124	0,975
Inf-B			Efeito pepita puro			
hor-A			Efeito pepita puro			
LE/PASTO						
Inf-A			Efeito pepita puro			
Inf-B*	0,3	1	23	14.130	0,023	1,216
hor-A	0,5	0,7	23	4,32	0,138	0,984
PV/CAFÉ						
Inf-A	0,2	1	23	6.964	0,257	0,964
Inf-E	0,3	1,1	22	1.485	0,311	1,023
Inf-B			Efeito pepita puro			
hor-A	0,2	1	23	12,64	0,179	1,110
PV/CAPOEIRA						
Inf-A			Efeito pepita puro			
Inf-E*	0,1	0,9	30	7.504	0,046	1,219
Inf-B	0,2	1	31	248	0,217	0,936
hor-A			Efeito pepita puro			
PV/PASTO						
Inf-A			Efeito pepita puro			
Inf-E	0,1	1	27	23.000	0,157	0,993
Inf-B			Efeito pepita puro			
hor-A			Efeito pepita puro			

* modelo gaussiano

Efeito pepita (Co), $C1 = (C - Co)$, Alcance (a) dos modelos ajustados referente aos semivariogramas escalonados, fator de escalonamento (FS), média dos erros reduzidos (MR) e variância dos erros reduzidos (VR) para as propriedades dos solos estudados

Apêndice 4 - Descrição morfológica dos solos da microbacia hidrográfica

1. Classificação: Solo litólico eutrófico textura arenosa substrato arenito (R)

A. Descrição geral:

Situação topográfica: escarpa

Declive: 40%

Relevo: escarpado

Altitude: 560 metros

Uso atual: pastagem

B. Descrição morfológica:

A 0-20 cm 5YR 2/2, úmido; areia; subangular média fraca; friável, não plástico e não pegajoso; transição abrupta e plana.

Raízes: abundantes no horizonte A.

2. Classificação: solo aluvial eutrófico (A)

A. Descrição geral da área:

Situação topográfica: baixada

Declive: 1%

Relevo: plano

Altitude: 420 metros

Uso atual: pastagem abandonada

B. Descrição morfológica

A 0-22cm cinzento-claro (2,5Y 7/2, úmido); arenosa; grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição abrupta e plana

C1 22-75cm Bruno (7,5YR 5/4, úmida); arenosa; grãos simples; muito friável; não plástica e não pegajosa; transição abrupta e plana.

C2 75-120cm amarelo-avermelhado e cinzento-escuro (5YR 5/6, 10YR 4/1, úmida); média; maciça; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição abrupta e ondulada

C3 120-180cm cinzento-claro (2,5Y 6/1); arenosa; grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa

Raízes: abundantes no horizonte A, muitas no C1 e poucas no C2

3. Classificação: Podzólico vermelho-amarelo, distrófico ou álico Tb A moderado textura arnosa/média (PV1)

A. Descrição geral da área:

Situação topográfica: terço superior

Declive: 7%

Relevo: suave ondulado

Altitude: 580 metros

Uso atual: café

B. Descrição morfológica

Ap1	0-15cm	bruno avermelhada (5YR 4/3, úmido); arenosa; subangular, média e pequena, fraca; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição clara e plana
AB	15-35cm	bruno avermelhado (5YR 4/4, úmida); arenosa; subangular, média, fraca; muito friável; pouco plástica e pouco pegajosa; transição gradual e plana.
BA	35-65cm	amarelo-avermelhado (5YR 4/5, úmida); média; subangular, média, fraca; muito friável, plástica e pegajosa; transição gradual e plana
Bt1	65-90cm	vermelho-amarelada (5YR 4/5); média; subangular, média, fraca; muito friável, plástica e pegajosa; transição difusa e plana
Bt2	90-120cm	vermelho-amarelada (5YR 4/6, úmido); franco argilo arenoso; subangular, média, fraca; muito friável, plástica e pegajosa; transição difusa e plana
Bt3	120-200cm	vermelho-amarelada (5YR 5/6, úmida); franco argilo arenoso; subangular, média, fraca; muito friável, plástica e pegajosa

Raízes: abundantes no horizonte Ap1, muitas no AB e poucas a partir de BA

4. Classificação: Podzólico vermelho-amarelo, eutrófico Ta A moderado textura arnosa/média (PV2)**A. Descrição geral da área:**

