

INTERPRETAÇÃO FOTOGRÁFICA DE CARACTERÍSTICAS
DO RELEVO E DA REDE DE DRENAGEM EM
DOIS SOLOS DO DISTRITO FEDERAL

SERTÓRIO RIBEIRO FERNANDES LEÃO

Orientador: Prof. Dr. GERALDO VICTORINO DE FRANÇA

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Agronomia. Área de Concentração: *Solos e Nutrição de Plantas*.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Julho, 1983

DEDICATÓRIA

À meus pais
À minha esposa
À meus filhos

e

À meus irmãos e seus filhos

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Geraldo Victorino de França, pela dedicada orientação e colaboração prestadas na realização deste trabalho.

À Fundação Universidade de Brasília (UnB), pela autorização de meu afastamento, possibilitando a realização do presente trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de Bolsa de Estudos de Pós Graduação.

À Fundação Zoobotânica do Distrito Federal (FZDF), pelo empréstimo das fotografias aéreas.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para que o presente trabalho pudesse ser realizado.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO	xviii
SUMMARY	xxi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Fotografias aéreas na interpretação e mapeamento de solos	3
2.2. Estudos de bacias hidrográficas e da composição de redes de drenagem	9
2.3. Padrão de drenagem - tipos, composi - ção, características e suas relações com solos	20
2.4. Características de relevo relaciona - das a solos	26
3. METODOLOGIA	29
3.1. Materiais	29
3.1.1. Descrição Geral das áreas estudadas	29
3.1.2. Solos	32
3.1.2.1. Latossolo Vermelho <u>Es</u> curo e/ou Latossolo Vermelho-Amarelo (LV)	33
3.1.2.2. Cambissolo (CB)	35
3.1.3. Fotografias aéreas	35

	Página
3.1.4. Cartas topográficas	35
3.1.5. Carta de solos	36
3.1.6. Estereoscópio	36
3.1.7. Equipamento de medição e dese - nho	36
3.2. Métodos	37
3.2.1. Seleção das áreas de estudo ...	37
3.2.2. Delimitação das áreas nas foto- grafias aéreas	37
3.2.3. Obtenção dos mapas básicos de drenagem	38
3.2.4. Seleção das bacias hidrográfi- cas	38
3.2.5. Seleção das amostras circulares	39
3.2.6. Análise das bacias hidrográfi - cas	39
3.2.6.1. Localização e represen <u>t</u> tividade	40
3.2.6.2. Propriedades dimensio- nais	40
3.2.6.3. Propriedades não-dimen <u>s</u> ionais	45
3.2.6.4. Semelhança geométrica ..	45
3.2.7. Análise das redes de drenagem .	46

	Página
3.2.7.1. Composição da rede de drenagem....	46
3.2.7.2. Características do padrão de drenagem	49
3.2.8. Análise de variância	54
3.2.9. Relações entre características.....	55
4. RESULTADOS	56
4.1. Características das bacias hidrográficas.....	56
4.1.1. Localização	56
4.1.2. Representatividade	57
4.1.3. Propriedades dimensionais	61
4.1.4. Propriedades não-dimensionais.....	71
4.1.5. Semelhança geométrica	71
4.2. Características das redes de drenagem.....	75
4.2.1. Composição da rede de drenagem.....	75
4.2.1.1. Resultados determinados em bacias hidrográficas	75
4.2.1.2. Resultados determinados em amostras circulares	93
4.2.2. Padrão de drenagem	93
4.2.2.1. Características descritivas.....	93
4.2.2.2. Características quantitativas.....	98
4.3. Confronto entre solos	99

	Página
4.3.1. Observações e medições efetuadas nas propriedades dimensionais de bacias hidrográficas	99
4.3.2. Observações e medições efetuadas na composição da rede de drenagem	113
4.3.2.1. Em bacias hidrográficas	113
4.3.2.2. Em amostras circulares	119
4.3.3. Observações e medições efetuadas nos padrões de drenagem	119
4.3.3.1. Em bacias hidrográficas e em amostras circulares	119
4.4. Relações funcionais entre características quantitativas dos padrões de drenagem	123
4.4.1. Determinadas em bacias hidrográficas	124
4.4.2. Determinadas em amostras circulares	124
4.4.3. Determinadas em bacias hidrográficas e amostras circulares	127
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	129
5.1. Observações efetuadas nas propriedades não-dimensionais de bacias hidrográficas	130
5.2. Observações e medições efetuadas nas propriedades dimensionais de bacias hidrográficas	130

	Página
5.3. Composição das redes de drenagem.....	133
5.3.1. Análise dos elementos determinados em bacias hidrográficas	133
5.3.2. Análise dos elementos determinados em amostras circulares	138
5.4. Padrão de drenagem	139
5.4.1. Características descritivas do padrão de drenagem	139
5.4.2. Características quantitativas do padrão de drenagem	140
5.4.2.1. Características baseadas no estudo de bacias hidrográficas e amostras circulares.....	142
5.4.3. Relações funcionais entre características quantitativas dos padrões de drenagem....	145
5.4.3.1. Determinadas em bacias hidrográficas.....	145
5.4.3.2. Determinadas em amostras circulares.....	149
5.4.3.3. Determinadas pelos critérios de bacias hidrográficas e amostras circulares.....	151

6. CONCLUSÕES	152
6.1. Latossolo Vermelho Escuro e/ou Latossolo Vermelho-Amarelo e Cambissolo	152
6.2. Conclusões gerais	156
7. LITERATURA CITADA	159

LISTA DE FIGURAS

		Página
Número	Título	
1	Bacias I e II, representativas das redes de drenagem desenvolvidas em solos da unidade de mapeamento LV	58
2	Bacias III e IV, representativas das redes de drenagem desenvolvidas em solos da unidade de mapeamento LV	59
3	Bacias V e VI, representativas das redes de drenagem desenvolvidas em solos da unidade de mapeamento LV	60
4	Bacias I, II e III, representativas das redes de drenagem desenvolvidas em solos da unidade de mapeamento CB	62
5	Bacias IV, V e VI, representativas das redes de drenagem desenvolvidas em solos da unidade de mapeamento CB	63
6	Curvas hipsométricas das bacias hidrográficas de 3a. ordem representativas da unidade de mapeamento LV	69

Número	Título	Página
7	Curvas hipsométricas das bacias hidrográficas de 3a. ordem representativas da unidade de mapeamento CB	70
8	Regressões do número de segmento de rios sobre as ordens de rios, nas unidades de mapeamento pedológico estudadas: 8a - LV; 8b - CB.....	82
9	Regressões da soma dos comprimentos totais dos segmentos de rios sobre as ordens de rios, em solos da unidade de mapeamento pedológico LV: 9a - segundo Strahler; 9b - segundo França.....	86
10	Regressões da soma dos comprimentos totais dos segmentos de rios sobre as ordens de rios, em solos da unidade de mapeamento pedológico CB: 10a - segundo Strahler; 10b - segundo França....	87
11	Regressões preconizadas por Vasques, da soma dos comprimentos médios de segmentos de rios sobre as ordens de rios, nas unidades de mapeamento pedológico estudadas: 11a-LV; 11b-CB	91
12	Amostras circulares A, B e C da rede de drenagem em solos da unidade de mapeamento LV.....	108

Número	Título	Página
13	Amostras circulares D, E e F da rede de drenagem em solos da unidade de mapeamento LV.....	109
14	Amostras circulares A, B e C da rede de drenagem em solos da unidade de mapeamento CB.....	110
15	Amostras circulares D, E e F da rede de drenagem em solos da unidade de mapeamento CB.....	111

LISTA DE QUADROS

Número	Título	Página
1	Propriedades dimensionais das bacias hidrográficas representativas das unidades de mapeamento estudadas.....	64
2	Valores médios e erros padrões da média das propriedades dimensionais das bacias hidrográficas	65
3	Análise de variância das propriedades dimensionais de bacias hidrográficas.....	66
4	Propriedades dimensionais das bacias hidrográficas determinadas pela análise hipsométrica, nas unidades de mapeamento estudadas.....	67
5	Análise de variância das propriedades dimensionais das bacias hidrográficas, determinadas pela análise hipsométrica.....	68
6	Propriedades não-dimensionais das bacias hidrográficas de 3a. ordem, representativas das unidades de mapeamento estudadas.....	72
7	Análise dimensional e teste de semelhança geométrica aplicados às bacias hidrográficas representativas da unidade de mapeamento LV	73

Número	Título	Página
8	Análise dimensional e teste de semelhança geométrica aplicados às bacias hidrográficas representativas da unidade de mapeamento CB	74
9	Composição das redes de drenagem das bacias hidrográficas de 3a. ordem representativas da unidade de mapeamento LV	76
10	Composição das redes de drenagem das bacias hidrográficas de 3a. ordem representativas da unidade de mapeamento CB	77
11	Número de segmentos de rios observados em cada ordem, número total da bacia, valores médios determinados pelas médias aritmética e ponderada em relação às áreas das bacias e valores calculados para bacias de 3a. ordem representativas das unidades de mapeamento estudadas.....	78
12	Análise de variância das propriedades, número total de segmentos de rios (N_t), comprimento total da rede (CRT) e comprimento médio dos segmentos de rios (L_m) determinados em bacias hidrográficas de 3a. ordem.....	79

Número	Título	Página
13	Valores observados e valores médios calculados pela média aritmética e pela relação de MAXWELL (1955), para a razão de ramificação nas bacias hidrográficas de 3a. ordem, representativas das unidades de mapeamento estudadas....	81
14	Soma dos comprimentos totais de segmentos de rios observados em cada ordem e o total na bacia, média ponderada em relação às áreas das bacias e valores calculados pela lei de Horton e pelas relações preconizadas por Strahler e por França.....	84
15	Valores observados e valores médios calculados da razão de comprimentos totais de segmentos de rios, para as bacias hidrográficas de 3a. ordem, representativas das unidades de mapeamento estudadas.....	88
16	Valores de comprimentos médios de segmentos de rios observados em cada ordem e comprimento médio de rios na bacia, médias ponderadas em relação às áreas das bacias e valores determinadas pela relação L_w/N_w , lei de Horton e pela relação preconizada por Vasques Filho	89

Número	Título	Página
17	Valores observados e valores médios calculados da razão de comprimentos médios de segmentos de rios, para as bacias hidrográficas de 3a. ordem representativas das unidades de mapeamento estudadas	92
18	Números, comprimentos totais e comprimentos médios dos segmentos de rios referentes a cada ordem e total da bacia, para bacias de 3a. ordem representativas das unidades de mapeamento estudadas	94
19	Valores médios das razões de ramificação, de comprimentos totais e de comprimentos médios, determinadas pela média aritmética, relações preconizadas e relação $R_{lm} = R_b/R_{lw}$	95
20	Valores observados de número total de segmentos de rios, comprimentos totais dos segmentos de rios e comprimentos médios dos segmentos de rios determinados em amostras circulares	96
21	Análise de variância das propriedades, números totais de segmentos de rios (N_t), comprimentos totais dos segmentos de rios da	

Número	Título	Página
	rede (CRT) e comprimentos médios dos segmentos de rios (Lm) determinadas em amostras circulares	97
22	Características descritivas do padrão de drenagem das unidades de mapeamento estudadas...	100
23	Características quantitativas do padrão de drenagem nas bacias hidrográficas representativas das unidades de mapeamento estudadas.....	101
24	Características quantitativas do padrão de drenagem em amostras circulares representativas das unidades de mapeamento estudadas.....	102
25	Análise de variância da característica densidade de drenagem.....	103
26	Análise de variância da característica frequência de rios.....	104
27	Análise de variância da característica razão de textura.....	105
28	Análise de variância da característica extensão do percurso superficial.....	106
29	Análise de variância da característica coeficiente de manutenção.....	107

Número	Título	Página
30	Relações funcionais entre as características quantitativas do padrão de drenagem, determinadas em bacias hidrográficas.....	125
31	Relações funcionais entre as características do padrão de drenagem, determinadas em amostras circulares.....	126
32	Relações funcionais entre as características dos padrões de drenagem, determinadas em bacias hidrográficas e em amostras circulares.	128

INTERPRETAÇÃO FOTOGRÁFICA DE CARACTERÍSTICAS DO RELEVO E DA
REDE DE DRENAGEM EM DOIS SOLOS DO DISTRITO FEDERAL

Autor: Sertório Ribeiro Fernandes Leão

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Victorino de França

RESUMO

Este trabalho foi realizado com a finalidade de avaliar, por meio de fotografias aéreas provenientes da cobertura aerofotográfica do Distrito Federal, a eficiência das características do relevo e da drenagem de duas unidades de mapeamento pedológico.

As unidades de solos escolhidas foram o Latossolo e o Cambissolo.

Para representar cada unidade de solo, selecionaram-se seis bacias de 3a. ordem, relativamente homogêneas e geometricamente semelhantes, e seis amostras circulares de 5 km².

A análise e interpretação dos resultados obti-

dos nas duas unidades de mapeamento permitiu que se chegasse às seguintes conclusões gerais:

- a) as características do relevo e da rede de drenagem foram eficientes na diferenciação dos solos;
- b) as características do relevo que evidenciaram distinção entre os solos foram: amplitude altimétrica, altura média, coeficiente orográfico, razão de relevo e coeficiente de massividade;
- c) os critérios de amostragem utilizados foram eficientes para a diferenciação dos solos, com destaque para as bacias hidrográficas;
- d) as características quantitativas da rede de drenagem determinadas nas bacias hidrográficas e em amostras circulares que permitiram a distinção dos solos foram: comprimentos totais e médios, densidade de drenagem, frequência de rios, razão de textura, extensão do percurso superficial, coeficiente de manutenção, razão de textura média e classe de textura topográfica;
- e) os números de segmentos de rios, determinados em amostras circulares, apresentaram diferenças entre os solos;
- f) a razão média de comprimentos médios mostrou diferença entre os solos;

- g) o modelo, isolado ou combinado com outras características descritivas do padrão de drenagem, evidenciou diferenças entre os solos, embora não oferecendo a mesma segurança que os índices quantitativos;
- h) observou-se uma correlação linear altamente significativa entre todas as características do padrão de drenagem, independentemente do sistema de amostragem e da natureza do solo.

PHOTOGRAPHIC INTERPRETATION OF RELIEF AND DRAINAGE
NETWORK CHARACTERISTICS OF TWO SOILS OCCURRING IN
BRASILIA, FEDERAL DISTRICT

Author: Sertório Ribeiro Fernandes Leão

Adviser: Prof. Dr. Geraldo Victorino de França

SUMMARY

This work was undertaken with the purpose of evaluating the efficiency of the relief and drainage characteristics of two soil mapping units. The data were obtained through available aerial photographs of the Federal District (Brasilia). The soil mapping units selected for the study were a Latosol and a Cambisol.

Each of those two soil units was represented by six third order basins, selected for their homogeneity and geometrical similarity, and six circular samples of 5 km² each.

The analysis and interpretation of the results obtained for the two mapping units allowed for the following general conclusions:

- a) relief and drainage characteristics were efficient parameters to differentiate among soils;
- b) relief characteristics that indicated differences among soils were altimetric, mean height, orographic coefficient, relief ratio and the massive coefficient;
- c) sampling criteria adapted were efficient to differentiate among soils particularly for hydrographic basins;
- d) the quantitative characteristics of the drainage network measured in the hydrographic basins and in the circular samples that led to the separation of the two soil classes were the following: total and average length, drainage density, river frequency, textural ratio, length of surface run, performance coefficient, mean texture ratio and class of topographic texture;

- e) the number of river segments determined from circular samples indicated differences among soils;
- f) the average ratio of mean length showed differences among the soils;
- g) the model utilized independently or combined with other descriptive characteristics of the drainage pattern, indicated differences among soils but not with the same degree of certainty as the quantitative indexes;
- h) a highly significant linear correlation was observed between all the characteristics and the drainage pattern, regardless of the sampling method and of the soil.

1. INTRODUÇÃO

A utilidade prática do levantamento de solos é função do maior ou menor detalhamento categórico e cartográfico que oferece. O método de fotointerpretação com controle de campo possibilita a execução de levantamentos de solos, proporcionando as seguintes vantagens: maior exatidão de limites, maior economia de tempo e menor custo.

Os critérios empregados em fotointerpretação dependem da natureza do objeto de estudo, porém, como princípio geral, baseiam-se no estabelecimento de correlações entre determinados aspectos do terreno e as características de sua imagem fotográfica.

Dentre os muitos aspectos do terreno que são registrados nas fotografias aéreas, o relevo e o padrão de

drenagem constituem importantes elementos utilizados em foto-interpretação pedológica.

Este trabalho visa estabelecer, através de estudos por fotografias aéreas provenientes da cobertura aerofotográfica do Distrito Federal, a eficiência das características do relevo e da drenagem em duas unidades de mapeamento pedológico, mediante amostragem circular e pequenas bacias hidrográficas, a fim de fornecer novos subsídios para a fotointerpretação aplicada a levantamento de solos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Fotografias aéreas na interpretação e mapeamento de solos

É reconhecida a utilidade do emprego da fotografia aérea em estudos pedológicos, notadamente aqueles que visam a identificação e mapeamento de solos ou o planejamento de uso das terras.

A primeira aplicação pedológica da fotografia aérea foi realizada em 1929, cabendo a Bushnell e seus colaboradores, conforme informação de SIMONSON (1950) e de ROURKE e AUSTIN (1951), a primasia da sua utilização no mapeamento de solos. De início servindo apenas como mapa básico para o levantamento de solos, dada a riqueza de detalhes nela registrados, os técnicos e cientistas de solos passaram a usá-las como fonte adicional de informações. SIMONSON (1950) considerou a uti-

lização de fotografias aéreas como um dos maiores avanços em levantamento de solos, conseguidos nas duas décadas anteriores a 1950.

COLWELL (1952) define fotointerpretação, como o ato de examinar imagens fotográficas de objetos, com o propósito de identificá-los e avaliar a sua significância. SUMMERSON (1954) define interpretação, num sentido mais amplo, como a previsão do que não pode ser realmente visto. Esta última definição, tendo em vista o solo como um componente da paisagem, resultante da ação ativa do clima e organismos sobre o material de origem situado num determinado relevo durante certo período de tempo, se ajusta perfeitamente à interpretação fotográfica de solos, uma vez que as fotografias aéreas não mostram todo o corpo do solo, mas somente sua superfície, que geralmente apresenta cobertura vegetal. Porém, vários aspectos visíveis na superfície do terreno, como as formas topográficas, os padrões de drenagem, de erosão, de vegetação e de uso, mais a tonalidade fotográfica, indicam ou sugerem diferenças entre solos e seu padrão de distribuição. Para se ajustar tais definições à interpretação fotopedológica, segundo ROURKE e AUSTIN (1951), LUEDER (1959), BURINGH (1960) e FROST (1960), há que se aceitar, a priori, o estabelecimento de correlações entre a natureza do perfil de solo e seus aspectos externos evidenciados pela fotografia aérea.

SMITH e AANDAHL (1957) afirmam que as relações entre solos e seus ambientes de ocorrência variam em detalhes de uma região para outra; porém, as relações geralmente existem e um pedólogo familiarizado com os solos de uma região, observando a paisagem, pode predizer onde estão os limites entre solos ou, examinando um mapa de solos, visualizar a paisagem. Segundo ROURKE e AUSTIN (1951), um pedólogo com experiência em determinada região, pode fazer certas estimativas a respeito dos aspectos internos do solo, por meio de fotografias aéreas; porém não pode transferir seus critérios interpretativos de uma região para outra, porque muitos dos indícios que ele usa, têm diferente significação em regiões distintas. LUEDER (1959) adverte que a interpretação da significância de um padrão de drenagem, por exemplo, não é fácil, exigindo além da apreciação teórica, a experiência no processo de correlacionar detalhes do terreno com sua imagem fotográfica.

Segundo COLWELL (1952), na fotointerpretação é adotado o princípio da convergência de evidências, onde: se os vários elementos de reconhecimento conduzem a uma determinada conclusão, esta provavelmente será correta.

Segundo RABBEN (1960), três fatos fundamentais justificam a utilidade incomparável da fotografia aérea na caracterização da superfície terrestre: (a) na escala de 1:20.000 cada fotografia aérea cobre uma área de aproximadamente 20 km^2 e na escala de 1:25.000, cerca de 33 km^2 ; (b) os pares estereoscópicos de fotografias aéreas proporcionam imagens tridimensionais da superfície terrestre e dos objetos localizados sobre ela; (c) as imagens fotográficas são representações permanentes dos objetos originais, permitindo ao fotointérprete um exame cuidadoso e detalhado da área, no mento em que ele desejar, em condições de trabalho mais cômodas e favoráveis do que aquelas normalmente conseguidas no campo. A respeito da sensibilidade da imagem fotográfica para o registro dos detalhes do terreno; AB'SABER (1960) salienta que esta propriedade depende muito das condições de clima da região onde foi realizada a cobertura aerofotográfica. Nas regiões de clima seco o número de informações conseguidas através de exame de fotografias aéreas é muito maior que o das regiões de clima úmido.

FROST (1960) afirma que a fotointerpretação de solos pode ser conduzida apoiada em três princípios básicos: (a) solos semelhantes aparecem nas fotografias aéreas com padrões semelhantes; (b) solos diferentes aparecem com padrões

diferentes; (c) desde que as características da imagem fotográfica tenham sido correlacionadas com as propriedades do solo observadas no campo e no laboratório; muitas propriedades importantes de solos semelhantes podem ser inferidas por meio de fotointerpretação.

GOOSEN (1968) observa que as diferenças entre tipos, fases e séries de solos, não são sempre visíveis na superfície terrestre. Este fato permite deduzir que, em levantamentos detalhados a fotointerpretação apresenta valor limitado, o que pode ser verificado pelos critérios e definições de levantamentos, desde os esquemáticos até os detalhados. A maioria dos autores, dentre os quais incluem-se CRESWICK e ROCKWELL (1959), BOMBERGER e DILL (1960), BURINGH (1960); GOOSEN (1968), reconhecem que a fotografia aérea, embora não substituindo completamente o trabalho de campo, aumenta a exatidão dos limites e o rendimento dos mapeamentos de solos. De um modo geral, concordam também que a fotointerpretação é mais útil em levantamentos de reconhecimento do que em levantamentos detalhados.

HOWE (1960), comentando a aplicação da fotointerpretação na investigação de problemas hidrológicos, afirma ser ela útil no estudo de vários problemas de água superficial e subterrânea.

GOOSEN (1968), fazendo uma comparação de três métodos de fotointerpretação para levantamento de solos, comenta: (a) o "método de análise dos padrões", de FROST (1960), considera como elementos padrões indicativos das condições superficiais e subsuperficiais do terreno, a forma fisiográfica (relevo), a drenagem, os aspectos erosivos, a vegetação, a tonalidade fotográfica e as características culturais. Tendo - se entendido as relações ambientais dos solos a serem estudados, o fotointérprete divide as unidades principais da paisagem em unidades menores, sendo estas últimas caracterizadas pelos chamados padrões locais, sob o estereoscópio. Cada elemento padrão sugere certas condições de solo e pode ser estudado independentemente; se todas as deduções concordam, os solos podem ser identificados e descritos com razoável exatidão; (b) o "método da análise de elementos" , desenvolvido por BURINGH (1960), está fundamentado na análise sistemática dos elementos que se relacionam às condições do solo. A classificação resultante da combinação dos elementos analisados é usada como base para o trabalho de campo; (c) o "método de análise fisiográfica", desenvolvido por BURINGH (1960), baseia-se num conhecimento profundo dos processos fisiográficos e suas expressões fotográficas. O terreno é classificado em unidades fisiográficas, sendo que cada uma delas contém uma associação única de solos.

FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), FADEL (1972), VASQUES (1972), LEÃO (1973), usaram a fotointerpretação adotando o princípio proposto pelo método denominado "análise de elementos"; empregaram técnicas morfométricas para o dimensionamento de índices relativos a bacias hidrográficas e redes de drenagem, com o propósito de se estabelecer critérios que possam permitir a identificação e mapeamento de solos.

2.2. Estudos de bacias hidrográficas e da composição de redes de drenagem

Segundo a citação de VON ENGELN (1942), já em 1808, Playfair afirmava que todo rio consiste de um tronco principal alimentado por vários ramos, cada qual correndo em um vale proporcional ao seu tamanho, formando no todo um sistema de vales comunicantes que tem um ajustamento adequado de suas declividades, de maneira que nenhum deles se une ao vale principal em um nível demasiado superior ou inferior. De acordo com esta hipótese, conhecida como "lei das junções concordantes", os rios seriam responsáveis por seus vales e ao mesmo tempo estariam em concordância com eles. VON ENGELN (1942) esclareceu que, em locais onde há quedas d'água, tal não se verifica, resultando vales suspensos e junções discordantes; todavia, tais casos ocorrem mas como exceção, HORTON (1945) interpretou esta lei em bases quantitativas, seguindo uma

aproximação hidrofísica, em que considera as relações de flúvio/infiltração e os processos de erosão pelas águas correntes; daí estabeleceu leis fundamentais onde correlaciona o número e o comprimento de rios às diversas ordens de ramificação da rede hidrográfica.

HORTON (1945) inverteu o sistema europeu ou de Gravelius de classificação dos rios em ordem de numeração, considerando os tributários menores, não ramificados, como sendo de 1ª ordem e atribuindo a ordem mais elevada ao rio principal. Afirma ele que desta forma os tributários de primeira ordem, embora pertencendo a bacias hidrográficas diferentes, apresentam características semelhantes. Isto veio, sem dúvida, facilitar a análise e a comparação das redes de drenagem: pois, somente são comparáveis os elementos de mesma ordem de ramificação. MAXWELL (1955), SCHUMM (1956), STRAHLER (1957), Coates, citado por STRAHLER (1957), FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), FADDEL (1972), VASQUES FILHO (1974), LEÃO (1973) e outros pesquisadores, adotaram este sistema em seus estudos.

HORTON (1945) deu uma interpretação quantitativa à lei de Playfair, relacionando os números e os comprimentos dos rios com suas respectivas ordens de ramificação nas redes hidrográficas e estabeleceu duas leis: a dos números de rios e a dos comprimentos de rios. A lei dos números de

rios de HORTON (1945) expressa a relação entre o número de rios de cada ordem e as ordens de ramificação, em termos de uma série geométrica inversa, da qual a razão de ramificação é a base desta série. A lei dos comprimentos de rios do mesmo autor, expressa a relação entre os comprimentos médios de rios de cada ordem e as ordens de ramificação, em termos de uma série geométrica direta na qual o primeiro termo da série é o comprimento médio dos rios de primeira ordem.

Smith em 1953, verificou que existe uma relação entre o número de rios de cada ordem (N_w) e a respectiva ordem (w), na forma $N_w = a \cdot w^{-b}$ (STRAHLER, 1957). Entretanto, MAXWELL (1955) constatou uma regressão linear entre os logaritmos dos números de rios e as ordens de rios. Os dados observados mostraram pouca dispersão em relação à equação ajustada, que é do tipo $\log N_w = \log a - w \cdot \log b$, onde N_w representa o número de segmentos de rios de uma dada ordem w . Este autor propôs ainda, como a melhor expressão empírica da razão de ramificação, R_b , a equação $R_b = \text{antilog } b$.

STRAHLER (1952), FRANÇA (1968), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1973) e POLITANO (1980) comprovaram a equação proposta por MAXWELL (1955), sendo que FRANÇA (1968), FADEL (1973), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1973) e POLITANO (1980), ao invés de reunir os dados obtidos e usar mē-

dias gerais de um número suficientemente grande de amostras de bacias hidrográficas, preferiram ajustá-la a amostras representativas de unidades pedológicas. Verificaram que os diferentes comportamentos hidrológicos dos solos refletem-se nos valores assumidos pelos parâmetros da equação, em cada caso particular.

HORTON (1945) encontrou valores para a razão de ramificação entre 2,22 (bacias suavemente onduladas) e 3,91 (bacias montanhosas).

Segundo STRAHLER (1952), a razão de ramificação é um número sem dimensão, útil para expressar a composição de um sistema de drenagem, sendo altamente estavel e mostrando pequena amplitude de variação de uma região para a outra, a não ser onde domina poderoso controle geológico. Coates, citado por STRAHLER (1952), encontrou valores variando de 4,0 a 5,1 para razões de ramificação de rios de 1.^a para 2.^a ordem; e razões de ramificação de rios de 2.^a para 3.^a ordem, variando de 2,8 a 4,9. Com base nos dados acumulados, este autor encontrou, para a razão de ramificação, o valor médio de 3,52.

FRANÇA (1968), trabalhando com bacias de 4.^a ordem encontrou médias gerais praticamente iguais para os valo-

res de razão de ramificação, observados e calculados segundo MAXWELL (1955). Constatou que essas médias variam em torno de 3,55, portanto próximas do valor apresentado por STRAHLER (1952).

FRANÇA (1968), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972) e LEÃO (1973), que trabalharam com amostras de três bacias hidrográficas para cada unidade pedológica, demonstraram que a razão de ramificação varia com a natureza do solo, apresentando valores mais altos nos menos permeáveis.

