FOTOINTERPRETAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS E AMOSTRAS CIRCULARES
DE REDES DE DRENAGEM DOS SOLOS DO PARQUE ESTADUAL DA ILHA
DO CARDOSO (SP).

RUI MARCONI PFEIFER

Orientador: Prof. Dr. GERALDO VICTORINO
DE FRANÇA

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia - área de concentração: "Solos e nutrição de Plantas".

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
abril, 1984

À memória de minha mãe,
HILDA DO CARMO MARCONI PFEIFER
A meu pai,
JOÃO PFEIFER,
OFEREÇO

Aos meus irmãos e sobrinhas
companheiros em todas circunstâncias,
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. GERALDO VICTORINO DE FRANÇA, pela dedicação, colaboração e valiosa orientação.

A Prof.^a Dr.^a WOLMAR APPARECIDA CARVALHO, que com dedicação e estímulo nos conduziu à investigação científica em pedologia.

A Prof.^a Dr.^a GERTRUDES CELENE ROCHA PIEDADE, pela amizade e incentivo.

Ao Estatístico AFONSO CELSO BISSOLI, pela orientação e colaboração nas análises estatísticas.

A Prof.^a Dr.^a MARIA AUGUSTA H. W. RIBEIRO, pela revisão do texto original.

Ao Dr. OSMAR CORRÊA DE NEGREIROS, pelo apoio irrestrito em todos os momentos.

A FUNDAÇÃO DE AMPARO A PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO - FAPESP, pelo auxílio financeiro prestado na execução deste trabalho.

Ao INSTITUTO FLORESTAL e a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa.

3.2.4.3 - Amostras circulares	28
3.2.5 - Análise estatística	28
3.2.5.1 - Teste de Kruskal-Wallis	29
3.2.5.2 - Comparações múltiplas	31
3.2.5.3 - Teste de correlação de Kendall	32
3.2.5.4 - Médias, variâncias e estimativas por intervalo	34
3.2.5.5 - Comparação entre sistemas de amostragem	34
4. RESULTADOS	35
4.1 - Características das Bacias Hidrográficas	35
4.1.1 - Representação gráfica das bacias	35
4.1.2 - Propriedades dimensionais	35
4.1.3 - Teste de semelhança geométrica	35
4.1.4 - Composição das redes de drenagem	36
4.1.4.1 - Análise do número de segmentos de rios	36
4.1.4.2 - Análise dos comprimentos dos rios	36
4.1.5 - Características dos padrões de drenagem	36
4.1.5.1 - Características descritivas ..	36
4.1.5.2 - Características quantitativas ..	36
4.2 - Características das Amostras Circulares	37
4.2.1 - Representação gráfica	37
4.2.2 - Características dimensionais	37
4.2.3 - Características quantitativas dos padrões de drenagem	37
4.3 - Análise Estatística	37
4.3.1 - Teste de Kruskal-Wallis	38
4.3.2 - Teste de correlação de Kendall	38
4.3.3 - Comparação entre sistemas de amostragem ..	38
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	66

5.1 - Características das Bacias Hidrográficas	66
5.1.1 - Propriedades dimensionais e semelhança geométrica	66
5.1.2 - Análise do número de segmentos de rios	68
5.1.3 - Análise dos comprimentos de rios	69
5.1.4 - Características dos padrões de drenagem	70
5.1.4.1 - Características descritivas	70
5.1.4.2 - Características quantitativas	71
5.2 - Características das Amostras Circulares	73
5.2.1 - Representação gráfica	73
5.2.2 - Características dimensionais	74
5.2.3 - Características dos padrões de drenagem	74
5.3 - Comparação entre Bacias Hidrográficas e Amostras Circulares	75
5.4 - Análise Estatística	76
5.4.1 - Teste de Kruskal-Wallis	76
5.4.2 - Teste de correlação de Kendall	79
6. CONCLUSÕES	80
7. BIBLIOGRAFIA CITADA	83

LISTA DE TABELAS

TABELA		Página
1	Parâmetros para classificação da textura topográfica com base nos valores de razão de textura média.....	28
2	Propriedades dimensionais das bacias hidrográficas representativas dos solos estudadas.....	42
3	Análise dimensional e semelhança geométrica aplicada às bacias hidrográficas representativas das unidades de solo estudadas.....	43
4	Número de segmentos de rios observados em cada ordem de ramificação e o total para as bacias hidrográficas; média ponderada em relação à área, para cada unidade de solo.....	44
5	Comprimentos totais de segmentos de rios em cada ordem; comprimentos totais observados em cada bacia hidrográfica; médias ponderadas para as unidades de solo.....	45
6	Comprimento médio de rios em cada ordem de ramificação das bacias hidrográficas e média ponderada, para as unidades de solo.....	46
7	Características descritivas das redes de drenagem das unidades de solo, segundo LUEDER (1959) e tipo segundo PARVIS (1950)	47
8	Características quantitativas dos padrões de drenagem e as classes de textura topográfica das bacias hidrográficas represen	

	tativas das unidades de solo.....	48
9	Características dimensionais das amostras circulares representativas das unidades de solo (Área 10 km ² , Perímetro 11,18 km).....	58
10	Comprimento médio de segmentos de rios em cada ordem de ramificação (Lm) e o total por unidade de área das redes de drenagem de amostras circulares representativas das unidades de solo.....	59
11	Características quantitativas dos padrões de drenagem e as classes de textura topo- gráfica das amostras circulares represen- tativas das unidades de solo.....	60
12	Resultados do teste de Kruskal-Wallis e das comparações múltiplas aplicadas às bacias hidrográficas das unidades de solo em estudo.....	61
13	Resultados do teste de Kruskal-Wallis e das comparações múltiplas aplicadas às amostras circulares representativas das unidades de solo em estudo.....	62
14	Resultados do teste de Kendall aplicado às bacias hidrográficas, correlacionando os índices: 1) frequência de rios; 2) den- sidade de drenagem; 3) razão de textura e 4) comprimento médio de rios.....	63
15	Resultados do teste de Kendall aplicado às amostras circulares, correlacionando os índices: 1) frequência de rios; 2) densi- dade de drenagem; 3) razão de textura e 4) comprimento médio de rios.....	64

16	Estimativa da amplitude das médias, com- parando bacias hidrográficas e amostras circulares.....	ix 65
----	--	--------------

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Página
1	Bacias hidrográficas I, II e III representativas da unidade de solo LV.....	39
2	Bacias hidrográficas IV, V e VI representativas da unidade de solo PVL.....	40
3	Bacias hidrográficas VII, VIII e IX representativas da unidade de solo Li-gr.	41
4	Amostra circular A representativa da unidade de solo LV.....	49
5	Amostra circular B representativa da unidade de solo LV.....	50
6	Amostra circular C representativa da unidade de solo LV.....	51
7	Amostra circular D representativa da unidade de solo PVL.....	52
8	Amostra circular E representativa da unidade de solo PVL.....	53
9	Amostra circular F representativa da unidade de solo PVL.....	54
10	Amostra circular G representativa da unidade de solo Li-gr.....	55
11	Amostra circular H representativa da unidade de solo Li-gr.....	56
12	Amostra circular I representativa da unidade de solo Li-gr.....	57

FOTOINTERPRETAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS E AMOSTRAS CIRCULARES DE REDE DE DRENAGEM DOS SOLOS DO PARQUE ESTADUAL DA ILHA DO CARDOSO (SP).

Autor: Rui Marconi Pfeifer

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Victorino de França

RESUMO

O Parque Estadual da Ilha do Cardoso localiza-se no extremo sul do litoral do Estado de São Paulo-Brasil. As unidades de mapeamento pesquisadas foram: Latossolo Vermelho-Amarelo Orto (LV), Podzólico Vermelho-Amarelo "intergrade" para Latossolo Vermelho-Amarelo (PVL) e Litossolo fase substrato granito-gnaiss (Li-gr).

Com o auxílio de fotografias aéreas, foram estudadas a composição das redes de drenagem e as características do padrão de drenagem quantitativa e qualitativamente, através de amostras circulares de 10 km^2 e de bacias hidrográficas, selecionadas pelo método de semelhança geométrica, de mesma ordem de ramificação.

O presente trabalho visa estudar as correlações entre aspectos da paisagem e as características das respectivas imagens fotográficas de três unidades de solos, com ênfase na composição e nas características das redes de drenagem, em termos das diferenças entre solos.

A análise e discussão dos resultados obtidos possibilitaram as seguintes conclusões:

- a análise quantitativa dos padrões de drenagem mostrou-se eficiente para a diferenciação entre os solos morfogeneticamente distintos, com significância estatística;
- os parâmetros: número, comprimento total e comprimento médio de segmentos de rios, correlacionados com a ordem de ramificação de bacias hidrográficas de 3.^a ordem, foram sensíveis pa

ra diferenciar as unidades de solo;

- mudanças nas características qualitativas do padrão de drenagem refletem um controle geológico (litológico e/ou estrutural);
- os parâmetros que definem o padrão de drenagem mostraram-se significativos para diferenciar as três unidades de solo, nos dois tipos de amostragem; sendo que, a bacia hidrográfica evidenciou melhores resultados, quando comparada às amostras circulares;
- os parâmetros que diferenciaram o padrão de drenagem, mostraram melhores resultados para a unidade PVL do que para as unidades LV e Li-gr, independente do tipo de amostragem;
- em bacias hidrográficas, a razão de textura foi o índice mais eficiente para a diferenciação dos solos, seguida pela densidade de drenagem, frequência de rios e comprimento médio de rios, enquanto que em amostras circulares, apresentaram-se na seguinte ordem decrescente de eficiência: comprimento médio de rios, frequência de rios, razão de textura e densidade de drenagem;
- as modificações no padrão de drenagem foram devidas à natureza e às propriedades dos solos estudados, às características e profundidade do substrato rochoso e às condições locais do relevo.

PHOTOINTERPRETATION OF WATERSHEDS AND DRAINING NETWORK CIRCULAR SAMPLINGS FROM THE CARDOSO ISLAND STATE PARK SOILS (SP).

Author: Rui Marconi Pfeifer

Adviser: Prof. Dr. Geraldo Victorino de França

SUMMARY

The area of Cardoso Island State Park is located in the extreme south of the sea-coast of São Paulo State - Brazil, and the soil mapping units studied were: Ortho Red-Yellow Latosols (LV); Red-Yellow Podzolic intergrading to Red-Yellow Latosols (PVL) and Lithosol-granitic gneiss substratum phase (Li-gr).

Aerial fotografies were used in a study to show quantitatively and qualitatively the composition of natural drainage systems. The characteristics of drainage pattern of three soil mapping units, through 10 km² circular samples and through watershed which were selected by the principles of geometrical similarity and same order of ramification.

The present paper studies the correlations between the land escapes and aerial fotografies characteristics of three soil units with emphasis on the composition and on the characteristics of the draining network, related with differences among the soils.

The analysis and discussion of results obtained made possible the following conclusions:

- the quantitative analysis of drainage pattern attributes was efficient for the separation of soils morphogenetically different, with a significant rate;
- the parameters: number, total lenght and mean length of river segments correlated with the third order watershed ramification order were the most sensible to differentiate the soil units;
- changes in the qualitative characteristics of drainage pattern show one geological control (lithologic and/or structural);

- the parameters which describe drainage pattern appeared to be good for differentiating the three soil units in two sampling types; being the watersheds showed best results compared to circular sampling;
- the parameters which differ drainage pattern showed best results for the unity PVL than for the unity LV and Li-gr, independent on the sampling types;
- in watersheds the texture ratio was the most significant index for the differentiation among the soil units followed by drainage density, river frequency and mean length of river. In circular sampling, these index exhibited decreasing efficiency degree in the following order: mean length of river, river frequency, texture ratio and drainage density;
- the modifications in the drainage pattern were the propriety and constitution of the studied soil, profundity and characteristics of rocky substratum and the condition of the relief site.

1. INTRODUÇÃO

Técnicas de fotointerpretação de redes de drenagem, adaptadas e aplicadas ao estudo de solos, comprovam a hipótese de que solos semelhantes possuem padrões semelhantes. A análise das bacias hidrográficas, por meio da composição e das características do padrão de drenagem, permite inferir sobre a natureza e distribuição dos solos. As características da rede de drenagem, quando associadas ao estudo hipsométrico das bacias hidrográficas, constituem um meio consistente de comparar o estágio de evolução do relevo e das unidades de solo.

- À vista do exposto, atualmente o uso de fotografias aéreas vem se tornando freqüente em trabalhos de levantamento e uso de solos, substituindo, com vantagens, as outras bases cartográficas, pela riqueza de detalhes que oferece, eliminando as dificuldades de acesso a determinadas áreas e facultando uma visão tridimensional da paisagem.

Em regiões tropicais, mais do que em outras regiões bioclimáticas, a interpretação aerofotográfica deve ser conduzida com conhecimento dos processos de formação dos solos, os quais são submetidos a intemperização e erosão mais severas do que aquelas encontradas, por exemplo, em climas temperados.

+ Dentro dessa linha de pesquisa, pretende-se, neste trabalho, verificar, qualitativamente e quantitativamente,

com o auxílio de fotografias aéreas, as características de bacias hidrográficas e de amostras circulares das redes de drenagem de três unidades de solo, visando os seguintes objetivos:

- a significância dos parâmetros: número, comprimento total e comprimento médio de rios, que compõem a rede de drenagem, na diferenciação das unidades de solo: Latossolo Vermelho-Amarelo Orto (LV), Podzólico Vermelho-Amarelo "intergrade" para Latossolo Vermelho-Amarelo (PVL) e Litossolo fase substrato granito-gnaiss (Li-gr).

- a correlação entre os parâmetros: densidade de drenagem, frequência de rios, razão de textura e razão de textura média, do padrão de drenagem, com a natureza e propriedades das unidades de solo.

- a significância de amostragem através de bacias hidrográficas de terceira ordem de ramificação e amostras circulares de 10 km², por meio de correlações entre os parâmetros que definem o padrão de drenagem.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo é apresentado dividido basicamente em três partes. A primeira trata de algumas generalidades sobre a aplicação da fotografia aérea, a segunda diz respeito aos fundamentos da fotointerpretação e a terceira sobre a análise morfométrica na caracterização de bacias e redes de drenagem, na interpretação pedológica.

2.1 Aplicação da Fotografia Aérea: Generalidades

Em 1840, Arago propôs o uso de fotografias aéreas para a elaboração de plantas topográficas, o qual serviu como suporte, a partir de 1850, para o programa desenvolvido na França por Laussedat.

O uso da fotografia, para definição de roteiros, data deste 1853 e a aplicação da fotogrametria foi iniciada ao redor de 1858 por Mendenbauer, na arquitetura.

