

# FOTOINTERPRETAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS E AMOSTRAS CIRCULARES DE REDES DE DRENA- GEM DE SOLOS COM HORIZONTE B TEXTURAL

WOLMAR APPARECIDA CARVALHO

Orientador: GERALDO VICTORINO DE FRANÇA

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura  
«Luiz de Queiroz», da Universidade de São Paulo,  
para obtenção do título de Doutor em Solos e  
Nutrição de Plantas.

PIRACICABA

Estado de São Paulo

Junho, 1977

Aos meus filhos:

*MARCELO,*

*DANIELA e*

*RICARDO*

A G R A D E C I M E N T O S

- Ao Prof. Dr. *GERALDO VICTORINO DE FRANÇA* do Departamento de Solos e Geologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", por sua valiosa orientação e irrestrita colaboração.
  
- A Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> *GERTRUDES CELENE ROCHA PIEDADE* do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu, pelas sugestões e ajuda na execução das análises estatísticas.
  
- À *TODOS* os que, de um modo ou de outro contribuíram na execução deste trabalho.

A autora.

## I N D I C E

1 - RESUMO .....	1
2 - INTRODUÇÃO .....	2
3 - REVISÃO DA LITERATURA .....	5
3.1 - FOTOGRAFIAS AÉREAS NA INTERPRETAÇÃO E MAPEAMENTO DE SOLOS .....	5
3.2 - ESTUDOS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS E DA COMPOSIÇÃO DE REDES DE DRENAGEM .....	8
3.3 - PADRÃO DE DRENAGEM: TIPOS, CARACTE- RÍSTICAS E SIGNIFICADO .....	20
3.4 - RELAÇÕES ENTRE SOLOS E CARACTERÍSTI- CAS DAS REDES DE DRENAGEM .....	22
4 - MATERIAIS E MÉTODOS .....	25
4.1 - MATERIAIS .....	25
4.1.1 - Descrição geral das áreas estudadas .....	25
4.1.2 - Solos .....	26
4.1.3 - Bacias hidrográficas .....	28
4.1.4 - Amostras circulares .....	28
4.1.5 - Fotografias aéreas, foto- mosaicos e fotoíndices .....	28
4.1.6 - Cartas topográficas e ma- pa geológico .....	29
4.1.7 - Estereoscópios e aero- -skechtmaster .....	29
4.1.8 - Equipamento de medição .....	29
4.2 - MÉTODOS .....	30
4.2.1 - Seleção das áreas de estu- do .....	30



4.2.2 - Obtenção dos mapas de drenagem .....	30
4.2.3 - Seleção das bacias hidrográficas .....	30
4.2.4 - Análise das redes de drenagem .....	32
4.2.4.1 - Composição das redes de drenagem .....	32
4.2.4.2 - Características do padrão de drenagem .....	36
4.2.4.3 - Amostras circulares .....	38
4.2.5 - Relações entre características quantitativas dos padrões de drenagem de bacias hidrográficas e amostras circulares .....	38
5 - RESULTADOS .....	39
5.1 - CARACTERÍSTICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS .....	39
5.1.1 - Representação gráfica das bacias .....	39
5.1.2 - Propriedades dimensionais .....	40
5.1.3 - Teste de semelhança geométrica .....	40
5.1.4 - Composição das redes de drenagem .....	40
5.1.4.1 - Análise do número de segmentos de rios .....	40
5.1.4.2 - Análise dos comprimentos dos rios .....	41
5.1.5 - Características dos padrões de drenagem .....	43
5.1.5.1 - Características descritivas .....	43

5.1.5.2 - Características quantitativas .....	43
5.2 - CARACTERÍSTICAS DAS AMOSTRAS CIRCULARES .....	43
5.2.1 - Representação gráfica .....	43
5.2.2 - Características dimensionais .....	44
5.2.3 - Características quantitativas dos padrões de drenagem .....	44
5.3 - BACIAS HIDROGRÁFICAS E AMOSTRAS CIRCULARES .....	44
6 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	91
6.1 - CARACTERÍSTICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS .....	91
6.1.1 - Propriedades dimensionais e semelhança geométrica .....	91
6.1.2 - Composição das redes de drenagem .....	92
6.1.2.1 - Análise do número de segmentos de rios .....	93
6.1.2.2 - Análise dos comprimentos de rios .....	95
6.1.2.3 - Análise do número e comprimento de rios das bacias hidrográficas por unidade de área .....	101
6.1.3 - Características dos padrões de drenagem .....	102
6.1.3.1 - Características descritivas .....	102
6.1.3.2 - Características quantitativas .....	104

6.2 - CARACTERÍSTICAS DAS AMOSTRAS CIRCULARES .....	106
6.2.1 - Representação gráfica .....	106
6.2.2 - Características dimensionais .....	107
6.2.3 - Características dos padrões de drenagem .....	109
6.3 - COMPARAÇÃO ENTRE BACIAS HIDROGRÁFICAS E AMOSTRAS CIRCULARES .....	110
6.3.1 - Comparação entre parâmetros de bacias hidrográficas e de amostras circulares .....	112
7 - CONCLUSÕES .....	115
8 - SUMMARY .....	117
9 - LITERATURA CITADA .....	120

## L I S T A      D E      T A B E L A S

TABELA	PÁGINA
1 - Características principais das unidades de solo estudadas .....	27
2 - Parâmetros para classificação da textura topográfica com base nos valores de razão de textura média .....	37
3 - Propriedades dimensionais das bacias hidrográficas representativas das unidades de solo estudadas .....	57
4 - Análise dimensional e semelhança geométrica, aplicada às bacias hidrográficas representativas das unidades de solo estudadas .....	58
5 - Número de segmentos de rios observados em cada ordem de ramificação ( $N_w$ ) e o total para as bacias hidrográficas; média ponderada em relação à área para cada unidade de solo .....	59
6 - Equações ajustadas segundo <i>MAXWELL</i> (1955) ( $\log N_w = \log a - \log bw$ ) para os números de segmentos de rios, para as unidades de solo estudadas; coeficiente de correlação ( $r$ ); coeficiente de determinação ( $r^2$ ); teste $t$ para $b$ ( $t_b$ ) e teste $F$ para a regressão ( $F$ ) .....	60

## TABELA

## PÁGINA

7	- Valores observados e valores médios da razão de ramificação ( $R_b$ ) das redes de drenagem representativas das unidades de solo .....	62
8	- Número de segmentos de rios em cada ordem, e números totais calculados através da média ponderada, segundo <i>MAXWELL (1955)</i> e <i>HORTON (1945)</i> , para as unidades de solo .....	63
9	- Comprimentos totais de segmentos de rios ( $L_w$ ) em cada ordem; comprimentos totais observados em cada bacia hidrográfica; médias ponderadas para as unidades de solo .....	64
10	- Equações ajustadas segundo <i>FRANÇA (1968)</i> ( $\log L_w = \log a - w \log b$ ) para os comprimentos totais de segmentos de rios em cada unidade de solo; coeficiente de correlação ( $r$ ); coeficiente de determinação ( $r^2$ ); teste $t$ para $b$ ( $t_b$ ) e teste $F$ para a regressão ( $F$ ) .....	65
11	- Valores observados e valores médios de razão de comprimentos totais ( $R_{lw}$ ) das redes de drenagem representativas das unidades de solo .....	67
12	- Comprimentos totais de segmentos de rios em cada ordem e comprimentos -	

## TABELA

## PÁGINA

- totais calculados; média ponderada; segundo *FRANÇA (1968)* e *STRAHLER (1957)*, para as unidades de solo ..... 68
- 13 - Comprimento médio de rios em cada ordem de ramificação ( $L_m$ ) das bacias hidrográficas e média ponderada; para as unidades de solo ..... 69
- 14 - Equações ajustadas segundo *VASQUES FILHO (1972)* ( $\log L_m = \log a - w \log b$ ), para os comprimentos médios de rios, em cada unidade de solo, coeficiente de correlação ( $r$ ); coeficiente de determinação ( $r^2$ ); teste  $t$  para  $b$  ( $t_b$ ) e teste  $F$  para a regressão ( $F$ ) ..... 70
- 15 - Valores observados e valores médios de razão de comprimentos médios ( $R_l$ ) das redes de drenagem representativas das unidades de solo ..... 72
- 16 - Média ponderada observada; média calculada segundo a equação de *VASQUES FILHO (1972)*; média obtida pela relação  $L_w/N_w$  e pela lei de *HORTON (1945)* para os comprimentos médios de rios das bacias hidrográficas das unidades de solo ..... 73
- 17 - Valores médios calculados para as razões de ramificação ( $R_b$ ), de com-

## TABELA

## PÁGINA

	primentos totais ( $R_{lw}$ ) e de comprimentos médios ( $R_l$ ) das redes de drenagem representativas das unidades de solo .....	74
18	- Número; comprimento total e comprimento médio de segmentos de rios calculados para cada ordem de ramificação das redes de drenagem das unidades de solo .....	75
19	- Número de segmentos de rios observado em cada ordem de ramificação ( $N_w$ ) e o total por unidade de área das redes de drenagem de bacias hidrográficas representativas das unidades de solo .....	76
20	- Comprimento total de segmentos de rios observados em cada ordem de ramificação ( $L_w$ ) e o total por unidade de área das redes de drenagem de bacias hidrográficas representativas das unidades de solo .....	77
21	- Comprimento médio de segmentos de rios em cada ordem de ramificação ( $L_m$ ) e o total por unidade de área das redes de drenagem de bacias hidrográficas representativas das unidades de solo .....	78
22	- Equações ajustadas para número, comprimento total e comprimento médio de segmentos de rios por unidade de área para as bacias hidrográficas das unidades de solo; coeficiente de correla	

## TABELA

## PÁGINA

	ção (r); coeficiente de determinação ( $r^2$ ); teste t para b (tb) e teste F para a regressão (F) .....	79
23	- Características descritivas das redes de drenagem das unidades de solo segundo <i>LUEDER (1959)</i> e tipo segundo <i>PARVIS (1950)</i> .....	80
24	- Características quantitativas dos padrões de drenagem e as classes de textura topográfica das bacias hidrográficas representativas das unidades de solo .....	81
25	- Características dimensionais das amostras circulares representativas das unidades de solo .....	82
26	- Comprimento médio de segmentos de rios em cada ordem de ramificação (Lm) e o total por unidade de área das redes de drenagem de amostras circulares representativas das unidades de solo .....	83
27	- Equações ajustadas para número, comprimento total e comprimento médio de segmentos de rios para amostras circulares, por unidade de área, para as unidades de solo; coeficiente de correlação (r); coeficiente de determinação ( $r^2$ ); teste t para b (tb) e teste F para a regressão (F) .....	84



## TABELA

## PÁGINA

28 - Características quantitativas dos padrões de drenagem e as classes de textura topográfica das amostras circulares representativas das unidades de solo .....	85
29 - Características quantitativas médias dos padrões de drenagem e as classes de textura topográfica das bacias hidrográficas e amostras circulares representativas das unidades de solo .....	86
30 - Relações funcionais entre parâmetros que definem as características dos padrões de drenagem, obtidas para as unidades de solo; coeficiente de correlação ( $r$ ); coeficiente de determinação ( $r^2$ ); teste $t$ para $b$ ( $t_b$ ); teste $F$ para a regressão ( $F$ ) .....	87

## L I S T A      D E      F I G U R A S

FIGURA	PÁGINA
1 - Bacias hidrográficas I e II representativas da unidade de solo PVp + Li ag, no Município de Piracicaba .....	47
2 - Bacias hidrográficas III e IV representativas da unidade de solo PVp + Li ag, no Município de Piracicaba .....	48
3 - Bacia hidrográfica V representativa da unidade de solo TEe, no Município de São Manoel .....	49
4 - Bacia hidrográfica VI representativa da unidade de solo TEe, no Município de São Manoel .....	50
5 - Bacia hidrográfica VII representativa da unidade de solo TEe, no Município de São Manoel .....	51
6 - Bacia hidrográfica VIII representativa da unidade de solo TEe, no Município de São Manoel .....	52
7 - Amostras circulares A e B (10 Km <sup>2</sup> ) representativas da unidade de solo PVp + Li ag .....	53

FIGURA	PÁGINA
8 - Amostras circulares C e D (10 Km <sup>2</sup> ) representativas da unidade de solo PVp + Li ag .....	54
9 - Amostras circulares E e F (10 Km <sup>2</sup> ) representativas da unidade de solo TEe .....	55
10 - Amostras circulares G e H (10 Km <sup>2</sup> ) representativas de solo TEe .....	56
11 - Regressão dos números totais de segmentos de rios (Nw) sobre as ordens de ramificação (w) para as unidades de solo estudadas .....	61
12 - Regressão dos comprimentos totais de segmentos de rios (Lw) sobre as ordens de ramificação (w) para as unidades de solo estudadas .....	66
13 - Regressão dos comprimentos médios de segmentos de rios (Lm) sobre as ordens de ramificação (w) para as unidades de solo estudadas .....	71
14 - A. Relações funcionais entre parâmetros que caracterizam o padrão de drenagem de bacias hidrográficas e amostras circulares para as unidades de solo estudadas .....	88
14 - B. Relações funcionais entre parâmetros que caracterizam o padrão de dre	

FIGURA

PÁGINA

nagem de bacias hidrográficas e amostras circulares para as unidades de solo estudadas .....	89
14 - C. Relações funcionais entre parâmetros que caracterizam o padrão de drenagem de bacias hidrográficas e amostras circulares para as unidades de solo estudadas .....	90

## 1 - R E S U M O

No presente trabalho foram estudadas, com o auxílio de fotografias aéreas, a composição das redes de drenagem e as características do padrão de drenagem, quantitativa e qualitativamente, de dois solos com horizonte B textural, através de bacias hidrográficas, selecionadas pelos princípios de semelhança geométrica e mesma ordem de ramificação, e através de amostras circulares de 10 Km<sup>2</sup>.

Uma das unidades, Terra Roxa Estruturada Eutrófica (TEe), de material de origem constituído de rochas eruptivas básicas, Formação Serra Geral, está localizada na região de São Manoel, no Planalto Ocidental do Estado de São Paulo. A outra unidade é constituída por uma Associação de Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos variação Piracicaba (série Godinhos) + Litossol fase substrato argilito/folhelho (série Lageadinho), (PVp + Li ag), de material de origem, cons-

tituído de argilitos e folhelhos, do Grupo Estrada Nova, está localizada na Região de Piracicaba, na Depressão Periférica do Estado de São Paulo. As duas regiões têm clima subtropical úmido com estiagem de inverno (Cwa), segundo Köppen.

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

- a razão de ramificação (Rb) mostrou-se o melhor parâmetro da composição da rede de drenagem, das bacias hidrográficas para diferenciar as unidades de solo PVp + Li ag e TLe;
- quando os comprimentos totais de segmentos de rios das ordens de ramificação das bacias hidrográficas não seguem a lei de Horton, modificada por Strahler, não se ajusta a equação proposta por França o que sugere a presença de controle geológico;
- os parâmetros: número, comprimento total e comprimento médio de segmentos de rios correlacionados com a ordem de ramificação de bacias hidrográficas de 3ª ordem foram mais sensíveis, para diferenciar solos, quando analisados por unidade de área;
- mudanças nas características qualitativas do padrão de drenagem refletem um controle geológico (litológico ou estrutural);
- os parâmetros que definem o padrão de drenagem mostraram-se bons para diferenciar as duas unidades de solo, nos dois tipos de amostragem sendo que, a amostragem circular evidenciou melhores resultados;
- os parâmetros que diferenciam o padrão de drenagem mostraram melhores resultados para a unidade PVp + Li ag do que para a unidade TLe, quando estudados em bacias hidrográficas e amostras circulares.

## 2 - INTRODUÇÃO

Atualmente, vem se tornando frequente o uso de fotografias aéreas em trabalhos de levantamento e conservação de solos, substituindo com vantagens, as outras bases de mapeamento pela riqueza de detalhes que oferecem, eliminando a dificuldade de acesso em determinadas áreas e facultando uma visão tridimensional da paisagem.

Sendo o relêvo e a rede de drenagem os componentes da paisagem mais fáceis de se observar nas fotografias aéreas e por refletirem as características internas do solo e seus limites, têm sido explorados, principalmente a rede de drenagem, por inúmeros pesquisadores, que buscam uma relação entre a composição e características das redes de drenagem com a natureza e propriedades dos solos, através da relação infiltração/deflúvio.

Neste trabalho pretende-se verificar qualitati

va e quantitativamente, com o auxílio de fotografias aéreas, as características de bacias hidrográficas e de amostras circulares das redes de drenagem de duas unidades de solo com horizonte B textural, visando os seguintes objetivos:

- a significância dos parâmetros: número, comprimento total e comprimento médio de rios, que compõem a rede de drenagem, na diferenciação das unidades de solo: Associação de Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos variação Piracicaba + Litossol substrato argilito/folhelho (PVp + Li ag) e Terra Roxa Estruturada Eutrófica (TEe).

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

- a significância de amostragem através de bacias hidrográficas de 3<sup>a</sup> ordem de ramificação e amostras circulares de 10 Km<sup>2</sup>, por meio de correlações entre os parâmetros que definem o padrão de drenagem.



### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 - FOTOGRAFIAS AÉREAS NA INTERPRETAÇÃO E MAPEAMENTO DE SOLOS

As fotografias aéreas foram usadas pela primeira vez em mapeamento de solos em 1929 por Bushnell e seus colaboradores, conforme citação de *SIMONSON (1950)* e de *ROURKE e AUSTIN (1951)*. A partir de então, as fotografias têm substituído gradativamente os outros tipos de bases cartográficas.

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

a - área expressiva abrangida por uma fotografia aérea, ou seja,  $33 \text{ Km}^2$  na escala de 1:25.000;

- b - visão tridimensional da superfície através da observação dos pares estereoscópicos;
- c - as imagens dos objetos registrados nas fotos são permanentes e não tendenciosas, o que permite uma investigação detalhada e cuidadosa da área no momento que o fotointérprete desejar e em condições de trabalho mais cômodo e mais favoráveis do que aquelas encontradas na observação direta.

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

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

Para *LUEDER (1959)*, com exceção da forma fisiográfica, a drenagem superficial é, provavelmente, o elemento mais seguro para identificar um terreno. No entanto, assegura que a interpretação da significância de um padrão de drenagem envolve, além dos conhecimentos teóricos do fotointérprete, a sua experiência para correlacionar detalhes do terreno com a imagem fotográfica.

A maioria dos autores, entre os quais se in-

cluem *ROURKE e AUSTIN (1951)*, *CRESWICK e ROCKWELL (1959)*, *BOMBERGER e DILL (1960)*, *BURINGH (1960)*, reconhecem que a fotografia aérea não substitui completamente o trabalho de campo, embora aumentem a exatidão e o rendimento dos mapeamentos de solos, sendo a fotointerpretação mais útil em levantamentos de reconhecimento do que em levantamentos detalhados. O que também foi demonstrado por *PASTO (1953)* e *GUNN (1955)*, *Buringh e Van Liere* citados por *FRANÇA (1968)*. Contudo, *VERA (1964)* descreve o uso de técnicas aerofotográficas utilizadas em mapeamento detalhado de solos no Projeto OEA - Chile, no qual 120.000 Km<sup>2</sup> de terras agrícolas daquele país tiveram os solos levantados e mapeados num período de 18 meses.

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

A medição de dados experimentais é fundamental para a evolução de todos os campos científicos. A fotografia aérea sendo uma fonte de informações quantitativas, é possuidora de um rico e importante potencial de dados mensuráveis dos aspectos superficiais do terreno. No Brasil, a fotointerpretação tem se desenvolvido conforme mostram os trabalhos dos pesquisadores: *FRANÇA (1968)*, *MARCHETTI (1969)*, *AUDI (1972)*, *FADEL (1972)*, *VASQUES FILHO (1972)*, *LEÃO (1973)*, *GEVAERD (1974)*, *SOUZA (1975)*, *GEVAERD (1976)*, *KOFFLER (1976)*,

DEMÉTRIO (1977) e FREIRE (1977).

FROST (1960) afirma que a fotointerpretação de solos pode ser conduzida à luz de três princípios básicos: a) solos semelhantes aparecem nas fotografias aéreas com padrões semelhantes; b) solos diferentes aparecem com padrões diferentes; c) desde que as características da imagem fotográfica tenham sido correlacionadas com as propriedades do solo observadas no campo e no laboratório, muitas propriedades importantes de solos semelhantes podem ser inferidas por meio de fotointerpretação.

COLWELL (1952) afirma que a fotointerpretação deve apoiar-se no princípio da convergência de evidências, segundo o qual vários elementos de reconhecimento levam a uma determinada conclusão, que provavelmente será correta.

Conforme advertiu SUMMERSON (1954), a interpretação fotográfica de solos é a previsão do que não pode ser visto, uma vez que as fotografias aéreas não mostram o corpo inteiro do solo, apenas a sua superfície e ainda quando esta não é camuflada pela cobertura vegetal.

### 3.2 - ESTUDOS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS E DA COMPOSIÇÃO DE REDES DE DRENAGEM

Os sistemas fluviais têm sido estudado especialmente por geólogos, fisiógrafos e geomorfólogos, tendo atualmente se tornado também de interesse para os pedólogos. Esses pesquisadores verificaram que as redes de drenagem refletem certas características dos materiais superficiais sobre as quais se desenvolvem. No entanto, trabalharam quase que exclusivamente em bases descritivas, pois se preocupavam

em descrever as formas do relevo atual ou identificar a natureza dos solos ou das rochas subjacentes, obtendo como resultado dessas descobertas, a descrição e classificação de muitos padrões de drenagem, sempre procurando correlacioná-los à natureza dos solos e dos substratos rochosos e/ou à presença de estruturas geológicas.

O desenvolvimento de sistemas hidrográficos e suas bacias de drenagem foi explicado por *HORTON (1945)* através de processos de erosão hídrica que, para um dado ambiente, dependem principalmente das proporções de infiltração e deflúvio. Segundo o autor, para um dado terreno existe um comprimento mínimo de escoamento sobre a superfície, necessário para concentrar um certo volume de deflúvio para iniciar a formação de canais. Este "comprimento crítico" depende do declive da superfície, velocidade do deflúvio, capacidade de infiltração e resistência do solo à erosão. Para o mesmo autor, a resistência do solo à erosão é o mais importante fator envolvido no fenômeno da erosão e que, em períodos relativamente longos, exerce efeito dominante no desenvolvimento dos sistemas hidrográficos e suas bacias de drenagem.

*PARK e BERTRAND (1960)* fizeram uma revisão sobre infiltração da água em solos e concluíram que a velocidade de infiltração da água no solo é governada principalmente pelas condições de superfície e cobertura do solo, e depois pelas características internas do corpo do solo. Segundo revisão de *SMITH e WISCHEMEIER (1962)*, os mesmos fatores que aumentam a infiltração reduzem o deflúvio e a erosão é um processo de trabalho com energia fornecida pela queda da chuva e pelas diferenças de elevação (declividade) do terreno sobre o qual se escoam o deflúvio.

Segundo *LUEDER (1959)*, a justificativa principal para a análise da drenagem superficial é que fornece in

dicações sobre a relação infiltração/deflúvio, capacidade de infiltração, permeabilidade e textura dos materiais presentes em uma área. Para o mesmo autor, em geral um padrão de drenagem bem desenvolvido implica na existência de materiais pouco permeáveis, enquanto uma escassa rede de drenagem superficial é indicativa de alta infiltração e boa permeabilidade.

Playfair, citado por *VON ENGELN (1942)*, observou que todo rio consiste de 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. Esta observação é conhecida como a lei das junções concordantes, isto é, os rios são responsáveis por seus vales, ao mesmo tempo que estão em concordância com eles.

Analisando a lei das junções concordantes, *HORTON (1945)* afirma que uma interpretação dos sistemas fluviais implica na consideração das relações infiltração/deflúvio e dos processos de erosão pelas águas correntes. Embora Playfair tenha sido o pioneiro nessas observações, coube a Horton a primazia de fazer interpretação numa base quantitativa. Segundo uma aproximação hidrofísica, esse autor estabeleceu duas leis fundamentais, as quais relacionam o número e comprimento de rios, às diversas ordens de ramificação da rede hidrográfica.