POLITANO (1980), trabalhando com amostras de quatro bacias hidrográficas para cada unidade pedológica, demonstrou que a razão de ramificação apresenta diferenças dentro da mesma unidade de solo, revelando-se instável, confirmando referências de STRAHLER (1957). Todavia, os valores médios se apresentam relativamente próximos, mesmo quando comparados entre solos. A identidade dos valores médios, obtidos pelos critérios empregados, confirma a adequabilidade da expressão $R_b = \text{antilog } b$, de Maxwell.

STRAHLER (1957) relacionou os logaritmos dos comprimentos totais dos rios de cada ordem às respectivas ordens e ajustou à função uma equação algébrica do tipo $\log L_w = \log a - b \cdot \log w$, onde L_w é a soma dos comprimentos dos rios

de ordem w ; enquanto que FRANÇA (1968) obteve um melhor ajustamento à expressão $\log L_w = \log a - w \cdot \log b$. O valor b é a inclinação da linha de regressão e, segundo STRAHLER (1957), fornece uma medida útil da variação do comprimento dos segmentos de rios ao se passar de uma ordem para outra.

A razão de comprimentos totais foi estabelecida pela relação entre os comprimentos totais dos segmentos de rios de uma ordem (L_w) e os da ordem imediatamente superior. FRANÇA (1968) propôs a expressão $R_{Lw} = \text{antilog } b$ para representar a razão de comprimentos totais.

VASQUES FILHO (1972) relacionou os comprimentos médios de cada ordem (L_m) às respectivas ordens, e ajustou à função uma equação algébrica do tipo $\log L_m = \log a - w \cdot \log b$.

STRAHLER (1957) verificou que havia uma relação inversa entre os valores de comprimentos médios de rios e os valores da densidade de drenagem.

HORTON (1945) estabeleceu que a razão de comprimentos médios é a relação entre os comprimentos médios dos segmentos de rios de uma dada ordem e as da ordem imediatamente inferior. VASQUES FILHO (1972) propôs para sua caracteriza

ção a expressão $R_{lm} = \text{antilog } b$. FRANÇA (1968) propôs a expressão $R_{lm} = R_b \cdot R_{lm}^{-1}$ para o cálculo da razão de comprimentos totais (R_{lw}), razão de ramificação (R_b) e razão de comprimentos médios (R_{lm}).

Dada a subjetividade da caracterização descritiva das redes de drenagem, HORTON (1945) propôs para expressar quantitativamente o grau de desenvolvimento das redes de drenagem, o número da ordem de ramificação e os índices densidade de drenagem e frequência de rios. Este autor definiu densidade de drenagem como sendo o comprimento médio de segmentos de rios por unidade de área; e a frequência de rios foi definida como sendo o número de segmentos de rios por unidade de área. Segundo o mesmo autor, quando se consideram simultaneamente bacias pequenas e grandes, os valores da densidade e frequência de rios não são diretamente comparáveis, pois, variam com a área de drenagem. Uma bacia de drenagem relativamente grande pode conter tantos tributários pequenos por unidade de área como uma bacia de drenagem menor e, além disso, contém um ou mais rios de ordem mais elevadas. Segundo STRALLER (1957), para que bacias de drenagem possam ser comparadas de maneira significativa é necessário considerar bacias de mesma ordem de ramificação. Assim, se medirmos as áreas de bacias de 2.^a ordem, estaremos medindo elementos correspondentes dos sistemas de drenagem. Se existe semelhança geométrica apro

ximada entre duas bacias, todas as medições de comprimento em pontos correspondentes mantêm uma razão de escala fixa. Se medirmos as áreas de bacias de 2.^a ordem, estaremos medindo elementos correspondentes, cuja razão é o quadrado da razão de escala.

Segundo RAY (1963), em um dado ambiente climático a densidade de drenagem está relacionada, principalmente, com a resistência à erosão dos materiais presentes, aumentando de valor à medida que diminui a resistência à erosão. Exemplificando, afirma que folhelhos e outras rochas de granulação fina tendem a apresentar drenagem de textura fina, enquanto que rochas sedimentares de granulação grosseira, como os arenitos, tendem a apresentar drenagem de textura grosseira, embora possam ocorrer exceções. FRANÇA (1968) deduziu que muitas dessas exceções são devidas à natureza dos solos que se desenvolveram sobre essas rochas.

FREITAS (1952) e CHRISTOFOLETTI (1974) verificaram que os valores da densidade de drenagem são maiores à medida que aumenta a declividade do terreno. A densidade de drenagem quantifica a textura do padrão de drenagem e é uma expressão da precipitação pluviométrica e da capacidade de infiltração do solo, ZINKE (1960) e RUHE (1975).

ESPINDOLA e GARCIA (1978), constataram que a densidade de drenagem e a frequência de rios apresentam valores mais altos nos solos de menor relação infiltração/deflúvio, seja por decorrência da presença de materiais mais finos ou de uma maior associação com Litossolos.

HORTON (1945) considerou que o padrão e a densidade de drenagem, separados não são suficientes para uma caracterização perfeita da rede de drenagem, pelas seguintes razões: (a) os mesmos comprimentos e números de rios podem existir em padrões diferentes; (b) várias combinações de ordens, números e comprimentos de rios podem resultar valores muito próximos da densidade; e (c) podem existir tipos semelhantes de padrões com densidades diferentes. Contudo, STRAHLER (1957) considerou a densidade de drenagem como o parâmetro mais importante na análise das formas de terreno.

SMITH (1950) cita que Johnson definiu a expressão textura topográfica como sendo o tamanho médio das unidades de relevo compondo uma dada topografia.

SMITH (1950), estudando a textura topográfica de regiões dissecadas por rios, derivou um índice semelhante, ao qual denominou razão de textura topográfica, com o propósito

to de expressar o espaçamento entre canais de drenagem. Os canais de drenagem correspondem ao número de crênulas na curva de nível escolhida num mapa topográfico. A razão de textura é a resultante da relação entre o número de canais de drenagem, permanentes ou temporários, e o perímetro da bacia a que a curva se refere.

STRAHLER (1957) considera a razão de textura uma medida da capacidade da bacia e se correlaciona com a densidade de drenagem. FRANÇA (1968) modificou a razão de textura de SMITH (1950) com o fim de torná-la aplicável a fotografias aéreas, considerando N_t como sendo o número total de segmentos de rios da bacia. Neste caso, a relação entre densidade de drenagem (ordenadas) e razão de textura (abscissas) passou a ser exponencial, para bacias hidrográficas.

HORTON (1945) propôs o índice extensão do percurso superficial, que representa a distância média percorrida pelas enxurradas desde o interflúvio até o canal permanente. Este índice é considerado como uma das mais importantes variaveis que afetam o desenvolvimento hidrológico e fisiográfico da bacia de drenagem (CHRISTOFOLETTI, 1974).

SCHUMM (1956) definiu o índice coeficiente de manutenção, como sendo a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento. Este índice, como o índice extensão do percurso superficial, apresenta alto significado no desenvolvimento hidrológico e fisiográfico da bacia.

Segundo GARCEZ (1967), o índice de compacidade (K_c), é uma medida do grau de irregularidade da bacia. Quanto menor o seu valor, maior a probabilidade de ocorrência de picos de enchentes elevados. É definido como sendo a relação entre o perímetro de uma bacia hidrográfica e a circunferência de círculo de área igual à da bacia. Da definição resulta que, para uma bacia circular ideal, o índice de compacidade $K_c = 1$.

HORTON (1945) considerava cada bacia hidrográfica uma amostra e este critério foi adotado pelos pesquisadores que o sucederam.

RAY e FISCHER (1960) fizeram medições de comprimentos de rios e de áreas de drenagem, sobre mapas básicos da drenagem, decalcados de fotografias aéreas. Os comprimentos de rios foram relacionados com as áreas de bacias hidrográficas e áreas circulares de 10 km^2 . Concluíram que as amostras circulares fornecem resultados mais consistentes do que as amostras representadas por bacias hidrográficas.

BURINGH (1960) comentou que as amostras circulares podem apresentar variação de tamanho equivalente a uma amplitude de 10 a 100 km², dependendo da escala utilizada.

Com respeito à variação de tamanho das amostras SOUZA (1979), KOFFLER (1976), FREIRE (1977), POLITANO (1980), constataram que a utilização de amostras circulares de menor área propiciou uma melhor representação dos solos nos casos em que a conformação da área de ocorrência limita a tomada de amostras de maior tamanho.

2.3. Padrão de drenagem - tipos, composição, características e suas relações com solos

O termo padrão de drenagem é definido como a maneira pela qual os cursos d'água se arranjam ou se distribuem dentro de uma dada área de drenagem, lembrando a configuração de um objeto conhecido, que empresta o seu nome para a classificação do padrão (PARVIS, 1950).

Segundo LUEDER (1959), excetuando-se a forma fisiográfica, a drenagem superficial é, provavelmente, o mais seguro indicador das condições do terreno, à disposição do fotointérprete.

FROST (1960), considerando que os padrões de drenagem podem ser facilmente vistos e delimitados em pares estereoscópicos de fotografias aéreas, afirma que os mesmos refletem a maneira pela qual a água que atinge a superfície do solo se distribui, em termos de infiltração e deflúvio, fornecendo indicações sobre a origem e composição dos materiais de solo.

PARVIS (1950) afirmou que os padrões de drenagem regionais são formados de linhas retas e linhas curvas; onde o controle estrutural não existe, os canais de drenagem são curvos. Em regiões de rochas sedimentares, o controle pelo declive desempenha um papel importante, pois os declives serão tanto mais acentuados quanto mais resistente for o material. Em regiões de materiais residuais, a rede de drenagem superficial depende da distribuição do substrato rochoso, de sua profundidade relativa e de suas superfícies de menor resistência. Em geral, os arenitos são mais resistentes à erosão de que os folhelhos; os padrões de drenagem nestas rochas apresentam uma "curvatura" que contrastam com a "angularidade" dos padrões em áreas de arenito.

O padrão de drenagem é influenciado pela profundidade do substrato rochoso e pelas declividades das superfícies. De maneira geral, com a diminuição da profundidade do

substrato rochoso e pelo aumento das declividades, ocorre aumento no número de rios e diminuição no comprimento médio dos rios, além de alterar a distribuição dos rios, SOUZA (1975) , CARVALHO (1977) e FREIRE (1977).

O termo anomalia foi introduzido por RICCI e PETRI (1965) para representar qualquer aspecto que não esteja adaptado ao dominante. As anomalias dão informações sobre as variações da textura superficial, permeabilidade dos materiais expostos, grau de erodibilidade e condições estruturais presentes num sistema de drenagem.

BURINGH (1960) adverte que o pesquisador em ciência do solo, além da textura e dos processos de deposição dos materiais de origem, deve estudar, também, a ação dos fatores de formação e saber a que grupo genético pertence um dado solo.

FRANÇA (1968) constatou a advertência de Buringh, em seu estudo da composição e das características do padrão de drenagem de solos desenvolvidos a partir de arenitos eólicos da formação Botucatu. Foi constatado por este autor que, embora se tratando de materiais de textura semelhante e depositados pelo mesmo agente de transporte, deram origem a solos diferentes, cujas diferenças se refletiram, também, na composição e nas características do padrão de drenagem.

Os padrões de drenagem foram classificados em dois grupos, os básicos e os modificados, segundo PARVIS (1950). No grupo dos básicos foram descritos os modelos: dendrítico, treliça, radial, paralelo, anular e retangular; e no grupo dos modificados foram agrupados cerca de trinta modelos ou tipos. O autor também se refere à facilidade com que esses padrões de drenagem podem ser observados e analisados em fotografias aéreas e a avaliação de sua significância na fotointerpretação de solos e substratos rochosos, por refletirem as proporções de infiltração e deflúvio.

Segundo LUEDER (1959), o objetivo principal da análise da drenagem superficial é fornecer indicações sobre a relação infiltração/deflúvio, capacidade de infiltração, erodibilidade e textura dos materiais presentes em uma área. Para indicar os aspectos significativos do padrão de drenagem, este autor propôs a descrição das seguintes características: (a) grau de integração; (b) densidade; (c) grau de uniformidade; (d) orientação; (e) grau de controle; (f) angularidade; (g) ângulos de confluência; (h) tipo ou modelo do padrão.

Segundo HORTON (1945), quando se constatam afastamentos das leis dos números e dos comprimentos de rios e se as condições de topografia, clima, geologia e solos são nor-

mais, geralmente esses afastamentos podem ser atribuídos a efeitos de controle de estruturas geológicas.

SMITH (1950) estudou as razões de textura topográfica, em duas regiões, usando plantas topográficas. Notou que o tamanho das bacias de drenagem individuais variou bastante nas duas regiões, sendo que os comprimentos de perímetros variaram de 0,95 a 3,99 km numa região e de 3,70 a 10,63 km na outra. Contudo, as bacias eram semelhantes quando os rios principais eram de 2.^a e 3.^a ordem e, assim, as amostras eram de redes de drenagem de unidades comparáveis. Além disso, Smith estabeleceu um valor médio ponderado para caracterizar a textura topográfica de uma dada área como um todo, levando em consideração o tamanho de cada bacia.

SMITH (1950) propôs o emprego de parâmetros para os valores da razão de textura média, com a finalidade de classificar a textura topográfica nas classes grosseira, média e fina, sendo os seus valores, respectivamente: menos de 4,0; entre 4,0 e 10,0 e mais de 10,0. Como esses parâmetros são referidos a comprimentos de perímetro expressos em milhas e áreas expressas em milhas quadradas, FRANÇA (1968) apresentou a equivalência para aqueles valores referidos a quilômetros e quilômetros quadrados. Desta maneira, os parâmetros

correspondentes às classes de textura topográfica grosseira , média e fina passam a ser, respectivamente menos de 2,5; entre 2,5 e 6,2 e mais de 6,2.

Diversos autores procuraram correlacionar o desenvolvimento e as características das redes de drenagem com fatores como: litologia, estrutura geológica, clima, relevo e estágio do ciclo geomórfico, entre os quais VON ENGELN (1942), SMITH (1943), SCHUMM (1956), STRAHLER (1957), RAY e FISCHER (1960), MILLER e MILLER (1961), RAY (1963) e RICCI e PETRI (1965).

Poucos autores, como PARVIS (1950), LUEDER (1959) e FROST (1960), fizeram referência ao fator solo num sentido amplo, correspondendo mais propriamente ao conceito de regolito. FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1971), LEÃO (1973), GEVAERD (1974) e outros, estudaram a composição e características das redes de drenagem, relacionando-as com solos considerados do ponto de vista pedológico; e concluíram que tanto a composição como as características do padrão de drenagem dependem, em primeiro lugar, da natureza do solo e, depois, da posição topográfica e da natureza e profundidade do substrato rochoso.

2.4. Características do relevo relacionadas a solos

O relevo é um importante critério de fotopedologia. GOOSEN (1968) salientou que o relevo apresenta alta relação com a natureza dos solos e alta coincidência com os limites, além de se destacar no exame estereoscópio de fotografias aéreas.

STRAHLER (1952) propôs a construção de curvas hipsométricas para estudar bacias hidrográficas, com a finalidade de representar graficamente a distribuição do material existente no interior das bacias, tomando como base uma unidade geométrica de referência.

Para construir graficamente as curvas hipsométricas STRAHLER (1952) utilizou valores relativos de área e de altitude. A interpretação da forma das curvas e o valor de suas integrais foi conduzida para caracterizar os estádios de relevo que o autor denominou de juventude, maturidade e velhice. A juventude corresponde a um desequilíbrio onde a erosão é maior que sedimentação e a curva passa da forma côncava na parte superior para convexa nas partes central e final. A maturidade representa o estágio de equilíbrio, onde a erosão e a sedimentação se igualam, a curva passa pela parte central de diagrama apresentando forma côncava na primeira metade e

convexa na segunda metade. A velhice corresponde a um estágio onde a acumulação é facilitada pela diminuição do gradiente e da erosão, a curva apresenta-se fortemente côncava, com baixo valor de integral. Este estágio é temporário, caracterizado pela presença de testemunhos de erosão. Pelo fato do processo ser dinâmico, atingem esta fase, primeiramente, os rios de ordem mais elevada, estendendo-se gradativamente em direção à montante.

Segundo CHRISTOFOLETTI (1974), Frédéric Fournier estabeleceu os índices coeficiente de massividade do relevo e coeficiente orográfico. O coeficiente de massividade expressa a relação entre a altura média do relevo e a área da bacia hidrográfica e o coeficiente orográfico expressa um valor obtido pela multiplicação do valor do coeficiente de massividade pelo de altura média.

SCHUMM (1956) definiu o índice razão de relevo, como a relação entre o relevo total e o comprimento da bacia. O relevo total é identificado como sendo a diferença de elevação entre a desembocadura e o topo da bacia; o comprimento total corresponde ao maior alinhamento da bacia, na direção do vale principal, definido pela desembocadura e extremo oposto.

POLITANO (1980) concluiu que os índices de relevo foram tão eficientes quanto as da rede de drenagem para a diferenciação de duas classes de Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos.

GEVAERD (1976), estudando os solos Latossolo Roxo Eutrófico, Terra Roxa Estrutura Eutrófica e Brunizem Avermelhado, da região do Nordeste do Paraná, encontrou um menor valor médio da integral hipsométrica para o Latossolo Roxo Eutrófico, indicando o maior grau de maturidade para as respectivas bacias de terceira ordem de ramificação e um maior valor médio da integral hipsométrica para o solo Brunizem Avermelhado, indicando um estágio de sub-maturidade para as respectivas bacias de terceira ordem.

Estudando a evolução de voçorocas em bacias hidrográficas do município de Botucatu PIEDADE (1980) relata que o valor médio da integral hipsométrica associado à forma das curvas representadas no diagrama, com presença de testemunhos de erosão, sugere para uma área de Latossolo Vermelho-Amarelo fase arenosa, um estágio jovem de relevo (retomada da erosão) e para uma área de Regossolo "intergrade" para Podzólico Vermelho-Amarelo e "intergrade" para Latossolo Vermelho-Amarelo, um estágio de relevo mais maduro.

3. METODOLOGIA

3.1. Materiais

Os materiais utilizados no presente trabalho são descritos a seguir.

3.1.1. Descrição geral das áreas estudadas

As glebas selecionadas representam as ocorrências de duas unidades de mapeamento pedológico localizadas no Distrito Federal.

A primeira, com área aproximada de 18.768 ha, situa-se na parte sul do Distrito Federal, entre os paralelos de 15°55'00" e 16°02'30" de latitude Sul e entre os meridianos de 47°48'45" e 47°56'15" de longitude Oeste de Greenwich. Par

te desta gleba pertence à Fazenda Água Limpa, de propriedade da Universidade de Brasília.

A segunda, com área aproximada de 12.400 ha, encontra-se localizada na parte central do Distrito Federal, entre os paralelos de $15^{\circ}37'30''$ e $15^{\circ}46'00''$ de latitude Sul e entre os meridianos de $47^{\circ}39'00''$ e $47^{\circ}47'00''$ de longitude Oeste de Greenwich. Pertence ao Colégio Agrícola de Brasília.

A formação geológica e material originário, segundo o SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS da EMBRAPA - SNLCS (1978), são os seguintes:

Pré-Cambriano A - representado pelo grupo Bambuí com duas formações:

a. Formação Paranoá - composta essencialmente de quartzitos, filitos, metassilicatos e ardósias, com predominância dos quartzitos e filitos; em geral encontra-se conglomerado basal;

b. Formação Paraopeba - na qual a heterogeneidade litológica é muito grande. É predominantemente pelítica e carbonática, sendo a margálica a litologia mais comum; ocorrem também arcósios, arenitos, siltitos, argilitos, ardósias, filitos, quartzitos e calcários.

Terciário - Formação das chapadas(?) - Cobertura Detrito-Laterítica.

A erosão na região desenvolveu-se em diferentes ciclos, tendo sido parcialmente aplainada e rejuvenecida em consecutivas fases, resultando uma série de platôs, terraços e pediplanos mais ou menos extensos, recobertos por delgados depósitos detríticos parcialmente laterizados, podendo ser arenosos, siltosos ou argilosos, dependendo das rochas que lhes deram origem.

Segundo a mesma fonte, o clima dessas áreas foi classificado como Aw e Cwa da classificação de Köppen, ou seja:

Aw - clima tropical de savana - temperatura para o mês mais frio superior a 18°C . Chuva de verão, seca de inverno. O mês mais seco tem menos de 60 mm de precipitação. Situa-se nas áreas com altitudes abaixo de 1000 metros, aproximadamente.

Cwa - temperatura para o mês mais frio inferior a 18°C , mês mais quente com média superior a 22°C . Chuva de verão, seca de inverno. O mês mais seco tem precipitação de 10% da do mês mais chuvoso. É encontrado entre 1000 e 1200 metros de altitude.

As precipitações variam entre 2000 e 1500 mm , com gradiente que segue o eixo SE-NW e com um total anual médio de 1577 mm.

O trimestre mais chuvoso é novembro-dezembro - janeiro, com maior total mensal para dezembro.

O trimestre mais seco é junho-julho-agosto, com menor total mensal em agosto.

Em Brasília, por ano, em média ocorrem 115 dias com precipitação $\geq 0,1$ mm, com taxa de 15-20 dias por mês, de outubro a fevereiro. O máximo já ocorrido para o período de 24 horas é 133 mm.

3.1.2. Solos

Serviram de base para o presente estudo duas unidades de mapeamento que constam do Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Distrito Federal, realizado pelo SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS DA EMBRAPA - SNLCS (1978).

As unidades escolhidas representam solos geneticamente diferentes, com morfologia e propriedades diferen-

tes e, por conseguinte, apresentando comportamento diferente quanto às relações infiltração/deflúvio e desenvolvimento de redes de drenagem superficial. São de grande representatividade na região do Distrito Federal.

3.1.2.1. Latossolo Vermelho Escuro e/ou
Latossolo Vermelho-Amarelo (LV)

a. Latossolo Vermelho Escuro

- Origem: Desenvolveram-se, os de textura argilosa, a partir da cobertura detrito-laterítica referida ao Terciário; e os de textura média, a partir da decomposição de quartzitos.
- Relevo: Ocorrem normalmente em relevo plano e suavemente ondulado, formado por colinas de topos aplanados e pendentes longas e uniformes.
- Altitude: Variando de 850 a 1250 metros.
- Drenagem: Bem, acentuadamente e fortemente drenado.
- Erosão: São pouco susceptíveis à erosão, que varia de praticamente nula a ligeira.
- Uso atual: Reserva florestal, pastagem, horticultura e cultura de milho.
- Vegetação: Ocorrem sob cobertura vegetal de floresta subcaducifólia, cerrado e cerrado subcaducifólios e campo cerrado.

b. Latossolo Vermelho-Amarelo

Origem: Desenvolveram-se, os de textura argilosa, a partir da cobertura detrito-laterítica referido ao Terciário; e os de textura média, a partir da decomposição de quartzitos.

Relevo: Ocorrem normalmente em relevo plano a suavemente ondulado, formado por pendentes longas e uniformes.

Altitude: Variando de 850 a 1350 metros.

Drenagem: Bem acentuadamente drenado e moderadamente drenado.

Erosão: São pouco susceptíveis à erosão, a qual pode ocorrer ocasionalmente sob a forma de sulcos.

Uso atual: Pastagem, culturas de arroz e soja, reflorestamento.

Vegetação: Ocorrem sob cobertura de floresta, cerrado, campo cerrado e vegetação campestre.

3.1.2.2. Cambissolo (CB)

Origem: Os solos desta unidade estão relacionados a rochas referidas ao pré-cambriano A, tendo como substrato rochoso filitos e quartzitos.

- Relevo: Ondulado, constituído de colinas de topo arredondado, vertentes convexas e côncavas, sendo de 10 a 30 m a altitude relativa das elevações e os declives mais frequentes entre 8 a 20%.
- Altitude: Variando de 800 a 1000 m.
- Drenagem: Moderadamente drenado.
- Erosão: Laminar ligeira.
- Uso atual: Pastagem de gramíneas nativas.
- Vegetação: Cerrado e campo-cerrado.

3.1.3. Fotografias aéreas

As fotografias aéreas verticais utilizadas são resultantes do ACORDO BRASIL-ESTADOS UNIDOS SOBRE SERVIÇOS CARTOGRÁFICOS-VÔO USAF/AST/10, de setembro de 1965 a setembro de 1966, na escala aproximada de 1:20.000.

O conjunto de fotografias é composto de pares estereoscópicos, apresentando recobrimentos longitudinais e laterais de 60 e 30%, respectivamente, o que permite a visão estereoscópica.

3.1.4. Cartas topográficas

As cartas topográficas utilizadas foram as re-

sultantes do Sistema Cartográfico do Distrito Federal- SICAD-CODEPLAN, que inclui a rede hidrográfica. Apresentam escala 1:10.000 e equidistância vertical entre curvas de nível de 5 metros, e o mapa índice das folhas apresenta escala de 1:100.000. As folhas empregadas foram as de números: 71, 88, 89, 105, 106, 107, 123, 124, 185, 186, 201, 202 e 217.

3.1.5. Carta de solos

A carta de solos utilizada foi a resultante do Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Distrito Federal, SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS DA EMBRAPA - SNLCS (1978).

3.1.6. Estereoscópio

Empregou-se, para a observação estereoscópica dos pares de fotografias aéreas, um estereoscópio de bolso marca Vasconcellos.

3.1.7. Equipamento de medição e desenho

Com base no mapa decalcado das fotografias aéreas, foram feitas medições usando os seguintes equipamentos: planímetro polar, curvímetro, escala triangular, esquadros, compasso, transferidor, pantógrafo e material de desenho.

3.2. Métodos

3.2.1. Seleção das áreas de estudo

Foi adotado como critério preferencial a escolha de uma área na região da Fazenda Água Limpa, de propriedade da Universidade de Brasília, e de uma outra área pertencente ao Colégio Agrícola de Brasília.

A escolha das referidas áreas se prendeu ao fato de que a primeira, por pertencer à Universidade, torna-se de interesse o seu estudo em todos os aspectos. A segunda, por ser uma área objeto de estudo anterior, no qual se considerou o padrão de drenagem superficial e as bacias hidrográficas foram delimitadas com o recurso, apenas, das fotografias aéreas (LEÃO, 1973).

3.2.2. Delimitação das áreas nas fotografias aéreas

A delimitação das áreas nas fotografias aéreas foi efetuada mediante exame estereoscópico, com base no método de pesquisa lógica sugerido por RABBEN (1960).

3.2.3. Obtenção dos mapas básicos de drenagem

Os mapas básicos foram elaborados na mesma escala das fotografias aéreas, utilizando-se o processo de "match lines", conforme a indicação do SOIL SURVEY STAFF (1951).

Inicialmente, procedeu-se à delimitação da área útil em fotografias sucessivas, de acordo com o método preconizado por RABBEN (1960). A fim de evitar, nas fotos, o excesso de anotações, favorecendo assim, o exame do modelo estereoscópico, adotou-se o recobrimento com papel transparente, fixado em dois pontos de um lado da foto com o intuito de facilitar o manuseio das mesmas.

Através de detalhado exame dos pares estereoscópicos, traçaram-se, nas áreas representativas de cada um dos solos estudados, os divisores de água e a rede de drenagem completa, com todos os canais visíveis nas fotografias aéreas, sendo considerados os cursos d'água permanentes e temporários, adotando-se as sugestões de STRAHLER (1957), LUEDER (1959) e RAY (1963).

3.2.4. Seleção das bacias hidrográficas

Para cada unidade de mapeamento objeto de estudo, foram escolhidas seis bacias de drenagem de terceira ordem

de ramificação, relativamente homogêneas quanto à unidade do solo representada e de forma geométrica a mais semelhante possível, de acordo com as recomendações de STRAHLER (1957).

3.2.5. Seleção das amostras circulares

Para cada unidade de mapeamento em estudo, foram escolhidas seis amostras circulares de tamanho equivalente à área de 5 km^2 , segundo RAY e FISCHER (1960), modificado por SOUZA (1975). O tamanho da amostra circular foi adotado em função de uma melhor adequação dos círculos às áreas de ocorrência dos solos, principalmente os da unidade Cambissolo.

3.2.6. Análise das bacias hidrográficas

A análise das bacias hidrográficas foi baseada em procedimentos adotados por FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972) e CRISTOFOLETTI (1974). O método de fotointerpretação empregado foi o da análise dos elementos, descrito por BURINGH (1960). Dos diferentes aspectos ou elementos analisados nas fotografias aéreas e que se relacionam aos propósitos deste trabalho, procurou-se dar maior ênfase àqueles mensuráveis e cujos dados fossem dignos

de confiança. Os elementos analisados nas bacias de drenagem foram:

3.2.6.1. Localização e representatividade

A localização foi identificada em função da si tuação geográfica da bacia.

A representatividade da bacia é expressa em termos de predominância do solo que está sendo amostrado.

3.2.6.2. Propriedades dimensionais

Maior comprimento

O maior comprimento foi medido com escala, acom panhando aproximadamente a direção do vale principal, entre a foz e o ponto extremo sobre a linha do divisor de águas e a unidade foi expressa em quilômetro.

Maior largura

A maior largura foi medida com escala, transver salmente ao vale principal, definida pelos dois pontos mais distantes situados na linha divisória, a unidade foi expressa em quilômetro.