Situação topográfica: terço médio

Declive: 12%

Relevo: Ondulado

Altitude: 540 metros

Uso atual: pastagem

B. Descrição morfológica

Ap1	0-15cm	bruno (10YR 4/3, úmido); areia; granular, pequena, fraca; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição clara e plana
Ap2	15-25cm	bruno amarelado-escuro (5YR 4/4, úmida); areia; granular, pequena, fraca; muito friável; não plástica e não pegajosa; transição gradual e plana.
E1	25-60cm	bruno amarelado-claro (5YR 5/5, úmida); areia; grão simples, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição clara e plana
E2	60-75cm	bruna avermelhado (5YR 5/4); areia; grão simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição abrupta e ondulada
Bt1	75-100cm	bruno avermelhado (5YR 5/3, úmido); franco argilo arenoso; subangular, média, fraca; cerosidade pouca e fraca; friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana
Bt2	100-160cm	vermelho amarelado (5YR 5/6, úmida); franco argilo arenoso; subangular, média, fraca; cerosidade pouca e fraca; friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana
Bt3	160-200cm	vermelho amarelo (5YR 5/7); franco argilo arenoso; subangular, média, fraca; cerosidade pouca e fraca; friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa

Raízes: abundantes no horizonte Ap1, muitas no Ap2 e E1 e poucas a partir do horizonte E2

5. Classificação: Latossolo vermelho-escuro, álico Tb A moderado textura média (LEa)

A. Descrição geral da área:

Situação topográfica: topo

Declive: 2%

Relevo: suave ondulado

Altitude: 630 metros

Uso atual: café

B. Descrição morfológica

Ap	0-15cm	bruno avermelhado escuro (5YR 3/4, úmido); areia franca; granular, pequena, fraca; muito friável, pouco plástica e pouco pegajosa; transição clara e plana
AB	15-35cm	bruno avermelhado-escuro (5YR 4/4, úmida); franco arenoso; subangular, média, fraca; muito friável; plástica e pegajosa; transição gradual e plana.
BA	35-60cm	vermelho escuro (4YR 4/5, úmida); franco arenoso; subangular, média, fraca; muito friável, plástica e pegajosa; transição gradual e plana
Bw1	60-95cm	vermelha (2,5YR 4/5); franco argilo arenoso; subangular, média, fraca; muito friável, plástica e pegajosa; transição difusa e plana
Bw2	95-170cm	vermelha (2,5YR 4/7, úmido); franco argilo arenoso; subangular, média, fraca; muito friável, plástica e pegajosa; transição difusa e plana
Bw3	170-200cm	vermelha (2,5YR 4/8, úmida); franco argilo arenoso

Raízes: Muitas no horizonte Ap e AB, comum no BA e Bw1 e, poucas a partir do horizonte Bw2

Apêndice 5 - Dados analíticos das unidades de solo da microbacia

Composição química das unidades de solo da microbacia hidrográfica						
Horizonte A						
Solo	Características					
	pH	C	SB	CTC	V	m
		%	---cmol/kg---		-----%-----	
Latossolo vermelho-escuro (LE)	5,1	0,6	2,8	5,0	54	29
Podzólico vermelho-amarelo (PV1)	5,9	0,5	3,3	4,2	80	5
Podzólico vermelho-amarelo (PV2)	5,5	0,8	2,9	4,0	64	12
Podzólico vermelho-amarelo (PV3)	5,9	0,9	3,1	3,9	80	10
Solo litólico (R)	5,9	1,2	0,5	5,9	78	10
Solo aluvial (A)	5,6	0,6	5,1	6,3	55	1
Solo gley pouco húmico (GP)	5,7	1,1	4,1	5,8	63	14
Horizonte B*						
Solo	Características					
	PH	C	SB	CTC	V	m
		%	---cmol/kg---		-----%-----	
Latossolo vermelho-escuro (LE)	4,4	0,4	0,5	2,9	26	65
Podzólico vermelho-amarelo (PV1)	6,0	0,5	8,8	10	89	2
Podzólico vermelho-amarelo (PV2)	4,8	0,2	1,8	4,1	41	40
Podzólico vermelho-amarelo (PV3)	6,1	0,3	8,9	9,9	90	2
Solo litólico (R)	-	-	-	-	-	-
Solo aluvial (A)	7,5	2,6	16,3	17,5	93	0
Solo gley pouco húmico (GP)	5,6	0,2	5,0	6,0	79	15