Gravelius, citado por *HORTON (1945)*, estabeleceu o sistema europeu de classificação de rios em ordens. Neste sistema, o rio principal ou tronco é designado como de 1.<sup>a</sup> ordem e seus tributários imediatos como de 2.<sup>a</sup> ordem e assim sucessivamente, sendo que os tributários menores, não ramificados, constituem a ordem mais elevada. *HORTON (1945)* inver

teu esta sequência de numeração, considerando os tributários não ramificados como sendo de 1.<sup>a</sup> ordem, atribuindo a ordem mais elevada ao rio principal, o que facilitou a análise e comparação das redes de drenagem, pois somente são comparáveis entre si os elementos de mesma ordem de ramificação. Esse sistema foi adotado dentre outros por STRAHLER (1952), MAXWELL (1955), SCHUMM (1956), Coates citado por STRAHLER (1957), CURTIS et alii (1965), FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1973), GEVAERD (1974), SOUZA (1975), KOFFLER (1976), DEMÉTRIO (1977) e FREIRE (1977).

HORTON (1945) afirma que a composição da rede de drenagem tem alto grau de significância hidrológica, enquanto o padrão isolado tem pouca significância hidrológica; reconhece, contudo, que o padrão de drenagem é altamente significativo como indicador de controle geológico.

A lei dos números de rios de HORTON (1945) expressa a relação entre o número de rios de uma dada ordem e a ordem de ramificação, em termos de uma série geométrica inversa, onde a razão de ramificação é a base desta série.

A lei dos comprimentos de rios, também de HORTON (1945), expressa a relação entre os comprimentos médios de rios de cada ordem e a respectiva ordem de ramificação, em termos de uma série geométrica direta na qual o primeiro termo é o comprimento médio dos rios de 1.<sup>a</sup> ordem e cuja razão é a razão de comprimento médio.

MAXWELL (1955) obteve de uma regressão linear do logaritmo dos números de rios (ordenadas) sobre as ordens de rios (abscissa) uma linha reta com muita pouca dispersão. A equação linear é  $\log N_w = a - bw$ , onde  $w$  é a ordem dos segmentos de rios e  $N_w$  o número de segmentos de ordem  $w$ . Este

mesmo autor propôs ainda  $R_b = \text{antilog } b$ , como sendo a melhor expressão empírica da razão de ramificação ( $R_b$ ).

*STRAHLER (1957)* aplicou a lei dos números de rios de Horton para comprimentos totais de rios, expressando a relação entre o comprimento total de rios de uma dada ordem de ramificação, em termos de uma série geométrica inversa, onde a razão de comprimento total é a base desta série. O mesmo autor, relacionando os logaritmos dos comprimentos totais dos rios às ordens de rios, onde  $w$  é a ordem de segmento de rios e  $L_w$  a soma dos comprimentos de rios de determinada ordem, obteve a regressão logarítmica expressa pelas equações:

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

$$\text{Log } L_w = \text{log } a - b \cdot \text{log } w$$

Nesta equação,  $b$  é a inclinação da linha de regressão e fornece uma medida útil da variação dos comprimentos dos segmentos de rios ao se passar de uma ordem para outra. Para os dados combinados de seis bacias de 4.<sup>a</sup> ordem, o autor encontrou o valor de  $b = -1,67$ .

*FRANÇA (1968)* obteve uma regressão exponencial como medida de variação apresentada pelos comprimentos totais de rios das várias ordens, expressa pelas equações:

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

$$\text{log } L_w = \text{log } a - w \text{ log } b$$

Segundo *FRANÇA (1968)* o  $b$  da regressão fornece um valor médio da variação dos comprimentos totais dos segmentos de rios ao se passar de uma ordem para outra.

*VASQUES FILHO (1972)* ajustou para os comprimen



tos médios de rios, uma equação lagoritmica  $\log L_m = \log a - w \cdot \log b$  e também verificou a validade da equação  $R_l = \log^{-1} b$  para a razão de comprimentos médios ( $R_l$ ). Para a razão de comprimentos totais a equação  $R_{lw} = \text{antilog } b$  conduziu a resultados significativos.

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

Coates, citado por *STRAHLER (1957)* encontrou valores observados para razão de ramificação de rios de 1.<sup>a</sup> para 2.<sup>a</sup> ordem variando de 4,0 a 5,1; razão de ramificação de rios de 2.<sup>a</sup> para 3.<sup>a</sup> ordem variando de 3,8 a 4,9; obteve para os dados acumulados o valor médio de 3,52 para a razão de ramificação.

Estudando bacias de 4.<sup>a</sup> ordem em quatro séries de solos da região de Piracicaba, *FRANÇA (1968)* encontrou valores para a razão de ramificação ( $R_b$ ) que variaram de 3,22 a 3,70. Para essas mesmas bacias, o autor encontrou valores para razão de comprimentos médios ( $R_l$ ) variando entre 2,09 e 2,17 e para comprimentos totais ( $R_{lw}$ ) valores entre 1,48 e 1,76.

*FADEL (1972)*, *LEÃO (1973)*, *GEVAERD (1974)* e *SOUZA (1975)*, estudando bacias de 3.<sup>a</sup> ordem em solos do Estado de São Paulo, Paraná, Distrito Federal e Paraná, respectivamente, encontraram para alguns Latossóis, valores de razão de ramificação ( $R_b$ ) que variaram de 2,34 a 4,00; para a razão de comprimentos médios ( $R_l$ ), valores entre 1,26 e 2,85 e para a razão de comprimentos totais ( $R_{lw}$ ), valores 1,02 e 2,46.

*GEVAERD (1974)*, estudando solos da região nordeste do Estado do Paraná obteve para a unidade TEe valores

de razão de ramificação (Rb), de 1.<sup>a</sup> para 2.<sup>a</sup> ordem variando entre 3,00 e 6,50; e de 2.<sup>a</sup> para 3.<sup>a</sup> ordem com valores iguais a 2,00. Para a razão de comprimento totais (Rlw), de 1.<sup>a</sup> para 2.<sup>a</sup> ordem encontrou valores variando entre 1,11 e 2,60; de 2.<sup>a</sup> para 3.<sup>a</sup> ordem valores variando entre 0,54 e 7,11. Para a razão de comprimentos médios (Rl), de 3.<sup>a</sup> para 2.<sup>a</sup> encontrou valores variando entre 0,28 e 3,65; e de 2.<sup>a</sup> para 1.<sup>a</sup> ordem valores variando entre 1,13 e 5,79. Os valores médios calculados, através das equações ajustadas foram, respectivamente: 2,34 para Rb; 1,26 para Rlw; 2,34 para Rl.

Uma das unidades de solo estudada por *FREIRE (1977)*, na região de Altinópolis (MG) é constituída por Solos Lateríticos Bruno-Avermelhados Distróficos (BLD3), cujas características morfo-genéticas são muito semelhantes às da Terra Roxa Estruturada estudada no presente trabalho, com exceção do relêvo, que é ondulado a fortemente ondulado. Esse autor encontrou para bacias de 3.<sup>a</sup> ordem representativas - dessa unidade de solo, valores de razão de ramificação (Rb) de 1.<sup>a</sup> para 2.<sup>a</sup> ordem, variando entre 2,33 e 4,17; e de 2.<sup>a</sup> para 3.<sup>a</sup> ordem, variando entre 3,00 e 6,00. Para a razão de comprimentos totais (Rlw), de 1.<sup>a</sup> para 2.<sup>a</sup> ordem encontrou valores variando entre 1,77 e 3,44, de 2.<sup>a</sup> para 3.<sup>a</sup> ordem valores variando entre 0,82 e 2,05. Para a razão de comprimentos médios (Rl), de 3.<sup>a</sup> para 2.<sup>a</sup> ordem encontrou valores variando entre 2,94 e 3,18; de 2.<sup>a</sup> para 1.<sup>a</sup> ordem valores variando entre 0,68 e 1,94. Os valores médios calculados, através das equações ajustadas, foram respectivamente: 4,56 para Rb; 2,00 para Rlw e 2,32 para Rl.

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

Para expressar quantitativamente o grau de desenvolvimento da rede de drenagem de uma bacia hidrográfica, *HORTON (1945)* propôs duas relações: a densidade de drenagem e a frequência de rios. Segundo esse autor, a densidade de drenagem vem a ser o comprimento médio dos rios por unidade de área. A densidade de drenagem,  $Dd$ , é expressa pela equação:

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

onde  $Lt$  é o comprimento total de rios das diversas ordens e  $A$  é a área, ambos expressos em unidades do mesmo sistema.

Segundo *HORTON (1945)*, frequência de rios,  $F$ , é expressa pela equação:

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

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

Segundo *RAY (1963)*, a densidade de drenagem em um dado ambiente climático relaciona-se principalmente com a resistência à erosão dos materiais aí presentes: a densidade aumenta à medida que diminui a resistência à erosão. Examinando fotografias aéreas afirma que os folhelhos e outras rochas similares de granulação fina tendem a apresentar drenagem de textura fina, sendo que os arenitos de granulação grosseira tendem a apresentar drenagem de textura grosseira. Admite porém, que podem ocorrer muitas exceções.

Para *HORTON (1945)* e *STRAHLER (1957)*, a densidade de drenagem e frequência de rios variam com o tamanho da área de drenagem, não podendo ser diretamente compará-

veis, através dessas duas relações, as pequenas com as grandes bacias.

Segundo STRAHLER (1947), é indispensável comparar bacias que tenham a mesma ordem de ramificação para que se obtenham dados significativos.

Utilizando o princípio de análise dimensional e semelhança geométrica, STRAHLER (1957) tentou elaborar um sistema de geomorfologia quantitativa baseado em que, se houver uma semelhança geométrica aproximada entre duas bacias, todas as medições de comprimentos entre pontos correspondentes manterão uma razão de escala fixa.

SMITH (1950) propôs uma relação, à qual denominou razão de textura, para expressar o espaçamento entre canais de drenagem em mapas topográficos com curvas de nível. Como os canais menores geralmente não são representados nos mapas topográficos, as suas localizações em tais mapas podem ser identificadas pelas inflexões das curvas de nível. O mesmo autor recomendou então que se escolhesse a curva de nível com o maior número de inflexões e que se dividisse esse número pelo perímetro da bacia, obtendo-se assim a razão de textura, que fica expressa pela fórmula:

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

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

Considerando que os sistemas de drenagem podem ser melhor estudados em mapas básicos de drenagem obtidos pelo exame estereoscópico de fotografias aéreas, conforme recomendado por HOWE (1960), por RAY (1963) e por RICCI e PETRI (1965), FRANÇA (1968) fez a determinação da textura topográ-

fica considerando N como sendo o número total de rios da bacia.

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

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

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

Considerando que *SMITH (1950)* propôs parâmetros para classificação da textura topográfica e que esses parâmetros são referidos a comprimentos de perímetro expressos em milhas, *FRANÇA (1968)* propôs a equivalência referida a perímetro expressa em quilômetros.

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

*RAY e FISCHER (1960)* utilizaram para estudos litológicos, mapas básicos de drenagem decalcados de fotografias aéreas, testando a significância da densidade de drenagem de bacias hidrográficas e amostras circulares de 10 Km<sup>2</sup>; concluíram que as determinações mais consistentes, para qualquer tipo de rocha foram as obtidas em amostras circulares. *FRANÇA (1968)*, aplicando para solos a metodologia preconiza

da por esses autores, obteve resultados significativos para a densidade de drenagem de amostras circulares, apontando as seguintes vantagens para este tipo de amostragem:

- a - elimina a influência da área, uma vez que todas as medições de comprimento de rios são referidas à mesma área circular de  $10 \text{ Km}^2$ ,
- b - a área circular de amostragem pode ser deslocada, dentro da área de ocorrência de uma unidade de solo, sem consideração dos limites de bacias hidrográficas, procurando abranger unicamente a maior proporção e a maior homogeneidade possíveis da unidade que está sendo amostrada.

As observações de *FRANÇA (1968)*, ao estudar redes de drenagem em diferentes unidades de solo através de amostras circulares de  $10 \text{ Km}^2$ , foram confirmadas por *MARCHETTI (1969)*, *FADEL (1972)*, *VASQUES FILHO (1972)*, *LEÃO (1973)*, *GEVAERD (1974)*.

*SOUZA (1975)* estendeu o método de amostragem circular para os outros índices de drenagem relacionados com área e perímetro (densidade de drenagem, frequência de rios, razão de textura e textura topográfica), concluindo que todos eles podem ser utilizados por evidenciar diferenças entre solos. O mesmo autor observou uma correlação linear altamente significativa entre densidade de drenagem, frequência de rios e razão de textura média de bacias hidrográficas e amostras circulares.

*SOUZA (1975)* admitiu ainda que a área das amostras circulares pode variar conforme a área de ocorrência dos solos, não devendo ser fixo o valor de  $10 \text{ Km}^2$ . Anteriormente, *BURINGH (1960)* já havia sugerido uma amplitude de 10 a  $100 \text{ Km}^2$  para estudar a ocorrência e densidade de redes de drena

gem, conforme a escala e o nível do estudo.

*KOFFLER (1976)* estudou a amostragem circular em imagens aerofotográficas nas escalas de 1:25.000 e 1:60.000, com áreas de 10 e 20 Km<sup>2</sup>, respectivamente; e estendeu o método ao nível orbital, para imagens SKYLAB e LANDSAT-1 na escala 1:500.000, testando a área de 100 Km<sup>2</sup> para as amostras circulares, para estes casos.

*DEMÉTRIO (1977)*, estudando a variação das características de redes de drenagem em função da escala das fotografias aéreas verticais utilizou, com sucesso, amostras circulares de 3 Km<sup>2</sup>, 10 Km<sup>2</sup> e 20 Km<sup>2</sup>, respectivamente para as escalas 1:8.000, 1:25.000 e 1:60.000. A principal conclusão de seu trabalho é que existe uma tendência de aproximações dos valores de cada característica quantitativa, à medida que a escala das fotografias diminui, mas os índices de drenagem (densidade de drenagem, frequência de rios e razão de textura) diferem entre si nas escalas extremas, isto é, 1:8.000 e 1:60.000.

No estudo realizado por *DEMÉTRIO (1977)*, uma das áreas-teste corresponde à unidade de mapeamento PVP + Li ag, isto é, uma Associação de Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos variação Piracicaba + Litossol fase substrato argiloso/lito/folhelho. Para amostras circulares de 10 Km<sup>2</sup> e escala das fotografias aéreas de 1:25.000, o autor obteve os seguintes valores médios para essa unidade de mapeamento:

Densidade de drenagem .....	5,08 ± 0,10
Frequência de rios .....	18,03 ± 0,61
Razão de textura média .....	16,10 ± 0,54
Classe de textura topográfica ...	finas

*FREIRE (1977)*, estudando as características de redes de drenagem de três solos, em bacias de 3.<sup>a</sup> ordem e

amostras circulares de 5 Km<sup>2</sup> (escala 1:25.000), destacou a densidade de drenagem e a frequência de rios como as características quantitativas mais significativas para diferenciar unidades de solo. Observou também que, para a determinação desses índices de drenagem, os dados poderão ser coletados em bacias hidrográficas ou amostras circulares, indiferentemente.

As características quantitativas das redes de drenagem, baseadas em bacias hidrográficas, encontradas por *FREIRE (1977)* para a unidade de mapeamento correspondente à Terra Roxa Estruturada, foram as seguintes:

Densidade de drenagem .....	6,03 ± 0,24
Frequência de rios .....	18,19 ± 0,84
Razão de textura média .....	4,89 ± 0,85
Classe de textura topográfica ...	média

Por outro lado, as características quantitativas das redes de drenagem, baseadas em amostras circulares de 5 Km<sup>2</sup>, encontradas por *FREIRE (1977)* para a unidade de mapeamento correspondente à Terra Roxa Estruturada, foram as seguintes:

Densidade de drenagem .....	4,85 ± 0,07
Frequência de rios .....	12,33 ± 0,35
Razão de textura média .....	7,85 ± 0,22
Classe de textura topográfica ...	fina

### 3.3 - PADRÃO DE DRENAGEM: TIPOS, CARACTERÍSTICAS E SIGNIFICADO

O termo padrão de drenagem expressa a maneira



pela qual os cursos d'água se arranjam ou se distribuem dentro de uma área de drenagem, sugerindo um modelo que, de acordo com a sua configuração recebe diferentes designações; por exemplo, padrão dendrítico (os rios se distribuem à semelhança de tronco, galhos e ramos de uma árvore); padrão treliça (comparados aos ramos de uma videira); e assim por diante.

*HORTON (1945)* adverte que o desenvolvimento de rios e vales em uma dada área pode ser modificado posteriormente por estruturas ou distúrbios geológicos. Isso explica os casos em que se constata afastamentos das leis dos números e dos comprimentos de rios, em condições normais de clima, geologia e solos.

*VON ENGELN (1942)* afirma que poucos padrões de drenagem indicam um desenvolvimento independente da estrutura geológica e que quase todos os padrões de drenagem conhecidos são respostas ou adaptações a essa estrutura.

*PARVIS (1950)* classificou seis padrões de drenagem básicas: dendrítico, treliça, radial, paralelo, anular e retangular. Utilizando algumas modificações destes seis padrões, classificou e descreveu trinta tipos ou modelos. O autor também se refere à facilidade com que esses padrões de drenagem podem ser observados e analisados em fotografias aéreas e a sua avaliação significativa na fotointerpretação de solos e substratos rochosos.

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

ra *RICCI e PETRI (1965)*, numa área ocupada por determinado tipo de rocha, variações no grau de controle da rede de drenagem podem significar variações na espessura do manto de intemperismo. Segundo *TATOR (1954)*, anomalias ou desvios de uma norma do padrão de drenagem regional, podem ser tão ou mais importantes para a interpretação, do que o próprio padrão.

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

Segundo *LUEDER (1959)*, a classificação do padrão de drenagem tem valor limitado, e deve ser complementada com a descrição de certas características, variáveis dentro de cada padrão, e que podem indicar aspectos significativos do mesmo. O referido autor sugere uma descrição do padrão de drenagem nos seguintes parâmetros: a) grau de integração; b) densidade; c) grau de uniformidade; d) orientação; e) grau de controle; f) angularidade; g) ângulos de confluência e h) tipo ou designação do padrão.

### 3.4 - RELAÇÕES ENTRE SOLOS E CARACTERÍSTICAS DAS REDES DE DRENAGEM

Grande parte das referências sobre características das redes de drenagem são direcionadas para aspectos geológicos e geomorfológicos ou a solos considerados mais sobre o ponto de vista da engenharia. Sob o ponto de vista

edafológico, os trabalhos de solos são em menor número e se caracterizam pelo aspecto qualitativo.

*DUNBAR (1959)* refere-se aos problemas da interpretação fotográfica em regiões tropicais e subtropicais, alertando para o fato de que solos latossólicos, com elevado teor de argila, apresentam características do padrão de drenagem semelhantes as que ocorrem em solos de classe textural areia barrenta.

Segundo Jenkis et alii, citados por *RAY (1963)* as fotografias aéreas mostram a drenagem efetiva do perfil, independente da textura ou composição granulométrica do solo. Nesse mesmo trabalho lembra ainda que solos originários de calcário possuem partículas finas agregadas, resultando perfis permeáveis e bem drenados internamente; e, conseqüentemente, possuem uma rede de drenagem pouco densa, ou seja, de textura grosseira.

*FRANÇA (1968)* e *FADEL (1972)*, concordaram com *DUNBAR (1959)* e *RAY (1963)*, quando verificaram que solos argilosos dos grandes grupos Latossol Roxo e Latossol Vermelho Escuro, com estrutura porosa apresentam-se mais permeáveis que os arenosos do grande grupo Podzólico Vermelho Amarelo variação Laras.

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

*BURINGH (1960)* adverte que ao cientista de solo interessa estudar além da textura e dos processos de deposição dos materiais de origem, a ação dos fatores de formação e saber a que grupo genético pertence um solo. Por isso

julga que a fotointerpretação de solos é mais útil em levantamento de reconhecimento do que um levantamento detalhado.

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

*HORTON (1945)* aponta a capacidade de infiltração e a resistência à erosão do solo como responsáveis pelo desenvolvimento de sistemas hidrográficos e suas bacias de drenagem, além da precipitação e relêvo.

Segundo *FRANÇA (1968)*, o grau de manifestação da capacidade de infiltração de solos e a sua resistência à erosão varia de uma unidade de solo para outra em função do conjunto de propriedades que caracterizam cada unidade. O estudo desse autor se distingue dos demais porque o seu material de estudos era pedologicamente bem definido, o que possibilitou o estabelecimento de correlações entre solos, refletidas na composição e nas características do padrão de drenagem. Esta observação foi confirmada por *MARCHETTI (1969)*, *FADEL (1972)*, *VASQUES FILHO (1972)*, *SOUZA (1975)* e *DEMÉTRIO (1977)*, que também trabalharam com unidades de solo bem definidas, levantadas ao nível de série. A mesma observação foi confirmada por *LEÃO (1972)*, *GEVAERD (1974)*, *KOFFLER (1976)* e *FREIRE (1977)*, que estudaram solos levantados a nível de grandes grupos.

## 4 - MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 - MATERIAIS

#### 4.1.1 - Descrição geral das áreas estudadas

Serviram de base para o presente estudo, duas áreas do Estado de São Paulo, localizadas nas regiões fisiográficas: Depressão Paleozóica e Planalto Ocidental, segundo Monbeig, *COMISSÃO DE SOLOS (1960)*.

A primeira área está situada ao norte do Município de Piracicaba, entre o Município de Itacemópolis e o Rio Corumbataí. A segunda, situa-se ao Norte-Noroeste do Município de São Manoel, no Distrito de Rodrigues Alves.

Segundo *RANZANI et alii (1966)* a primeira área é constituída essencialmente de sedimentos finos, argilitos e folhelhos do Grupo Estrada Nova; a segunda área, de acordo

com *DEMATTE* (1973) é constituída de rochas eruptivas básicas da Formação Serra Geral.

O Clima dessas áreas é do tipo mesotérmico, Cwa, segundo o sistema de Köppen, *TREWARTHA* (1959), isto é, subtropical úmido com estiagem de inverno. 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 atinge 30 mm. O total anual das chuvas está compreendido entre 1200 a 1300 mm.

#### 4.1.2 - Solos

Para a realização deste trabalho foram escolhidas duas unidades de solo possuindo horizonte B textural, porém apresentando diferenças na permeabilidade e na relação infiltração/deflúvio; portanto, apresentando também diferenças no tocante ao comportamento hidrológico e desenvolvimento de redes de drenagem superficial. Uma das unidades ocorre na região de São Manoel, sendo constituída por solos classificados por *DEMATTE* (1973) como Terra Roxa Estruturada Eutrófica (TEe), possuindo horizonte Bt bem desenvolvido, com espessura superior a 250 cm. A outra unidade ocorre na região de Piracicaba, representada por uma associação de solos classificados por *RANZANI et alii* (1966) como série Godinhos e série Lageadinho, os quais pertencem, respectivamente, às unidades Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos variação Piracicaba e Litossol fase substrato argilito/folhelho (PVp + Li ag) do trabalho realizado pela *COMISSÃO DE SOLOS* (1960).

Na Tabela 1 estão descritas, de forma sucinta, as principais características desses solos.

TABELA 1 - Características Principais das Unidades de Solo Estudadas, Segundo DEMATTÊ (1973), RANZANI *et alii* (1966) e COMISSÃO DE SOLOS (1960).

Características	Terra Roxa Estruturada Eutrófica (TEe)	Associação de Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos var. Piracicaba (série Godinhos) + Litossol fase substrato argilito/folhelho (série Lagadinho) (PVp + Li ag)
Localização	Município de São Manoel	Município de Piracicaba
Geologia	Período Cretáceo Inferior, Formação Serra Geral	Períodos Permiano e Carbonífero, Grupo Estrada Nova
Litologia	Rochas eruptivas básicas	Sedimentos finos: argilitos e folhelhos
Tipo Climático (Koppen)	Cwa	Cwa
Relevo	Suavemente ondulado	Ondulado a fortemente ondulado
Profundidade	Muito profundo	Moderadamente profundo a raso
Drenagem interna	Bem drenado	Moderadamente drenado
Textura horiz. A	Argiloso	Barro-siltoso
Textura horiz. B	Muito argiloso	Argiloso
Estrutura horiz. B	Prismática, com posta de blocos peq. a médios	Blocos subangulares peq. a médios
Resist. a erosão	Alta	Moderada a baixa
Retenção de água	Alta	Média
Fertilidade	Alta	Média a alta

#### 4.1.3 - Bacias hidrográficas

Foram utilizadas para estudo, neste trabalho oito bacias hidrográficas de terceira ordem, sendo quatro representativas de cada uma das duas unidades de solos estudadas. Essas bacias estão reproduzidas nas figuras 1, 2, 3, 4, 5 e 6.

