

FOTOINTERPRETAÇÃO DE REDES DE DRENAGEM DE DOIS SOLOS DO MUNICÍPIO DE SÃO PEDRO (S.P.)

LUIZ CARLOS FERREIRA DA SILVA
Engenheiro Agrônomo - EMBRAPA

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 Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Setembro, 1977

A meus pais,

DEDICO

Ao Prof. Dr. GERALDO VICTORINO DE FRANÇA,
do Departamento de Solos e Geologia da
Escola Superior de Agricultura "Luiz de
Queiroz", por sua valiosa orientação, co-
laboração e apoio.

AGRADECIMENTOS

A *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA -*
: pelos recursos e oportunidades concedidas.

Ao Mestre em Solos e Nutrição de Plantas *Valdemar Antonio*
Demétrio, pelas sugestões prestadas.

Ao Prof. Dr. *Zilmar Ziller Marcos*, pela colaboração.

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

ÍNDICE

Página

1. RESUMO	1
2. INTRODUÇÃO	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1. Fotografias aéreas na interpretação e mapeamento de solos.	5
3.2. Estudos de bacias hidrográficas e composição de redes de drenagem	10
3.3. Padrão de Drenagem: tipos, características e significados.	23
3.4. Relações entre solos e características das redes de drenagem	26
4. MATERIAL E MÉTODOS	29
4.1. Material	29
4.1.1. Descrição geral da área de estudo	29
4.1.2. Solos	32
4.1.3. Bacias Hidrográficas	36
4.1.4. Fotografias Aéreas	36
4.1.5. Estereoscópios	36
4.1.6. Outros Materiais	37
4.2. Métodos	37
4.2.1. Escolha das fotografias aéreas	37
4.2.2. Obtenção dos mapas básicos de drenagem	38
4.2.3. Seleção das bacias hidrográficas	38
4.2.4. Análise das bacias hidrográficas	39
4.2.4.1. Propriedades dimensionais	39
4.2.4.2. Propriedades não dimensionais	40
4.2.5. Análise das redes de drenagem	40
4.2.5.1. Composição das redes de drenagem	41
4.2.5.2. Características das redes de drenagem	44
5. RESULTADOS	47
5.1. Características das bacias hidrográficas	47
5.1.1. Características não dimensionais	47
5.1.2. Características dimensionais	47
5.1.3. Análise dimensional e teste de semelhança geométrica	48

5.2. Características das amostras circulares	48
5.3. Características das redes de drenagem	48
5.3.1. Características descritivas das redes de drenagem..	48
5.3.2. Características quantitativas das redes de drenagem	49
5.3.2.1. Determinadas em bacias hidrográficas	49
5.3.2.2. Determinadas em amostras circulares	49
5.3.3. Composição das redes de drenagem	50
5.3.3.1. Análise do número de segmentos de rios ...	50
5.3.3.2. Análise da razão de ramificação (R _b)	51
5.3.3.3. Análise dos comprimentos totais de segmen- tos de rios	52
5.3.3.4. Análise da razão de comprimentos totais (R _{iW})	53
5.3.3.5. Análise dos comprimentos médios de segmen- tos de rios	53
5.3.3.6. Análise da razão de comprimentos médios (R ₁)	54
5.3.4. Comparação entre dados que expressam a composição das redes de drenagem	55
5.3.4.1. Comparação entre os valores calculados de números de segmentos de rios, comprimentos totais de segmentos de rios e comprimen- tos médios de segmentos de rios	55
5.3.4.2. Comparação entre os valores médios da ra- zão de ramificação, razão de comprimentos totais e razão de comprimentos médios	56
6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	86
6.1. Características das bacias hidrográficas	86
6.2. Características das amostras circulares	89
6.3. Características das redes de drenagem	90
6.3.1. Características descritivas das redes de drenagem...	91
6.3.2. Características quantitativas das redes de drenagem.	92

6.3.2.1. Características quantitativas determina <u>das</u> das em bacias hidrográficas	93
6.3.2.2. Características quantitativas determi- nadas em amostras circulares	95
6.3.3. Composição das redes de drenagem	96
6.3.3.1. Análise do número de segmentos de rios.	97
6.3.3.2. Análise da razão de ramificação	98
6.3.3.3. Análise dos comprimentos totais de seg- mento de rios	100
6.3.3.4. Análise da razão de comprimentos totais	101
6.3.3.5. Análise dos comprimentos médios de seg- mentos de rios	102
6.3.3.6. Análise da razão de comprimentos médios (R1)	103
6.3.4. Análise associada das razões de ramificação, de comprimentos totais e de comprimentos médios ...	103
6.3.5. Limitações do estudo	104
7. CONCLUSÕES	106
8. SUMMARY	108
9. LITERATURA CITADA	110

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Principais características das unidades de solo estudadas	35
2	Características descritivas das redes de drenagem segundo LUEDER (1959)	44
3	Classes de textura topográfica baseadas na razão de textura média, conforme proposição de SMITH (1950) e adaptação de FRANÇA (1968)	46
4	Características não dimensionais das bacias hidrográficas representativas das unidades de solos estudadas	62
5	Características dimensionais das bacias hidrográficas selecionadas	63
6	Análise dimensional e semelhança geométrica aplicada às bacias hidrográficas selecionadas	64
7	Características dimensionais das amostras circulares representativas das unidades de solo estudadas (Área = 10 Km ² ; Perímetro = 11,18 Km)	65
8	Características descritivas das redes de drenagem das unidades de solo estudadas.....	66
9	Características quantitativas do padrão de drenagem e a classe de textura topográfica das bacias hidrográficas representativas das unidades de solo estudadas	67

Tabela

Página

10	Características quantitativas do padrão de drenagem e a classe de textura topográfica das amostras circulares representativas das unidades de solo estudadas	68
11	Número de segmentos de rios observados em cada ordem, o número total e a média ponderada em relação a área para as bacias hidrográficas, em cada unidade de solo estudada	69
12	Número de segmentos de rios em cada ordem e o número total calculados para as unidades de solo estudadas	70
13	Formas assumidas pelas substituições numéricas na equação ajustada por MAXWEL (1955) ($\log N_w = \log a - \log b.w$), para os números de segmentos de rios em cada unidade de solo estudada, coeficiente de correlação (r); coeficiente de determinação (r^2) e teste t para r	71
14	Valores observados e valores médios calculados para a razão de ramificação (R_b) das bacias hidrográficas representativas das unidades de solo estudadas.....	73
15	Comprimentos totais de segmentos de rios em cada ordem, comprimento total observado em cada bacia hidrográfica e as respectivas médias ponderadas em relação à área, para as unidades de solo estudadas.....	74

Tabela

16	Comprimentos totais dos segmentos de rios em cada ordem e o comprimento total de rios nas bacias hidrográficas para cada unidade de solo, médias observadas e calculadas segundo a equação de FRANÇA(1968) e a lei de HORTON (1945)	75
17	Formas assumidas pelas substituições numéricas na equação ajustada por FRANÇA (1968) ($\log L_w = \log a - w \cdot \log b$) para os comprimentos totais de segmentos de rios em cada unidade de solo estudada; coeficiente de correlação (r); coeficiente de determinação (r^2) e teste t para r	76
18	Valores observados e valores médios calculados para a razão de comprimentos totais (R_{lw}) das redes de drenagem representativas das unidades de solo estudadas	78
19	Comprimentos médios de rios em cada ordem das bacias hidrográficas e a média dos comprimentos médios para as unidades de solo estudadas	79
20	Valores médios calculados para os comprimentos de rios (L_m) em cada ordem de ramificação das redes de drenagem das unidades de solo estudadas	80
21	Formas assumidas pelas substituições numéricas na equação de VASQUES FILHO (1972) ($\log L_m = \log a + w \cdot \log b$) para as unidades de solo estudadas, coeficiente de correlação (r); coeficiente de determinação (R^2) e teste t para r	81

Tabela

Página

22	Valores observados para a razão de comprimentos médios das redes de drenagem das bacias hidrográficas e os valores médios em cada unidade de solo estudada	83
23	Número de segmentos de rios, comprimento total de segmentos de rios e comprimento médio de segmentos de rios em cada ordem e valores totais calculados para as redes de drenagem das unidades de solos estudados	84
24	Valores médios calculados para as razões de ramificação (R_b) de comprimentos totais (R_{lw}) e de comprimentos médios (R_l) das redes de drenagem representativas das unidades de solo estudadas	85

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Divisão regional do Estado de São Paulo	31
2	Mapa esquemático da divisão climática do Estado de São Paulo	33
3	Bacias hidrográficas representativas da unidade de mapeamento Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos variação Laras	58
4	Bacias hidrográficas representativas da unidade de mapeamento Regossol "intergrade" para Latossol Vermelho-Amarelo e Regossol "intergrade" para Podzólico Vermelho-Amarelo	59
5	Amostras circulares representativas da unidade de mapeamento Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos variação Laras	60
6	Amostras circulares representativas da unidade de mapeamento Regossol "intergrade" para Latossol Vermelho-Amarelo e Regossol "intergrade" para Podzólico Vermelho-Amarelo	61
7	Regressão do número de segmentos de rios sobre as ordens de ramificação das bacias hidrográficas, para as unidades de solos estudadas	72

Figura

Página

8	Regressão da soma dos comprimentos de segmentos de rios sobre as ordens de ramificação para as unidades de solos estudadas	77
9	Regressão dos comprimentos médios de segmentos de rios sobre as ordens de ramificação para as unidades de solos estudadas	82

1. RESUMO

O presente trabalho foi realizado com a finalidade de estudar, através da fotointerpretação, as diferenças na composição das redes de drenagem e nas características do padrão de drenagem, de bacias hidrográficas e amostras circulares, de duas unidades de solo originadas de arenitos da formação Botucatu, visando-se a distinção entre os dois solos.

As unidades de solo escolhidas foram mapeadas e classificadas pela antiga Comissão de Solos do Serviço Nacional de Pesquisas Agrônomicas sob as designações de Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos variação Laras (PV ls); e Regossol "intergrade" para Latossol Vermelho Amarelo e Regossol "intergrade" para Podzólico Vermelho-Amarelo (agrupamento indiscriminado RLV + RPV).

Os solos localizam-se na região fisiográfica denominada Depressão Periférica ou Palezóica, sub-região Médio Tietê, no município de São Pedro, Estado de São Paulo. O clima da região segundo Köppen é do tipo Cwa, ou seja, clima mesotérmico de inverno seco.

As unidades de solo estudadas tiveram suas redes de drenagem representadas por três bacias hidrográficas de terceira ordem selecionadas pelo princípio de semelhança geométrica, e por três amostras circulares de 10 Km².

No tocante à composição das redes de drenagem, foi feita a análise do número, comprimento total e comprimento médio de segmentos de rios, bem como das razões de ramificação, de comprimentos totais e de comprimentos médios, determinadas em bacias hidrográficas.

Com relação às características quantitativas, foram estudadas: densidade de drenagem, frequência de rios, razão de textura e a classe de textura topográfica, determinadas tanto em bacias hidrográficas como em amostras circulares.

A análise, comparação e discussão dos resultados obtidos permitiu a seguinte conclusão principal:

Todas as características quantitativas das redes de drenagem, isoladamente ou em conjunto, permitem a distinção das unidades de solo, tanto em bacias hidrográficas como nas amostras circulares sendo que estas forneceram melhores resultados.

2. INTRODUÇÃO

A aplicação das técnicas de Fotointerpretação em trabalhos de levantamento e conservação de solos é, atualmente, largamente utilizada, tornando-se desnecessário citar as suas vantagens, já comprovadas por inúmeros pesquisadores.

A rede de drenagem é um dos componentes da paisagem mais fáceis de se observar nas fotografias aéreas e, devido à quantidade de informações que fornece, tem sido utilizada em diversos trabalhos.

Assim, os pesquisadores têm procurado, através da rede de drenagem, encontrar aspectos qualitativos e índices quantitativos representativos das unidades de solo estudadas, buscando dessa forma a relação entre a composição e as características da drenagem superficial com a natureza e propriedade dos solos.

Partindo-se da premissa que solos diferentes devem apresentar diferenças significativas na composição e nas características de suas redes de drenagem, pretende-se, mediante o emprego de fotografias aéreas, anali

sar as características qualitativas e quantitativas de bacias hidrográficas e amostras circulares de duas unidades de solo, desenvolvidas a partir de materiais de origem semelhantes, com os seguintes objetivos:

a) Avaliar a significância dos parâmetros: número, comprimento total e comprimento médio de rios que compõem a rede de drenagem, na diferenciação das duas unidades de solo.

b) Verificar a significância das características quantitativas do padrão de drenagem, determinadas em bacias hidrográficas e amostras circulares, na diferenciação das unidades de solo estudadas.

c) Contribuir para o acervo de critérios fotointerpretativos de finidores das unidades de solo, o que viria a facilitar a identificação e mapeamento de unidades semelhantes que ocorram em outras regiões.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Fotografias aéreas na interpretação e mapeamento de solos

As fotografias aéreas são de grande utilidade no estudo de solos, especialmente na interpretação e mapeamento de solos. Existe um grande número de trabalhos ressaltando a utilização de fotografias aéreas, evidenciando as vantagens e restrições a que estão sujeitas.

A fotointerpretação é, segundo COLWELL (1952), o ato de examinar as imagens fotográficas de objetos com a finalidade de identificar e avaliar sua significância; enquanto que para SUMMERSON (1954), de uma maneira mais geral, é a previsão do que não pode ser visto. Esta definição apresenta maior afinidade com a fotointerpretação ligada à pedologia, visto que a fotografia aérea mostra apenas os aspectos da superfície da terra, e não as variações em profundidade, que caracterizam uma unidade de solo. Entretanto, os vários aspectos que ocorrem na superfície, tais como vegetação, formas topográficas, drenagem, erosão, tonalidade fotográfica e uso da terra, podem indicar a ocorrência de solos diferentes.

SIMONSON (1950), ROURKE e AUSTIN (1951) citam que as fotografias aéreas foram utilizadas pela primeira vez em levantamento de solos em 1929, por Bushnel e colaboradores.

Para SIMONSON (1950), o maior avanço em levantamento de solos, nas duas décadas anteriores a 1950, foi a utilização de fotografias aéreas pelos pedólogos.

Segundo AMARAL e AUDI (1972), a utilização e interpretação de fotografias aéreas através de técnicas adequadas, em levantamentos de solos, planejamentos conservacionistas e outros estudos de caráter pedológico, é denominada Fotopedologia, que vem a ser a parte da fotointerpretação que se dedica ao estudo de solos.

Para esses mesmos autores, a fotografia aérea apresenta-se como material de trabalho muito útil nos levantamentos de solos, proporcionando ganho de tempo, precisão de limites e visão global da paisagem com riqueza de detalhes. A fotografia aérea pode ser utilizada como base cartográfica preliminar, auxiliando os trabalhos de campo no traçado dos roteiros mais interessantes e possibilitando a separação das unidades de solos diretamente sobre as fotografias.

BOMBERGER e DILL (1960) comentam que, em levantamento de solos, o trabalho de campo não pode ser substituído completamente pela utilização de fotografias aéreas, pois elas mostram apenas a superfície do solo, que muitas vezes mal está visível. Salientam, entretanto, a presença de padrões tais como relevo, drenagem, erosão, vegetação, que permitem ao fo-

to intérprete tirar inferências sobre a natureza e distribuição dos solos e de seus materiais de origem.

GOOSEN (1968) lembra ainda que os perfis de solos não podem ser descritos unicamente através de fotografias aéreas, que no entanto favorecem sensivelmente o rendimento e a exatidão dos trabalhos. Este autor admite também que a utilização da fotointerpretação é mais importante em levantamentos de reconhecimento do que em levantamentos detalhados.

De acôrdo com BURINGH (1960), nos levantamentos de solos efetuados sem a utilização de fotografias aéreas, aproximadamente vinte por cento das observações de campo são gastas para identificação e classificação de solos; e o restante do tempo é gasto para localizar os limites de solos. A utilização de fotografias aéreas permitiria o traçado de grande parte desses limites diretamente na fotoimagem, sendo necessárias apenas algumas verificações de limites no campo.

LUEDER (1959) conclui que em mapeamentos de reconhecimento, o esforço de trabalho com o uso de fotointerpretação corresponde a um décimo do que seria necessário sem a sua utilização; para levantamentos semidetalhados a economia seria de dez a noventa por cento, ao passo que para levantamentos detalhados a economia corresponde a apenas dez por cento.

Para RABBEN (1960), a utilização das fotografias aéreas é baseada em três fatos fundamentais:

a) Cada fotografia representa uma grande área da superfície terrestre, sendo aproximadamente de 20 Km^2 na escala 1:20.000 e cerca de

33 Km² na escala 1:25.000.

b) Os pares estereoscópicos possibilitam a observação tridimensional da superfície da terra e dos objetos sobre ela localizados.

c) As fotografias aéreas proporcionam um caráter permanente das imagens e possibilitam medições a qualquer momento e em condições favoráveis de trabalho.

Para FROST (1960), a fotointerpretação pode ser feita utilizando-se três importantes princípios:

a) Solos semelhantes apresentam, nas fotografias aéreas, padrões semelhantes;

b) Solos diferentes ocorrem com padrões diferentes;

c) Correlações de características da imagem fotográfica com as propriedades do solo observadas no campo e no laboratório, podem ser inferidas por meio de fotointerpretação.

De acordo com RABBEN (1960), RAY (1963), RICCI e PETRI (1965), a fotointerpretação efetua-se em duas etapas: a primeira consiste de observações, coleta de dados, medições e identificação das imagens fotográficas. A segunda consiste na indução e ou dedução de fenômenos ou de relações, incluindo a aplicação de informações obtidas na solução de problemas específicos.

GOOSEN (1968), discorrendo sobre fotointerpretação aplicada à

levantamento de solos, preconiza a existência de três métodos distintos:

a) Método de análise dos padrões de FROST (1960), que considera como padrões indicativos das condições da superfície e subsuperfície do terreno, a forma da terra, a drenagem, os aspectos de erosão, a vegetação, a tonalidade fotográfica e o uso da terra. Conhecidas as condições ambientais dos solos estudados, o fotointérprete divide as grandes unidades da paisagem em unidades menores e examina os padrões locais, em estereoscopia, para o estabelecimento de correlações.

b) Método de análise fisiográfica, mencionado por BURINGH (1960) e desenvolvido por GOOSEN (1968), que requer amplo conhecimento dos processos (intemperização, erosão, sedimentação, etc.) que atuam na formação das paisagens, bem como de suas influências na interpretação das fotografias aéreas. O terreno é classificado segundo unidades fisiográficas, as quais correspondem a uma associação única de solos. Para a eficiência do método é necessário um bom conhecimento de geomorfologia por parte do pedólogo.

c) Método de análise dos elementos, desenvolvido por BURINGH (1960), que apresenta sobre os demais métodos a vantagem da possibilidade de sua utilização por pedólogos com pouca experiência em fotointerpretação. Compreende a análise sistemática dos elementos relacionados com as condições de solo de uma região, baseada na relação entre as características da superfície do terreno e condições do solo. Utilizando-se do princípio de convergência de evidências, as unidades de solos podem ser separadas e identificadas.

Shultz e Cleaves, citados por RAY (1963), afirmam ser a forma fisiográfica o elemento mais importante da fotopedologia; contudo, a drenagem e o relevo podem fornecer informações de mesma importância.

Para LUEDER (1959), depois da forma fisiográfica, a drenagem superficial é o mais seguro indicador das condições do terreno, sendo porém imprescindível a experiência do fotointérprete no estabelecimento de correlações da imagem fotográfica com o terreno.

GOOSEN (1968) comenta que essa divisão em três métodos de fotointerpretação individuais é relativamente artificial e, dependendo da maneira como é conduzido o levantamento, dois ou mesmo os três métodos podem ser utilizados simultaneamente.

Através do método de análise dos elementos FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), FADEL (1972), LEÃO (1973), VASQUES FILHO (1972), GEVAERD (1974), SOUZA (1975), KOFFLER (1976a), FREIRE (1977), DEMÉTRIO (1977) e CARVALHO (1977) dimensionaram índices referentes a bacias hidrográficas e amostras circulares de redes de drenagem, a partir de fotografias aéreas verticais, com o objetivo de investigar as suas significâncias em relação a diferentes unidades de solos, bem como estabelecer parâmetros para sua identificação.