Quanto à plataforma aérea, o avião foi utilizado pela primeira vez, em 1909, na Itália, mas foi durante a primeira guerra mundial que essa técnica teve efetiva evolução e aplicação para espionagem, na Alemanha. Após a grande guerra, a fotografia aérea passou a ser empregada em levantamentos, generalizando-se seu uso nos diferentes ramos da ciência, sendo que o primeiro levantamento de solos realizado com o auxílio

da fotointerpretação foi realizado por Bushnell e colaboradores, datando de 1929, (BOMBERGER & DILL, 1960).

Atualmente, é indiscutível a importância do uso de fotografias aéreas nos levantamentos de solos. RABBEN et alii (1960), atribuem a utilidade da fotografia a três fatores fundamentais:

- a) área expressiva abrangida por uma fotografia aérea ou seja, 33 km^2 na escala aproximada de 1:25.000;
- b) visão tridimensional da superfície, através da observação dos pares estereoscópicos;
- c) as imagens dos objetos registrados nas fotos são permanentes e não tendenciosas, o que permite uma investigação detalhada e cuidadosa da área no momento que o fotointérprete desejar e em condições de trabalho mais cômodas e mais favoráveis do que aquelas da observação direta.

GOOSEN (1968) afirma, com respeito à imagem estereoscópica da paisagem, que esta revela os aspectos principais do terreno de maneira mais eficiente do que aquela observada pela visão normal, devido ao exagero proporcionado pela imagem tridimensional.

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 é realizada a cobertura aerofotográfica. Nas regiões de clima seco, o número de informações conseguidas através do exame da fotografia aérea é muito maior do que aquele conseguido das regiões de clima úmido.

Sobre a utilidade da observação estereoscópica, RAY & FISCHER (1960) afirmam que a forma tridimensional da imagem fotográfica supera os mapas topográficos como fonte de informações, devido à quantidade de detalhes nela contidos. A fotografia aérea, contudo, apresenta a limitação de não permitir a visualização do solo em sua forma tridimensional, mos-

trando somente a sua superfície e, ainda, de maneira imperfeita.

Para FROST (1960), as interferências na imagem fotográfica, de diferentes naturezas, mascaram as propriedades reais da superfície do solo, tornando a fotointerpretação pedológica completamente diferente daquela de outras áreas de estudo, onde os objetos são parcial ou totalmente vistos na fotografia. Neste caso, os solos somente podem ser interpretados pelo estudo de padrões fotográficos relacionados ao material de origem, ao modo de deposição e aos meios climático, biótico e fisiográfico.

2.2 Fundamentos da Fotointerpretação

A fotointerpretação é definida por SUMMERSON (1954), como a previsão do que não pode ser visto, uma vez que as fotografias aéreas não mostram o corpo inteiro do solo, apenas a sua superfície e ainda quando esta não é camuflada pela cobertura vegetal. QUACKENBUSH (1960) a define como o ato de examinar imagens fotográficas com o propósito de identificar os objetos e avaliar os seus significados.

Considerando que a fotointerpretação de solos é tridimensional e a fotografia não mostra o seu corpo inteiro e sim apenas a paisagem de sua superfície, como formas topográficas, padrões e características de drenagem, de erosão, vegetação e uso, SMITH (1943) afirma que a interpretação dos dados de observação de significância, para solos, depende de um sólido conhecimento do fotointérprete sobre os princípios das ciências que explicam esses fatos.

AVERY (1968) relaciona, dentre os fatores empregados na identificação dos aspectos da fotografia aérea, a forma, tamanho, tom fotográfico, padrão, sombra, posição topográfica e a textura, mas BOMBERGER & DILL (1960) consideram estes aspectos como características qualitativas.

Segundo LUEDER (1959), fotoidentificação, fotoanálise e fotointerpretação são técnicas utilizadas no exame da imagem fotográfica. Pela fotoidentificação são reconhecidos os objetos e as suas localizações no terreno; a fotoanálise completa a fotoidentificação pela adição de uma avaliação por numerais e pelo estabelecimento de uma interrelação de aspectos, classificando-os pelos seus tamanhos, posições e usos; e, por último, a fotointerpretação realiza uma avaliação dedutiva e indutiva, baseada nas experiências do fotointérprete e nas observações de campo.

Referindo-se à metodologia para a fotointerpretação, RABBEN (1960), RAY (1963), RICCI & PETRI (1965), afirmam que a interpretação de fotografias aéreas é um processo em duas etapas: a primeira, inclui a observação, coleta de dados, medição e identificação de aspectos visíveis nas fotografias, o que corresponderia à fotoidentificação e fotoanálise; a segunda, envolve processos mentais, dedutivos e/ou indutivos usando a informação obtida na solução de um problema, ou seja, na fotointerpretação propriamente dita. Este procedimento é preconizado no Brasil, com sucesso, por FRANÇA (1968), para avaliar a significância das características de redes de drenagem, em termos de diferenças entre solos da região de Piracicaba.

Com respeito às limitações da fotografia aérea nos estudos do solo, GOOSEN (1968) observa que as diferenças entre tipos, fases e, muitas vezes, séries de solos, não são sempre visíveis na superfície terrestre. Isto 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 (MARQUES, 1971).

A limitação da utilidade da fotografia na interpretação de solos, sintetizada por FROST (1960), relaciona os fatores inerentes às técnicas dos materiais fotográficos às limitações humanas e à própria superfície terrestre fo

tografada.

Com referência à qualidade da fotografia aérea, Dutton em 1967, (GARCIA, 1979), ressalta as vantagens da fotografia pancromática na caracterização da paisagem.

ROURKE & AUSTIN (1951), PASTO (1953), GUNN (1955), CRESWICK & ROCKWELL (1959), BOMBERGER & DILL (1960), BURINGH (1960) e FRANÇA (1968) reconhecem que a fotografia aérea não substitui completamente o trabalho de campo, embora aumente a exatidão e o rendimento dos mapeamentos de solos, sendo a fotointerpretação mais útil em levantamentos de reconhecimento do que em levantamentos detalhados.

+ A forma fisiográfica é considerada, por alguns autores, como elemento mais importante na fotointerpretação de solos, segundo Schultz e Cleaves, (RAY, 1963). Contudo, FRANÇA (1968) afirma que ela é apenas um elemento do padrão dos solos e a interpretação de outros elementos, tais como as características de drenagem ou de erosão, pode fornecer informações igualmente importantes. +

+ Para LUEDER (1959), com exceção da forma fisiográfica, a drenagem superficial é, provavelmente, o elemento mais seguro para identificar um terreno, assegurando que a interpretação da significância de um padrão de drenagem envolve, além dos conhecimentos teóricos do fotointérprete, a sua experiência para correlacionar detalhes do terreno com a imagem fotográfica.

GOOSEN (1968), apresenta três métodos de fotointerpretação para levantamento de solos: 1) método da análise dos padrões; 2) método da análise dos elementos; e 3) método da análise fisiográfica.

O primeiro deles, método da análise dos padrões, parte da suposição de que cada elemento padrão está re

lacionado com certas condições do solo. Os elementos padrões considerados são a forma do terreno (relevo), a drenagem, os aspectos erosivos, a vegetação, a tonalidade fotográfica e os aspectos culturais. Por este método, a partir da identificação das grandes unidades, se atinge as menores, sendo estas últimas caracterizadas pelos chamados padrões locais.

O segundo, método da análise dos elementos, está fundamentado na análise sistemática dos elementos que se relacionam às condições do solo, cuja classificação resultante é usada como base para o trabalho de campo.

O terceiro método, o da análise fisiográfica, baseia-se num conhecimento profundo dos processos fisiográficos e suas expressões fotográficas. Por este último método, o terreno é classificado em unidades fisiográficas, sendo que cada uma delas contém uma associação de solos.

COLWELL (1952) afirma que a fotointerpretação deve apoiar-se no princípio da convergência de evidências, segundo o qual, se vários elementos de reconhecimento levam a uma determinada conclusão, esta provavelmente é correta. Para FROST (1960), a fotointerpretação de solos pode ser conduzida à luz de 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 sejam 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.

A medição de dados experimentais é fundamental para a evolução de todos os campos científicos. A fotografia aérea, sendo uma fonte de informações quantitativas, é possuidora de um rico e importante potencial de dados mensuráveis dos aspectos superficiais do terreno. No Brasil, a fotointerpretação tem se desenvolvido conforme mostram os trabalhos dos

pesquisadores: FRANÇA (1968); MARCHETTI (1969); QUEIROZ NETO (1969); AUDI (1972); FADEL (1972); VASQUES FILHO (1972); LEÃO (1972); GEVAERD (1974); SOUZA (1975); GEVAERD (1976); KOFFLER (1976a); DEMÉTRIO (1977); FREIRE (1977); CARVALHO (1977); ESPÍNDOLA (1977); PIEDADE (1980); POLITANO (1980); CARVALHO (1981); MANECHINI (1981) e PFEIFER (1981/82).

2.3 Análise Morfométrica

2.3.1 Padrão de drenagem: tipos, características e significado

A maneira pela qual os cursos d'água se arrajam ou se distribuem dentro de uma área de drenagem, é expressa pelo termo padrão de drenagem. De acordo com a sua configuração, sugere um modelo, que recebe diferentes designações.

HORTON (1945) adverte que o desenvolvimento de rios e vales em uma dada área pode ser modificado posteriormente por estruturas ou episódios geológicos. FRANÇA (1968) explica os casos em que se constata afastamentos das leis dos números e dos comprimentos de rios, em condições normais de clima, geologia e solos. Os efeitos de controle de estrutura geológicas são constatados por CARVALHO (1977).

Para TATOR (1954), os padrões de drenagem refletem o controle exercido pela estrutura e tipo de rocha subjacente. Mas para RAY (1963), onde o controle estrutural é mínimo, as características da rede de drenagem são influenciadas pela espessura e natureza do material exposto. Nestas condições, o padrão de drenagem reflete as propriedades do manto de intemperismo e, conseqüentemente, do solo.

Segundo RICCI & PETRI (1965), numa área ocupada por determinado tipo de rocha, variações no grau de controle da rede de drenagem podem significar variações na espessura do manto de intemperismo. Para TATOR (1954), as anomalias ou des

vios de uma norma do padrão de drenagem regional podem ser tão ou mais importantes para a interpretação do que o próprio padrão.

Como muitos cursos d'água têm suas nascentes em substratos rochosos, cobertos com solos ou mantos espessos, PARVIS (1950), afirma que os padrões de rios de ordens inferiores fornecem indícios pelos quais esses solos ou substratos rochosos podem ser identificados por fotointerpretação, sendo os rios de ordens mais elevadas os que mostram a influência de controles estruturais.

A classificação do padrão de drenagem, segundo LUEDER (1959), tem valor limitado e deve ser complementada com a descrição de certas características, variáveis dentro de cada padrão, podendo indicar aspectos significantes do mesmo. Sugere, ainda, a descrição do padrão de drenagem nos seguintes parâmetros: a) grau de integração; b) densidade; c) grau de uniformidade; d) orientação; e) grau de controle; f) angularidade; g) ângulos de confluência; e h) tipo ou designação do padrão.

† Segundo FROST (1960), os padrões de drenagem refletem a maneira pela qual a água, que atinge a superfície do solo, se distribui por deflúvio ou infiltração, fornecendo indícios sobre a composição e a origem dos solos. †

No entanto, ROURKE & AUSTIN (1951) afirmam que a forma fisiográfica e o padrão de drenagem são úteis para a identificação e mapeamento de solos ao nível de séries, tipos e fases. Esta assertiva é confirmada por VERA (1964) no levantamento detalhado de solos efetuado no Chile, no qual o padrão de drenagem é descrito e interpretado em termos de suas principais características, conforme a recomendação de LUEDER (1959).

STRAHLER (1957) desenvolve uma metodologia geomorfológica quantitativa, através da medida de tamanho e elementos geométricos que definem as bacias de drenagem, chamado método de análise dimensional e semelhança geométrica. Segundo

FRANÇA (1968), a aplicação do método permite agrupar as bacias de maior similaridade geométrica e, dentro desse contexto, permite inferir sobre a distribuição dos solos ou obter uma maior segurança de homogeneidade dos solos em uma área de estudo.

CARVALHO et alii (1980), aplicando o método de análise dimensional e semelhança geométrica em bacias hidrográficas de terceira ordem de ramificação, como critério para cartografar solos, constatam que as bacias contidas integralmente em uma unidade de solo apresentam maior similaridade geométrica.

2.3.2 Bacias hidrográficas como critério de estudo da rede de drenagem

Os sistemas fluviais estudados por diversos pesquisadores, principalmente geólogos, geomorfólogos e pedólogos, revelam que as redes de drenagem refletem certas características dos materiais superficiais sobre os quais se desenvolvem. Esta linha de estudo foi desenvolvida, inicialmente quase que exclusivamente, em bases descritivas, pois a preocupação é descrever as formas do relevo atual ou identificar a natureza dos solos ou das rochas subjacentes. Obtem-se, como resultado dessas descobertas, a descrição e classificação de muitos padrões de drenagem, procurando sempre correlacioná-los com a natureza dos solos e dos substratos rochosos e/ou com a presença de estruturas geológicas.

HORTON (1945) lança as bases quantitativas para a interpretação de bacias hidrográficas e de suas respectivas redes de drenagem, as quais têm sido aplicadas na identificação e mapeamento de solos com o auxílio de fotografias aéreas, segundo uma aproximação hidrofísica em que se consideram as relações infiltração/deflúvio e os processos erosivos provocados pelas águas correntes. Propõe uma definição para a

composição da rede de drenagem e correlaciona o número e o comprimento de rios com as diversas ordens de ramificação da rede, estabelecendo desta maneira, as leis do desenvolvimento dos rios e suas bacias, invertendo a notação do sistema europeu de ordem dos rios, descrito por Gravelius, (HORTON, 1945), no qual o rio principal é designado como de primeira ordem e os seus tributários imediatos como de segunda ordem e assim sucessivamente. Dessa maneira, a ordem mais alta é a atribuída aos tributários menores, não ramificados.

+ Com a inversão da sequência de numeração, os tributários menores não ramificados são considerados de primeira ordem, atribuindo a ordem mais elevada ao rio principal, o que facilita a análise e comparação das redes de drenagem, pois somente são comparáveis, entre si, os elementos de mesma ordem de ramificação (HORTON, 1945). Esse sistema é adotado, dentre outros, por STRAHLER (1952), MAXWELL (1955), SCHUMM (1956), CURTIS et alii (1965), FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969) FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1972), GEVAERD (1974), SOUZA (1975), KOFFLER (1976 a), DEMÉTRIO (1977), FREIRE (1977) e CARVALHO (1977).