#### 4.1.4 - Amostras circulares

Foram utilizadas oito amostras circulares de  $10 \text{ Km}^2$ , sendo quatro em cada unidade de solo, estando representadas nas figuras 7, 8, 9 e 10.

#### 4.1.5 - Fotografias aéreas, fotomosaicos e fotoíndices

Foram utilizadas fotografias aéreas verticais provenientes da cobertura aerofotogramétrica do Estado de São Paulo efetuada em agosto de 1962, na escala nominal aproximada de 1:25.000. O recobrimento entre fotografias é de cerca de 60% na mesma faixa de vôo e de 30% entre faixas adjacentes, o que permite a visão estereoscópica.

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

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



#### 4.1.6 - Cartas topográficas e mapa geológico

Foram utilizadas as folhas da Carta do Brasil, provenientes de restituição aerofotométrica na escala ..... 1:50.000, com curvas de nível de 20 em 20 metros, abrangendo as áreas de estudo, localizadas nos Municípios de São Manoel e Piracicaba.

Foi também utilizado o Mapa Geológico do Estado de São Paulo na escala de 1:1.000.000.

#### 4.1.7 - Estereoscópios e aero-skechtmaster

Para a observação estereoscópica dos pares de fotografias aéreas foram empregados um estereoscópio de espelhos Wild - ST4 e um estereoscópio de bolso Vasconcellos.

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

#### 4.1.8 - Equipamento de medição

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

## 4.2 - MÉTODOS

### 4.2.1 - Seleção das áreas de estudo

A escolha das áreas se prendeu ao fato de elas possuírem levantamento detalhado dos solos, cobertura aerofotogramétrica e carta topográfica.

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

### 4.2.2 - Obtenção dos mapas de drenagem

Foram confeccionados mapas das redes de drenagem representativas dos solos estudados, pelo método de triangulação radial gráfica, descrito por *RICCI e PETRI (1965)*. Após efetuado o controle das posições relativas das fotografias, conforme sugestão de *RAY (1963)* foram decalcadas em papel "ultraphan" as redes de drenagem, que a seguir foram transferidas com o auxílio do "aero-skechtmaster" para o mapa básico.

A definição da rede de drenagem foi feita através de um cuidadoso exame estereoscópico e, segundo sugestões de *LUEDER (1959)*, *STRAHLER (1957)*, foram considerados tanto cursos d'água permanentes como temporários.

### 4.2.3 - Seleção das bacias hidrográficas

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

No presente trabalho elas foram delimitadas estereoscopicamente, traçando-se os divisores d'água que circundam os rios de 3.<sup>a</sup> ordem. A seguir as bacias foram transferidas para o mapa básico de drenagem através do uso do "aero-skechtmaster".

Preliminarmente, as bacias foram selecionadas dando preferência para aquelas que contivessem maior área representativa dos solos em estudo, em confronto com o mapa de solos das áreas. Foram ainda consideradas para seleção, que o contorno definido pelas bacias tivessem formas aproximadas. Para dar maior segurança às comparações efetuadas e maior confiabilidade aos resultados, foi aplicado o teste de semelhança geométrica proposto por STRALLER (1957), pelo qual selecionaram-se 4 bacias para cada área estudada.

O método de semelhança geométrica compara bacias através de parâmetros dimensionais, tendo sido utilizados nesta avaliação os seguintes parâmetros: maior comprimento e maior largura das bacias; comprimento do rio principal; comprimento total da rede; perímetro e área das bacias.

Para a avaliação desses parâmetros, obedeceu-se os seguintes procedimentos:

- maior comprimento (C): medido com escala acompanhando aproximadamente a direção do vale principal, entre a foz e o ponto extremo sobre a linha do divisor de águas;
- maior largura (L): medida com escala, transversalmente ao vale principal;
- comprimento do rio principal (CP): medido com curvímetero, acompanhando as sinuosidades do rio principal, da foz até a nascente. Seu percurso foi determinado de acordo com o sistema de Horton por meio das ordens de rios e, em casos

de dúvida, pelas duas regras dadas por esse autor;

- comprimento total da rede (CR): medido com curvím<sup>o</sup>etro, acompanhando as sinuosidades do rio principal e de seus tributários;
- perímetro (P): expresso pelo comprimento da linha do divisor de águas que circunda a bacia, medido com curvím<sup>o</sup>etro;
- área (A): medida com planím<sup>o</sup>etro.

#### 4.2.4 - Análise das redes de drenagem

Para a análise das redes de drenagem considerou-se todas as vias de drenagem bem definidas, quer fossem cursos de água permanentes ou temporários. Segundo *LUEDER (1959)*, considerou-se também a presença ou ausência de depressões fechadas ou pequenas lagoas, elementos indicadores do grau de integração da rede de drenagem.

Os elementos das redes de drenagem foram analisados separadamente e/ou em combinação, de acordo com *BURINGH (1960)*. Foram ainda reunidos em dois grupos, segundo sua natureza, ou seja: aqueles referentes à composição da rede de drenagem e aqueles referentes ao padrão de drenagem.

##### 4.2.4.1 - Composição das redes de drenagem

a - Ordem de ramificação - os segmentos de rios ou canais de drenagem foram classificados com base na ordem de ramificação, segundo o sistema de *HORTON (1945)*, modificado por *STRAHLER (1957)*, designando-se a ordem genericamen-

te com a letra w.

b - Número de segmentos de rios - foram contados os segmentos de cada ordem e o número total para cada bacia, sendo designados respectivamente por  $N_w$  e  $N$ .

Para os dados observados em cada unidade de solo, foram calculados o número de segmentos de rios de cada ordem de ramificação e o número total, através de:

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

c - Razão de bifurcação ou de ramificação, representada por  $R_b$ , que define a relação entre o número de segmentos de rios de uma dada ordem e o da ordem imediatamente mais elevada, conforme *HORTON (1945)*. Para cada grupo de quatro bacias, os números de rios foram relacionados às ordens de ramificação.

Calculou-se a razão de ramificação média, em cada unidade de solo estudada, utilizando-se a média aritmética dos dados observados nas bacias hidrográficas.

Foi calculada também a razão de ramificação média, extraída das médias ponderadas dos números de rios de cada ordem, em cada unidade de solo estudado.

Finalmente foi calculada a razão de ramificação, segundo *MAXWELL (1955)*, onde  $R_b = \text{antilog } b$ .

d - Comprimento totais de rios - foram medidos os comprimentos dos segmentos de rios de cada ordem e o comprimento total da bacia, representados por  $L_w$  e  $L_t$ , respecti

vamente. Para os dados observados em cada unidade de solo foram calculados os valores médios do comprimento total de segmentos de rios em cada ordem e o comprimento total, segundo:

- média ponderada em relação às áreas das bacias;
- equação ajustada por *FRANÇA (1968)* ( $\log L_w = \log a - w \log b$ );
- lei dos comprimentos de rios enunciado por *HORTON (1945)* e modificada por *STRAHLER (1957)*.

e - Comprimentos médios de rios - representados por  $L_m$ ; foram obtidos dividindo a soma dos comprimentos de rios de cada ordem ( $L_w$ ) pelo número de segmentos da respectiva ordem ( $N_w$ ).

Calculou-se também para cada unidade de solo, o valor médio dos comprimentos médios de segmentos de rios em cada ordem, através de:

- média ponderada em relação à área das bacias;
- equação ajustada por *VASQUES FILHO (1972)*;  
( $\log L_m = \log a - w \log b$ ).
- relação  $L_w/N_w$ ;  $L_w$  antilog  $b$  da equação de *FRANÇA (1968)* e  $N_w$  antilog  $b$  da equação de *MAXWELL (1955)*.
- lei dos comprimentos de rios, enunciada por *HORTON (1945)*.

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

Calculou-se também, para cada unidade de solo,

os valores médios da razão de comprimentos totais ( $R_{lw}$ ), através de:

- média aritmética dos dados observados;
- média ponderada dos dados observados, em relação à área das bacias;
- antilog  $b$ , da equação ajustada por *FRANÇA (1968)*.

$g$  - Razão de comprimentos médios - segundo *HORTON (1945)*, vem a ser a relação entre o comprimento médio de segmentos de rios de uma dada ordem e o da ordem imediatamente inferior; foi designado por  $R_l$ . Foi calculada entre duas ordens de rios consecutivas para todas as bacias hidrográficas, com os dados observados.

Para cada unidade de solo, calcularam-se ainda os valores médios da razão de comprimentos médios ( $R_l$ ), por meio de:

- média aritmética dos valores observados;
- média ponderada dos valores observados;
- antilog  $b$  da equação ajustada por *VASQUES FILHO (1972)*;
- relação proposta por *FRANÇA (1968)*  $R_l = \frac{R_b}{R_{lw}}$

onde:

$R_l$ ,  $R_b$  e  $R_{lw}$  correspondem ao antilog de  $b$  cujos  $b$  foram obtidos pelas respectivas equações ajustadas por *VASQUES (1972)*, *MAXWELL (1955)* e *FRANÇA (1968)*. Por analogia, estabeleceu-se que:

$$R_b = R_l \cdot R_{lw}$$

$$R_{lw} = \frac{R_b}{R_l}$$

Foram calculadas essas relações para comparar com os valores médios obtidos pela razão de ramificação ( $R_b$ ), razão de comprimento totais ( $R_{lw}$ ) e razão de comprimento médios ( $R_l$ ), e com os obtidos pelas equações.

Para número, comprimento total e comprimento médio por unidade de área efetuaram-se as mesmas análises preconizadas pela literatura.

#### 4.3.2.4.2 - Características do padrão de drenagem

As características descritivas do padrão de drenagem foram analisadas segundo *LUEDEK* (1959), incluindo o tipo ou modelo segundo *PARVIS* (1950).

As características quantitativas do padrão de drenagem estudadas foram as seguintes:

a - Densidade de drenagem: designada por  $D_d$ , foi calculada através da relação entre comprimento total de rios da bacia e sua respectiva área, segundo *HORTON* (1945), para todas as bacias hidrográficas estudadas.

b - Frequência de rios: designada por  $F$ , foi calculada através da relação entre o número total de rios da bacia pela sua respectiva área, segundo *HORTON* (1945), para todas as bacias estudadas.

c - Razão de textura: designada por  $T$ , foi calculada, para todas as bacias hidrográficas, segundo a definição de *SMITH* (1950), modificado por *FRANÇA* (1968), obtida através da relação entre o número total de rios de uma dada bacia pelo seu respectivo perímetro.



d - Razão de textura média: designada por  $T_m$ , foi calculada para todas as bacias estudadas, segundo a definição de SMITH (1950), modificada por FRANÇA (1968), obtida através da fórmula:

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

onde:

$T_m$  = razão de textura média

A = área das bacias, em  $Km^2$

T = razão de textura de cada bacia hidrográfica

e - Textura topográfica: baseada na razão de textura média das bacias hidrográficas, as unidades de solo estudadas foram classificadas quanto à textura topográfica segundo a proposição de SMITH (1950) e adaptação de FRANÇA (1968), indicadas na Tabela 2.

TABELA 2 - Parâmetros para Classificação da Textura Topográfica com Base nos Valores de Razão de Textura Média.

Classe de textura topográfica	Razão de textura média	
	Perímetro expresso em milhas	Perímetro expresso em quilômetros
Grosseira	abaixo de 4	abaixo de 2,5
Média	4 a 10	2,5 a 6,2
Fina	acima de 10	acima de 6,2

#### 4.2.4.3 - Amostras circulares

Foram tomadas para cada unidade de solo quatro amostras circulares, com área de  $10 \text{ Km}^2$ , conforme propõem *RAY e FISCHER (1960)* para interpretação litológica e *FRANÇA (1968)* para interpretação pedológica. Nas amostras circulares aplicou-se a mesma metodologia utilizada para as bacias hidrográficas, com a finalidade de comparar a sua eficiência em relação às amostragens obtidas através de bacias.

Para os dados da unidade de solo TEE foi somado 1 a todos os dados de número, comprimento total e comprimento médio pelo fato de uma amostra não conter rio de 3.<sup>a</sup> ordem e se tratar de análise monologaritmica.

#### 4.2.5 - Relações entre características quantitativas dos padrões de drenagem de bacias hidrográficas e amostras circulares

Foram efetuados estudos comparativos entre as características quantitativas das redes (frequência de rios, densidade de drenagem e razão de textura), obtidas para as bacias hidrográficas e amostras circulares para as duas unidades de solo.

## 5 - R E S U L T A D O S

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

### 5.1 - CARACTERÍSTICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

#### 5.1.1 - Representação gráfica das bacias

Os desenhos das bacias hidrográficas representativas dos solos PVp + Li ag se encontram nas Figuras 1 e 2 e as representativas do solo TEe encontram-se nas Figuras 3, 4, 5 e 6.

### 5.1.2 - Propriedades dimensionais

Os dados referentes às propriedades dimensionais das bacias hidrográficas estão apresentados na Tabela 3.

### 5.1.3 - Teste de semelhança geométrica

A análise dimensional e semelhança geométrica aplicada as bacias representativas dos Solos PVp + Li ag, numeradas de I a IV e as do solo TEe, numeradas de V a VIII, estão apresentadas na Tabela 4.

### 5.1.4 - Composição das redes de drenagem

#### 5.1.4.1 - Análise do número de segmentos de rios

O número de segmentos de rios observados em cada ordem de ramificação, o número total e a média ponderada para as bacias hidrográficas estão indicados na Tabela 5.

As equações que relacionam o número de rios às ordens de ramificação; coeficiente de correlação ( $r$ ); coeficiente de determinação ( $r^2$ ); teste  $t$  para  $b$  ( $t_b$ ) e teste  $F$  para a regressão estão apresentados na Tabela 6 e Figura 11.

Os valores observados e valores médios calculados para as razões de ramificação ( $R_b$ ) das redes de drenagem estão na Tabela 7.

Na Tabela 8 estão indicados a média ponderada,

os valores calculados segundo a equação de *MAXWELL (1955)* e a Lei de *HORTON (1945)* para o número de segmentos de rios, em cada ordem de ramificação.

#### 5.1.4.2 - Análise dos comprimentos dos rios

Os comprimentos totais de segmentos de rios em cada ordem; comprimentos totais observados em cada bacia hidrográfica e suas respectivas médias ponderadas estão na Tabela 9.

As equações que relacionam os comprimentos de rios às ordens de ramificação; coeficiente de correlação ( $r$ ); coeficiente de determinação ( $r^2$ ); teste  $t$  para  $b$  ( $t_b$ ) e teste  $F$  para a regressão estão apresentados na Tabela 10 e Figura 12.

Os valores observados e valores médios calculados para as razões de comprimentos totais ( $R_{lw}$ ), das redes de drenagem, estão apresentados na Tabela 11.

As médias ponderadas observadas, as médias calculadas segundo a equação de *FRANÇA (1968)*, as médias obtidas pela relação  $L_w/N_w$  e pela Lei de *HORTON (1945)*, modificada por *STRAHLER (1957)*, para os comprimentos totais de rios, das bacias hidrográficas, estão indicadas na Tabela 12.

Os comprimentos médios de rios em cada ordem de ramificação das bacias hidrográficas; a média ponderada; a média aritmética e os valores médios segundo *VASQUES FILHO (1972)* estão na Tabela 13.

As equações que relacionam os comprimentos médios de rios às ordens de ramificação; coeficiente de corre-

lação ( $r$ ); coeficiente de determinação ( $r^2$ ); teste  $t$  para  $b$  ( $t_b$ ) e teste  $F$  para a regressão estão apresentadas na Tabela 14 e Figura 13.

Os valores observados e os valores médios calculados para as razões de comprimentos médios ( $R_l$ ), das redes de drenagem, estão apresentados na Tabela 15.

Na Tabela 16 estão representadas as médias ponderadas observadas, as médias calculadas segundo a equação de *VASQUES FILHO (1972)*, as médias obtidas pela relação  $L_w/N_w$  e pela Lei de *HORTON (1945)* para os comprimentos médios de rios.

Na Tabela 17 estão condensados os 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.

Na Tabela 18 estão condensados as médias ponderadas, equações de *MAXWELL (1955)*, de *FRANÇA (1968)* e de *VASQUES FILHO (1972)* e dados obtidos pela aplicação da Lei de *HORTON (1945)* para número, comprimentos totais e comprimentos médios de segmentos de rios, das ordens de ramificação das redes de drenagem.

Na Tabela 19 estão apresentados os valores número de segmentos de rios por unidade área, obtidos em bacias hidrográficas.

Na Tabela 20, estão apresentados os valores de comprimento total de segmentos de rios por unidade de área, obtidos a partir de bacias hidrográficas.

Na Tabela 21, estão apresentados os valores de comprimento médio de segmentos de rios por unidade de área,

determinados através de bacias hidrográficas.

Na Tabela 22 estão apresentadas as equações de número, comprimento total e comprimento médio de segmentos de rios por unidade de área.

#### 5.1.5 - Características dos padrões de drenagem

##### 5.1.5.1 - Características descritivas

As características descritivas dos padrões de drenagem podem ser observadas na Tabela 23.

##### 5.1.5.2 - Características quantitativas

As características quantitativas dos padrões de drenagem e as classes de textura topográfica estão indicadas na Tabela 24.

#### 5.2 - CARACTERÍSTICAS DAS AMOSTRAS CIRCULARES

##### 5.2.1 - Representação gráfica

As amostras circulares que representam a unidade de solo PVp + Li ag estão nas Figuras 8 e 9 e as que representam o solo TEE estão nas Figuras 9 e 10.

### 5.2.2 - Características dimensionais

As características dimensionais das amostras circulares estudadas estão indicadas na Tabela 25.

Na Tabela 26 estão apresentados os dados de comprimento médio de segmentos de rios, obtidos através de amostras circulares, para as unidades de solo estudadas.

Na Tabela 27 estão as equações ajustadas para número, comprimento total e comprimento médio de segmentos de rios, obtidos a partir de amostras circulares, para as duas unidades de solo.

### 5.2.3 - Características quantitativas dos padrões de drenagem

As características quantitativas dos padrões de drenagem e as classes de textura topográfica das amostras circulares estão indicadas na Tabela 28.

## 5.3 - BACIAS HIDROGRÁFICAS E AMOSTRAS CIRCULARES

Na Tabela 29 foram condensadas as características quantitativas médias dos padrões de drenagem e suas respectivas classes de textura topográfica.



### 5.3.1 - Comparações entre parâmetros de bacias hidrográficas e de amostras circulares

Através dos dados das Tabelas 24 e 28 efetuaram-se relações lineares, segundo FRANÇA (1968) e SOUZA (1975), entre os parâmetros densidade de drenagem, frequência de rios e razão de textura obtidos a partir de bacias hidrográficas e amostras circulares, para as duas unidades de solo.

Na Tabela 30 e Figuras 14-A, 14-B e 14-C, são mostradas as relações funcionais estudadas:

- relação entre frequência de rios (F) e densidade de drenagem (Dd) de bacias hidrográficas.
- relação entre frequência de rios (Fc) e densidade de drenagem (Ddc) de amostras circulares.
- relação entre frequência de rios (F) de bacias hidrográficas e densidade de drenagem (Ddc) de amostras circulares.
- relação entre frequência de rios (Fc) de amostras circulares e densidade de drenagem (Dd) de bacias hidrográficas.
- relação entre frequência de rios (Fc) de amostras circulares e frequência de rios (F) de bacias hidrográficas.
- relação entre razão de textura (T) e densidade de drenagem (Dd) de bacias hidrográficas.
- relação entre razão de textura (T) de bacias hidrográficas e densidade de drenagem (Ddc) de amostras circulares.
- relação entre razão de textura (Tc) de amostras circulares e densidade de drenagem (Dd) de bacias hidrográficas.

- relação entre razão de textura ( $T_c$ ) e densidade de drenagem ( $D_{dc}$ ) de amostras circulares.
- relação entre densidade de drenagem ( $D_d$ ) de bacias hidrográficas e densidade de drenagem ( $D_{dc}$ ) de amostras circulares.
- relação entre razão de textura ( $T_c$ ) de amostras circulares e razão de textura ( $T$ ) de bacias hidrográficas.
- relação entre razão de textura ( $T$ ) e frequência de rios ( $F$ ) de bacias hidrográficas.
- relação entre razão de textura ( $T_c$ ) de amostras circulares e frequência de rios ( $F$ ) de bacias hidrográficas.
- relação entre razão de textura ( $T_c$ ) e frequência de rios ( $F_c$ ) de amostras circulares.
- relação entre frequência de rios ( $F_c$ ) de amostras circulares e razão de textura ( $T$ ) de bacias hidrográficas.

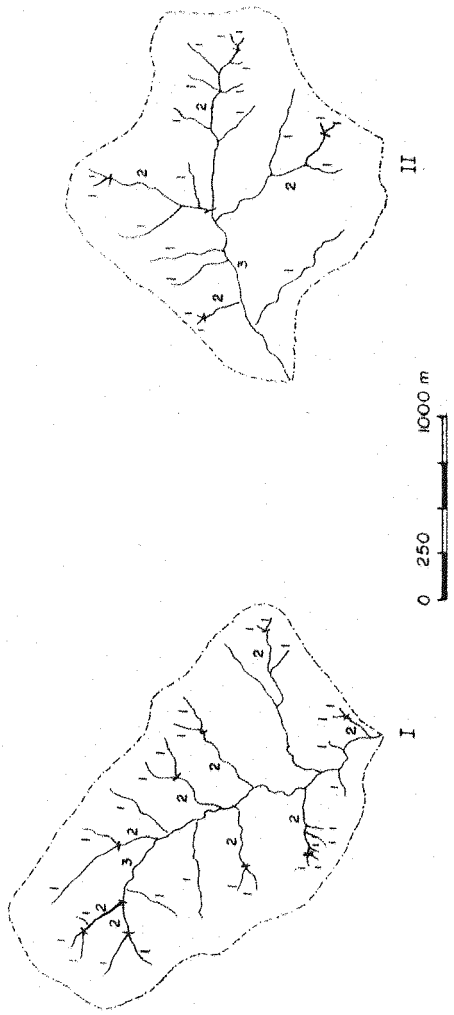


FIG. 1. Bacias Hidrográficas I e II Representativas da Unidade de Solo PVP + Liag, no Município de Piracicaba.

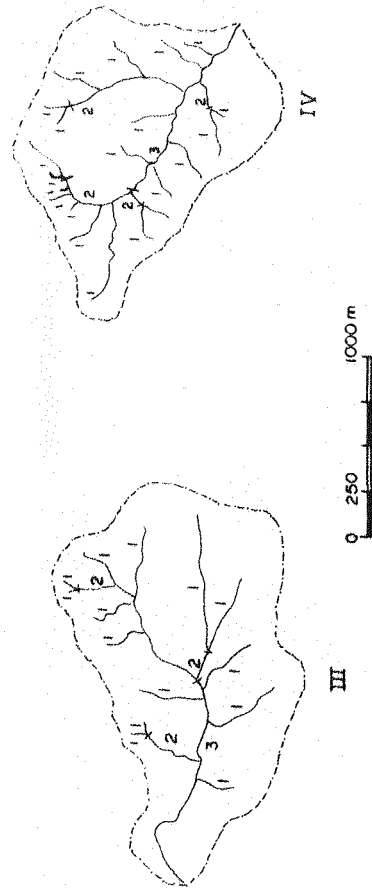


Fig. 2. Bacias Hidrográficas III e IV Representativas da Unidade de Solo Pvp + Liag, no Município de Piracicaba.