Comprimento do curso principal

O comprimento do curso principal ou desenvolvimento longitudinal foi medido empregando o curvímetro, acompanhando as sinuosidades do curso principal, da foz até a nascente, e a unidade foi expressa em quilômetro.

Perímetro

O perímetro foi determinado pelo comprimento da linha do divisor de águas que circunda a bacia. Foi empregado o curvímetro e a unidade foi expressa em quilômetro.

Área

A área da bacia foi medida com planímetro e a unidade foi expressa em quilômetro quadrado.

Índice de compacidade

Foi determinado segundo a fórmula adotada por GARCEZ (1967):

$$K_c = \frac{P}{C} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

onde: K_c é o índice de compacidade; P é o perímetro da bacia e A é a área da mesma; C é o perímetro do círculo de área igual à da bacia.

Índice de circularidade

Designado por K_{cir} , é a relação entre a área da bacia e a área de um círculo que apresenta o mesmo perímetro da bacia. Por essa relação, o valor do índice varia de próximo de zero a um, dando uma idéia aproximada da forma da bacia, pelo afastamento de sua forma em relação ao círculo, tendo como referência o afastamento do valor obtido em relação ao valor um (CHRISTOFOLETTI, 1974).

Curva hipsométrica

Com o auxílio de mapas topográficos, segundo os procedimentos de STRAHLER (1952), foram traçadas as curvas hipsométricas das bacias. Segundo o autor, a curva hipsométrica tem por finalidade representar, em proporção, o volume de material ainda existente na porção territorial de cada bacia, definido pelo espaço delimitado pela curva hipsométrica e as linhas inferior e lateral esquerda do quadrado. As curvas foram obtidas planimetrando-se as áreas (a) das bacias compreendidas entre uma curva de nível e a linha do divisor das águas na sua parte mais alta e assim planimetrando-se as áreas projetadas correspondentes a cada curva de nível. Foram estabelecidas as relações de cada área projetada com a área total da bacia (a/A). Esses valores relativos foram demarcados no eixo

"X". Foram estabelecidas as relações (h/H) de cada distância entre curvas de nível e a base da desembocadura (h) com a diferença entre a maior e menor altitude da bacia (H). Esses valores relativos foram demarcados no eixo "Y".

Integral hipsométrica

A integral hipsométrica, designada por IH, consiste na avaliação do relevo através de curvas hipsométricas. O seu valor representa, em proporção, o volume ainda existente de material, considerado em relação ao volume inicial e ideal da referida porção territorial, representado por toda a extensão do quadrado. Foi obtida planimetrando-se as áreas delimitadas pela parte inferior das curvas hipsométricas e os eixos "X" e "Y".

Amplitude altimétrica

A amplitude altimétrica expressa a diferença de altitude entre o cume e a desembocadura da bacia.

Razão de relevo

A razão de relevo foi determinada segundo SCHUMM (1956). Expressa a relação entre a amplitude altimétrica e o

maior comprimento da bacia. Segundo STRAHLER (1957), a razão de relevo indica o declive da superfície total da bacia hidrográfica e constitui um número sem dimensão; podendo ser correlacionado com outras medições, independentemente do tamanho da bacia hidrográfica.

Altura média

A altura média da bacia hidrográfica foi calculada pela expressão: altura média = amplitude altimétrica x valor da integral hipsométrica (CHRISTOFOLETTI, 1974).

Coefficiente de massividade

O coeficiente de massividade foi obtido pela razão entre a altura média e a área da bacia (CHRISTOFOLETTI, 1974), sendo expresso em m/km².

Coefficiente orográfico

O coeficiente orográfico foi obtido pela expressão: coeficiente orográfico = altura média x coeficiente de massividade, onde o coeficiente de massividade foi calculado em função da representação gráfica proporcional, conforme CHRISTOFOLETTI (1974).

3.2.6.3. Propriedades não-dimensionais

Forma aproximada

A forma foi determinada pelo estabelecimento dos valores dos índices de circularidade e compacidade e designada por termos descritivos (ovalada, reniforme, periforme, retangular, etc.).

Ordem da bacia

A ordem da bacia foi determinada pela ordem do rio principal nela contida, o qual é o segmento de ordem mais elevada, de acordo com o sistema adotado.

Simetria das vertentes

A simetria das vertentes é dada pelos declives das encostas em relação ao vale principal e pela disposição dos tributários.

3.2.6.4. Semelhança geométrica

Seguindo os princípios propostos por STRAHLER (1957), esta condição foi testada para cada grupo de seis bacias representativas de cada unidade de mapeamento. Este tes-

te de semelhança geométrica, entre bacias de mesma ordem, foi usado para dar maior segurança às comparações feitas e maior consistência aos resultados.

3.2.7. Análise das redes de drenagem

A análise das redes de drenagem foi efetuada pela caracterização da composição da rede e do padrão de drenagem.

3.2.7.1. Composição da rede de drenagem

Ordem de ramificação

As ordens de ramificação dos segmentos de rios ou canais de drenagem foram classificadas tomando como base o sistema de HORTON (1945) modificado por STRAHLER (1957); sendo a ordem designada com a letra w .

Número de segmentos de rios

Foram computados os números de segmentos de rios em cada ordem, designados por N_w , e o total da bacia, designado por N_t . Para cada unidade de solo foi calculado também o número de segmentos de rios pelo emprego da média aritmética, média ponderada em relação às áreas das bacias, pela

substituição numérica na equação de forma $\log N_w = \log a - w \cdot \log b$, MAXWELL (1955) e pela lei dos números de rios enunciada por HORTON (1945).

Razão de ramificação

Segundo definição de HORTON (1945), expressa a relação entre o número de segmentos de rios de uma determinada ordem e o da ordem imediatamente mais elevada, sendo representada por R_b . Os valores médios da razão de ramificação foram determinados pela média aritmética dos dados observados, pelas relações $R_b = \text{antilog } b$, MAXWELL (1955) e $R_b = R_{lm} \times R_{lw}$, FRANÇA (1968).

Comprimento total dos segmentos de rios

Usando o curvímetro, foi medido o comprimento total dos segmentos de rios para cada ordem de ramificação e o comprimento total da bacia. Para cada unidade de solo foi calculado também o comprimento total dos segmentos de rios pela média ponderada em relação às áreas das bacias, pela lei dos comprimentos de rios enunciada por HORTON (1945) e pelas substituições numéricas das relações $\log L_w = \log a - b \cdot \log w$ e $\log L_w = \log a - w \cdot \log b$, respectivamente STRAHLER (1957) e FRANÇA (1968). Designando por w uma dada ordem de rios, a

soma dos comprimentos dos segmentos de rios em cada ordem é representada por L_w e o comprimento total dos rios contidos na bacia, por L_t .

Comprimento médio dos segmentos de rios

Os comprimentos médios de segmentos de rios (L_m) foram determinados para cada ordem de ramificação e o total da bacia, pelo estabelecimento de uma relação entre comprimento total e número de segmentos de rios. Para cada unidade de solo foi calculado também o comprimento médio pela média ponderada em relação às áreas das bacias, pela relação entre comprimento total e número de rios em cada ordem (L_w/N_w), obtidos respectivamente pelas relações de FRANÇA (1968) e MAXWELL (1955), pela lei dos comprimentos de rios enunciada por HORTON (1945) e pela substituição numérica da relação $\log L_m = \log a - w \cdot \log b$, VASQUES FILHO (1972).

Razão de comprimentos totais

É designada por R_{lw} e expressa a relação entre os comprimentos totais dos segmentos de rios de uma da ordem (L_w) e os da ordem imediatamente superior, STRAHLER (1957). Os valores médios da razão de comprimentos totais foram determinados pela média aritmética dos valores observados e pela relação $R_{lw} = \text{antilog } b$, FRANÇA (1968).

Razão de comprimentos médios

É designada por R_{lm} e expressa a relação entre o comprimento médio de segmentos de rios de uma determinada ordem e o da ordem imediatamente inferior, HORTON (1945). Os valores médios foram determinados pela média aritmética dos valores observados e pela relação $R_{lm} = \text{antilog } b$, VASQUES FILHO (1972).

3.2.7.2. Características do padrão de drenagem

O padrão de drenagem foi caracterizado determinando-se suas características descritivas e quantitativas.

3.2.7.2.1. Características descritivas

Foram analisadas incluindo o tipo ou modelo segundo PARVIS (1950) e como características fundamentais segundo LUEDEP (1959), as indicadas a seguir.

Grau de integração

É a maior ou menor definição do caminho dos canais entre dois pontos. Quanto mais evidente e mais curto, maior é a integração. Pode ser classificado: não integrado (os ca-

nais não se ligam); pouco integrado (poucos canais se ligam); integrado (todos se ligam); bem integrado (todos se ligam, pelas distâncias mais curtas).

Densidade

Indica o número relativo de canais por unidade de área. Pode ser classificada em: baixa, média e alta.

Grau de uniformidade

Indica a repetição de formas num determinado espaço. Pode ser classificado: não uniforme, pouco uniforme e uniforme.

Orientação

Diz respeito a aspectos direcionais, tais como a predominância de direção dos canais. Pode ser classificada: não orientada, pouco orientada, fortemente orientada.

Grau de controle

É função dos fatores que alteram o sentido geral da drenagem, tais como orientação e angularidade. Pode ser classificada: não controlada, controlada, altamente controlada.

Angularidade

É a mudança brusca de direção dos canais. Pode ser classificada: baixa, média e alta angularidade.

Ângulos de juntura

São os ângulos formados na foz de um tributário com seu receptor. Podem ser classificados: retos, agudos e obtusos.

3.2.7.2.2. Características quantitativas

As características quantitativas foram determinadas nas bacias hidrográficas e amostras circulares.

Frequência de rios

É a relação expressa pelo número total de rios da bacia ou amostra circular e a respectiva área. Foram designadas por F_r e F_{rc} , respectivamente, para bacias hidrográficas e amostras circulares. A unidade foi expressa em número de rios/km².

Densidade de drenagem

É a relação expressa pelo comprimento total dos segmentos de rios da bacia individual ou amostra circular e a respectiva área HORTON (1945) e FRANÇA (1968). Foram designadas respectivamente, por Dd e Ddc e a unidade foi expressa em km/km^2 .

Razão de textura

Foi designada por T e Tc , respectivamente, para bacia individual e amostra circular. Segundo FRANÇA (1968) é a relação entre o número total de segmentos de rios da bacia individual ou amostra circular com os respectivos perímetros e a unidade foi expressa em número de segmentos de rios/ km .

Comprimento médio dos canais superficiais

Foi designado por Lm e Lmc , respectivamente, para bacias hidrográficas e a amostra circular. Expressa a relação entre o comprimento total e o número de canais de drenagem da bacia hidrográfica ou amostra-circular. O comprimento médio de segmentos de rios foi adaptado para o estudo de solos por FRANÇA (1968), da concepção original de RAY e FISCHER (1960) para estudos geológicos.

Razão de textura média

Foi designada por T_m e T_{mc} , respectivamente, para bacias hidrográficas e amostras circulares. Representa o valor médio ponderado da razão de textura em relação às áreas das bacias ou amostras circulares (FRANÇA, 1968); este valor médio foi obtido usando-se as fórmulas:

$$T_m = \frac{\sum (A.T)}{\sum A} \quad \text{e} \quad T_{mc} = \frac{\sum (A_c.T_c)}{\sum A_c}$$

onde A e A_c representam a área de cada bacia hidrográfica e amostra circular, respectivamente.

Extensão do percurso superficial

Foi designado por E_{ps} e E_{psc} , respectivamente, para bacias hidrográficas e amostras circulares. O valor da extensão do percurso superficial é igual a $1 \times (2D_d)^{-1}$, onde D_d é a densidade de drenagem (HORTON, 1945). A unidade foi expressa em quilômetro.

Coefficiente de manutenção

Foi designado por C_m e C_{mc} , respectivamente, para bacias hidrográficas e amostras circulares. O valor do coeficiente de manutenção é igual a $1000 \times (D_d)^{-1}$, SCHUMM (1956).

Representa a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal escoadouro e a unidade foi expressa em metro quadrado.

Textura topográfica

Com base nos valores da razão de textura média, procedeu-se à classificação da textura topográfica segundo os parâmetros propostos por SMITH (1950) e adaptados por FRANÇA (1968). Por essa classificação, os valores da razão de textura média menores que 2,5 são enquadrados na classe grosseira; os situados entre 2,5 e 6,2, na classe média; e os valores acima de 6,2, na classe fina.

3.2.8. Análise de variância

Foi utilizada nesta pesquisa a análise de variância, procurando comprovar as diferenças entre as unidades de mapeamento, sistemas de amostragem e interação entre sistemas de amostragem e unidades de solos pelo teste F, adotando-se o método descrito em PIMENTEL GOMES (1978).

3.2.9. Relações entre características

No estudo comparativo entre propriedades das bacias e redes de drenagem, procurou-se estabelecer algumas relações funcionais, estudando o ajustamento dos dados referentes às propriedades, à equação de regressão do tipo linear. Combinaram-se os dados das seis bacias de 3ª ordem, usando-se para isso o método empregado por SMITH (1950), STRAHLER (1957), FRANÇA (1968), VASQUES FILHO (1972) e outros pesquisadores. Procurou-se, também, estabelecer esse tipo de relação entre as propriedades determinadas pelos dois critérios de amostragem; para isso combinaram-se os dados das doze bacias e/ou amostras circulares.

4. RESULTADOS

Os resultados dos estudos das características das bacias hidrográficas e das respectivas redes de drenagem, são apresentados a seguir.

4.1. Características das bacias hidrográficas

4.1.1. Localização

As bacias da unidade pedológica Latossolo Vermelho Escuro e/ou Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) estão localizadas na região central e sudeste do Distrito Federal: bacia I, cabeceira do córrego Açude Indaiã; bacia II, cabeceira do córrego do Meio, ambas situadas em área do Colégio Agrícola de Brasília; bacia III, cabeceira do córrego Capão Comprido, localizada no núcleo rural Sobradinho I, adjacente à área anteriormente referida; bacia IV, cabeceira do córrego Taquara, locali

zada em área da Fazenda Água Limpa e Granja do Roncador (IBGE);
bacia V, cabeceira do córrego Roncador, situada em área da
Granja do Roncador; bacia VI, cabeceira do córrego Pau de Ca-
cheta, adjacente às bacias IV e V.

As bacias da unidade pedológica Cambissolo (CB)
estão localizadas na região central e sudeste do Distrito Fede-
ral: bacia I, à direita (*) da bacia II e do rio São Bartolomeu;
bacia II, cabeceira do córrego Grota d'Água e à direita da ro-
dovia D.F. 15; bacia III, cabeceira esquerda (*) do córrego Fazen-
dinha e à direita da rodovia D.F. 15; bacias IV e V, à direita
do córrego Tamanduá; bacia VI, cabeceira esquerda do córrego
Pastinho, sendo que estas três últimas bacias pertencem a cór-
regos afluentes da margem direita do ribeirão Santana, situa-
do próximo da área sul da Fazenda Água Limpa e da Estrada Par-
que Contorno (E.P.C.T.).

4.1.2. Representatividade

As seis bacias hidrográficas da unidade de ma-
peamento Latossolo Vermelho Escuro e/ou Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) apresentam boa representatividade, com dominância de solos com horizonte B latossólico, com pequenas inclusões de outros solos. Estão reproduzidas nas Figuras 1, 2 e 3.

(*) Considerando o sentido de drenagem

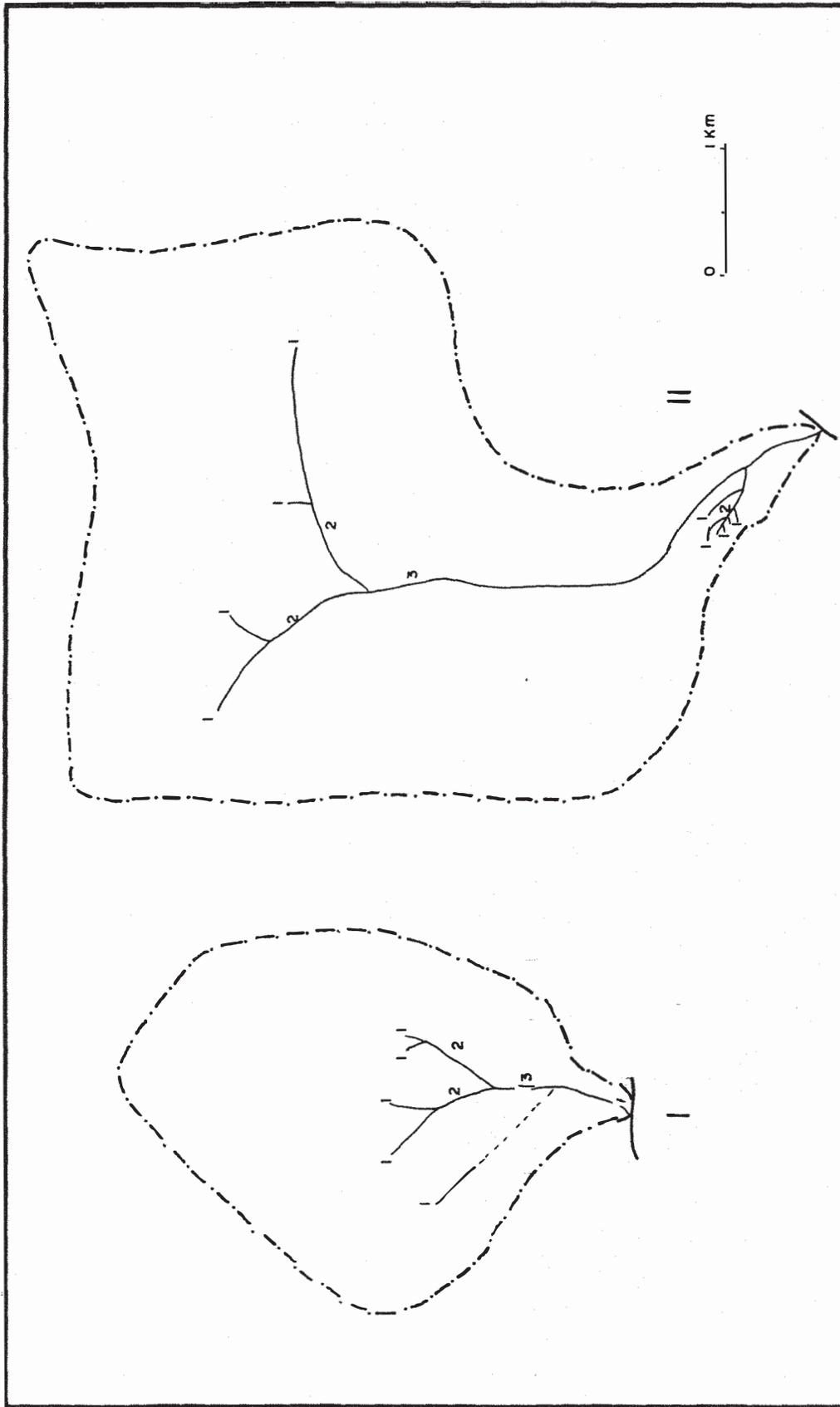


Figura 1 - Bacias I e II, representativas das redes de drenagem desenvolvidas em solos da unidade de mapeamento IV.

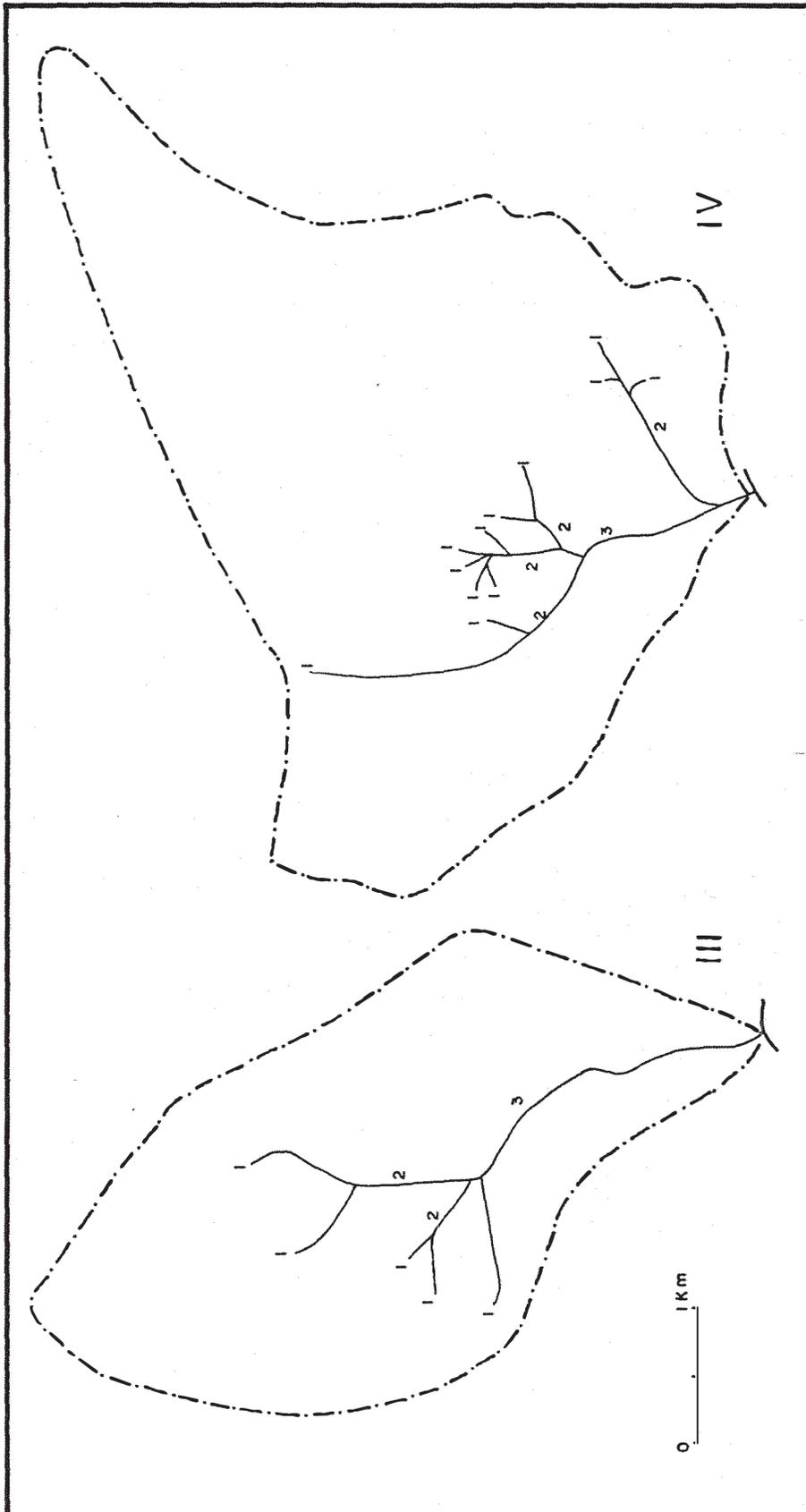


Figura 2 - Bacias III e IV, representativas das redes de drenagem desenvolvidas em solos da unidade de mapeamento LV.

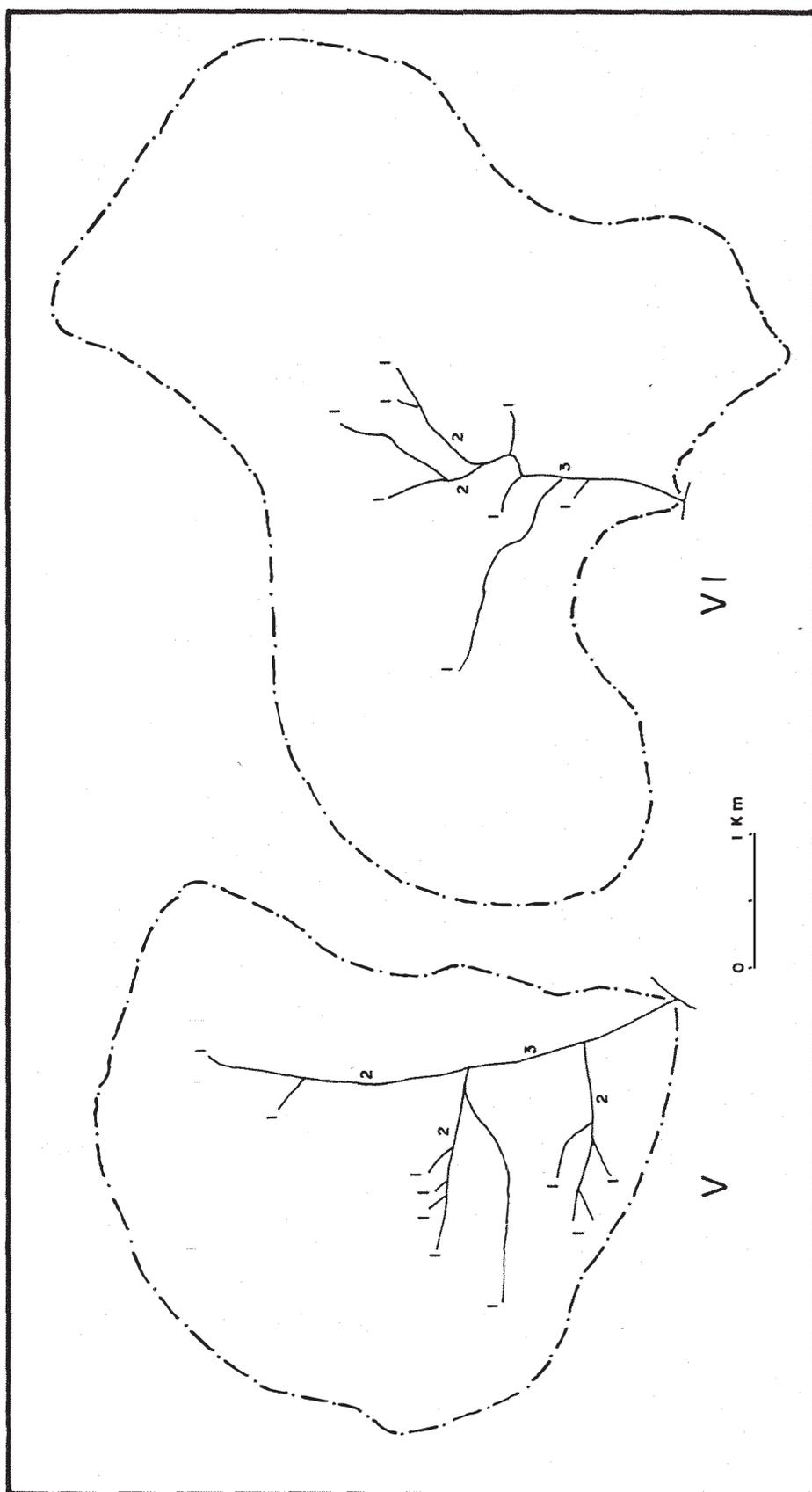


Figura 3 - Bacias V e VI representativas das redes de drenagem desenvolvidas em solos da unidade de mapeamento IV.

As seis bacias da unidade Cambissolo (CB) apresentam alta representatividade, com ocorrência exclusiva de solos pertencentes a esta unidade de mapeamento. Estão ilustradas nas Figuras 4 e 5.

4.1.3. Propriedades dimensionais

As propriedades expressas por números dimensionais, incluindo maior comprimento (C), maior largura (L), comprimento de rio principal (CRp), comprimento total da rede (CRT), perímetro (P), área (A), índice de circularidade (Kcir) e índice de compacidade (Kc), selecionadas para caracterização das bacias hidrográficas estudadas, estão indicadas no Quadro 1. Os valores médios e os erros padrões da média estão contidos no Quadro 2 e a análise de variância, no Quadro 3.

As propriedades dimensionais determinadas pela análise hipsométrica e a respectiva análise de variância são mostradas nos Quadros 4 e 5. As curvas hipsométricas das bacias hidrográficas são apresentadas nas Figuras 6 e 7.