Assim sendo, a lei dos números de HORTON (1945) expressa a relação entre o número de rios de uma dada ordem e a ordem de ramificação, em termos de uma série geométrica inversa, onde a razão de ramificação (R_b) é a base desta série. A lei dos comprimentos de rios expressa a relação entre os comprimentos médios de rios de cada ordem e a respectiva ordem de ramificação, em termos de uma série geométrica direta, na qual, o primeiro termo é o comprimento médio dos rios de primeira ordem e cuja razão é a razão de comprimento médio.

+ O mesmo autor afirma que a composição da rede de drenagem tem alto grau de significância hidrológica, enquanto o padrão isolado tem pouca significância; reconhece,

contudo, que o padrão de drenagem é altamente significativo como indicador de controle geológico.

SCHUMM (1956) estabelece que a área de uma bacia de drenagem aumenta exponencialmente com o aumento da ordem de ramificação dos rios, à semelhança da lei dos comprimentos de rios estabelecida por Horton. A área é considerada por ANDERSON (1957), como a variável mais importante da bacia hidrográfica, visto que a maioria das outras características da bacia a ela estão relacionadas.

Com referência às variações de área, STRAHLER (1957), além de propor a análise de bacias da mesma ordem de ramificação, preconiza um conceito sobre a similaridade das bacias. Por esse conceito, em bacias geometricamente similares, todas as medidas de comprimento entre os pontos correspondentes conduzem à fixação de uma escala proporcional e todos os ângulos correspondentes são semelhantes. Segundo este autor, as bacias apresentam similaridade somente nos ambientes onde ocorre homogeneidade de rochas. A vantagem da aplicação deste princípio como base de operação é que, em decorrência dele, as diferenças da escala linear são independentes da forma ou propriedades da forma da bacia e as diferenças de forma independem das diferenças de tamanho. As dimensões, comprimento, largura, perímetro, relevo, área e volume, são usadas singularmente ou em combinação.

Poucos padrões de drenagem indicam um desenvolvimento independente da estrutura geológica e, quase todos os padrões conhecidos são respostas ou adaptações à essa estrutura, segundo VON ENGELN (1942).

PARVIS (1950) classifica seis padrões de drenagem básicos: dendrítico, treliça, radial, paralelo, anular e retangular. Utilizando algumas modificações destes seis padrões, classifica e descreve trinta tipos ou modelos. O autor também se refere à facilidade com que esses padrões de

drenagem podem ser observados e analisados em fotografias aéreas e a sua avaliação significativa na fotointerpretação de solos e substratos rochosos.

STRAHLER (1957) aplica a lei dos números de rios de Horton para comprimento totais de rios, expressando a relação entre o comprimento total de rios de uma dada ordem de ramificação, em termos de uma série geométrica inversa, onde a razão de comprimento total é a base desta série.

O mesmo autor constata que há uma relação inversa entre os valores da densidade de drenagem, ao verificar que com o aumento do valor da densidade de drenagem, ocorre uma diminuição quase que proporcional dos tamanhos dos componentes fluviais das bacias de drenagem, resultados estes comprovados por CHRISTOFOLETTI & CESAR (1978) os quais observam uma menor significância dessa relação com o aumento do número de ordem das bacias.

Para ZINKE (1960), a densidade de drenagem é função da precipitação pluviométrica e da capacidade de infiltração, podendo ser considerada uma descrição física quantitativa da bacia hidrológica.

HORTON (1945) propõe duas relações para expressar quantitativamente o grau de desenvolvimento da rede de drenagem de uma bacia hidrológica: a densidade de drenagem (Dd) e a frequência de rios (F). A densidade de drenagem (Dd) vem a ser o comprimento médio dos rios por unidade de área e é expressa pela equação:

$$Dd = \frac{Lt}{A}$$

onde, Lt é o comprimento total de rios das diversas ordens e A é área, ambos expressos em unidades do mesmo sistema. A frequência de rios (F), é expressa pela equação:

$$F = \frac{N}{A} \quad \text{onde,}$$

N é o número de rios das diversas ordens e A, a área da bacia de drenagem.

Segundo RAY (1963), a densidade de drenagem em um dado ambiente climático, relaciona-se principalmente, com a resistência à erosão dos materiais, pois a densidade aumenta a medida que diminui a resistência à erosão. Com o exame de fotografias aéreas conclui que os folhelhos e outras rochas similares, de granulação fina, tendem a apresentar drenagem de textura fina, e que os arenitos de granulação grosseira tendem a apresentar drenagem de textura grosseira, mas admite que poderiam ocorrer muitas excessões.

Para HORTON (1945) e STRAHLER (1957), a densidade de drenagem e a frequência de rios variam com o tamanho da área da bacia, não podendo haver comparação entre pequenas e grandes bacias, através dessas duas relações.

Segundo STRAHLER (1957), é indispensável comparar bacias que tenham a mesma ordem de ramificação para que se possa obter dados significativos.

O mesmo autor, utilizando o princípio da análise dimensional e semelhança geométrica, tenta elaborar um sistema de geomorfologia quantitativa, baseado em que, se houver uma semelhança geométrica aproximada entre duas bacias, todas as medições de comprimento entre pontos correspondentes manterão uma razão de escala fixa.

Para expressar o espaçamento entre canais de drenagem em mapas topográficos com curvas de nível, SMITH (1950) propõe uma relação denominada razão de textura. Como geralmente os canais menores não são representados nos mapas topográficos, as suas localizações, em tais mapas, podem ser identificadas pelas inflexões das curvas de nível. Recomenda então, que se escolha a curva de nível com o maior número de inflexões e que se divida esse número pelo perímetro da bacia, obtendo-se assim a razão de textura, expressa pela fórmula:

$$T = \frac{N}{P}$$

onde, T é a razão de textura, N é o número de inflexões da curva de nível escolhida e P é o perímetro da bacia.

Conforme recomendam HOWE (1960), RAY (1963) e RICCI & PETRI (1965), os sistemas de drenagem podem ser melhor estudados em mapas básicos de drenagem obtidos pelo exame estereoscópico de fotografias aéreas. Em vista disto, FRANÇA (1968) faz a determinação da textura topográfica considerando N como sendo o número total de rios da bacia.

Para caracterizar a textura topográfica de uma dada área como um todo, levando em consideração o tamanho de cada bacia, SMITH (1950) propõe o uso do valor médio ponderado, que pode ser determinado através da seguinte fórmula:

$$T_m = \frac{\sum (A.T)}{\sum A}$$

onde, T_m é o valor médio ponderado da razão de textura topográfica, A representa a área de cada bacia e T a razão da textura topográfica de cada bacia.

Para a classificação da textura topográfica, SMITH (1950) propõe que os parâmetros, referidos a comprimentos de perímetro, devem ser expressos em milhas; contudo, FRANÇA (1968) propõe a equivalência, referida a perímetro, expressa em quilômetros.

Segundo FRANÇA (1968), quando aumenta a ordem de ramificação de uma rede de drenagem, ocorre o aumento na área de drenagem e variação das características quantitativas do padrão: aumenta a razão da textura e diminuem a densidade de drenagem e a frequência de rios, porque aumentando a área da bacia, o perímetro aumenta de um modo proporcionalmente menor.

2.3.3 Amostras circulares como critério de estudo da rede de drenagem

Em 1960 é apresentado o critério de amostras circulares para ser empregado no estudo de redes de drenagem, para fins de caracterização litológica, sendo adotadas amostras com tamanho equivalente a uma área de 10 km^2 (RAY & FISCHER, 1960).

Para BURINGH (1960), as amostras circulares podem apresentar variação de tamanho equivalente a uma amplitude de 10 a 100 km^2 .

Nos estudos de solos, FRANÇA (1968) aplica a metodologia e obtem resultados significativos para a densidade de drenagem de amostras circulares. Aponta as seguintes vantagens:

- a) eliminação da influência da área, uma vez que todas as medições de comprimento de rios são referidas à mesma área circular de 10 km^2 ;
- b) a área circular de amostragem pode ser deslocada dentro da área de ocorrência de uma unidade de solo, sem consideração dos limites de bacias hidrográficas, procurando abranger unicamente a maior proporção e a maior homogeneidade possíveis da unidade que é amostrada.

Os resultados de França são confirmados por MARCHETTI (1969), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1972), GEVAERD (1974), GARCIA (1975), KOFFLER (1976a), FREIRE (1977), CARVALHO (1977), POLITANO (1980) e MANECHINI (1981).

Com respeito a variação do tamanho das amostras, os trabalhos de SOUZA (1975), KOFFLER (1976b), FREIRE (1977) e POLITANO (1980) permitem constatar que a utilização de círculos, com tamanho equivalente a 5 km^2 de área, propiciam uma melhor repre-

sentação dos solos nos casos em que a conformação da área de ocorrência limita a tomada de amostras de maior tamanho.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais e os métodos utilizados na realização do presente estudo são apresentados em seguida.

3.1 Materiais

Serviram de base para o estudo, as bacias hidrográficas e as redes de drenagem das áreas de ocorrência de três unidades de solo, as quais constituíram o material básico do presente trabalho.

3.1.1 Descrição geral da área

O Parque Estadual da Ilha do Cardoso situa-se entre os paralelos 25° 05' e 25° 15' de latitude sul e os meridianos 47° 53' e 48° 06' de longitude W.Gr., no extremo sul do litoral paulista, com uma área aproximada de 22.500 ha.

A extremidade norte da ilha é formada por depósitos arenosos recentes, com relevo baixo e que em grande parte, é inundada durante a preamar normal. No Morro do Pereirinha e na Ponta de Itacuruçã, afloram metarritmitos (grupo Açungui), formando as primeiras elevações que servem de contrafortes às grandes elevações do maço granítico central da ilha.

Na parte oriental, ocorrem afloramentos da mesma rocha, com alternância entre lâminas de metarenito e metasiltito argiloso, com ricas estruturas sedimentares.

No lado meridional, aflora um quartzito estratigraficamente abaixo dos metarritmitos.

Um pouco mais ao sul, aflora um depósito de tãlus, litificado, com matriz arenosa e seixos totalmente de granito; em consequência, a costa torna-se extremamente abrupta.

O tectonismo na área é bastante evidente e a idade desse fenômeno, provavelmente, é quaternária devido à tendência ao soerguimento epirogênico que vem causando extensa sedimentação continental nas áreas que permanecem baixas.

Os solos, segundo PFEIFER (1981/82), apresentam as seguintes unidades taxonômicas: Latossolo Vermelho-Amarelo Orto (LV), Podzólico Vermelho-Amarelo "intergrade" para Latossolo Vermelho-Amarelo (PVL), Litossolo fase substrato granito-gnaíse (Li-gr), Solos Aluviais (A) e Solos do Mangue.

Para efeito desta pesquisa, serão consideradas três bacias hidrográficas e três amostras circulares das redes de drenagem, para cada uma das três unidades de solo cujas principais características, segundo PFEIFER (1981/82), são:

- Latossolo Vermelho-Amarelo Orto (LV).

Esta unidade é constituída de solos argilosos, profundos, de coloração alaranjada, ácidos e com saturação de bases baixa.

São solos bem drenados, com horizonte B latossólico. Esta unidade de mapeamento ocupa as meia encostas e patamares de morros cristalinos. No sopé e na meia encosta, apresenta relevo forte ondulado a montanhoso. São solos formados a partir de rochas granito-gnaíssicas.

- Solo Podzólico Vermelho-Amarelo "intergrade" para Latossolo Vermelho-Amarelo (PVL).

É constituído por solos que apresentam características morfológicas mais comuns ao Podzólico Vermelho-Amarelo Orto (PV), destacando-se entre elas o horizonte B textural, com estrutura em blocos subangulares, presença de filmes de material coloidal (cerosidade) nas superfícies dos elementos estruturais e diferindo por apresentar melhor drenagem.

- Litossolo fase substrato granito-gnaiss (Li-gr).

Apresenta como principal característica a pequena espessura do "solum", a qual é em torno de 40 cm, com perfil do tipo A₁ - R, sendo que a rocha subjacente, em geral, apresenta-se alterada. Ocupa as partes mais acidentadas da área, apresentando-se num relevo montanhoso, com várias exposições rochosas e resultam do entalhamento posterior da superfície mais antiga dos solos B latossólicos.

O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, clima mesotérmico úmido, sem estação seca. A temperatura média anual na região é de 20,9° C, sendo que a média das temperaturas máximas é aproximadamente 25,5° C e a das mínimas, 17,4° C. A temperatura máxima absoluta alcança 32,4° C e a mínima absoluta, 13,0° C. A precipitação média anual atinge um total de 2.342 mm.

A vegetação da Ilha do Cardoso, segundo CAMARGO et alii (1972), é composta de três tipos principais: Restinga, Manguezal e Floresta Latifoliada Tropical Úmida de Encosta.

3.1.2 Bases cartográficas

Foi utilizada a Planta Topográfica do Parque Estadual da Ilha do Cardoso na escala 1:25.000, com equidistância entre curvas de nível de 40 metros, executada pela Se-

ção de Desenho, Fotografia e Cinematografia do Instituto Florestal (SP), em 1977. Esta planta foi extraída e ampliada da base topográfica plani-altimétrica DSG, na escala 1:50.000, editada em 1971.

O reconhecimento geológico-geomorfológico da área foi realizado através dos mapas geomorfológicos: mapa nº 18, folha SG.22-X-D-III-2-Ariri e mapa nº 19, folha SG.23-V-C-I-I-Cananêia, do Relatório final geomorfologia, Projeto SUDESPA, Volume XIII, anexo VIII, Parte I, elaborado por RAMALHO & HAUSEN (1971).

Foi também consultada a carta de solos da área, na escala 1:25.000, elaborada por PFEIFER (1981/82).

3.1.3 Fotografias aéreas, fotomosaicos e fotoíndices

Foram utilizadas fotografias aéreas pancromáticas (preto-e-branco) e verticais, provenientes da cobertura aerofotogramétrica do Estado de São Paulo, efetuada em 1972, na escala nominal aproximada de 1:25.000. O conjunto de fotografias é composto de pares estereoscópicos, apresentando recobrimentos longitudinais de 60 % e laterais de 30 %.

Foram utilizados fotoíndices na escala aproximada de 1:100.000, para localizar numericamente as fotos necessárias.

Os fotomosaicos utilizados, semicontrolados, são reproduções fotográficas dos mosaicos originais confeccionados na mesma escala das fotografias.

3.1.4 Bacias hidrográficas

Foram selecionados para estudo, neste trabalho, nove bacias hidrográficas de terceira ordem, sendo três representativas de cada uma das três unidades de solos: Latossolo

Vermelho-Amarelo Órto (LV), Podzólico Vermelho-Amarelo "intergrade" para Latossolo Vermelho-Amarelo (PVL) e Litossolo fase substrato granito-gnaiss (Li-gr). Essas bacias estão reproduzidas nas FIGURAS 1,2 e 3.

3.1.5 Amostras circulares

Foram utilizadas nove amostras circulares de 10 km², sendo três em cada unidade de solo, estando representadas nas FIGURAS 4 a 12.