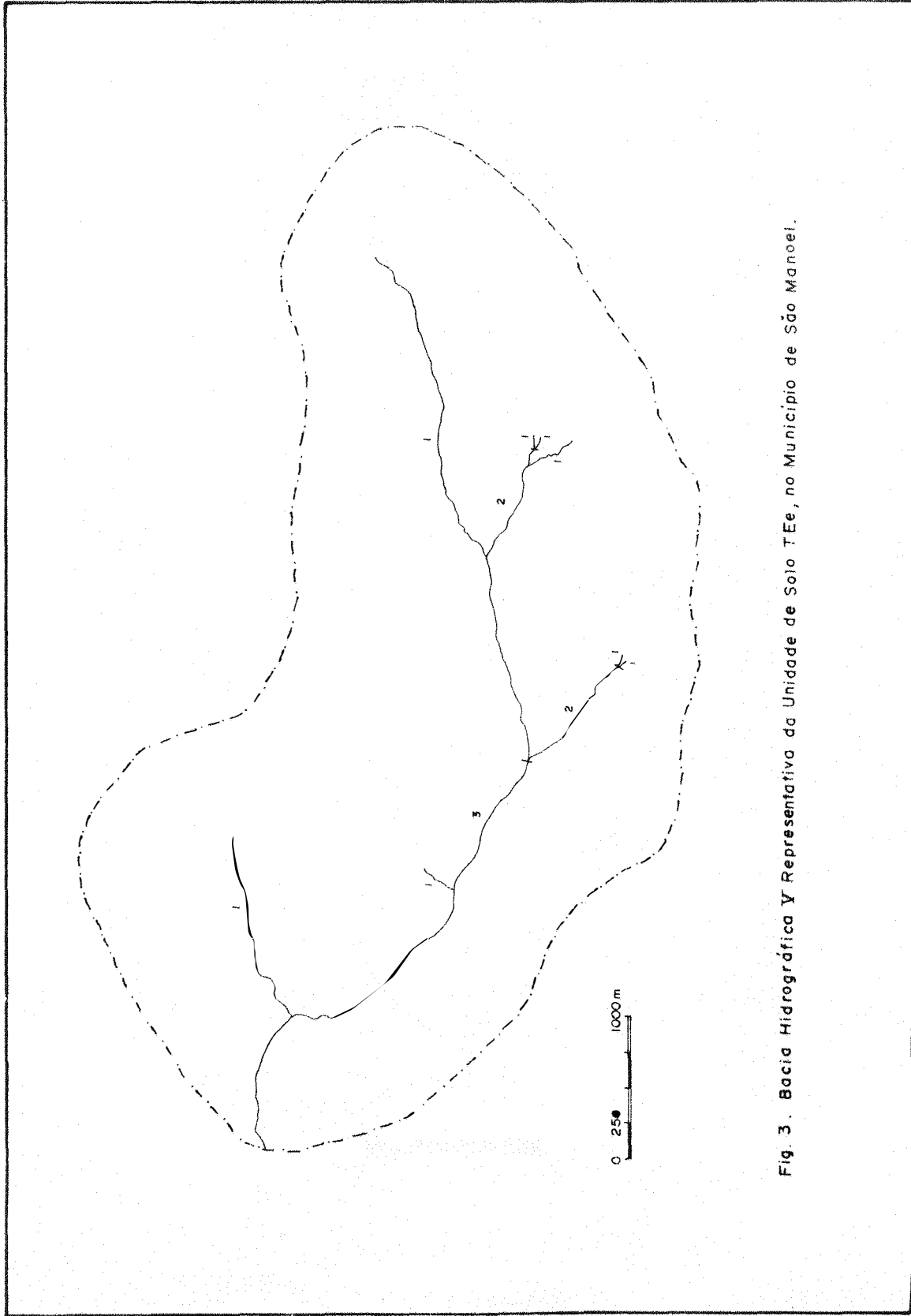
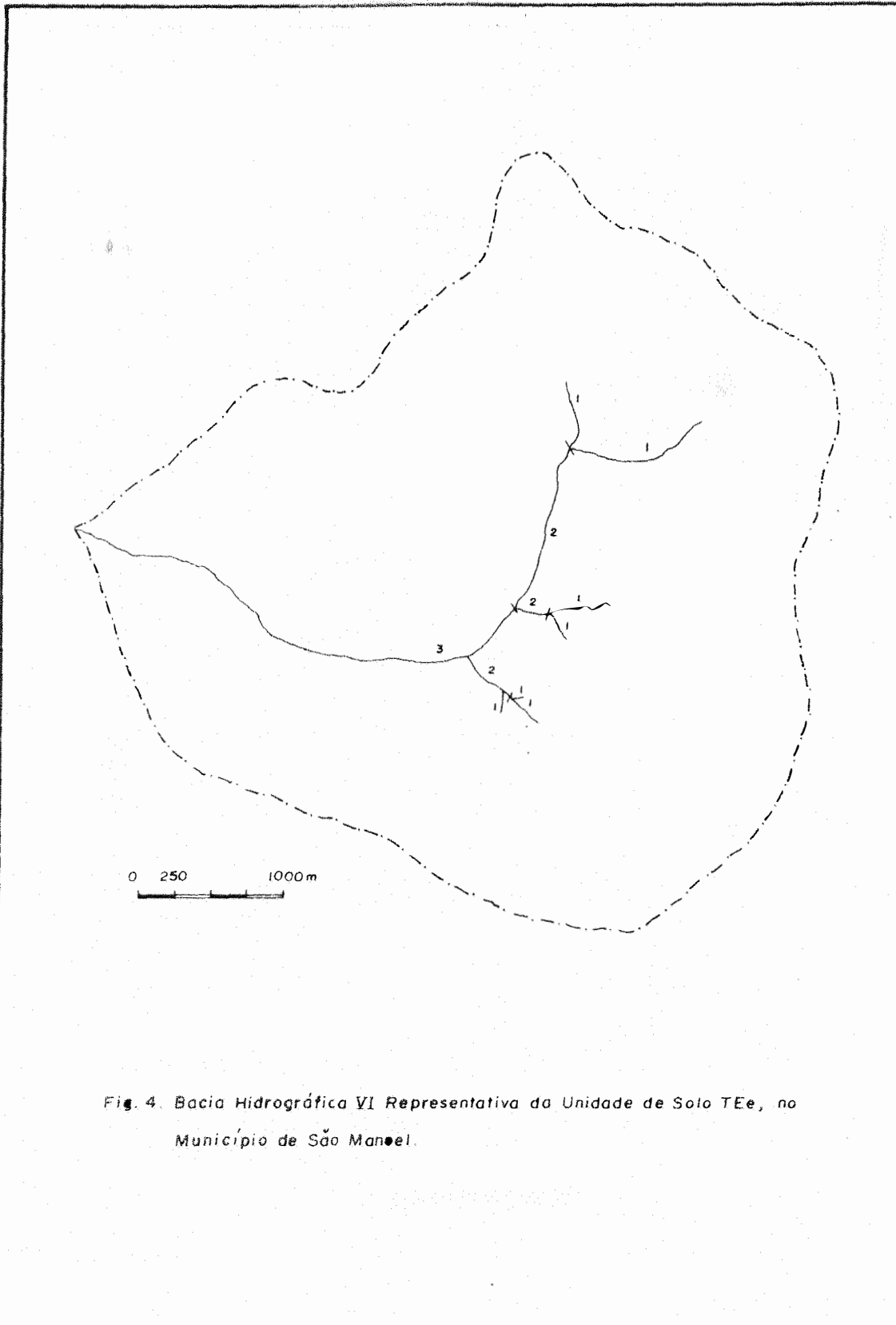


Fig. 3. Bacia Hidrográfica V Representativa da Unidade de Solo TEe, no Município de São Manoel.



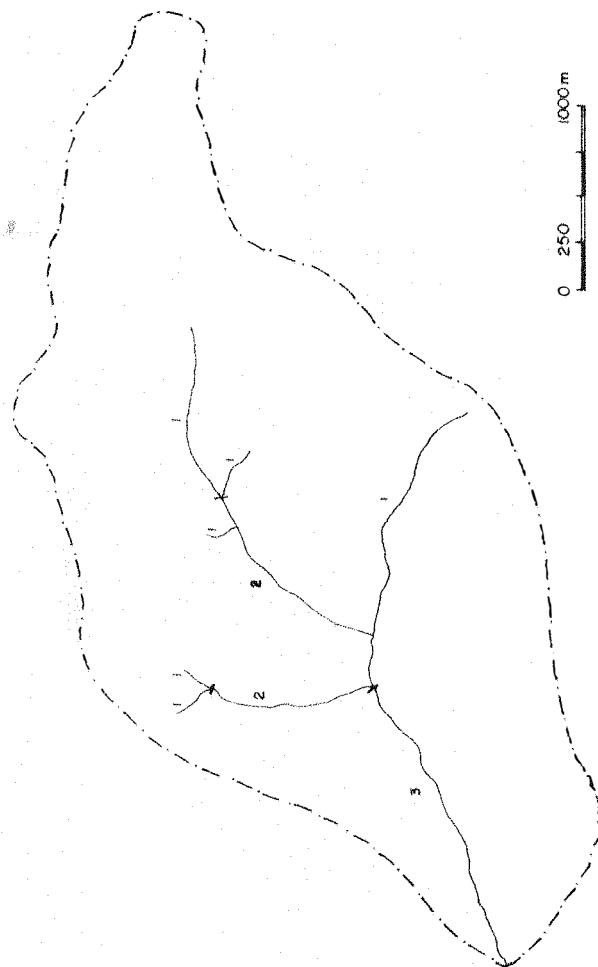


Fig. 5. Bacia Hidrográfica VII Representativa da Unidade de Solo TEe, no Município de São Manoel.

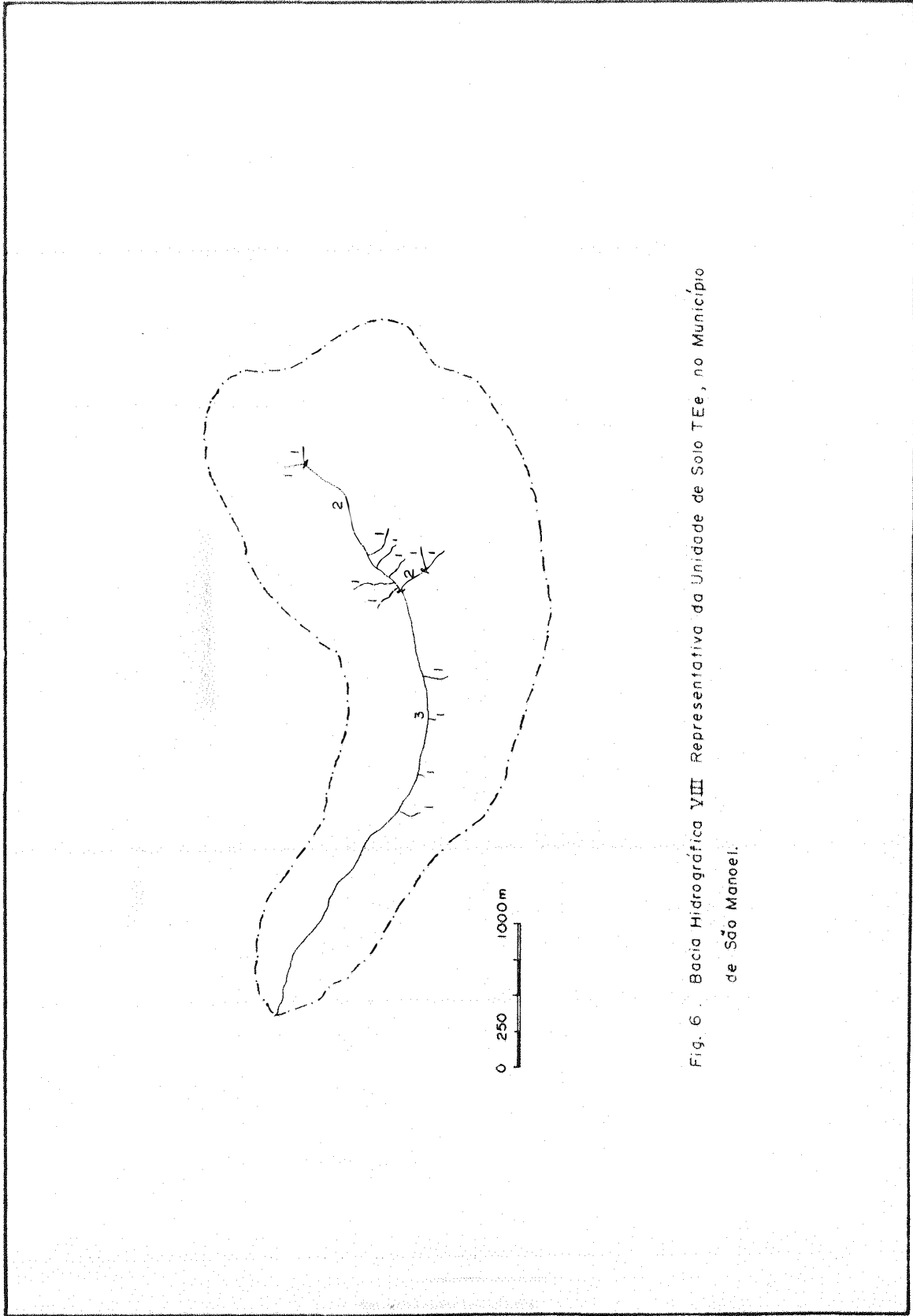
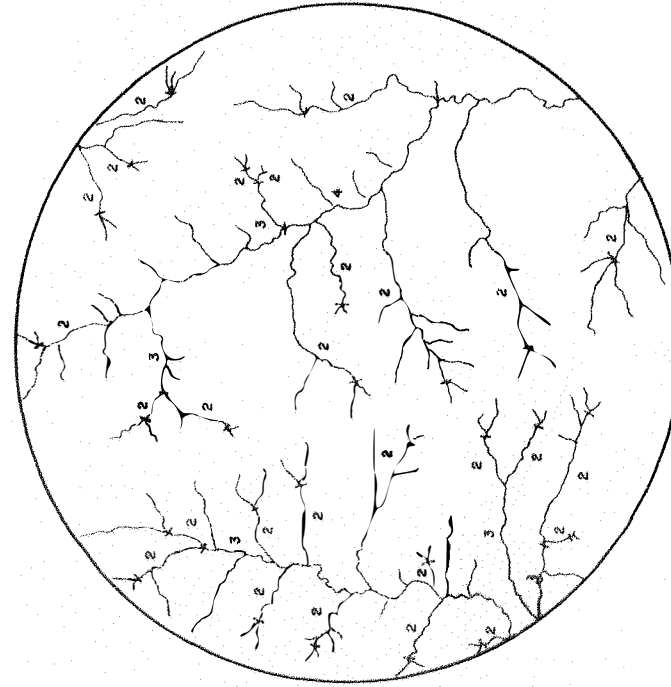
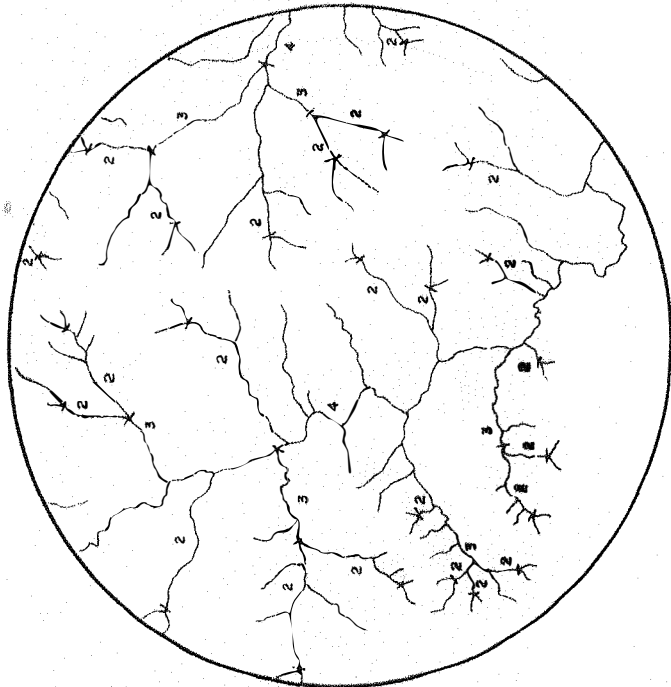


Fig. 6. Bacia Hidrográfica VIII Representativa da Unidade de Solo TEe, no Município de São Manoel.



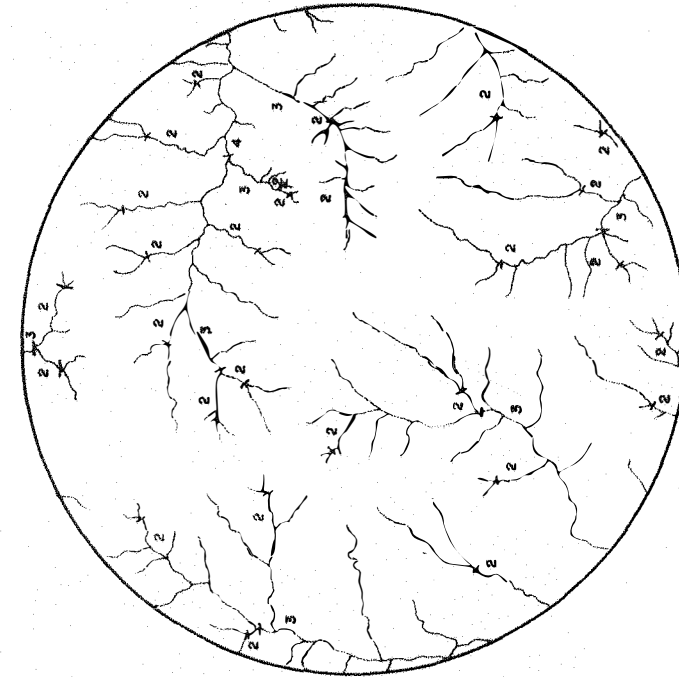
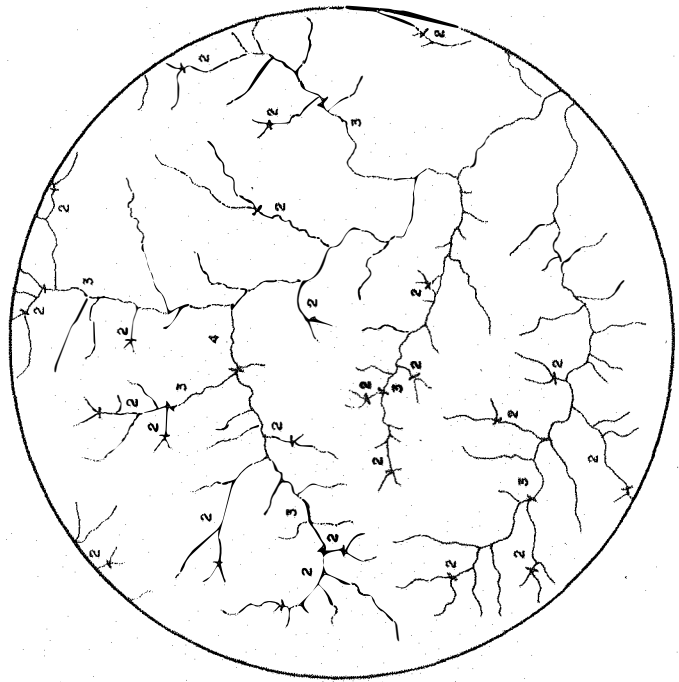


B

A



Fig. 7. Amostras Circulares A e B (10 km<sup>2</sup>) Representativas da Unidade de Solo PVP + Liq.



D

C

Fig. 8. Amostras Circulares C e D (10 km<sup>2</sup>) Representativas da Unidade de Solo PVP + Liq.

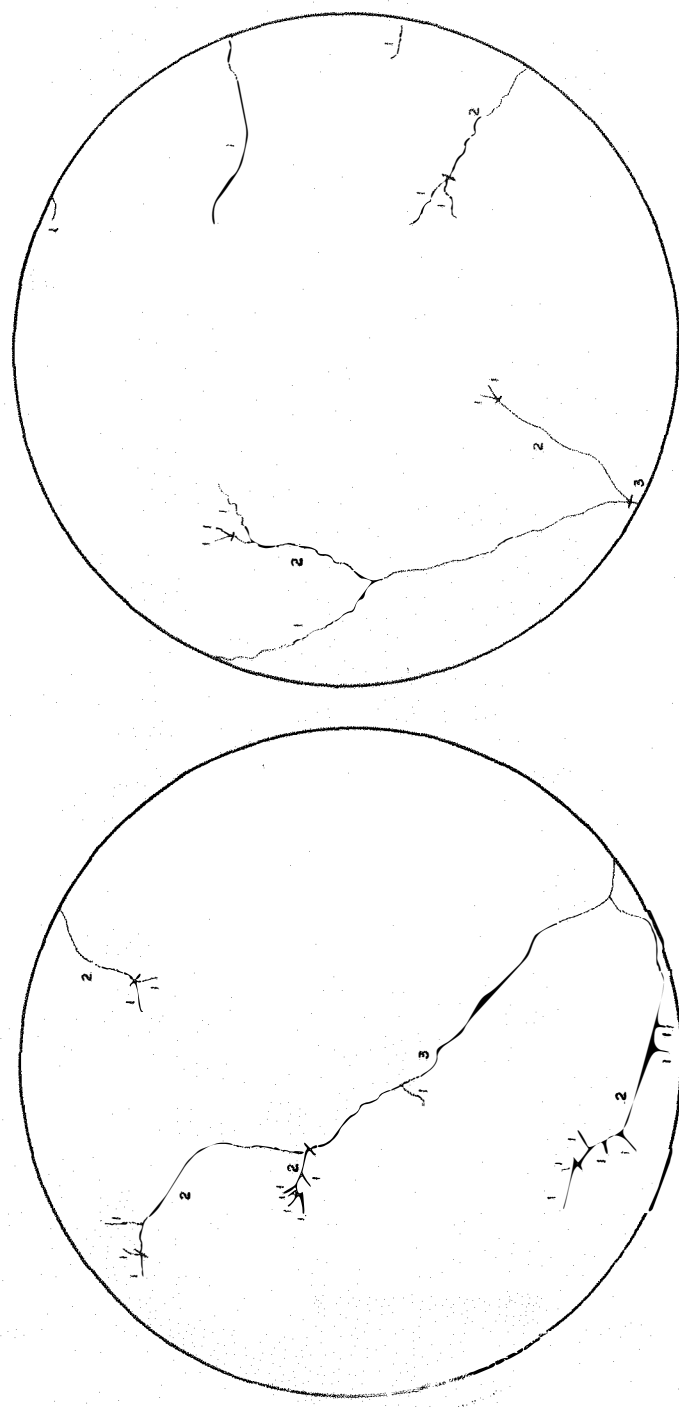


Fig. 9. Amostras Circulares E e F (10 km<sup>2</sup>) Representativas da Unidade de Solo TEe.

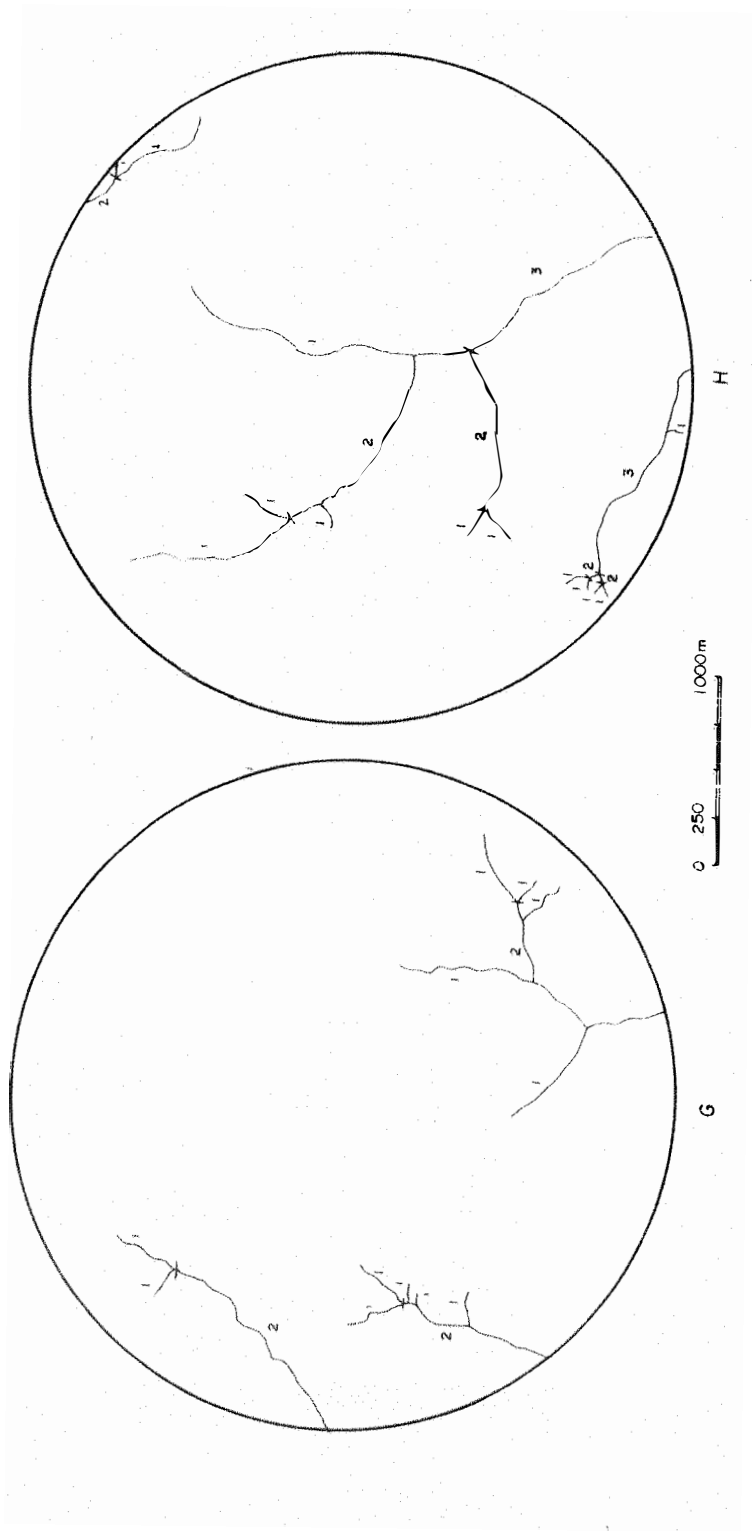


Fig. 10. Amostra Circulares G e H (10 km<sup>2</sup>) Representativas da Unidade de Solo TEe.