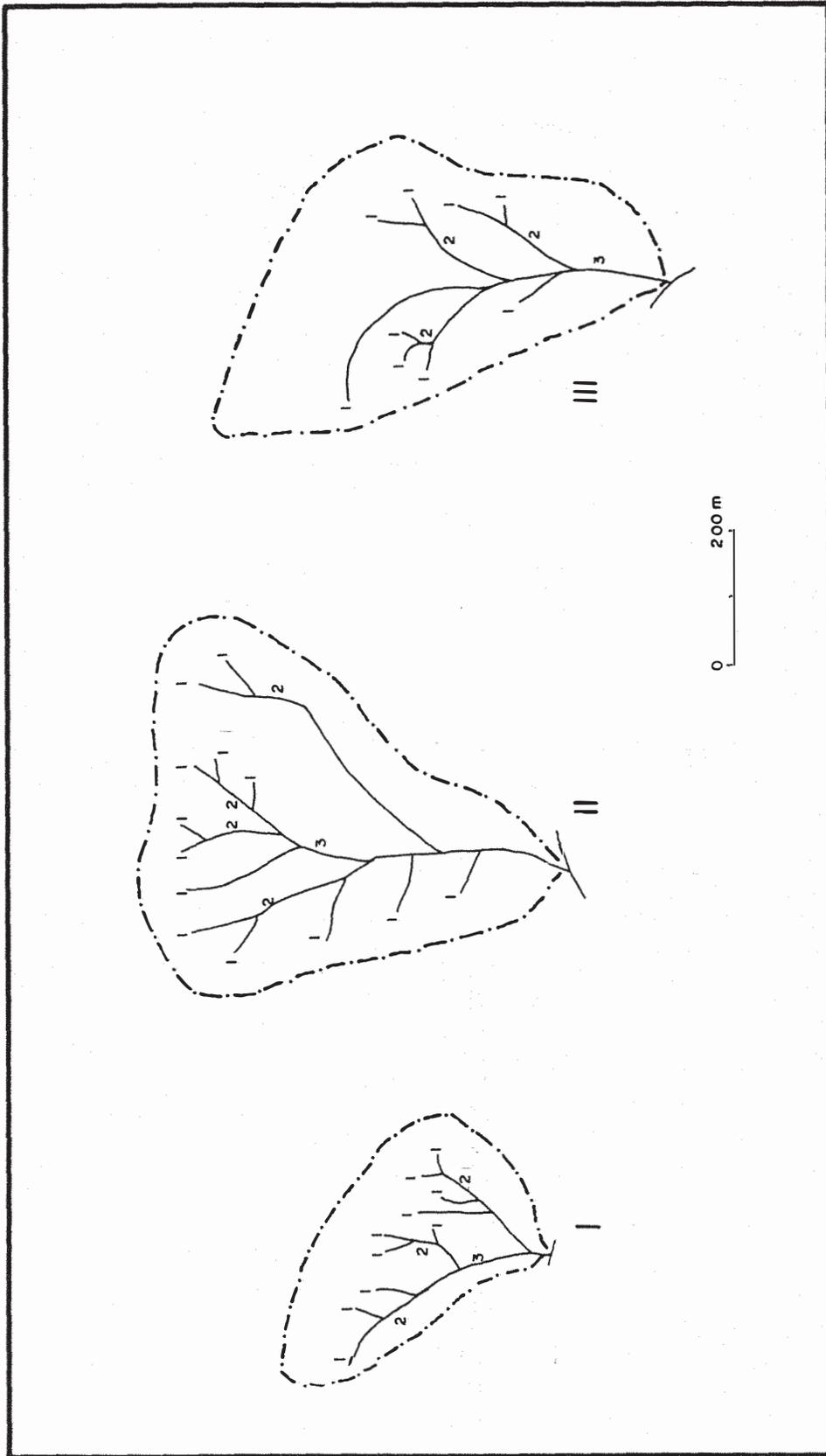


Figura 4 - Bacias I, II e III representativas das redes de drenagem desenvolvidas em solos da unidade de mapeamento CB.

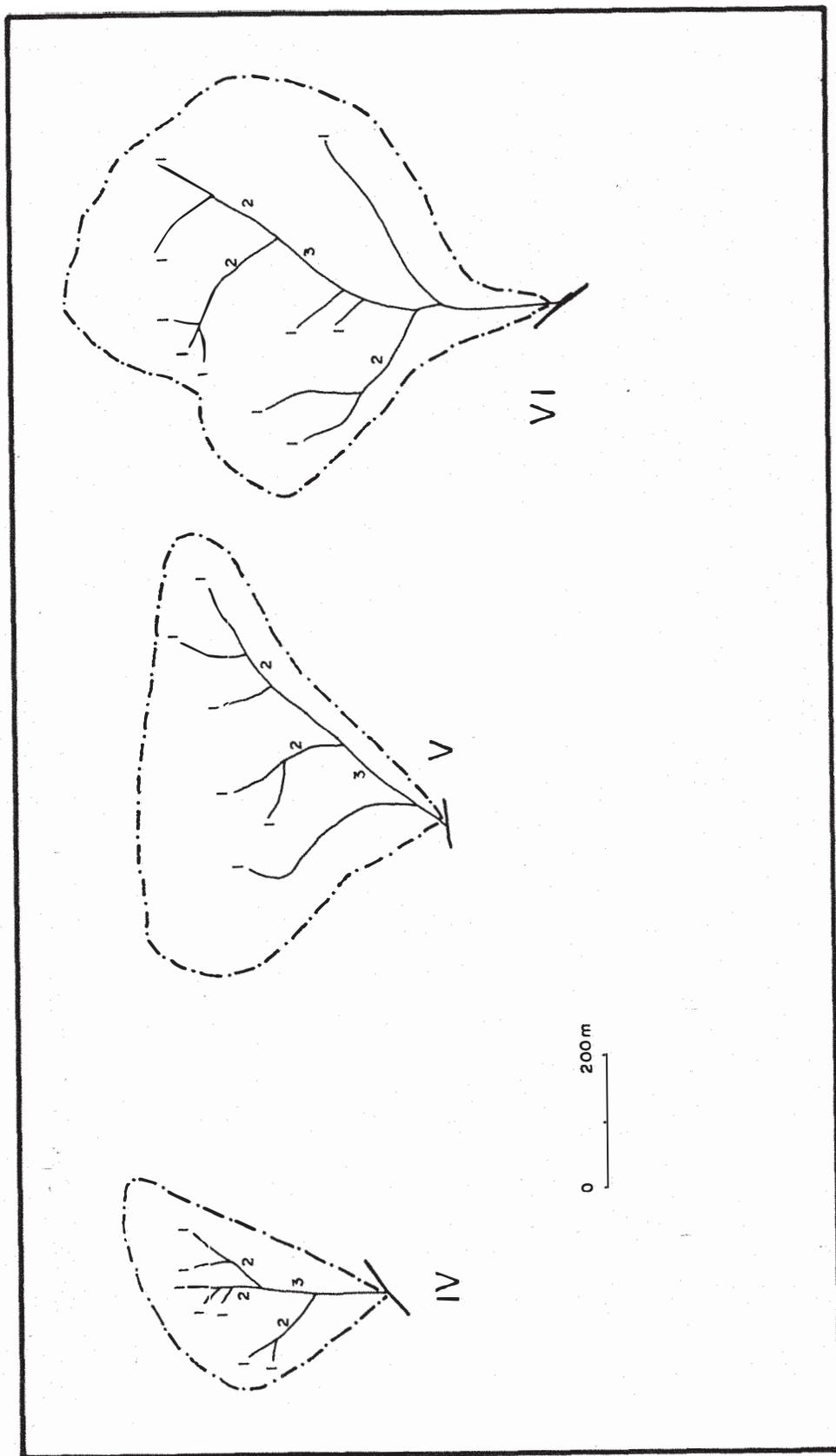


Figura 5 - Bacias IV, V e VI representativas das redes de drenagem desenvolvidas em solos da unidade de mapeamento CB.

Quadro 1 - Propriedades dimensionais das bacias hidrográficas representativas das unidades de mapeamento estudadas.

Bacia Hidrográfica	Maior comprimento (C) km	Maior largura (L) km	Comprimento de rios (km)		Perímetro (P) km	Área (A) km ²	Forma	
			Principal (CRP)	Rede (CRT)			Kc	Kcir
LV I	4,26	2,73	2,28	5,24	11,13	8,10	1,090	0,822
II	6,60	4,67	5,78	10,21	20,40	19,48	1,290	0,588
III	5,79	3,62	4,50	7,40	14,15	11,21	1,180	0,704
IV	3,80	6,60	3,90	9,56	19,17	17,80	1,270	0,609
V	4,60	3,88	3,53	10,20	14,00	12,73	1,100	0,816
VI	3,10	6,40	2,50	7,43	20,27	20,02	1,270	0,612
CB I	0,47	0,27	0,38	1,14	1,25	0,10	1,110	0,804
II	0,66	0,57	0,62	2,38	1,95	0,22	1,160	0,727
III	0,73	0,38	0,63	1,52	1,80	0,18	1,190	0,698
IV	0,38	0,27	0,30	0,92	1,05	0,07	1,110	0,798
V	0,60	0,47	0,35	1,36	1,80	0,18	1,190	0,698
VI	0,72	0,58	0,66	2,10	2,10	0,26	1,150	0,741

Quadro 2 - Valores médios e erros padrões da média das propriedades dimensionais das ba
 cias hidrográficas.

Característica	LV		CB	
	V. Médio	Erro P.Média s (m)	V. Médio	Erro P.Média s (m)
Maior comprimento (C)	4,69	0,528	0,593	0,058
Maior largura (L)	4,65	0,638	0,423	0,057
Comprimento rio principal (CRp)	3,75	0,531	0,490	0,078
Comprimento rede (CRT)	8,41	0,844	1,570	0,230
Perímetro (P)	16,52	0,031	1,660	0,169
Área (A)	14,89	2,001	0,170	0,066
I. compacidade (Kc)	1,20	0,037	1,152	0,015
I. circularidade (Kcir)	0,693	0,039	0,744	0,019

Quadro 3 - Análise de variância das propriedades dimensionais de bacias hidrográficas.

Característica	Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	C.V.%
Maior comprimento (C)	Solos	1	0,89157	-	159,40**	15,79
	Resíduo	10	0,05593	0,00559		
Maior largura (L)	Solos	1	1,03199	-	125,11**	20,41
	Resíduo	10	0,08248	0,00824		
Comprimento rio principal (Rp)	Solos	1	0,72614	-	88,19**	21,76
	Resíduo	10	0,08233	0,00823		
Comprimento t. rede (CRT)	Solos	1	0,94907	-	98,17**	14,40
	Resíduo	10	0,09667	0,00966		
Perímetro (P)	Solos	1	1,98768	-	257,39**	10,62
	Resíduo	10	0,07722	0,00772		
Área (A)	Solos	1	3,73007	-	341,07**	16,74
	Resíduo	10	0,10936	0,01093		
Í. Compacidade (Kc)	Solos	1	0,00700	-	1,49 n.s.	5,82
	Resíduo	10	0,04688	0,00468		
I. Circularidade (Kcir)	Solos	1	0,00826	-	1,22 n.s.	11,44
	Resíduo	10	0,06757	0,00675		

Quadro 4 - Propriedades dimensionais das bacias hidrográficas, determinados pela análise hipsométrica, nas unidades de mapeamento estudadas.

Características dimensionais	Latossolo (LV)						Cambissolo (B)					
	Bacias Hidrográficas						Bacias Hidrográficas					
	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
Integral hipsométrica	0,643	0,553	0,472	0,498	0,569	0,652	0,423	0,508	0,583	0,557	0,590	0,641
Médias		0,564	±	0,029				0,550	±	0,031		
Amplitude altimétrica	191	280	201	159	127	144	97	87	95	56	46	83
Médias		183,7	±	24,5				77,3	±	8,7		
Razão de relevo	0,045	0,042	0,035	0,042	0,028	0,046	0,206	0,136	0,130	0,147	0,077	0,115
Médias		0,039	±	0,002				0,135	±	0,017		
Altura média	122,8	154,8	94,9	75,0	72,3	93,9	41,0	44,2	55,4	31,2	27,0	53,2
Média		102,3	±	12,8				42,0	±	4,7		
Coefficiente de massividade	15,2	8,0	8,5	4,2	5,7	4,7	41,0	200,9	307,7	445,7	150,0	204,6
Médias		7,72	±	1,6				286,5	±	49,6		
Coefficiente orográfico	79,0	85,6	44,8	37,3	41,1	61,2	17,3	22,4	32,3	17,4	15,9	34,1
Médias		58,2	±	8,4				23,2	±	3,3		

Quadro 5 - Análise de variância das propriedades dimensionais das bacias hidrográficas, determinadas pela análise hipsométrica.

Característica	Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.	C.V. %																																																				
Integral hipsométrica	Solos	1	0,00060	-	0,10 n.s.	13,40																																																				
	Resíduo	10	0,05586	0,00558			Amplitude altimétrica	Solos	1	33920,33	-	19,61**	21,86	Resíduo	10	17288,66	1728,86	Razão de relevo	Solos	1	0,02736	-	29,70**	34,72	Resíduo	10	0,00921	0,00092	Altura média	Solos	1	10902,24	-	19,46**	32,80	Resíduo	10	5599,58	559,95	Coeficiente de massividade	Solos	1	233132,56	-	31,59**	58,39	Resíduo	10	73795,77	7379,57	Coeficiente orográfico	Solos	1	3661,01	-	15,09**	38,26	Resíduo
Amplitude altimétrica	Solos	1	33920,33	-	19,61**	21,86																																																				
	Resíduo	10	17288,66	1728,86			Razão de relevo	Solos	1	0,02736	-	29,70**	34,72	Resíduo	10	0,00921	0,00092	Altura média	Solos	1	10902,24	-	19,46**	32,80	Resíduo	10	5599,58	559,95	Coeficiente de massividade	Solos	1	233132,56	-	31,59**	58,39	Resíduo	10	73795,77	7379,57	Coeficiente orográfico	Solos	1	3661,01	-	15,09**	38,26	Resíduo	10	2425,16	242,51								
Razão de relevo	Solos	1	0,02736	-	29,70**	34,72																																																				
	Resíduo	10	0,00921	0,00092			Altura média	Solos	1	10902,24	-	19,46**	32,80	Resíduo	10	5599,58	559,95	Coeficiente de massividade	Solos	1	233132,56	-	31,59**	58,39	Resíduo	10	73795,77	7379,57	Coeficiente orográfico	Solos	1	3661,01	-	15,09**	38,26	Resíduo	10	2425,16	242,51																			
Altura média	Solos	1	10902,24	-	19,46**	32,80																																																				
	Resíduo	10	5599,58	559,95			Coeficiente de massividade	Solos	1	233132,56	-	31,59**	58,39	Resíduo	10	73795,77	7379,57	Coeficiente orográfico	Solos	1	3661,01	-	15,09**	38,26	Resíduo	10	2425,16	242,51																														
Coeficiente de massividade	Solos	1	233132,56	-	31,59**	58,39																																																				
	Resíduo	10	73795,77	7379,57			Coeficiente orográfico	Solos	1	3661,01	-	15,09**	38,26	Resíduo	10	2425,16	242,51																																									
Coeficiente orográfico	Solos	1	3661,01	-	15,09**	38,26																																																				
	Resíduo	10	2425,16	242,51																																																						

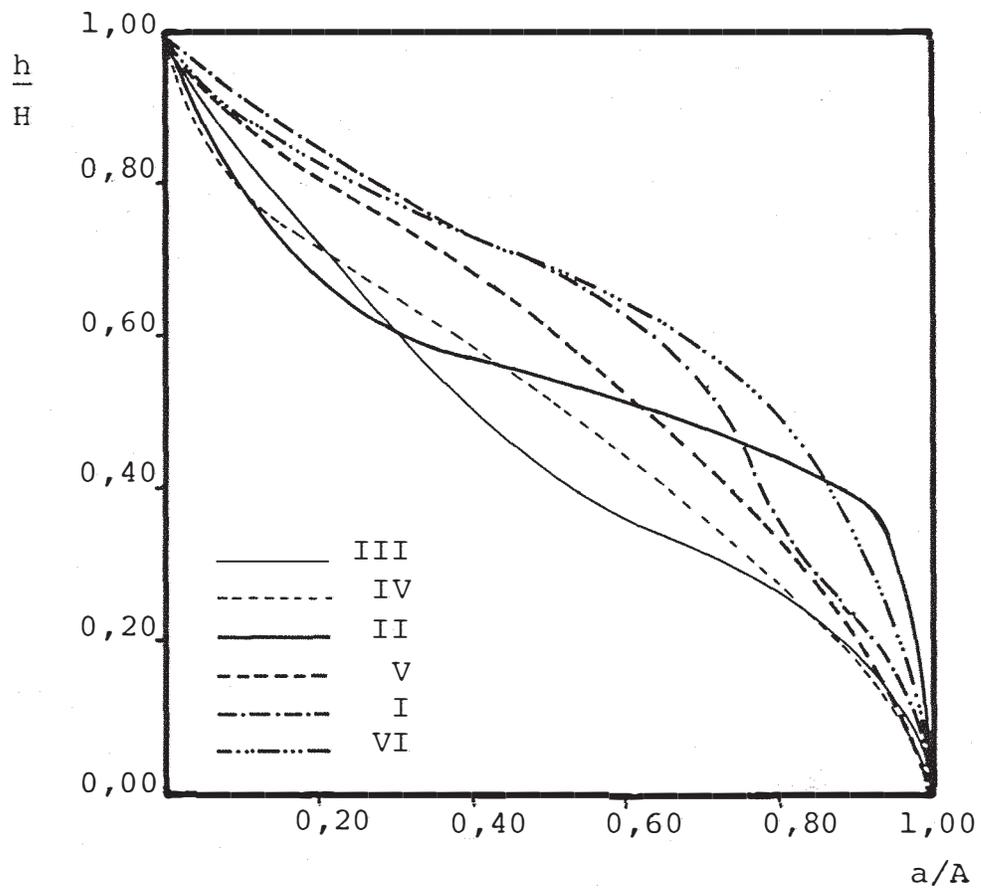


Figura 6 - Curvas hipsométricas das bacias hidrográficas de 3ª ordem representativas da unidade de mapeamento LV.

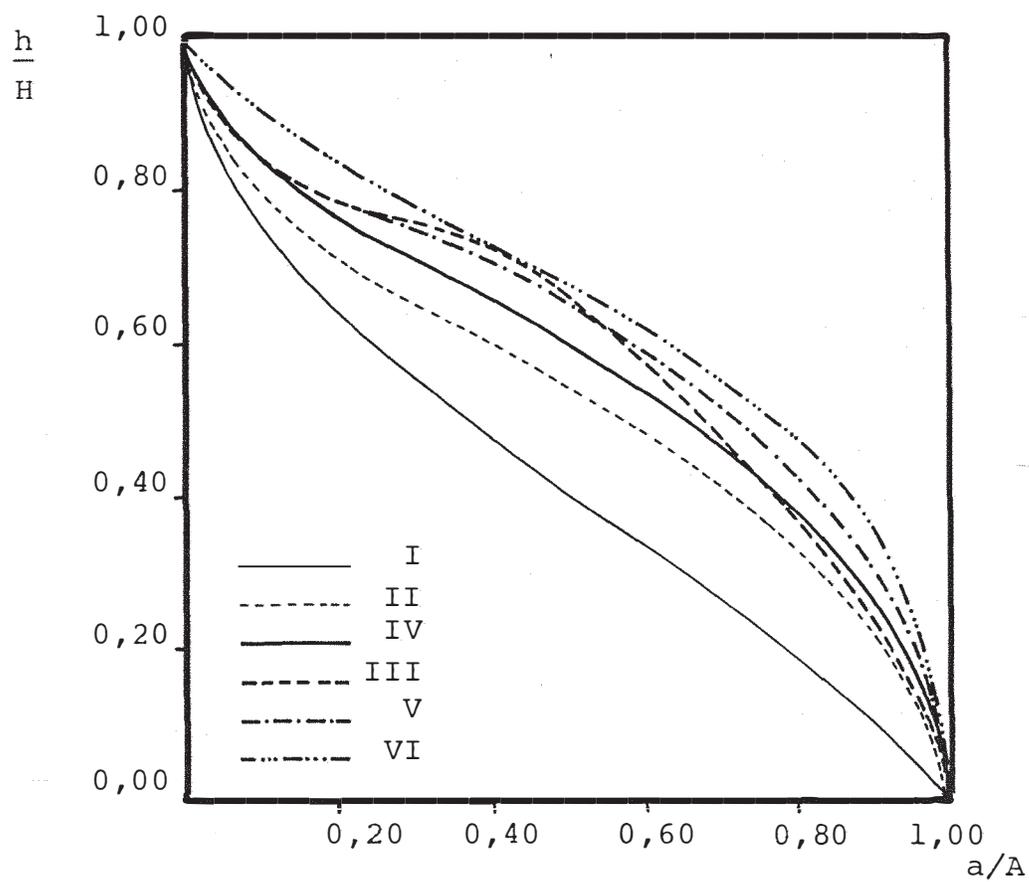


Figura 7 - Curvas hipsométricas das bacias hidrográficas de 3ª ordem representativas da unidade de mapeamento CB.

4.1.4. Propriedades não-dimensionais

As propriedades não-dimensionais, forma e simetria das vertentes das bacias hidrográficas estudadas, estão indicadas no Quadro 6.

4.1.5. Semelhança geométrica

Usando os princípios da análise dimensional e teste de semelhança geométrica, constatou-se que as bacias selecionadas para representar os solos das unidades de mapeamento escolhidas são semelhantes, embora apresentando ligeiras diferenças entre si no tamanho, como se observa nos Quadros 1, 7 e 8. Não ocorreram grandes variações nos valores de razão quadrática entre as bacias comparadas, satisfazendo o critério de semelhança geométrica de STRAHLER (1957).

Quadro 6 - Propriedades não-dimensionais das bacias hidrográficas de 3^a. ordem, representativas das unidades de mapeamento estudadas.

Unidade de mapeamento	Bacia hidrográfica	Forma aproximada	Simetria das vertentes
LV	I	trapezoidal	assimétrica
	II	amebóide	assimétrica
	III	alongada	assimétrica
	IV	triangular	assimétrica
	V	oval	assimétrica
	VI	amebóide	assimétrica
CB	I	leque	assimétrica
	II	piriforme	assimétrica
	III	leque	assimétrica
	IV	leque	assimétrica
	V	leque	assimétrica
	VI	retangular	assimétrica

Quadro 7 - Análise dimensional e teste de semelhança geométrica aplicados às bacias hidrográficas representativas da unidade de mapeamento LV.

Bacias hidrográficas comparadas	Razão de escala linear (R)					Razão de escala quadrática (Rq)		
	C/CI	L/LI	CRp/CRpl	CRT/CRTI	P/PI	Razão média (Rm)	(Rm) ²	A/AI
I/II	0,64	0,58	0,39	0,49	0,54	0,53	0,28	0,41
I/III	0,73	0,75	0,39	0,71	0,79	0,67	0,45	0,41
I/IV	1,12	0,41	0,51	0,55	0,58	0,63	0,40	0,72
I/V	0,93	0,70	0,58	0,51	0,79	0,70	0,49	0,45
I/VI	1,37	0,43	0,91	0,75	0,55	0,79	0,62	0,40
II/III	1,14	1,29	1,30	1,43	1,44	1,32	1,74	1,74
II/IV	1,74	0,71	1,50	1,11	1,06	1,22	1,49	1,09
II/V	1,43	1,20	1,66	1,04	1,46	1,36	1,85	1,53
II/VI	2,13	0,73	2,35	1,43	1,00	1,53	2,34	0,97
III/IV	1,52	0,55	1,15	0,77	0,74	0,95	0,90	0,63
III/V	1,26	0,93	1,27	0,73	1,01	1,04	1,08	0,88
III/VI	1,87	0,56	1,80	0,99	0,70	1,18	1,39	0,56
IV/V	0,83	1,70	1,10	0,94	1,37	1,69	2,86	1,40
IV/VI	1,22	1,03	1,56	1,28	0,94	1,21	1,46	0,89
V/VI	1,48	0,61	1,41	1,37	0,69	1,11	1,24	0,64

Quadro 8 - Análise dimensional e teste de semelhança geométrica aplicados às bacias hidrográficas representativas da unidade de mapeamento CB.

Bacias hidrográficas paradas	Razão de escala linear (R)					Razão métrica (Rm) ²	Razão de escala quadrática (Rq)
	C/Cl	L/Ll	CRp/CRpl	Crt/Crtl	P/P		
I/II	0,71	0,47	0,61	0,48	0,64	0,58	0,34
I/III	0,64	0,71	0,60	0,75	0,69	0,68	0,46
I/IV	1,24	1,00	1,27	1,24	1,19	1,19	1,41
I/V	0,78	0,57	1,08	0,84	0,69	0,79	0,63
I/VI	0,65	0,46	0,57	0,54	0,59	0,56	0,31
II/III	0,90	1,50	0,98	1,56	1,08	1,20	1,45
II/IV	1,74	2,11	2,07	2,59	1,86	2,07	4,30
II/V	1,10	1,21	1,77	1,75	1,08	1,38	1,91
II/VI	0,92	0,98	0,94	1,13	0,93	0,98	0,96
III/IV	1,92	1,41	2,10	1,65	1,71	1,76	3,09
III/V	1,22	0,81	1,80	1,12	1,00	1,19	1,42
III/VI	1,01	0,65	0,95	0,72	0,86	0,84	0,70
IV/V	0,63	0,57	0,86	0,68	0,58	0,66	0,44
IV/VI	0,53	0,46	0,45	0,44	0,50	0,48	0,23
V/VI	0,83	0,81	0,53	0,65	0,86	0,74	0,54

4.2. Características das redes de drenagem

4.2.1. Composição da rede de drenagem

4.2.1.1. Resultados determinados em bacias hidrográficas

As características referentes à composição das redes de drenagem das bacias hidrográficas estudadas, estão indicadas nos Quadros 9 e 10.

Análise de número de segmentos de rios

Os números de segmentos de rios em cada ordem, número total da bacia, valores médios determinados pelas médias aritmética e ponderada em relação às áreas das bacias e valores calculados em função da relação preconizada por MAXWELL (1955) e pela Lei de Horton, estão indicadas no Quadro 11 e a análise de variâncias, no Quadro 12.

A equação que relaciona o número de rios às ordens de ramificação, é a preconizada por MAXWELL (1955):

$$\log N_w = \log a - w \cdot \log b$$

As formas assumidas para os dados observados nas bacias representativas das unidades de mapeamento LV e

Quadro 9 - Composição das redes de drenagem das bacias hidrográficas de 3ª ordem representativas da unidade de mapeamento IV.

BACIA HIDROGRÁFICA	ORDEM (W)	Nº DE SEGMENTOS DE RIOS		RAZÃO DE RAMIFICA- ÇÃO (Rb)	COMPRIMENTO DE RIOS (km)			RAZÃO DE COMPRIMENTO	
		Em cada ordem (Nw)	Total da bacia (NT)		Total (Lw)	EM CADA ORDEM		Total (RIw)	Médio (RL)
						Médio (Lm)	Total da bacia (CRt)		
I	1a.	5		-	2,80	0,56		-	1,09
	2a.	2		2,50	1,22	0,61		2,29	2,00
	3a.	1	8	2,00	1,22	1,22	5,24	1,00	-
II	1a.	10		-	3,99	0,40		-	2,00
	2a.	3		3,33	2,40	0,80		1,66	5,27
	3a.	1	14	3,00	4,22	4,22	10,61	0,57	-
III	1a.	5		-	3,27	0,65		-	1,08
	2a.	2		2,50	1,40	0,70		2,33	3,90
	3a.	1	8	2,00	2,73	2,73	7,40	0,51	-
IV	1a.	12		-	4,93	0,41		-	1,24
	2a.	5		2,40	2,52	0,51		1,96	4,12
	3a.	1	18	5,00	2,10	2,10	9,56	1,20	-
V	1a.	11		-	5,20	0,47		-	2,55
	2a.	3		3,66	3,60	1,20		1,44	1,17
	3a.	1	15	3,00	1,40	1,40	10,20	2,57	-
VI	1a.	8		-	4,70	0,59		-	0,85
	2a.	2		4,00	1,00	0,50		4,70	3,46
	3a.	1	11	2,00	1,73	1,73	7,43	0,58	-

Quadro 10 - Composição das redes de drenagem das bacias hidrográficas de 3a. ordem representativas da unidade de mapeamento CB.

BACIA HIDROGRÁFICA	ORDEM (W)	Nº DE SEGMENTOS DE RIOS		RAZÃO DA RAMIFICA- ÇÃO (Rb)	COMPRIMENTO DE RIOS (Km)			RAZÃO DE COMPRI- MENTO	
		Em cada ordem (Nw)	Total da bacia (Nt)		Total (Lw)	Médio (Lm)	Total da bacia (CRt)	Total (Rlw)	Médio (Rl)
I	1a.	10		-	0,58	0,06	-	-	2,33
	2a.	3		3,33	0,43	0,14	-	1,35	0,93
	3a.	1	14	3,00	0,13	0,13	1,14	3,30	-
II	1a.	13		-	1,05	0,08	-	-	2,62
	2a.	4		3,25	0,83	0,21	-	1,26	2,38
	3a.	1	18	4,00	0,50	0,50	2,38	1,66	-
III	1a.	9		-	0,83	0,09	-	-	1,66
	2a.	3		3,00	0,45	0,15	-	1,84	1,60
	3a.	1	13	3,00	0,24	0,24	1,52	1,87	-
IV	1a.	7		-	0,30	0,04	-	-	3,50
	2a.	3		2,33	0,42	0,14	-	0,71	1,43
	3a.	1	11	3,00	0,20	0,20	0,92	2,10	-
V	1a.	7		-	0,83	0,12	-	-	1,33
	2a.	2		3,50	0,33	0,16	-	2,51	1,25
	3a.	1	10	2,00	0,20	0,20	1,36	1,65	-
VI	1a.	10		-	1,10	0,11	-	-	1,54
	2a.	3		3,33	0,50	0,17	-	2,20	2,94
	3a.	1	13	3,00	0,50	0,50	2,10	1,00	-

Quadro 11 - Número de segmentos de rios observados em cada ordem, número total da bacia, valores médios determinados pelas médias aritmética e ponderada em relação às áreas das bacias e valores calculados para bacias de 3a. ordem representativas das unidades de mapeamento estudadas.