3.1.6 Equipamentos

Para observação estereoscópica dos pares de fotografias aéreas foram empregados um estereoscópio de espelhos marca Wild-ST 4 e um estereoscópio de bolso, marca Vasconcellos.

Para a transferência de detalhes da foto para o mapa básico, foi utilizado um "aero-skechtmaster" da Zeiss, modelo LUZ.

Para as diversas medições, os equipamentos utilizados foram os seguintes: perímetro e comprimento dos rios-curvímetro Derby; distâncias-escala triangular e compasso de ponta seca; área-planímetro polar, marca OTT.

3.2 Métodos

3.2.1 Seleção e interpretação da área de estudo

A escolha da área se prendeu ao fato da mesma possuir carta topográfica, cobertura aerofotogramétrica, levantamento geológico-geomorfológico e levantamento semidetalhado dos solos.

As áreas estudadas foram identificadas com o auxílio de fotoíndices e, obedecendo ao método de pesquisa lógica, sugerido por RABBEN et alii (1960), foram selecionadas as fotografias aéreas mais representativas das áreas em apreço.

3.2.2 Elaboração do mapa de drenagem

O mapa da rede de drenagem da Ilha do Cardoso foi confeccionado efetuando-se inicialmente o traçado da área útil das fotografias aéreas, conforme procedimento descrito por RABBEN et alii (1960). Após a delimitação da área útil, com o auxílio de estereoscopia, a rede de drenagem e o divisor de águas da área foram cuidadosamente definidos e decalcados em papel "cronaflex" (PFEIFER, 1981/82).

O mapa da rede de drenagem foi obtido após montagem dos "templetos". No traçado da rede de drenagem foram considerados cursos de água permanentes e temporários, segundo sugestões de STRAHLER (1957), LUEDER (1959) e RAY (1963).

3.2.3 Seleção das bacias hidrográficas

Bacia hidrográfica corresponde a uma área fechada, drenada por um curso de água principal e seus afluentes.

No presente trabalho elas foram delimitadas estereoscopicamente, traçando-se os divisores d'água que circundam as bacias hidrográficas de terceira ordem de ramificação, por serem eficientes no estudo de solos e de formações superficiais, FRANÇA (1968), CARVALHO (1977) e PIEDADE (1980).

Para dar maior segurança às interpretações das comparações efetuadas e maior consistência aos resultados, foi aplicado o teste de semelhança geométrica proposto por STRAHLER (1957), modificado por FRANÇA (1968), pelo qual selecionaram-se três bacias para cada área estudada.

A aplicação do método de semelhança geométrica permite comparar bacias através de parâmetros dimensionais. Os parâmetros utilizados foram os seguintes: maior comprimento e maior largura das bacias; comprimento do rio principal, comprimento total da rede; perímetro e área das bacias.

As medições dos parâmetros dimensionais obedeceram aos seguintes procedimentos:

- Maior comprimento (C): medido com compasso de ponta seca e escala, é a distância que acompanha aproximadamente a direção do vale principal, entre a foz e o ponto sobre a linha do divisor de águas.

- Maior largura (L): medida com compasso de ponta seca e escala, é a distância correspondente à maior largura que corta transversalmente o vale principal.

- Comprimento do rio principal (CP): medido com curvímetro, corresponde ao percurso do rio principal, da foz até a nascente, acompanhando as suas sinuosidades. O percurso do rio principal foi determinado de acordo com o sistema de Horton para designação das ordens de rios e, em casos de dúvida, pelas duas regras dadas por esse autor. As regras são as seguintes: a) partindo da confluência, estender para montante, em linha reta, o curso de água que vinha sendo considerado principal, para além da bifurcação, seguindo a mesma direção. O canal confluyente que apresenta menor ângulo é o de ordem maior; b) se ambos os cursos possuírem o mesmo ângulo, o rio principal será o que possuir maior extensão.

- Comprimento total da rede (CR): medido com curvímetro, corresponde às sinuosidades do rio principal e de seus tributários.

- O perímetro (P): medido com curvímetro, corresponde ao comprimento da linha do divisor de água que circunda a bacia.

- Área (A): medida com planímetro, corresponde à área cir-

cunscrita pela linha do divisor de água que delimita a bacia.

3.2.4 Análise das redes de drenagem

Para a análise das redes de drenagem considerou-se todas as vias de drenagem bem definidas, quer fossem cursos de água permanentes ou temporários.

Os elementos componentes da rede de drenagem foram analisados segundo sua natureza, ou seja: aqueles referentes à composição e ao padrão de drenagem.

3.2.4.1 Composição das redes de drenagem

Os elementos da composição das redes de drenagem foram obtidos segundo a metodologia descrita na literatura.

- Ordem de ramificação (w): os segmentos de rios ou canais de drenagem foram classificados, segundo o sistema de HORTON (1945), modificado por STRAHLER (1957) e designado genericamente, segundo a literatura, com a letra w.

- Número de segmentos de rios: representados pelo número de segmentos de rios em cada ordem de ramificação (N_w) e pelo número total para cada bacia (N_t), sendo obtidos através da contagem de canais.

- Comprimentos totais de rios: designados por L_w e L_t , representam os comprimentos dos segmentos de rios de cada ordem e o comprimento total de segmentos de rios, respectivamente, medidos em todas as bacias. Os valores observados permitiram calcular, para cada área, os valores médios de comprimentos totais de segmentos de rios em cada ordem e o comprimento total.

- Comprimentos médios de segmentos de rios: representados

por L_m , foram calculados pela relação entre a soma dos comprimentos de rios de cada ordem (L_w) e o número de segmentos de rios da respectiva ordem (N_w).

3.2.4.2 Características do padrão de drenagem

O padrão de drenagem foi analisado segundo suas características descritivas e quantitativas.

As características descritas, avaliando a disposição do traçado dos rios e dos vales, foram analisadas conforme LUEDER (1959), incluindo o tipo ou modelo segundo PARVIS (1950).

A quantificação do padrão de drenagem obedeceu aos seguintes critérios preconizados na literatura:

- densidade de drenagem: designada por D_d , foi calculada através da relação entre comprimento total de rios da bacia e a sua respectiva área, segundo HORTON (1945).

- Frequência de rios: designada por F , corresponde à relação entre o número total de rios da bacia e a sua respectiva área, segundo HORTON (1945).

- Razão de textura: designada por T , foi calculada através da relação entre o número total de rios da bacia e seu respectivo perímetro, conforme SMITH (1950), com modificação de FRANÇA (1968).

- Razão de textura média: designada por T_m , foi calculada segundo SMITH (1950), com modificação de FRANÇA (1968), pela fórmula: $T_m = \sum (A.T) / \sum A$, onde: T_m = razão de textura média, A = área das bacias em km^2 e T = razão de textura de cada bacia hidrográfica.

- Textura topográfica: a textura topográfica foi determinada obedecendo-se a proposição de SMITH (1950) e adaptação de

FRANÇA (1968). As áreas geomorfológicas estudadas, baseadas na razão de textura média de suas bacias, foram classificadas utilizando-se os dados da TABELA 1.

TABELA 1 - Parâmetros para classificação da textura topográfica com base nos valores de razão de textura média.

Classe de textura topográfica	<u>Razão de Textura Média</u> Perímetro expresso em km
grosseira	abaixo de 2,5
média	2,5 a 6,2
fina	acima de 6,2

3.2.4.3 - Amostras circulares

Para cada unidade de solo, foram tomadas três amostras circulares, com área de 10 km^2 , conforme propõem RAY & FISCHER (1960), para interpretação litológica e FRANÇA (1968), para interpretação pedológica. Nas amostras circulares aplicou-se a mesma metodologia utilizada para as bacias hidrográficas, com a finalidade de comparar a sua eficiência em relação às amostragens obtidas através de bacias.

Nas amostras circulares foram determinadas apenas o número de rios e o comprimento total da rede, de vez que a área e o perímetro são conhecidos e constantes. Da comparação dessas medidas, resultaram os seguintes índices:

- Densidade de drenagem (Ddc): calculada conforme HORTON (1945), com adaptação de RAY & FISCHER (1960).

- Frequência de rios (Fc): determinada conforme a fórmula de HORTON (1945), adaptada por SOUZA (1975) a amostras circulares.

- Comprimento médio de rios (L_{mc}): calculado para amostras circulares de forma semelhante à utilizada para bacias hidrográficas, conforme procedimento de KOFFLER (1976a, 1976b).

- Razão de textura (T_c): foi calculada segundo adaptação de SOUZA (1975) da definição de SMITH (1950), modificado por FRANÇA (1968) para utilização em trabalhos com solos.

- Classe de textura topográfica: foi determinada pela classificação de SMITH (1950), adaptada por FRANÇA (1968) ao sistema métrico.

3.2.5 Análise estatística

3.2.5.1 Teste de Kruskal-Wallis

Foi utilizado, neste trabalho de pesquisa, o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, sobre o qual faz-se necessária uma abordagem mais minuciosa, por ser pouco conhecido e utilizado em trabalhos de fotointerpretação aplicada a solos.

Segundo CAMPOS (1979), esse teste constitui-se em um competidor ou substituto do teste F do campo paramétrico, tendo por finalidade averiguar se k amostras independentes provem de uma mesma população, de populações semelhantes ou ainda de populações distintas.

Admitindo-se K tratamentos, o teste permite averiguar se há diferença entre pelo menos dois deles, ou seja, testar as seguintes hipóteses:

$$H_0: t_1 = t_2 = \dots = t_k;$$

H_a : pelo menos dois tratamentos diferem entre si.

As pressuposições desse teste são:

- as n observações são todas independentes;
- dentro de uma dada amostra, todas as observações são provenientes de uma mesma população;

- as populações são aproximadamente da mesma forma e contínuas.

No presente trabalho, convencionou-se denominar os tratamentos por S_1 , S_2 e S_3 , correspondendo às unidades Latossolo Vermelho-Amarelo Orto, Podzólico Vermelho-Amarelo "intergrade" para Latossolo Vermelho-Amarelo e Litossolo fase substrato granito-gnaiss respectivamente, para as características medidas em bacias hidrográficas e amostras circulares. Entre os tratamentos, as características testadas foram os Índices: Densidade de Drenagem, Frequência de Rios, Razão de Textura e Comprimento Médio de Canais de Drenagem Superficial (Comprimento Médio de Rios).

Para cada característica, dentro de um mesmo sistema de amostragem (bacia hidrográfica ou amostra circular), procedeu-se à classificação conjunta das $N = \sum_{i=1}^k n_i$ observações, dando ordem 1 à menor delas e ordem N à maior. Nos casos onde ocorreram empates entre duas ou mais observações, o desempate foi feito considerando-se a média das ordens que seriam atribuídas se não houvesse empate.

Em seguida, para a aplicação do teste, calculou-se a estatística:

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1)$$

onde:

R_i é a soma das ordens atribuídas ao tratamento i , e

n_i é o número de observações para o tratamento i .

Ao se testar, ao nível α de probabilidade, H_0 versus H_a , rejeita-se H_0 se $H > h$, onde

$$P_0(H \geq h) = \alpha$$

(α e h são obtidos na Tabela 14, em CAMPOS, 1979, página 318)

No caso de empates obtem-se

$$H_1 = \frac{H}{C}$$

onde:

$$C = 1 - \frac{\sum_{i=1}^g T_i}{N^3 - N} ;$$

g = número de grupos de empate;

$$T_i = t_i^3 - t_i ;$$

t_i = número de observações empatadas no grupo i .

3.2.5.2 Comparações múltiplas

Quando se rejeita H_0 no teste de Kruskal-Wallis, torna-se necessário localizar onde ocorreram as diferenças significativas.

Utiliza-se, então, o método de comparações múltiplas, que consiste em confrontar os tratamentos dois a dois.

Assim, são considerados os $\frac{k(k-1)}{2}$ pares de tra

tamentos e determinada, para cada par, a diferença:

$$\left| R_i - R_j \right| \quad \text{com } i=1,2,\dots,k-1 \\ \text{e } j=i+1,\dots,k$$

onde:

R_i e R_j representam a soma das ordens atribuídas, respectivamente, aos tratamentos i e j na classificação

conjunta das N observações referentes aos k tratamentos; sendo que o número de repetições dos tratamentos i e j são iguais ($n_i = n_j = n$).

A uma taxa de erro experimental α , admite-se

$$t_i \neq t_j \quad \text{se} \quad |R_i - R_j| \geq \Delta$$

onde:

$$P_0 (|R_i - R_j| \geq \Delta) = \alpha$$

(Δ é obtido na Tabela 16, em CAMPOS, 1979 página 326).

3.2.5.3 Teste de correlação de Kendall

Para se medir o grau de dependência entre as características Densidade de Drenagem, Frequência de Rios, Razão de Textura e Comprimento Médio de rios, tomadas duas a duas, foi utilizado o teste de correlação de Kendall, não-paramétrico.

Esse teste consiste em, considerando-se os n pares de observações (X_1, Y_1) , (X_2, Y_2) , ..., (X_n, Y_n) , determinar a estatística:

$$K = \sum_{i=1}^{n-1} C_i$$

$$C_i = 1 \quad \text{se } M > 0$$

$$C_i = 0 \quad \text{se } M \leq 0$$

que é o número de pares concordantes, ou seja, número de casos em que

$$M = (x_i - x_j) (y_i - y_j) > 0 \quad \begin{matrix} i=1, 2, \dots, n-1 \\ j=i+1, \dots, n \end{matrix}$$

As hipóteses testadas ao nível α de significância são:

$$a) H_0: \tau = 0 \text{ versus } H_a: \tau > 0$$

onde τ é o coeficiente de correlação

Rejeita-se H_0 se:

$$K \geq \frac{n(n-1)}{2} - k(\alpha, n)$$

onde:

$$P_0 \left| K \geq \frac{n(n-1)}{2} - k(\alpha, n) \right| = P_0 \left| K \leq k(\alpha, n) \right| = \alpha$$

Os valores de $k(\alpha, n)$ são encontrados na Tabela 12, página 314, em CAMPOS (1979).

b) $H_0: \tau = 0$ versus $H_a: \tau < 0$

Rejeita-se H_0 se

$$K \leq k(\alpha, n)$$

Além disso, determinou-se, ainda, a estimativa de

$$\hat{\tau} = \frac{4k}{n(n-1)} - 1$$

e seu intervalo de confiança, com o respectivo coeficiente $(1-\alpha)$

$$\hat{\tau} \pm d,$$

onde:

$$d = \frac{2\hat{\sigma} z_{\alpha/2}}{n(n-1)}$$

$$\hat{\sigma}^2 = 4 \sum_{i=1}^n C_i^2 - 2 \sum_{i=1}^n C_i = \frac{2(2n-3) \left(\sum_{i=1}^n C_i \right)^2}{n(n-1)}$$

C_i = número de pares concordantes com o par (X_i, Y_i) ;

$z_{\alpha/2}$ = limite superior da distribuição normal encontrado na Tabela 1, página 257, em CAMPOS (1979).