TABELA 3 - Propriedades Dimensionais das Bacias Hidrográficas Representativas das Unidades de Solo Estudadas.

Unidade de Solo	Bacia Hidrográfica	Maior Comprimento (C) (Km)	Maior Largura (L) (Km)	Comprimento de Rios			Perímetro (P) (Km)	Área (A) (Km <sup>2</sup> )
				Principal (CP) (Km)	Rede (CR) (Km)			
PVP + Li ag	I	2,25	1,38	2,0	10,1	6,0	2,41	
	II	2,01	1,72	1,9	7,4	5,4	2,05	
	III	2,19	1,06	2,2	6,2	5,3	1,81	
	IV	1,80	1,20	1,7	6,5	4,7	1,44	
TEe	V	7,06	3,44	7,0	11,0	17,6	17,64	
	VI	5,28	5,19	4,8	7,5	15,8	16,65	
	VII	5,50	2,58	4,0	6,7	12,7	8,33	
	VIII	4,55	2,39	4,4	6,5	11,5	6,36	

TABELA 4 - Análise Dimensional e Semelhança Geométrica, Aplicações às Bacias Hidrográficas Representativas das Unidades de Solo Estudadas.

Unidade de Solo	Bacias Hidrográficas	Razão de Escala Linear (R)			Razão Média (Rm)	Razão de Escala Quadrática (R <sup>2</sup> )			
		C/C'	L/L'	Cp/Cp'		Cr/Cr'	P/P'	A/A'	Rm <sup>2</sup>
PVp + Li ag	I /II	1,119	0,802	1,053	1,365	1,111	1,090	1,176	1,188
	I /III	1,027	1,302	0,909	1,629	1,132	1,200	1,331	1,440
	I /IV	1,250	1,150	1,176	1,554	1,277	1,281	1,667	1,641
	II /III	0,918	1,623	0,864	1,194	1,019	1,124	1,133	1,263
III/IV	II /IV	1,117	1,433	1,118	1,138	1,149	1,191	1,424	1,418
		1,217	0,883	1,294	0,954	1,128	1,095	1,257	1,199
TEe	V /VI	1,337	0,663	1,458	1,467	1,114	1,208	1,059	1,459
	V /VII	1,284	1,333	1,750	1,642	1,386	1,479	2,118	2,187
	V /VIII	1,552	1,439	1,591	1,692	1,530	1,561	2,774	2,437
	VI /VII	0,960	2,012	1,200	1,119	1,244	1,307	1,999	1,708
VII/VIII	VI /VIII	1,160	2,172	1,091	1,154	1,374	1,390	2,618	1,932
		1,209	1,079	0,909	1,031	1,104	1,066	1,310	1,136

TABELA 5 - Número de Segmentos de Rios Observados em Cada Ordem de Ramificação e o Total Para as Bacias Hidrográficas; Média Ponderada em Relação à Área Para Cada Unidade de Solo.

Unidade de solo	Ordem (W)	Número de Segmentos de Rios em Cada Ordem, NW					Média Pond.
		Bacias Hidrográficas					
		I	II	III	IV		
PVp + Li ag	1. <sup>a</sup>	29	21	14	21	21,86	
	2. <sup>a</sup>	9	4	3	4	5,33	
	3. <sup>a</sup>	1	1	1	1	1,00	
	TOTAL (N)	39	26	18	26	28,19	
		V	VI	VII	VIII		
TEe	1. <sup>a</sup>	8	7	6	13	7,97	
	2. <sup>a</sup>	2	3	2	2	2,34	
	3. <sup>a</sup>	1	1	1	1	1,00	
	TOTAL (N)	11	11	9	16	11,31	

TABELA 6 - Equações Ajustadas Segundo MAXWELL (1955) ( $\log Nw = \log a - \log bw$ ) Para os Números de Segmentos de Rios, para as Unidades de Solo Estudadas; Coeficiente de Correlação (r); Coeficiente de Determinação ( $r^2$ ); Teste t para b (tb) e Teste F para a Regressão.

Unidade de Solo	Equação	r	$r^2$	tb	F
Pvp + Li ag	$\log Nw = 2,0284 - 0,6698 w$	- 0,9987	0,9976	- 20,3888*	415,7065*
TEe	$\log Nw = 1,3251 - 0,4507 w$	- 0,9945	0,9892	- 9,5774 n.s.	91,7266 n.s.

\* - significativo a nível de 5%

n.s. - não significativo



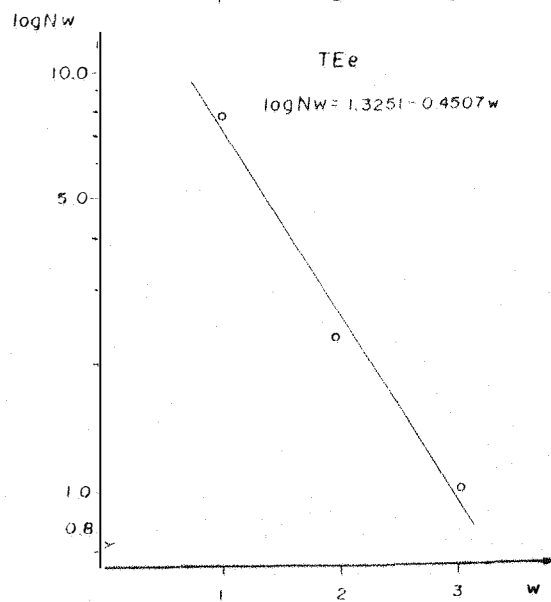
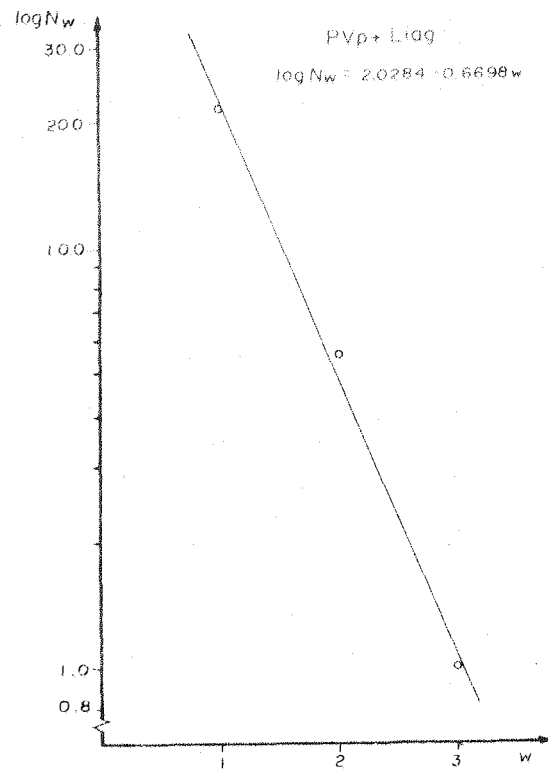


Fig. 11. Regressão dos Números Totais de Segmentos de Rios ( $N_w$ ) Sobre as Ordens de Ramificação ( $w$ ) para as Unidades de Solo Estudadas.

TABELA 7 - Valores Observados e Valores Médios da Razão de Ramificação (Rb) das Redes de Drenagem Representativas das Unidades de Solo.

Unidade de Solo	Bacias Hidrográficas	Razão de Ramificação, Rb						
		Ordens Relacionadas			Média Arit.	Média Pond.	Maxwell (Antilog.b)	
		$W_1/W_2$	$W_2/W_3$	$W_{1p}/W_{2p}/W_{1p}/W_{2p}$				
Pvp + Li ag	I	3,22	9,00					
	II	5,25	4,00	4,10	5,33	4,80	4,72	4,67
	III	4,67	3,00					
	IV	5,25	4,00					
	V	4,00	2,00					
TEe	VI	2,33	3,00	3,41	2,34	3,10	2,87	2,82
	VII	3,00	2,00					
	VIII	6,50	2,00					

$\frac{a}{w_{1p}/w_{2p}}$  e  $w_{2p}/w_{3p}$  calculados através da média ponderada dos dados observados em relação a área das bacias.

TABELA 8 - Número de Segmentos de Rios em Cada Ordem, e Números Totais Calculados Através da Média Ponderada; Segundo MAXWELL (1955) e HORTON (1945), Para as Unidades de Solo.

Unidade de solo	Ordem (W)	Número de Segmentos de Rios em Cada Ordem, Nw		
		Média Pond.	Maxwell	Horton
PVP + Li ag	1. <sup>a</sup>	21,86	22,82	21,89
	2. <sup>a</sup>	5,33	4,88	4,67
	3. <sup>a</sup>	1,00	1,05	1,00
	TOTAL (N)	28,19	28,75	27,56
TEe	1. <sup>a</sup>	7,97	7,49	7,95
	2. <sup>a</sup>	2,34	2,65	2,82
	3. <sup>a</sup>	1,00	0,94	1,00
	TOTAL (N)	11,31	11,08	11,77

TABELA 9 - Comprimentos Totais de Segmentos de Rios em Cada Ordem; Comprimentos Totais Observados em Cada Bacia Hidrográfica; Médias Ponderadas para as Unidades de Solo.

Unidade de solo	Ordem (W)	Comprimento Total de Rios em Cada Ordem, Lw (Km)				Média Pond.
		Bacias Hidrográficas				
		I	II	III	IV	
PVP + Li ag	1. <sup>a</sup>	5,1	4,5	3,5	3,9	4,34
	2. <sup>a</sup>	3,1	2,0	1,4	1,5	2,11
	3. <sup>a</sup>	1,9	0,9	1,3	1,1	1,34
	TOTAL (Lt)	10,1	7,4	6,2	6,5	7,79
TEe		V	VI	VII	VIII	
	1. <sup>a</sup>	4,5	2,6	3,1	2,1	3,30
	2. <sup>a</sup>	3,1	1,6	1,9	1,2	2,14
	3. <sup>a</sup>	3,4	3,3	1,7	3,2	3,05
	TOTAL (Lt)	11,0	7,5	6,7	6,5	8,49

TABELA 10 - Equações Ajustadas segundo FRANÇA (1968) ( $\log Lw = \log a - w \log b$ ) Para os Comprimentos Totais de Segmentos de Rios em Cada Unidade de Solo; Coeficiente de Correlação (r); Coeficiente de Determinação ( $r^2$ ); Teste t para b (tb) e Teste F para a Regressão.

Unidade de Solo	Equação	r	$r^2$	tb	F
PVp + Li ag	$\log Lw = 0,8742 - w 0,2552$	- 0,9914	0,9830	- 7,6188 n.s.	58,0469 n.s.
TEe	$\log Lw = 0,4786 - w 0,0171$	- 0,1707	0,0291	- 0,1732 n.s.	0,0300 n.s.

n.s. - não significativo

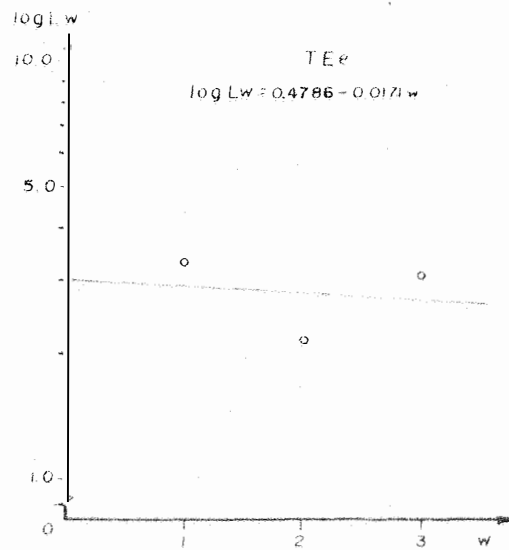
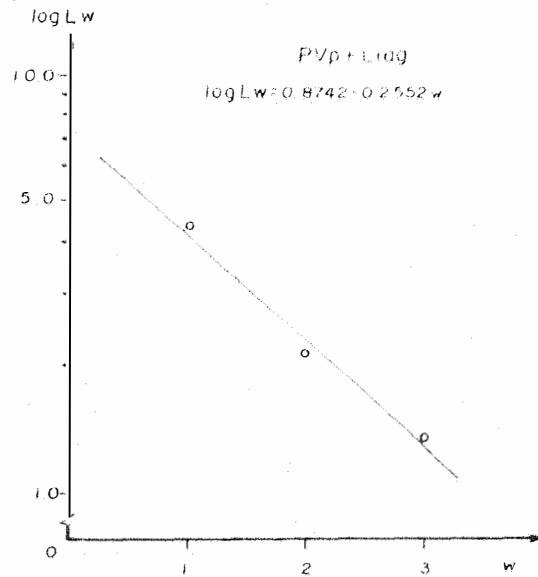


Fig.12. Regressão dos Comprimentos Totais de Segmentos de Rios (Lw) Sobre as Ordens de Ramificação (w) para as Unidades de Solo Estudadas.

TABELA 11 - Valores Observados e Valores Médios de Razão de Comprimentos Totais (Rlw) das Redes de Drenagem Representativas das Unidades de Solo.

Unidade de Solo	Bacias Hidrográficas	Razão de Comprimentos Totais, Rlw					
		Ordens Relacionadas			Média Arit. Pond.	Média Média	França (Antilog.b)
		w1/w2	w2/w3	wlp/w2p <sup>a</sup> /w2p/w3p <sup>a</sup>			
PVp + Li ag	I II III IV	1,65 2,25 2,50 2,60	1,63 2,22 1,08 1,36	3,06 1,57	1,91 1,82	1,80	
TEe	V VI VII VIII	1,45 1,63 1,63 1,75	0,91 0,48 1,12 0,38	1,54 0,70	1,17 1,12	1,04	

<sup>a</sup>/wlp/w2p e w2p/w3p calculados através da média ponderada dos dados em relação a área das bacias

TABELA 12 - Comprimentos Totais de Segmentos de Rios Observados em Cada Ordem e Comprimentos Totais Calculados; Média Ponderada; Segundo FRANÇA (1968) e STRAHLER (1957), Para as Unidades de Solo.

Unidade de Solo	Ordem (W)	Comprimentos Totais de Segmentos de Rios em Cada Ordem Lw (Km)		
		Média Pond.	França	Strahler
PVP + Li ag	1. <sup>a</sup>	4,34	4,16	4,34
	2. <sup>a</sup>	2,11	2,31	2,41
	3. <sup>a</sup>	1,34	1,28	1,34
	TOTAL (Lt)	7,79	7,75	8,09
TEe	1. <sup>a</sup>	3,30	2,89	3,30
	2. <sup>a</sup>	2,14	2,78	3,17
	3. <sup>a</sup>	3,05	2,67	3,05
	TOTAL (Lt)	8,49	8,34	9,52



TABELA 13 - Comprimento Médio de Rios em Cada Ordem de Ramificação das Bacias Hidrográficas e Média Ponderada, para as Unidades de Solo.

Unidade de Solo	Ordem (W)	Comprimento Médio de Rios em Cada Ordem, Lm em (Km)				Média Pond.
		Bacias Hidrográficas				
		I	II	III	IV	
PVp + Li ag	1. <sup>a</sup>	0,18	0,21	0,25	0,19	0,21
	2. <sup>a</sup>	0,34	0,50	0,48	0,38	0,42
	3. <sup>a</sup>	1,90	0,90	1,30	1,10	1,34
		V	VI	VII	VIII	
TEe	1. <sup>a</sup>	0,56	0,37	0,52	0,16	0,44
	2. <sup>a</sup>	1,55	0,53	0,95	0,60	0,98
	3. <sup>a</sup>	3,40	3,30	1,70	3,20	3,05

TABELA 14 - Equações Ajustadas Segundo VASQUES FILHO (1972) ( $\log L_m = \log a - w \log b$ ), Para os Comprimentos Médios de Rios, em Cada Unidade de Solo; Coeficiente de Correlação (r); Coeficiente de Determinação ( $r^2$ ); Teste t Para b (tb) e Teste F para a Regressão.

Unidade de Solo	Equação	r	$r^2$	tb	F
PVp + Li ag	$\log L_m = -1,1140 + 0,4024 w$	0,9895	0,9792	6,8734 n.s.	47,2337 n.s.
TEe	$\log L_m = -0,8012 + 0,4204 w$	0,9950	0,9901	10,0233 n.s.	100,4666 n.s.

n.s. - não significativo

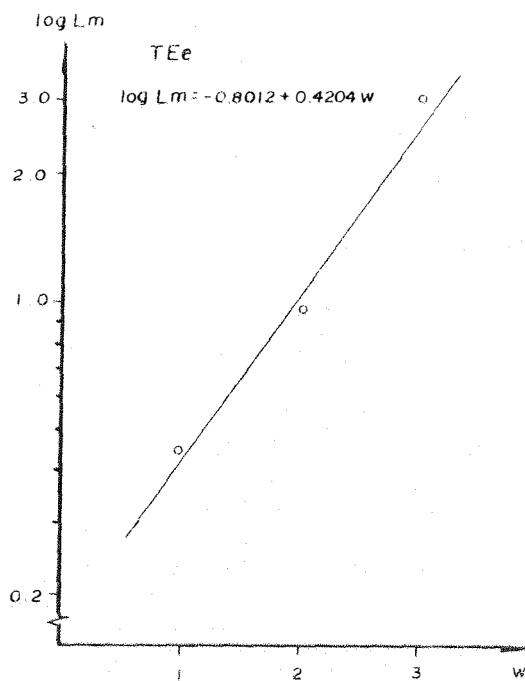
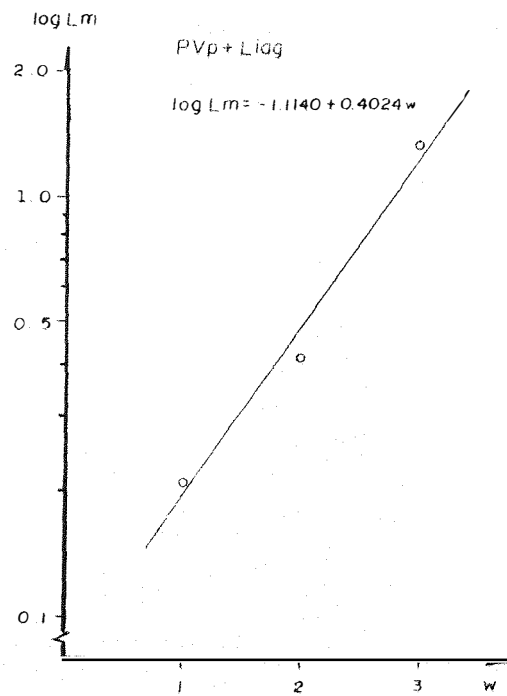


Fig. 13. Regressão dos Comprimentos Médios de Segmentos de Rios (Lm) Sobre as Ordens de Ramificação (w) Para as Unidades de Solo Estudadas.

TABELA 15 - Valores Observados e Valores Médios de Razão de Comprimentos Médios (Rl) das Redes de Drenagem Representativas das Unidades de Solo.

Unidade de Solo	Bacias Hidrográficas	Razão de Comprimentos Médios (Rl)				
		Ordens Relacionadas				
		$w2/w1$	$w3/w2$	$w2p/w1p$	$w3p/w2p$	Média Arit. Média Pond. Média Vasques Filho (Antilog.b)
PVP + Li ag	I	1,89	5,59			
	II	2,38	1,80			
	III	1,88	2,77	2,00	3,19	2,65 2,60 2,53
	IV	2,00	2,88			
TEe	V	2,77	2,19			
	VI	1,43	6,23			
	VII	1,83	1,79	2,23	3,11	3,17 2,67 2,65
	VIII	3,75	5,33			

$a/w2p/w1p$  e  $w3p/w2p$  calculados através da média ponderada dos dados observados em relação a área das bacias

TABELA 16 - Média Ponderada Observada; Média Calculada Segundo a Equação de VASQUES FILHO (1972); Média Obtida Pela Relação Lw/Nw e Pela Lei de HORTON (1945) Para os Comprimentos Médios de Rios das Bacias - Hidrográficas das Unidades de Solo.

Unidade de Solo	Ordem (W)	Comprimento Médio de Rios em Cada Ordem, Lm em (Km)			
		Média Pond.	Vasques Filho	Lw/Nw	Horton
PVp + Li ag	1. <sup>a</sup>	0,21	0,19	0,18	0,21
	2. <sup>a</sup>	0,42	0,49	0,47	0,53
	3. <sup>a</sup>	1,34	1,24	1,23	1,34
TEe	1. <sup>a</sup>	0,44	0,42	0,39	0,44
	2. <sup>a</sup>	0,98	0,99	1,05	1,17
	3. <sup>a</sup>	3,05	2,88	2,84	3,09

TABELA 17 - 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.

Características	Pvp + Li ag		TTe		
	Média Pond.	Equação (Antilog b)	Média Pond.	Equação (Antilog b)	
		Relação a/		Relação a/	
Razão de ramificação (Rb)	4,72	4,67	4,55	2,82	2,76
Razão de comprimento total (Rlw)	1,82	1,80	1,85	1,04	1,06
Razão de comprimento médio (Rl)	2,60	2,53	2,59	2,65	2,71

$$\frac{a}{Rl} = \frac{Rb}{Rlw}$$

TABELA 18 - Número; Comprimento Total e Comprimento Médio de Segmentos de Rios Calculados para Cada Ordem de Ramificação das Redes de Drenagem das Unidades de Solo.

Ordem	PVp + Li ag			TEe		
	Nw	Lw	Lm	Nw	Lw	Lm
	Média Ponderada					
1. <sup>a</sup>	21,86	4,34	0,21	7,97	3,30	0,44
2. <sup>a</sup>	5,33	2,11	0,42	2,34	2,14	0,98
3. <sup>a</sup>	1,00	1,34	1,34	1,00	3,05	3,05
TOTAL	28,19	7,79	-	11,31	8,49	-
	Equação					
	Maxwell	França	Vasques Filho	Maxwell	França	Vasques Filho
1. <sup>a</sup>	22,82	4,16	0,19	7,49	2,89	0,42
2. <sup>a</sup>	4,88	2,31	0,49	2,65	2,78	0,99
3. <sup>a</sup>	1,05	1,28	1,24	0,94	2,67	2,88
TOTAL	28,75	7,75	-	11,08	8,34	-
	Horton					
1. <sup>a</sup>	21,81	4,34	0,21	7,95	3,30	0,44
2. <sup>a</sup>	4,67	2,41	0,53	2,82	3,17	1,17
3. <sup>a</sup>	1,00	1,34	1,34	1,00	3,05	3,09
TOTAL	27,56	8,09	-	11,77	9,52	-

TABELA 19 - Número de Segmentos de Rios Observados em Cada Ordem de Ramificação e o Total por Unidade de Área das Redes de Drenagem de Bacias Hidrográficas Representativas das Unidades de Solo.

