

FOTOINTERPRETAÇÃO DAS REDES DE DRENAGEM DE TRES SOLOS COM HORIZONTE B LATOSSOLICO OCORRENTES NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA-PR.

MARCOS LUIZ DE PAULA SOUZA

Engenheiro Agrônomo

PROF. DR. GERALDO VICTORINO DE FRANÇA
- Orientador

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre.

A memória de meu pai

A minha mãe:

A minha esposa

dedico.

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

Ao Prof. Dr. Geraldo Victorino de França pela valiosa orientação e colaboração.

Ao Mestre em Experimentação e Estatística, Francisco José Pfeilsticker Zimmermann, pela ajuda prestada.

À Subsecretaria de Cooperação Econômica e Técnica Internacional (SUBIN) pela concessão de bolsa de estudo de pós-graduação.

Ao Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq) pela concessão de bolsa de estudo de pós-graduação e auxílio de tese.

Ao Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, por possibilitar a realização do presente trabalho.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para que este trabalho fosse realizado.

C O N T E Ú D O

	Pág.
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 - Fotografias aéreas na interpretação e mapeamento de solos	3
2.2 - Estudos de bacias hidrográficas e da composição de redes de drenagem	8
2.3 - Padrão de drenagem: tipos, característica e significado	18
2.4 - Relações entre solos e características das redes de drenagem	21
3. MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1 - Material	24
3.1.1 - Descrição geral da área estudada	24
3.1.2 - Solos	25
3.1.2.1 - Características das unidades de solo	26
3.1.3 - Bacias hidrográficas	28
3.1.4 - Fotografias aéreas	28
3.1.5 - Estereoscópio	28
3.1.6 - Outros materiais	28
3.2 - Métodos	29
3.2.1 - Seleção das áreas de estudo	29
3.2.2 - Obtenção dos mapas básicos de drenagem	29
3.2.3 - Seleção das bacias hidrográficas	30
3.2.4 - Análise das bacias hidrográficas	31
3.2.4.1 - Localização e representatividade ..	31
3.2.4.2 - Propriedades dimensionais	31
3.2.4.3 - Propriedades não dimensionais	32
3.2.5 - Análise das redes de drenagem	33
3.2.5.1 - Composição das redes de drenagem ..	33

	Pág.
3.2.5.2 - Características descritivas das redes de drenagem	36
3.2.5.3 - Características quantitativas das redes de drenagem	36
3.2.5.4 - Relação entre características quantitativas das redes de drenagem ..	38
4. RESULTADOS	48
4.1 - Características das bacias hidrográficas	48
- 4.1.1 - Localização	48
4.1.2 - Representatividade	48
4.1.3 - Propriedades não dimensionais	49
4.1.4 - Propriedades dimensionais	49
4.1.5 - Análise dimensional	49
4.2 - Características das amostras circulares	49
4.3 - Características das redes de drenagem	57
4.3.1 - Características descritivas dos padrões de drenagem	57
4.3.2 - Características quantitativas das redes de drenagem	59
4.3.2.1 - Bacias hidrográficas	59
4.3.2.2 - Amostras circulares	59
4.3.3 - Relação entre as características quantitativas das redes de drenagem	59
4.3.4 - Composição das redes de drenagem	69
4.3.4.1 - Análise do número de segmentos de rios	69
4.3.4.2 - Análise da razão de ramificação ..	74
4.3.4.3 - Análise dos comprimentos totais de segmentos de rios	76
4.3.4.4 - Análise da razão de comprimentos totais	81
4.3.4.5 - Análise dos comprimentos médios dos segmentos de rios	83

	Pág.
4.3.4.6 - Análise da razão de comprimentos médios	88
4.3.5 - Relações entre os dados que compõem as redes de drenagem	88
4.3.5.1 - Relação entre os números de segmentos de rios, comprimentos totais de segmentos e comprimentos médios de segmentos de rios, calculados	88
4.3.5.2 - Relações entre os valores médios da razão de ramificação, razão de comprimentos totais e razão de comprimentos médios	91
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	94
5.1 - Características das bacias hidrográficas	94
5.2 - Características das amostras circulares	96
5.3 - Características das redes de drenagem	97
5.3.1 - Características descritivas das redes de drenagem	99
5.3.2 - Características quantitativas das redes de drenagem	99
5.3.2.1 - Características baseadas no estudo de bacias hidrográficas	100
5.3.2.2 - Características baseadas no estudo de amostras circulares	102
5.3.3 - Relações entre as características quantitativas	103
5.3.4 - Composição das redes de drenagem	111
5.3.4.1 - Análise do número de segmentos de rios	112
5.3.4.2 - Análise da razão de ramificação ..	113
5.3.4.3 - Análise dos comprimentos totais de rios	114