3.2.5.4 Médias, variâncias e estimativas por intervalo

Dando prosseguimento à análise dos resultados, determinou-se a média aritmética, a variância do desvio padrão da média e a estimativa por intervalo das características estudadas, utilizando-se as fórmulas seguintes, de acordo com PIMENTEL GOMES (1963)

- Média aritmética: $\hat{m} = \frac{\sum x}{n}$
- Variância: $s^2 = \frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n - 1}$
- Erro-padrão da média: $s(\hat{m}) = \frac{s}{\sqrt{n}}$
- Estimativa por intervalo: $m \pm \frac{s}{\sqrt{n}}$

3.2.5.5 Comparação entre sistemas de amostragem

Como complementação, foram determinadas as variações percentuais das médias obtidas para os índices de drenagem, dentro de cada unidade de solo.

Tais variações foram medidas através da comparação de cada média com o respectivo erro-padrão, pela fórmula:

$$V = \frac{\frac{s}{\sqrt{n}}}{\hat{m}} \times 100$$

visando definir qual dos sistemas de amostragem apresentou resultados mais consistentes.

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos neste estudo estão apresentados numa sequência correlata com a descrição dos métodos e em tabelas que contêm dados referentes às três unidades de solo estudadas.

4.1 Características das Bacias Hidrográficas

4.1.1 Representação gráfica das bacias

Os desenhos das bacias hidrográficas representativas dos solos LV encontram-se na FIGURA 1; as representativas dos solos PVL, na FIGURA 2 e as do solo Li-gr, na FIGURA 3.

4.1.2 Propriedades dimensionais

Os dados referentes às propriedades dimensionais das bacias hidrográficas estão representados na TABELA 2.

4.1.3 Teste de semelhança geométrica

A TABELA 3 contém a análise dimensional e semelhança geométrica aplicada às bacias representativas dos so

los: Latossolo Vermelho-Amarelo Orto, numeradas de I a III; Podzólico Vermelho-Amarelo "intergrade" para Latossolo Vermelho-Amarelo, numeradas de IV a VI; e Litossolo fase substrato granito-gnaiss, numeradas de VII a IX.

4.1.4 Composição das redes de drenagem

4.1.4.1 Análise do número de segmentos de rios

O número de segmentos de rios observados em cada ordem de ramificação, o número total e a média ponderada para as bacias hidrográficas estão indicados na TABELA 4.

4.1.4.2 Análise dos comprimentos dos rios

Os comprimentos totais de segmentos de rios em cada ordem; comprimento totais observados em cada bacia hidrográfica e suas respectivas médias ponderadas estão na TABELA 5.

Os comprimentos médios de rios em cada ordem de ramificação das bacias hidrográficas; a média ponderada; a média aritmética e os valores médios segundo VASQUES FILHO (1972) estão na TABELA 6.

4.1.5 Características dos padrões de drenagem

4.1.5.1 Características descritivas

As características descritivas dos padrões de drenagem podem ser observadas na TABELA 7.

4.1.5.2 Características quantitativas

As características quantitativas dos padrões de drenagem e as classes de textura topográfica estão indicadas na TABELA 8.

4.2 Características das Amostras Circulares

4.2.1 Representação gráfica

As amostras circulares que representam a unidade de mapeamento Latossolo Vermelho-Amarelo Orto (LV) estão representadas nas FIGURAS 4, 5 e 6; as que representam o solo Podzólico Vermelho-Amarelo "intergrade" para Latossolo Vermelho-Amarelo estão nas FIGURAS 7, 8 e 9; e as que representam a unidade Litossolo fase substrato granito-gnaisse (Li-gr), nas FIGURAS 10, 11 e 12.

4.2.2 Características dimensionais

As características dimensionais das amostras circulares estudadas estão indicadas na TABELA 9.

Na TABELA 10 estão apresentados os dados de comprimento médio de segmentos de rios, obtidos através das amostras circulares, para as unidades de solo estudadas.

4.2.3 Características quantitativas dos padrões de drenagem

As características quantitativas dos padrões de drenagem e as classes de textura topográfica das amostras circulares estão indicadas na TABELA 11.

4.3 Análise Estatística

4.3.1 Teste de Kruskal-Wallis

Nas TABELAS 12 e 13 são apresentadas, resumidamente, os resultados obtidos pela aplicação do teste de Kruskal-Wallis aos índices de drenagem em bacias hidrográficas e amostras circulares, respectivamente. Nessas mesmas tabelas, aparecem os resultados das comparações múltiplas para as três unidades de solo em estudo.

4.3.2 Teste de correlação de Kendall

Os resultados obtidos pela aplicação do Teste de Correlação de Kendall, envolvendo todos os índices de drenagem, são apresentados nas TABELAS 14 e 15, para bacias hidrográficas e amostras circulares, respectivamente.

4.3.3 Comparação entre sistemas de amostragem

A TABELA 16 apresenta os dados de variação das médias dos índices medidos em bacias hidrográficas e amostras circulares visando definir qual dos processos de amostragem apresentou resultados mais consistentes, nas condições específicas deste trabalho.

FIGURA 1: Bocios hidrográficos I, II, III representativos da unidade de solo LV.

FIGURA 2: Bacias hidrográficas IV, V, VI representativas da unidade de solo PVL.

FIGURA 3: Bacias hidrográficas VII, VIII, IX representativas da unidade de solo Li-gr

TABELA 2. Propriedades dimensionais das bacias hidrográficas representativas das unidades de solo estudadas.

Unidade de Solo	Bacia Hidrográfica	Maior comprimento (C) (Km)	Maior largura (L) (Km)	Comprimento de rios		Perímetro (P) (km)	Área (A) (Km ²)
				Principal (CP) (Km)	Rede (CR) (km)		
LV	I	2,53	1,03	2,73	45,86	7,10	1,95
	II	2,83	0,77	3,00	28,65	6,33	1,37
	III	2,00	0,80	2,00	29,46	4,67	1,04
PVL	IV	1,30	0,80	1,37	22,26	3,77	0,65
	V	1,63	0,67	1,13	21,68	3,80	0,62
	VI	1,67	1,00	0,80	14,92	3,00	0,43
Li-gr	VII	1,73	0,77	1,70	20,48	4,00	0,87
	VIII	1,70	0,47	1,70	15,52	3,70	0,46
	IX	1,60	0,73	1,63	10,40	3,50	0,45

TABELA 3. Análise dimensional e semelhança geométrica aplicada às bacias hidrográficas representativas das unidades de solo estudadas.

Unidade de solo	Bacias hidrográficas	Razão de escala linear				Razão Média (Rm)	Razão de escala quadrática (R ²)		Difer. Razão quadrática
		C/C'	L/L'	Cp/Cp'	Cr/Cr'	P/P'	A/A'	Rm ²	
LV	I/II	0,893	1,337	0,909	1,433	1,121	1,423	1,298	0,125
	I/III	1,265	1,287	1,365	1,586	1,520	1,875	1,973	0,098
	II/III	1,415	0,962	1,500	1,106	1,355	1,317	1,607	0,290
PVL	IV/V	0,797	1,194	1,212	1,010	0,992	1,048	1,084	0,035
	IV/VI	0,778	0,800	1,712	1,482	1,256	1,511	1,454	0,057
	V/VI	0,976	0,670	1,412	1,467	1,266	1,441	1,342	0,099
Li-gr	VII/VIII	1,017	1,638	1,000	1,294	1,081	1,891	1,455	0,435
	VII/IX	1,081	1,054	1,042	2,050	1,142	1,933	1,624	0,309
	VIII/IX	1,062	0,643	1,042	1,583	1,057	1,022	1,162	0,139

TABELA 4. Número de segmentos de rios observados em cada ordem de ramificação e o total para as bacias hidrográficas; média ponderada em relação à área, para cada unidade de solo.

Unidade de solo	Ordem (w)	Número de segmentos de rios em cada ordem, Nw					Média ponderada
		Bacias hidrográficas					
LV		I	II	III			
	1a.	31	19	24		25,56	
	2a.	6	4	3		4,66	
	3a.	1	1	1		1,00	
	Total (Nt)	38	24	28		31,22	
PVL		IV	V	VI			
	1a.	22	19	14		18,88	
	2a.	3	3	4		3,25	
	3a.	1	1	1		1,00	
	Total (Nt)	26	23	19		23,13	
Li-gr		VII	VIII	IX			
	1a.	11	13	6		10,25	
	2a.	2	2	2		2,00	
	3a.	1	1	1		1,00	
	Total (Nt)	14	16	9		13,25	

TABELA 5. Comprimentos totais de segmentos de rios em cada ordem; Comprimentos totais observados em cada bacia hidrográfica; médias ponderadas para as unidades de solo.

Unidade de solo	Ordem (w)	Comprimento total de rios, em cada ordem, Lw (Km)			
		Bacias hidrográficas			Média ponderada
		I	II	III	
LV	1a.	22,80	18,32	16,60	19,91
	2a.	17,40	6,00	10,66	12,21
	3a.	5,66	4,33	2,20	4,41
	Total (Lt)	45,86	28,65	29,46	36,56
PVL		IV	V	VI	
	1a.	15,00	15,34	8,00	13,35
	2a.	6,60	2,34	4,66	4,55
	3a.	0,66	4,00	2,26	2,28
	Total (Lt)	22,26	21,68	14,92	20,18
Li-gr		VII	VIII	IX	
	1a.	13,34	8,86	6,60	10,48
	2a.	3,94	2,00	2,54	3,08
	3a.	3,20	4,66	1,26	3,09
	Total (Lt)	20,48	15,52	10,40	16,65

TABELA 6. Comprimento Médio de rios em cada ordem de ramificação das bacias hidrográficas e Média ponderada, para as unidades de solo.

Unidade de Solo	Ordem (w)	Comprimento médio de rios em cada ordem, Lm (km)			
		Bacias hidrográficas			Média ponderada
		I	II	III	
LV	1. ^a	0,74	0,96	0,69	0,80
	2. ^a	2,90	1,50	3,55	2,62
	3. ^a	5,66	4,33	2,20	4,42
PVL		IV	V	VI	
	1. ^a	0,68	0,81	0,57	0,70
	2. ^a	2,20	0,78	1,17	1,42
	3. ^a	0,66	4,00	2,26	2,28
Li-gr		VII	VIII	IX	
	1. ^a	1,21	0,68	1,10	1,05
	2. ^a	1,97	1,00	1,27	1,85
	3. ^a	3,20	4,66	1,26	3,09

TABELA 7. Características descritas das redes de drenagem das unidades de solo, segundo LUEDER (1959) e Tipo segundo PARVIS (1950).

Características	Unidades de solo		
	LV	PVL	Li-gr
Grau de integração	médio	alto	médio
Densidade de drenagem	média	alta	média
Grau de uniformidade	pouco uniforme	uniforme	não uniforme
Orientação	orientado	pouco orientado	orientado
Grau de controle	alto	médio	alto
Angularidade	alta	moderada	moderada
Ângulos de junção	retos e agudos	agudos	retos, ocasionalmente agudos
Tipo ou modelo	dendrítico-paralelo	dendrítico	sub-paralelo

TABELA 8. Características Quantitativas dos Padrões de Drenagem e as Classes de Textura Topográfica das Bacias Hidrográficas Representativas das Unidades de Solo.

Características Quantitativas Observadas	B A C I A S H I D R O G R Á F I C A S								
	LV			PVL			Li-gr		
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Frequência de rios (F)	19,49	17,52	26,92	40,00	37,10	44,19	16,09	34,78	20,00
Média (Fm)		21,31			40,43			23,62	
Erro Padrão da Média		±2,86			±2,06			±5,69	
Densidade de Drenagem (Dd)	23,52	20,91	28,33	34,25	34,97	34,70	23,54	33,74	23,11
Média (Ddm)		24,25			34,64			26,80	
Erro Padrão da Média		2,17			0,21			3,47	
Razão de Textura (T)	5,35	3,79	6,00	6,90	6,05	6,33	3,50	4,32	2,57
Média (Tm)		5,05			6,43			3,46	
Erro Padrão da Média		0,65			±0,25			±0,51	
Razão de Textura média		5,01			6,45			3,48	
Classe de Textura topográfica		média			fina			média	
Comprimento médio de rios (Lm)	1,21	1,19	1,05	0,86	0,94	0,79	1,46	0,97	1,16
Média		1,15			0,86			1,20	
Erro Padrão da média		0,04			0,00			0,14

FIGURA 4. Amostra circular (10km^2) representativa da unidade de solo LV.

FIGURA 5. Amostra circular (10 km²) representativa da unidade de solo LV.

FIGURA 6. Amostra circular (10km²) representativa da unidade de solo LV.

FIGURA 7. Amostra circular (10km²) representativa da unidade de solo PVL.

FIGURA 8. Amostra circular (10km²) representativa da unidade de solo PVL.

FIGURA 9. Amostra circular (10km²) representativa da unidade de solo PVL.

FIGURA 10. Amostra circular (10km²) representativa da unidade de solo Li-gr.

FIGURA 11. Amostra circular (10km²) representativa da unidade de solo Li-gr.

FIGURA 12. Amostra circular (10km²) representativa da unidade de solo Li-gr.

TABELA 9. Características Dimensionais das Amostras Circulares Representativas das Unidades de Solo (Área 10 km²; Perímetro = 11,18 km).

Unidade de Solo	Amostra Circular	Número de Segmentos de rios em Cada Ordem					Comprimento de rios em cada Ordem (Km)					Total	
		1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	Total	
							Nc						Crc
LV	A	180	39	10	3	-	232	24,60	19,35	7,37	0,68	-	52,00
	B	122	27	4	-	-	153	18,79	12,80	8,17	-	-	39,76
	C	126	36	10	2	-	174	21,05	13,84	9,05	0,74	-	44,68
TOTAL		428	102	24	5	-	559	64,44	45,99	24,59	1,42	-	136,44
PVL	D	264	64	17	5	-	350	36,30	14,49	9,00	4,74	-	64,53
	E	279	62	15	3	1	360	39,30	17,14	7,30	2,69	1,77	68,20
	F	244	56	17	6	-	323	26,39	14,04	7,60	3,29	-	51,32
TOTAL		787	182	49	14	1	1.033	101,99	45,67	23,90	10,72	1,77	184,05
Li-gr	G	141	32	5	2	-	180	27,57	14,44	4,34	3,15	-	49,50
	H	132	29	9	2	-	172	26,74	12,95	7,04	2,80	-	39,53
	I	172	34	10	3	1	220	31,63	9,74	7,17	4,17	0,05	52,76
TOTAL		445	95	24	7	1	572	85,94	37,13	18,55	10,12	0,05	151,79

TABELA 10. Comprimento Médio de Segmentos de Rios em Cada Ordem de Ramificação (lm) e o Total por Unidade de Área das Redes de Drenagem de Amostras Circulares Representativas das Unidades de Solo.