3.2. Estudos de bacias hidrográficas e composição de redes de drenagem

O estudo de bacias hidrográficas pode ser feito de duas manei-

ras: qualitativa e quantitativamente. Entretanto, segundo FRANÇA(1968), somente após 1945 é que alguns pesquisadores passaram a utilizar-se da análise quantitativa de bacias hidrográficas e suas redes de drenagem, mudando assim o rumo da linha de pesquisas, que anteriormente se apoiava quase que exclusivamente nas análises descritivas.

Segundo ENGELN (1942), Playfair observou que todo rio consiste em um tronco principal alimentado por vários ramos, cada qual correndo em um vale proporcional ao seu tamanho, formando em conjunto, um sistema de vales comunicantes, de modo que nenhum deles se une ao vale principal em um nível demasiado superior ou inferior.

Com base nas descrições da composição da rede de drenagem, HORTON (1945) deu um caráter quantitativo a esses estudos, considerando as relações infiltração/deflúvio e os processos de erosão pelas águas correntes. HORTON (1945) estabeleceu leis fundamentais relacionando o número e o comprimento de rios às diversas ordens de ramificação da rede hidrográfica.

Gravelius, citado por HORTON (1945), apresentou o sistema europeu de classificação de rios em ordens de ramificação, no qual o rio principal é designado como de primeira ordem, seus tributários imediatos como de segunda ordem e assim sucessivamente, sendo atribuído a ordem mais elevada aos tributários menores.

Invertendo o sistema europeu de classificação, HORTON (1945) propôs que os tributários menores, não ramificados, sejam considerados de

primeira ordem, sendo o rio principal o de ordem mais elevada. Esta inversão no sistema de designação de ordens de ramificação, segundo STRAHLER (1957) facilitou a análise e comparação das redes de drenagem, uma vez que estas somente podem ser comparadas quando se consideram elementos de mesma ordem de ramificação.

O sistema de HORTON (1945) para designar as ordens de ramificação foi adotado por vários autores, tais como: MAXWELL (1955), SCHUMM (1956), STRAHLER (1957), CURTIS et alii (1965), FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1973), GEVAERD (1974), SOUZA (1975), KOFLER (1976a, 1976b), FREIRE (1977), DEMÉTRIO (1977) e CARVALHO (1977).

HORTON(1945) denomina como "composição da rede de drenagem" o número e comprimento de rios de diferentes ordens ou classes, independentes do padrão. Afirma o autor, ter a composição um alto grau de significância hidrológica, enquanto que o padrão isolado tem pouca ou nenhuma significância, embora seja um indicador de controle geológico.

Estudando a significância das diferenças na composição e características do padrão de drenagem em série de solos da região de Piracicaba, FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969) e VASQUES FILHO (1972) obtiveram bons resultados. Em estudos semelhantes realizados no município de Aragoiaba da Serra (SP), no Distrito Federal e no Nordeste Paranaense, FADEL (1972), LEÃO (1973) e GEVAERD (1974), respectivamente, obtiveram dados significativos para a distinção dos solos estudados.

Ainda a respeito da composição das redes de drenagem, HORTON (1945) apresentou a "lei do número de rios" e a "lei dos comprimentos de rios". A primeira lei expressa a relação entre o número de rios de cada ordem e a ordem de ramificação em termos de uma série geométrica inversa, que tem como base a razão de ramificação. A "lei dos comprimento de rios" expressa a relação entre os comprimentos médios de rios de cada ordem e a ordem de ramificação em termos de uma série geométrica direta, na qual o primeiro termo é o comprimento médio de rios de primeira ordem, tendo como base a razão de comprimentos médios.

De acordo com MAXWELL (1955), existe uma relação linear entre o logaritmo do número de segmentos de rios de cada ordem e as respectivas ordens de ramificação, com pequena dispersão. A equação linear é $\log N_w = \log a - w \cdot \log b$, onde N_w é o número de segmentos em cada ordem e w é a ordem dos segmentos de rios. Utilizando essa equação, o autor propôs a expressão $R_b = \text{antilog } b$ como sendo a melhor expressão empírica da razão de ramificação (R_b).

STRAHLER (1957) relacionou os logaritmos dos comprimentos totais às ordens de rios e obteve uma regressão logarítmica, expressa pelas equações:

$$L_w = a \cdot w^{-b}$$

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

onde w = ordem de segmentos de rios

L_w = soma dos comprimentos de rios

FRANÇA (1968) ajustou uma equação exponencial do tipo $L_w = a \cdot b^{-w}$ para comprimentos totais de segmentos de rios que, expressa na forma logarítmica, resulta: $\log L_w = \log a - w \cdot \log b$, onde $L_w =$ comprimento total de segmentos de rios na ordem w . Verificou também a validade da expressão $R_{lw} = \text{antilog } b$, onde R_{lw} é a razão de comprimentos totais.

Para comprimentos médios de segmentos de rios, VASQUES FILHO (1972) ajustou a equação logarítmica $\log L_m = \log a + w \cdot \log b$, onde L_m é o comprimento médio de segmentos de rios na ordem w . Verificou também que a expressão $R_l = \text{antilog } b$ representa a razão de comprimentos médios.

Segundo STRAHLER (1957), a razão de ramificação é um número sem dimensão que expressa a composição do sistema de drenagem, sendo altamente estável, com pequena amplitude de variação de uma região para outra ou de um ambiente para outro, exceto onde domina poderoso controle geológico. Já a análise dos comprimentos de rios mostra que as relações não apresentam tanta consistência como na lei dos números de rios, sendo mais sensíveis a controles geológicos.

Para razão de ramificação HORTON (1945) encontrou valores variando de 2,22 para bacias suavemente onduladas até 3,91 para bacias montanhosas.

STRAHLER (1957) apresenta os seguintes valores, encontrados por Coates para razão de ramificação: entre rios de 1a. para 2a. ordem va-

riando de 4,0 a 5,1; entre rios de 2a. para 3a. ordem variando de 2,8 a 4,9. O valor médio encontrado com base nos dados acumulados foi 3,52.

FRANÇA (1968), estudando quatro séries de solos da região de Piracicaba, encontrou valores para razão de ramificação que variam de 3,22 a 3,70 para bacias de 4a. ordem.

FADEL (1972), LEÃO (1973), GEVAERD (1974), SOUZA (1975) e FREIRE (1977) investigando bacias de 3a. ordem em solos dos Estados de São Paulo, Paraná, Distrito Federal e Minas Gerais, verificaram que os valores médios da razão de ramificação (R_b) variam de 2,50 a 4,44 para alguns oxissóis; de 2,63 a 3,30 para alguns alfissóis, de 2,00 a 2,93 para alguns entissóis.

HORTON (1945) considerou a relação R_l/R_b um fator importante, relacionado tanto à composição da rede de drenagem como ao estágio de desenvolvimento da bacia hidrográfica.

FRANÇA (1968), FADEL (1972), LEÃO (1973), GEVAERD (1974), SOUZA (1975) e FREIRE (1977), encontraram valores médios da razão de comprimentos médios (R_l) variando de 1,41 a 3,28 para oxissóis, de 1,58 a 3,30 para alfissóis e de 2,23 para entissóis.

Estes mesmos autores encontraram para razão de comprimentos totais (R_{lw}), valores de 1,07 a 2,44 para oxissóis; de 1,02 a 1,47 para alfissóis e de 1,41 para entissóis.

Para HORTON (1945), os sistemas hidrográficos e suas bacias de

drenagem se desenvolveram por processos de erosão hídrica que dependem inicialmente da proporção entre infiltração e deflúvio, sendo que em cada terreno existe um comprimento mínimo de escoamento sobre a superfície, necessário para que se concentre o volume de deflúvio suficiente para que se inicie a formação de canais. Salienta o autor que o declive superficial, a capacidade de infiltração e a resistência à erosão definem o "comprimento crítico" do terreno e que, analisando os fatores isoladamente, a resistência do terreno à erosão exerce efeito dominante em períodos longos, no desenvolvimento dos sistemas hidrográficos e nas suas bacias de drenagem.

Para ZINKE (1960), a densidade de drenagem representa a expressão da precipitação pluviométrica e da capacidade de infiltração do solo, podendo ser considerada como uma descrição física quantitativa da bacia hidrográfica.

HORTON (1945) apresenta duas relações, com as quais procurou dar caráter quantitativo ao grau de desenvolvimento da drenagem superficial de uma bacia hidrográfica:

a) Densidade de drenagem, que foi definida como o comprimento médio de 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 a área da bacia hidrográfica.

b) Frequência de rios, que representa o número de rios por unidade de área e é expressa pela equação:

$$Fr = \frac{N}{A}$$

onde N é o número total de rios e A é a área da bacia hidrográfica.

Como ocorrem variações de área nas bacias hidrográficas, HORTON (1945) e SMITH (1950), afirmam que os valores de densidade de drenagem e frequência de rios não podem ser utilizados na comparação direta entre pequenas e grandes bacias.

STRAHLER (1957) afirma que, na comparação de bacias hidrográficas, é necessário que estas tenham a mesma ordem de ramificação, pois deste modo estarão sendo medidos elementos correspondentes do sistema de drenagem. Este autor, utilizando o princípio de análise dimensional e semelhança geométrica, tentou elaborar um sistema de geomorfologia quantitativa, afirmando que se houver semelhança geométrica aproximada entre duas bacias, todas as medições de comprimentos entre pontos correspondentes manterão uma razão de escala fixa.

A importância da semelhança geométrica preconizada por STRAHLER (1957) pode ser reforçada por ANDERSON (1957), que considera a área como a variável mais importante de uma bacia hidrográfica, visto que quase todas as suas características estão a ela relacionadas.

Para SCHUMM (1956), a área da bacia de drenagem aumenta exponencialmente com a ordem de ramificação de rios, sendo que a distribuição

das áreas de bacias em relação às ordens de rios mostra grandes desvios, que podem em parte ser corrigidos pelo uso de logaritmos.

Segundo STRAHLER (1957), o cálculo da densidade de drenagem é importante na análise das bacias hidrográficas, para representar a topografia de bacias hidrográficas, pois apresenta relação inversa com o comprimento dos rios. À medida que aumenta o valor numérico da densidade, há diminuição quase proporcional do tamanho dos componentes fluviais das bacias de drenagem.

Segundo CHRISTOFOLETTI (1969), a densidade de drenagem pode ser classificada da seguinte forma:

<u>Dd em Km/Km²</u>	<u>Classificação</u>
< 7,5	baixa densidade de drenagem
7,5 - 10	média densidade de drenagem
> 10	alta densidade de drenagem

SMITH (1950) apresenta a definição de Johnson para textura topográfica, como sendo o tamanho médio das unidades componentes de um determinado relevo. Estudando a textura topográfica em regiões dissecadas por rios, SMITH (1950) derivou um índice chamando-o "razão de textura", e limitou a utilização da textura topográfica somente a regiões dissecadas por rios, com a finalidade de expressar o espaçamento entre os canais de drenagem em mapas topográficos contendo curvas de nível. Como os canais menores não são representados por convenções hidrográfi

cas, e como as inflexões ou crênulas das curvas de nível, em bons mapas topográficos, indicam a existência de canais de drenagem permanentes ou temporários, o autor recomenda a escolha da curva de nível que possua o maior número de crênulas, dentro da bacia de drenagem.

Este índice é calculado pela equação:

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

onde N é o número de canais de drenagem permanentes ou temporários e P é o comprimento do perímetro da bacia expresso em milhas.

SMITH (1950), além das razões de textura de bacias de drenagem individuais preconiza o valor médio ponderado para caracterizar a textura topográfica de uma determinada área como um todo, levando em consideração o tamanho de cada bacia. Para esse fim, utiliza-se a equação:

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

onde T_m é o valor médio ponderado da razão de textura, A é a área e T é a razão de textura de cada bacia. Propôs também o estabelecimento de limites para os valores de textura média, classificando assim a textura topográfica em classes, da seguinte maneira: grosseira - valores de T_m menores que 4,0; média - valores de T_m entre 4,0 e 10,0; e fina - valores de T_m maiores que 10,0.

O mesmo autor comparou os valores de razão de textura e de densidade de drenagem e concluiu que existe um relacionamento em função

logarítmica entre essas duas características quantitativas.

FRANÇA (1968) modificou a idéia de SMITH (1950), a fim de que fosse utilizadas em fotografias aéreas, visto que os sistemas hidrográficos podem ser melhor estudados em mapas básicos de drenagem obtidos pelo exame estereoscópico de fotografias aéreas. Assim, a modificação de FRANÇA (1968) considera N como sendo o número total de rios da bacia. Além disso, adaptou a classificação de Smith ao sistema métrico, transformando o perímetro de milhas para quilômetros. Os valores são os seguintes: T_m menor que 2,5, T_m entre 2,5 a 6,2 e T_m maior que 6,2 para as classes grosseira, média e fina, respectivamente.

Segundo FRANÇA (1968), quando se aumenta a ordem de ramificação da rede de drenagem, há também uma tendência natural de aumentar a razão de textura e diminuir a densidade de drenagem e a frequência de rios, visto que, aumentando a área da bacia, o perímetro aumenta de um modo proporcionalmente menor.

Estudando a densidade de drenagem em um dado ambiente climático, RAY (1963), afirma que essa característica quantitativa está relacionada principalmente com a resistência dos materiais aí presentes. A medida que diminui a resistência à erosão, a densidade de drenagem aumenta. Aplicando esse fato ao caráter litológico das rochas sedimentares, examinadas em fotografias aéreas, afirma que os folhelhos e outras rochas similares de granulação fina tendem a apresentar drenagem de textura fina, enquanto os arenitos tendem a apresentar textura grosseira. Admite, porém, que podem haver muitas exceções. Segundo FRANÇA (1968), tais exceções se

explicam pela natureza dos solos que se desenvolvem a partir dessas rochas.

RAY e FISCHER (1960) estudaram a significância da densidade de drenagem em relação à litologia, sobre mapas básicos de drenagem decalcados de fotografias aéreas. Os comprimentos de rios foram relacionados com as áreas de bacias hidrográficas e áreas circulares de 10 Km^2 . Os autores concluíram que as determinações mais consistentes, para qualquer tipo de rocha, foram fornecidas pelas amostras circulares.

FRANÇA (1968) aplicou a metodologia de RAY e FISCHER (1960) para o estudo de solos e destaca as seguintes vantagens da amostragem circular:

1) elimina a influência da área, uma vez que todas as medições de comprimentos de rios referem-se à mesma área circular de 10 Km^2 ;

2) a área circular de amostragem pode ser deslocada dentro da área de ocorrência de uma unidade de solo, sem consideração dos limites da bacia, procurando abranger unicamente a maior proporção e a maior homogeneidade possíveis da unidade que está sendo amostrada.

Diversos pesquisadores brasileiros, como MARCHETTI (1969), FADDEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1973), GEVAERD (1974), SOUZA (1975), KOFFLER (1976a, 1976b), FREIRE (1977), DEMÉTRIO (1977) e CARVALHO (1977) confirmaram o trabalho de FRANÇA (1968). Ao investigarem redes de drenagem em diferentes solos do Brasil, estabeleceram índices para caracterizá-los. A amostra circular em fotografias aéreas de 10 Km^2

de área foi utilizada por todos esses autores, na determinação da densidade de drenagem.

SOUZA (1975) determinou em amostras circulares, além da densidade de drenagem, a frequência de rios, razão de textura e textura topográfica, verificando que os índices encontrados podem ser utilizados para diferenciar solos. Este mesmo autor salientou que o valor fixo de 10 Km² de área para a amostra circular pode variar conforme a área de ocorrência dos solos, apoiando a afirmação de BURINGH (1960), que sugeriu uma amplitude de 10 a 100 Km² para estudar ocorrência e densidade de drenagem.

KOFFLER (1976b) estudou a influência do tamanho da área da amostra circular na caracterização quantitativa do padrão de drenagem, utilizando amostras circulares com áreas variando de 10 a 100 Km² sobre fotografias aéreas verticais na escala de 1:60.000. Sua principal conclusão foi que a caracterização quantitativa de um padrão de drenagem e a sua comparação com outros, podem ser efetuados através dos índices densidade de drenagem, frequência de rios e comprimento médio, independentemente do tamanho das amostras circulares, desde que sejam representativas.

DEMÉTRIO (1977), trabalhando com solos do município de Piracicaba, sobre fotografias aéreas, utilizou-se de amostras circulares de áreas de 3 Km², 10 Km² e 20 Km² respectivamente para fotografias aéreas de escala 1:8.000, 1:25.000 e 1:60.000; e conclui que o sistema de amostragem circular mostrou-se eficiente e prático para a análise quantitativa do padrão de drenagem nas três escalas de fotografias aéreas consideradas. Es-

te autor conclui que existe uma tendência de aproximação dos valores das características quantitativas, à medida que a escala das fotografias diminui, mas a densidade de drenagem, frequência de rios e razão de textura, diferem entre si nas escalas extremas, ou seja 1:8.000 e 1:60.000.

3.3. Padrão de Drenagem: tipos, características e significados

Segundo LUEDER (1959), o padrão de drenagem superficial é, com exceção do relevo, o mais consistente e confiável indicador das condições do terreno para o fotointérprete. Afirma que, mesmo utilizando-se somente o padrão de drenagem e sem recorrer ao uso de estereoscópio, é possível delimitar áreas com diferenças evidentes.

Para PARVIS (1950), a relativa facilidade com que os sistemas de drenagem podem ser observados em fotografias aéreas, facilita o reconhecimento de padrões de drenagem, o estudo analítico de seus elementos e a avaliação de sua significância na interpretação de solos e de substratos rochosos.

PARVIS (1950) classifica os padrões de drenagem em dois grupos: básicos e modificados. Os tipos ou modelos de padrões de drenagem básicos são os seguintes: dendrítico, treliça, radial, paralelo, anular e retangular. Encontrando modificações destes seis padrões básicos, classificou e descreveu cerca de trinta tipos ou modelos.

WEG (1966) apresenta três tipos de padrões de drenagem: (1)

Padrões erosionais - são aqueles formados por algum processo destrutivo ou de erosão e cujos modelos se repetem com frequência; (2) Padrões deposicionais - os desenvolvidos por processos construcionais de deposição, estando muito mais relacionados ao padrão do canal; (3) Padrões especiais - todos aqueles que não são classificados pelos dois tipos anteriores. Este autor critica os padrões descritos por PARVIS (1950), considerando-os confusos, incorretos e com pouco valor prático.

Para BLOOM (1970), padrão de drenagem diz respeito aos aspectos específicos do arrançamento bidimensional e casualizado assumido pela imagem fotográfica da rede de drenagem e estabelece cinco tipos de arrançamento: caótico, dendrítico, retangular, treliça e radial.

O desenvolvimento de bacias hidrográficas, segundo HORTON (1945), deve ser discutido em termos de infiltração, deflúvio e erosão, iniciando-se em terrenos recentemente expostos. Admite porém, que pode haver interferências de estruturas geológicas ou distúrbios geológicos, posteriormente. Assim, controles de estruturas geológicas podem condicionar afastamentos das leis dos números e dos comprimentos de rios.

Segundo FRANÇA (1968), o termo padrão de drenagem tem sido utilizado na literatura para expressar a maneira pela qual os cursos d'água se arranjam ou se distribuem numa determinada área de drenagem, sugerindo um modelo ou a configuração de um objeto familiar que empresta o nome para a classificação do padrão. Se os rios se distribuem à semelhança de troncos, galhos e ramos de uma árvore, o padrão é chamado

dendrítico ou arborescente; se pode ser comparado aos ramos de uma videira, é denominado padrão em treliça, e assim por diante.

LUEDER (1959) define padrão de drenagem como a distribuição dos canais de drenagem cobrindo toda uma área, com detalhes completos sobre: (1) grau de integração; (2) grau de controle; (3) densidade; (4) grau de uniformidade; (5) orientação; (6) angularidade; (7) ângulos de confluência; (8) tipo ou modelo.