Unidade de solo	Bacias Hidrográficas	Número Total de Segmentos de Rios por Unidade de Área			Total
		O r d e n s			
		1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	
PVp + Li ag	I	12,03	3,73	0,41	16,17
	II	10,24	1,95	0,49	12,68
	III	7,73	1,66	0,55	9,94
	IV	14,58	2,78	0,69	18,05
	TOTAL	44,58	10,12	2,14	56,84
TEe	V	0,45	0,11	0,06	0,62
	VI	0,42	0,18	0,06	0,66
	VII	0,72	0,24	0,12	1,08
	VIII	2,04	0,31	0,16	2,51
	TOTAL	3,63	0,84	0,40	4,87



TABELA 20 - Comprimento Total de Segmentos de Rios Observados em Cada Ordem de Ramificação e o Total por Unidade de Área das Redes de Drenagem de Bacias Hidrográficas Representativas das Unidades de Solo.

Unidade de Solo	Bacias Hidrográficas	Comprimento Total de Segmentos de Rios por Unidade de Área			Total
		O r d e n s			
		1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	
FVp + Li ag	I	2,12	1,29	0,79	4,20
	II	2,20	0,98	0,44	3,62
	III	1,93	0,77	0,72	3,42
	IV	2,71	1,04	0,76	4,51
	TOTAL	8,96	4,08	2,71	15,75
TEe	V	0,26	0,18	0,19	0,63
	VI	0,16	0,10	0,20	0,46
	VII	0,37	0,23	0,20	0,80
	VIII	0,33	0,19	0,50	1,02
	TOTAL	1,12	0,70	1,09	2,91

TABELA 21 - Comprimento Médio de Segmentos de Rios em Cada Ordem de Ramificação e o Total por Unidade de Área das Redes de Drenagem de Bacias Hidrográficas Representativas das Unidades de Solo.

Unidade de Solo	Bacias Hidrográficas	Comprimento Médio de Segmentos de Rios por Unidade de Área			
		Ordens			Total
		1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	
PVp + Li ag	I	0,07	0,14	0,79	1,00
	II	0,10	0,24	0,44	0,78
	III	0,14	0,26	0,72	1,12
	IV	0,13	0,26	0,76	1,15
	TOTAL	0,44	0,90	2,71	4,05
TEe	V	0,03	0,09	0,19	0,31
	VI	0,02	0,03	0,20	0,25
	VII	0,06	0,11	0,20	0,37
	VIII	0,03	0,09	0,50	0,62
	TOTAL	0,14	0,32	1,09	1,55

TABELA 22 - Equações Ajustadas para Número, Comprimento Total e Comprimento Médio de Segmentos de Rios por Unidade de Área para as Bacias Hidrográficas das Unidades de Solo; Coeficiente de Correlação (r); Coeficiente de Determinação ( $r^2$ ); Teste t para b (tb) e Teste F para a Regressão.

Unidade de Solo	Equação	r	$r^2$	tb	F
PVp + Li ag	$\log Nw/A = 1,6931 - 0,6566 w$	0,9800	0,9604	15,5712**	242,4647**
TEe	$\log Nw/A = 0,2804 - 0,4550 w$	0,8596	0,7389	5,3195**	28,2977**
PVp + Li ag	$\log Lw/A = 0,5826 - 0,2634 w$	0,9227	0,8514	7,5698**	57,3027**
TEe	$\log Lw/A = -0,6305 - 0,0120 w$	0,0546	0,0030	0,1730n.s.	0,0300n.s.
PVp + Li ag	$\log Lm/A = -1,3840 - 0,3918 w$	0,9414	0,8863	8,8293**	77,9574**
TEe	$\log Lm/A = -1,9584 + 0,4436 w$	0,8879	0,7883	6,1026**	37,2420**

\*\* - significativo a nível de 1%

n.s. - não significativo

TABELA 23 - Características Descritivas das Redes de Drenagem das Unidades de Solo Segundo LUEDER (1959) e Tipo Segundo PARVIS (1950).

Características	Unidades de Solo	
	PVp + Li ag	TEe
Grau de Integração	Alto	Médio
Densidade de Drenagem	Alta	Baixa
Grau de Uniformidade	Uniforme	Pouco uniforme
Orientação	Pouco orientado	Orientado
Grau de Contrôlo	Médio	Alto
Angularidade	Moderada	Alta
Ângulos de Junção	Agudos, passando a retos	Retos; ocasionalmente agudos
Tipo ou Modelo	Dendrítico	Sub-paralelo
Anomalias	Variações locais na Densidade de Drenagem	Elevada Angularidade nas 3. <sup>as</sup> e 4. <sup>as</sup> Ordens

TABELA 24 - Características Quantitativas dos Padrões de Drenagem e as Classes de Textura Topográfica das Bacias Hidrográficas Representativas das Unidades de Solo.

Características Quantitativas Observadas	PVp + Li ag					TEe			
	Bacias Hidrográficas								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
Frequência de Rios (F)	16,18	12,68	9,94	18,06	0,62	0,66	1,08	2,52	
Frequência de Rios Média (Fm)		14,22				1,22			
Erro Padrão da Média		± 1,81				± 0,45			
Densidade de Drenagem (Dd)	4,19	3,61	3,43	4,51	0,62	0,45	0,80	1,02	
Densidade de Drenagem Média (Ddm)		3,94				0,72			
Erro Padrão da Média		± 0,25				± 0,12			
Razão de Textura (T)	6,50	4,81	3,40	5,53	0,63	0,70	0,71	1,39	
Média Aritmética		5,06				0,86			
Erro Padrão da Média		± 0,65				± 0,18			
Razão de Textura Média		5,14				0,76			
Classe de Textura Topográfica		Média				Grosseira			

TABELA 25 - Características Dimensionais das Amostras Circulares Representativas das Unidades de Solo.

(Área = 10 Km<sup>2</sup>; Perímetro = 11,18 Km)

Unidade de Solo	Amostras Circulares	Número de Segmentos de Rios em Cada Ordem				Total Nc	Comprimento de Rios em Km em Cada Ordem				Total Crc (Km)
		1.ª	2.ª	3.ª	4.ª		1.ª	2.ª	3.ª	4.ª	
A	102	28	5	1	136	17,0	13,2	4,4	1,1	35,8	
Pvp +	87	24	6	2	119	17,0	9,4	4,8	2,5	33,7	
Li ag	118	28	7	1	154	24,1	8,9	4,8	0,9	38,7	
D	113	24	6	1	144	23,2	7,0	6,5	1,8	38,5	
<b>TOTAL</b>	<b>420</b>	<b>104</b>	<b>24</b>	<b>5</b>	<b>553</b>	<b>81,3</b>	<b>38,5</b>	<b>20,5</b>	<b>6,3</b>	<b>146,7</b>	
E	18	4	1	-	23	1,7	3,5	2,4	-	7,6	
F	11	3	1	-	15	3,5	3,7	0,1	-	7,3	
G	12	3	-	-	15	3,8	3,2	-	-	7,0	
H	13	5	2	-	20	4,0	2,3	2,4	-	8,7	
<b>TOTAL</b>	<b>54</b>	<b>15</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>73</b>	<b>13,0</b>	<b>12,7</b>	<b>4,9</b>	<b>-</b>	<b>30,6</b>	

TABELA 26 - Comprimento Médio de Segmentos de Rios em Cada Ordem de Ramificação (Lm) e o Total por Unidade de Área das Redes de Drenagem de Amostras Circulares Representativas das Unidades de Solo.

Unidade de Solo	Amostras Circulares	Comprimento Médio de Segmentos de Rios em Km em Cada Ordem				Total
		O r d e n s				
		1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	4. <sup>a</sup>	
PVp + Li ag	A	0,17	0,47	0,88	1,10	2,62
	B	0,20	0,39	0,80	1,25	2,64
	C	0,20	0,32	0,69	0,90	2,11
	D	0,21	0,29	1,08	1,80	3,38
	TOTAL	0,78	1,47	3,45	5,05	10,75
TEe	E	0,09	0,88	2,40	-	3,37
	F	0,32	1,23	0,10	-	1,65
	G	0,32	1,07	-	-	1,39
	H	0,31	0,46	1,20	-	1,97
	TOTAL	1,04	3,64	3,70	-	8,38

TABELA 27 - Equações Ajustadas para Número, Comprimento Total e Comprimento Médio de Segmentos de Rios para Amostras Circulares, por Unidade de Área, para as Unidades de Solo; Coeficiente de Correlação (r); Coeficiente de Determinação ( $r^2$ ); Teste t para b (tb) e Teste F para a Regressão.

Unidade de Solo	Equação	r	$r^2$	tb	F
PVp + Li ag	$\log Nw_C = 1,6874 - 0,6467 w$	0,9939	0,9879	33,7603**	1.139,7635**
TEe	$\log Nw_C = 0,5100 - 0,1639 w$	0,9429	0,8892	8,9564**	80,2176**
PVp + Li ag	$\log Lw_C = 0,7070 - 0,3687 w$	0,9544	0,9109	11,9629**	143,1115**
TEe	$\log Lw_C = 0,1694 - 0,0366 w$	0,6254	0,3911	2,5346*	6,4244*
PVp + Li ag	$\log Lm_C = -1,9759 + 0,2767 w$	0,9596	0,9208	12,7556**	162,7074**
TEe	$\log Lm_C = 0,0029 + 0,0128 w$	0,4003	0,1602	1,3813n.s.	1,9081n.s.

\* - significativo a nível de 5%

\*\* - significativo a nível de 1%

n.s. - não significativo



TABELA 28 - Características Quantitativas dos Padrões de Drenagem e as Classes de Textura Topográfica das Amostras Circulares Representativas das Unidades de Solo.

Características Quantitativas Observadas	PVP + Li ag					TEe				
	Amostras Circulares									
	A	B	C	D	E	F	G	H		
Frequência de Rios (Fc)	13,60	11,90	15,40	14,40	2,30	1,50	1,50	1,50	2,00	
Frequência de Rios Média (Fm)		13,82						1,83		
Erro Padrão da Média		± 0,74						± 0,20		
Densidade de Drenagem (Ddc)	3,58	3,37	3,87	3,85	0,76	0,73	0,70	0,70	0,87	
Densidade de Drenagem Média (Ddcm)		3,67						0,77		
Erro Padrão da Média		± 0,12						± 0,04		
Razão de Textura (Tc)	12,16	10,64	13,77	12,88	2,06	1,34	1,34	1,34	1,79	
Média Arimética		12,36						1,63		
Erro Padrão da Média		± 0,66						± 0,18		
Razão de Textura Média (Tmc)		12,36						1,63		
Classe de Textura Topográfica		fina						grosseira		

TABELA 29 - Características Quantitativas Médias dos Padrões de Drenagem e as Classes de Textura Topográfica das Bacias Hidrográficas e das Amostras Circulares Representativas das Unidades de Solo.

Características	Pvp + Li ag			Tee		
	Média	Erro Padrão	C.V.(%)	Média	Erro Padrão	C.V.(%)
F	14,22	± 1,81	25,45	1,22	± 0,45	73,55
Fc	13,82	± 0,74	10,70	1,83	± 0,20	21,63
Dd	3,94	± 0,25	12,76	0,72	± 0,12	33,83
Ddc	3,67	± 0,12	6,50	0,77	± 0,04	9,69
T	5,06	± 0,65	25,80	0,86	± 0,18	41,61
Tc	12,36	± 0,66	10,71	1,63	± 0,18	21,76
Tm	5,14	-	-	0,76	-	-
Tmc	12,36	± 0,66	10,71	1,63	± 0,18	21,76
Classe Text.Top. B.H. <u>a/</u>	média			grosseira		
Classe Text.Top. A.C. <u>b/</u>	fina			grosseira		

a/ B.H. - Bacias Hidrográficas

b/ A.C. - Amostras Circulares

TABELA 30 - Relações Funcionais entre Parâmetros que Definem as Características dos Padrões de Drenagem, Obtidas para as Unidades de Solo; Coeficiente de Correlação (r); Coeficiente de Determinação (r<sup>2</sup>); Teste t para b (tb) e Teste F para a Regressão.

Equação	r	r <sup>2</sup>	tb	F
F = -1,9373 + 4,1459 Dd.	0,9886	0,9775	16,1472**	260,7342**
Fc = -1,3757 + 4,1514 Ddc.	0,9976	0,9952	35,1997**	1239,0190**
F = -2,1277 + 4,4434 Ddc.	0,9418	0,8870	6,8639**	47,1144**
Fc = -0,5150 + 3,5813 Dd.	0,9685	0,9379	9,5239**	90,7054**
Fc = 1,5152 + 0,8173 F	0,9266	0,8586	6,0352**	36,4245**
T = -0,1466 + 1,3340 Dd.	0,9695	0,9399	9,6928**	93,9511**
T = -0,1850 + 1,4185 Ddc.	0,9164	0,8398	5,6090**	31,4615**
Tc = -0,4601 + 3,2024 Dd	0,9685	0,9380	9,5266**	90,7566**
Tc = -1,2996 + 3,7121 Ddc	0,9976	0,9952	35,1719**	1237,0692**
Dd = -0,1120 + 1,1013 Ddc	0,9786	0,9577	11,6509**	135,7437**
Tc = 0,5961 + 2,1635 T	0,8999	0,8099	5,0557**	25,5609**
T = 0,4714 + 0,3222 F	0,9826	0,9655	12,9615**	168,0027**
Tc = 1,3579 + 0,7307 F	0,9267	0,8588	6,0412**	36,4963**
Tc = 0,0004 + 0,8941 Fc	0,9999	0,9999	6712,0860**	45052097,0000**
Fc = 0,6661 + 2,4195 T	0,8999	0,8098	5,0558**	25,5615**

\*\* - significativo a nível de 1%

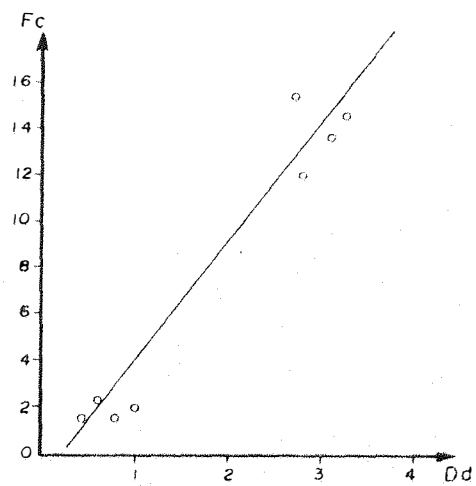
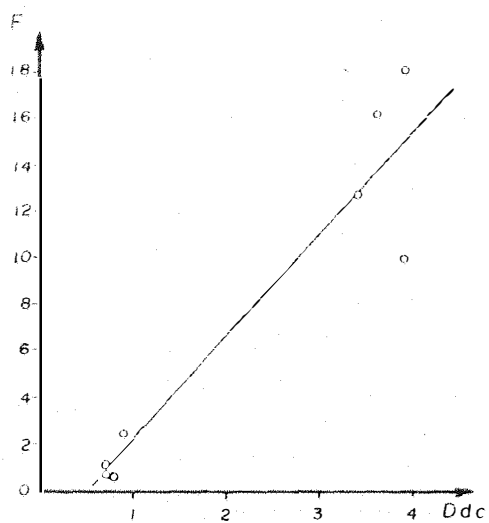
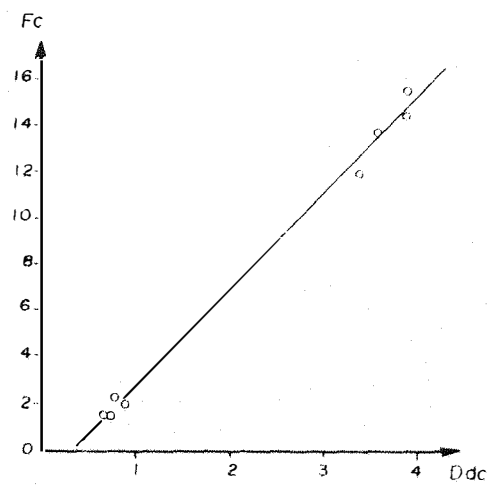
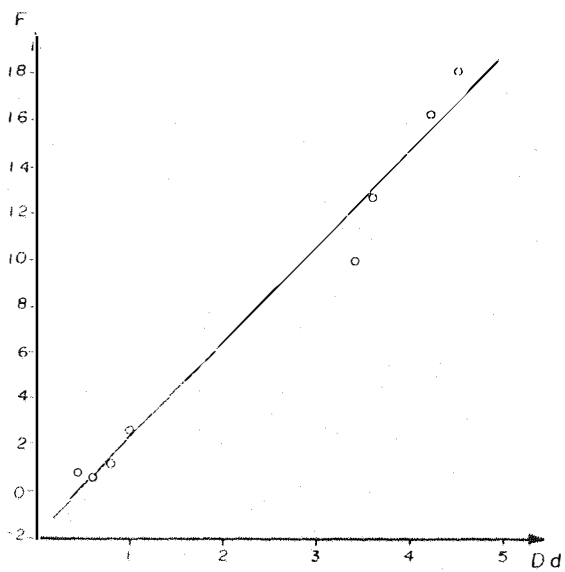


Fig. 14 - A. Relações Funcionais entre *Parâmetros que Caracterizam o Padrão de Drenagem de Bacias Hidrográficas e Amostras Circulares para as Unidades de Solo Estudadas.*

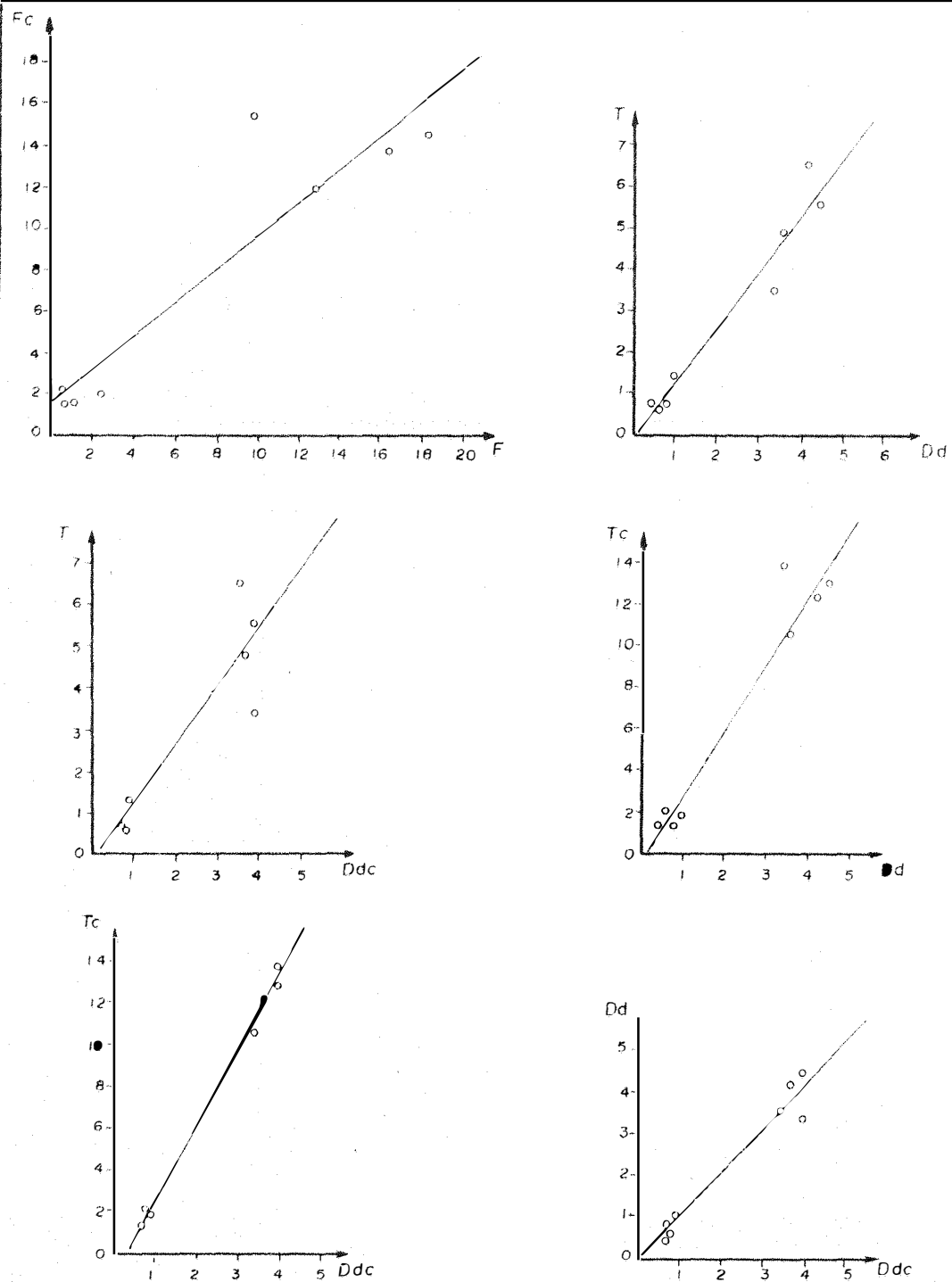


Fig.14-B. Relações Funcionais entre Parâmetros que Caracterizam o Padrão de Drenagem de Bacias Hidrográficas e Amostras Circulares para as Unidades de Solo Estudadas.

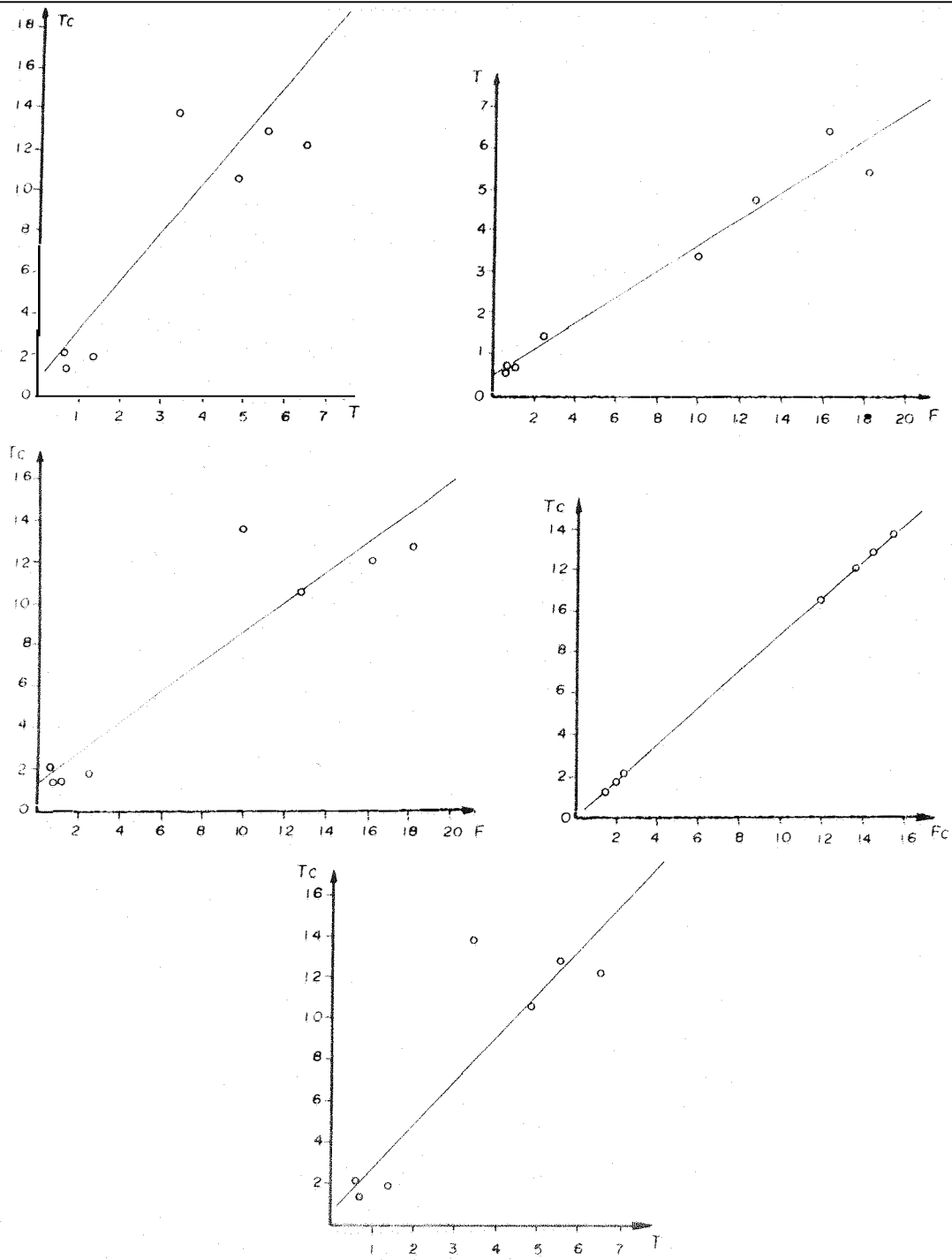


Fig. 14 - C. Relações Funcionais entre Parâmetros que Caracterizam o Padrão de Drenagem de Bacias Hidrográficas e Amostras Circulares para as Unidades de Solo Estudadas.