Unidade de Solo	Amostras Circula-res	Comprimento Médio de Segmentos de Rios em Km em Cada Ordem					TOTAL
		Ordens					
		1. ^a	2. ^a	3. ^a	4. ^a	5. ^a	
LV	A	0,14	0,50	0,74	0,23	-	1,61
	B	0,15	0,47	2,04	-	-	2,66
	C	0,17	0,38	0,91	0,37	-	1,83
TOTAL		0,46	1,35	3,69	0,60	-	6,10
PVL	D	0,14	0,23	0,53	0,95	-	1,85
	E	0,14	0,28	0,49	0,90	1,77	3,58
	F	0,11	0,25	0,45	0,55	-	1,36
TOTAL		0,39	0,76	1,47	2,40	1,77	6,79
Li-gr	G	0,20	0,45	0,87	1,58	-	3,10
	H	0,20	0,45	0,78	1,40	-	2,83
	I	0,18	0,29	0,72	1,39	0,05	2,63
TOTAL		0,58	1,19	2,37	4,37	0,05	8,56

TABELA 11. Características Quantitativas dos Padrões de Drenagem e as Classes de Textura Topográfica das Amostras Circulares Representativas das Unidades de solo.

Características Quantitativas Observadas	LV			PVL			Li-gr		
	A m o s t r a s			C i r c u l a r e s					
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Frequência de rios (Fc)	23,20	15,30	17,40	35,00	36,00	32,30	18,00	17,20	22,00
Média (Fcm)		18,63			34,43			19,07	
Erro Padrão da Média		$\pm 2,36$			$\pm 1,11$			$\pm 1,48$	
Densidade de drenagem (Ddc)	5,20	3,98	4,47	6,45	6,82	5,13	4,95	4,953	5,28
Média (DdcM)		4,55			6,13			5,06	
Erro Padrão da Média		$\pm 0,35$			$\pm 0,51$			$\pm 0,13$	
Razão de Textura (Tc)	20,75	13,69	15,56	31,31	32,20	28,89	16,10	15,38	19,68
Média (Tcm)		16,67			30,80			17,05	
Erro Padrão da Média		$\pm 2,11$			$\pm 0,99$			$\pm 1,33$	
Razão de Textura Média (Tmc)		16,67			30,80			17,05	
Classe de Textura Topográfica		Média			Média			Média	
Comprimento Médio de rios (Imc)	0,224	0,260	0,257	0,184	0,189	0,159	0,275	0,288	0,240
Média		0,247			0,177			0,268	
Erro Padrão da Média		$\pm 0,01$			$\pm 0,01$			$\pm 0,02$	

TABELA 12. Resultados do teste de Kruskal-Wallis e das comparações múltiplas aplicadas às bacias hidrográficas das unidades de solo em estudo.

Características	$\frac{H}{\alpha^*}$	Comparações múltiplas		Interpretação
		Confronto	$ R_i - R_j $	
Densidade de drenagem	5,600	S_1 vs S_2	15	$S_1 \neq S_2$ a um nível de 6,7%
		S_1 vs S_3	03	S_1 não difere de S_3
		S_2 vs S_3	12	S_2 não difere de S_3
Frequência de rios	5,422	S_1 vs S_2	14	S_1 não difere de S_2
		S_1 vs S_3	01	S_1 não difere de S_3
		S_2 vs S_3	13	S_2 não difere de S_3
Razão de textura	6,489	S_1 vs S_2	10	S_1 não difere de S_2
		S_1 vs S_3	07	S_1 não difere de S_3
		S_2 vs S_3	17	$S_2 \neq S_3$ a um nível de 1,1%
Comprimento médio de rios	5,422	S_1 vs S_2	14	S_1 não difere de S_2
		S_1 vs S_3	01	S_1 não difere de S_3
		S_2 vs S_3	13	S_2 não difere de S_3

S_1 = Latossolo Vermelho-Amarelo Orto (LV)

S_2 = Podzólico Vermelho-Amarelo "intergrade" para Latossolo Vermelho-Amarelo (pVL)

S_3 = Litossolo fase substrato granito-gnaiss (Li-gr)

α^* = Nível mínimo de significância = a menor probabilidade de se rejeitar H_0 , dado que H_0 é verdadeiro

TABELA 13. Resultados do teste Kruskal-Wallis e das comparações múltiplas aplicadas às amostras circulares representativas das unidades de solo em estudo.

Características	Kruskal-Wallis H	α^*	Comparações múltiplas		Interpretação
			confronto	$R_i - R_j$	
Densidade de drenagem	3,822	0,196	S_1 vs S_2	13	S_1 não difere de S_2
			S_1 vs S_3	05	S_1 não difere de S_3
			S_2 vs S_3	08	S_2 não difere de S_3
Frequência de rios	5,422	0,100	S_1 vs S_2	14	S_1 não difere de S_2
			S_1 vs S_3	01	S_1 não difere de S_3
			S_2 vs S_3	13	S_2 não difere de S_3
Razão de textura	5,422	0,100	S_1 vs S_2	14	S_1 não difere de S_2
			S_1 vs S_3	01	S_1 não difere de S_3
			S_2 vs S_3	13	S_2 não difere de S_3
Comprimento médio dos rios	5,956	0,025	S_1 vs S_2	11	S_1 não difere de S_2
			S_1 vs S_3	05	S_1 não difere de S_3
			S_2 vs S_3	16	S_2 não difere de S_3
				0,029	S_2 não difere de S_3 a um nível de 2%

S_1 = Latossolo Vermelho-Amarelo Orto (LV)

S_2 = Podzólico Vermelho-Amarelo "intergrade" para Latossolo Vermelho-Amarelo (PVL)

S_3 = Litossolo fase substrato granito-gnaiss (Li-gr)

α^* = Nível mínimo de significância = a menor probabilidade de se rejeitar H_0 , dado que H_0 é verdadeiro.

TABELA 14 - Resultados do teste de Kendall aplicado às bacias hidrográficas, correlacionando os índices: 1) frequência de rios; 2) densidade de drenagem; 3) razão de textura e 4) comprimento médio de rios.

Características Correlacionadas		K	α^*	$\bar{r}$	d	Interpretação
1	vs 2	30	0,006	0,667	$\pm 0,338$	existe correlação positiva a um nível mínimo de significância de 0,6%
1	vs 3	30	0,006	0,667	$\pm 0,153$	existe correlação positiva a um nível mínimo de significância de 0,6%
1	vs 4	01	0,001	-0,944	$\pm 0,137$	existe correlação negativa a um nível mínimo de significância de 0,1%
2	vs 3	28	0,022	0,556	$\pm 0,367$	existe correlação positiva a um nível mínimo de significância de 2,2%
2	vs 4	07	0,012	-0,611	$\pm 0,272$	existe correlação negativa a um nível mínimo de significância de 1,2%
3	vs 4	07	0,012	-0,611	$\pm 0,224$	existe correlação negativa a um nível mínimo de significância de 1,2%

* α = estimativa do coeficiente de correlação

d = desvio padrão de $\bar{r}$

TABELA 15. Resultados do teste de Kendall aplicado às amostras circulares, correlacionando os índices:
1) frequência de rios; 2) densidade de drenagem; 3) razão de textura e 4) comprimento médio de rios.

Características Correlacionadas	K	α^*	$\bar{r}$	d	Interpretação
1 vs 2	31	0,003	0,722	$\pm 0,265$	existe correlação positiva a um nível mínimo de significância de 0,3%
1 vs 3	36	0,000	1,000	$\pm 0,000$	existe correlação positiva a um nível mínimo de significância de 0,0%
1 vs 4	06	0,006	- 0,667	$\pm 0,153$	existe correlação negativa a um nível mínimo de significância de 0,6%
2 vs 3	31	0,003	0,722	$\pm 0,265$	existe correlação positiva a um nível mínimo de significância de 0,3%
2 vs 4	11	0,090	- 0,389	$\pm 0,175$	existe correlação negativa a um nível mínimo de significância de 9,0%
3 vs 4	06	0,006	- 0,667	$\pm 0,153$	existe correlação negativa a um nível de significância de 0,6%

$\bar{r}$ = estimativa do coeficiente de correlação

d = desvio padrão de $\bar{r}$

TABELA 16. Estimativa da amplitude das médias, comparando bacias hidrográficas e amostras circulares.

Características Quantitativas	Sistema de Amostragem	Variação das Médias (%)		
		Unidades de Solo		
		LV	PVL	Li-gr
Densidade de drenagem	Bacias hidrográficas	0,09	0,01	0,13
	Amostras circulares	0,08	0,08	0,03
Frequência de rios	Bacias hidrográficas	0,13	0,05	0,24
	Amostras circulares	0,13	0,03	0,08
Razão de Textura	Bacias hidrográficas	0,13	0,04	0,15
	Amostras circulares	0,13	0,03	0,08
Comprimento Médio de rios	Bacias hidrográficas	0,03	0,00	0,12
	Amostras circulares	0,04	0,07	0,07

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 Características das Bacias Hidrográficas

5.1.1 Propriedades dimensionais e semelhança geométrica

O estudo fotointerpretativo dos padrões de drenagem, visando o reconhecimento e a separação de solos com propriedades morfogenéticas diferentes entre si, foi conduzido, no presente trabalho, apoiado nas premissas estabelecidas por FROST (1960), de que a cada tipo de solo corresponde uma imagem fotográfica característica.

O estudo fotointerpretativo de redes de drenagem em bacias hidrográficas implica, em princípio, na verificação da influência da relação infiltração/deflúvio, indicadora da resistência dos materiais presente, segundo LUEDER (1959), ou da capacidade de infiltração e da resistência do solo à erosão, segundo HORTON (1945).

No presente estudo, padronizou-se a ordem de ramificação de todas as bacias selecionadas. Foram utilizadas bacias hidrográficas de 3ª ordem para a obtenção dos resultados, tendo em vista a observação de PARVIS (1950) de que, à medida que aumenta a ordem de ramificação, o rio escava mais profundamente o seu vale abaixo da profundidade efetiva do solo, atingindo o substrato rochoso e permitindo dessa maneira inferências fotointerpretativas mais relacionadas com o substrato do que com o solo propriamente dito. Essas inferências podem mostrar diferenças litológicas ou influências de controles estruturais.

Apoiando-se nessa observação de Parvis, SMITH (1950), STRAHLER (1952), SCHUMM (1956), FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), GEVAERD (1974), SOUZA (1975), GEVAERD (1976), FREIRE (1977), CARVALHO (1977), POLITANO (1980), CARVALHO (1981) e MANECHINI (1981) utilizaram para estudos de solos, pequenas bacias de mesma ordem de ramificação, tendo em vista que HORTON (1945), SMITH (1950) e FRANÇA (1968) demonstraram que as redes de drenagem apresentam modificações na sua composição e características, de acordo com a ordem de ramificação.

Os dados da TABELA 2 evidenciam as diferenças no tamanho de área das bacias e conformação, refletidas através dos parâmetros maior comprimento e maior largura. Com relação ao comprimento de rios, pode-se observar claramente uma diferença de drenagem entre as unidades de solo estudadas, pois para valores semelhantes de comprimento total da rede correspondem diferentes valores de comprimento do rio principal.

O teste de semelhança geométrica aplicado às bacias hidrográficas, mostrado na TABELA 3, reflete maior grau de homogeneidade de solo para a unidade PVL. Observa-se que a diferença de razão quadrática apresentou uma amplitude entre 0,035 e 0,435. Os valores que ultrapassaram a esse intervalo foram desprezados, considerando-se que, teoricamente, quanto me

nor a diferença de razão quadrática, maior será a semelhança entre as bacias hidrográficas consideradas na análise.

5.1.2 Análise do número de segmentos de rios

Segundo a Lei de Horton modificada por Strahler, os números de segmentos de rios de cada ordem formam uma série geométrica inversa àquela do número de ordem, como pode se constatar na TABELA 4, para a unidade de solo LV, o que concorda com FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969) e outros autores que estudaram a aplicação da Lei em solos.

Os resultados apresentados na TABELA 4 mostram ainda que o número de segmentos de rios das diversas ordens refletem as diferenças entre as unidades de solo, conforme preconizado por HORTON (1945), STRAHLER (1957), FRANÇA (1968) e outros autores.

No caso de LV, a textura média e estrutura granular do horizonte A permitem uma infiltração das águas pluviais que, atingindo o horizonte B argiloso com estrutura em blocos subangulares, tornam-se responsáveis pela formação de canais (vales). Como o relevo é acidentado a montanhoso, resulta para este tipo de solo um grande número de canais de 1.^a ordem e com grande extensão, o que pode ser constatado pelo exame da FIGURA 1.

No caso de Li-gr, a pequena profundidade, a capacidade de infiltração e a presença de rocha, refletem em sua permeabilidade. Ocorrendo também em relevos acidentado a montanhoso, a relação infiltração/deflúvio torna-se maior em relação à LV. Possui menor número de rios e menos extensos, conforme pode-se verificar na FIGURA 3, representativa dessa unidade de solo.

Apesar da unidade PVL possuir horizonte B textural, o fato de ser muito profundo e possuir horizonte B com textura mais argilosa, confere a esta unidade, valores intermediários para número de rios, quando comparada com as outras

unidades estudadas, conforme pode-se verificar na FIGURA 2.

5.1.3 Análise dos comprimentos de rios

A análise dos dados da TABELA 5, onde estão apresentados os valores de comprimentos de segmentos de rios, deve ser apoiada na observação das FIGURAS 1, 2 e 3 onde estão representadas as bacias e de acordo com o que se discutiu na análise de número de segmentos. Isso porque o comprimento total de segmentos de rios, como um dado isolado, não reflete as condições hidrológicas dos solos, segundo CARVALHO (1977).

As unidades de solo estudadas apresentam diferenças acentuadas quanto ao número de rios, o que não ocorre com relação aos comprimentos totais e médios para cada bacia ou cada ordem de ramificação. A unidade de solo LV apresenta maior número de segmentos de rios e de maior extensão, enquanto que a unidade Li-gr apresenta menor número de segmentos de rios e com menor extensão, fazendo com que essas duas variáveis não se compensem numa análise de valores totais ou de médias ponderadas em cada ordem.

Observando-se os valores de média ponderada dos comprimentos totais de segmentos de rios, ainda na TABELA 5, pode-se constatar que a Lei dos comprimentos de rios de Strahler, não é obedecida com a mesma aproximação que a Lei dos números de rios. Isso leva a admitir que o comprimento total de rios é um parâmetro que, isolado, não reflete as condições hidrológicas das unidades de solo.