* Na ausência de horizonte B foi considerado o horizonte C

Apêndice 6 – Procedimento utilizado para a realização da análise geoestatística

1º passo:

Inserir os dados de fluxo constante nas duas cargas hidráulicas obtidas através do permeâmetro IAC.

```
C:>edit *.dat <enter>
  1. local de coleta
  2. município
  3. uso do solo
  4. solo/profundidade
  5. data
  6. n° de pontos coletados
```

Exemplo: Microbacia Água F
Vera Cruz - SP
Pasto
PV2 - hor.B
21 e 22/05/97
25
1
3 0.58
6 1.12
2
3 3.37
6 4
:
25
3 10
6 12.2

2º passo:

Utilizar o programa gpm.exe para calcular a infiltração da água no solo (inf.) a partir dos dados de fluxo constante.

```
C:> gpm <enter>
  1. escolher n° para textura do solo (1, 2 ou 3)
  2. n° de tratamentos (1)
  3. raio do trado, cm (6 cm) - trado da SCS
  4. arquivo de dados *.dat
```

3º passo:

Com todos os dados coletados e analisados (infA, infE, infB e espessura do horizonte A), fez-se um arquivo com extensão prn (*.prn). Esse arquivo deve conter as seguintes informações:

C:> edit *.prn <enter>

1. nome da variável nome local data
 ↑1ªlinha ↑21ªlinha ↑41ªlinha ↑61ª linha
2. nº de pontos , nº do colunas
3. var. A , var. B , var. C (usar 5 caracteres)
4. unidade A , unid. B , unid. C (usar 5 caracteres)

Exemplo

C:> edit *.prn <enter>

Prop. fisico-hidrica Fernando Bertolani Microbacia - Vera Cruz maio/1997
25,5

Inf-A Kfs-A Inf-B Kfs-B Esp-A

mm/h	m/d	mm/h	m/d	cm		
0	0	189.3	2.682	209.7	4.080	25
10	0	-1.0	4.409	258.1	8.810	28
20	0	233.3	4.853	309.7	4.647	29
10	10	173.9	3.443	165.9	0.1768	24
20	10	209.8	4.509	215.8	3.238	25
30	10	155.9	3.700	169.9	1.448	26
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
30	40	219.8	5.628	310.2	5.939	28
40	40	215.8	4.029	251.8	4.700	26
↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
coord (x,y)		Variáveis (1,2,3,4,5)				

Este arquivo normalmente recebe a extensão prn apenas porque a adição das coordenadas é feita no Excel, e o arquivo deve ser gravado com texto separado por espaço.

4º passo:

Com os dados corretamente colocados no arquivo *.prn, utilizar o programa avar.exe para obter os valores de semivariância que serão usados posteriormente para calcular o semivariograma.

C:> edit avar.par <enter>

1. nome do trabalho
2. arquivo de dados (*.prn)
3. NLEG , NSTEP

Exemplo: C:> edit avar.par <enter>
 variabilidade
 lvbrc126.prn
 20,1

Inserindo os dados no arquivo avar.par, rodar o programa avar.exe

C:> avar <enter>

5º passo:

Utilizar o programa stat para calcular parâmetros da estatística clássica - média, coef. de variação, máximo, mínimo, simetria e curtose.

C:> edit stat.par <enter>

1. nome do trabalho (variabilidade)
2. arquivo de dados (*.prn)
3. nº de colunas, 1*, parcela perdida (-1)*
4. 1**, 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1

* opção - cálculo de matrizes de covariância e de correlação (1-sim, 2-não)

** opção - cálculo de logs (1-não, 2-sim)

C:> stat <enter>

Exemplo: C:> edit stat.par <enter>
 Variabilidade
 pvp1satb.prn
 7,1,-1.
 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1

6º passo:

Fazer o gráfico utilizando as colunas de distância em função da semivariância da variável que deseja analisar, obtendo-se assim o gráfico do semivariograma.

Realizar o escalonamento das variáveis dividindo-se seus valores pela respectiva variância. O valor da variância é obtido no arquivo *.sta gerado pelo programa stat.exe. Este escalonamento permite comparar-se os valores dos semivariogramas de diferentes variáveis.