	Pág.
5.3.4.4 - Análise da razão de comprimentos <u>to</u> tais	115
5.3.4.5 - Análise dos comprimentos médios de segmentos de rios	116
5.3.4.6 - Análise da razão de comprimentos <u>mé</u> dios	117
5.3.5 - Relação entre as características que compõem as redes de drenagem	117
6. CONCLUSÕES	119
6.1 - Latossol Vermelho Escuro orto	119
6.2 - Latossol Vermelho Amarelo	120
6.3 - Latossol Vermelho Escuro dolomítico	121
6.4 - Conclusões gerais	123
7. RESUMO	125
8. SUMMARY	127
9. LITERATURA CITADA	130

1. INTRODUÇÃO

A fotointerpretação tem se revelado do mais alto valor como processo de coleta de dados numa ampla variedade de trabalhos. Poucos instrumentos, de per si, têm contribuído tanto para a eficiência dos técnicos em pedologia e conservação do solo e água, como as fotografias aéreas.

Atualmente, os pares de fotografias verticais substituíram, quase que completamente, as outras bases no mapeamento de solos; apresentam como principal vantagem, a riqueza de detalhes do terreno que permite ao pedólogo localizar-se corretamente a qualquer momento, e traçar os limites de solo com precisão.

Em determinadas regiões, o técnico de campo encontra dificuldade, face às condições de vias de acesso, relevo e vegetação, para delimitar as unidades de solo, quando então utiliza aspectos visíveis nas fotografias, tais como: forma de relevo, rede de drenagem, uso da terra e padrão de vegetação que, convenientemente interpretados, permitem estimativas sobre as características internas dos solos.

los, bem como seus limites.

Os padrões interpretativos são relativamente pouco estudados e não devem ser transferidos de uma área para outra, porque muitos dos indícios tem diferentes significados em áreas distintas.

Dentre os padrões que permitem a diferenciação de solos, as redes de drenagem, juntamente com o relevo, são os que se destacam, com vantagem para as redes de drenagem, que são mais facilmente registradas e medidas em fotografias aéreas.

O Estado do Paraná tem apenas cerca de 50% de seus solos mapeados a nível de reconhecimento, e nenhum estudo desenvolvido no que diz respeito à características das redes de drenagem para as regiões fisiográficas do primeiro e segundo planaltos. Estas regiões compõem o Município de Ponta Grossa, onde se destaca a ocorrência de Latossóis argilosos de alto potencial agrícola, levantados e mapeados com os demais solos que ocorrem no município, a nível semidetalhado.

Estes fatos conduziram à elaboração deste trabalho que tem como principais objetivos:

a) O estudo das características descritivas e quantitativas das redes de drenagem de três Latossóis argilosos, em fotografias aéreas, com a finalidade de correlacionar e interpretar os elementos estudados e avaliar sua significância.

b) Contribuir para o acervo de critérios fotointerpretativos definidores das unidades de solo que ocorrem na região estudada, o que viria facilitar a identificação e mapeamento de unidades semelhantes, por fotointerpretação, em outras regiões.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - Fotografias aéreas na interpretação e mapeamento de solos

Segundo QUACKENBUSH (29) a evolução da fotografia aérea foi simultânea ao desenvolvimento do material e equipamento fotográfico, com uso diversificado em todo o mundo na guerra e na paz desde os primórdios de 1840; somente no século XX, ao encontrar apoio na aeronáutica, evoluiu até o ponto de permitir a obtenção de imagens do globo terrestre, por meio de fotografias tomadas de aeronaves.

Segundo SIMONSON (38), ROURKE e AUSTIN (34), a primeira utilização de fotografias aéreas como base para o trabalho de levantamento de solos foi efetuado por Bushnell e seus colaboradores em 1929. A nitidez com que as fotografias aéreas mostram detalhes do terreno, permitiu que cientistas de solo as usassem como fonte adicional de informações.