RICCI e PETRI (1965) definem o termo "anomalia", como sendo a característica representativa de um ou mais cursos d'água que não se adaptam ao padrão dominante. As anomalias fornecem informações sobre a textura superficial, permeabilidade do material exposto, grau de erodibilidade e condições estruturais presentes.

Para LUEDER (1959), um padrão de drenagem bem desenvolvido indica geralmente a ocorrência de materiais relativamente impermeáveis e baixa infiltração, enquanto que uma drenagem escassa indica infiltração e permeabilidade altas. Esclarece também, que o padrão de drenagem não é influenciado apenas pela composição do material, havendo outros fatores como a topografia do terreno.

Os padrões de drenagem, segundo RAY (1963), são elementos importantes na interpretação geológica. Assim, um padrão de drenagem dendrítico ou dendrítico modificado comumente aparece nas áreas onde a resistência à erosão é relativamente uniforme, como em muitos depósitos sedimentares ou mantos de intemperismo sobre embasamentos sem estrutura

pronunciada. Onde existe maior controle estrutural, desenvolvem-se padrões em treliça, anular, retangular, etc. Comenta ainda que, devido à sensibilidade da drenagem à direção geral e à direção de mergulho, as mudanças num padrão de drenagem podem fornecer informações muito importantes.

3.4. Relações entre solos e características das redes de drenagem

De acordo com FRANÇA (1968), a maior parte das pesquisas relacionadas à fotointerpretação de aspectos de terrenos, se preocupou com aspectos geológicos e geomorfológicos, ou com solos considerados sob o ponto de vista da engenharia. Os poucos trabalhos existentes considerando o solo pedologicamente são puramente descritivos. A partir do trabalho de FRANÇA (1968), entretanto, vários pesquisadores nacionais vêm caracterizando as redes de drenagem de solos brasileiros.

BURINGH (1960) afirma que em muitos casos é impossível deduzir de fotografias aéreas, a que grupo genético pertence o solo estudado, e que previsões sobre a textura dos solos muitas vezes não são corretas.

Baseado em estudos realizados em regiões tropicais e subtropicais através de fotointerpretação, DUNBAR (1959) cita o fato que solos latossólicos com alto teor de argila apresentavam redes de drenagem com características semelhantes às que ocorrem em solos de classe textural "areia barrenta". FRANÇA (1968) e FADEL (1972) confirmaram essas informações, ao verificarem que solos argilosos dos grandes grupos Latossol

Roxo e Latossol Vermelho Escuro orto, devido à estrutura maciça porosa do horizonte B, são mais permeáveis que solos arenosos do grande grupo Podzólico Vermelho-Amarelo variação Laras.

FRANÇA (1968) concorda, até certo ponto, com as afirmações de vários autores sobre capacidade de infiltração, resistência do solo à erosão e relação infiltração/deflúvio na formação e desenvolvimento das redes de drenagem; entretanto, afirma que as conclusões são de caráter geral, pois os materiais de estudo não foram pedologicamente bem defini dos.

HORTON (1945) afirma que a resistência dos solos à erosão e sua capacidade de infiltração são dois fatores importantes nos processos de erosão hídrica, responsáveis pela gênese de sistemas hidrográficos e suas bacias de drenagem; sendo que, em longo período de tempo, em qualquer área sujeita à erosão por água corrente, acabará prevalecendo a resistência do solo e da rocha subjacente à erosão.

Segundo PARR e BERTRAND (1960), a velocidade de infiltração da água no solo é governada principalmente pelas condições de superfície e cobertura do solo, e depois pelas características do perfil do solo.

ZINKE (1960) considera que solos formados a partir de materiais de origem relativamente impermeáveis apresentarão maiores proporções de deflúvio e, conseqüentemente, um maior desenvolvimento de sua rede de drenagem superficial.

Estudando bacias de 3a. e 4a. ordem de unidades de solos defini

das ao nível de série, FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), FADEL (1972) e VASQUES FILHO (1972), observaram a influência do fator solo no desenvolvimento das bacias hidrográficas e suas redes de drenagem. LEÃO (1973), GEVAERD (1974), SOUZA (1975), KOFFLER (1976a), FREIRE (1977) e CARVALHO (1977) confirmaram essa influência através de estudos realizados em unidades de solo levantadas ao nível de grandes grupos.

RAY (1963) afirma que as características do solo são influenciadas pela estrutura subjacente e que, quando esse controle estrutural atinge um mínimo, as características da rede de drenagem podem ser influenciadas pela espessura e natureza do material exposto.

FRANÇA (1968), VASQUES FILHO (1972) e LEÃO (1973), afirmam que as características da composição da rede de drenagem, para bacias de 3a. e 4a. ordem, dependem em primeiro lugar da natureza do solo, podendo ser modificadas por influência de controles geológicos.

SOUZA (1975) chama a atenção para o caráter regional que deve ser atribuído às características descritivas da rede de drenagem. Os resultados obtidos para as unidades Latossol Vermelho-Amarelo e Latossol Vermelho Escuro dolomítico, se comparados com os de trabalho realizado por GEVAERD (1974) no nordeste paranaense, levariam à conclusão que solos do grande grupo Brunizem Avermelhado, são mais permeáveis que aqueles dois latossóis, o que não é verdade.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Material

4.1.1. Descrição geral da área de estudo

O município de São Pedro localiza-se na parte central do Estado de São Paulo, na região fisiográfica denominada Depressão Periférica ou Paleozóica, sub-região Médio Tietê, entre os paralelos $22^{\circ}25'$ e $22^{\circ}35'S$ e os meridianos $47^{\circ}45'$ e $47^{\circ}55'$ W Gr.

Segundo a COMISSÃO DE SOLOS DO S.N.P.A. (1960), a Depressão Paleozóica é constituída por uma faixa em forma de arco de círculo, intercalada entre as terras altas do embasamento cristalino (Planalto Atlântico) e uma alta escarpa festonada atravessada pelos rios mais importantes.

Nesta depressão predominam colinas tabuliformes apresentando vertentes suavizadas, numa altitude entre 550 e 700 m. Aparecem alguns alinhamentos de "cuestas" esparsas ou morros testemunhos, como a serra de Angatuba e as elevações entre o Piracicaba e o Tietê, tanto de arenito como

de basalto.

A Depressão Paleozóica Paulista está dividida em três sub-regiões:

- a) Campos-cerrados;
- b) Médio Tietê, onde se situa a área de estudo;
- c) Campos Gerais.

Na sub-região Médio Tietê, apesar do relevo apresentar grandes superfícies planas, existem testemunhas de formas rígidas como os basaltos que resistiram à erosão e que deram origem ao Latossol Roxo. Também encontram-se, em forma mais rígidas de relevo, Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos variação Piracicaba e variação Laras.

A Figura 1 mostra a divisão regional do Estado de São Paulo.

O clima da região, segundo o sistema Köppen, é do tipo Cwa, ou seja, clima mesotérmico de inverno seco em que a temperatura média do mês mais frio é inferior a 18°C e a do mês mais quente é superior a 22°C . O total de chuvas do mês mais seco não ultrapassa 30 mm.

Este tipo climático é denominado "tropical de altitude", não chegando a ser verdadeiramente clima temperado, conservando as características tropicais que caracterizam o clima Aw, afora o abrandamento da temperatura.

O índice pluviométrico deste tipo climático, no Estado de São Paulo, varia entre 1.100 e 1.700 mm, diminuindo a precipitação de leste

para oeste. A estação seca nesta região ocorre entre os meses de abril e setembro, sendo julho o mês que atinge máxima intensidade. O mês mais chuvoso oscila entre janeiro e fevereiro. A temperatura do mês mais quente varia entre 22 e 24°C.

A Figura 2 mostra a divisão climática do Estado de São Paulo.

4.1.2. Solos

Foram selecionadas, para a execução do presente trabalho, duas unidades de solos originadas de arenitos da formação Botucatu, tendo sido mapeadas e classificadas pela antiga COMISSÃO DE SOLOS do Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas (1960), sob as designações de:

- a) Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos variação Laras (PVls);
- b) Regossol "intergrade" para Latossol Vermelho-Amarelo e Regossol "intergrade" para Podzólico Vermelho-Amarelo (agrupamento indiscriminado - RLV + RPV).

O arenito Botucatu, cujos produtos de intemperização constituem o material de origem dos solos estudados, caracteriza-se pela presença de grãos de quartzo maiores que 0,2 mm. A formação Botucatu apresenta dois andares mais importantes: o inferior denominado Pirambóia, caracterizando-se por apresentar camadas de argilitos intercaladas com camadas de arenitos; e o andar superior denominado Botucatu propriamente dito, de origem eólica.

CONVENÇÕES:

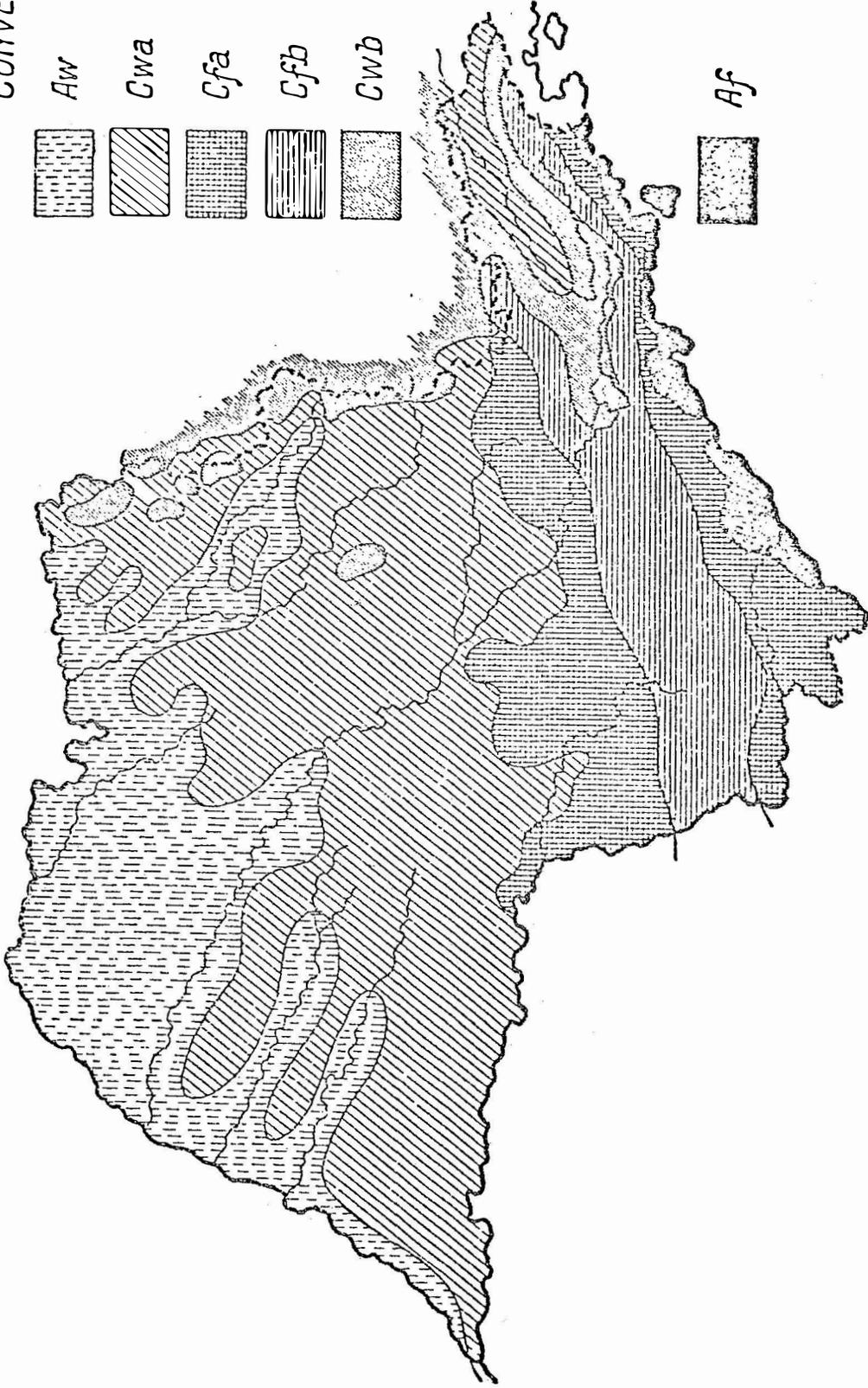


FIGURA 2 - Mapa esquemático da divisão climática do Estado de São Paulo.

O arenito Botucatu é em geral bastante friável, com grânulos de quartzo mal cimentados com pouca argila. Quando em contacto com as lavas basálticas este arenito sofre metamorfização e apresenta-se consolidado, assemelhando-se mais a um quartzito que a um arenito.

De acordo com a COMISSÃO DE SOLOS (1960), os solos derivados do arenito Botucatu são quimicamente muito pobres e com pequena capacidade de retenção de água. Nestes solos a fração areia grossa é superior as demais frações. Relaciona-se este arenito, com a unidade de mapeamento RLV + RPV.

O arenito Pirambóia está relacionado com a unidade de mapeamento PVls. Este arenito repousa sobre a litofácies Teresina da formação Estrada Nova, sendo sua espessura pequena, geralmente inferior a 5 metros. A pequena espessura deste arenito acima das camadas de argilitos e sílex da formação Teresina, talvez seja responsável pela má drenagem dos horizontes mais profundos dos solos da unidade PVls. Esta suposição explica porque estes solos não são tão profundos como os demais, provenientes de arenitos.

Na Tabela 1 estão descritas, de modo sucinto, as principais características das duas unidades de solos que serviram de base para este trabalho.

TABELA 1 - Principais características das Unidades de Solos Estudados, segundo o Boletim Nº 12 da Comissão de Solos do S.N.P.A. (1960).

CARACTERÍSTICAS	UNIDADE DE SOLO	
	PVIs	RLV + RPV
Material de Origem	Arenito Pirambóia	Arenito Botucatu
Relevo	ondulado a fortemente ondulado	suavemente ondulado
Profundidade	moderadamente profundo	profundo
Drenagem interna	moderada	excessiva
Permeabilidade	moderada	rápida
Textura do Horizonte A	areia barrenta	areia barrenta
Textura do Horizonte B	barro arenoso	areia barrenta
Estrutura do Horizonte A	maciça	grãos simples
Estrutura do Horizonte B	blocos subangulares	maciça porosa
Resistência à erosão	baixa	muito baixa
Retenção de água	baixa	muito baixa
Deflúvio	rápido	moderado

4.1.3. Bacias Hidrográficas

Foram selecionadas para o trabalho, seis bacias hidrográficas de terceira ordem, enumeradas da seguinte maneira: bacias I, II e III representando os Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos variação Laras (PVls) e as bacias IV, V e VI representando a unidade de mapeamento Regossol "intergrade" para Latossol Vermelho-Amarelo e Regossol "intergrade" para Podzólico Vermelho-Amarelo — agrupamento indiscriminado (RLV + RPV).

4.1.4. Fotografias Aéreas

Foram utilizadas fotografias aéreas verticais de escala aproximada 1:25.000 provenientes da cobertura aerotográfica efetuada pela VASP Aerofotogrametria S.A., em 1972, para o Instituto Brasileiro do Café.

Essas fotografias apresentam recobrimento de 60%, aproximadamente, na mesma faixa e 30% entre faixas adjacentes, o que permite a utilização de estereoscópios para a observação tridimensional dos elementos de estudo.

4.1.5. Estereoscópios

Para a observação estereoscópica das fotografias aéreas, utilizaram-se estereoscópio de espelhos marca Wild e estereoscópio de bolso

marca Vasconcelos.

4.1.6. Outros Materiais

As medições obtidas nas bacias hidrográficas foram efetuadas com auxílio de planímetro polar, curvímetro, compasso e régua com escala.

4.2. Métodos

A metodologia utilizada é, em linhas gerais, aquela que foi descrita por FRANÇA (1968), acrescida das sugestões feitas por VASQUES FILHO (1972) e SOUZA (1975). As várias etapas da realização do trabalho são descritas a seguir.

4.2.1. Escolha das Fotografias Aéreas

Após a definição das unidades de solos que seriam estudadas, foram selecionadas as fotografias aéreas de ocorrência dessas unidades de solos, utilizando-se fotoíndices da região e a Carta dos Solos do Estado de São Paulo (COMISSÃO DE SOLOS DO S.N.P.A. '1960').

Desse modo foram escolhidos os pares estereoscópicos que deveriam conter as informações desejadas. Este procedimento é sugerido por RABBEN (1960), sob a denominação de "pesquisa lógica".

4.2.2. Obtenção dos mapas básicos de drenagem

Em cada fotografia, alternadamente, foi delimitada a área útil sobre papel vegetal, de modo que sempre ficou uma fotografia sem papel transparente, o que facilitou a observação estereoscópica (RABBEN,1960).

Assim, exames minuciosos permitiram o traçado das redes de drenagem, incluindo cursos permanentes e temporários, de acordo com as recomendações de LUEDER (1959), STRAHLER (1957), RAY (1960).

4.2.3. Seleção das Bacias Hidrográficas

Após o traçado das redes de drenagem, foram demarcadas os divisores de água, delimitando-se diversas bacias de 3a. ordem. Seguindo os critérios de mesma ordem de ramificação, semelhança geométrica e semelhança de solos, descritos por FRANÇA (1968), foram selecionadas três bacias hidrográficas de 3a. ordem para representar cada uma das duas unidades de solo a estudar.

Procurou-se obter, dessa forma, a maior representatividade e homogeneidade possíveis das bacias hidrográficas. Para a seleção final, foram efetuados novos exames estereoscópicos de cada uma delas, para maior segurança do traçado da rede de drenagem. Em seguida foram efetuadas as medições necessárias para a análise das bacias.

4.2.4. Análise das Bacias Hidrográficas

Análise e interpretação minuciosas das bacias selecionadas foram efetuadas de acordo com STRAHLER (1957), sendo utilizadas as propriedades descritas a seguir.

4.2.4.1. Propriedades Dimensionais

a) Maior Comprimento - Medido desde a foz até o ponto extremo sobre a linha do divisor de águas, acompanhando a direção do vale principal. Foi obtido utilizando-se escala e expresso em quilômetros.

b) Maior largura - Medida transversalmente ao maior comprimento. Foi obtida com escala e expressa em quilômetros.

c) Comprimento do curso principal - É a medida correspondente à distância entre a nascente e a foz do rio principal, obtida com auxílio do curvímetro, acompanhando as sinuosidades do canal principal, segundo HORTON (1945) e expresso em quilômetros.

d) Perímetro da Bacia - Corresponde à medida do comprimento da linha do divisor de águas das bacias, sendo obtido por meio de curvímetro e expresso em quilômetros.

e) Área - medida com planímetro e expressa em quilômetros quadrados.

4.2.4.2. Propriedades não dimensionais

a) Forma aproximada - A forma da bacia hidrográfica é determinada pelo contorno da bacia, recebendo diversas designações como: oval, trapezoidal, losangular, etc.

b) Ordem da bacia - É determinada pela ordem do rio principal nela contido, correspondente ao segmento de ordem mais elevada da bacia, seguindo a designação adotada por STRAHLER (1957).

c) Semelhança geométrica - O teste de semelhança geométrica foi efetuado em todas as bacias decalcadas de cada unidade de solo, de acordo com os princípios sugeridos por STRAHLER (1957). Através deste teste pôde-se selecionar três bacias representativas de cada uma das duas unidades de solo em estudo.

4.2.5. Análise das redes de drenagem

A análise foi efetuada seguindo-se a sistemática de BURINGH (1960), do tipo analítica, na qual os elementos são considerados isoladamente e/ou em conjunto. De acordo com sua natureza, foram reunidos em dois grupos: quanto à composição das redes de drenagem e quanto às características das redes de drenagem, conforme metodologia empregada por FRANÇA (1968).