7º passo:

Inserir no arquivo *.xls as fórmulas dos modelos que poderão ser utilizados no ajuste do semivariograma e verificar visualmente o modelo que tiver maior aproximação com os dados que estão sendo analisados. Os modelos são os seguintes:

Esférico:

$$=SE(x < a; C0 + C1 * (1,5 * x/a - 0,5 * (x/a)^3); C0 + C1)$$

Linear:

$$=SE(x < a; C0 + (C1/a) * x; C0 + C1)$$

Gaussiano:

$$=C0 + C1 * (1 - e^{(-3 * (x/a)^2)})$$

Exponencial:

$$=C0 + C1 * (1 - e^{(-3 * (x/a))})$$

8º passo:

Utilizar o programa xgama.exe para calcular o semivariograma cruzado (cross-semivariograma). Este programa irá gerar um arquivo com o nome das 4 letras iniciais do primeiro arquivo utilizado, e 4 letras iniciais do segundo arquivo. A sua extensão é xga (*.xga).

```
C:> edit xgama.par <enter>
```

1. nome do trabalho (variabilidade espacial)
2. arquivo de dados (*.prn)
3. NLEG , NSTEP , 1 , 1 , coluna 1 , coluna 2
4. -1.

```
C:> xgama <enter>
```

Exemplo: C:> edit trend.par <enter>
 variabilidade espacial
 lepatb.prn
 15 , 10 , 1 , 1 , 3 , 3

9º passo:

Fazer a validação do modelo de semivariograma escolhido, através do programa jack.exe (Jack-Kniffing).

```
C:> edit jack.par <enter>
```

1. arquivo *.prn
2. nº da estrutura , 1 , nº da coluna , nº vizinhos , 1 , 1 , -1
3. dist. de pontos em x , dist. de pontos em y , 4 , 2
4. 4 , 6 , 8 , 10 , 12 , 14 (são os nº de vizinhos)
5. C0 , 1.0
6. C1 , 0.0
7. a , 5000 (valor maior do que a máxima distância do grid)
8. valor correspondente ao modelo utilizado* , 1
9. valor da variância (se não escalonado, utilizar 1.0)

* 1 - linear, 2 - power, 3 - esférico, 4 - exponencial, 5 - gaussiano, 6 - R.E.

```
C:> jack <enter>
```

```
Exemplo: C:> edit jack.par <enter>
leclfatb.prn
1,1,5,5,1,1,-1.
10.,10.,4,2
4,5,6,7,8
0.7,1.0
0.75,0.0
22.0,5000.
5,1
1687.
```

Este programa irá gerar um arquivo com os valores da Média dos erros reduzidos e Variância dos erros reduzidos. Construir gráficos com estes valores em função do nº de vizinhos para analisar qual será o melhor, considerando as seguintes condições: Média (reduzidos)=0 e Variância (reduzidos)=1.

Apêndice 7 - Procedimento utilizado para a obtenção dos mapas de: solo, uso, declividade e temáticos, gerados no sistema de informação geográfica Idrisi

1º Passo

Com os arquivos de extensão dxf (*.dxf) obtido através do programa AutoCad e que contém as informações digitalizadas de solo, uso, drenagem e curvas de nível (**solo.dxf**, **uso.dxf**, **drena.dxf** e **cnivel.dxf**), foi realizado a importação desses arquivos para o Idrisi, no formato de vetor (*.vec).

File ⇒ Import/Export ⇒ DXFdris ⇒ nome do arquivo de saída (**solo.vec**)

File ⇒ Import/Export ⇒ DXFdris ⇒ nome do arquivo de saída (**uso.vec**)

File ⇒ Import/Export ⇒ DXFdris ⇒ nome do arquivo de saída (**drena.vec**)

File ⇒ Import/Export ⇒ DXFdris ⇒ nome do arquivo de saída (**cnivel.vec**)

2º Passo

Foi criado imagens iniciais que são arquivos raster (*.img), os quais serão utilizados na conversão dos arquivos vetorizados.