ORDEM	NÚMERO DE SEGMENTOS DE RIOS EM CADA ORDEM (Nw)											CALCULADOS	
	I	II	III	IV	V	VI	MÉDIA		MAXWELL	HORTON			
							Aritmética	Ponderada					
la.	5	10	5	12	11	8	8,50	9,01	8,96	9,00			
LV 2a.	2	3	2	5	3	2	2,83	2,96	2,96	3,00			
3a.	1	1	1	1	1	1	1,00	1,00	0,99	1,00			
Total de rios (Nt)	8	14	8	18	15	11	12,97	12,93	12,93	13,00			
la.	10	13	9	7	7	10	9,33	8,33	8,04	8,35			
CB 2a.	3	4	3	3	2	3	3,00	2,60	2,79	2,89			
3a.	1	1	1	1	1	1	1,00	1,00	1,03	1,00			
Total de rios (Nt)	14	18	13	11	10	14	13,33	11,79	11,86	12,24			

Quadro 12 - Análise de variância das propriedades, número total de segmentos de rios (N_t), comprimento total da rede (CR_t) e comprimento médio dos segmentos de rios (Lm) determinadas em bacias hidrográficas de 3a. ordem.

Características	Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.	C.V.%
Nº total de segmentos de rios (N_t)	Solo	1	3,0000	-	0,24 ^{ns}	27,06
	Resíduo	10	120,6666	12,0666	-	-
Comprimento total da rede (CR_t)	Solo	1	140,2200	-	60,99 ^{**}	30,39
	Resíduo	10	22,9869	2,2986	-	-
Comprimento médio da rede (Lm)	Solo	1	1,0266	-	115,07 ^{**}	23,08
	Resíduo	10	0,0892	0,0089	-	-

CB são, respectivamente, as seguintes:

$$\log Nw = 1,43000 - 0,47735w$$

e

$$\log Nw = 1,36585 - 0,46032w$$

As razões de ramificação, reunidas sob a forma de valores observados e valores médios calculados pela média aritmética e pela relação de Maxwell, $R_b = \text{antilog } b$, são apresentadas no Quadro 13.

As regressões de número de segmentos de rios sobre as ordens de rios, dos solos estudados, estão representadas na Figura 8.

Análise dos comprimentos totais de segmentos de rios

As somas dos comprimentos totais de segmentos de rios, em cada ordem de ramificação e o comprimento total dos mesmos na bacia, observadas e calculadas, estes incluindo os valores médios determinados pelas médias ponderada em relação às áreas das bacias, os valores calculados em função da lei de Horton e os valores em função das formas assumidas pelas relações preconizadas por STRAHLER

Quadro 13 - Valores observados e valores médios calculados pela média aritmética e pela relação de MAXWELL (1955), para a razão de ramificação, nas bacias hidrográficas de 3a. ordem, representativas das unidades de mapeamento estudados.

RELA- ÇÕES	LATOSSOLO (LV)						CAMBISSOLO (CB)									
	Valores Obs. Bac. Hidrográficas			Val.Méd. Calc.			Valores Obs. Bac. Hidrográficas			Val.Méd.Calc.						
	I	II	III	IV	V	VI	Média Arit.	Relação Maxwell	I	II	III	IV	V	VI	Média Arit.	Relação Maxwell
w ₁ /w ₂	2,50	3,33	2,50	2,40	3,66	4,00			3,33	3,25	3,00	2,33	3,50	3,33		
							2,95	3,00							3,06	2,89
w ₂ /w ₃	2,00	3,00	2,00	5,00	3,00	2,00			3,00	4,00	3,00	3,00	2,00	3,00		

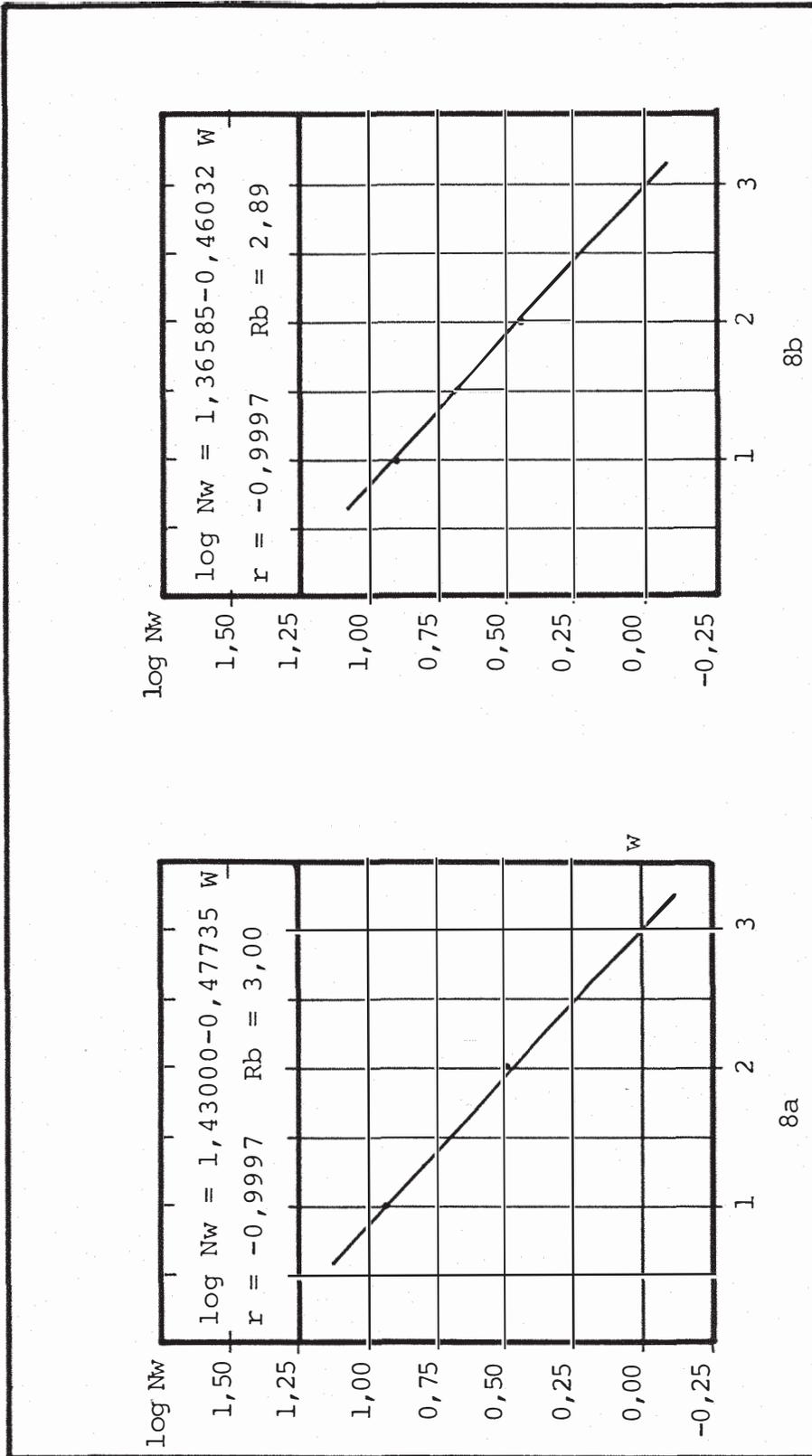


Figura 8 - Regressões do número de segmentos de rios sobre as ordens de rios, nas unidades de mapeamento pedológico estudadas: 8a - LV; 8b - CB.

(1957) e por FRANÇA (1968), estão indicadas no Quadro 14; e a análise de variância no Quadro 12.

A equação que relaciona o comprimento total de rios às ordens de ramificação, preconizada por STRAHLER (1957), é do tipo:

$$\log Lw = \log a - b.\log w$$

e a preconizada por FRANÇA (1968), é do tipo:

$$\log Lw = \log a - w.\log b.$$

As formas assumidas para os dados observados nas bacias representativas da unidade de mapeamento pedológico LV são, respectivamente, segundo STRAHLER (1957) e FRANÇA (1968), as seguintes:

$$\log Lw = 0,59599 - 0,59777 \log W$$

e

$$\log Lw = 0,69884 - 0,12895 w.$$

As formas assumidas para os dados observados nas bacias representativas da unidade de mapeamento pedológico CB são, respectivamente segundo STRAHLER (1957) e FRANÇA (1968), as seguintes:

Quadro 14 - Soma dos comprimentos totais de segmentos de rios observados em cada ordem e o total na bacia, média ponderada em relação às áreas das bacias e valores calculados pela lei de Horton e pelas relações preconizadas por Strahler e por França.

ORDEM (W)	COMPRIMENTO TOTAL DE RIOS EM CADA ORDEM, Lw (km)										
	OBSERVADOS						CALCULADOS				
	I	II	III	IV	V	VI	MÉDIA PONDE- RADA		Horton	Strahler	França
LV	1a.	2,80	3,99	3,27	4,93	5,10	4,70	4,31	4,31	3,94	3,71
	2a.	1,22	2,40	1,40	2,52	3,60	1,00	2,05	3,22	2,61	2,76
	3a.	1,22	4,22	2,73	2,10	1,40	1,73	2,38	2,40	2,04	2,05
	(CRT)	5,24	10,61	7,40	9,56	10,20	8,74	9,93	9,93	8,59	8,52
CB	1a.	0,58	1,05	0,83	0,30	0,83	1,10	0,88	0,88	0,89	0,86
	2a.	0,43	0,83	0,45	0,42	0,33	0,50	0,52	0,55	0,49	0,54
	3a.	0,13	0,50	0,24	0,20	0,20	0,50	0,34	0,33	0,35	0,33
	(CRT)	1,14	2,38	1,53	0,92	1,36	2,10	1,74	1,76	1,73	1,73

$$\log Lw = -0,04780 - 0,85413 \log w$$

$$\log Lw = 0,14365 - 0,20650 w$$

As regressões da soma dos comprimentos totais de segmentos de rios sobre as ordens de rios, estão representadas nas Figuras 9 e 10.

As razões de comprimentos totais de uma ordem e a seguinte, reunidas, sob a forma de valores observados e valores calculados pela média aritmética e pela relação de França, $Rlw = \text{antilog } b$, são apresentadas no Quadro 15.

Análise dos comprimentos médios de segmentos de rios

As somas dos comprimentos médios de segmentos de rios, em cada ordem de ramificação e o comprimento médio dos mesmos na bacia, observados e calculados, estes incluindo os valores médios determinados pela média ponderada em relação às áreas das bacias, os valores calculados segundo a relação Lw/Nw de FRANÇA (1968), pela lei de Horton e pela relação preconizada por VASQUES FILHO (1972), estão indicadas no Quadro 16 e a análise de variância, no Quadro 12.

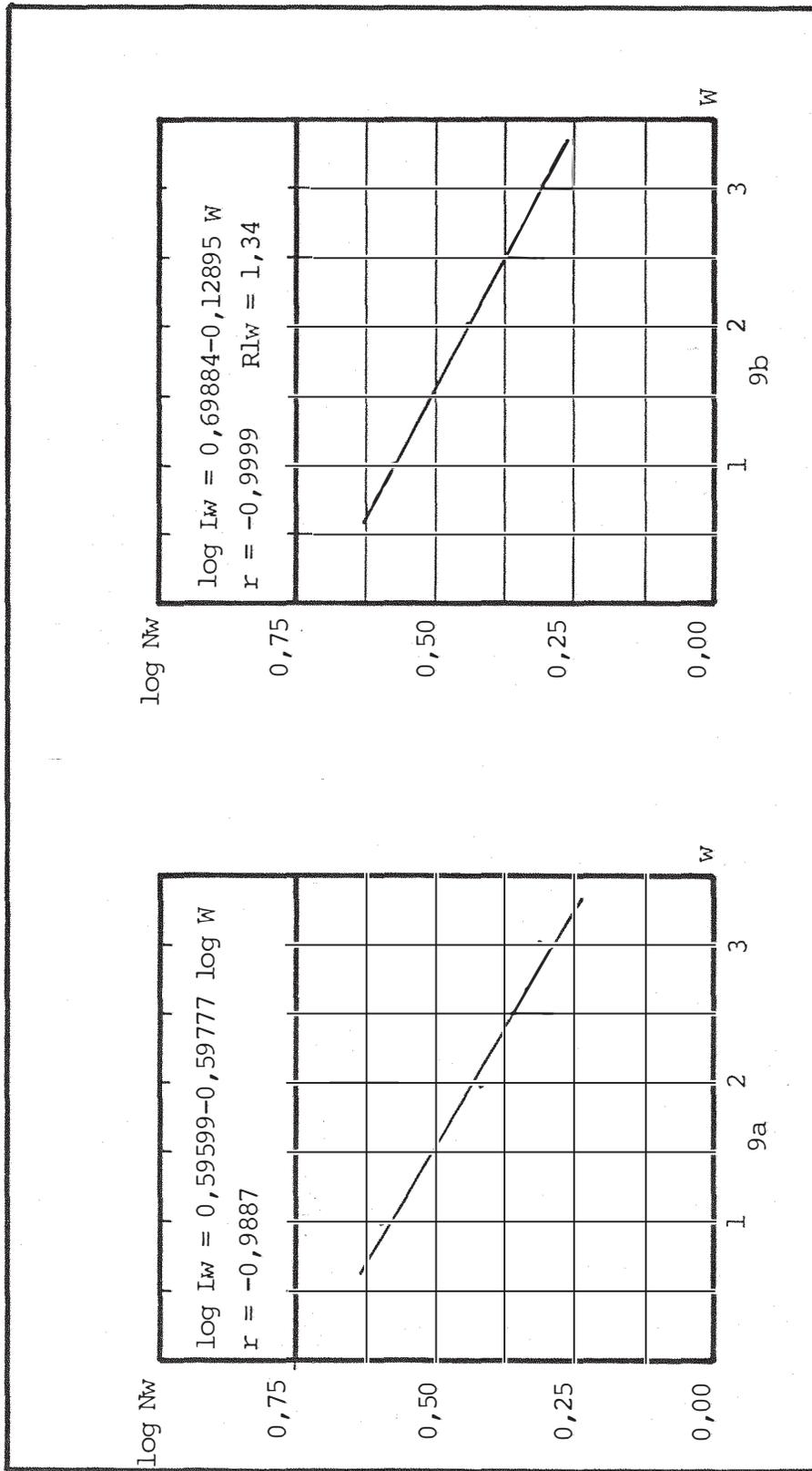


Figura 9 - Regressões da soma dos comprimentos totais dos segmentos de rios sobre as ordens de rios, em solos da unidade de mapeamento pedológico LV: 9a - segundo Strahler; 9b - segundo França.

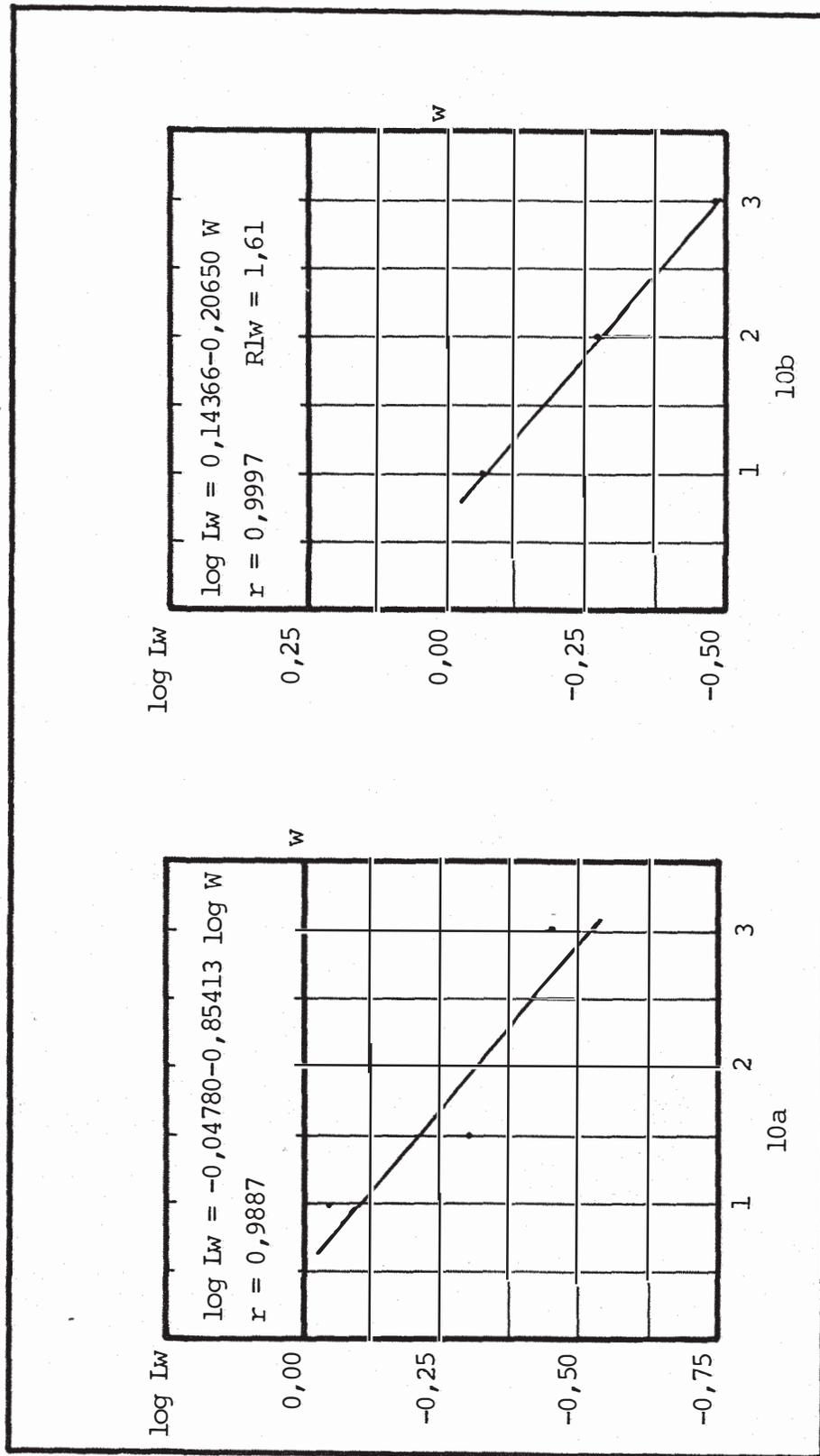


Figura 10 - Regressões da soma dos comprimentos totais de segmentos de rios sobre as ordens de rios, em solos da unidade de mapeamento pedológico CB: 10a - segundo Strahler; 10b - segundo França.

Quadro 15 - Valores observados e valores médios calculados da razão de comprimentos totais de segmentos de rios, para as bacias hidrográficas de 3a. ordem, representativas das unidades de mapeamento estudadas.

RELA- ÇÕES	LATOSSOLO (LV)						CAMBISSOLO (CB)									
	Valores Obs. Bacias Hidrográficas			Valores médios calculados			Valores Obs. Bacias Hidrográficas			Valores médios calculados						
	I	II	III	IV	V	VI	Média Aritm.	Média Pond.	I	II	III	IV	V	VI	Média Arit.	Média Pond.
Lw ₁ /Lw ₂	2,29	1,66	2,33	1,96	1,44	4,70			1,35	1,26	1,84	0,71	2,51	2,20		
							1,73	1,34							1,79	1,61
Lw ₂ /Lw ₁	1,00	0,57	0,51	1,20	2,57	0,58			3,30	1,66	1,87	2,10	1,65	1,00		

Quadro 16 - Valores de comprimentos médios de segmentos de rios observados em cada ordem, comprimento médio de rios na bacia, médias ponderadas em relação às áreas das bacias e valores determinados pela relação Lw/Nw , lei de Horton e pela relação preconizada por Vasques Filho.

ORDEM (W)	COMPRIMENTO MÉDIOS DE RIOS EM CADA ORDEM, Lw (km)										
	OBSERVADOS						CALCULADOS				
	I	II	III	IV	V	VI	MÉDIA PONDE- RADA	(Lw/Nw)	Horton	Vasques	
1a.	0,56	0,40	0,65	0,41	0,47	0,59	0,50	0,41	0,50	0,38	
LV 2a.	0,61	0,80	0,70	0,51	1,20	0,50	0,51	0,92	1,14	0,87	
3a.	1,28	4,22	2,73	2,10	1,40	1,73	2,62	2,07	2,61	2,00	
Bacia	0,65	0,76	0,92	0,53	0,68	0,67	0,70	-	-	-	
1a.	0,06	0,08	0,09	0,04	0,12	0,11	0,09	0,11	0,09	0,09	
CB 2a.	0,14	0,21	0,15	0,14	0,16	0,17	0,17	0,19	0,17	0,17	
3a.	0,13	0,50	0,24	0,20	0,20	0,50	0,34	0,32	0,33	0,34	
Bacia	0,08	0,13	0,12	0,08	0,14	0,15	0,12	-	-	-	

A equação que relaciona os comprimentos médios de segmentos de rios às ordens de ramificação, preconizada por VASQUES FILHO (1972), é do tipo:

$$\log L_m = \log a - w \cdot \log b$$

As formas assumidas para os dados observados nas bacias representativas das unidades de mapeamento LV e CB são, respectivamente, as seguintes:

$$\log L_m = -0,77772 + 0,35966 w$$

e

$$\log L_m = -1,33751 + 0,28812 w.$$

As regressões de somas dos comprimentos médios de segmentos de rios sobre as ordens de rios, estão representadas na Figura 11.

As razões de comprimentos médios, reunidas sob a forma de valores observados e valores médios, determinados pelas médias aritmética e pela relação de Vasques Filho, $R_b = \text{antilog } b$, são apresentadas no Quadro 17.

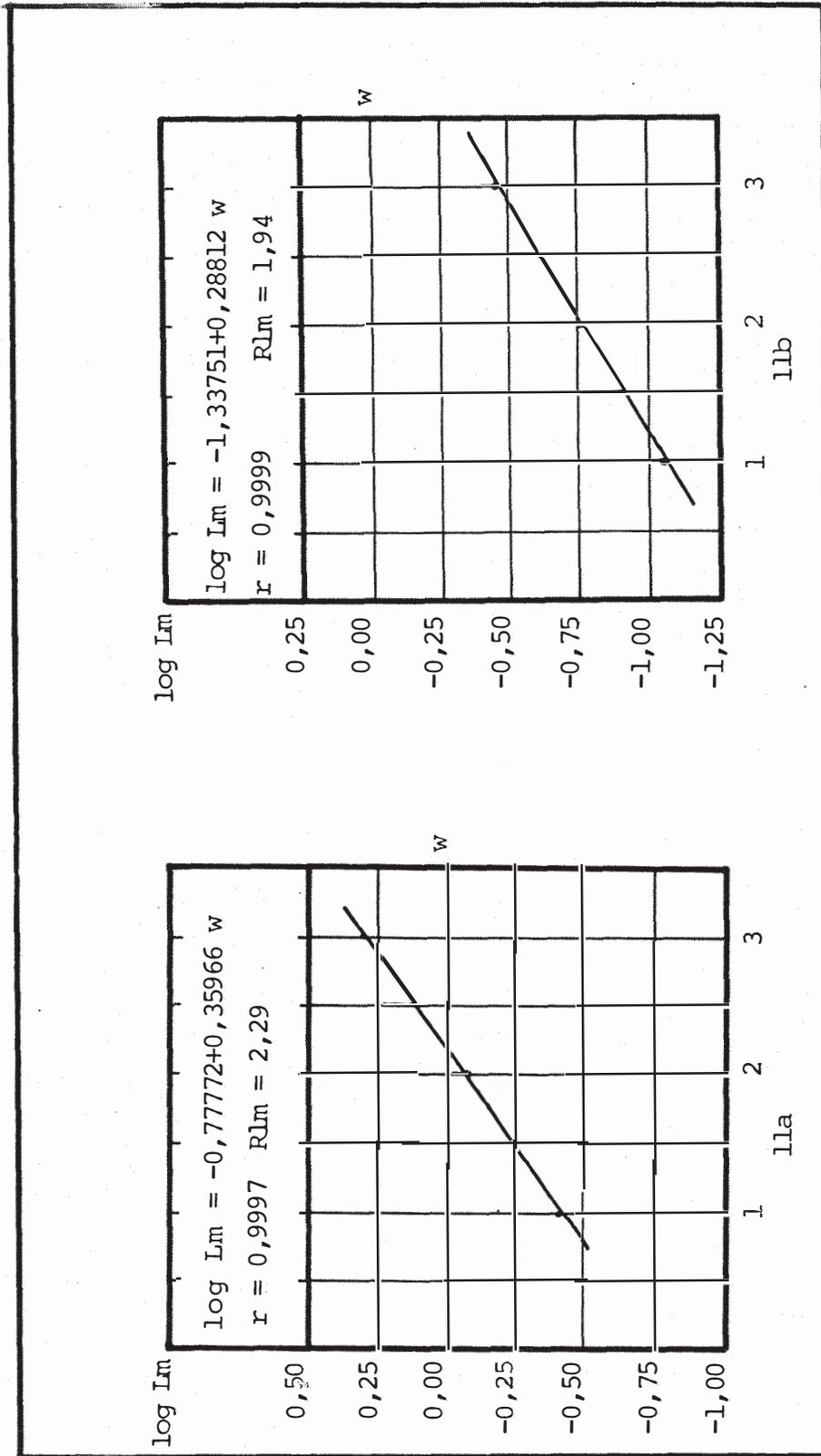


Figura 11 - Regressões, preconizadas por Vasques Filho, da soma dos comprimentos médios de segmentos de rios sobre as ordens de rios, nas unidades de mapeamento pedológico estudadas: lla - LV; llb - CB.

Quadro 17 - Valores observados e valores médios calculados da razão de comprimentos médios de segmentos de rios, para as bacias hidrográficas de 3a. ordem, representativas das unidades de mapeamento estudadas.

RELA- ÇÕES	LATOSSOLO (LV)						CAMBISSOLO (CB)									
	Valores Obs. Bacias Hidrográficas			Valores médios calculados			Valores Obs. Bacias Hidrográficas			Valores médios calculados						
	I	II	III	IV	V	VI	Média Arit.	Vasques	I	II	III	IV	V	VI	Média Arit.	Vasques
Im2/Im1	1,09	2,00	1,08	1,24	2,55	0,85	2,39	2,29	2,33	2,62	1,66	3,50	1,33	1,54	1,96	1,94
Im3/Im2	2,00	5,27	3,90	4,12	1,12	3,46	0,93	2,38	1,60	1,43	1,25	2,54				

Os valores dos números de segmentos de rios, comprimentos totais e médias dos segmentos de rios são apresentados no Quadro 18, sendo agrupados os valores observados, os valores determinados segundo as relações preconizadas e os valores determinados pelas leis de Horton.

Os valores médios das razões de ramificação, de comprimentos totais e de comprimentos médios, determinadas pelas médias aritméticas, relações preconizadas e relação $R_{lm} = R_b/R_{lw}$, são apresentados no Quadro 19.

4.2.1.2. Resultados determinados em amostras circulares

As propriedades referentes a números totais de segmentos de rios, comprimentos totais de segmentos de rios e comprimentos médios dos segmentos de rios determinados em amostras circulares de 5 km^2 de área e $7,91 \text{ km}$ de perímetro, são apresentados no Quadro 20 e a análise de variância, no Quadro 21.

4.2.2. Padrão de drenagem

4.2.2.1. Características descritivas

As características descritivas do padrão de

Quadro 18 - Números, comprimentos totais e comprimentos médios dos segmentos de rios referentes a cada ordem e total da bacia, para bacias de 3a. ordem representativas das unidades de mapeamento estudadas.

Ordem	LATOSSOLO (LV)			CAMBISSOLO (CB)		
	Nw	Lw	Lm	Nw	Lw	Lm
			Valores Observados			
1a.	9,01	4,31	0,50	8,33	0,68	0,09
2a.	2,96	2,05	0,51	2,60	0,52	0,17
3a.	1,00	2,38	2,62	1,00	0,34	0,34
Total	12,97	8,74	-	11,79	1,74	-
			Relações Preconizadas			
1a.	8,96	3,71	0,38	8,04	0,86	0,11
2a.	2,98	2,76	0,87	2,79	0,54	0,17
3a.	0,99	2,05	2,00	1,03	0,33	0,34
Total	12,93	8,74	-	11,86	1,73	-
			Leis de Horton			
1a.	9,00	4,31	0,50	8,35	0,88	0,09
2a.	3,00	3,22	1,14	2,89	0,55	0,17
3a.	1,00	2,40	2,61	1,00	0,33	0,33
Total	13,00	9,93	-	12,24	1,76	-

Quadro 19 - Valores médios das razões de ramificação, de comprimentos totais e de comprimentos médios, determinadas pela média aritmética, relações preconizadas e relação $R_{lm} = R_b/R_{lw}$.