4.2.5.1. Composição das redes de drenagem

a) Ordem de ramificação - Os canais de drenagem, também denominados segmentos de rios, foram classificados segundo o sistema de HORTON (1945) modificado por STRAHLER (1957). A ordem de ramificação dos segmentos de rios foi designada genericamente com a letra w .

b) Número de segmentos de rios - Foram computados o número de segmentos de rios observados em cada ordem e o número total de segmentos da bacia, sendo designados respectivamente por N_w e N .

O número de segmentos de rios em cada ordem e o número total, foram calculados através dos seguintes procedimentos:

- média ponderada em relação à área das bacias;
- equação ajustada por MAXWELL (1955), na forma $N_w = \log a - w \cdot \log b$;
- lei do número de rios enunciada por HORTON (1945).

c) Comprimentos totais de rios - Foram medidos com curvímetro, os segmentos de rios observados em cada ordem e o comprimento total em cada bacia hidrográfica, sendo representados por L_w e L_t , respectivamente.

Para cada unidade de solo, foram calculados os valores médios do comprimento total de segmentos de rios em cada ordem e o comprimento total, pelos seguintes modos:

- média ponderada em relação à área das bacias;
- equação ajustada por FRANÇA (1968): $\log L_w = \log a - w \cdot \log b$;

- lei dos comprimentos de rios enunciada por HORTON (1945) e modificada por STRAHLER (1957).

d) Comprimentos médios de rios - Determinados para cada ordem de segmentos de rios, nas bacias hidrográficas, dividindo-se os comprimentos totais de segmentos (L_w) pelo número de segmentos de rios (N_w). O comprimento médio foi designado por L_m .

Para cada unidade de solo foram também calculados os valores médios dos comprimentos totais de segmentos de rios em cada ordem e o comprimento total, segundo os procedimentos:

- média ponderada em relação à área das bacias;
- equação ajustada por VASQUES FILHO (1972);
- lei dos comprimentos de rios, enunciada por HORTON (1945).

e) Razão de bifurcação ou de ramificação - Segundo a definição de HORTON (1945), é a relação entre o número de rios de uma dada ordem e o da ordem imediatamente mais elevada.

Foi designada por R_b e calculada relacionando-se o número de segmentos entre cada duas ordens consecutivas, nas bacias hidrográficas, de acordo com STRAHLER (1957).

Foi também calculada a razão de ramificação média, para cada unidade de solo estudada, utilizando-se a média aritmética dos dados observados nas bacias hidrográficas; bem como a razão de ramificação segundo MAXWELL (1955), pela expressão $R_b = \text{antilog } b$, e segundo FRANÇA (1968), pela relação $R_1 = \frac{R_b}{R_{1w}}$.

f) Razão de comprimentos totais - STRAHLER (1957) a define como a relação entre as somas dos comprimentos dos segmentos de rios de uma dada ordem e da ordem imediatamente superior, sendo designada por R_{lw} .

Foram calculados também, para cada unidade de solo, os valores médios da razão de comprimentos totais, através dos seguintes modos:

- média ponderada dos dados observados;
- equação ajustada por FRANÇA (1968), onde $R_{lw} = \text{antilog } b$;
- pela relação preconizada por FRANÇA (1968), onde $R_l = \frac{R_b}{R_{lw}}$

g) Razão de comprimentos médios - Segundo HORTON (1945), diz respeito à relação entre o comprimento médio de segmentos de rios de uma dada ordem e o da ordem imediatamente inferior, sendo designada por R_l .

Calculou-se, para cada unidade de solo, também os valores médios da razão de comprimentos médios, pelas seguintes maneiras:

- média ponderada dos valores observados nas bacias hidrográficas;
- equação (ajustada por VASQUES FILHO (1972), onde $R_l = \text{antilog } b$;
- relação proposta por FRANÇA (1968), onde $R_l = \frac{R_b}{R_{lw}}$

4.2.5.2. Características das redes de drenagem

Foram estudadas, na caracterização das redes de drenagem, características descritivas e quantitativas.

a) Características descritivas das redes de drenagem - As características descritivas do padrão de drenagem foram estudadas segundo LUEDER (1959), conforme está indicado na Tabela 2.

A característica tipo ou modelo foi também observada, de acordo com PARVIS (1950).

TABELA 2 - Características descritivas das redes de drenagem segundo LUEDER (1959).

CARACTERÍSTICAS	NÍVEIS		
Grau de integração	Baixo	Média	Alto
Densidade	Baixa	Média	Alta
Grau de uniformidade	N/uniforme	Pouco uniforme	Uniforme
Orientação	N/orientada	Pouco orientada	Orientada
Grau de controle	Baixo	Médio	Alto
Ângulos de função	Agudos	Retos	Obtusos
Angularidade	Baixa	Média	Alta

b) Características quantitativas das redes de drenagem

b.1. Densidade de drenagem - Foi calculada para as bacias hidrográficas segundo HORTON (1945) e designada por D_d , que representa a relação entre o comprimento total de rios da rede e a área da bacia. Foi calculada também a densidade de drenagem em três amostras circulares de 10 Km^2 , selecionadas para cada unidade de solo conforme método desenvolvido por RAY e FISCHER (1969), e designada por D_{dc} .

b.2. Frequência de rios - Foi calculada para as bacias hidrográficas de acordo com HORTON (1945), e designada por F .

Calculou-se também a frequência de rios para amostras circulares, através da relação entre o número de rios e a área da amostra circular, conforme sugestão de SOUZA (1975), a qual foi designada por F_c .

b.3. Razão de Textura - Foi calculada para as bacias hidrográficas segundo definição de SMITH (1950) modificada por FRANÇA (1968), e designada por T ; a qual representa a relação entre o número total de rios e o perímetro da bacia. Foi também determinada para amostras circulares, onde expressa a relação entre o número de rios e o perímetro da amostra circular, designada por T_c , conforme sugestão de SOUZA (1975).

b.4. Razão de Textura Média - Foi calculada segundo FRANÇA (1968), pela expressão $T_m = \frac{\sum(A \times T)}{\sum A}$, onde T_m é a razão de textura média e $\frac{\sum(A \times T)}{\sum A}$ é o valor médio ponderado da razão de textura das bacias.

Determinou-se também a razão de textura média, para cada unidade de solo, em amostras circulares e designada por T_{mc} , conforme foi proposto por SOUZA (1975).

b.5. Textura Topográfica - A textura topográfica é baseada na razão de textura média segundo SMITH (1950) e adotando-se a modificação proposta por FRANÇA (1968), conforme consta na Tabela 3.

Determinou-se também a textura topográfica para amostras circulares.

TABELA 3 - Classes de Textura Topográfica baseadas na Razão de Textura média, conforme proposição de SMITH (1950) e adaptação de FRANÇA (1968).

CLASSE DE TEXTURA TOPOGRÁFICA	RAZÃO DE TEXTURA MÉDIA	
	Perímetro expresso em milhas	Perímetro expresso em Km
Grosseira	< 4	< 2,5
Média	4 - 10	2,5 - 6,2
Fina	> 10	> 6,2

5. RESULTADOS

5.1. Características das bacias hidrográficas

As seis bacias hidrográficas selecionadas, representativas das duas unidades de solo estudadas, estão reproduzidas nas Figuras 3 e 4.

As características analisadas nessas bacias são apresentadas a seguir.

5.1.1. Características não dimensionais

As características não dimensionais ou descritivas, utilizadas na caracterização das bacias hidrográficas, encontram-se na Tabela 4.

5.1.2. Características dimensionais

As características dimensionais das bacias hidrográficas estão apresentadas na Tabela 5.

5.1.3. Análise dimensional e teste de semelhança geométrica

A análise dimensional, utilizada na seleção das bacias hidrográficas, está indicada na Tabela 6. Os resultados indicam que as bacias selecionadas apresentam-se dentro das exigências estabelecidas por STRAHLER (1957).

5.2. Características das amostras circulares

As características dimensionais das amostras circulares que representam as unidades de solo, como número de segmentos de rios, número total de segmentos de rios e comprimento da rede de drenagem, estão indicadas na Tabela 7.

As amostras circulares de 10 Km^2 , com as respectivas redes de drenagem, estão ilustradas nas Figuras 5 e 6.

5.3. Características das redes de drenagem

As características das redes de drenagem foram estudadas tanto nos aspectos descritivos quanto nos quantitativos, e os resultados são apresentados a seguir.

5.3.1. Características descritivas das redes de drenagem

As características descritivas são apresentadas na Tabela 8, e permitem as seguintes inferências:

a) Podzólico Vermelho-Amarelo variação Laras - Entre as duas unidades de solo estudadas, esta é a que apresenta a menor relação infiltração/deflúvio; e apresenta evidências de controle litológico, do que resulta uma elevada densidade de drenagem;

b) Regossol "intergrade" para Latossol Vermelho-Amarelo e Regossol "intergrade" para Podzólico Vermelho-Amarelo - Apresenta a maior relação infiltração/deflúvio e controle estrutural, o que acarreta uma baixa densidade e a típica distribuição paralela dos tributários maiores.

5.3.2. Características quantitativas das redes de drenagem

5.3.2.1. Determinadas em bacias hidrográficas

As características quantitativas das redes de drenagem, como frequência de rios (F), frequência de rios média (F_m), densidade de drenagem (D_d), densidade de drenagem média (D_{dm}), razão de textura (T), razão de textura média (T_m) e a classe de textura topográfica, estão indicadas na Tabela 9.

5.3.2.2. Determinadas em amostras circulares

De maneira semelhante a utilizada para as redes de drenagem das bacias hidrográficas, procedeu-se para as amostras circulares representativas das unidades de solo estudadas, obtendo-se para as mesmas

características, os resultados que são apresentados na Tabela 10.

5.3.3. Composição das Redes de Drenagem

5.3.3.1. Análise do número de segmentos de rios

Os resultados obtidos para número de segmentos de rios em cada ordem, os totais observados em cada bacia hidrográfica e as médias ponderadas em relação à área, estão apresentados na Tabela 11.

Os números de segmentos de rios em cada ordem e o total, calculados pela equação de MAXWELL (1955) e pela lei de HORTON (1945), bem como as médias ponderadas em relação à área das bacias, para as duas unidades de solo, estão indicados na Tabela 12.

Os resultados obtidos demonstram que ambas as unidades de solo estudadas apresentam os maiores valores para o número de segmentos de rios calculados pela lei de HORTON (1945).

Observa-se também, que os números de segmentos de rios obtidos pela lei de HORTON (1945) encontram-se mais próximos da média ponderada em relação à área, para segmentos de 1a. e 3a. ordem. Para os de 2a. ordem, estão mais próximas da média ponderada em relação à área, os valores calculados segundo MAXWELL (1955).

As formas assumidas pela equação de MAXWELL (1955), para as unidades de solo estudadas, estão apresentadas na Tabela 13.

A representação gráfica da equação de MAXWELL (1955) ajustada aos dados observados para o número de segmento de rios em cada ordem, encontram-se na Figura 7.

5.3.3.2. Análise da razão de ramificação (R_b)

Na Tabela 14 encontram-se os valores observados para a razão de ramificação nas bacias hidrográficas, os valores calculados através da média dos dados observados e os valores calculados segundo MAXWELL (1955).

Essa Tabela mostra o seguinte:

a) Podzólico Vermelho-Amarelo variação Laras.

Os valores observados variaram de 3,00 a 5,33, sendo que o valor médio obtido foi 3,92 para a média calculada; e para a equação de MAXWELL (1955), obteve-se:

$$R_b = \text{antilog } b = 3,83$$

b) Regossol "intergrade" para Latossol Vermelho-Amarelo e Regossol "intergrade" para Podzólico Vermelho-Amarelo.

Os valores observados para a razão de ramificação variaram entre 2,00 e 4,50, sendo que as médias obtidas foram 2,89 para a média calculada e, para a equação ajustada por MAXWELL (1955),

$$R_b = \text{antilog } b = 2,86$$

5.3.3.3. Análise dos comprimentos totais de segmentos de rios

Os comprimentos totais de segmentos de rios observados em cada ordem, bem como os comprimentos totais de rios nas bacias e suas médias ponderadas em relação à área, estão indicadas na Tabela 15.

Os comprimentos totais de segmentos de rios obtidos através da média ponderada em relação à área, pela equação de FRANÇA (1968) e pela lei dos comprimentos de rios de HORTON (1945), encontram-se na Tabela 16.

Os resultados indicam que os menores valores para comprimentos totais são os obtidos através da equação preconizada por FRANÇA (1968); e que os valores dos comprimentos dos segmentos de rios de 1a. ordem obtidos pela lei de HORTON (1945) e pela média ponderada estão bem próximos. As maiores divergências foram observadas para os comprimentos de segmentos de rios de 2a. ordem.

A Tabela 17 mostra as formas assumidas pela equação preconizada por FRANÇA (1968), para as duas unidades de solo estudadas.

As regressões da soma dos comprimentos de segmentos de rios sobre as ordens de ramificação, para as unidades de solo estudadas, encontram-se representadas na Figura 8.

5.3.3.4. Análise da razão de comprimentos totais (Rlw)

Os valores obtidos pela razão entre os comprimentos totais de segmentos de rios de 1a. ordem com os de 2a. ordem, e entre os de 2a. ordem com os de 3a. ordem, para as bacias hidrográficas, encontram-se na Tabela 18. Além desses resultados encontram-se também os valores médios calculados para as unidades de solo estudadas, através da média ponderada dos dados observados e da equação ajustada por FRANÇA (1968) para os comprimentos totais de segmentos de rios ($\log Lw = \log a - w \log b$), onde $Rlw = \text{antilog } b$.

Os seguintes valores foram calculados para a razão de comprimentos totais, através da expressão $Rlw = \text{antilog } b$, que estão incluídos na Tabela 18:

a) Unidade PV 1s

$$Rlw = \text{antilog } 0,19545 = 1,57$$

b) Unidade RLV + RPV

$$Rlw = \text{antilog } 0,22897 = 1,69$$

5.3.3.5. Análise dos comprimentos médios de segmentos de rios

Os comprimentos médios observados para segmentos de rios em cada ordem e a média ponderada em relação à área, para as duas unidades de solo, estão apresentadas na Tabela 19.

Observa-se que os valores obtidos revelaram uma sequência crescente entre os dados de 1a. para os de 3a. ordem com exceção da bacia hidrográfica VI, da unidade RLV + RPV.

A Tabela 20 contém os comprimentos médios de segmentos de rios calculados segundo a equação de VASQUES FILHO (1972), pela relação L_w calculado/ N_w calculado, pela lei de HORTON (1945) e pela média ponderada dos dados observados. Nota-se que os valores crescem com o aumento da ordem de ramificação, nas duas unidades de solo, sendo que os valores encontrados estão bem próximos.

As formas assumidas pelas substituições numéricas na equação ajustada por VASQUES FILHO (1972), onde $L_m = \log a + w \cdot \log b$, encontram-se na Tabela 21.

A regressão dos comprimentos médios de segmentos de rios sobre as ordens de ramificação, para as unidades de solo estudadas, encontram-se na Figura 9.

5.3.3.6. Análise da razão de comprimentos médios (R1)

Os valores da razão de comprimentos médios, ou seja, a relação entre os comprimentos médios de segmentos de rios de 3a. ordem com os de 2a. ordem, e destes com os de 1a. ordem; bem como a média dos resultados obtidos e o valor calculado através da equação de VASQUES FILHO (1972), onde $R1 = \text{antilog } b$, estão contidos na Tabela 22.

Pelos resultados obtidos, pode-se observar que os valores correspondentes à média dos resultados obtidos, são maiores que os valores calculados através da equação de VASQUES FILHO (1972), para as duas unidades de solo estudadas.

5.3.4. Comparação entre dados que expressam a composição das redes de drenagem

5.3.4.1. Comparação entre os valores calculados de números de segmentos de rios, comprimentos totais de segmentos de rios e comprimentos médios de segmentos de rios

As características N_w , L_w e L_m , para cada ordem e o total da bacia, obtidas através da média ponderada dos resultados observados; pela equação ajustada por MAXWELL (1955) para os números de segmentos de rios, pela equação ajustada por FRANÇA (1968) para os comprimentos totais de segmentos de rios e por VASQUES FILHO (1972) para os comprimentos médios de segmentos de rios; e através da lei de HORTON (1945) para as três características estudadas, encontram-se na Tabela 23. Essa tabela evidencia que todos os valores obtidos apresentam uma sequência lógica de distribuição, de acordo com a ordem de ramificação.

Esses resultados, analisados em conjunto ou isoladamente, diferenciam as duas unidades de solo estudadas, em virtude dessas características apresentarem valores distintos.

Além disso, deve-se levar em conta, que os resultados a serem comparados devem ser aqueles obtidos através de um mesmo critério.

5.3.4.2. Comparação entre os valores médios da razão de ramificação, razão de comprimentos totais e razão de comprimentos médios

A Tabela 24 apresenta os valores médios das razões que foram obtidos por três maneiras distintas:

a) Média

Trata-se da média ponderada dos valores obtidos para as bacias hidrográficas representativas das unidades de solo estudadas.

b) Equação

Os valores referem-se ao antilog b, para as equações:

$$\log N_w = \log a - w \cdot \log b \quad (\text{MAXWELL})$$

$$\log L_w = \log a - w \cdot \log b \quad (\text{FRANÇA})$$

$$\log L_m = \log a + w \cdot \log b \quad (\text{VASQUES FILHO})$$

que forneceram, respectivamente, os resultados de razão de ramificação (R_b), razão de comprimentos totais (R_{1w}) e razão de comprimentos médios (R_1).

c) Relação

A relação $R_1 = \frac{R_b}{R_{1w}}$ preconizada por FRANÇA (1968) permitiu, por analogia, estabelecer:

$$R_b = R_1 \cdot R_{1w} \quad \text{e} \quad R_{1w} = \frac{R_b}{R_1}$$

Analisando os resultados da Tabela 24, pode-se observar, para a razão de ramificação, a seguinte tendência:

Relação < Equação < Média

Os resultados referentes à razão de comprimentos totais e razão de comprimentos médios, não se apresentaram em sequência crescente ou de crescente, para os valores obtidos pela média, equação e relação.

PV 1s

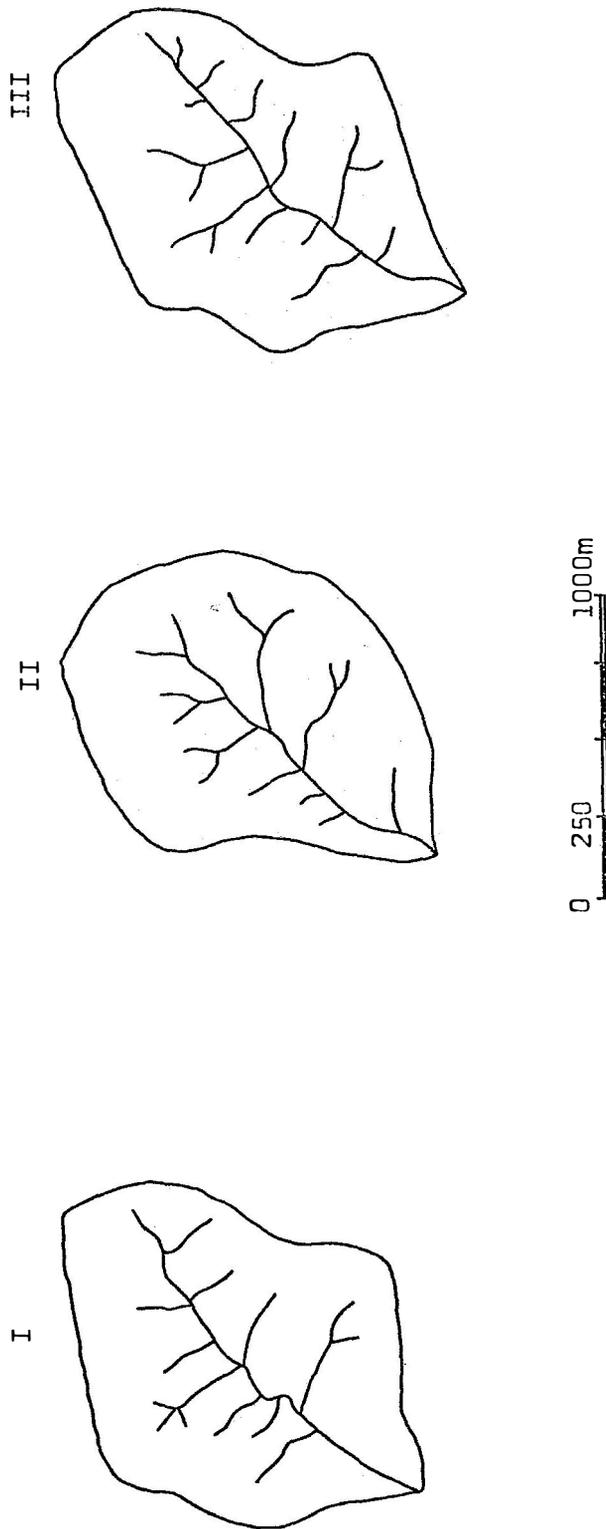


FIGURA 3 - Bacias hidrográficas representativas da unidade de mapeamento Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos variação Laras.