## 6 - D I S C U S S Ã O   D O S   R E S U L T A D O S

### 6.1 - CARACTERÍSTICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

#### 6.1.1 - Propriedades dimensionais e semelhança geométrica

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

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

Os dados da Tabela 3 evidenciam as diferenças no tamanho de área das bacias e conformação, refletidas através dos parâmetros maior comprimento e maior largura. Com relação ao comprimento de rios, pode-se observar claramente uma diferença de drenagem entre as unidades de solo estudadas, pois para valores semelhantes de comprimento total da rede correspondem diferentes valores de comprimento do rio principal.

O teste de semelhança geométrica aplicado às bacias hidrográficas, mostrado na Tabela 4, reflete maior grau de homogeneidade de solo para a unidade PVp + Li ag.

*GEVAERD* (1974), estudando as unidades de solo: Latossol Roxo Eutrófico, Terra Roxa Estruturada Eutrófica e Brunizem Avermelhado, constatou que as bacias representativas da unidade de solo Terra Roxa Estruturada Eutrófica apresentaram, em relação às outras unidades, menor homogeneidade, o que concorda com o presente trabalho.

#### 6.1.2 - Composição das redes de drenagem

Segundo *HORTON* (1945) e modificação de *STRAHLER*



(1957), o termo composição de redes de drenagem compreende o estudo dos parâmetros: número de segmentos de rios; razão de ramificação; comprimentos totais de segmentos de rios; razão de comprimentos totais; comprimentos médios de segmentos de rios e razão de comprimentos médios.

#### 6.1.2.1 - Análise do número de segmentos de rios

Segundo a Lei de Horton modificada por Strahler, os números de segmentos de rios de cada ordem formam uma série geométrica inversa àquela do número de ordem, como pode-se constatar na Tabela 5, o que concorda com FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969) e outros autores que estudaram a aplicação da Lei em solos.

Os resultados apresentados na Tabela 5 mostram ainda que o número de segmentos de rios das diversas ordens refletem as diferenças entre as unidades de solo, conforme preconizado por HORTON (1945), STRAHLER (1957), FRANÇA (1968) e outros autores.

As equações obtidas segundo MAXWELL (1955), relacionando os logarítimos dos números de rios com as ordens de rios, apresentadas na Tabela 6 e Figura 11, forneceram para a unidade de solo PVp + Li ag valores do Teste F para regressão e teste t para b significativos a nível de 5% e para a unidade de solo TEE valores de F e t não significativos, embora os coeficientes de correlação (r) e de determinação ( $r^2$ ) tenham mostrado alta correlação e pouca dispersão dos dados. Provavelmente essa não significância estatística se prenda ao fato de se efetuar o estudo e a análise com bacias de rios até 3.<sup>a</sup> ordem, pois segundo a literatura são as mais representativas no estudo de solos.

Observando-se a Tabela 7 pode-se verificar que, para as unidades de solo estudadas, quando se passa de uma ordem para outra mais baixa, a razão de ramificação média calculada através de sua média aritmética, média ponderada e do antilog b resultaram valores bem próximos para a mesma unidade de solo e bem distintos de uma para a outra, mostrando que a razão de ramificação se relaciona com o comportamento hidrológico do solo. A razão de ramificação foi mais alta para a unidade de solo PVp + Li ag, explicada pelo fato de sua drenagem interna ser mais deficiente devido à menor profundidade e estrutura do horizonte B em blocos subangulares pequenos a médios ou presença de rochas sedimentares com estratificação horizontal, que lhes conferem uma permeabilidade inferior à da unidade de solo TEe, conforme pode-se constatar com o auxílio da Tabela 5. Conseqüentemente, a unidade de solo PVp + Li ag apresentou razão de ramificação mais alta, em relação à TEe.

No caso de PVp + Li ag, a textura média e estrutura granular do horizonte A permitem uma infiltração das águas pluviais que, atingindo o horizonte B argiloso com estrutura em blocos ou a rocha, tornam-se responsáveis pela formação de canais (vales). Como o relevo é ondulado a fortemente ondulado, resulta para este tipo de solo um grande número de canais de 1.<sup>a</sup> ordem e com pequena extensão, o que pode ser constatado pelo exame das Figuras 1 e 2.

No caso de TEe, a grande profundidade, a presença de estrutura prismática no horizonte B, composta de blocos subangulares pequenos a médios e a presença de microagregados, lhe conferem uma estrutura mais porosa que a unidade PVp + Li ag, refletindo-se na sua permeabilidade e conferindo-lhe uma boa drenagem interna. Ocorrendo em relevos suavemente ondulados e bem drenados, a relação infiltração/deflúvio torna-se maior em relação à PVp + Li ag. Possui menor

número de rios e mais extensos, conforme pode-se verificar pelas Figuras 3, 4, 5 e 6, representativas dessa unidade de solo.

O valor médio de  $R_b$  obtido por *GEVAERD (1974)* se aproxima do obtido neste trabalho para a unidade TEe, conforme Tabela 7 e difere do obtido por *FREIRE (1977)*.

Apesar das unidades de solo possuírem horizonte B textural, a unidade TEe possui valores mais baixos para a razão de ramificação, o que se explica pelo fato de ser muito profundo e possuir horizonte B com estrutura porosa, o que lhe confere uma melhor permeabilidade, que segundo *RAY e FISCHER (1960)* é classificada como permeabilidade secundária. Isso pode ser ainda constatado pela Tabela 8, onde são apresentados os números de segmentos de rios em cada ordem de ramificação. A Tabela 8 além de mostrar a distinção entre as duas unidades de solo, demonstra que os valores obtidos segundo a média ponderada, a aplicação da equação de Maxwell e a Lei de Horton, estão bem próximos, havendo pequena variação dentro de cada ordem de ramificação, para a mesma unidade de solo.

#### 6.1.2.2 - Análise dos comprimentos de rios

A análise dos dados da Tabela 9, onde estão apresentados os valores de comprimentos de segmentos de rios, deve ser apoiada na observação das Figuras 1, 2, 3, 4, 5 e 6 onde estão representadas as bacias e de acordo com o que se discutiu na análise de número de segmentos. Isso porque o comprimento total de segmentos de rios, como um dado isolado, não reflete as condições hidrológicas dos solos.

As unidades de solo estudadas apresentam diferenças acentuadas quanto ao número de rios, embora não resultem diferenças acentuadas nos comprimentos totais e médios para cada bacia ou cada ordem de ramificação. A unidade de solo PVp + Li ag apresenta maior número de segmentos de rios e de menor extensão, enquanto que a TEe apresenta menor número de segmentos de rios e com maior extensão; fazendo com que essas duas variáveis se compensem numa análise de valores totais ou de médias ponderadas em cada ordem.

Observando-se os valores de média ponderada dos comprimentos totais de segmentos de rios, ainda na Tabela 9, pode-se constatar que a Lei dos comprimentos de rios de Horton, não é obedecida com a mesma aproximação que a Lei dos números de rios para a unidade de solo TEe, confirmando assim as observações de HORTON (1945), SCHUMM (1956), STRAHLER (1957), FRANÇA (1968) e outros. Isso leva a admitir que o comprimento total de rios é um parâmetro que, isolado, não reflete as condições hidrológicas das unidades de solo.

O comentário acima pode ainda se tornar mais consistente pela análise da Tabela 10 e Figura 12, onde estão apresentadas as equações ajustadas segundo FRANÇA (1968). Para a unidade de solo PVp + Li ag, embora os testes F e t não tenham conferido valores significativos, os coeficientes de regressão (r) e de determinação ( $r^2$ ) resultaram valores elevados, o que leva a aceitar que provavelmente a não significância possa ser explicada por se trabalhar com apenas três ordens de ramificação e não propriamente que tenha havido falta de correlação entre os parâmetros. O mesmo não pode ser aplicado para a unidade TEe onde, para os coeficientes de correlação e de determinação resultaram valores baixos. Essa falta de ajustamento se prende provavelmente ao fato dessa unidade de solo possuir rios de 3.<sup>a</sup> ordem muito extensos em relação aos de 2.<sup>a</sup> e 1.<sup>a</sup>, discordando da Lei de Horton, modifi

cada por *STRAHLER (1957)*.

A razão de comprimentos totais, segundo *STRAHLER (1957)* indica quantas vezes aumenta em média o comprimento de rios ao se passar de uma ordem para outra mais alta. Na Tabela 11 pode-se observar que a razão de comprimentos totais variou com a natureza do solo, embora não tenha se mostrado um dado tão consistente quanto a razão de ramificação. Isto leva a reconhecer que o comprimento de rios é mais susceptível a um controle topográfico ou geológico do que o número de rios, concordando com *HORTON (1945)*, *SCHUMM (1956)*, *STRAHLER (1957)*, *FRANÇA (1968)* e outros autores. A unidade de solo TEE possui relêvo suavemente ondulado, com amplos divisores d'água, o que lhe confere uma maior área de captação da bacia, enquanto que a unidade PVp + Li ag se encontra num relêvo ondulado a fortemente ondulado, com pequenas bacias e estreitos divisores de água, resultando, dessa forma, pequenas áreas de captação. A maior velocidade e maior volume de fluxo de água contribuem ainda para a sua maior capacidade de erosão, o que se reflete através de um maior número de canais. Essas relações se compensam e, numericamente, nestas condições de relêvo, a razão de comprimentos totais não diferenciou claramente as unidades de solo.

*GEVAERD (1974)* encontrou para a unidade de solo TEE, valor de razão de comprimentos totais (Rlw), obtido através da equação ajustada para comprimentos totais de rios, igual a 1,26. Esse valor se aproxima do obtido neste trabalho, para a mesma unidade de solo, conforme Tabela 11 e difere do obtido por *FREIRE (1977)*.

A Tabela 12, onde estão apresentados os dados de média ponderada, dados ajustados segundo *FRANÇA (1968)* e *STRAHLER (1957)* para comprimentos totais, demonstra não haver grandes diferenças dentro das ordens para a mesma unida-

de, embora não tenha se mostrado tão consistente para diferenciar uma unidade da outra como os dados obtidos para número de segmentos de rios.

Os comprimentos médios de rios, obtidos pela soma dos comprimentos de rios de cada ordem dividida pelo número de segmentos da respectiva ordem, estão na Tabela 13. Observando os valores de média ponderada obtidos pode-se constatar que elas também se relacionam ao comportamento hidrológico do solo, diferenciando as unidades.

Os solos da unidade TEe apresentam menor número de segmentos de rios e maior comprimento, resultando valores de comprimentos médios de rios mais elevados, o que parece estar associado à declividade do terreno, à capacidade de infiltração e a resistência do solo à erosão.

As equações da Tabela 14 e Figura 13 mostram que o teste F da regressão e teste t para a inclinação da reta não deram resultados significativos. Mas considerando que seus coeficientes de correlação ( $r$ ) e de determinação ( $r^2$ ) foram bem elevados, pode-se aceitar que existe uma alta correlação entre o comprimento médio e a ordem de rios das unidades de solo estudadas, sendo mais consistente do que os obtidos para comprimentos totais, concordando com HORTON (1945), FRANÇA (1968), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), GEVAERD (1974) e outros autores.

A razão de comprimentos médios vem a ser a relação entre o comprimento médio de segmentos de rios de uma dada ordem e o da imediatamente inferior. Os valores de razão de comprimentos médios obtidos segundo a média aritmética, média ponderada e antilog  $b$  estão na Tabela 15. Como pode-se constatar, esta razão não se constituiu numa característica segura e consistente para diferenciar as unidades de solo. No

presente estudo, este fato leva a crer que o maior número de rios e de pouca extensão da unidade PVp + Li ag foi compensado pelo menor número de rios e de maior extensão da unidade TEe, o que possivelmente se deva ao relêvo ondulado a fortemente ondulado da primeira unidade e suavemente ondulado da segunda.

Para a unidade de solo TEe, *GEVAERD (1974)* encontrou valor de razão de comprimento médio (Rl), calculados através da equação ajustada para comprimentos médios de rios, igual a 1,65. Esses valores diferem dos obtidos neste trabalho para a mesma unidade de solo, e se aproximam dos obtidos por *FREIRE (1977)*, conforme Tabela 15.

A Tabela 16, onde são apresentados os comprimentos médios de rios obtidos através da média ponderada, da equação de *VASQUES FILHO (1972)*, da relação Lw/Nw e da Lei de *HORTON (1945)*, demonstra que os valores obtidos para cada ordem de segmentos de rios estão muito próximos, ao mesmo tempo que resultaram valores diferenciados para as duas unidades de solo. Isso leva a aceitar que todos os critérios de obtenção de comprimento de médio foram satisfatórios, pois conferiram valores próximos aos da média ponderada.

A Tabela 17 apresenta os valores médios calculados para as razões de ramificação (Rb), de comprimentos totais (Rlw), de comprimentos médios (Rl). Inicialmente, essa Tabela demonstra que todos os critérios de obtenção das razões mencionadas são praticamente equivalentes, dentro da mesma unidade de solo, o que concorda com *MAXWELL (1955)*, *STRAHLER (1957)*, *FRANÇA (1968)*, *VASQUES FILHO (1972)* e outros autores.

Reforçando o que se comentou anteriormente nesta Tabela pode-se observar claramente que a razão de ramifi-

cação foi o dado mais expressivo na diferenciação hidrológica das unidades de solo estudados. Para a razão de comprimento os dados obtidos, apesar de resultarem diferenças entre as unidades, estas não se mostraram tão significativas quanto a razão de ramificação. Já a razão de comprimentos médios apresentou resultados que não permitiram a distinção entre as unidades de solo estudadas.

A Tabela 18 tem por finalidade agrupar os parâmetros que definem a composição das redes de drenagem e permitir a avaliação da sua significância hidrológica na diferenciação das unidades de solo. Como já se comentou, o parâmetro número de segmentos de rios foi o mais consistente, seguido de comprimento médio de segmentos, enquanto comprimento total conferiu resultados pouco expressivos em termos de diferenciação das unidades de solo.

Analisando agora os dados das Tabelas 17 e 18, simultaneamente, pode-se constatar que o número de segmentos de rios das diversas ordens e a razão de ramificação mostram alta significância hidrológica e refletem melhor as diferenças entre solos. Embora o comprimento total de segmentos de rios das diversas ordens não tenha se revelado um parâmetro significativo para diferenciar as unidades de solo, a razão de comprimento total apresentou diferenças que, apesar de não terem sido tão acentuadas como a razão de ramificação, levam a admitir que sugerem diferenças entre as unidades estudadas. Os dados de comprimentos médios de segmentos de rios de diversas ordens sugerem a existência de significância na diferenciação hidrológica, embora a razão de comprimentos médios não permita inferir qualquer diferenciação entre as unidades de solo. Esses fatos parecem ser explicados pelo relevo de ocorrência, textura, permeabilidade e profundidade do perfil, estrutura do horizonte B ou da rocha que lhes propiciaram uma



diferença quanto ao número de rios, representados em uma unidade de solo por maior número e menos extensos, enquanto que na outra eles estão em menor número e maior extensão.

#### 6.1.2.3 - Análise do número e comprimento de rios das bacias hidrográficas por unidade de área

Utilizando-se os dados de área (Tabela 3); número de segmentos de rios (Tabela 5); comprimentos totais de segmentos de rios (Tabela 9); e comprimentos médios de segmentos de rios (Tabela 13), calcularam-se os valores de número, comprimento total e comprimento médio por unidade de área para cada bacia, em cada ordem de ramificação, obtendo-se 12 dados em cada caso, conforme Tabelas 19, 20 e 21. Para esses dados foram ajustadas as equações preconizadas na literatura e confeccionou-se a Tabela 22. A confecção desta Tabela teve por finalidade verificar a significância estatística das equações ajustadas para os dados obtidos por unidade de área e tentar inferir se a falta de significância encontrada para as equações obtidas através das médias ponderadas foi decorrente do pequeno número de dados.

Observando-se a Tabela 22 pode-se verificar que este tipo de análise, utilizando-se maior número de dados, doze ao invés de três, sugere maior sensibilidade na significância dos testes aplicados e leva a inferir que, para o parâmetro comprimento total da unidade de solo TEE, realmente não houve correlação e nem significância estatística no ajuste da equação obtida; confirmando o que já havia sido encontrado quando se efetuou a análise com os dados de comprimento total através da média ponderada.

Para os demais parâmetros estudados nas duas

unidades de solo, a análise por unidade de área demonstrou altas correlações, altos coeficientes de determinação, confirmando as observações efetuadas na análise anterior. A análise por unidade de área resultou ainda valores de teste t para a inclinação da reta e de teste F para a regressão, significativos estatisticamente a nível de 1% para todos os parâmetros estudados com exceção dos comprimentos totais da unidade TEe, inclusive em alguns casos onde essa significância não havia sido detectada e só podia ser aceita através dos coeficientes de correlação e de determinação.

Devido a rede de drenagem da unidade TEe possuir rios de 3.<sup>a</sup> ordem muito mais extensos que os de 2.<sup>a</sup> ordem, não obedecendo a Lei de Horton modificada por STRALLER (1957), isto é, os comprimentos totais de segmentos de rios não formam uma série geométrica inversa em relação à ordem, para esta unidade de solo, a equação preconizada por FRANÇA (1968) não foi confirmada. Isso se deve, provavelmente, ao fato dos rios de 3.<sup>a</sup> ordem serem mais sujeitos a imposição estrutural de material geológico subjacente, com o conseqüente aumento do grau de controle da rede de drenagem, confirmando observações de PARVIS (1950), LUEDER (1959) e de FRANÇA (1968), o que também foi observado por GEVAERD (1974), SOUZA (1975) e FREIRE (1977).

### 6.1.3 - Características dos padrões de drenagem

#### 6.1.3.1 - Características descritivas

O padrão de drenagem é o resultado do trabalho das águas que atingem, penetram e se escoam pela superfície do terreno. A Tabela 23 mostra as características descritti

vas do padrão de drenagem das unidades de solo segundo *LUEDER (1959)* e o tipo segundo *PARVIS (1950)*. Através dela pode-se observar uma diferenciação entre as unidades de solo.

As características do padrão de drenagem da unidade PVp + Li ag apresentam alto grau de integração dos rios e alta densidade de drenagem, explicada pela sua baixa relação infiltração/deflúvio, já comentada anteriormente, resultante da pouca profundidade do perfil e presença de horizonte B que dificulta a sua drenagem interna e devido, ainda, em certos trechos, à presença da rocha, que é evidenciada através das variações locais na densidade de drenagem, indicando um provável controle litológico. O tipo ou modelo do padrão é dendrítico, principalmente nas partes mais elevadas do relevo, onde os rios se distribuem sem direção preferencial, refletindo as características do perfil; enquanto que, nas partes mais baixas do relevo os rios de ordens mais elevadas apresentam alguma orientação, um certo grau de controle, angularidade moderada e ângulos agudos passando a retos, possivelmente indicando que estão correndo sobre a rocha.

Essas características refletem a presença de um controle litológico que também define a unidade de solo, porque ela é constituída por uma associação de solos que inclui solos moderadamente profundos e solos rasos, o que concorda com as observações de *DEMÉTRIO (1977)* e *FREIRE (1977)*.

A unidade de solo TEe apresenta um grau de integração médio e baixa densidade de drenagem, refletindo sua alta relação infiltração/deflúvio, já explicada anteriormente pela grande profundidade e boa drenagem interna do perfil, associadas ao relevo suave, fatores que lhe conferem um tipo ou modelo de drenagem sub-paralelo, pouco uniforme, pelo fato de apresentar nos de 3.<sup>a</sup> e 4.<sup>a</sup> ordens aproximadamente paralelos. O padrão de drenagem é orientado, apresentando alto

grau de controle, alta angularidade com ângulos de junção retos (ocasionalmente agudos). Essas características associadas à elevada angularidade, ao tipo e extensão dos rios de 2.<sup>a</sup> e 3.<sup>a</sup> ordens (já comentado anteriormente), levam a crer que a rede de drenagem dessa unidade de solo está sujeita a um controle estrutural.

Os rios de 2.<sup>a</sup> e principalmente os de 3.<sup>a</sup> ordem, com a diminuição da profundidade do perfil pela própria posição no relevo, sofrem um controle estrutural da rocha subjacente que apresenta diaclases longitudinais as quais determinam a direção preferencial e extensão dos rios de 2.<sup>a</sup> e 3.<sup>a</sup> ordens, o que concorda com as observações feitas por *PARVIS (1950)* e *LUEDER (1959)*, sendo confirmadas por *GEVAERD (1974)*, *SOUZA (1975)* e *FREIRE (1977)*.

#### 6.1.3.2 - Características quantitativas

Alguns autores, dentre eles *HORTON (1945)*, *SMITH (1950)*, *LUEDER (1959)*, *FROST (1960)*, *RAY e FISCHER (1960)*, *ZINKE (1960)*, *RAY (1963)* e *RICCI e PETRI (1965)*, estudando os parâmetros densidade de drenagem, frequência de rios razão de textura média das redes de drenagem, relacionando-os com os materiais subjacentes (rochas ou solos), obtiveram conclusões muito gerais sobre os fatores responsáveis pelo desenvolvimento das redes, tais como: permeabilidade e resistência à erosão e relação infiltração/deflúvio. O fato desses autores terem trabalhado com bacias de elevadas ordens de ramificação, possivelmente com a inclusão de outros materiais (rochas ou solos), leva a crer que essa seja a razão de seus resultados não terem sido tão consistentes.

*FRANÇA (1968)*, *MARCHETTI (1969)*, *FADEL (1972)*, *VASQUES FILHO (1972)*, *SOUZA (1975)* e outros autores trabalhan

do com solos a nível de série e com bacias hidrográficas pequenas, demonstraram que nessas condições os índices se mostraram consistentes e refletem a influência do fator solo no desenvolvimento das redes de drenagem. O presente trabalho concorda com os autores acima citados.

Observando a Tabela 24 pode-se constatar que os parâmetros estudados forneceram índices que mostram uma nítida diferença entre as unidades PVp + Li ag e TEe.

A freqüência de rios, relacionando o número total de rios com a área, mostrou-se um dado consistente, evidenciando uma real diferença entre as duas unidades; o mesmo ocorreu com a densidade de drenagem, que relaciona comprimento total de rios com a área da bacia hidrográfica. Os resultados obtidos concordam com sugestão de GORTON (1948), no sentido de se utilizar a freqüência de rios e a densidade de drenagem com a finalidade de caracterizar quantitativamente as redes de drenagem de bacias hidrográficas; pois estas duas características relacionam a composição da rede (comprimento total e número de segmentos de rios) à área da bacia.

Como já foi observado através da Tabela 9, os comprimentos totais de rios não permitiram uma nítida distinção entre as unidades de solo; sendo que o mesmo não ocorreu quando eles foram relacionados com as áreas das bacias, isto é, através de sua densidade de drenagem, resultando para a unidade PVp + Li ag um valor médio de 3,94 e para a unidade TEe um valor médio de 0,72 que discorda do obtido por FREIRE (1977), para a unidade de BLd3.

A densidade de drenagem constitui ainda um parâmetro muito importante, pois dá uma idéia das características do perfil do solo. No caso da unidade PVp + Li ag a sua menor profundidade, a estrutura pouco permeável do horizonte

B, o relêvo ondulado a fortemente ondulado permitindo algumas exteriorizações da Camada R (argilitos e folhelhos intemperizados), contribuem para a diminuição de resistência à erosão e lhes confere uma alta densidade de drenagem, concordando com a observação de RAY (1963).