Os comprimentos médios de rios, obtidos pela soma dos comprimentos de rios de cada ordem dividida pelo número de segmentos da respectiva ordem, estão na TABELA 6. Observando os valores de média ponderada obtidos pode-se constatar que elas também se relacionam ao comportamento hidrológico, diferenciando as unidades de solo, quando analisado

conjuntamente com os outros parâmetros.

Os solos da unidade LV apresentam maior número de segmentos de rios e maior comprimento, principalmente nos segmentos da Bacia I, resultando valores de comprimentos médios mais elevados, o que parece estar associado ao relevo, à capacidade de infiltração e à resistência do solo à erosão.

5.1.4 Características dos padrões de drenagem

5.1.4.1 Características descritivas

A análise descritiva do padrão de drenagem, conduzida de acordo com os elementos propostos por PARVIS (1950) e LUEDER (1959), mostrou-se útil por abordar alguns aspectos que a análise quantitativa desenvolvida por HORTON (1945), SMITH (1950) e STRAHLER (1957) não considera, ao menos expressamente.

O padrão de drenagem é o resultado do trabalho das águas que atingem, penetram e se escoam pela superfície do terreno. A TABELA 7 mostra as características descritivas do padrão de drenagem das unidades de solo segundo LUEDER (1959) e o tipo segundo PARVIS (1950). Através dela pode-se observar uma diferenciação entre as unidades de solo.

As características do padrão de drenagem da unidade LV apresentam um grau de integração médio, assim como uma média densidade de drenagem que, aliados à orientação de seus canais e ao alto grau de controle, explica sua relação infiltração/deflúvio, já comentada anteriormente, enquanto que o relevo e declividade conferem um grau de uniformidade pouco uniforme, angularidade alta e ângulos de junção agudos e retos. O tipo ou modelo do padrão é dendrítico-paralelo.

A unidade de solo PVL apresenta um alto grau

de integração e alta densidade de drenagem. O tipo ou modelo do padrão é dendrítico, principalmente nas partes mais elevadas do relevo, onde os rios se distribuem sem direção preferencial, refletindo as características do perfil, enquanto que nas partes mais baixas do relevo os rios de ordens mais elevadas apresentam alguma orientação, um certo grau de controle, angularidade moderada e ângulos de junção agudos, possivelmente indicando que estão correndo sobre a rocha. Essas características refletem a presença de um controle litológico que também define a unidade de solo, porque ela é constituída por um solo "intergrade" que inclui solos profundos a moderadamente profundos.

A unidade de solo Li-gr apresenta um grau de integração médio e média densidade de drenagem, refletindo sua alta relação infiltração/deflúvio que, associados à declividade e permeabilidade, conferem um tipo ou modelo de drenagem sub-paralelo não uniforme. O padrão de drenagem é orientado, apresentando alto grau de controle, moderada angularidade com ângulos de junção retos, ocasionalmente agudos. Essas características associadas ao tipo e extensão dos rios, levam a crer que a rede de drenagem dessa unidade de solo está sujeita a um controle estrutural. Com a diminuição da profundidade do perfil, pela própria posição no relevo, os rios sofrem um controle estrutural da rocha subjacente que apresenta diáclases longitudinais, as quais determinam a direção preferencial e extensão dos rios de 2.^a e 3.^a ordens, o que concorda com as observações feitas por PARVIS (1950) e LUEDER (1959).

5.1.4.2 Características quantitativas

Alguns autores, estudando os parâmetros, densidade de drenagem, frequência de rios e razão de textura das redes de drenagem, relacionando-os com os materiais subjacentes (rochas ou solos), obtiveram conclusões muito gerais

sobre os fatores responsáveis pelo desenvolvimento das redes, tais como: permeabilidade e resistência à erosão e relação infiltração/deflúvio. O fato desses autores terem trabalhado com bacias de elevadas ordens de ramificação, possivelmente com a inclusão de outros materiais (rochas ou solos), leva a crer que essa seja a razão de seus resultados não terem sido tão consistentes, como argumenta CARVALHO (1977).

Observando-se a TABELA 8 pode-se constatar que os parâmetros estudados forneceram índices que mostram uma diferenciação entre as unidades LV, PVL e Li-gr, indicando uma relativa proximidade para LV e Li-gr.

A frequência de rios, relacionando o número total de rios com a área, mostrou-se um dado consistente, evidenciando uma real diferença entre as três unidades; o mesmo ocorreu com a densidade de drenagem, que relaciona comprimento total de rios com a área da bacia hidrográfica. Os resultados obtidos concordam com a sugestão de HORTON (1945), no sentido de se utilizar a frequência de rios e a densidade de drenagem com a finalidade de caracterizar quantitativamente as redes de drenagem de bacias hidrográficas; pois estas duas características relacionam a composição da rede (comprimento total e número de segmentos de rios) à área da bacia.

Como já foi observado através da TABELA 5, os comprimentos totais de rios não permitiram uma nítida distinção entre as unidades de solo, sendo que o mesmo não ocorreu quando eles foram relacionados com as áreas das bacias, isto é, através de sua densidade de drenagem, resultando para a unidade LV num valor médio de 24,25; para PVL 34,64 e para a unidade Li-gr um valor médio de 26,80, devido aos processos de formação.

Os valores obtidos para a razão de textura mostraram uma boa diferenciação entre a unidade PVL e as outras unidades estudadas. O valor da razão de textura média para a unidade PVL foi de 6,45, o que permite classificá-la como pertencente à classe textural topográfica final; para a unidade LV

um valor de razão de textura média igual a 5,01, o que a classifica como pertencente à classe de textura topográfica média e para a unidade Li-gr um valor de razão de textura média igual a 3,48, o que a classifica também como pertencente à classe de textura topográfica média.

5.2 Características das Amostras Circulares

5.2.1 Representação gráfica

A uniformização da amostra circular, no presente trabalho, indicativas das unidades de solo LV, PVL e Li-gr, estão representados nas FIGURAS 4 a 12. Observando-se as figuras mencionadas, pode-se constatar a diferenciação hidrológica das unidades de solo.

5.2.2 Características dimensionais

A TABELA 9 apresenta o número e o comprimento de segmentos de rios, obtidos em cada ordem de ramificação, para as três unidades de solo.

Observando-se os valores obtidos para número de segmentos de rios, percebe-se que os mesmos refletem uma boa diferenciação hidrológica entre os solos, pois enquanto na unidade PVL aparecem grande número de rios e até de 5.^a ordem, a amostra B, pertencente à unidade LV, deixou de apresentar rios de 4.^a ordem, como mostra a FIGURA 5.

Com relação a comprimento de rios, os resultados obtidos a partir de amostras circulares foram bastante diferenciados para as três unidades, mostrando-se mais consistentes que os obtidos para as bacias hidrográficas, principalmente quando se analisa em valores totais.

A TABELA 10 apresenta os comprimentos médios de segmentos de rios obtidos em amostras circulares, de

mostrando que, para as unidades PVL e Li-gr os valores totais das ordens sugerem uma boa amostragem, obedecendo de certa forma à Lei de Horton, enquanto que o mesmo não ocorreu com a unidade LV.

5.2.3 Características dos padrões de drenagem

As características quantitativas dos padrões de drenagem obtidas através de amostras circulares, que constam na TABELA 11, evidenciaram as diferenças entre as unidades de solo estudadas, destacando o PVL, o que concorda com FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), KOFFLER (1976a), FREIRE (1977), CARVALHO (1977 e 1981).

Os valores obtidos para razão de textura não mostraram diferenciação entre as unidades de solo estudadas, o que resultou numa mesma classificação da classe de textura topográfica, discordando de MANECHINI (1981) que concluiu ser a razão de textura o melhor índice para a diferenciação entre Latossolo e Solos Podzólicos.

5.3 Comparação entre Bacias Hidrográficas e Amostras Circulares

As TABELAS 8 e 11 apresentam as características quantitativas dos padrões de drenagem e as classes de textura topográficas das bacias hidrográficas e amostras circulares, respectivamente. Num estudo comparativo entre as duas tabelas pode-se constatar que, para a unidade PVL houve uma melhor diferenciação, nos dois tipos de amostragem, mostrando uma ligeira superioridade para bacias hidrográficas.

Como já foi discutido, o índice razão de textura não levou à uma diferenciação da classe de textura topográfica para as amostras circulares, fato contrário às bacias hidrográficas, provavelmente devido ao fato das amostras te-

rem, em virtude da área de ocorrência dos solos, sobrepostas parcialmente uma sobre as outras e também abrangido apenas parte dos rios de 4.^a e 5.^a ordens, mascarando assim o seu efeito.

As razões de textura média obtidas a partir de bacias hidrográficas definem a unidade PVL como pertencente à classe de textura topográfica fina e as unidades LV e Li-gr, à classe de textura topográfica média; e através de amostras circulares essas unidades de solo foram enquadradas na classe média de textura topográfica. Levando em consideração que os coeficientes de variação foram menores nas bacias hidrográficas, pode-se aceitar que na definição das classes de textura topográfica a bacia hidrográfica mostrou-se mais sensível para classificar a textura topográfica da unidade PVL.

Para a comparação dos sistemas de amostragem, foram utilizados os erro padrão das médias, determinadas de acordo com PIMENTEL GOMES (1963). De uma maneira geral, todas as características quantitativas estudadas, com exceção do comprimento médio dos canais, apresentaram menor taxa de dispersão das médias no sistema de bacias hidrográficas, o que indica maior constância para os resultados obtidos por esse tipo de amostragem.

Houve maior concentração dos dados de comprimento médio de canais em amostras circulares do que em bacias hidrográficas, para as unidades de solo. O motivo dessa concentração foi, basicamente, o mesmo já citado nos ítems anteriores, ou seja, o tamanho da amostra que, devido à área de ocorrência dos solos, sobrepos parcialmente as amostras, mascarando o comprimento e número de segmento de rios.

Com relação à facilidade de utilização e à consistência dos resultados obtidos em bacias hidrográficas, a discussão dos tópicos anteriores permite estabelecer relação entre os dados obtidos nesta pesquisa com as conclusões de outros estudos que se utilizaram desse tipo de amostragem, entre os quais podem ser citados os de FRANÇA (1968), SOUZA

(1975), KOFFLER (1976a, 1976b), FREIRE (1977), CARVALHO (1977), NOGUEIRA (1979), POLITANO (1980) e MENECHINI (1981).

5.4 Análise Estatística

5.4.1 Teste de Kruskal-Wallis

As características quantitativas das bacias hidrográficas em estudo, submetidas ao teste de Kruskal-Wallis e as comparações múltiplas, confirmaram a significância das diferenças entre os índices de drenagem das unidades de solo estudadas. Os testes não-paramétricos foram aplicados segundo recomendação e procedimento de CAMPOS (1979).

A taxa de erro experimental (α), TABELA 12, determinada pelas comparações múltiplas, apresentou menor valor para a característica densidade de drenagem, no confronto entre as unidades Latossolo Vermelho-Amarelo Orto e Podzólico Vermelho-Amarelo "intergrade" para Latossolo Vermelho-Amarelo. Esse fato pode ser explicado pela maior densidade e uniformidade dos canais no PVL.

O mesmo ocorreu para a característica razão de textura, no confronto entre as unidades Podzólico Vermelho-Amarelo "intergrade" para Latossolo Vermelho-Amarelo e Litossolo fase substrato granito-gnaiss, fato esse explicado pela boa permeabilidade do Li-gr e pela relação infiltração/deflúvio, já discutida anteriormente.

O teste de Kruskal-Wallis e as comparações múltiplas, TABELA 13, aplicados às características quantitativas determinadas em amostras circulares, não apresentaram limites de significância para os confrontos entre as três unidades de solo estudadas, discordando das observações de MENECHINI (1981). No presente estudo, com a padronização da área pelo sistema de amostragem circular, não ocorreram variações entre as unidades de solo com significância estatística.

Para o comprimento médio dos canais de drenagem, o teste de Kruskal-Wallis apresentou uma diferença significativa entre as unidades Podzólico Vermelho-Amarelo "intergrade" para Latossolo Vermelho-Amarelo e Litossolo fase substrato granito-gnaiss, fato esse explicado pelo maior comprimento dos canais no Li-gr, em bacias hidrográficas.

Com referência aos fatores condicionadores das variações nos índices de drenagem, significando comportamentos hidrológicos diferentes para os solos estudados, a interpretação das imagens aerofotográficas, as observações de campo e as características morfológicas forneceram os seguintes indícios:

- a pequena diferença verificada entre o Latossolo Vermelho-Amarelo Orto, com índices de drenagem pouco maiores que os do Litossolo fase substrato granito-gnaiss, aparentemente foi condicionada pela predominância de micro-agregados no primeiro, refletindo-se em média permeabilidade, combinada às condições de relevo e à maior profundidade do substrato rochoso. A interação desses fatores favorece a infiltração e percolação da água, resultando em redes de drenagem pouco uniforme;
- para o Solo Podzólico Vermelho-Amarelo "intergrade" para Latossolo Vermelho-Amarelo, a presença de um gradiente textural entre os horizontes A e B e as características do relevo local com declividades acentuadas, proporcionaram um aumento do escoamento superficial das águas e, conseqüentemente, menor infiltração, resultando em redes de drenagem mais densas;

- no Litossolo fase substrato granito-gnaiss, a menor profundidade do solo, as condições de relevo, acidentado a montanhoso, a natureza e profundidade do substrato rochoso, aparentemente levaram a um maior equilíbrio, comparativamente às outras unidades de solo, entre infiltração e de flúvio das águas superficiais, o que resultou num padrão de drenagem com características intermediárias às das outras duas unidades de solo estudadas, porém bem mais próximas das do Latossolo Vermelho-Amarelo Orito.

Essas observações estão de acordo com a constatação de ESPÍNDOLA (1977), concernente à relação inversa existente entre grau de evolução ou maturidade dos solos e valores dos índices de drenagem. Também concordam com as observações de FRANÇA (1968), para quem as variações no padrão de drenagem foram devidas à natureza e profundidade do substrato rochoso, concordando ainda com DEMÉTRIO (1977), ANGULO FILHO (1981) e MANECHINI (1981). Por outro lado, discordam em parte de SILVA (1977), que atribuiu as modificações no padrão de drenagem ao relevo e, depois, ao grau de controle estrutural e litológico.

5.4.2 Teste de correlação de Kendall

O teste de correlação de Kendall indicou a existência de correlação positiva entre as características frequência de rios, densidade de drenagem e razão de textura; e entre densidade de drenagem e razão de textura. Indicou ainda a existência de correlação negativa entre frequência de rios e comprimento médio de rios, entre densidade de drenagem e comprimento médio de rios e finalmente entre razão de textura e comprimento médio de rios, quando aplicado

às bacias hidrográficas.