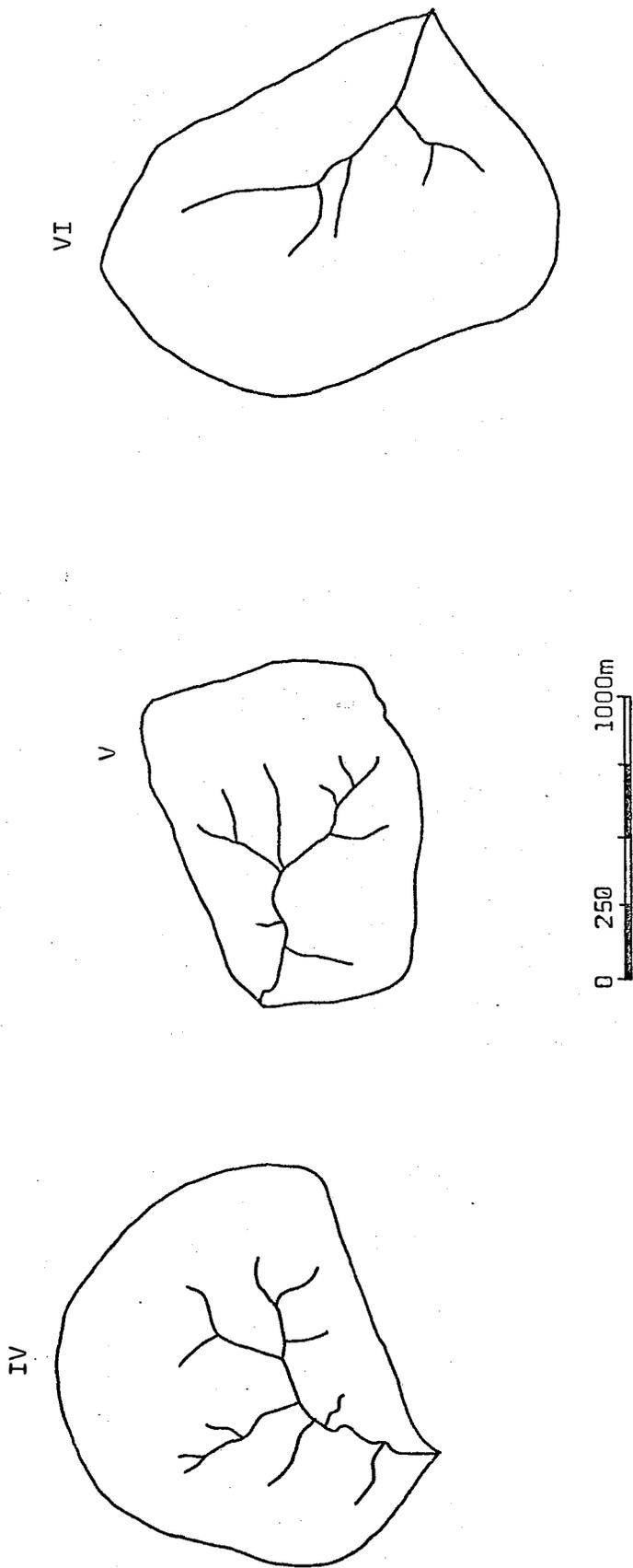


FIGURA 4 - Bacias hidrográficas representativas da unidade de mapeamento Regossol "intergrade" para Latossol Vermelho-Amarelo e Regossol "intergrade" para Podzólico Vermelho-Amarelo

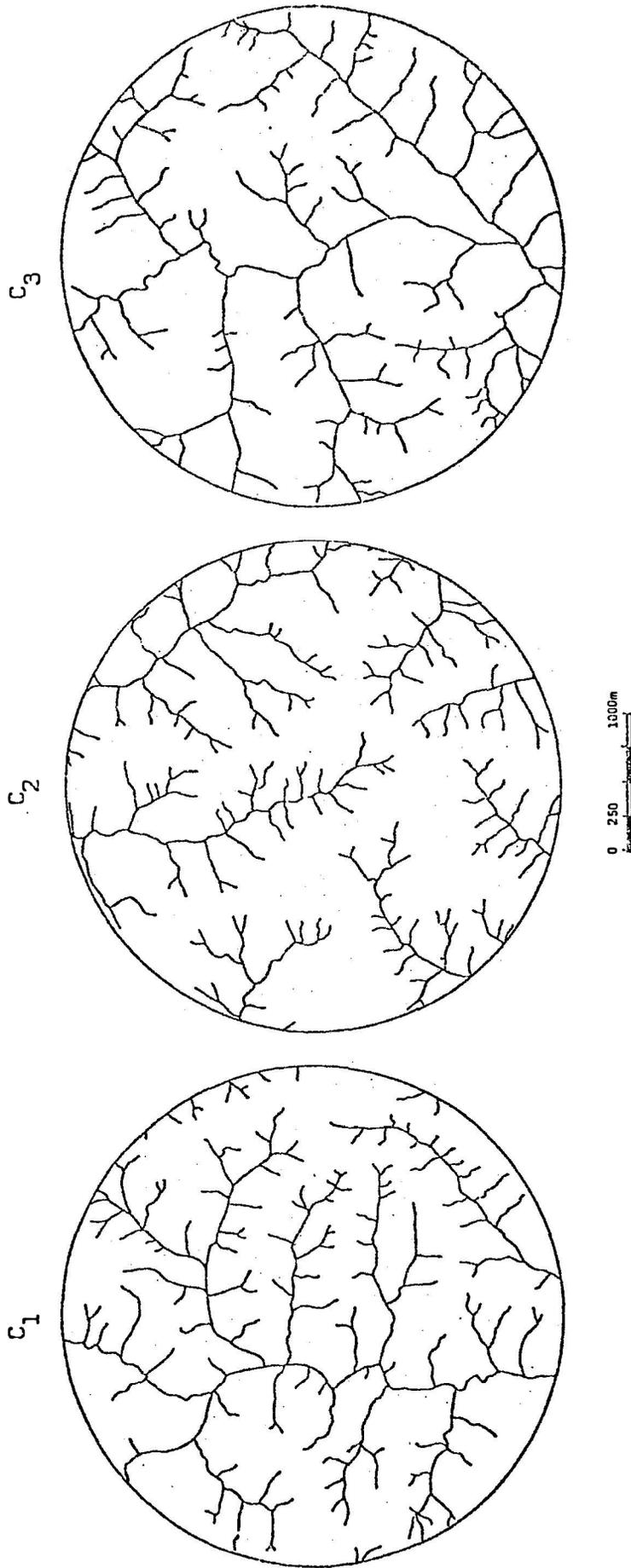


FIGURA 5 - Amostras circulares representativas da unidade de mapeamento Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos variação Laras.

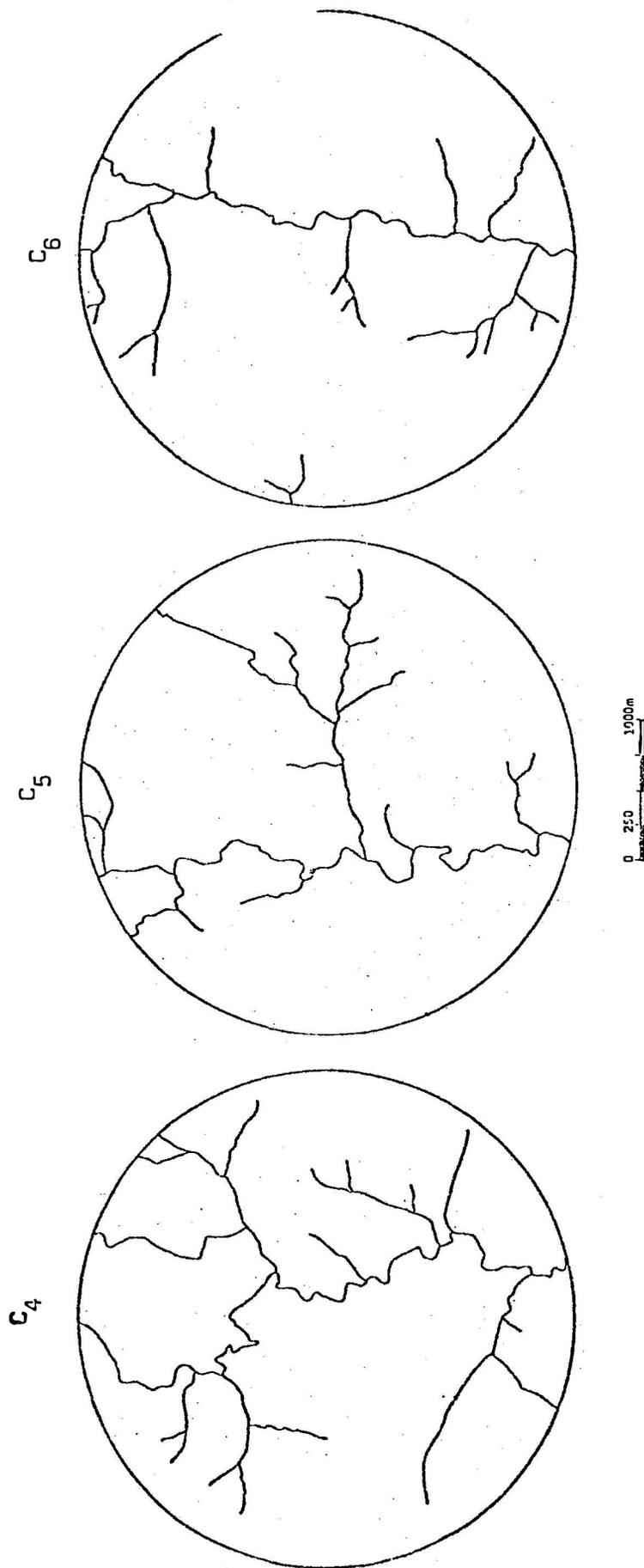


FIGURA 6 - Amostras circulares representativas da unidade de mapeamento Regossol "intergrade" para Latossol Vermelho-Amarelo e Regossol "intergrade" para Podzólico Vermelho-Amarelo.

TABELA 4 - Características não Dimensionais das Bacias Hidrográficas Representativas das Unidades de Solo Estudadas.

UNIDADE DE SOLO	BACIA HIDROGRÁFICA	ORDEM (w)	FORMA APROXIMADA	SIMETRIA DAS VERTENTES
PV 1s	I	3a.	Losangular	Simétrica
	II	3a.	Oval	Simétrica
	III	3a.	Losangular	Pouco simétrica
RLV + RPV	IV	3a.	Oval	Simétrica
	V	3a.	Trapezoidal	Simétrica
	VI	3a.	Oval	Assimétrica

TABELA 5 - Características Dimensionais das Bacias Hidrográficas Seleccionadas.

UNIDADE DE SOLO	BACIA	MAIOR COMPRIMENTO (C)	MAIOR LARGURA (L)	COMPRIMENTO DOS RIOS		PERÍMETRO P	ÁREA A
				Principal (cp)	Rede (cr)		
PV 1s	I	1,45	1,00	1,40	3,70	3,70	0,94
	II	1,38	1,00	1,40	3,60	3,50	0,91
	III	1,52	1,00	1,50	4,00	3,90	0,97
RLV + RPV	IV	1,42	1,37	1,40	3,40	4,40	1,34
	V	1,25	1,00	1,10	2,60	3,50	0,93
	VI	1,52	1,43	1,40	2,30	4,50	1,44

TABELA 6 - Análise Dimensional e Semelhança Geométrica Aplicada às Bacias Hidrográficas Seleccionadas.

UNIDADE DE SOLO	BACIAS HIDROGRÁFICAS COMPARADAS	RAZÃO DE ESCALA LINEAR (R)				RAZÃO MÉDIA		RAZÃO DE ESCALA QUADRÁTICA	
		C/C'	L/L'	Cp/Cp'	Cr/Cr'	P/P'	Rm	A/A'	Rm ²
PV 1s	I/II	1,05	1,00	1,00	1,06	1,06	1,03	1,03	1,06
	I/III	0,95	1,00	0,93	1,03	0,95	0,97	0,97	0,94
	II/III	0,91	1,00	0,93	0,90	0,90	0,93	0,94	0,88
RLV + RPV	IV/V	1,14	1,37	1,27	1,31	1,26	1,27	1,44	1,61
	IV/VI	0,93	0,96	1,00	1,48	0,98	1,07	0,93	1,14
	V/VI	0,82	0,70	0,78	1,13	0,78	0,84	0,64	0,70

TABELA 7 - Características Dimensionais das Amostras Circulares Representativas das Unidades de Solo Estudadas (Área = 10 Km²; Perímetro = 11,18 Km).

UNIDADE DE SOLO	AMOSTRA CIRCULAR	COMPRIMENTO DA REDE (Km)	NÚMERO DE RIOS Nr
PV 1s	C ₁	41,0	137
	C ₂	39,0	146
	C ₃	38,5	110
RLV + RPV	C ₄	17,2	18
	C ₅	14,2	16
	C ₆	12,5	19

TABELA 8 - Características Descritivas das Redes de Drenagem das Unidades de Solo Estudadas.

CARACTERÍSTICAS	PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO VARIÇÃO LARAS (PV 1s)	REGOSSOL "INTERGRADE" PARA LATOSSOL VERME LHO-AMARELO E REGOSSOL "INTERGRADE" PARA PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO (RLV + RPV)
Grau de integração	Alto	Alto
Densidade	Alta	Baixa
Grau de uniformidade	Pouco uniforme	Não uniforme
Orientação	Pouco orientado	Orientado
Grau de controle	Baixo	Alto
Ângulos de junção	Agudos, passando a retos	Agudos e retos
Angularidade	Baixa	Moderada
Tipo ou modelo	Arborescente	Arborescente modificado
Anomalias	---	Variações locais na densidade

TABELA 9 - Características Quantitativas do Padrão de Drenagem e a Classe de Textura Topográfica das Bacias Hidrográficas Representativas das Unidades de Solo Estudadas.

CARACTERÍSTICAS QUANTITATIVAS OBSERVADAS	PV 1s						RLV + RPV					
	BACIAS HIDROGRÁFICAS											
	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
Frequência de rios (F)	14,89	15,38	16,49	8,21	9,68	3,47						
Frequência de rios média (Fm)		15,59			7,12							
Erro padrão da média		+0,47			+1,87							
Densidade de drenagem (Dd)	3,94	3,96	4,12	2,54	2,79	1,60						
Densidade de drenagem média (Ddm)		4,01			2,31							
Erro padrão da média		+0,12			+0,22							
Razão de Textura (T)	3,78	3,95	4,0	0,98	0,80	1,11						
Razão de textura média (Tm)		3,91			0,98							
Erro padrão da média		+0,06			+0,09							
Classe de textura topográfica		Média			Grosseira							

TABELA 10 - Características Quantitativas do Padrão de Drenagem e a Classe de Textura Topográfica das Amostras Circulares Representativas das Unidades de Solo Estudadas.

CARACTERÍSTICAS QUANTITATIVAS OBSERVADAS	PV 1s			RLV + RPV		
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
AMOSTRAS CIRCULARES						
Frequência de rios (Fc)	13,70	14,60	11,00	1,80	1,60	1,90
Frequência de rios média (Fcm)		13,10			1,77	
Erro padrão da média		+1,08			+0,09	
Densidade de drenagem (Ddc)	4,10	3,90	3,85	1,72	1,42	1,25
Densidade de drenagem média (Ddcm)		3,95			1,46	
Erro padrão da média		+0,07			+0,13	
Razão de textura (Tc)	12,25	13,06	9,84	1,61	1,43	1,70
Razão de textura média (Tcm)		11,72			1,58	
Erro padrão da média		+0,97			+0,08	
Classe de textura topográfica		Fina			Grosseira	

TABELA 11 - Número de Segmentos de Rios Observados em Cada Ordem e a Média Ponderada em Relação à Área, para as Bacias Hidrográfica, em cada Unidade de Solo Estudada.

ORDEM w	NÚMERO DE SEGMENTOS DE RIOS EM CADA ORDEM, Nw												
	PV 1s						RLV + RPV						
	BACIAS HIDROGRÁFICAS			MÉDIA Ponderada	BACIAS HIDROGRÁFICAS			MÉDIA Ponderada					
I	II	III	IV	V	VI	IV	V	VI	MÉDIA Ponderada	IV	V	VI	MÉDIA Ponderada
1a.	14	14	16	11	9	5	14,69	8,17					
2a.	3	4	3	3	2	2	3,32	2,36					
3a.	1	1	1	1	1	1	1,00	1,00					
Nº TOTAL DE RIOS N	18	19	20	15	12	8	19,01	11,53					

TABELA 12 - Número de Segmentos de Rios em Cada Ordem e o Número Total, Calculados para as Unidades de Solo Estudadas.

ORDEM	NÚMERO DE SEGMENTOS DE RIOS EM CADA ORDEM, N _w					
	PV 1s			RLV + RLV		
	MÉDIA PONDERADA	CALCULADOS	Horton	MÉDIA PONDERADA	Equação	Horton
1a.	14,69	14,00	14,67	8,17	7,68	8,18
2a.	3,32	3,65	3,83	2,36	2,68	2,86
3a.	1,00	0,95	1,00	1,00	0,94	1,00
NÚMERO TOTAL DE RIOS N	19,01	18,60	19,50	11,53	11,30	12,04

TABELA 13 - Formas Assumidas pelas Substituições Numéricas na Equação Ajustada por MAXWELL (1955)
 ($\log Nw = \log a - \log b.w$) para os Números de Segmentos de Rios em Cada Unidade de Solo Estudado, Coeficiente de Correlação (r); Coeficiente de Determinação (r^2) e Teste t para r.

UNIDADE DE SOLO	EQUAÇÃO	r	r^2	t
PV ls	$\log Nw = 1,72974 - 0,58351.w$	-0,998	0,996	15,788**
RLV + RPV	$\log Nw = 1,34059 - 0,45611.w$	-0,994	0,989	9,496*

** significativo ao nível de 5%.

* significativo ao nível de 10%.