A unidade TEe, com boa drenagem interna, resultante da sua posição topográfica e estrutura mais favorável do horizonte B, que lhes conferem boa permeabilidade, resultando uma rede de drenagem com poucos rios mais extensos e grandes bacias, se caracteriza por uma densidade de drenagem baixa.

Os valores obtidos para razão de textura mostraram, conforme já se afirmou, uma boa diferenciação entre as duas unidades de solo, resultando para a unidade PVp + Li ag um valor de razão de textura média igual a 5,14, o que permite classificá-la como pertencente à classe de textura topográfica média; e para a unidade TEe um valor de razão de textura média igual a 0,76, o que a classifica como pertencente à classe de textura topográfica grosseira. Esses valores de razão de textura média mostraram-se suficientemente bons para caracterizar as texturas de drenagem e topográfica das unidades de solo estudadas.

## 6.2 - CARACTERÍSTICAS DAS AMOSTRAS CIRCULARES

### 6.2.1 - Representação gráfica

RAY e FISCHER (1960) efetuaram estudos da significância da densidade de drenagem em relação à litologia através de amostras circulares de 10 Km<sup>2</sup> e chegaram à conclusão que os valores encontrados foram mais consistentes do

que em bacias, para qualquer tipo de rocha.

*FRANÇA (1968)*, estudando a significância da razão de textura média e densidade de drenagem em relação a solos através de bacias hidrográficas e amostras circulares de  $10 \text{ Km}^2$ , concluiu que os resultados obtidos através de amostras circulares foram mais expressivos na distinção de solos.

*SOUZA (1975)* estendeu o método de amostragem circular para a determinação das outras características quantitativas, no que foi seguido por *KOFFLER (1976)*, *DEMÉTRIO (1977)* e *FREIRE (1977)*, todos pesquisando a sua significância para a fotointerpretação de solos.

No presente trabalho as amostras circulares que representam a unidade de solo PVp + Li ag estão nas Figuras 7 e 8 e as que representam o solo TEe estão nas Figuras 9 e 10. Observando-se as Figuras mencionadas pode-se constatar a diferenciação hidrológica das unidades de solo.

#### 6.2.2 - Características dimensionais

A Tabela 25 apresenta número e comprimento de segmentos de rios, obtidos em cada ordem de ramificação, para as duas unidades de solo.

Observando-se valores obtidos para número de segmentos de rios percebe-se que eles refletem uma boa diferenciação hidrológica entre os solos, pois enquanto na unidade de PVp + Li ag aparecem rios de até 4.<sup>a</sup> ordem, a amostra G, pertencente à unidade TEe deixou de apresentar rios de 3.<sup>a</sup> ordem, como mostra a Figura 10.

Com relação a comprimento de rios, os resulta-

dos obtidos a partir de amostras circulares foram bastante diferenciados para as duas unidades, mostrando-se mais consistentes que os obtidos para as bacias hidrográficas.

A Tabela 26 apresenta os comprimentos médios de segmentos de rios obtidos em amostras circulares, demonstrando que, para a unidade PVp + Li ag, os valores totais das ordens sugerem uma boa amostragem, obedecendo de certa forma à lei de Horton, enquanto que o mesmo não ocorreu com a unidade de TEe, provavelmente pelo fato de estar sujeita a um controle estrutural.

Observando-se a Tabela 27 pode-se verificar que, quando se ajustaram, para amostras circulares, as mesmas equações ajustadas para bacias, os resultados foram significativos a nível de 1% para número, comprimento total e comprimento médio de segmentos de rios da unidade PVp + Li ag e número de segmentos de rios para a unidade TEe. Nesta unidade, a equação ajustada para comprimento total resultou, para o teste F, significância estatística a nível de 5%, o mesmo não ocorrendo para comprimento médio, para o qual não houve ajustamento. Considerando que as amostras circulares devem ser localizadas na parte mais alta do relêvo, de modo a incluir os rios de cabeceira, que melhor representam as condições hidrológicas do perfil de solo, e considerando ainda que na unidade TEe os rios de 2<sup>a</sup> e principalmente os de 3<sup>a</sup> ordem são muito extensos, provavelmente o diâmetro da amostra deveria ter sido maior para poder representar melhor esta unidade de solo. No presente trabalho, a amostragem abrangeu um elevado número de rios de 2<sup>a</sup> ordem e pouca extensão dos segmentos de rios de 3<sup>a</sup> ordem, ocorrendo que, em alguns casos a mostrou mais que um rio de 3<sup>a</sup> ordem, conforme pode-se verificar pelas Figuras 3, 4, 5 e 6 e Tabela 25. Assim, resultou um baixo valor para o comprimento médio dos rios de 3<sup>a</sup> ordem, não se ajustando a lei de Horton, conforme pode-se constatar



pelas Tabelas 26 e 27.

### 6.2.3 - Características dos padrões de drenagem

As características quantitativas dos padrões de drenagem e as classes de textura topográfica obtidas através de amostras circulares, que constam da Tabela 28, evidenciam claramente as diferenças entre as unidades de solo estudadas, o que concorda com *FRANÇA (1968)*, *MARCHETTI (1969)*, *FADEL (1972)*, *VASQUES FILHO (1972)*, *LEÃO (1972)*, *GEVAERD (1974)*, *SOUZA (1975)*, *KOFFLER (1976)*, *DEMÉTRIO (1977)* e *FREIRE (1977)*.

Os valores obtidos para razão de textura mostraram diferenciação entre as duas unidades, resultando para PVp + Li ag um valor de razão de textura média igual a 12,36, o que a classifica como pertencente à classe de textura topográfica fina; e para a unidade TEe, um valor de razão de textura média igual a 1,63, o que a classifica como pertencente à classe de textura topográfica grosseira.

Para a unidade PVp + Li ag, os dados obtidos neste trabalho concordam com aqueles indicados por *DEMÉTRIO (1977)*, para a mesma unidade de solo. Contudo, os valores numéricos encontrados por esse autor são ligeiramente superiores.

Para a unidade TEe, os dados obtidos neste trabalho não concordam com aqueles encontrados por *FREIRE (1977)* para a unidade Bld3, que possui características morfo-genéticas semelhantes às do TEe, com exceção do relevo, que é ondulado a fortemente ondulado. Esta diferença no relevo talvez seja o principal fator responsável pelos índices numéricos -

bem mais elevados, encontrados por esse autor.

### 6.3 - COMPARAÇÃO ENTRE BACIAS HIDROGRÁFICAS E AMOSTRAS CIRCULARES

A Tabela 22 apresenta as equações ajustadas para número, comprimento total e comprimento médio de rios, por unidade de área, obtidos através de bacias. Na Tabela 27 essas mesmas equações foram ajustadas, por unidade de área, para dados obtidos a partir das amostras circulares. Num estudo comparativo entre as duas Tabelas, pode-se constatar que para a unidade de solo PVP + Li ag houve ajustamento das equações, nos dois tipos de amostragem, com significância a nível de 1%, mostrando uma ligeira superioridade para amostras circulares, como indicam os coeficientes obtidos.

Para a unidade TEe, não foi possível ajustar a equação para comprimento total quando se utilizaram os dados, por unidade de área, obtidos de bacias, enquanto que para amostras circulares não foi possível ajustamento para comprimento médio. No caso de bacias, como já se comentou, a falta de ajustamento da equação de *FRANÇA (1968)* para comprimento total foi devida aos seus rios de 3.<sup>a</sup> ordem serem muito extensos, o que é explicado por controle estrutural da rede de drenagem. Para amostras circulares, nessa mesma unidade de solo, a equação foi ajustada a nível de 5% de significância estatística, provavelmente devido ao fato da amostra ter abrangido apenas parte dos rios de 3.<sup>a</sup> ordem, mascarando assim o seu efeito de grandes extensões, permitindo que, de certa forma, seguisse a lei de Horton modificada por *STRAHLER (1957)*, fato que não se repetiu para comprimento médio. Essa argumentação leva a aceitar, como já se comentou, que o

tamanho da amostra, para a unidade TEe, não tenha sido suficiente para representar o comportamento hidrológico destes solos.

Os resultados referentes às características médias dos padrões de drenagem e as classes de textura topográfica obtidos de bacias hidrográficas e de amostras circulares representativas das duas unidades de solo, estão na Tabela 29.

Observando-se a Tabela 29 pode-se constatar, como já se comentou, que as duas amostragens mostraram-se boas na diferenciação das unidades de solo estudadas. Com relação aos dados de frequência de rios (F), obtidos através de bacias hidrográficas, pode-se verificar que para a unidade de solo TEe resultou o maior coeficiente de variação (73,55%). Esse valor parece refletir a dificuldade de seleção de bacias muito grandes em fotos na escala aproximada de 1:25.000, no que diz respeito à delimitação do divisor de águas, principalmente quando este se encontra na periferia das fotografias e contido em diferentes faixas de voo. A mesma dificuldade se reflete nos parâmetros densidade de drenagem (Dd) e razão de textura (T) das bacias hidrográficas, onde se registram maiores coeficientes de variação para a unidade TEe.

As razões de textura média obtidas a partir de bacias hidrográficas definem a unidade PVp + Li ag como pertencente à classe de textura topográfica média e a unidade TEe, à classe de textura topográfica grosseira; e através de amostras circulares essas unidades de solo foram enquadradas nas classes fina e grosseira de textura topográfica respectivamente. Levando em consideração que os coeficientes de variação foram menores nas amostras circulares, pode-se aceitar que na definição das classes de textura topográfica a

amostra circular mostrou-se mais sensível para classificar a textura de topográfica da unidade PVp + Li ag.

Analogamente, os coeficientes de variação obtidos para as médias calculadas para as duas unidades de solo, através de amostras circulares, conferem menores valores para a unidade de solo PVp + Li ag, o que leva a crer que, para a unidade TEe, se a amostra circular tivesse sido maior que  $10 \text{ Km}^2$ , a variação em torno da média seria menor, concordando com as observações de *SOUZA (1975)*.

A Tabela 29 permite ainda concluir que a amostragem através de amostras circulares mostrou-se melhor que a amostragem por meio de bacias hidrográficas, pois resultaram os menores coeficientes de variação para todos os parâmetros, quando comparados com os obtidos para bacias, para as duas unidades de solo. Esse fato se deve à possibilidade da amostra circular permitir a eliminação da influência da área uma vez que todas as contagens de número e medições de comprimento de rios se referem a uma mesma área e a área circular de amostragem poder ser deslocada dentro da área de ocorrência de uma unidade de solo sem consideração dos limites de bacias hidrográficas, procurando abranger unicamente a maior proporção e a maior homogeneidade possíveis da unidade que está sendo amostrada como foi observado por *FRANÇA (1968)*, *SOUZA (1975)*, *KOFFLER (1976)* e *DEMÉTRIO (1977)*.

### 6.3.1 - Comparações entre parâmetros de bacias hidrográficas e de amostras circulares

Analisando-se a Tabela 30 pode-se constatar que, para todas as correlações estudadas, o coeficiente de correlação forneceu valores altos, sendo o menor igual a

0,8999 e o maior igual a 0,9999, mostrando um alto grau de interdependência entre os parâmetros estudados, para as duas unidades de solo. Da mesma forma os coeficiente de determinação foram altos, mostrando uma pequena variação na interdependência entre os parâmetros.

Para os parâmetros correlacionados ajustaram-se equações de reta e em todos os casos estudados foram constatados valores de teste F para a regressão e de teste t para a inclinação da reta significativos a nível de 1%, demonstrando uma boa ajustagem das equações para as unidades de solo estudadas.

Uma análise mais detalhada da Tabela 30 e Figuras 15-A, 15-B e 15-C mostram uma interdependência entre os parâmetros quando eles são estudados dentro da mesma amostragem ou estudados nas duas amostragens ao mesmo tempo, isto é, um obtido em bacias e outro em amostra circular ou vice-versa. O que leva a aceitar que podem ser inferidos independentemente do tipo de amostragem.

Pode-se ainda verificar que os parâmetros correlacionados através de dados obtidos em amostras circulares conferiram os mais altos coeficientes de correlação, sugerindo maior interdependência entre os parâmetros estudados, levando a admitir que os resultados obtidos através de amostras circulares foram mais eficientes do que os obtidos em bacias hidrográficas, não invalidando, porém, os resultados obtidos através de bacias hidrográficas, pois também resultaram valores de teste F e de teste t para b altamente significativos.

A significância hidrológica desses parâmetros já foi amplamente abordada em itens anteriores, pois evidenciaram diferenças entre as unidades estudadas, uma vez que os solos são responsáveis pelo desenvolvimento das redes de

drenagem através da sua relação infiltração/deflúvio, conforme observaram *FRANÇA (1968)*, *SOUZA (1975)* e *KOFELER (1976)* e outros autores.

## 7 - C O N C L U S Õ E S

Os resultados obtidos nesta pesquisa, nas condições existentes e com a metodologia utilizada permitem as seguintes conclusões:

- a razão de ramificação (Rb) mostrou-se o melhor parâmetro, da composição da rede de drenagem, das bacias hidrográficas para diferenciar as unidades de solo PVp + Li ag e TEE;
- quando os comprimentos totais de segmentos de rios das ordens de ramificação das bacias hidrográficas não seguem a lei de Horton, modificada por Strahler, não se ajusta a equação proposta por França o que sugere a presença de controle geológico;

- os parâmetros: número, comprimento total e comprimento médio de segmentos de rios correlacionados com a ordem de ramificação de bacias hidrográficas de 3.<sup>a</sup> ordem foram mais sensíveis, para diferenciar solos, quando analisados por unidade de área;
- mudanças nas características qualitativas do padrão de drenagem refletem um controle geológico (litológico ou estrutural);
- os parâmetros que definem o padrão de drenagem mostraram-se bons para diferenciar as duas unidades de solo, nos dois tipos de amostragem; sendo que, a amostragem circular evidenciou melhores resultados;
- os parâmetros que diferenciam o padrão de drenagem mostraram melhores resultados para a unidade PVp + Li ag do que para a unidade TEE, quando estudados em bacias hidrográficas e amostras circulares.



## 8 - S U M M A R Y

The present work shows the results of a study accomplished with the help of aerial photographs showing quantitatively and qualitatively the composition of natural drainage systems, and the characteristics of drainage pattern of two textural B horizon soils, through hydrographical basins which were selected by the principles of geometrical similarity and same order of ramification, and through 10  $\text{km}^2$  circular samples.

One of the unities, the Eutrophic "Terra Roxa Estrutura", composed of original material formed of basic eruptive rocks (Serra Geral formation), is placed in São Manoel Region on São Paulo West Plateau. The second unity, formed of an association of Red-Yellow Podzolic Soil, var. Piracicaba (Godinho Series), and Litosol clayey/shale substratum phase (Lageadinho Series), both composed of material formed

of clayey and shales from Grupo Estrada Nova, is placed in Piracicaba Region, on São Paulo Peripheral Depression. Both regions have humid sub-tropical climate with winter drought (Cwa), according to Köppen.

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

- bifurcation ratio (Rb) appeared to be the best parameter to differentiate soil unities PVp + Li ag and TEE;
- when river segment total lengths of hydrographical basin ramification orders do not follow Horton law, modified by Strahler, the equation proposed by França cannot be adapted either, what suggests the presence of geological control;
- the parameters: number, total length and mean length of river segments correlated with the third order hydrographical basin ramification order were the most sensible to differentiate soils, when analyzed within each area unity;
- changes in the qualitative characteristics of drainage pattern showed one geological control (lithologic or structural);
- the parameters which describe drainage pattern appeared to be good for differentiating soil unities in two sampling types; being the circular sampling showed best results;

- the parameters which describe drainage pattern showed best result for the unity  $PVp + Li$  ag than for the unity  $TEe$ , when studied in hydrographical basins and in circular sampling.

## 9 - L I T E R A T U R A      C I T A D A

AUDI, R., 1972. Fotointerpretação de Atributos dos Canais de Drenagem em Solos da Região Noroeste do Estado de São Paulo. Piracicaba, ESALQ/USP, 182 p. (Tese de Doutorado).

BOMBERGER, E.H. e H.W. DILL JÚNIOR, 1960. Photointerpretation in agriculture. In: Manual of Photographic Interpretation. Washington, Am. Soc. of Photogramm. Chap. 11, p. 561-632.

BURRINGH, V., 1960. The Applications of aerial photographs in soil surveys. In: Manual of Photographic Interpretation. Washington, Am. Soc. of Photogramm. Chap. 11, appendix A, p. 633-666.

- COLWELL, R.N., 1952.* Photographic interpretation for civil purposes. In: Manual of Photogrammetry. 2<sup>nd</sup>, ed. Washington, Am. Soc. of Photogramm., p. 535-602.
- COMISSÃO DE SOLOS (CNEPA), 1960.* Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado de São Paulo. Bol. do Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas. Rio de Janeiro, (12): 634 p.
- CRESWICK, W.J. e W.H. ROCKWELL, 1959.* Applications of aerial photographic techniques to agricultural surveys. In: Aerial Photographic Interpretation: Principles and Applications. New York, MacGraw-Hill Book Co. Inc., p. 373-385.
- CURTIS, L.F., J.C. DOORNKAMP e K.J. GREGORY, 1965.* The description of relief in field studies of soil. Jour. Soil Sci., Oxford, 16: 16-30.
- DEMATE, J.L.I., 1973.* Levantamento semidetalhado dos solos da Usina da Barra S.A., Açúcar e Álcool. Piracicaba, 246 f.
- DEMÉTRIO, V.A., 1977.* Variação de Características de Redes de Drenagem em Função da Escala das Fotografias Aéreas Verticais. Piracicaba, ESALQ/USP, 107 p. (Dissertação de Mestrado).
- DUNBAR, R.A., 1959.* Problems of interpretation in tropical regions. In: Aerial Photographic Interpretation: Principles and Applications. New York, McGraw-Hill Book Co. Inc., p. 426-427.
- FADEL, H., 1972.* Fotointerpretação de Bacias e de Redes de Drenagem de Três Séries de Solos da Fazenda Ipanema, Muni

- cípio de Araçoiaba da Serra (S.P.). Piracicaba, ESALQ/USP, 92 p. (Dissertação de Mestrado).
- FRANÇA, G.V. de, 1968. Interpretação Fotográfica de Bacias e de Redes de Drenagem Aplicada a Solos da Região de Piracicaba. Piracicaba, ESALQ/USP, 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, 136 p. (Tese de Doutorado).
- FROST, R.E., 1960. Photointerpretation of soils. In: Manual of Photographic Interpretation. Washington, Am. Soc. of Photogramm. Chap. 5, p. 343-402.
- GEVAERD, I., 1974. Parâmetros Fotoanalíticos de Três Unidades de Solo da Região Nordeste Paranaense. Piracicaba, ESALQ/USP, 110 p. (Dissertação de Mestrado).
- GEVAERD, I., 1976. Identificação dos Fatores Determinantes das Características Placo-Hipsométricas de Três Unidades de Solo da Região Nordeste Paranaense. Piracicaba, ESALQ/USP, 63 p. (Tese de Doutorado).
- GUNN, R.H., 1955. The use of aerial photography in soil survey and mapping in the Sudan. Soils Fertil., Harpenden, 18: 104-106.
- HORTON, R.E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Bull. Geol. Soc. Am., Colorado, 56: 275-370.

- ROWE, R.H.L., 1960. The application of aerial photographic interpretation to the investigation of hidrologic problems. Photogramm. Engng., Washington, 26: 85-95.
- KOFFER, N.F., 1976. Utilização de Imagens Aerofotográficas e Orbitais no Estudo do Padrão de Drenagem em Solos Originados do Arenito Bauru. São José dos Campos, INPE, - 150 p. (Tese de Mestrado).
- LEÃO, S.R.F., 1972. 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, McGraw-Hill Book Co. Inc., 462 p.
- MARCHETTI, D.A.B., 1969. Fotointerpretação de Atributos de Relêvo Aplicada a Solos da Região de Piracicaba. Piracicaba, ESALQ/USP, 58 p. (Tese de Doutorado).
- MAXWELL, J.C., 1955. The bifurcação ratio in Horton's law of stream number (abstract). Trans. Amer. Geophys. Union, Washington, 36: 520.
- PARR, J.F. e A.R. BERTRAND, 1960. Water infiltration into soils. Adv. Agron., New York, 12: 311-363.
- PARVIS, M., 1950. Drainage pattern significanse in airphoto identification of soils an bedrocks. Photogramm. Engng., Washington, 16: 387-409.
- PASTO, F.K., 1953. Soil mapping by stereoscopic interpretation of airphotos. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, -

17: 135-138.

RABBEN, E.L.; E.L. CHALMERS JÚNIOR; E. MANLEY e J. PICKNF,  
1960. Fundamentals of photointerpretation. In: Manual  
of Photographic Interpretation. Washington, Am. Soc. of  
Photogramm., Chap. 3, p. 99-168.

RANZANI, G.; O. FREIRE e T. KINJO, 1966. Carta de Solos do  
Município de Piracicaba. Piracicaba, Centro de Estudos de  
Solos. ESALQ/USP, 85 f.

RAY, R.G., 1963. Fotografias aéreas na interpretação e ma-  
peamento geológico. Tradução. Inst. Geogr. e Geol., São  
Paulo. 88 p. 75 fotogramas.

RAY, R.G. e W.A. FISCHER, 1960. Quantitative photography a  
geologic research tool. Photogramm. Engng., Washington,  
26: 143-150.

RICCI, M. e S. PETRI, 1965. Princípios de Aerofotogrametria  
e Interpretação Geológica. São Paulo, Cia. Editôra Nacio-  
nal. 226 p.

ROURKE, J.D. e M.E. AUSTIN, 1951. The use of airphotos for  
soil classification and mapping in the field. Photogramm  
Engng., Washington, 17: 738-741.

SCHUMM, S.A., 1956. Evolution of drainage systems and slopes  
in badlands at Perth Amboy, New Jersey. Bull. Geol. Soc.  
Am., Colorado, 67: 597-646.

SIMONSON, R.W., 1960. Use of aerial photographs in soil sur-  
veys. Photogramm. Engng., Washington, 16: 308-315.



- SMITH, D.D. e W.H. WISCHMEIER, 1962. Rainfall erosion. Adv. Agron., New York, 14: 109-142.
- SMITH, H.T.V., 1943. Aerial Photographs and their Applications. New York, D. Appplenton. 372 p.
- SMITH, K.G., 1950. Standards for grading texture of erosional topography. Amer. Jour. Sci., New Haven, 248: 655-668.
- SOUZA, M.L. de P., 1975. Fotointerpretação das Redes de Drenagem de Três Solos com Horizonte B Latossólico Ocorrentes no Município de Ponta Grossa - PR. Piracicaba, ESALQ/USP, 135 p. (Dissertação de Mestrado).
- STRAHLER, A.N., 1952. Hypsometric (área-altitude) analysis of erosional topography. Bull. Geol. Soc. Am., Colorado, 63: 1117-1141.
- STRAHLER, A.N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Trans. Am. Geophys. Union, New Haven, 38: 913-920.
- SUMERSON, C.H., 1954. A philosophy for photointerpreters. Photogramm. Engng., Washington, 20: 396-397.
- TATOR, B.A., 1954. Drainage anomalies in coastal plains regions. Photogramm. Engng., Washington, 20: 412-417.
- TREWARTHA, G.T., 1959. An Introduction to Weather and Climate. 2<sup>nd</sup> ed. New York, McGraw-Hill Book Co. Inc., 462 p.
- VASQUES, F.J., 1972. Critérios Morfométricos Aplicados à Fotointerpretação de Redes de Drenagem em Três Unidades de Solos no Município de Piracicaba. Piracicaba, ESALQ/USP,

113 p. (Tese de Doutoramento).

VERA, L., 1964. Técnicas de inventário de la tierra agrícola: el proyecto aerofotogramétrico OEA/Chile. Unión Panamericana. Washington, 136 p. (Manuales técnicos, X).

VON ENGELN, O.D., 1942. Geomorphology: Systematical and Regional. New York, The McMillan Co., 655 p.

ZINKE, P.J., 1960. Photo interpretation in hidrology and watershed management. In: Manual of Photographic Interpretation. Washington, Am. Soc. of Photogramm. Chap. 10, p. 539-560.