Para SIMONSON (38), o maior avanço em levantamento de solos nas duas décadas anteriores a 1950, foi a utilização de fotografias aéreas.

COLWELL (6) define fotointerpretação como o ato de examinar imagens fotográficas de objetos com a finalidade de identificá-los e avaliar sua significância, enquanto que para SUMNERSON (42), de um modo mais amplo, é a previsão do que não pode ser visto. Esta afirmativa possui maior afinidade com a interpretação fotográfica de solos, uma vez que a fotografia aérea mostra somente a superfície da Terra e não as variações que ocorrem em profundidade e caracterizam uma unidade de solo. No entanto, os vários aspectos que ocorrem na superfície, tais como vegetação, formas topográficas, drenagem, erosão, tonalidade fotográfica e uso da terra podem indicar a ocorrência de solos diferentes..

GOOSEN (16), dentre outros autores, admite que, embora o trabalho de campo não seja substituído completamente pela fotografia aérea, o rendimento e a exatidão dos trabalhos são altamente favorecidos. O autor também aceita que a utilização da fotointerpretação é mais importante em levantamentos de reconhecimento do que em levantamentos detalhados.

LUEDER (20), calculando o esforço necessário para a elaboração de levantamentos de solos, concluiu que em mapeamentos de reconhecimento, o esforço de trabalho, com o uso de fotointerpretação, corresponde a um décimo do que seria sem sua utilização; para levantamentos semidetalhados a economia seria de dez a noventa por cento, enquanto que em levantamento detalhado a economia corresponde a apenas um décimo do trabalho.

BASTOS (3) comenta um trabalho descrito por VERA (46) realizado pelo Projeto OEA-Chile, no qual 120.000 km² de terras agrícolas

las tiveram os seus solos levantados a nível detalhado num período de 18 meses. O autor faz a observação que as informações obtidas neste curto período de tempo, sem uso de técnicas aerofotogramétricas e foto interpretativas, levaria um tempo superior ao de uma vida humana.

Segundo BURINGH (5), em levantamentos de solos sem fotointerpretação, aproximadamente vinte por cento das observações de campo são gastas para identificação e classificação de solos e o restante do tempo para localizar os limites dos solos. Com uso de fotografias grande parte destes limites seriam demarcados nas fotoimagens, sendo necessário apenas algumas verificações de limites no campo.

RABBEN (30) explica a larga utilização da fotografia aérea baseado em três fatos fundamentais:

1. A grande superfície terrestre que é representada em cada fotografia, mais de 20 km² na escala de 1:20.000 e aproximadamente 33 km² na escala de 1:25.000.
2. As imagens tridimensionais da superfície terrestre e dos objetos sobre ela localizados, proporcionada pelos pares estereoscópicos.
3. O caráter permanente das imagens dos objetos, a possibilidade de medições destes objetos e as condições favoráveis de trabalho.

Para AMARAL e AUDI (1), a utilização e interpretação de fo tografias aéreas através de técnicas adequadas, em levantamento de so los, planejamentos conservacionistas ou outros estudos de caráter pedológico, é denominado de Fotopedologia, que em última análise vem a ser a parte da fotointerpretação que se dedica ao estudo do solo.

Segundo RABBEN (30), RAY (31), RICCI e PETRI (33), a foto-
interpretação consta de duas etapas: na primeira é efetuada a observa-
ção, coleta de dados, medição e identificação dos objetos registrados
nas fotografias aéreas. A segunda envolve indução e ou dedução de in-
formações obtidas, na solução de um problema.

Para FROST (14), a fotointerpretação de solos pode ser efe-
tuada utilizando três importantes princípios:

1. Solos semelhantes ocorrem nas fotografias aéreas com padrões seme-
lhantes.
2. Solos diferentes ocorrem com imagens diferentes.
3. Características da imagem fotográfica, quando correlacionadas com
as propriedades do solo observadas no campo e no laboratório, po-
dem muitas delas ser inferidas por meio da fotointerpretação.

Shultz e Cleaves, citados por RAY (31), afirmam ser a for-
ma fisiográfica o elemento mais importante da fotopedologia, contudo,
a drenagem e o relevo podem fornecer informações de mesma importância.