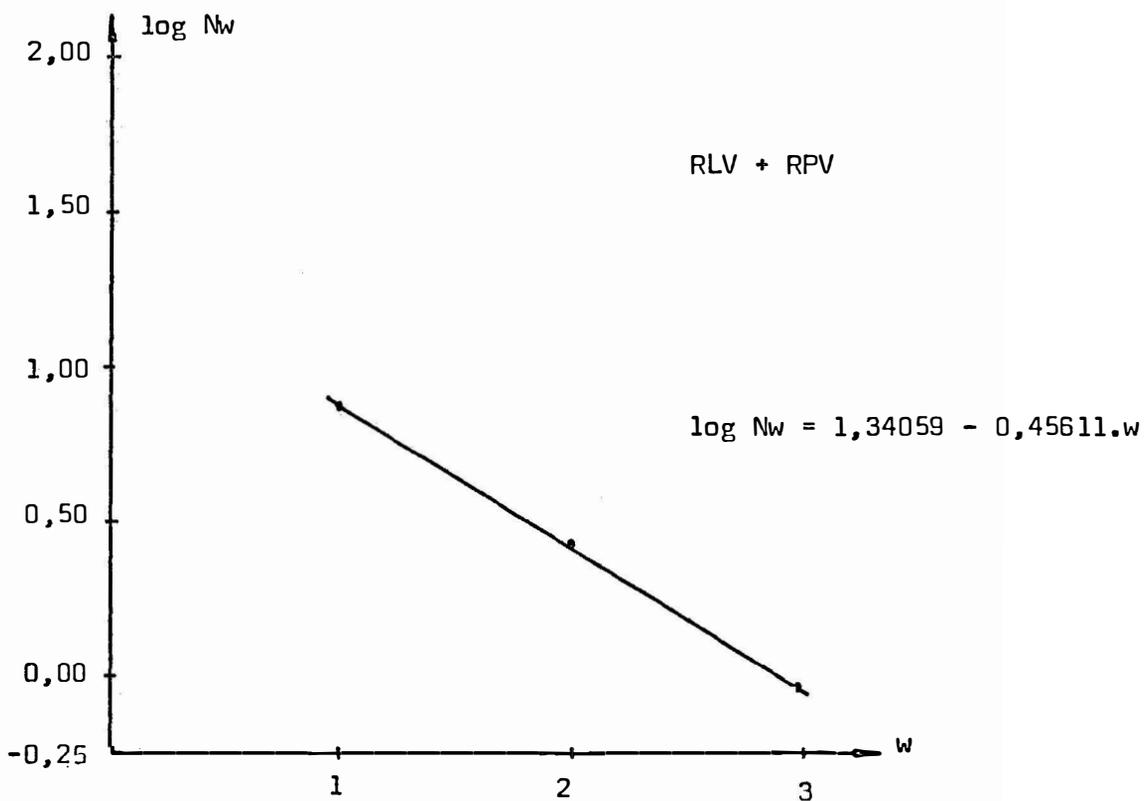
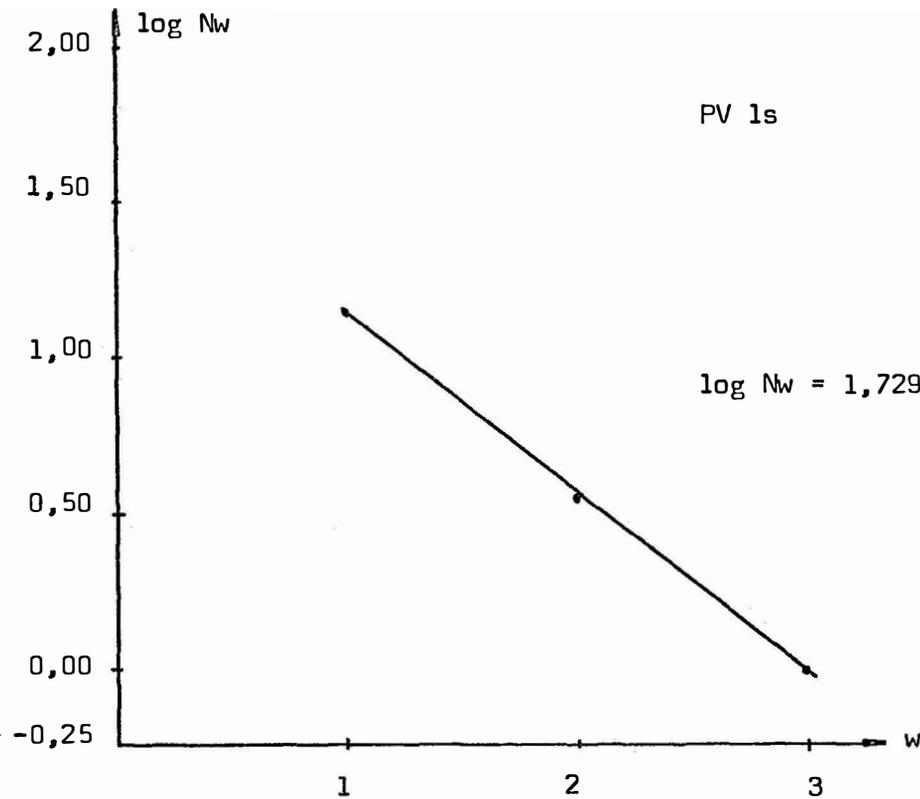


FIGURA 7 - Regressão do número de segmentos de rios sobre as ordens de ramificação das bacias hidrográficas, para as unidades de solo estudadas.

TABELA 14 - Valores Observados e Valores Médios Calculados para a Razão de Ramificação (Rb), das Bacias Hidrográficas Representativas das Unidades de Solo Estudadas.

ORDENS RELA- CIONADA	PV 1s			RLV + RPV			
	Rb observada			Rb calculada			
	Bacias hidrográficas			Bacias hidrográficas			
	I	II	III	Média	Maxwell	Média	Maxwell
				IV	V	VI	
w_1/w_2	4,67	3,50	5,33	3,67	4,50	2,50	
							2,86
w_2/w_3	3,00	4,00	3,00	3,00	2,00	2,00	
							2,86

TABELA 15 - Comprimentos Totais de Segmentos de Rios em Cada Ordem; Comprimento Total Observado em cada Bacia Hidrográfica e as Respectivas Médias Ponderadas em Relação à Área, para as Unidades de Solo Estudadas.

ORDEM w	COMPRIMENTO DE RIO EM CADA ORDEM, Lw (em Km)										
	PV Is					RLV + RPV					
	Bacias Hidrográficas		Média ponderada			Bacias Hidrográficas		Média ponderada			
I	II	III	I	II	III	IV	V	VI	IV	V	VI
1a.	2,4	1,8	2,2	2,14		1,8	1,4	1,4	1,8	1,4	1,4
2a.	0,9	1,1	1,0	1,00		0,9	0,6	0,5	0,9	0,6	0,5
3a.	1,1	0,7	0,8	0,87		0,7	0,5	0,4	0,7	0,5	0,4
COMPRI- MENTO TOTAL DE RIOS Lt	4,4	3,6	4,0	4,01		3,4	2,5	2,3	3,4	2,5	2,3
											2,76

TABELA 16 - Comprimentos Totais dos Segmentos de Rios em cada Ordem e o Comprimento Total de Rios nas Bacias Hidrográficas, para cada Unidade de Solo; Médias Observadas e Calculadas Segundo a Equação de FRANÇA (1968) e Lei de HORTON (1945).

ORDEM	COMPRIMENTOS TOTAIS DE SEGMENTOS DE RIOS EM CADA ORDEM, Lw					
	PV 1s			RLV + RPV		
	Média Ponderada	Calculados	Horton	Média Ponderada	Calculados	Horton
1a.	2,14	1,93	2,12	1,55	1,40	1,54
2a.	1,00	1,23	1,36	0,67	0,82	0,91
3a.	0,87	0,78	0,87	0,54	0,49	0,54
COMPRI- MENTO TO- TAL DE RIOS (Lt)	4,01	3,94	4,35	2,76	2,71	2,99

TABELA 17 - Formas Assumidas pelas Substituições Numéricas na Equação Ajustada por FRANÇA (1968)
 ($\log Lw = \log a - w \log b$) Para os Comprimentos Totais de Segmentos de Rios em Cada
 Unidade de Solo Estudada; Coeficiente de Correlação (r); Coeficiente de Determinação
 (r^2) e Teste t para r.

UNIDADE DE SOLO	EQUAÇÃO	r	r^2	t
PV Is	$\log Lw = 0,48087 - w \cdot 0,19545$	-0,930	0,865	2,530 ns
RLV + RPV	$\log Lw = 0,37420 - w \cdot 0,22897$	-0,946	0,895	2,930 ns

ns - não significativo

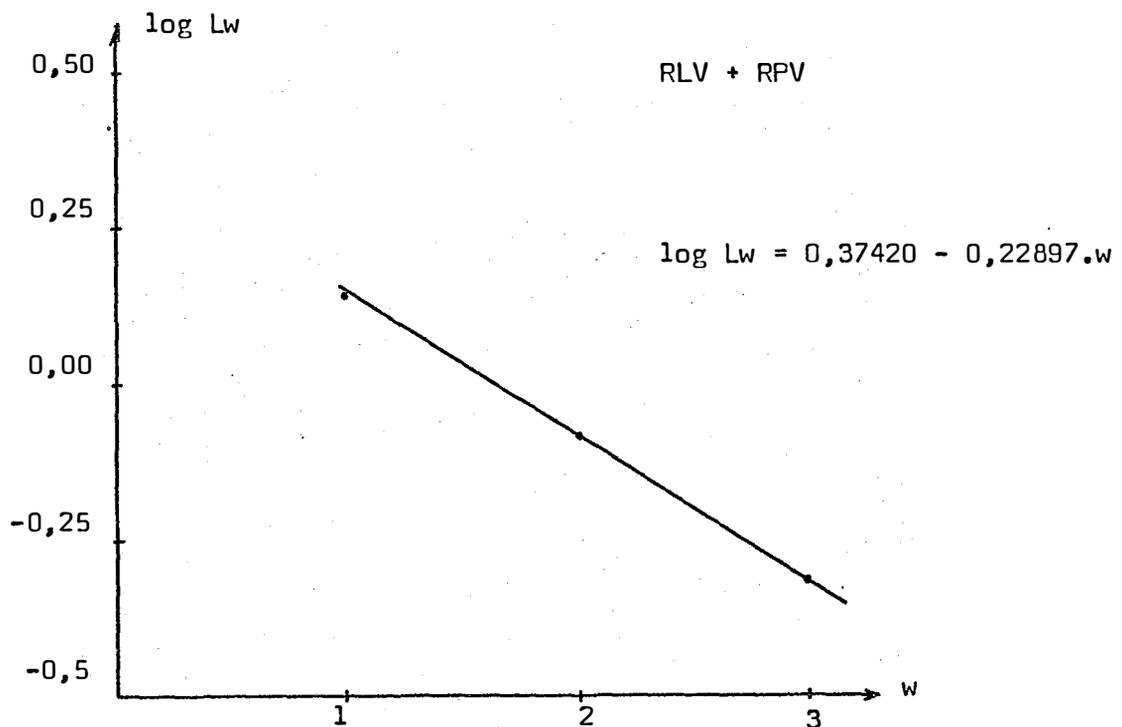
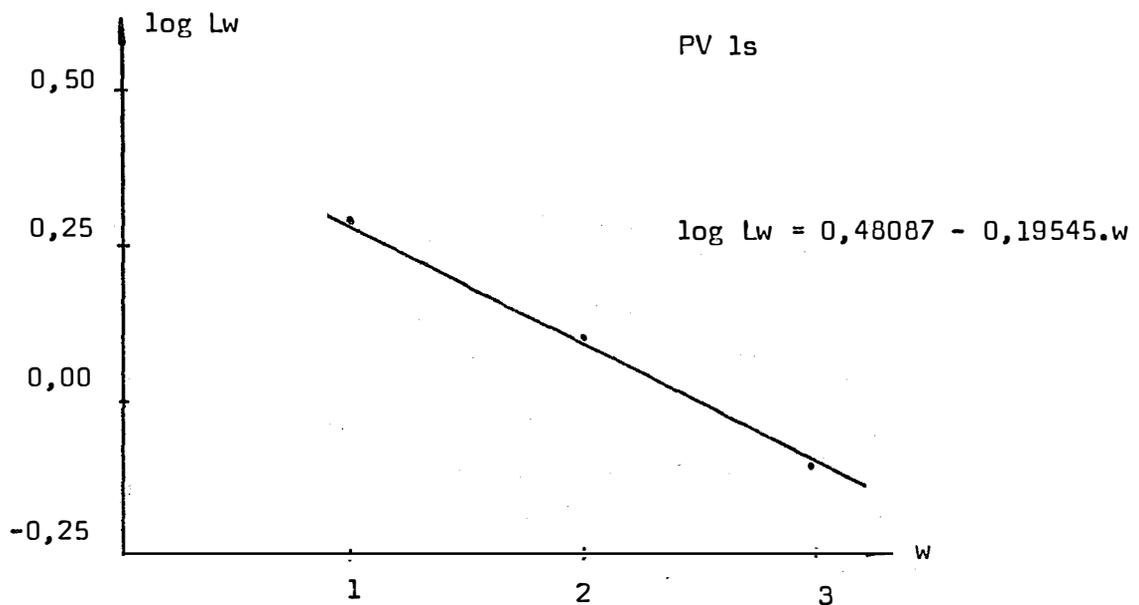


FIGURA 8 - Regressão da soma dos comprimentos de segmentos de rios sobre as ordens de ramificação para as unidades de solos estudadas.

TABELA 18 - Valores Observados e Valores Médios Calculados para o Razão de Comprimentos Totais (Rlw) das Redes de Drenagem Representativas das Unidades de Solo Estudadas.

ORDENS	PV 1s		RLV + RPV	
	Rlw observada	Rlw calculada	Rlw observada	Rlw calculada
RELACIO				
NADAS			Bacias Hidrográficas	Média Equação
	I	III	IV	VI
	II		V	
w_1/w_2	2,67	2,14	1,62	2,80
	1,64		2,50	
				1,77
				1,69
w_2/w_3	0,82	1,25	1,29	1,25
	1,57		1,20	
				1,57
				1,68

TABELA 19 - Comprimentos Médios de Rios em cada Ordem das Bacias Hidrográficas e a Média dos Comprimentos Médios para as Unidades de Solo Estudadas.

ORDEM	COMPRIMENTO MÉDIO DE RIOS EM CADA ORDEM, Lm (Km)												
	PV 1s			RLV + RPV									
	BACIAS HIDROGRÁFICAS			BACIAS HIDROGRÁFICAS			MÉDIA PONDERADA						
	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	MÉDIA PONDERADA
1a.	0,17	0,13	0,14	0,15	0,15	0,16	0,15	0,15	0,15	0,16	0,15	0,28	0,20
2a.	0,30	0,27	0,33	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,25	0,28
3a.	1,10	0,70	0,80	0,87	0,87	0,70	0,50	0,87	0,87	0,70	0,50	0,40	0,53

TABELA 20 - Valores Médios Calculados para os Comprimentos Médios de Rios (Lm) em cada Ordem de Ramificação das Redes de Drenagem das Unidades de Solo Estudadas.

ORDEM	COMPRIMENTOS MÉDIOS DE RIOS EM CADA ORDEM, Lm (Km)							
	PV 1s			RLV + RPV				
w	Média	Equação	Lw/Nw calculados	Horton	Média	Equação	Lw/Nw calculados	Horton
1a.	0,15	0,14	0,14	0,15	0,20	0,19	0,18	0,20
2a.	0,30	0,34	0,34	0,36	0,28	0,32	0,30	0,32
3a.	0,87	0,82	0,82	0,87	0,53	0,50	0,52	0,52

TABELA 21 - Formas Assumidas pelas Substituições Numéricas na Equação Ajustada para Comprimentos Médios de Rios por VASQUES FILHO (1972) ($\log L_m = \log a + w \log b$), para as Unidades de Solo Estudadas; Coeficiente de Correlação (r); Coeficiente de Determinação (r^2) e Teste t para r.

UNIDADE DE SOLO	EQUAÇÃO	r	r^2	t
PV 1s	$\log L_m = - 1,23259 + 0,38175 \cdot w$	0,993	0,986	8,407*
RLV + RPV	$\log L_m = - 0,93243 + 0,21162 \cdot w$	0,984	0,968	5,523 ns

* significativo a nível de 10%

ns- não significativo

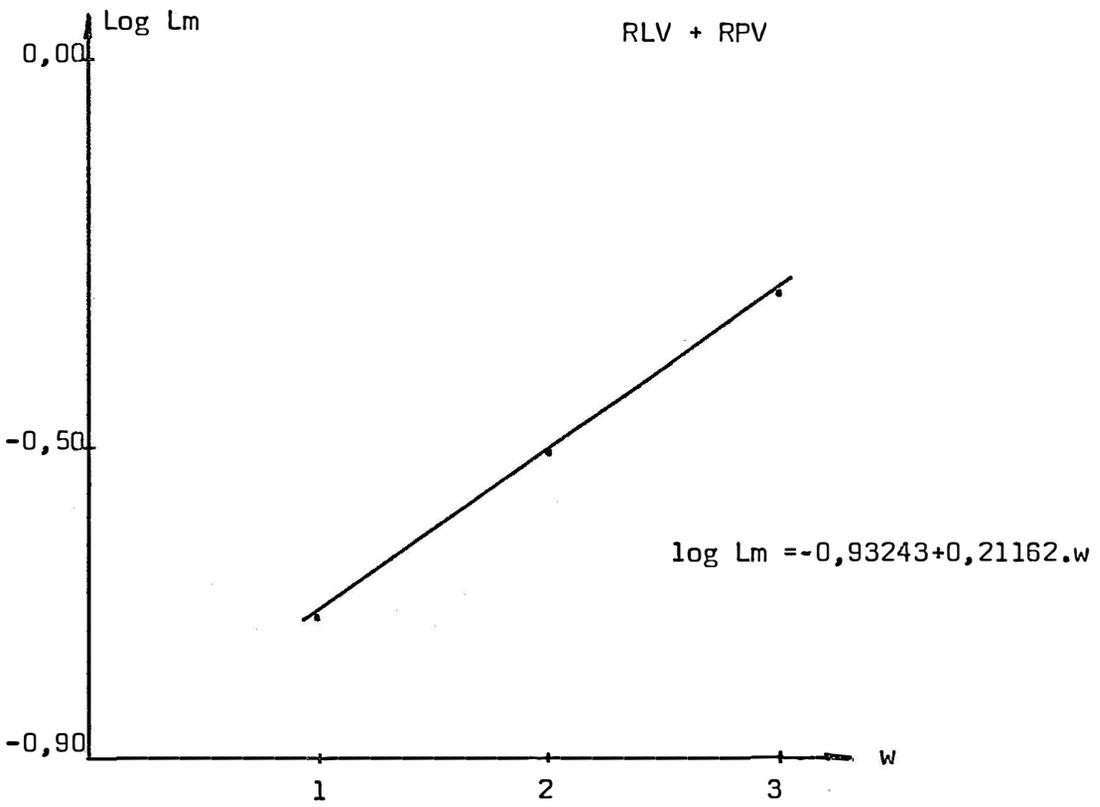
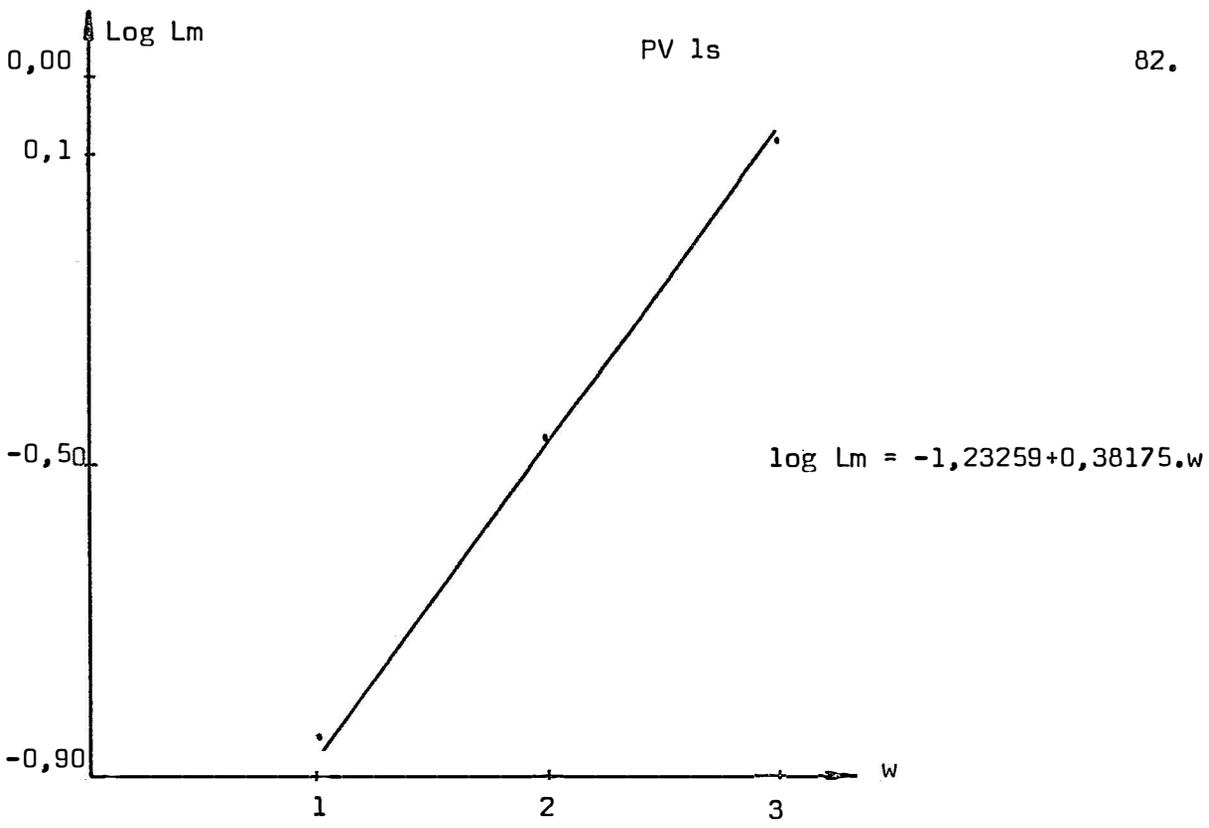


FIGURA 9 - Regressão dos comprimentos médios de segmentos de rios sobre as ordens de ramificação para as unidades de solos estudadas.