Data Entry ⇒ Initial ⇒ nome do arquivo de saída (**solo.img**) ⇒ nome do arquivo de entrada (**solo.vec**)

Data Entry ⇒ Initial ⇒ nome do arquivo de saída (**uso.img**) ⇒ nome do arquivo de entrada (**uso.vec**)

3º Passo

Com as imagens iniciais criadas, realizar a conversão dos arquivos vetores em arquivos imagens contendo as informações de solo e uso

Reformat ⇒ Convert ⇒ arquivo de entrada (**solo.vec**) ⇒ arquivo de saída (**solo.img**)

Reformat ⇒ Convert ⇒ arquivo de entrada (**uso.vec**) ⇒ arquivo de saída (**uso.img**)

4º Passo

Gerar o mapa tridimensional (modelo digital de terreno - MDT) a partir do arquivo vetor de declividade. Essa imagem será utilizada para mostrar as superfícies geomorfológicas da microbacia hidrográfica

Surface interpolation ⇒ Interpol ⇒ arquivo de entrada (**cnivel.vec**) ⇒ nome do arquivo de saída (**mdtmicro.img**)

5º Passo

Obtidos os mapas de solo e uso, realizou-se a sobreposição desses dois planos de informação para gerar a imagem de solo x uso (**soluso.img**). Essa imagem foi utilizada para determinar com precisão os locais de amostragens tanto para amostras nas malhas quadrículas (infiltração e espessura do horizonte A+E), como para a coleta dos anéis volumétricos nas unidades de solo da microbacia hidrográfica (densidade do solo, macro e microporosidade e curva de retenção de água).

Analysis ⇒ Mathematical Operators ⇒ Overlay ⇒ First image (**solo.img**) ⇒ second image (**uso.img**) ⇒ First+Second ⇒ nome da imagem de saída (**soluso.img**)

6º Passo

Os mapas de densidade, macro e microporosidade dos solos da microbacia hidrográfica foram gerados a partir da criação de um banco de dados com essas informações citadas.

Data Entry ⇒ Database Workshop ⇒ File ⇒ Create Database ⇒ nome do arquivo de dados (dados.dbl) ⇒ Selecionar identificador

Obs: O identificador (7 unidades de solo - 7 identificadores) é utilizado para fazer a ligação do banco de dados criado (sexto passo) com o mapa a ser utilizado (**solo.img**)

7º Passo

Criado o arquivo de dados com o respectivo identificador, inserir os dados de densidade do solo, macro e microporosidade

Modify ⇒ Add Field ⇒ nome da variável (dens) ⇒ inserir dados ⇒ nome da variável (macro) ⇒ inserir dados ⇒ nome da variável (micro) ⇒ inserir dados

8º Passo

Com os arquivo de dados (**dados.dbl**) e o arquivo raster (**solo.img**) realizar a ligação propriamente dita.

Link ⇒ Set Display Link Parameters ⇒ Selecionar o identificador

9º Passo

Feita a ligação entre o banco de dados e a imagem de solos, utilizar a operação matemática do Idrisi que permite identificar os solos a partir de faixas dos valores de densidade e porosidade, isto é, os mapas temáticos são gerados de acordo com faixas de valores pré-definidos.

Query ⇒ Create Filter (SQL) ⇒ inserir condição desejada ⇒ executar

Apêndice 8 - Dados de infiltração da água com as respectivas análises da estatística descritiva

Pontos	Infiltração de água no horizonte A				
	Latossolo vermelho-escuro		Podzólico vermelho-amarelo abrupto		
	Café	Pasto	Café	Mata/Cap.	Pasto
-----mm/h-----					
1	454,2	187	215,8	518	302,2
2	520	115,1	259	431,6	431,6
3	-1*	460,7	215,8	518	431,6
4	691	485,6	309,7	431,6	388,5
5	330,3	237,4	309,7	453,2	575,5
6	230,2	165,2	115,5	460,4	702
7	417,3	115,1	100,7	345,3	330,3
8	503,6	165,2	106,3	388,5	330,3
9	374,1	388,5	237,4	259	402,9
10	287,8	230,2	259	489,2	518
11	289	330,3	106,9	374,1	412,9
12	227,1	287,8	129,5	453,2	433,6
13	560,6	330,3	259	402,9	247,7
14	216,8	186,3	201,4	345,3	495,5
15	412,9	172,7	287,8	431,6	330,3
16	431,6	201,3	143,9	431,6	431,6
17	287,8	100,7	172,7	230,2	287,8
18	374,1	495,5	194,2	431,6	661,9
19	577,9	115,1	172,7	374,1	287,8
20	345,3	172,7	143,9	402,9	805,7
21	356,1	395,4	194,2	287,8	575,5
22	467,9	230,2	345,3	460,4	287,8
23	568	330,3	345,3	287,8	345,3
24	547,5	230,2	402,9	575,5	215,8
25	518	143,9	-1*	402,9	431,6
média	416,2	248,9	217,9	407,5	426,5
variância	1.56E+04	1.10E+04	6964	6581	2.08E+04
C.V.	30,02	42,08	38,3	19,91	33,77
mínimo	216,8	100,7	100,7	230,2	215,8
máximo	691	445,6	402,9	575,5	805,7
simetria	0,170	0,575	0,389	-0,320	0,907
curtose	2,205	2,014	2,242	2,847	3,27

* valor perdido

Continuação...