Característica	LATOSSOLO (LV)		CAMBISSOLO (CB)			
	Média	Rel. Prec.	Relação (*)	Média	Rel. Prec.	Relação (*)
Razão de ramificação (Rb)	2,95	3,00	3,07	3,06	2,89	3,12
Razão de comprimentos totais (Rlw)	1,73	1,34	1,31	1,79	1,61	1,49
Razão de comprimentos médios (Rlm)	2,39	2,29	2,24	1,96	1,94	1,79

Relações (*)

- (1) $R_b = R_{lm} \times R_{lw}^{-1}$
- (2) $R_{lw} = R_b \times R_{lm}^{-1}$
- (3) $R_{lm} = R_b \times R_{lw}^{-1}$

Quadro 20 - Valores observados de número total de segmentos de rios, comprimentos totais dos segmentos de rios e comprimentos médios dos segmentos de rios determinados em amostras circulares.

Características	LATOSSOLO (LV)						CAMBISSOLO (CB)					
	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
Nº total de segmentos de rios (Ntc)	05	04	05	09	07	08	210	235	225	107	191	108
Médias			6,33 ± 0,80						179,33 ± 22,73			
Comprimento total da rede (CR _{tc})	5,00	4,60	5,70	6,00	5,80	6,40	40,05	30,01	30,01	20,00	30,00	20,01
Médias			5,58 ± 0,27						28,35 ± 1,95			
Comprimentos médios dos segmentos de rios (lmc)	1,00	1,15	1,14	0,66	0,83	0,80	0,19	0,13	0,14	0,19	0,16	0,18
Médias			0,93 ± 0,08						0,16 ± 0,01			

Quadro 21 - Análise de variância das propriedades, números totais de segmentos de rios (Ntc), comprimentos totais dos segmentos de rios da rede (CRtc) e comprimentos médios dos segmentos de rios (Lmc) determinados por amostras circulares.

Características	Causas de variação		G.L.	S.Q.	Q.M.	F	C.V.%
	Solo	Resíduo					
Nº total de segmentos de rios (Ntc)	Solo	Resíduo	1	89787,0000	-	54,08**	43,88
			10	16600,6700	1660,0067	-	-
Comprimento total da rede (CRtc)	Solo	Resíduo	1	1554,5080	-	54,23**	31,55
			10	286,6100	28,6610	-	-
Comprimento médio da rede (Lmc)	Solo	Resíduo	1	1,7556	-	87,54**	25,86
			10	0,2005	0,0200	-	-

drenagem, referentes às redes de drenagem das bacias hidrográficas representativas das unidades de mapeamento pedológicas estudadas, estão apresentadas no Quadro 22.

As inferências que as características descritivas permitem sobre a unidade de mapeamento LV, são: trata-se de material não facilmente erodível, de permeabilidade relativamente alta. Estas inferências estão de acordo com a natureza de solo: textura argilosa e porosidade elevada, ao longo de todo o perfil; solos profundos a muito profundos, bem drenados.

As inferências sobre a unidade CB, são: trata-se de material facilmente erodível, de permeabilidade moderada: o padrão pouco orientado a orientado, com baixo a maior grau de controle litológico, indica a pequena profundidade do substrato rochoso. Estas inferências estão de acordo com a natureza do solo: textura argilosa, sendo solos moderadamente a bem drenados, susceptíveis à erosão, principalmente devido ao relevo onde se encontram; os perfis apresentam espessura que normalmente varia de 1 a 2 metros, constituindo característica comum, a presença de cascalho e pedras ao longo de todo o perfil.

4.2.2.2. Características quantitativas

As características quantitativas do padrão de

drenagem, expressas pelos índices: densidade de drenagem, frequência de rios, razão de textura, extensão do percurso superficial, coeficiente de manutenção, razão de textura média e classe de textura topográfica, determinados em bacias hidrográficas, são apresentados no Quadro 23; os índices determinados em amostras circulares, no Quadro 24; e as análises de variância, nos Quadros 25 a 29.

As amostras circulares das redes de drenagem das unidades de solos estudadas são mostradas nas Figuras 12 a 15.

4.3. Confronto entre solos

Os resultados obtidos nas áreas representativas das unidades de mapeamento estudadas foram comparadas com o propósito de se verificar que características das bacias hidrográficas e/ou das redes de drenagem poderiam ser adotadas como critérios de diferenciação de solos, para uso em fotointerpretação pedológica.

4.3.1. Observações e medições efetuadas nas propriedades dimensionais de bacias hidrográficas

Constatou-se que: (a) quanto ao maior compri -

Quadro 22 - Características descritivas do padrão de drenagem das unidades de mapeamento estudadas

Características	LATOSSOLO (LV)	CAMBISSOLO (CB)
Grau de integração	Moderado	Alta
Densidade	Baixa	Alta
Grau de uniformidade	Uniforme, ligeiramente assimétrica	Pouco uniforme, simetria variável
Orientação	Não orientado	Pouco orientado nas cabeceiras e orientado nas proximidades dos cursos maiores
Grau de controle	Não controlado	Baixo controle nas cabeceiras, evidenciando maior controle nas proximidades dos cursos maiores
Angularidade	Ausente	Ausente nas cabeceiras e bem evidenciada nos cursos de ordem mais elevada
Ângulos de juntura	Agudos a retos	Agudos nas cabeceiras, passando a retos nas proximidades dos cursos maiores
Tipo ou modelo	Subparalelo	Arborescente modificando-se para retangular

Quadro 23 - Características quantitativas do padrão de drenagem nas bacias hidrográficas representativas das unidades de mapeamento estudadas

CARACTERÍSTICAS QUANTITATIVAS	BACIAS HIDROGRÁFICAS											
	LATOSSOLO (LV)			CAMBISSOLO (CB)								
	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
Densidade de drenagem (Dd)	0,65	0,54	0,66	0,53	0,80	0,37	11,40	10,82	8,44	13,14	7,55	8,08
Médias (Ddm)	0,592 ± 0,060						9,905 ± 0,905					
Frequência de rios (F)	0,99	0,72	0,71	1,01	1,18	0,55	140,00	81,82	72,22	157,14	55,55	53,85
Médias (Fm)	0,860 ± 0,096						99,43 ± 18,083					
Razão de textura (T)	0,72	0,68	0,56	0,94	1,07	0,54	11,20	9,23	7,22	10,48	5,55	6,66
Médias (Tm)	0,750 ± 0,086						8,39 ± 0,920					
Extensão percurso super. (Eps)	0,769	0,925	0,757	0,943	0,625	1,351	0,044	0,046	0,059	0,038	0,066	0,062
Médias (Epsm)	0,895 ± 0,103						0,052 ± 0,002					
Coefficiente e Manutenção (Cm)	1538,5	1851,8	1515,1	1886,8	1250,0	2702,7	87,7	92,4	118,5	76,1	132,3	123,8
Médias (Cmm)	1790,817 ± 206,244						105,15 ± 9,271					
Razão de textura média (Tm)	0,75						7,84					
Classe de textura topográfica	grosseira						fina					

Quadro 24 - Características quantitativas do padrão de drenagem em amostras circulares representativas das unidades de mapeamento estudadas

CARACTERÍSTICAS QUANTITATIVAS	AMOSTRAS CIRCULARES											
	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
Densidade de drenagem (Ddc)	1,00	0,92	1,14	1,20	1,16	1,28	6,01	6,00	6,00	4,00	6,00	4,01
Médias (Ddc _m)			1,117 ± 0,055							5,340 ± 0,421		
Frequência de rios (Frc)	1,00	0,80	1,00	1,80	1,40	1,60	42,0	47,0	45,0	21,5	38,2	21,6
Médias (Frc _m)			1,270 ± 0,160						35,880 ± 4,69			
Razão de textura (Tc)	0,63	0,50	0,63	1,14	0,88	1,01	26,52	29,68	28,42	13,51	24,12	13,64
Médias (Tc _m)			0,798 ± 0,102						22,648 ± 2,97			
Extens. percurso super (Ep _{sc})	0,50	0,46	0,57	0,60	0,58	0,64	3,50	3,00	3,00	2,00	3,00	2,00
Médias (Ep _{sc} _m)			0,558 ± 0,019						2,666 ± 0,211			
Coefficiente de manutenção (Cmc)	1000,00	1086,95	877,19	833,33	862,07	781,25	166,39	166,66	166,66	250,00	166,66	249,38
Médias (Cmc _m)			906,80 ± 46,43						194,33 ± 17,34			
Razão de textura média (Tmc)			0,798						22,648			
Classe de Textura Topográfica			grosseira						fina			

Quadro 25 - Análise de variância da característica densidade de drenagem

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Solos (SO)	1	274,7266	-	182,60**
Amostragem (AM)	1	24,5228	-	16,30**
Interação AM x SO	1	38,9130	-	25,87**
Resíduo	20	30,0758	1,5037	
Total	23			
C.V. %	28,93			
Solos d/AM-am.cir.	1	53,4252	-	35,52**
Solos d/AM - bac.hid.	1	260,2145	-	173,03**
Amostragem d/SO - LV	1	0,8268	-	0,54 ns
Amostragem d/SO - CB	1	62,6090	-	41,63**

Quadro 26 - Análise de variância da característica frequência de rios

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Solos (SO)	1	24264,6723	-	46,32**
Amostragem (AM)	1	4897,4694	-	9,35**
Interação AM x SO	1	5037,8832	-	9,61**
Resíduo	20	10475,2776	523,7638	
Total	23			
C.V. %		69,64		
Solos d/AM-am.circ.	1	3594,9408	-	6,86*
Solos d/AM - bac.hid.	1	25707,6147	-	49,08**
Amostragem d/SO - LV	1	0,4961	-	0,00ns
Amostragem d/SO - CB	1	9934,8565	-	18,96**

Quadro 27 - Análise de variância da característica razão de textura

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Solos (SO)	1	1304,1952	-	89,78**
Amostragem (AM)	1	306,8780	-	21,12**
Interação AM x SO	1	303,0282	-	20,86**
Resíduo	20	290,5055	14,5252	
Total	23			
C.V. %	46,77			
<hr/>				
Solos d/AM-am.cir.	1	1432,2675	-	98,60**
Solos d/AM-bac.hid.	1	174,9560	-	12,04**
<hr/>				
Amostragem d/SO-LV	1	0,0060	-	0,00ns
Amostragem d/SO-CB	1	609,9002	-	41,98**

Quadro 78 - Análise de variância da característica extensão do percurso superficial

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Solos (SO)	1	2,4035	-	28,69**
Amostragem (AM)	1	7,7805	-	92,90**
Interação AM e SO	1	13,0611	-	155,95**
Resíduo	20	1,6750	0,0837	
Total	23			
C.V. %		27,74		
Solos d/AM-am. cir.	1	13,3352	-	159,22**
Solos d/AM-bac.hid.	1	2,1294	-	25,47**
Amostragem d/SO-LV	1	0,3400	-	4,06ns
Amostragem d/SO-CB	1	20,5016	-	244,79**

Quadro 29 - Análise de variância da característica coeficiente de manutenção

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Solos (SO)	1	8627176,78	-	127,46**
Amostragem (AM)	1	947850,67	-	14,00**
Interação AM x SO	1	1420429,20	-	20,98**
Resíduo	20	1353609,19	67680,45	
Total	23			
C.V. %	34,72			
Solos d/AM-am. cir.	1	15233189,64	-	22,50**
Solos d/AM.bac.hid.	1	8524416,34	-	125,95**
Amostragem d/SO-LV	1	2344465,24	-	34,64**
Amostragem d/SO-CB		23814,64	-	0,35ns

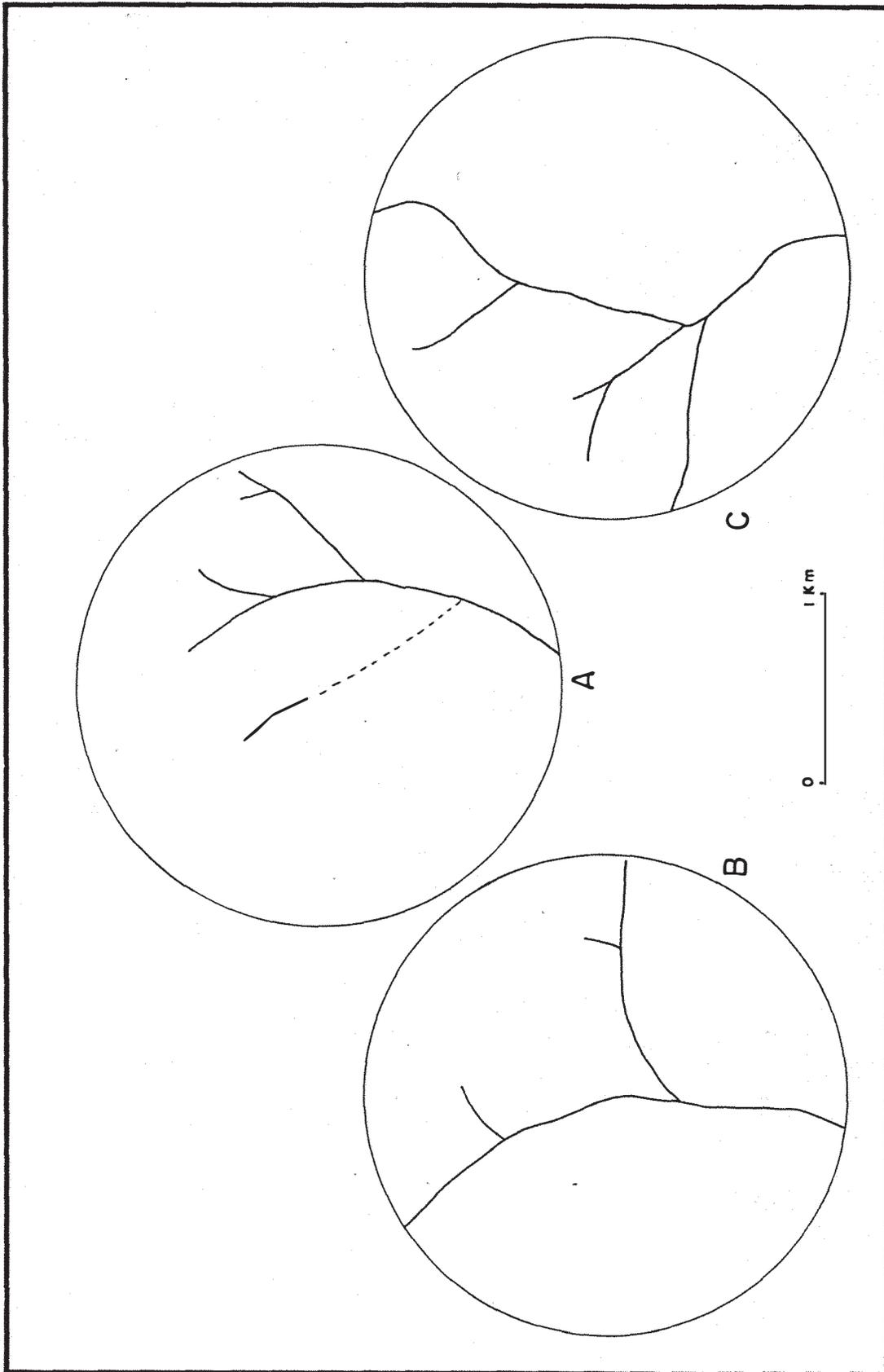


Figura 12 - Amostras circulares A, B e C da rede de drenagem em solos da unidade de ma-
peamento LV.

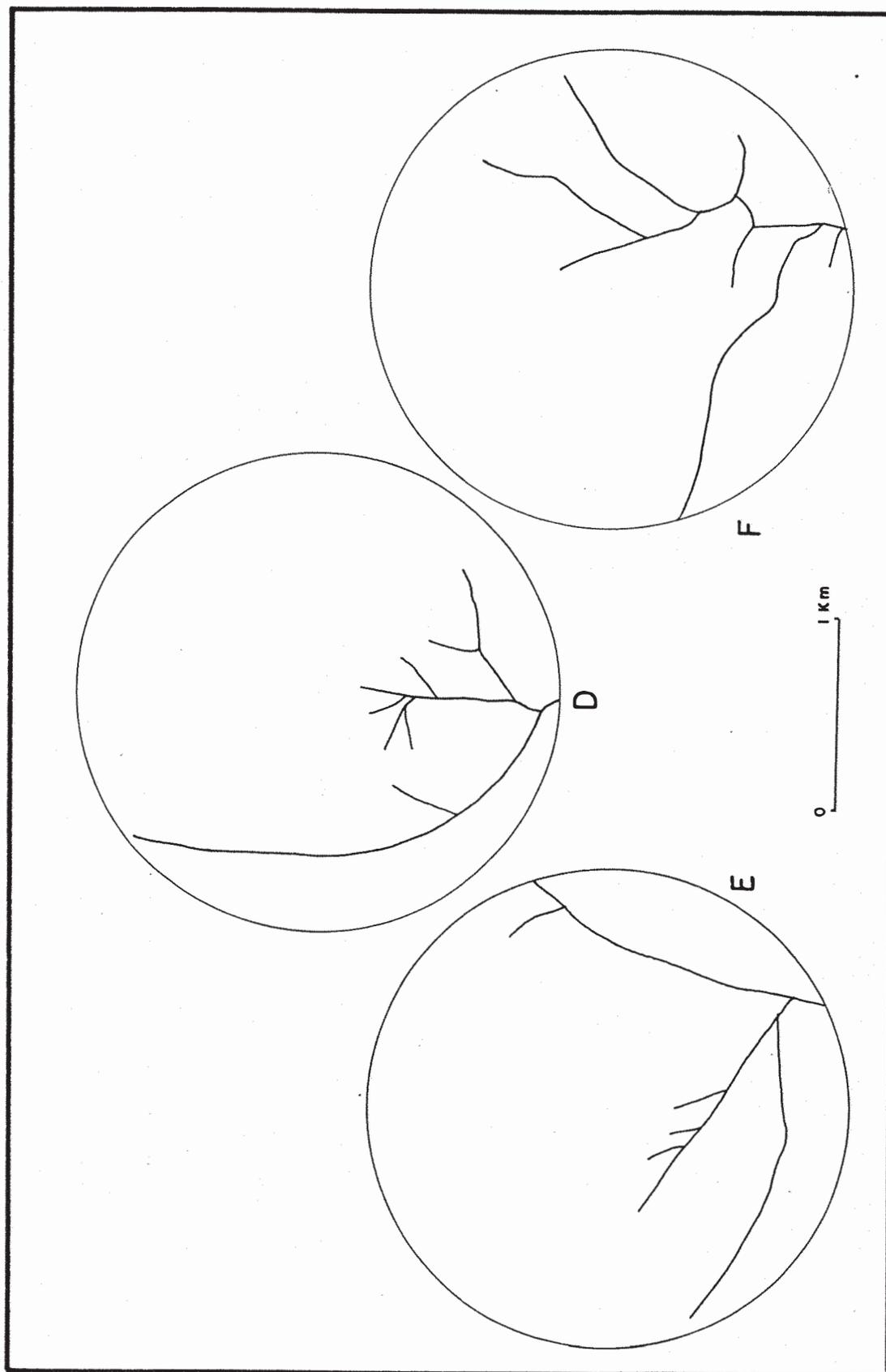


Figura 13 - Amostras circulares D, E e F da rede de drenagem em solos da unidade de mapeamento IV.

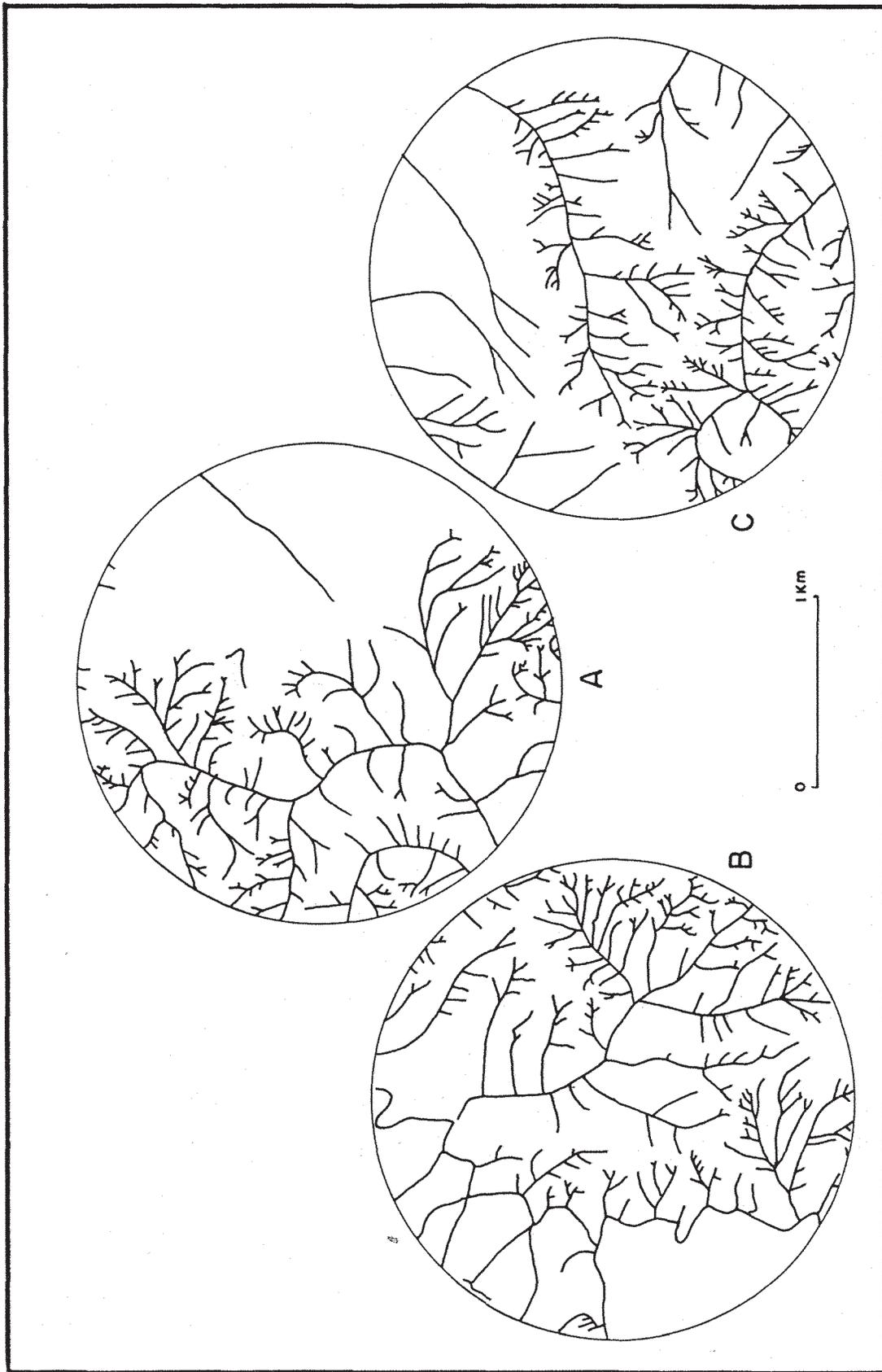


Figura 14 - Amostras circulares A, B e C da rede de drenagem em solos da unidade de mapeamento CB.

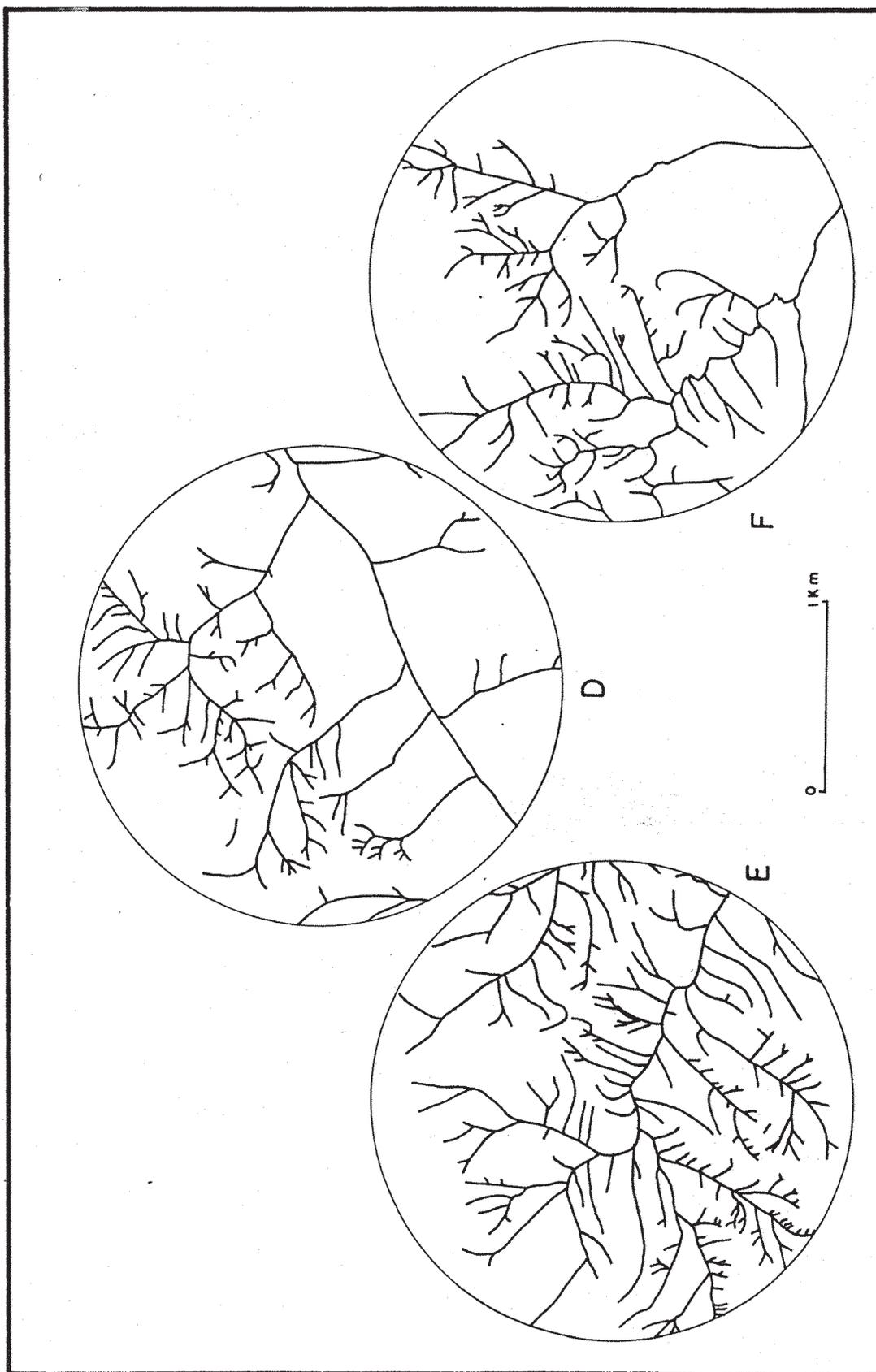


Figura 15 - Amostras circulares D, E e F da rede de drenagem em solos da unidade de mapeamento CB.

mento, maior largura, comprimento do rio principal, comprimento total da rede, perímetro e área, houve uma variação acentuada entre as unidades de solos, como se observa nos Quadros 1 e 2; isto provavelmente ocorre, em virtude de serem solos que apresentam diferentes condições de drenagem dos perfis, sendo os mais permeáveis aqueles de maiores valores.

Pela análise de variância (Quadro 3), verificou-se que aquelas propriedades apresentaram diferenças significativas, no nível de 1% de probabilidade, entre solos; os coeficientes de variação dos índices maior comprimento, comprimento total da rede, perímetro e área, com valores entre 10 e 20% e os coeficientes de variação dos índices maior largura e comprimento de rio principal, com valores entre 20 e 30%, foram, respectivamente, classificados como médios com certa homogeneidade e altos com certa heterogeneidade dos dados observados; (b) com referência aos índices de compactidade e de circularidade (Quadros 1, 2 e 3) não foram sensíveis às diferenças de comportamentos hidrológicos dos solos; (c) quanto à análise hipsométrica (Quadros 4 e 5), os valores da amplitude altimétrica, da razão de relevo, da altura média, do coeficiente de massividade e coeficiente orográfico, diferiram nas duas unidades pedológicas, no nível de 1% de probabilidade, indicando a aptidão destes índices para a diferenciação dos solos.

A classificação dos valores do coeficiente de variação daqueles índices foi muito alto, indicando certa heterogeneidade dos dados observados. O valor da integral hipsométrica não diferiu nas duas unidades de solos; (d) as curvas hipsométricas da unidade pedológica CB (Figura 7), apresentaram-se mais semelhantes, revelando maior homogeneidade das feições topográficas de suas bacias. As curvas da unidade pedológica LV (Figura 6), mostraram diferenças que revelam menor homogeneidade das feições topográficas de suas bacias, provavelmente associadas a modificações do processo erosivo; (e) quanto à forma (Quadro 6) houve variação quando se compararam bacias de solos diferentes, porém, dentro de uma mesma unidade de solo a variação é muito pequena; (f) quanto à simetria das vertentes (Quadro 6) não houve variação, mesmo analisando, conjuntamente, as doze bacias representativas das duas unidades de solos.