TABELA 22 - Valores Observados Para a Razão de Comprimentos Médios das Redes de Drenagem das Bacias Hidrográficas e os Valores Médios em Cada Unidade de Solo Estudada.

ORDENS RELACIO- NADAS	PV 1s			RLV + RPV		
	R1 observadas Bacias Hidrográficas	R1 calculada Média Equação	R1 Observadas Bacias Hidrográficas	R1 Observadas Bacias Hidrográficas	R1 Calculada Média Equação	
	I	II	III	IV	V	VI
w_3/w_2	3,67	2,59	2,42	2,33	1,66	1,60
				2,43	2,41	
w_2/w_1	1,76	2,07	2,06	1,87	1,76	1,35
						1,76
						1,62

TABELA 23 - Número de Segmentos de Rios, Comprimento Total de Segmentos de Rios e Comprimento Médio de Segmentos de Rios, em cada Ordem e Valores Totais Calculados para Redes de Drenagem das Unidades de Solo Estudadas.

ORDEM	PV 1s			RLV + RPV		
	Nw	Lw	Lm	Nw	Lw	Lm
Média Ponderada						
1a.	14,69	2,14	0,15	8,17	1,55	0,20
2a.	3,32	1,00	0,30	2,36	0,67	0,28
3a.	1,00	0,87	0,87	1,00	0,54	0,53
Total	19,01	4,01	--	11,53	2,76	--
Equação						
1a.	14,00	1,93	0,14	7,68	1,40	0,19
2a.	3,65	1,23	0,34	2,68	0,82	0,32
3a.	0,95	0,78	0,82	0,94	0,49	0,50
Total	18,60	3,94	--	11,30	2,71	--
Horton						
1a.	14,67	2,12	0,15	8,18	1,54	0,20
2a.	3,83	1,36	0,36	2,86	0,91	0,32
3a.	1,00	0,87	0,87	1,00	0,54	0,52
Total	19,50	4,35	--	12,04	2,99	--

TABELA 24 - Valores Médios Calculados para as Razões de Ramificação (Rb), de Comprimentos Totais (RLw) e de Comprimentos Médios (Rl) das Redes de Drenagem Representativas das Unidades de Solo Estudadas.

CARACTERÍSTICAS	PV Is		RLV + RPV	
	Média	Equação	Média	Equação
Razão de Ramificação (Rb)	3,92	3,83	2,89	2,86
Razão de Comprimentos Totais (RLw)	1,68	1,57	1,77	1,69
Razão de Comprimentos Médios (Rl)	2,43	2,41	1,76	1,62

$$* Rl = \frac{Rb}{RLw}$$

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

De acordo com a revisão de literatura, procurou-se realizar o estudo fotointerpretativo de redes de drenagem e suas correlações com duas unidades de solo com origem geológica semelhante, utilizando como métodos de amostragem, pequenas bacias hidrográficas e áreas circulares de 10 Km², para a obtenção e análise dos dados.

6.1. Características das bacias hidrográficas

Os autores consultados, de modo geral, admitem que à medida que aumenta a ordem das bacias hidrográficas, os cursos de água se aprofundam na coluna geológica, expondo diferentes materiais que influenciam o comportamento da rede de drenagem.

No estudo das bacias hidrográficas, foram selecionadas bacias de mesma ordem de ramificação, de acordo com HORTON (1945), procedimento este que foi adotado por diversos pesquisadores, como SMITH (1950), SCHUMM (1956), STRAHLER (1957), FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1973), GEVAERD (1974), SOUZA (1975), FREIRE (1977),

DEMÉTRIO (1977) e CARVALHO (1977).

HORTON (1945), SMITH (1950) e FRANÇA (1968) demonstraram que a utilização de bacias hidrográficas de ordens diferentes, em igualdade das outras condições, apresentam modificações em sua composição e nas características das redes de drenagem.

Através da utilização de fotografias aéreas verticais e com base nos princípios e métodos preconizados por vários autores, como HORTON (1945), SMITH (1950), STRAHLER (1957), RABBEIN (1960), BURINGH (1960), FROST (1960), RAY (1963), GOOSEN (1968), FRANÇA (1968) e SOUZA (1975), foram utilizadas como amostras, três bacias hidrográficas de 3a. ordem para cada uma das duas unidades de solo estudadas. Para a escolha dessas bacias, além do requisito de mesma ordem de ramificação, de acordo com STRAHLER (1957) buscou-se a semelhança geométrica e, de acordo com FROST (1960), também, a semelhança de solos.

As características não dimensionais, que constam da Tabela 4, mostram pequena variação quanto à forma e simetria das vertentes.

As poucas variações observadas na unidade PV 1s podem ser atribuídas ao controle litológico. Por outro lado, com relação à unidade de mapeamento RLV + RPV, as variações são decorrentes de controle estrutural.

As características dimensionais das bacias estudadas, que estão na Tabela 5, mostram que as duas unidades de solo estudadas apresentam-se com alguns valores semelhantes, como maior comprimento, maior largura e

comprimento do rio principal; enquanto que outras características, como comprimento da rede, perímetro e área, apresentam certas diferenças. Assim é que, as bacias da unidade RLV + RPV tendem a apresentar menor comprimento total de rios e maior área, relativamente à unidade PV ls.

Tais resultados sugerem que as duas unidades de solo possuem comportamento hidrológico diferente, mas a diferença entre elas não é muito acentuada. De modo geral, os solos da unidade RLV + RPV possuem relevo mais suave e maior capacidade de infiltração que os solos da unidade PV ls; contudo, no tocante à resistência à erosão, as evidências são de que não diferem significativamente entre si. Estas inferências concordam com as observações de LUEDER (1957) sobre a relação infiltração/deflúvio, discordando em parte das afirmativas de HORTON (1945), que atribuiu maior importância à resistência do solo à erosão.

O exame das características tanto dimensionais como não dimensionais, bem como o teste de semelhança geométrica, apresentado na Tabela 6, demonstram que todas as bacias hidrográficas selecionadas preenchem os requisitos estabelecidos por STRAHLER (1957). Desse modo, as bacias hidrográficas apresentam semelhança geométrica satisfatória, permitindo pois, que as medidas obtidas em bacias hidrográficas de uma mesma unidade de solo, possam ser comparadas entre si ou com as de outra unidade, satisfazendo as exigências postuladas por HORTON (1945), SMITH (1950), SCHUMM (1956), ANDERSON (1957), STRAHLER (1957) e FRANÇA (1968).

No tocante à representatividade das bacias hidrográficas em relação às unidades de solo estudadas, pode-se considerá-la como alta, o que

oferece condições de estudo que satisfazem os princípios recomendados por FROST (1960) e FRANÇA (1968).

6.2. Características das amostras circulares

As correlações entre redes de drenagens e as unidades de solo foram também efetuadas utilizando-se amostras circulares de 10 Km² de área, nas quais procurou-se obter, de acordo com FRANÇA (1968), a maior homogeneidade e representatividade possíveis das unidades de solo sob estudo.

RAY e FICHER (1960), utilizando esse tipo de amostragem, pesquisaram a significância da densidade de drenagem em relação à litologia e concluíram que os dados assim obtidos foram mais consistentes que os obtidos em bacias.

Esse mesmo método de amostragem foi utilizado com sucesso para estudos pedológicos por FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1973), GEVAERD (1974), SOUZA (1975), KOFFLER (1976a, 1976b), FREIRE (1977), DEMÉTRIO (1977) e CARVALHO (1977), que comprovaram sua eficiência na distinção de solos.

A análise das características dimensionais das amostras circulares utilizadas neste trabalho, que estão apresentadas na Tabela 7, demonstra claramente uma grande diferença entre os valores obtidos para os dois solos estudados, no tocante ao comprimento total e número de rios contidos nas amostras circulares, o que concorda com as observações fei-

tas pelos autores atrás mencionados.

Os solos da unidade PV ls apresentam maior comprimento total de rios e maior número de rios, quando comparados aos da unidade RLV + RPV.

Uma característica marcante que diferencia as unidades de solo estudadas, é a presença de rios de ordem mais elevada dentro das amostras circulares, na unidade PV ls. Nas amostras circulares desta unidade, ocorrem rios até 4a. ordem, enquanto que nas amostras da unidade RLV + RPV encontram-se rios no máximo de 3a. ordem, o que está de acordo com as observações de SOUZA (1975).

Baseado neste fato, SOUZA (1975) apresenta a sugestão de se utilizar amostras circulares de área variável, em estudos fotopedológicos, com a finalidade de se facilitar a obtenção de amostras mais representativas, o que foi confirmado posteriormente através dos trabalhos efetuados por KOFFLER (1976b), DEMÉTRIO (1977) e FREIRE (1977).

6.3. Características das redes de drenagem

As características das redes de drenagem foram estudadas sob dois aspectos distintos: qualitativo e quantitativo. Sob o aspecto qualitativo, foram seguidas as recomendações de LUEDER (1959), PARVIS (1950), RICCI e PETRI (1965). No estudo quantitativo das redes de drenagem, utilizaram-se os métodos preconizados por HORTON (1945), STRAHLER

(1957), SMITH (1950), RAY e FISCHER (1960), ZINKE (1960), FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1973), GEVAERD (1974), SOUZA (1975), KOFFLER (1976), FREIRE (1977), DEMÉTRIO (1977) e CARVALHO (1977).

6.3.1. Características descritivas das redes de drenagem

As características descritivas das redes de drenagem, que estão apresentadas na Tabela 8, indicam que, com exceção do grau de integração e ângulos de junção, as demais características auxiliam na distinção entre as duas unidades de solo.

A unidade de solo PV ls apresenta-se com densidade alta, enquanto que a unidade RLV + RPV, com densidade baixa. O maior desenvolvimento da rede na unidade PV ls está condicionado à menor capacidade de infiltração de água no solo. A menor densidade de drenagem na unidade RLV + RPV sugere maior capacidade de infiltração e permeabilidade destes solos. Estas observações estão de acordo com LUEDER (1959).

Quanto ao modelo de drenagem, constatou-se que o modelo arborescente ocorre em relevo ondulado a fortemente ondulado, correspondente à unidade PV ls; ao passo que o modelo arborescente modificado ocorre em relevo suavemente ondulado, encontrado nos solos da unidade RLV + RPV, o que provavelmente se deve à influência do controle estrutural. Estas observações estão de acordo com aquelas feitas por PARVIS (1950), MILLER e MILLER (1961), RICCI e PETRI (1965).

Pode-se notar que algumas características descritivas apresentam-se semelhantes, mesmo tendo-se utilizado unidades de solo distintas. A utilização das características descritivas na separação de unidades de solo, deve ser considerada como recurso auxiliar, devido ao caráter regional que estas características apresentam, segundo PARVIS(1950), o que foi confirmado por SOUZA (1975), KOFFLER (1976a) e FREIRE (1977), bem como no presente estudo.

6.3.2. Características quantitativas das redes de drenagem

As características quantitativas das redes de drenagem apresentam um maior significado, com relação ao desenvolvimento das redes de drenagem, tendo sido estudadas por diversos autores, com a finalidade de correlacionar os índices obtidos com o desenvolvimento das redes e natureza dos materiais subjacentes (rochas ou solos). Esses trabalhos evidenciaram fatores responsáveis pelo desenvolvimento das redes, tais como: permeabilidade e resistência à erosão, por HORTON (1945), SMITH (1950), RAY e FISCHER (1960); resistência à erosão, por RAY (1963), RICCI e PETRI (1965); relação infiltração/deflúvio, por LUEDER (1959), FROST (1960), ZINKE (1960).

Entretanto, segundo FRANÇA (1968), esses trabalhos conduziram à conclusões muito gerais, devido à heterogeneidade do material com que trabalharam, sem chegar à caracterização pedológica.

Trabalhos efetuados com materiais relativamente homogêneos e

considerando pequenas bacias hidrográficas ou amostras circulares, como os de FRANÇA (1968) e os demais autores nacionais que seguiram a mesma linha de estudo, demonstraram que, nessas condições, os índices obtidos são consistentes e refletem a influência do fator solo no desenvolvimento das redes de drenagem, resultante da interação de um conjunto de propriedades de perfis de solo.

6.3.2.1. Características quantitativas determinadas em bacias hidrográficas

Os dados obtidos a partir de bacias hidrográficas e que se encontram na Tabela 9, mostram que as características densidade de drenagem e frequência de rios permitem distinguir as unidades de solo com facilidade, concordando com FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1973), GEVAERD (1974), SOUZA (1975), KOFFLER (1976a), FREIRE (1977), DEMÉTRIO (1977) e CARVALHO (1977).

HORTON (1945) preconizou a necessidade das duas características, densidade de drenagem e frequência de rios, para diferenciar materiais (solos ou rochas), no que foi apoiado por STRAHLER (1964). Tal necessidade não se comprovou nesta pesquisa, visto que o uso isolado de qualquer uma delas permite a separação dos solos estudados, o que também foi constatado nos trabalhos dos já citados autores nacionais. Assim, é notório o auxílio dessas duas características, isoladas ou em conjunto, na separação de unidade pedológicas de mapeamento.

RAY (1963), MILLER e MILLER (1961), RICCI e PETRI (1965), HORTON (1945), SMITH (1950), RAY e FISCHER (1960), apontam como principais fatores responsáveis pelo desenvolvimento das redes de drenagem, a resistência à erosão e a permeabilidade do material. Os dados obtidos concordam em parte com as afirmativas desses autores, pois os solos das duas unidades diferem quanto à permeabilidade, porém é pequena a diferença no tocante à resistência à erosão.

As diferentes características quantitativas podem ser melhor explicadas através da relação infiltração/deflúvio, concordando com LUEDER (1959), FROST (1960), ZINKE (1960) e SOUZA (1975), dadas as condições de relevo e permeabilidade dos solos estudados.

Os resultados obtidos para razão de textura e razão de textura média, sugeridas por SMITH (1950) e modificadas por FRANÇA (1968), foram também significativos em termos de diferenças entre solos, concordando com os resultados obtidos por FRANÇA (1968) e demais autores brasileiros.

A classe de textura topográfica obtida foi também diferente para as duas unidades de solo estudadas, ou seja, média para a unidade PV ls e grosseira para RLV + RPV.

Nota-se, portanto, pelo exame dos dados apresentados na Tabela 9, que todas as características quantitativas referentes a bacias hidrográficas revelaram diferenças entre os solos estudados, sendo que os valores mais altos correspondem aos solos da unidade PV ls e os mais baixos, aos solos da unidade RLV + RPV.

6.3.2.2. Características quantitativas determinadas em amostras circulares

FRANÇA (1968), estudando bacias e redes de drenagem em séries de solo do município de Piracicaba, considerou os resultados obtidos em bacias hidrográficas pouco consistentes; e utilizou amostras circulares de 10 Km^2 para obtenção da densidade de drenagem segundo RAY e FISCHER (1960).

A mesma técnica foi utilizada por FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1973) e GEVAERD (1974), os quais obtiveram dados de densidade de drenagem que demonstraram diferenças entre os solos estudados.

SOUZA (1975), trabalhando com amostras circulares em solos do Paraná, obteve além da densidade de drenagem, dados referentes a frequência de rios, razão de textura média e classe de textura topográfica. De maneira análoga procederam KOFFLER (1976a, 1976b), FREIRE (1977), DEMÉTRIO (1977) e CARVALHO (1977).

Os resultados obtidos neste trabalho, a partir de amostras circulares e apresentados na Tabela 10, mostram que as características densidade de drenagem, frequência de rios e razão de textura, individualmente, permitem diferenciar as unidades de solo, o que discorda de HORTON (1945) e STRAHLER (1964).

Com referência às classes de textura topográfica, estas não permaneceram às mesmas para a unidade PV 1s, passando de média nas bacias hi

drográficas, para fins nas amostras circulares. Este fato evidencia a influência de se manter constante a área, originando valores mais elevados, conforme foi observado por SOUZA (1975) e FREIRE (1977).

De um modo geral, os valores encontrados nas amostras circulares apresentam diferenças mais marcantes, entre as unidades de solo, que os valores obtidos em bacias hidrográficas.

6.3.3. Composição das redes de drenagem

Segundo HORTON (1945) e STRAHLER (1957), a expressão "composição das redes de drenagem" abrange estudos sobre número de rios ou segmentos de rios e razão de ramificação; comprimentos totais de rios e razão de comprimentos totais; comprimentos médios de rios ou segmentos de rios e razão de comprimentos médios.

No presente trabalho, optou-se pela classificação das ordens de rios pelo sistema de HORTON (1945) modificado por STRAHLER (1957), o que permite, segundo FRANÇA (1968), a análise dos elementos semelhantes de diferentes redes de drenagem, bem como a comparação de dados, nos moldes preconizados por HORTON (1945), SMITH (1950), SCHUMM (1956), STRAHLER (1957), e outros autores.

STRAHLER (1957) preconiza que duas bacias, mesmo diferindo em tamanho, podem ser comparadas em relação aos elementos correspondentes em sua geometria, desde que apresentem o mesmo número de ordens de rios. Com base nessa afirmação, foram utilizadas neste trabalho bacias hidrográficas

de mesma ordem (3a.), e seguindo-se a metodologia empregada por FRANÇA (1968) e demais autores brasileiros, efetuou-se a computação e análise de dados para cada ordem de ramificação.

6.3.3.1. Análise do número de segmentos de rios

O número de segmentos de rios segundo STRAHLER (1957), para cada ordem de ramificação e o número total para as bacias, os quais estão na Tabela 11, indicam que, à exceção da 3a. ordem, os valores numéricos observados tendem a ser maiores na unidade PV ls que na unidade RLV + RPV, refletindo assim, diferenças no comportamento hidrológico desses solos.

Examinando a Tabela 12, onde constam os valores da média ponderada do número de segmentos de rios em relação à área das bacias, bem como os valores obtidos pela equação ajustada por MAXWELL (1975) e pela lei de HORTON (1945), nota-se que os resultados obtidos por qualquer um desses procedimentos estão próximos dos valores observados.

Nota-se também que os maiores valores tendem a ser aqueles obtidos através da lei de HORTON (1945), vindo a seguir os valores calculados pela média ponderada e, por último, os números de segmentos de rios calculados pela equação de MAXWELL (1955), discordando em parte das observações feitas por FRANÇA (1968), FADEL (1972) e VASQUES FILHO (1972) em suas pesquisas.

Os números de segmentos de rios analisados isoladamente, permitem a separação das duas unidades de solo estudadas, sem a necessidade dos valores de densidade de drenagem e frequência de rios, concordando com as observações de FADEL (1972), LEÃO (1973), GEVAERD (1974), SOUZA (1975) e CARVALHO (1977) e sendo contrárias às observações de HORTON (1945), VASQUES FILHO (1972) e FREIRE (1977).

A comparação entre números de segmentos de rios e área das bacias hidrográficas, dados apresentados respectivamente nas Tabelas 12 e 5 mostra que: não existe relação dentro de cada unidade de solo e não existe relação entre as unidades de solo.