Em amostras circulares, TABELA 15, o teste de correlação de Kendall indicou a existência de correlação positiva entre as características frequência de rios, densidade de drenagem e razão de textura; e entre densidade de drenagem e razão de textura. Indicou ainda a existência de correlação negativa entre frequência de rios e comprimento médio de rios, entre densidade de drenagem e comprimento médio de rios e finalmente entre razão de textura e comprimento médio de rios.

6. CONCLUSÕES

Considerando-se os objetivos deste trabalho, as condições específicas sob as quais foi conduzido, os resultados obtidos e interpretados com a metodologia utilizada permitem as seguintes conclusões:

- a análise quantitativa dos padrões de drenagem mostrou-se eficiente para a diferenciação entre os solos morfogeneticamente distintos, com significância estatística.
- os parâmetros: número, comprimento total e comprimento médio de segmentos de rios correlacionados com a ordem de ramificação de bacias hidrográficas de 3.^a ordem foram sensíveis para diferenciar as unidades de solo;
- mudanças nas características qualitativas do padrão de drenagem refletem um controle geológico (litológico e/ou estrutural);
- os parâmetros que definem o padrão de drenagem mostraram-se significativos para diferenciar as três unidades de solo, nos dois tipos de amostragem; sendo que, a bacia hidrográfica evidenciou melhores resultados, quando comparada às amostras circulares;

- os parâmetros que diferenciaram o padrão de drenagem mostraram melhores resultados para a unidade PVL do que para as unidades LV e Li-gr, independente do tipo de amostragem;
- em bacias hidrográficas, a razão de textura foi o índice mais eficiente para a diferenciação dos solos, seguida pela densidade de drenagem, frequência de rios e comprimento médio de rios, enquanto que em amostras circulares, apresentaram-se na seguinte ordem decrescente de eficiência: comprimento médio de rios, frequência de rios, razão de textura e densidade de drenagem;
- as modificações no padrão de drenagem foram devidas à natureza e às propriedades dos solos estudados, às características e profundidade do substrato rochoso e às condições locais do relevo.

SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS

Considerando-se a experiência adquirida na realização deste trabalho, sugere-se o prosseguimento dessa linha de pesquisa, diminuindo a área da amostra circular para 5 km^2 , na tentativa de determinar um melhor nível de distinção entre as unidades de solo detectadas através da fotointerpretação, visando o aperfeiçoamento dos métodos de amostragem, medição e análise.

7. BIBLIOGRAFIA CITADA

- AB'SABER, A.N., 1960. Sensibilidade das Fotografias Aéreas em Zonas Tropicais Úmidas para Efeito de Fotointerpretação. *Notícia Geomorfológica*, Campinas, 3 (6):67-72, agosto.
- ANDERSON, H. W., 1957. Relating Sediment Yield to Watershed Variables. *Trans. Amer. Geophys. Un.* Washington, 38:921-924.
- ANGULO FILHO, R., 1981. Variações de Características de Redes de Drenagem em Função das Fotografias Aéreas Verticais Obtidas em Épocas Diferentes. Piracicaba, ESALQ/USP, 128p. (Dissertação de Mestrado).
- AUDI, R., 1972. Fotointerpretação de Atributos dos Canais de Drenagem em Solos da Região Noroeste do Estado de São Paulo. Piracicaba, ESALQ/USP, 182p. (Tese de Doutorado).
- AVERY, T.E., 1968. *Interpretation of Aerial Photographs*. Burgess Publishing Company. Minneapolis. 319p.
- BOMBERGER, E.H. e H.W. DILL JÚNIOR. 1960. Photointerpretation in agriculture. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of Photographic Interpretation*. Am. Soc. of Photogrammetry. Washington, Chap. 11, p. 561-632.

- BURINGH, P., 1960. The applications of aerial photographs in soil surveys. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of Photographic Interpretation*. Washington, Chap. 11, appendix A, p. 633-666.
- CAMARGO, J.C.G., S. dos A.F. PINTO e H. TROPPEMAIR, 1972. Estudo fitogeográfico e ecológico da bacia hidrográfica paulista do Rio da Ribeira. *Biogeografia*. São Paulo, 5:1-33.
- CAMPOS, H., 1979. *Estatística Experimental Não-Paramétrica*. 3ª ed. Departamento de Matemática e Estatística. Piracicaba, ESALQ/USP, 343p.
- CARVALHO, W.A., 1977. Fotointerpretação de Bacias Hidrográficas e Amostras Circulares de Redes de Drenagem de Solos com Horizonte B Textural. Piracicaba, ESALQ/USP, 126p. (Tese de Doutorado).
- CARVALHO, W.A., G.C.R. PIEDADE, A.M. DE CARVALHO e I.M. DENADA, 1980. Relação entre Distribuição de Solos e Semelhança Geométrica de Bacias de Drenagem no Município de Botucatu, SP. *Rev. Bras. Cien. Solo*. Campinas, 4(2):110-114.
- CARVALHO, W.A., 1981. Relações entre Relevo e Solos da Bacia do Rio Capivara-Município de Botucatu, SP. Botucatu, FCAB/UNESP, 193p. (Tese de Livre-Docência).
- CHRISTOFOLETTI, A. e A.L. CESAR, 1978. Correlação entre Densidade de Drenagem e Comprimento Médio de Canais em Bacias Hidrográficas. *Ciência e Cultura*. São Paulo, 5:601-604.
- COLWELL, R.N., 1952. Photographic interpretation for civil purposes. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of Photogrammetry*. Washington, 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*. MacGraw-Hill Book Co. Inc.. New York, p. 373-385.

- CURTIS, L.F., J.C. DOORNKAMP e K.J. GREGORY, 1965. The description of relief in field studies of soil. *Jour. Soil. Sci.* Oxford, 16:16-30.
- DEMÉTRIO, V.A., 1977. Variação de Características de Redes de Drenagem em Função da Escala das Fotografias Aéreas Verticais. Piracicaba, ESALQ/USP. 107p. (Dissertação de Mestrado).
- ESPÍNDOLA, C.R., 1977. Relações entre os Solos e Elementos da Paisagem na Zona do Baixo Rio do Peixe (Região de Conchas-Anhembi, SP). Piracicaba, ESALQ/USP, 113p. (Dissertação de Mestrado).
- FADEL, H., 1972. Fotointerpretação de Bacias e de 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. de, 1968. Interpretação Fotográfica de Bacias e de Redes de Drenagem Aplicada a Solos da Região de Piracicaba. Piracicaba, ESALQ/USP, 151p. (Tese de Doutorado).
- FREIRE, J.C., 1977. Fotointerpretação de Redes de Drenagem de Três Solos da Região de Altinópolis, Minas Gerais. Piracicaba, ESALQ/USP, 136p. (Tese de Doutorado).
- FROST, R.E., 1960. Photointerpretation of Soils. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of Photographic Interpretation*. Washington, Chap. 5, p. 343 - 402.
- GARCIA, G. J., 1975. Fotointerpretação Comparativa de Fotografias Pancromáticas, Coloridas e Infravermelhas Coloridas (Falsa Cor). Piracicaba, ESALQ/USP, 111p. (Tese de Doutorado).
- GARCIA, G.J., 1979. Técnicas de Sensoriamento Remoto na Avaliação do Potencial do Uso de Regiões de Cerrado. Botucatu, FCAB/UNESP, 135p. (Tese de Livre Docência).

- GARCIA, G.J. e C.R. ESPÍNDOLA, 1980. Estudo sobre o tamanho da amostra circular na quantificação da rede de drenagem. *Engenharia Agrícola*. Botucatu, S.P., 4: 5 - 11.
- GEVAERD, I., 1974. Parâmetros Fotoanalíticos de Três Unidades de Solo da Região Nordeste Paranaense. Piracicaba, ESALQ/USP, 110p. (Dissertação de Mestrado).
- GEVAERD, I., 1976. Identificação dos Fatores Determinantes das Características Placo-Hipsométricas de Três Unidades de Solo da Região Nordeste Paranaense. Piracicaba, ESALQ/USP, 63p. (Tese de Doutorado).
- GOOSEN, D., 1968. *Interpretation de Fotos Aereas y Su Importancia en Levantamiento de Suelos*. Organizacion de Las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion. Roma. 58p. (Boletim sobre Suelos n. 6).
- GUNN, R.H., 1955. The use of aerial photography in soil survey and mapping in the Sudan. *Soils Fertil.* Harpenden, 18: 104 - 106.
- HORTON, R.E., 1945. Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins: Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. *Bul. Geol. Soc. Amer.* Colorado, 56: 275 - 370.
- HOWE, R.H.L., 1960. The application of aerial photographic interpretation to the investigation of hidrology problems. *Photogramm. Engng.* Washington, 26: 85 - 95.
- KOFFLER, N.F., 1976a. Utilização de imagens aerofotográficas e orbitais no estudo do padrão de drenagem em solos originados de arenito Bauru. São José dos Campos. INPE, 150 p. (Tese de Mestrado).
- KOFFLER, N.F., 1976 b. *Análise Aerofotográfica da Influência da Área de Amostragem Circular na Caracterização Quantitativa do Padrão Drenagem*. São José dos Campos, S.P., INPE, 20p.

- LEÃO, S.R.F., 1972. 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*. McGraw-Hill Book Co. Inc. New York, 462p.
- MANECHINI, C., 1981. Utilização de Fotografias Aéreas na Comparação de Sistemas de Amostragem e Estudo das Redes de Drenagem de Três Solos da Região de Tambaú-SP. Piracicaba, ESALQ/USP., 133p. (Dissertação de Mestrado).
- MARCHETTI, D.A.B., 1969. Fotointerpretação de Atributos de Relevo Aplicada a Solos da Região de Piracicaba. Piracicaba, ESALQ/USP, 58p. (Tese de Doutorado).
- MARQUES, J.Q.A., 1971. *Manual Brasileiro Para Levantamento da Capacidade de Uso da Terra*. Rio de Janeiro, Escritório Técnico Brasil-Estados Unidos. 433p.
- MAXWELL, J.C., 1955. The Bifurcação Ratio in Horton's Law of Stream Numbers (abstract). *Trans. Amer. Geophys. Union*. New Haven, 36: 520 (Resumo)
- NOGUEIRA, F. de P., 1979. Utilização de Fotografias Aéreas em Três Escalas no Estudo de Redes de Drenagem em Diferentes Unidades de Solo. Piracicaba, ESALQ/USP, 110p. (Dissertação de Mestrado).
- PARVIS, M., 1950. Drainage Pattern Significance in Airphoto Identification of Soils and Bedrocks. *Photogrammetric Engineering*. Washington, 16 (3): 387-408.
- PASTO, F.K., 1953. Soil mapping by stereoscopic interpretation of airphotos. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* Madison, 17: 135-138.

- PIEDADE, G.C.R., 1980. Evolução de Voçorocas em Bacias Hidrográficas do Município de Botucatu, SP. Botucatu, FCAB/UNESP, 161p. (Tese de Livre-Docência).
- PFEIFFER, R.M., 1981/82. Levantamento Semidetalhado dos Solos do Parque Estadual da Ilha do Cardoso, SP., *Silvicultura em São Paulo*, São Paulo. 15/16:91-115.
- 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).
- QUACKENBUSH, R.S., 1960. Development of photo interpretation. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of Photographic Interpretation*. American Society of Photogrammetry, Washington, p.99-168.
- QUEIROZ NETO, J.P. de, 1969. Interpretação dos Solos da Serra Santana para fins de Classificação. Piracicaba ESALQ/USP, 135p. (Tese de Doutorado).
- RABBEN, E.L., 1960. Fundamentals of Photo-Interpretation. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of Photographic Interpretation*. Washington, Chap. 3, p.99-168.
- RABBEN, E.L., E.L. CHALMERS JÚNIOR, E. MANLEY e J. PICKNP, 1960. Fundamentals of photointerpretation. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of Photographic Interpretation*. Washington, Chap. 3, p. 99-168.
- RAMALHO, R. e J.E.P. HAUSEN, 1971. *Mapa Geomorfológico - Escala 1:50.000*. São Paulo, CPRM. v. 8, anexo 8, pt. 1. Folha SG. 23-V-C-1-1- Cananéia. (Projeto SUDELPA, Relatório Final - Geomorfologia - Mapa, 19).
- RAY, R.G. e W.A. FISCHER, 1960. Quantitative Photography: A Geologic Research Tool. *Photogrammetric Engineering*. Washington, 26(1):143-150.

- RAY, R.G., 1963. Fotografias aéreas na interpretação e mapeamento geológico. *Inst. Geogr. e Geol.*, São Paulo, 88p. (Trad. de J. Felecissimo).
- RICCI, M. e S. PETRI, 1965. *Princípios de Aerofotogrametria 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. *Photogrammetric Engineering*, Washington, 17:738-741.
- SCHUMM, S.A., 1956. Evolution of Drainage Systems and Slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Bull-Geol. Soc. Amer. Colorado*, 67:597-646.
- SILVA, L.C.F., 1977. Fotointerpretação de Redes de Drenagem de dois Solos do Município de São Pedro (SP). Piracicaba, ESALQ/USP, 114p. (Dissertação de Mestrado).
- SMITH, H.T.V., 1943. *Aerial Photographs and their Applications*. New York, D. Applenton, 372p.
- SMITH, K.G., 1950. Standards for Grading Texture of Erosional Topography. *Amer. J. Sci. New Aveni*, 248:655-668.
- SOUZA, M.L.P., 1975. Fotointerpretação de 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 (área-altitude) Analysis of Erosional Topography. *Bull Geol. Soc. Amer. Colorado*, 63: 1117-1142.
- STRAHLER, A.N., 1957. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. *Transaction American Geophysical Union*. New Haven, 38:913-920.
- SUDELPA, 1975. *Relatório final-geomorfologia*. São Paulo, CPRM-SEPLAN, vol. XII, 105p., fev.

- SUMMERSON, C.H., 1954. A Philosophy for Photointerpreters. *Photogrammetric Engineering*. Washington, 20:396-397.
- TATOR, B.A., 1954. Drainage Annomalies in Coastal Plains Regions. *Photogrammetric Engineering*. Washington, 20:412-417.
- VASQUES FILHO, J., 1972. Critérios Morfométricos Aplicados à Fotointerpretação de Redes de Drenagem em Três Unidades de Solos no Município de Piracicaba. Piracicaba. ESALQ/USP, 113p. (Tese de Doutorado).
- VERA, L., 1964. Técnicas de Inventário de La Tierra Agrícola: el Proyecto aerofotogramétrico OEA/Chile. *Union Panamericana*. Washington, 136p. (Manuales Técnicos, X).
- VON ENGELN, O.D., 1942. *Geomorphology: Systematical and Regional*. The McMillan Co. New York, 655p.
- ZINKE, P.J., 1960. Photointerpretation in hidrology and watershed management. In: *Manual of Photographic Interpretation*. Am. Soc. of Photogrammetry. Washington, Chap. 10, p. 539-560.