4.3.2. Observações e medições efetuadas na composição da rede de drenagem

4.3.2.1. Em bacias hidrográficas

A caracterização da composição da rede de

drenagem foi estabelecida pela análise dos seguintes elementos: (a) número de segmentos de rios; (b) razão de ramificação; (c) comprimentos totais e médios de segmentos de rios; (d) razões de comprimentos.

Número de segmentos de rios e razão de ramificação

Os números de segmentos de rios não se mostraram diferentes nos dois solos. Os valores calculados pelas médias aritmética e ponderada apresentaram-se próximos, segundo a equivalência destes critérios (Quadro 11).

A análise de variância mostrou que o número total de segmentos de rios da bacia não apresenta diferenças entre solos, revelando a não aptidão deste elemento da rede de drenagem na diferenciação de solos (Quadro 12).

Nas duas unidades de solos, verificou-se um

bom ajustamento dos dados às relações preconizadas, apresentando-se na unidade pedológica LV o coeficiente de correlação significativo no nível de 1% e na unidade pedológica CB, o coeficiente de correlação significativo no nível de 5%. (Figura 8).

Os valores médios determinados pelas relações estabelecidas e pela lei de Horton, mostraram a equivalência desses critérios de determinação (Quadro 11).

A razão de ramificação mostrou variação dentro da mesma unidade de solo. Os valores médios, mesmo quando comparados entre solos, se mostraram próximos, não permitindo a diferenciação dos solos e quando comparados dentro de mesmo solo confirmaram a adequabilidade da expressão $R_b = \text{antilog } b$, de Maxwell (Quadro 13).

Comprimentos totais de segmentos de rios e
razão de comprimentos totais

Os comprimentos totais dos segmentos de rios mostraram diferenças para a distinção dos solos (Quadros 12 e 14). O comprimento total em cada ordem de ramificação, de maneira geral, diminui com o aumento da ordem de ramificação. Os comprimentos totais da rede (CRT) mostraram diferenças com significação de 1% para a distinção dos solos.

Os valores mais altos apresentados foram para a unidade de mapeamento pedológico LV, indicando comportamentos hidrológicos diferentes para os dois solos.

Os valores calculados pela média ponderada apresentaram-se semelhantes aos obtidos pela lei de Horton, indicando que, naquelas condições, obedecem à lei de Horton. A ocorrência na unidade pedológica LV, de valores da média ponderada dos comprimentos totais dos segmentos de rios de 2a. ordem inferiores aos determinados pela lei de Horton, pode ser atribuída a efeitos de controle topográfico sobre o desenvolvimento da rede de drenagem.

As relações preconizadas por Strahler e por França, comparando com os valores da média ponderada, apresentaram um bom ajustamento. Os valores dos coeficientes de correlação foram altos e praticamente iguais (Figuras 9 e 10).

A razão de comprimentos totais (Quadro 15) mostrou variações dentro da mesma unidade de solo, revelando certa instabilidade, possivelmente relacionada aos efeitos dos controles topográficos e estruturais. Os valores médios obtidos não permitem a diferenciação dos solos.

Comprimentos médios de segmentos de rios e
razão de comprimentos médios

Os comprimentos médios dos segmentos de rios mostraram diferenças significativas para a distinção dos solos, tanto para cada ordem de ramificação como para a bacia (Quadro 16). Para a bacia, exibiram diferenças entre solos no nível de 1% de probabilidade (Quadro 12).

Os valores dos comprimentos médios, na unidade pedológica LV, apresentaram-se mais elevados; isto se deve às redes de drenagem desta unidade pedológica apresentarem-se mais extensas e menos ramificadas. Os comprimentos médios determinados pela lei de Horton são os que mais se aproximam dos determinados pela média ponderada, confirmando a obediência à lei de Horton. Os valores observados dos comprimentos médios dos segmentos de rios de 2a. ordem de ramificação, de maneira semelhante aos comprimentos totais, apresentaram-se inferiores das calculadas pela lei de Horton, fato que também pode ser atribuído aos efeitos dos controles topográficos e estruturais existentes. Verificou-se equivalência da relação L_w/N_w de FRANÇA (1968) e de VASQUES FILHO (1972).

Na unidade pedológica CB, os comprimentos médios determinados pelas relações preconizadas e pela lei de

Horton se equivalem aos comprimentos médios determinados pela média ponderada. Os valores dos coeficientes de correlação foram altos e praticamente iguais (Figura 11).

A razão de comprimentos médios, segundo HORTON (1945), indica quantas vezes o comprimento médio dos segmentos de rios aumenta ao se passar de uma ordem para outra mais elevada. O exame dos Quadros 13, 15 e 17 mostra que o valor médio da razão de comprimentos médios se comporta de modo diferente ao da razão de ramificação e ao da razão de comprimentos totais: tende a ser maior para os solos mais permeáveis - LV e apresenta valor menor para os solos menos permeáveis - CB. Portanto, varia com a natureza do solo, sugerindo que se relaciona com o comportamento hidrológico do mesmo.

Os critérios de determinação dos valores médios dos comprimentos médios dos segmentos de rios são eficientes para a diferenciação dos solos.

A razão média de comprimentos médios mostrou comportamento diferente dos da razão de ramificação e da razão de comprimentos totais (Quadro 19), apresentando diferenças entre as unidades de mapeamento pedológico; porém, as razões citadas mostraram variações dentro da mesma unidade de solos, revelando certa instabilidade, provavelmente relacionada

aos efeitos dos controles topográficos e estruturais.

4.3.2.2. Em amostras circulares

Os números totais de segmentos de rios, os comprimentos totais de segmentos de rios e os comprimentos médios de rios contidos nas amostras circulares apresentaram diferenças com significação de 1% para a distinção dos solos, sendo apresentados nos Quadros 20 e 21. O elemento mais eficiente foi o comprimento médio da rede apresentando a menor variação dentro das unidades de solo.

4.3.3. Observações e medições efetuadas nos padrões de drenagem

4.3.3.1. Em bacias hidrográficas e amostras circulares

As características quantitativas estudadas são apresentadas nos Quadros 23 e 24; e as análises de variância, nos Quadros 25 a 29.

Densidade de drenagem

A densidade de drenagem mostrou-se altamente

significativa para diferenciar os solos estudados: dos índices analisados foi o mais eficiente e o segundo mais estável, como mostram os Quadros 23 a 25. O coeficiente de variação foi classificado como alto, indicando certa heterogeneidade dos dados observados.

Frequências de rio

A frequência de rios mostrou diferenças entre solos com menor significação que os dados da densidade de drenagem. Verificou-se uma grande variação de seus valores dentro da mesma unidade de solo, como se observa no Quadro 26. Dos índices analisados, foi o que apresentou o maior coeficiente de variação, sendo considerado como muito alto, indicando uma grande variação de seus valores dentro da mesma unidade de solo.

Razão de textura

A razão de textura mostrou diferença entre solos com maior significação do que os dados de frequência de rios, porém, com menor significância do que os dados da densidade de drenagem, como mostram os Quadros 25 a 27. Verificou-se uma grande variação de seus valores dentro da mesma unidade de solo.

Extensão de percurso superficial

A extensão do percurso superficial mostrou-se dentre os índices analisados, a menos eficiente para diferenciar os solos estudados e o mais estável, conforme mostram os Quadros 25 a 28.

Os valores de F, referentes à amostragem e interação amostragem x solos, dos índices: extensão do percurso superficial, razão de textura, frequência de rios e densidade de drenagem, permitiram recomendar que a determinação destes índices deva ser feito conjuntamente pelos dois critérios de amostragem. O desdobramento da interação amostragem x solos mostrou que os dois critérios de amostragem são eficientes para diferenciar os solos estudados, mas, a maior eficiência para os índices frequência de rios e densidade de drenagem é o critério de amostragem por bacias hidrográficas, para os índices razão de textura e extensão do percurso superficial é o critério de amostra circular; isto, para os solos da unidade pedológica CB; pois, para os solos da unidade pedológica LV, houve equivalência dos critérios de amostragem utilizadas.

Coeficiente de manutenção

O coeficiente de manutenção foi o segundo in-

~~dica~~ que se mostrou eficiente para separar os solos estudados, sendo superado somente pela densidade de drenagem, embora tenha mostrado uma grande variação de seus dados dentro da mesma unidade de solo, como se observa nos Quadros 25 a 29. Os valores de F referentes a amostragem e interação amostragem x solos permitiram recomendar que a determinação deste índice deva ser feita conjuntamente pelos dois critérios de amostragem. O desdobramento da interação e amostragem x solos revelou que os dois critérios de amostragem são eficientes para diferenciar os solos estudados, mas a maior eficiência coube às bacias hidrográficas; isto para solos de unidade pedológica LV, pois, para os solos da unidade pedológica CB, houve equivalência dos critérios de amostragem utilizadas.

Confrontando os dados da análise de variância, pode-se estabelecer uma ordem decrescente dos índices, quanto à eficiência para diferenciar solos: densidade de drenagem, coeficiente de manutenção, razão de textura, frequência de rios e extensão de percurso superficial. Quanto à variação dos dados dentro de cada unidade de solo, pode-se estabelecer a seguinte ordem crescente: extensão de percurso superficial, densidade de drenagem, coeficiente de manutenção, razão de textura e frequência de rios.

Os dados obtidos mostram que, na unidade pedo-

lógica CB, cujos solos apresentam menor relação infiltração/deflúvio, os índices frequência de rios e densidade de drenagem são melhor determinados pelo critério de bacias hidrográficas; e os índices razão de textura e extensão do percurso superficial, pelo critério de amostras circulares. O índice coeficiente de manutenção, em solos de unidade de mapeamento LV de maior relação infiltração/deflúvio é melhor determinado pelo critério de bacias hidrográficas.

Classe de textura topográfica

Com base nos valores da razão de textura média, procedeu-se à classificação da textura topográfica, segundo os parâmetros propostos por SMITH (1950) e adaptados por FRANÇA (1968), as quais foram diferentes em função dos solos. Os critérios de amostragem não apresentaram diferenças quanto à classificação da textura topográfica. A unidade de mapeamento pedológico LV foi enquadrada na classe grosseira, pelos dois critérios de amostragem; e a unidade CB foi enquadrada na classe fina, pelos dois critérios de amostragem, como mostram os Quadros 23 e 24

4.4. Relações funcionais entre características quantitativas dos padrões de drenagem

Investigou-se as relações entre características quantitativas do padrão de drenagem, referidas às bacias

hidrográficas e às amostras circulares e entre ambos os tipos de dados. Nos Quadros 30 a 32 são apresentadas as relações obtidas e seus respectivos coeficientes de correlação (r), de determinação (r^2) e as percentagens de variação total explicada. As equações foram ajustadas pelo melhor r^2 .

4.4.1. Determinadas em bacias hidrográficas

Os dados apresentados no Quadro 30 mostram que todas as correlações estabelecidas tiveram significância estatística no nível de 1%, mostrando o alto grau de interdependência existente entre esses índices, que são válidos para a diferenciação de comportamentos hidrológicos dos solos estudados.

4.4.2. Determinadas em amostras circulares

Os dados apresentados no Quadro 31 mostram que todas as correlações tiveram significação estatística no nível de 1%. A alta eficiência do critério amostra circular na caracterização da rede de drenagem foi evidenciada pelos resultados obtidos, onde se constatou pequena dispersão dos dados e alta porcentagem da variação total explicada.

Quadro 30 - Relações funcionais entre as características quantitativas do padrão de drenagem, determinadas em bacias hidrográficas.

Características relacionadas	Relações obtidas	r	r ²	r ² .100
Dc x Fr	$\log Dd = -0,18954 + 0,60810.\log Fr$	0,9959 **	0,9919	99,19
Dd x T	$\sqrt{Dd} = -0,20360 + 1,15177.\sqrt{T}$	0,9937 **	0,9875	98,76
Dd x Eps	$Dd^{-1} = 1,25051 \cdot 10^{-4} + 2,00077.Eps$	0,9999 **	0,9999	99,99
Dc x Rr	$Dd = 24,22515 + 16,53678.\log Rs$	0,9519 **	0,9062	90,62
Dd x Cmass	$\log Dd = -0,85760 + 0,75351.\log Cmass$	0,9827 **	0,9657	96,57
Dd x Cor	$\sqrt{Dd} = 8,51577 - 4,25448.\log Cr$	-0,8480 **	0,7192	71,92
F x T	$\log F = 0,19391 + 1,89288.\log T$	0,9952 **	0,9905	99,05
F x Eps	$\log F = -0,17464 - 1,63061.\log Eps$	-0,9959 **	0,9918	99,18
F x Cr	$\log F = 5,21002 - 1,63109.\log Cm$	-0,9959 **	0,9919	99,19
F x Rr	$\sqrt{F} = -8,06989 + 47,14135.\sqrt{Rr}$	0,9574 **	0,9166	91,66
F x Cmass	$\sqrt{F} = -0,67053 + 0,60641.\sqrt{Cmass}$	0,9887 **	0,9776	97,76
F x Cor	$\sqrt{F} = -2,12323 + 220,77588.Cr^{-1}$	0,8535 **	0,7286	72,86
T x Esp	$\sqrt{T} = 0,75567 + 0,10580.Esp^{-1}$	0,9916 **	0,9889	98,89
T x Cr	$\sqrt{T} = 0,75567 + 211,85771.Cr^{-1}$	0,9917 **	0,9836	98,36
T x Rr	$T = -7,67684 + 43,56159.\sqrt{Rs}$	0,9740 **	0,9486	94,86
T x Cmass	$\sqrt{T} = 0,52975 + 0,13855.\sqrt{Cmass}$	0,9768 **	0,9542	95,42
T x Cor	$\sqrt{T} = 3,31133 - 1,89438.\log Cr$	-0,8519 **	0,7258	72,58
Eps x Cr	$Eps = -5,90132 + 4,99807.10^{-4} Cm$	0,9999 **	0,9999	99,99
Eps x Rr	$Eps^{-1} = 48,48533 + 33,09283.\log Rr$	0,9514 **	0,9053	90,53
Eps x Cmass	$\log Eps = 0,55646 - 0,75369.\log Cmass$	0,9826 **	0,9656	96,56
Eps x Cor	$\log Eps = -4,04459 + 2,18265.\log Cr$	0,8450 **	0,7140	71,40
Cr x Rr	$Cr^{-1} = 0,02422 + 0,01653.\log Rr$	0,9519 **	0,9062	90,62
Cr x Cmass	$\log Cr = 3,85765 - 0,75352.\log Cmass$	0,9827 **	0,9657	96,57
Cr x Cor	$\log Cr = -0,74272 - 2,18246.\log Cr$	0,8449 **	0,7139	71,39
Rr x Cmass	$\log Rs = -1,50289 + 0,03679.\sqrt{Cmass}$	0,9628 **	0,9270	92,70
Rr x Cor	$\sqrt{Rs} = 0,71141 - 0,27869.\log Cns$	-0,7329 **	0,5372	53,72
Cmass x Cor	$\sqrt{Cmass} = 46,93259 - 24,14614.\log Cns$	-0,7910 **	0,6257	62,57

Quadro 31 - Relações funcionais entre as características do padrão de drenagem, determinadas em amostras circulares.

Características relacionadas	Relações obtidas	r	r ²	r ² .100
Ddc x Frc	$\sqrt{Ddc} = 0,77484 + 0,25679.\sqrt{Frc}$	0,9973 **	0,9947	99,47
Ddc x Tc	$\sqrt{Ddc} = 0,77537 + 0,32310.\sqrt{Tc}$	0,9973 **	0,9947	99,47
Ddc x Eps(c)	$Ddc^{-1} = -1,76407.10^{-4} + 0,50009.Eps(c)^{-1}$	0,9999 **	0,9999	99,99
Frc x Eps(c)	$\sqrt{Frc} = -2,98513 + 5,48125.\sqrt{Eps(c)}$	0,9974 **	0,9948	99,48
Frc x Cm(c)	$\log Frc = 6,39656 - 2,13478.\log Cm(c)$	0,9973 **	0,9946	99,46
Tc x Eps(c)	$\sqrt{Tc} = -2,37389 + 4,35609.\sqrt{Eps(c)}$	0,9973 **	0,9947	99,47
Tc x Cm(c)	$\log Tc = 6,20057 - 2,13648 \log Cm(c)$	0,9972 **	0,9945	99,45
Eps(c) x Cm(c)	$Eps(c)^{-1} = 4,74932.10^{-4} + 1,99950.10^{-3}.Cm(c)$	0,9999 **	0,9999	99,99

4.4.3. Determinadas em bacias hidrográficas
e em amostras circulares

No Quadro 32, as relações apresentadas tiveram significação estatística no nível de 1% e com altos graus de interdependência, independentemente do sistema de amostragem e da natureza dos solos. São índices importantes na diferenciação dos solos estudados.

Quadro 32 - Relações funcionais entre as características quantitativas do padrão de drenagem, determinadas em bacias hidrográficas e em amostras circulares.

Características relacionadas	Relações obtidas	r	r ²	r ² .100
Dd x Ddc	$\log Dd = -0,29000 + 1,73459.\log Ddc$	0,9609 **	0,9234	92,34
Fr x Frc	$\log Fr = 0,20793 + 1,09368.\log Frc$	0,7937 **	0,6301	63,01
T x Tc	$\log T = -0,04066 + 0,70240.\log Tc$	0,9682 **	0,9375	93,75
Eps x Eps(c)	$\log Eps = -0,53375 - 1,73585.\log Eps(c)$	-0,9610 **	0,9235	92,35
Cm x Cm(c)	$\log Cm = 1,03331 + 0,07252.\sqrt{Cm(c)}$	0,9625 **	0,9265	92,65
Dd x Frc	$\log Dd = -0,28439 + 0,81335.\log Frc$	0,9647 **	0,9306	93,06
Dd x Tc	$\log Dd = -0,12080 + 0,81243.\log Tc$	0,9644 **	0,9300	93,00
Dd x Eps(c)	$\log Dd = 0,23238 + 1,73512.\log Eps(c)$	0,9608 **	0,9233	92,33
Dd x Cm(c)	$\log Dd = 1,96665 - 0,07252.\sqrt{Cm(c)}$	-0,9625 **	0,9265	92,65
Ddc x Fr	$\log Ddc = 0,08006 + 0,32665.\log Fr$	0,96567 **	0,9325	93,25
Ddc x T	$\log Ddc = 0,14425 + 0,61613.\log T$	0,9576 **	0,9178	91,78
Ddc x Eps	$\log Ddc = 0,02325 - 0,53228.\log Eps$	-0,96108 **	0,9236	92,36
Ddc x Cm	$\log Ddc = 1,78080 - 0,53237.\log Cm$	-0,96009 **	0,9234	92,34
Fr x Tc	$\log Fr = 0,10621 + 1,27272.\log Tc$	0,9644 **	0,9301	93,01
Fr x Eps(c)	$\log Fr = 0,69364 + 2,85570.\log Eps(c)$	0,9656 **	0,9324	93,24
Fr x Cm(c)	$\log Fr = 3,5498 - 0,11944.\sqrt{Cm(c)}$	0,9681 **	0,9372	93,72
Frc x T	$\log Frc = 0,29298 + 1,33403.\log T$	0,9685 **	0,9380	93,80
Frc x Eps	$\log Frc = 0,03670 - 1,14405.\log Eps$	-0,9648 **	0,9309	93,09
Frc x Cm	$\log Frc = 3,81420 - 1,14422.\log Cm$	-0,9647 **	0,9306	93,06
T x Eps(c)	$\log T = 0,26560 + 1,48904.\log Eps(c)$	0,9576 **	0,9170	91,70
T x Cm(c)	$\log T = 1,75518 - 0,06229.\sqrt{Cm(c)}$	-0,9603 **	0,9222	92,22
Tc x Eps	$\log Tc = -0,16415 - 1,14483.\log Eps$	-0,9646 **	0,9304	93,04
Tc x Cm	$\log Tc = 3,61526 - 1,14479.\log Cm$	-0,0644 **	0,9301	93,01
Eps x Cm(c)	$\log Eps = 2,26846 + 0,07254.\sqrt{Cm(c)}$	0,9626 **	0,9267	92,67
Eps x Cm	$\log Eps(d) = 1,47898 - 0,53213.\log Cm$	-0,9609 **	0,9233	92,33

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com referência à unidade de mapeamento pedológico Latossolo Vermelho-Escuro e/ou Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) cujos componentes possuem comportamento hidrológico semelhante, a representatividade pode ser considerada como alta, uma vez que nesta unidade de solo, as seis bacias hidrográficas e as seis amostras circulares apresentam dominância de solos semelhantes; as pequenas inclusões que nela ocorrem são de Areias Quartzosas, Solos Hidromórficos e Cambissolos.

Quanto à unidade de mapeamento pedológico Cambissolo (CB), a representatividade nas seis bacias hidrográficas é muito alta, uma vez que elas apresentam dominância exclusiva de solos pertencentes à esta unidade de mapeamento e as seis amostras circulares apresentam dominância de solos semelhantes e pequenas inclusões de Latossolos.

No que diz respeito à semelhança geométrica, as bacias hidrográficas escolhidas para representar as duas uni-

dades de mapeamento pedológico são semelhantes. De maneira geral, as bacias hidrográficas e amostras circulares escolhidas satisfazem todas as condições estabelecidas pelos autores citados, conforme se pode constatar pelo exame dos Quadros 1 e 7 e pelas ilustrações que constam das Figuras 1 a 5 e 12 a 15.

Apesar das pequenas restrições apontadas, a análise das bacias hidrográficas e das amostras circulares forneceu resultados consistentes, que sugerem diferenças significativas entre solos, no tocante aos índices de drenagem e de relevo.

5.1. Observações efetuadas nas propriedades não-dimensionais de bacias hidrográficas

As propriedades não-dimensionais, forma e simetria das vertentes das bacias de terceira ordem, estão apresentadas no Quadro 6.

Nas duas unidades de mapeamento pedológico foi observado que a forma das bacias apresenta variações dentro da mesma unidade de solos; e a simetria das vertentes não apresenta diferenças entre os solos estudados, concordando com observações feitas em solos podzolicos por FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), VASQUES (1972) e POLITANO (1980).

5.2. Observações e medições efetuadas nas propriedades dimensionais de bacias hidrográficas

As propriedades dimensionais representadas pe

lo maior comprimento, maior largura, comprimento do rio principal, comprimento total da rede, perímetro e área, mostraram uma acentuada variação entre os solos. A unidade de mapeamento pedológico LV apresenta valores médios mais altos em relação à unidade CB; revelando que as condições de drenagem dos perfis de solos estão relacionados diretamente com as propriedades analisadas. De um modo geral, a menor drenagem dos perfis de solo incluídos na unidade de mapeamento CB está ligado à diminuição do comprimento, da largura, do comprimento do rio principal, do comprimento total da rede, do perímetro e da área da bacia, o que confirma os resultados de FRANÇA (1968), VASQUES (1972), LEÃO (1973) e POLITANO (1980). A unidade de mapeamento CB apresenta valores do erro-padrão da média menores, o que indica que suas bacias são mais homogêneas. As referidas propriedades apresentam diferenças entre solos, significativa no nível de 1% de probabilidade. Os índices de compacidade e de circularidade, sugerido por GARCEZ (1967), não se apresentaram sensíveis aos diferentes comportamentos hidrológicos dos solos, conforme mostram os Quadros 1, 2 e 3, concordando inteiramente com os resultados obtidos por FADEL (1972), VASQUES (1972), LEÃO (1973), GEVAERD (1974) e POLITANO (1980).

As propriedades dimensionais determinados pela análise hipsométrica e a respectiva análise de variância, são apresentadas nos Quadros 4 e 5.

A integral hipsométrica não apresentou diferença significativa, confirmando os resultados de POLITANO (1980) e discordando dos resultados de GEVAERD (1976).

Os valores da amplitude altimétrica e da altura média diferiram nas duas unidades de solos, indicando a existência de relevos diferentes nas dadas áreas. Sendo altamente significativas as diferenças destas propriedades entre solos, revelam a aptidão desses índices para a distinção dos solos estudados. Os resultados destes índices discordam daqueles encontrados por POLITANO (1980), que trabalhou com solos não tão contrastantes e apresentando semelhança de relevo.

Os valores da razão de relevo e do coeficiente de massividade, mostrando significância no nível de 1% de probabilidade, revelou sua aptidão para a diferenciação dos solos. Estas propriedades tendo valores superiores na unidade de mapeamento CB, mostram que a maior restrição da drenagem dos perfis destes solos está relacionada com a maior dissecação de relevo, confirmando observações de POLITANO (1980).

O coeficiente orográfico também mostrou-se altamente significativo, revelando a sua aptidão para a diferenciação de solos, discordando dos resultados de POLITANO (1980).

As curvas hipsométricas das bacias hidrográficas, apresentadas nas Figuras 6 e 7, mostram que na unidade de mapeamento pedológico CB, as condições topográficas de suas bacias são relativamente mais homogêneas do que as das bacias da unidade de mapeamento LV, tendo em vista as curvas hipsométricas apresentarem-se mais semelhantes na primeira unidade, talvez pelas inclusões de Cambissolo na porção inferior das bacias da Unidade LV.

As curvas hipsométricas não foram eficientes para diferenciar os solos, concordando com os resultados de POLITANO (1980). A interpretação da forma das curvas não permitiu caracterizar de maneira consistente o estágio do relevo, para as duas unidades de mapeamento, segundo os conceitos de STRAHLER (1952).

5.3. Composição das redes de drenagem

5.3.1. Análise dos elementos determinados em bacias hidrográficas

Nas bacias hidrográficas a composição das redes de drenagem foi caracterizada pela análise dos elementos: números de segmentos de rios, razão de ramificação, comprimentos totais de segmentos de rios, razão de comprimentos totais, comprimentos médios de segmentos de rios e razão de

comprimentos médios.

Número de segmentos de rios e razão de ramificação

A análise de variância (Quadro 12) indica que o número total de segmentos de rios da bacia não apresentou diferenças entre os solos, como mostram os Quadros 9, 10 e 19, divergindo de HORTON (1945), STRAHLER (1957), FRANÇA (1968), FADEL (1972), LEÃO (1973), POLITANO (1980) e FREIRE (1977).

Verificou-se, nas duas unidades, um bom ajustamento à relação de Maxwell (1955) (Figura 8), a obediência à lei dos números de rios de Horton e a equivalência dos critérios de média aritmética e média ponderada em relação às áreas das bacias, para a determinação de valores médios de número de segmentos de rios em cada ordem de ramificação. Segundo a lei de Horton, os números de segmentos de rios de cada ordem formam uma série geométrica inversa àquela do número de ordem. Os resultados obtidos confirmam esta lei e, de maneira geral, estão de acordo com aquelas apresentadas por HORTON (1945), SCHUMM (1956), STRAHLER (1957), FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), FADEL (1972), LEÃO (1973) e POLITANO (1980).

Os valores obtidos para a razão de ramificação nesta pesquisa (Quadros 13 e 17) exibem diferenças dentro da mesma unidade de solo, revelando-se instável e confirmando STRAHLER (1957). Os valores médios da razão de ramificação não permitiram a diferenciação de solos, confirmando os resultados de STRAHLER (1957) e POLITANO (1980) e divergindo de FRANÇA (1968), FADEL (1972), VASQUES (1972) e LEÃO (1973). A expressão $R_b = \text{antilog } b$, de Maxwell, se ajustou bem aos dados observados.

Comprimentos totais de segmentos de rios e
razão de comprimentos totais

Os comprimentos totais dos segmentos de rios mostraram diferenças com alta significância entre os solos estudados (Quadros 12, 14 e 19), não concordando com CARVALHO (1977) e POLITANO (1980), que encontraram pequena significação para distinção de solos e que, como dados isolados, não refletem as condições hidrológicas de solo. A verificação da igualdade de variação deste elemento, dentro da mesma unidade de solo, em relação aos números de segmentos de rios, discorda das observações de SCHUMM (1956), STRAHLER (1957), FRANÇA (1968), FADEL (1972), VASQUES (1972) e POLITANO (1980).

Os valores calculados pela média ponderada apresentaram-se semelhantes aos obtidos pela lei de Horton,

indicando que naquelas condições a lei é obedecida.

As relações preconizadas por STRAHLER (1957) e por FRANÇA (1968), comparando com os valores da média ponderada, apresentaram um bom ajustamento (Figuras 9 e 10). Pela comparação dos valores da média ponderada aos valores calculados pelas relações preconizadas por Strahler e França, constata-se que houve um bom ajustamento dos dados de comprimentos totais às duas relações, discordando em parte dos resultados de POLITANO (1980), que encontrou um melhor ajustamento dos dados com a relação de Strahler.

Os Quadros 15 e 19 apresentam a razão de comprimentos totais, revelando instabilidade dentro da mesma unidade de solo. Os valores médios obtidos não permitiram a diferenciação dos solos, confirmando POLITANO (1980) e divergindo de FREIRE (1977) e de CARVALHO (1977).

Comprimentos médios de segmentos de rios e
razão de comprimentos médios

Os comprimentos médios dos segmentos de rios apresentam diferença entre solos, tanto para cada ordem de ramificação, como para o total da bacia. O exame dos Quadros 12, 14 e 19, que mostra a alta significação hidrológica

dos comprimentos médios, confirmam SCHUMM (1956), STRAHLER (1957), FRANÇA (1968), FADEL (1972) e POLITANO (1980) e diverge de SOUZA (1975) e de FREIRE (1977).