De acordo com SOUZA (1975), o número de segmentos de rios para cada unidade de solo, é diretamente proporcional às suas declividades, visto que as unidades de solo com declives mais acentuados e com uma menor relação infiltração/deflúvio, apresentam um maior número de segmentos de rios. Através do exame dos dados do número de segmentos de rios, constantes da Tabela 12, confirma-se a observação de SOUZA (1975), e também as de LUEDER (1959), FROST (1960) e ZINKE (1960), que atribuem à relação infiltração/deflúvio o desenvolvimento das redes de drenagem.

6.3.3.2. Análise da razão de ramificação

De acordo com STRAHLER (1957), a razão de ramificação constitui um dos parâmetros de grande importância, pois expressa a composição do sistema de drenagem, sendo altamente estável, com pequena amplitude de

variação de uma região para outra, ou de um ambiente para outro, exceto onde domina poderoso controle geológico.

Examinando a Tabela 14, onde se encontram os valores observados e os valores médios calculados para a razão de ramificação das bacias hidrográficas, representativas das unidades de solo estudadas, observa-se a variação acentuada dos valores, discordando das afirmativas de STRAHLER (1945), e concordando com FRANÇA (1968), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1973), SOUZA (1975), FREIRE (1977) e CARVALHO (1977).

Entre as unidades de solo, ocorrem variações acentuadas, que podem ser atribuídas às declividades, de acordo com SOUZA (1975) e FREIRE (1977).

Os valores observados seguiram a mesma sequência dos encontrados para o número de segmentos de rios, ou seja, os maiores para a unidade PV 1s, e os menores para a unidade RLV + RPV.

Os valores obtidos pela equação ajustada por MAXWELL (1955) são menores que os valores obtidos pela média dos dados das bacias hidrográficas, estando entretanto, bastante próximos.

Os valores médios calculados mostram-se suficientemente bons para permitir a distinção entre os solos estudados, concordando com as observações de FRANÇA (1968), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1973), SOUZA (1975), FREIRE (1977) e CARVALHO (1977).

6.3.3.3. Análise dos comprimentos totais de segmento de rios

Na Tabela 15 estão apresentados os comprimentos totais de segmentos de rios observados em cada ordem e bacia hidrográfica, e as médias ponderadas em relação à área. Os valores médios denotam a diferença entre os solos, sendo que esses valores comportam-se da mesma forma que os demais dados obtidos, ou seja, os maiores valores pertencem à unidade PV ls, e os menores, à unidade RLV + RPV.

Os valores de comprimentos totais de segmentos de rios, indicados na Tabela 16, mostram que os valores obtidos segundo a lei de HORTON (1945) apresentam-se consistentes nas duas unidades de solo, pois são semelhantes aos resultados da média ponderada em relação à área. Nota-se, no tocante aos comprimentos totais de rios nas bacias, valores ligeiramente maiores, o que discorda de SOUZA (1975), apesar destas unidades de solo serem diferentes das estudadas por aquele autor; e de outro lado, concorda com FREIRE (1977).

Os valores calculados pela equação ajustada por FRANÇA (1968), apresentam-se também, próximos à média ponderada, para as duas unidades de solo estudadas; e com referência aos comprimentos totais de segmentos de rios das bacias, os valores calculados pela equação de FRANÇA (1968) foram os mais próximos à média ponderada, o que demonstra o melhor ajustamento dessa equação aos dados de comprimentos totais de segmentos de rios, nas duas unidades de solo estudadas, o que concorda com as observações de FRANÇA (1968), FADEL (1972), LEÃO (1973), GEVAERD (1974), SOUZA (1975),

FREIRE (1977) e CARVALHO (1977).

Os comprimentos totais de rios obtidos para as bacias hidrográficas evidenciam a participação efetiva dos fatores que afetam a gênese do sistema de drenagem, citados por HORTON (1945), PARR e BERTRAND(1960).

Há indicação de que solos com menor relação infiltração/deflúvio e com presença de controle litológico apresentarão redes de drenagem com maior extensão total, conforme aconteceu na unidade PV ls. A maior relação infiltração/deflúvio tende a diminuir o comprimento total dos canais, como pode ser observado na unidade RLV + RPV.

6.3.3.4. Análise da razão de comprimentos totais

O exame da Tabela 18, onde se encontram os valores obtidos para a razão de comprimentos totais, mostram que esta característica apresenta pouca consistência para permitir a distinção entre as unidades de solo estudadas.

Os menores valores foram encontrados para a unidade PV ls, que apresenta relevo ondulado; e os maiores valores, na unidade RLV + RPV, com relevo suavemente ondulado, o que contraria as observações de FREIRE (1977).

Os valores calculados pela equação ajustada por FRANÇA (1968) podem ser considerados próximos à média ponderada, o que confirma a sugestão de STRAHLER (1957), de que o antilogaritmo de b na equação que relaciona os comprimentos de segmentos de rios às ordens de ramificação po

de ser tomado como expressão da razão de comprimentos totais. Este mesmo procedimento foi adotado por FRANÇA (1968), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1973), GEVAERD (1974), SOUZA (1975), FREIRE (1977) e CARVALHO (1977).

A distinção entre solos pela razão de comprimentos totais obtida para as duas unidades de solo do presente trabalho, parece não ser suficientemente consistente, visto que seus valores apresentam variação muito grande quando se considera o conjunto das bacias hidrográficas, o que concorda com a literatura consultada.

6.3.3.5. Análise dos comprimentos médios de segmentos de rios

Os comprimentos médios de segmentos de rios apresentados na Tabela 19, mostram uma difícil interpretação para os dois solos estudados, confirmando observações de SOUZA (1975), FREIRE (1977) e CARVALHO (1977); discordando porém de SCHUMM (1956), STRAHLER (1957), FRANÇA (1968), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1973) e GEVAERD (1974).

Esses dados evidenciam que os comprimentos médios de segmentos de rios não devem ser usados isoladamente na separação de unidades de solo, confirmando observações de FREIRE (1977) e CARVALHO (1977).

Examinando a Tabela 20, nota-se que os valores médios obtidos pela equação de VASQUES FILHO (1972), relação L_w/N_w calculados e lei dos comprimentos médios de rios de HORTON (1945), apresentam pequenas variações em relação à média ponderada.

Os valores obtidos pela equação de VASQUES FILHO (1972), L_w/N_w calculados e pela lei dos comprimentos médios de rios de HORTON (1945), não apresentam desvios consideráveis, concordando com HORTON (1945), STRAHLER (1957), VASQUES FILHO (1972), SCHUMM (1956), FRANÇA (1968), FADDEL (1972), LEÃO (1973) e GEVAERD (1974), discordando porém de SOUZA (1975), FREIRE (1977) e CARVALHO (1977).

6.3.3.6. Análise da razão de comprimentos médios (R_l)

A Tabela 22 apresenta os valores observados para a razão de comprimentos médios, os quais mostram a consistência deste parâmetro para a separação das unidades de solo estudadas.

Os valores calculados pela média dos dados observados, ou pela indicação de STRAHLER (1957) onde $R_l = \text{antilog de } b$, aplicada à equação ajustada por VASQUES FILHO (1972), apresentam significativas diferenças quando observados separadamente, para cada unidade de solo, sendo que os valores calculados através da equação de VASQUES FILHO (1972), resultaram inferiores à média calculada nos dois solos estudados.

6.3.4. Análise associada das razões de ramificação, de comprimentos totais e de comprimentos médios

As Tabelas 23 e 24 apresentam, em conjunto, todos os valores médios que compõem as redes de drenagem estudadas.

A análise associada dos valores indicados na Tabela 23 evidencia

a importância, principalmente do número de segmentos de rios e comprimentos totais de segmentos de rios, na distinção entre as unidades de solo, concordando com a observação de SOUZA (1975).

As duas unidades de solos comportaram-se de maneira peculiar para as características estudadas, entretanto, para SOUZA (1975) a distinção entre unidades de solo deve ser efetuada considerando-as em conjunto; e os dados a analisar devem ser obtidos segundo um mesmo critério: ou pela média ponderada, ou por uma das equações ajustada: MAXWELL (1955), FRANÇA (1968), VASQUES FILHO (1972); ou ainda segundo HORTON (1945).

A análise em conjunto dos valores da razão de ramificação, razão de comprimentos totais e razão de comprimentos médios, indicados na Tabela 24 e obtidos pelas equações ajustadas por MAXWELL (1955), FRANÇA (1968) e VASQUES FILHO (1972) e segundo a relação preconizada por FRANÇA (1968), evidencia a importância das três razões na distinção das unidades de solos estudadas e confirmam a eficiência da relação apresentada por FRANÇA (1968), onde $R1 = \frac{Rb}{Rlw}$.

Individualmente, as razões de ramificação e de comprimentos médios mostraram-se mais consistentes, na distinção dos solos estudados, do que a razão de comprimentos totais.

6.3.5. Limitações do estudo

A boa qualidade da amostragem, aliada à elevada representatividade dos solos, permitiu a obtenção de elevados coeficientes de correla-

ção (r) para as equações obtidas segundo MAXWELL (1955), FRANÇA (1968) e VASQUES FILHO (1972). A baixa significância estatística desses elevados coeficientes é devida ao fato de se efetuar o estudo e a análise com bacias de 3a. ordem que são as que melhor refletem o comportamento dos solos, porém fornecem apenas três pontos.

7. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no estudo das redes de drenagem das duas unidades de solo estudadas, nas condições existentes e com a metodologia utilizada, permitiram as seguintes conclusões:

a) A análise das características dimensionais das amostras circulares, comprimento da rede e número de rios, demonstra claramente uma grande diferença entre os valores obtidos para os dois solos estudados; o que não ocorre com as características dimensionais das bacias hidrográficas, que não apresentam diferenças marcantes entre os dois solos.

b) O principal fator de desenvolvimento das redes de drenagem foi o relêvo, que origina diferentes relações infiltração/deflúvio, secundado por controles geológicos (litológico na unidade PV 1s e estrutural na unidade RLV + RPV).

c) As características descritivas das redes de drenagem, com exceção do grau de integração e ângulos de junção, auxiliam na distinção entre as unidades de solo.

d) Todas as características quantitativas das redes de drenagem, isoladamente ou em conjunto, permitem a distinção das unidades de solo, tanto em bacias hidrográficas como nas amostras circulares, sendo que estas forneceram melhores resultados.

e) A análise do número de rios para as bacias hidrográficas permite a separação das duas unidades de solo estudadas.

f) Os resultados obtidos para comprimentos médios de segmentos de rios nas bacias evidenciam que esse parâmetro não deve ser usado isoladamente na separação das unidades de solo, o que não ocorre com os comprimentos totais de segmentos de rios, cujos valores médios denotam diferença entre os solos.

g) Os valores obtidos para a razão de ramificação mostraram-se suficientemente bons para permitir a distinção entre os solos estudados.

h) A análise em conjunto dos valores da razão de ramificação, razão de comprimentos totais e razão de comprimentos médios obtidos pelas equações e relação, evidencia a importância das três razões na distinção das unidades de solo estudadas.

i) Individualmente, as razões de ramificação e de comprimentos médios mostraram-se mais consistentes na distinção dos solos estudados, do que a razão de comprimentos totais.

8. SUMMARY

Differences in the drainage network composition and in the characteristics of the drainage pattern of watersheds and circular samples of two soil units derived from Botucatu sandstone were studied using photointerpretation techniques. This was done with purpose of obtaining a criteria for distinction between these soils.

The selected soil units were mapped and classified by the formes Committee on Soils of the National Service for Agronomic Research (Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas) as Red-Yellow Podzolic-Laras variation (PV 1s) and Regosol intergrade to both Red-Yellow Latosol and Red-Yellow Podzolic (non-descreet RLV + RPV group). These soils are located in the physiographic region known as Peripheric Depression or Paleozoic, medium Tiete sub-region, São Pedro Municipality, State of São Paulo. The climate of the region was classified as Cwa type, mesothermic with dry winter according to Koppen's classification.

The drainage network of the soil units under study were represented by three watersheds of third order selected by the criteria of

geometric similarity and by three circular samples covering an area of 10 Km².

As to the composition of the drainage networks an analysis was made of the number, total and average length of stream segments, as well as the branching ratios of total and average length determined for the watersheds.

In regards to quantitative characteristics the following were studied: drainage density, stream frequency, average texture ratio and the topographic textural class. These were determined both for watersheds and circular samples.

The analysis, comparison and discussion of the results led to the following main conclusion:

All the quantitative characteristics of the drainage networks either isolated or in group are sufficient to distinguish the soil units under consideration. Both watersheds and circular samples can be used, the latter however yields better results.

9. LITERATURA CITADA

AMARAL, A.Z. e R. AUDI, 1972. Fotopedologia. In: MONIZ, A.C., Coord. Elementos de Pedologia. São Paulo, Polígono Editora da USP, p. 429-442.

ANDERSON, H.W., 1957. Relating Sediment Yield to Watershed Variables. Trans. Am. Geophys. Un., Washington, 38:921-924.

BOMBERGER, E.H. e H.W. DILL Jr., 1960. Photo Interpretation in Agriculture. In: Manual of Photographic Interpretation. Washington, American Society of Photogrammetry, cap. 11, p. 561-632.

BLOOM, A.L., 1970. Superfície da Terra. Trad. e coment. por S.Petri e R.Elbert. São Paulo, Blücher e Ed. da USP, 184p.

BURINGH, P., 1960 . The Applications aof Aerial Photographis in Soil Surveys. In: Manual of Photographic interpretation. Washington, American Society of Photogrammetry, cap. 11, p. 633-666.

CARVALHO, W.A., 1977. Fotointerpretação de Bacias Hidrográficas e Amos tras Circulares e Redes de Drenagem de Solos com Horizonte B Textu ral. Piracicaba, ESALQ/USP, 126p. (Tese de Doutorado).

- COLWELL, R.N., 1952. Photographic Interpretation for Civil Purposes. In: Manual of Photogrammetry. 2a. ed., Washington, American Society of Photogrammetry, p. 535-602.
- COMISSÃO DE SOLOS DO SERV. NAC. DE PESQ. AGRON., 1960. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura. 634p. (Boletim 12).
- DEMÉTRIO, V.A., 1977. Variação de Características de Redes de Drenagem em Função da Escala das Fotografias Aéreas Verticais. Piracicaba, ESALQ/USP, 107p. (Tese de Mestrado).
- DUNBAR, R.A., 1959. Problems of Interpretation in Tropical Regions. In: Aerial Photographic Interpretation: Principles and Applications. New York, Mc Graw-Hill, p. 426-427.
- ENGELN, D.D., 1942. Geomorphology: Systematical and Regional. New York, Mac Millan, 655p.
- 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. (Tese de Mestrado).
- FRANÇA, G., 1968. Interpretação Fotográfica de Bacias e de Redes de Drenagem Aplicada a Solos da Região de Piracicaba. Piracicaba, ESALQ/USP, 151 p. (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: Manual of Photographic Interpretation. Washington, American Society of Photogrammetry, cap. 5, p. 343-402.

- GANDOLFI, N., 1971. Análise Morfométrica de Drenagem na Bacia do Rio Mogi-Guassu. Not. Geom., Campinas, 11(21): 23-40.
- GEVAERD, I., 1974. Parâmetros Fotoanalíticos de Três Unidades de Solo da Região Nordeste Paranaense. Piracicaba, ESALQ/USP, 110 p. (Tese de Mestrado).
- GOOSEN, D., 1968. Interpretacion de Fotos Aereas y su Importancia en Levantamiento de Suelos. Roma, Organizacion de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion. 58 p. (Boletim sobre suelos, 6).
- HORTON, R.E., 1945. Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins: Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. Bull. Geol. Soc. Ame., New York, 56: 275-370.
- KOFFLER, N.F., 1976a. Utilização de Imagens Aerofotográficas e Orbitais no Estudo do Padrão de Drenagem em Solos Originados do Arenito Bauru. São José dos Campos, INPE, 150p. (Tese de Mestrado).
- KOFFLER, N.F., 1976b. Análise Aerofotográfica da Influência da Área de Amostragem Circular na Caracterização Quantitativa do Padrão de Drenagem. São José dos Campos, INPE, 20p.
- LEÃO, S.R.F., 1973. Interpretação Fotográfica dos Padrões de Drenagem Desenvolvidos em Dois Solos do Distrito Federal. Piracicaba, ESALQ/USP, 110 p. (Tese de Mestrado).
- LUEDER, D.R., 1959. Aerial Photographic Interpretation: Principles and Applications. New York, Mc Graw-Hill. 462p.
- MARCHETTI, D.A.B., 1969. Fotointerpretação de Atributos de Relevo Aplicada a Solos da Região de Piracicaba. Piracicaba, ESALQ/USP, 58 p. (Tese de Doutorado).

- MAXWELL, J.C., 1955. The Bifurcation Ratio in Horton's Law Streams Numbers. Trans. Am. Geophys. Un., Washington, 36: 520. (resumos).
- MILLER, V.C. e MILLER, C.F., 1961. Photogeology. New York, McGraw-Hill, 248p.
- PARVIS, M., 1950. Drainage Pattern Significance in Airphoto Identification of Soils and Bedrocks. Photogramm. Engng., Washington, 16(3): 387-408.
- PARR, J.F. e A.R. BERTRAND, 1960. Water Infiltration Into Soils. Adv. Agron., New York, 12: 311-363.
- RABBEN, E.L., 1960. Fundamentals of Photointerpretation. In: Manual of Photographic Interpretation. Washington, American Society of Photogrammetry, cap. 3, p. 99-168.
- RAY, R.G., 1963. Fotografias Aéreas na Interpretação e Mapeamento Geológicos. Trad. de Jesuino Felicissimo Jr., São Paulo, Instituto Geográfico e Geológico. 88p.
- RAY, R.G. e W.A. FISCHER, 1960. Quantitative Photography: a Geologic Research Tool. Photogramm. Engng., Washington, 26(1): 143-150.
- RICCI, M. e S.PETRI, 1965. Princípios de Aerofotogrametria e Interpretação Geológica. São Paulo, Editora Nacional, 226p.
- ROURKE, J.D. e AUSTIN, M.E., 1951. The use of Air-photos for Soil Classification and Mapping in the Field. Photogram. Engng., 17: 738-745.
- SCHUMM, S.A., 1956. Evolution of Drainage Systems and Slopes in Badlands at Perth Amboy. Bull. Geol. Soc. Am., N. Jersey, 67: 597-646.

- SIMONSON, R.W., 1950. Use of Aerial Photographs in Soil Surveys. Photogram. Engn., 16: 308-315.
- SMITH, K.G., 1950. Standards for Grading Texture of Erosional Topography. Am. J. Sci., New Haven, 248: 655-668.
- SOUZA, M.L.P., 1975. Fotointerpretação das Redes de Drenagem de Três Solos com Horizonte B Latossólico Ocorrentes no Município de Ponta Grossa - PR. Piracicaba, ESALQ/USP, 135p. (Tese de Mestrado).
- STRAHLER, A.N., 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. Bull. Geol. Soc. Am., N.Jersey, 63:1117-1142.
- STRAHLER, A.N., 1957. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. Trans.Am. Geophys. Un., Washington, 38:913-929.
- STRAHLER, A.N., 1964. Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks. In: CHOW, V.T., Handbook of Applied Hydrology. New York, McGraw-Hill, Sec. 4, p. II.
- SUMMERSON, C.H., 1954. A Philosophy for Photogram. Engng. 20: 412-417. Engng. 20: 412-417.
- VASQUES FILHO, J., 1972. Critérios Morfológicos Aplicados à Fotointerpretação de Redes de Drenagem em Três Unidades de Solos do Município de Piracicaba (SP). Piracicaba, ESALQ/USP, 113p. (Tese de Doutorado).
- WEG, R.F., 1966. Patrones de Drenage. Bogotá, Centro Interamericano de Fotointerpretacion, 25p.
- ZINKE, P.J., 1960. Photo Interpretation in Hidrology and Watershed Management. In: Manual of Photographic Interpretation. Washington, American Society of Photogrammetry, cap. 10, p. 539-560.