Pontos	Infiltração de água no horizonte E				
	Latossolo vermelho-escuro		Podzólico vermelho-amarelo abrupto		
	Café	Pasto	Café	Mata/Cap.	Pasto
	-----mm/h-----				

1	---	---	21,58	474,8	120,9
2	---	---	86,33	225,2	195,7
3	---	---	28,7	208,6	122,3
4	---	---	61,94	151,1	115,1
5	---	---	28,78	-1*	316,5
6	---	---	103,2	187	371,6
7	---	---	82,58	158,3	309,7
8	---	---	30,97	86,33	118,7
9	---	---	30,65	93,52	132,1
10	---	---	123,9	50,36	54,87
11	---	---	144,5	172,7	244,6
12	---	---	123,9	122,3	122,3
13	---	---	-1*	64,75	104,3
14	---	---	123,9	86,33	81,58
15	---	---	123,9	61,15	48,48
16	---	---	41,29	100,7	521,3
17	---	---	30,97	140,3	185,8
18	---	---	30,97	140,3	173,4
19	---	---	57,55	79,14	275,2
20	---	---	64,75	172,7	211,6
21	---	---	35,97	140,3	428,4
22	---	---	86,33	64,75	-1*
23	---	---	64,75	100,7	567,1
24	---	---	43,16	53,96	536,8
25	---	---	112,7	75,54	309,7
média	---	---	70,14	133,8	236,2
variância	---	---	1485	7504	2.30E+04
C.V.	---	---	54,94	64,75	64,21
mínimo	---	---	21,58	50,36	48,48
máximo	---	---	144,5	474,8	567,1
simetria	---	---	0,416	2,454	0,830
curtose	---	---	1,742	10,24	2,586

* valor perdido

Continuação...

Pontos	Infiltração de água no horizonte B				
	Latossolo vermelho-escuro		Podzólico vermelho-amarelo abrupto		
	Café	Pasto	Café	Mata/Cap.	Pasto
	-----mm/h-----				

1	643,2	287,8	11,94	50,36	16,11
2	519,4	412,9	17,27	43,16	57,55
3	542,4	330,3	5,324	21,58	41,29
4	579,8	535,5	27,46	50,36	14,39
5	-1*	475,5	9,64	28,78	-1*
6	302,2	287,8	27,46	64,75	103,2
7	302,2	412,9	30,97	61,15	51,61
8	518	495,5	15,48	32,37	33,65
9	338,7	562,6	20,97	28,78	13,63
10	460,4	539,6	10,32	33,67	34,27
11	412,9	172,7	28,78	57,55	87,74
12	-1*	495,5	17,14	50,36	41,29
13	572,6	660,7	12,52	57,55	103,2
14	614,5	503,5	27,46	38,42	57,81
15	602,4	287,8	11,94	50,36	13,63
16	491,5	247,7	23,95	71,94	38,13
17	586,9	560,8	35,97	57,55	28,78
18	431,6	495,5	26,78	82,1	60,43
19	374,1	172,7	15,48	86,33	25,18
20	431,6	402,9	15,48	57,55	35,97
21	431,6	495,5	28,78	35,97	61,15
22	590,5	495,5	20,65	71,94	16,69
23	655,5	495,5	43,16	50,36	64,75
24	644,6	345,3	17,14	61,15	64,75
25	504,4	287,8	11,94	28,78	88,76
média	415,6	502,2	20,56	50,91	48,08
variância	1.41E+04	1.14E+04	81,61	284	730,4
C.V.	172,7	21,27	43,94	33,1	56,21
mínimo	28,61	302,2	5,324	21,58	13,63
máximo	562,6	655,5	43,16	86,33	103,2
simetria	-0,503	-0,372	0,534	0,202	0,565
Curtose	1,92	2,045	2,695	2,341	2,386

* valor perdido