Os comprimentos médios concordam com os resultados de POLITANO (1980), que mostraram um comportamento similar ao dos comprimentos totais, onde a lei de Horton é obedecida. Os valores observados dos comprimentos médios dos segmentos de rios de 2a. ordem de ramificação apresentam-se inferiores aos calculados pela lei de Horton; porém, no presente caso, isto só se aplica para a unidade de mapeamento pedológico LV, pois, para a unidade de mapeamento CB, houve uma igualdade de resultados. Verificou-se a equivalência da relação L_w/N_w e da preconizada por VASQUES (1972) (Figura 11).

De maneira geral, todos os critérios estabelecidos para determinação dos valores médios dos comprimentos médios dos segmentos de rios são eficientes para a diferenciação dos solos.

O Quadro 17 apresenta a razão de comprimentos médios de segmentos de rios, revelando instabilidade dentro da mesma unidade de solo. Os valores médios se apresentam com relativa diferença quando comparados entre solos. Constatou-se igualdade nos valores obtidos pela média aritmética e

pela relação preconizada por VASQUES FILHO (1972)

A razão média de comprimentos médios de segmentos de rios mostrou comportamento diferente ao da razão de ramificação e da razão de comprimentos totais, confirmando FREIRE (1973) e divergindo de SOUZA (1975), CARVALHO (1977) e POLITANO (1980). Os valores determinados pelas relações preconizadas foram semelhantes aos da média observada, como mostra o Quadro 18, concordando com os resultados de SOUZA (1975), discordando dos de VASQUES FILHO (1972), FREIRE (1977) e POLITANO (1980). Os critérios de determinação, de modo geral, foram equivalentes, não concordando com os resultados de SOUZA (1975) e de POLITANO (1980), que tiveram os resultados obtidos pelas relações preconizadas distintos dos obtidos pela média ponderada e pela lei de Horton. Os resultados encontrados, permitem o uso de qualquer um dos critérios analisados.

5.3.2. Análise dos elementos determinados em amostras circulares

Nas amostras circulares a composição das redes de drenagem foi caracterizada pela análise dos elementos: número totais de segmentos de rios, comprimentos totais e comprimentos médios dos segmentos de rios, como mostram as Figuras 16 e 17.

Os números totais de segmentos de rios, determinados em amostras circulares, exibiram diferenças que permitem distinguir os solos, refletindo as desigualdades de comportamento hidrológico, confirmando resultados de POLITANO (1980).

Os comprimentos totais de segmentos de rios determinados em amostras circulares mostraram diferenças entre solos, confirmando resultados de POLITANO (1980) e divergindo dos de CARVALHO (1977).

Os comprimentos médios de segmentos de rios, determinados em amostras circulares, mostram ser este o elemento mais eficiente na diferenciação dos solos estudados.

5.4. Padrão de drenagem

Na análise dos padrões de drenagem, adotou-se a linha de estudo sugerida por PARVIS (1950) e por LUEDER (1959) para a descrição dos padrões; e a sugerida por Horton (1945), SMITH (1950) e STRAHLER (1957) para a determinação das características quantitativas.

5.4.1. Características descritivas do padrão de drenagem

As diferenças observadas nas características

descritivas, embora tenham apresentado indícios para a separação dos solos, são subjetivas. HORTON (1945) observou que a simples descrição do tipo ou modelo não fornece dados adequados para caracterizar as redes de drenagem quanto às diferenças dos comportamentos hidrológicos das áreas, porque um mesmo tipo ou modelo pode resultar de diversas combinações de números e comprimentos de rios.

Os resultados apresentados no Quadro 22, e ilustrados nas Figuras 1 a 5 concordam com PARVIS (1950), visto que os solos estudados diferem quanto ao modelo isolado; esta observação é reforçada pelo emprego do modelo combinado com outras características descritivas, conforme sugestão de LUEDER (1959).

5.4.2. Características quantitativas do padrão de drenagem

A discussão do item 5 ressalta a importância das características quantitativas, com base em amostragem representativa e medições simples, quando se deseja fazer uma descrição do padrão de drenagem em termos mais objetivos.

Com meta na objetividade, a caracterização quantitativa do padrão de drenagem foi efetuada pelas aná-

lises dos índices densidade de drenagem, frequência de rios, razão de textura, extensão do percurso superficial, coeficiente de manutenção, razão de textura média e classe de textura topográfica, determinados em bacias hidrográficas e em amostras circulares.

Verificou-se, pela literatura consultada, que muitos autores empregam as características quantitativas de modo incorreto e termos subjetivos, de significado vago. LUEDER (1959) empregou o termo densidade, referindo-se ao número de rios por unidade de área, uma definição que cabe à frequência de rios de Horton, utilizando-se, ainda, num sentido descritivo; PARVIS (1950) deu ao termo textura um sentido um tanto vago, ligando-o ao tipo ou modelo de padrão de drenagem, para indicar o espaçamento entre os tributários de um sistema fluvial. LUEDER (1959), MILLER e MILLER (1961) e RAY (1963), caracterizaram a densidade de drenagem como alta e baixa; VON ENGELN (1942), PARVIS (1950), RICCI e PETRI (1965) e RAY (1963), caracterizaram semiquantitativamente a textura como fina e grosseira. Esses termos: alta e baixa, fina e grosseira, por não se referirem a valores numéricos, fazem com estas características adquiram pouco ou nenhum significado.

5.4.2.1. Características baseadas no estudo de bacias hidrográficas e amostras circulares.

O exame dos Quadros 23 a 29, numa comparação global dos resultados, conforme confronto efetuado no item 4.3.3, permite a seguinte discussão: a densidade de drenagem mostrou maior eficiência para a separação dos solos, concordando com FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), FADEL (1972) e VASQUES FILHO (1972), discordando de FREIRE (1977), que obteve dados não significativos, e de POLITANO (1980), que obteve a maior eficiência para a razão de textura. Os dois critérios de amostragem são eficientes para a determinação deste índice; porém, no presente caso, o mais eficiente é o critério de amostragem por bacias hidrográficas; isto para os solos de unidade pedológica CB, divergindo de POLITANO (1980), que encontrou equivalência dos sistemas de amostragem utilizados no estudo das unidades Solos podzólicos Vermelho-Amarelo - var. Laras (PVls) e Solos Podzolizados de Lins e Marília - var. Marília (Pml), e o maior índice na unidade PVls. Os valores mais altos na unidade pedológica CB sugerem que, com a diminuição da drenagem interna, ocorre maior dissecação do relevo.

O coeficiente de manutenção foi o segundo índice

ce mais eficiente na separação dos solos estudados; diferiu do índice densidade de drenagem no tocante ao sistema de amostragem, pelo fato da amostragem por bacias hidrográficas ter sido mais eficiente para a determinação do índice na unidade de mapeamento LV; porém, para os solos da unidade CB, houve equivalência dos critérios de amostragem.

A razão de textura foi menos eficiente de que a densidade de drenagem e o coeficiente de manutenção na diferenciação dos solos estudados; quanto ao critério de amostragem para a sua determinação, teve comportamento idêntico aos índices extensão do percurso superficial, frequência de rios e densidade de drenagem.

A frequência de rios foi eficiente para a diferenciação dos solos estudados. Como a densidade de drenagem, a frequência de rios confirmou as observações de ESPÍNOLA e GARCIA (1978) e POLITANO (1980), de que nos solos que apresentaram menor relação infiltração/deflúvio, ocorre a concentração dos valores mais altos.

A extensão do percurso superficial mostrou-se dentre os índices analisados, o menos eficiente para diferenciação dos solos estudados, divergindo dos resultados de POLITANO (1980).

As classes de textura topográfica foram semelhantes em função dos sistemas de amostragem utilizados e diferentes em função dos solos. A unidade de mapeamento LV foi enquadrada na classe grosseira e a unidade CB, na classe fina (Quadros 23 e 24). Estes resultados concordam com os de SMITH (1950), FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), FADEL (1972), LEÃO (1973), mostrando que a razão de textura média é um índice suficientemente bom para a caracterização de solos.

Os resultados obtidos mostram, de maneira geral, que os dois critérios de amostragem são eficientes, mas a maior eficiência coube ao critério de amostragem por bacias hidrográficas.

De modo geral, pode-se afirmar que a caracterização quantitativa do padrão de drenagem foi eficiente para a diferenciação das áreas estudadas, onde os solos apresentam diferentes condições de drenagem dos perfis. A caracterização quantitativa do padrão revelou diferenças entre as redes de drenagem associadas às diversidades de movimentação superficial de água, refletindo condições de deflúvio, infiltração, permeabilidade e resistência dos materiais à erosão, ratificando HORTON (1945), SMITH (1950), LUEDER (1959), FROST (1960), RAY e FISCHER (1960), ZINKE (1960), RAY (1963) e RICCI e PETRI (1965).

5.4.3. Relações funcionais entre características quantitativas dos padrões de drenagem

5.4.3.1. Determinadas em bacias hidrográficas

Os dados apresentados no Quadro 30 mostram o alto grau de interdependência existente entre os índices correlacionados.

Relação entre densidade de drenagem e frequência de rios

A relação funcional estabelecida mostrou o alto grau de interdependência existente entre esses índices, independentemente da unidade de solo. Mostrou, ainda, que o tipo de relação existente entre o número e o comprimento de rios por unidade de área dos sistemas de drenagem estudados é o diretamente proporcional, indicando que as áreas mais dissecadas apresentam maiores comprimentos dos canais escoadouros por unidade de área. O coeficiente de correlação indicou pequena variação na interdependência desses índices e a porcentagem de variação total explicada foi muito alta. Os resultados obtidos confirmam VASQUES FILHO (1972), CARVALHO (1977) e POLITANO (1980).

Relação entre densidade de drenagem e razão
de textura

Verificou-se a existência de uma correlação linear, altamente significativa, entre o número de rios por unidade de perímetro e o comprimento de rios por unidade de área. A relação estabelecida está em conformidade com VASQUES FILHO (1972), CARVALHO (1977) e POLITANO (1980).

Relação entre densidade de drenagem e extensão do percurso superficial

Nesta relação verificou-se a alta interdependência existente entre a extensão das encostas e o comprimento de rios por unidade de área. Sendo a relação obtida diretamente proporcional, indica que nas áreas de interflúvios muito extensas o comprimento de rios por unidade de área será maior divergindo de POLITANO (1980), que obteve uma relação inversamente proporcional.

Relação entre densidade de drenagem e razão de relevo

Verificou-se a existência de relação estreita entre a declividade média da bacia e o comprimento de rios por unidade de área, do tipo diretamente proporcional, indi-

cando a influência do relevo no desenvolvimento das redes de drenagem, concordando com POLITANO (1980).

Relação entre densidade de drenagem e coeficiente de massividade

A relação mostrou-se diretamente proporcional, indicando que nas áreas de relevo mais ondulado as redes de drenagem por unidade de área são mais extensas, e com isto mostra a existência de uma relação estreita entre as características hipsométricas e comprimentos de rios por unidade de área, confirmando POLITANO (1980).

Relação entre densidade de drenagem e coeficiente orográfico

A relação mostrou-se inversamente proporcional divergindo de POLITANO (1980), que não encontrou correlação.

Relações entre a frequência de rios e os elementos razão de textura, coeficiente de manutenção, razão de relevo, coeficiente de massividade e coeficiente orográfico

As altas correlações existentes entre esses elementos e a frequência de rios mostram o tipo de relação

que existe entre comprimento de interflúvio, área de drenagem, por unidade de canal de escoamento e declividade média da bacia, com o número de rios por unidade de área. As relações entre razão de textura, razão de relevo, coeficiente de massividade e a frequência de rios concordam com POLITANO (1980), apresentando relação diretamente proporcional, enquanto que o coeficiente de manutenção apresentou relação inversamente proporcional. O índice extensão de percurso superficial apresentou relação inversamente proporcional, divergindo de POLITANO (1980), que encontrou relação diretamente proporcional. O coeficiente orográfico mostrou relação diretamente proporcional à frequência de rios, divergindo de POLITANO (1980), que não encontrou correlação.

Relação dos elementos extensão do percurso superficial, coeficiente de manutenção, razão de relevo, coeficiente de massividade e coeficiente orográfico com a razão de textura

As relações apresentadas evidenciaram o alto grau de interdependência existente entre a extensão dos interflúvios, a área de drenagem mínima necessária para a manutenção de um metro de canal escoadouro e a declividade média da bacia, com o número de rios por unidade de perímetro.

As demais correlações: coeficiente de manutenção, razão do relevo, coeficiente de massividade e coeficiente orográfico com a extensão dos interflúvios, mostraram alto grau de interdependência. A razão de relevo, coeficiente de massividade e coeficiente orográfico com a área de drenagem correspondente a um metro de canal escoadouro, apresentaram alto grau de significância, o mesmo ocorrendo com o coeficiente de massividade, coeficiente orográfico com o coeficiente de massividade. O índice coeficiente orográfico apresentou dados que se ajustaram ao tipo de relação linear, divergindo de POLITANO (1980), que não encontrou correlação.

5.4.3.2. Determinadas em amostras circulares

Os dados apresentados no Quadro 31 mostram o alto grau de interdependência entre os índices correlacionados. A eficiência do critério amostra circular na caracterização da rede de drenagem foi evidenciada pelos resultados observados, onde se constatou, de maneira geral, pequena dispersão dos dados e alta percentagem da variação total explicada.

Relação entre densidade de drenagem e frequência de rios

Mostrou o alto grau de correlação existente

entre o número e o comprimento de rios por unidade de área, assim como mostrou ser uma relação diretamente proporcional, ratificando os resultados de CARVALHO (1977), FREIRE (1977) e POLITANO (1980).

Relação entre densidade de drenagem e razão de textura

A relação diretamente proporcional e altamente significativa obtida para o número de rios por unidade de perímetro e o comprimento de rios por unidade de área, confirmam os resultados de CARVALHO (1977), FREIRE (1977), POLITANO (1980) e diverge dos resultados de GEVAERD (1974), que obteve coeficiente de correlação não significativo.

Relação entre densidade de drenagem e extensão do percurso superficial; extensão do percurso superficial, coeficiente de manutenção e a frequência de rios; extensão do percurso superficial, coeficiente de manutenção e a razão de textura; e coeficiente de manutenção e a extensão do percurso superficial

As relações lineares mencionadas apresentaram altos graus de interdependência das características relacionada

das, demonstrando a sua importância na diferenciação de solos.

5.4.3.3. Determinadas pelos critérios de bacias hidrográficas e amostras circulares

As relações funcionais estabelecidas entre os elementos do padrão de drenagem, determinadas em bacias hidrográficas e em amostras circulares, são apresentadas no Quadro 32.

Os resultados proporcionaram, em todas as relações, alto coeficiente de correlação, significância no nível de 1%. Conseqüentemente, ficou evidenciado que esses índices do padrão de drenagem são correlacionáveis entre si, independentemente do critério de amostragem e da natureza das solos estudados, concordando com os resultados de POLITANO (1980) e salientando a importância dos mesmos, na diferenciação dos solos estudados.

6. CONCLUSÕES

A partir dos materiais e métodos empregados e dos resultados obtidos, analisados e discutidos, foi possível tirar-se as conclusões apresentadas a seguir.

6.1. Latossolo Vermelho Escuro e/ou Latossolo Vermelho-Amarelo e Cambissolo

As conclusões específicas para estas unidades de mapeamento são apresentadas a seguir.

a) Bacias hidrográficas

A representatividade é alta nas bacias hidrográficas de ocorrência da unidade LV e muito alta nas bacias hidrográficas de ocorrência da unidade CB.

As propriedades não-dimensionais, forma e si

metria das vertentes, não apresentaram diferenças entre os solos.

As propriedades dimensionais, maior comprimento, maior largura, comprimento do rio principal, comprimento total da rede, perímetro e área, apresentaram diferenças significativas entre solos. Os valores mais altos desses parâmetros correspondem à unidade de mapeamento pedológico LV. Os índices de compactidade e de circularidade não evidenciaram diferenças entre os solos.

A análise hipsométrica das propriedades dimensionais, amplitude altimétrica, altura média e coeficiente orográfico mostraram diferenças altamente significativas entre os solos, cabendo os valores mais altos desses índices à unidade de mapeamento LV. As propriedades razão de relevo e coeficiente de massividade apresentaram, também, diferenças altamente significativas entre os solos e os valores mais altos couberam à unidade pedológica CB. A propriedade integral hipsométrica não mostrou distinção entre os solos.

As curvas hipsométricas não foram eficientes para separar os solos, nem revelaram diferenças de estádios do ciclo erosivo dos respectivos relevos.

b) Composição da rede de drenagem

Os números de segmentos de rios nas bacias hidrográficas não apresentaram diferença entre solos, ao contrário das amostras circulares. Nas duas unidades de mapeamento pedológico, houve um bom ajustamento às relações preconizadas por Maxwell. A lei dos números de segmentos de rios de Horton foi obedecida. A razão de ramificação apresentou - se instável dentro da mesma unidade de mapeamento pedológico, não evidenciando diferença entre os solos.

Os comprimentos totais dos segmentos de rios, nas bacias hidrográficas e amostras circulares, apresentaram diferenças entre os solos, com alta significância. Os dados observados de comprimentos totais, nas duas unidades de solo, mostraram um bom ajustamento às relações de França e de Strahler, bem como, a obediência à lei de Horton. A razão de comprimentos totais, revelou instabilidade dentro da mesma unidade de solo e os valores médios não apresentaram diferença entre solos.

Os comprimentos médios de segmentos de rios, determinados tanto em bacias hidrográficas como em amostras circulares, mostraram eficiência na separação dos solos.

Os comprimentos médios apresentaram ajustamento adequado à lei de Horton. A razão média de comprimentos médios mostrou diferença entre solos. Os comprimentos médios mostraram -se mais eficientes para a diferenciação de solos, que os comprimentos totais.

c) Padrão de drenagem

As características descritivas, grau de integração, densidade, grau de uniformidade, orientação, grau de controle, angularidade, ângulos de juntura, tipo ou modelo, embora tendo caráter subjetivo, apresentaram diferenças entre os solos.

As características quantitativas, densidade de drenagem, frequência de rios, razão de textura, extensão do percurso superficial, coeficiente de manutenção, razão de textura média e classe de textura topográfica, mostraram - se eficientes na diferenciação.

De maneira geral, os dois critérios de amostragem são eficientes na diferenciação dos solos, mas, a maior eficiência coube ao critério de amostragem por bacias hidrográficas. Os elementos do padrão foram mais eficientes que os da composição da rede de drenagem.

- d) Relação entre as características do padrão, determinadas em bacias hidrográficas

Todas as características mostraram alto grau de interdependência.

- e) Relação entre as características do padrão, determinadas em amostras circulares

Todas as características mostraram alto grau de interdependência.

- f) Relação entre as características do padrão, determinadas em bacias hidrográficas e em amostras circulares

Todas as características são correlacionáveis entre si com altos graus de interdependência, independentemente do sistema de amostragem e da natureza do solo.

6.2. Conclusões gerais

A comparação dos resultados obtidos, nas condições pesquisadas, permitiu tirar as seguintes conclusões gerais:

- a) as características do relevo e da rede de drenagem foram eficientes na diferenciação dos solos;
- b) as características do relevo que evidenciaram distinção entre os solos foram: amplitude altimétrica, altura média, coeficiente orográfico, razão de relevo e coeficiente de massividade;
- c) os critérios de amostragem utilizados foram eficientes para a diferenciação dos solos, com destaque para as bacias hidrográficas;
- d) as características quantitativas da rede de drenagem determinadas nas bacias hidrográficas e em amostras circulares que permitiram a distinção dos solos foram: comprimentos totais e médios, densidade de drenagem, frequência de rios, razão de textura, extensão do percurso superficial, coeficiente de manutenção, razão da textura média e classe de textura topográfica;
- e) os números de segmentos de rios, determinados em amostras circulares, apresentaram diferenças entre os solos;
- f) a razão média de comprimentos médios mostrou diferença entre os solos ;
- g) o modelo, isolado ou combinado com outras características descritivas do padrão de drenagem, evidenciou diferenças entre os solos, embora não oferecendo a mesma segurança

que os índices quantitativos;

- g) observou-se uma correlação linear altamente significativa entre todas as características do padrão de drenagem, independentemente do sistema de amostragem e da natureza do solo.

7. LITERATURA CITADA

AB'SABER, A.N., 1960. Sensibilidade das Fotografias Aéreas em Zonas Tropicais Úmidas para Efeitos de Fotointerpretação. Campinas, Notícias Geomorfológicas, 3:67-72.

BOMBERGER, F.H. e H.W. DILL, 1960. Photointerpretation in Agriculture. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Washington, Manual of Photographic Interpretation. Amer. Soc. of Photogrammetry, p. 561-666.

BURINGH, P., 1960. The Applications of Aerial Photographs in Soil Surveys. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Washington, Manual of Photographic Interpretation. Amer. Soc. of Photogrammetry, p.633-666.

- CARVALHO, W.A., 1977. Fotointerpetação de Bacias Hidrográficas e Amostras Circulares de Redes de Drenagem de Solos com Horizonte B Textural. Piracicaba, ESALQ-USP, 126p. (Tese de Doutorado).
- CHRISTOFOLETTI, A. 1974. Geomorfologia. São Paulo, Ed. Universidade de São Paulo, 149p.
- CHRISTOFOLETTI, A. e A.L. CESAR, 1978. Correlação Entre Densidade de Drenagem e Comprimento Médio de Canais em Bacias Hidrográficas. São Paulo, Ciência e Cultura, 5:601-604.
- COLWELL, R.N. 1952. Photographic Interpretation for Civil Purposes. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Washington, Manual of Photogrammetry, p.535-602.
- CRESWICK, W.J. e W.H. ROCKWELL, 1959. Applications of Aerial Photographic Techniques to Agricultural Surveys. In: AERIAL PHOTOGRAPHIC INTERPRETATION PRINCIPLES AND APPLICATIONS. New York, McGrawHill, p.373-385.
- ESPÍNDOLA, C.R. e G.J. GARCIA, 1978. Intepretação Fotográfica de Redes de Drenagem em Diferentes Categorias de Solos. Campinas, Notícias Geomorfológicas, 8:71-94.

- FADEL, H., 1972. Fotointerpretação de Bacias, Redes de Drenagem de Três Séries de Solos da Fazenda Ipanema, Município de Araçoiaba da Serra - SP. Piracicaba, ESALQ-USP, 92p. (Dissertação de Mestrado).
- FRANÇA, G.V., 1968. Interpretação Fotográfica de Bacias e de Redes de Drenagem Aplicada a Solos da Região de Piracicaba. Piracicaba, ESALQ-USP, 156p. (Tese de Doutorado).
- FREIRE, J.C. 1977. Fotointerpretação de Redes de Drenagem de Três Solos da Região de Alpinópolis, Minas Gerais. Piracicaba, ESALQ-USP, 136p. (Tese de Doutorado).
- FREITAS, R.O., 1952. Textura de Drenagem e Sua Aplicação Geomorfológica. São Paulo, Boletim Paulista de Geografia, 11:53-57.
- FROST, R.E., 1960. Photointerpretation of Soils. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Washington, Manual of Photographic Interpretation. Amer. Soc. of Photogrammetry, p.343-402.
- GARCEZ, L.N., 1967. Hidrologia. São Paulo. Ed. da Universidade de São Paulo, 249p.

- GEVAERD, I., 1974. Parâmetros Fotoanalíticos de três Unidades de Solos da Região Nordeste Paranaense. Piracicaba, ESALQ-USP, 110p. (Dissertação de Mestrado).
- GOOSEN, D., 1968. Interpretación de Fotos Aéreas y Su Importancia en Laventamiento de Suelos. Traduzido por Izabel Diagnostini. Roma, FAO, 6:55.
- HORTON, R.E., 1945. Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins: Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. Bul. Geol. Soc. Amer., 56: 275-370.
- HOWE, R.H.L., 1960. The Application of Aerial Photographic Interpretation to the Investigation of Hidrologic Problems. Photogramm. Eng., 26:85-95.
- KOFFLER, N.F., 1976. Utilização de Imagens Aerofotográficas e Orbitais no Estudo do Padrão de Drenagem em Solos Originados de Arenito Bauru. São José dos Campos, INPE, 150p. (Tese de Mestrado).
- LEÃO, S.R.F., 1973. Interpretação Fotográfica dos Padrões de Drenagem Desenvolvidos em Dois Solos do Distrito Federal. Piracicaba, ESALQ-USP, 110p. (Dissertação de Mestrado).
- LUEDER, D.R., 1959. Aerial Photographic Interpretation: Principles and Applications. New York, McGraw-Hill, 462p.

- MARCHETTI, D.A.B., 1969. Fotointerpretação de Atributos do Relevo Aplicada a Solos da Região de Piracicaba. Piracicaba, ESALQ-USP, 58p. (Tese de Doutorado).
- MAXWELL, J.C. 1955. The Bifurcation Ratio in Horton's Law of Stream Numbers. New Haven, Trans. Amer. Geophys. Union, 36:520. (Resumo).
- MILLER, V.C. e MILLER, C.F., 1961. Photography. New York, McGraw-Hill, 248p.
- PARVIS, M., 1950. Drainage Pattern Significance in Air-photo Identification of Soils and Bedrocks. Washington, Photogramm. Eng., 16:387-408.
- PIEIDADE, G.C.R., 1980. Evolução de Voçorocas em Bacias Hidrográficas do Município de Botucatu, SP. Botucatu, F.C.A. UNESP, 161p. (Tese de Livre-Docência).
- PIMENTEL GOMES, F., 1963. Curso de Estatística Experimental. Piracicaba, ESALQ-USP, 384p.
- POLITANO, W., 1980. Estudo Fotointerpretativo Sobre a Morfometria das Áreas de Dois Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos. Piracicaba, ESALQ-USP, 169p. (Tese de Doutorado).

- RABBEN, E.L., 1960. Fundamentals of Photointerpretation.
In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Washington,
Manual of Photographic Interpretation. American Society
of Photogrammetry, p.99-168.
- RAY, R.G., 1963. Fotografias Aéreas na Interpretação e
Mapeamento Geológica. São Paulo, Instituto Geográfico
e Geológico, 88p.
- RAY, R.G. e W.A. FISCHER, 1960. A Quantitative Photographic:
a Geological Research Tool. Washington, Photogramm.
Eng., 26:143-150.
- RICCI, M. e S. PETRI, 1965. Princípios de Aerofogrametria
e Interpretação Geológica. São Paulo, Ed. Nacional,
226p.
- ROURKE, J.D. e M.E. AUSTIN, 1951. The Use of Airphotos
for Soil Classification and Mapping in the Field.
Washington, Photogramm. Eng., 17:738-741.
- RUHE, R.V., 1975. Geomorphology (Geomorphic Processes and
Superficial Geology). Boston, Houghton Mifflin, 246p.
- SCHUMM, S.A., 1956. Evaluation of Drainage System and
Slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey. Colorado,
Bul. Geol. Soc. Amer., 67:597-646.

- SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS, 1978. Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Distrito Federal. Rio de Janeiro, 455p. (Boletim Técnico Técnico nº 53).
- SIMONSON, R.W., 1950. Use of Aerial Photographs in Soil Surveys. Photogramm. Eng., 16:308-315.
- SMITH, H.T.V., 1943. Aerial Photographs and Their Applications. New York, Appleton-Century, 372p.
- SMITH, K.G., 1950. Standards for Grading Texture of Erosional Topography. Amer. J. Sci., 248:655-668.
- SMITH, G.D. and AANDAHL, H.R., 1957. Soil Classification and Surveys. In Soil. Washington, U.S. Dept. Agric. p.396-400.
- SOIL SURVEY STAFF, 1951. Soil Survey Manual. Washington, USDA Agriculture Handbook nº 18, 503 p.
- SOUZA, M.L.P., 1975. Fotointerpretação das Redes de Drenagem de Três Solos com Horizonte B, Latossólico Ocorrentes no Município de Ponta Grossa - PR. Piracicaba, ESALQ-USP, 135p. (Dissertação de Mestrado).
- STRAHLER, A.N., 1952. Hypsometric Analysis of Erosional Topography. Colorado, Bull. Geol. Soc. Amer., 63:1117-1142.

- STRAHLER, A.N., 1957. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. New Haven, Transaction American Geophysical Union, 38:913-920.
- SUMMERSON, C.H., 1954. A Philosophy for Photointerpretaters. Washington, Photogramm. Eng., 20:396-397.
- VASQUES FILHO, J., 1972. Critérios Morfométricos Aplicados à Fotointerpretação de Redes de Drenagem em Três Unidades de Solos do Município de Piracicaba - SP. Piracicaba, ESALQ-USP, 113p. (Tese de Doutorado).
- VON ENGELN, O.D., 1942. Geomorphology: Systematical and Regional. New York, McMillan, 655p.
- ZINKE, P.J., 1960. Photointerpretation in Hidrology and Watershed Management. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Washington, Manual os Photographic Interpretation, p.656-660.