Para LUEDER (20), com exceção da forma fisiográfica, o mais
seguro indicador das condições do terreno é a drenagem superficial,
sendo porém imprescindível a experiência do fotointérprete nas cor-
relações da imagem fotográfica com o terreno.

DUNBAR (8), ao discutir alguns aspectos de fotointerpreta-
ção em solos de regiões tropicais, referiu-se particularmente a cer-
tas áreas brasileiras onde alguns latossolos argilosos nas fotogra-
fias aéreas tem aparência de solos com textura areno-barrenta, apre-

sentando: porosidade relativamente elevada, ângulo de repouso moderadamente íngreme e padrão de drenagem esparso, pouco integrado. E associou a este fato a ação severa do intemperismo e erosão.

GOOSEN (16), comentando os métodos de fotointerpretação, argumenta que o "método dos padrões" de FROST (14) considera como padrões indicativos das condições superficiais e subsuperficiais do terreno, a forma da terra, a drenagem, os aspectos da erosão, a vegetação, a tonalidade fotográfica e o uso da terra. Sendo que elucidadas as condições ambientais dos solos estudados, o fotointérprete divide as unidades principais da paisagem em unidades menores e examina os padrões locais sob estereoscopia. O método denominado de "análise fisiográfica" mencionado por BURINGH (5), baseia-se em profundos conhecimentos fisiográficos. Procede-se à classificação das unidades fisiográficas do terreno, as quais correspondem a uma associação única de solos. Embora o método seja eficiente, há necessidade de que o edafólogo possua conhecimento relativamente profundo de geomorfologia. O terceiro e último método, "análise de elementos", desenvolvido por BURINGH (5), possui sobre os demais a vantagem de facultar seu uso a pedólogos com pouca experiência em fotointerpretação, visto que é uma análise sistemática dos elementos relacionados com a ocorrência do solo em uma região. Os elementos sugerem determinadas condições de solo e podem ser estudados isoladamente. E utilizando a convergência de evidências, pela concordância nas deduções, os solos podem ser identificados.

Utilizando os princípios propostos pelo método da "análise de elementos", FRANÇA (13), MARCHETTI (22), FADEL (12), LEÃO (18), VAS

QUES FILHO (44) e GEVAERD (15) dimensionaram índices referentes a bacias hidrográficas e redes de drenagem, sobre fotografias aéreas verticais, com o objetivo de investigar as suas significâncias em relação a diferentes unidades de solo, bem como estabelecer parâmetros para sua identificação.

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

Segundo FRANÇA (13), desde há muito, pesquisadores em ciências da terra verificaram que as formas das redes de drenagem refletem a natureza do material subjacente, e passaram a estudá-las de um modo puramente descritivo, procurando a correlação entre os tipos de redes e as formas do relevo, natureza dos solos e das rochas. Deste modo, muitos padrões de drenagem foram descritos, classificados e correlacionados com formações geológicas e unidades de solos; somente a partir de 1945, alguns pesquisadores incentivados por Horton, compreenderam as limitações de análises descritivas e passaram a uma nova linha de estudo ou seja, a análise quantitativa de bacias hidrográficas e suas redes de drenagem.

O processo de gênese das bacias hidrográficas segundo Leopold e Maddock, citados por BLOOM (4), é decorrente do trabalho dos rios, sempre que seus canais estejam assentados em materiais ajustáveis e os cursos de água se identificam como um sistema físico aberto, no qual a matéria e energia se movem, havendo simultaneamente tendências para que ocorram dois tipos de trabalhos que se conflitam, o

mínimo e o uniformemente distribuído.

ENGELN (9) cita a observação de caráter qualitativo feita por Playfair, que todo rio consiste em um tronco principal alimentado por vários ramos cada qual correndo em um vale proporcional ao seu tamanho, formando em conjunto, um sistema de vales comunicantes de modo que nenhum deles se une ao vale principal em um nível demasiado superior ou inferior.

HORTON (17) deu à observação de Playfair um caráter quantitativo, seguindo uma aproximação hidrofísica, considerando as relações infiltração-deflúvio e os processos de erosão pelas águas correntes. Estabeleceu leis fundamentais relacionando o número e o comprimento de rios às diversas ordens de ramificação da rede hidrográfica.

Gravelius, citado por HORTON (17), descreve o sistema europeu de classificação de rios em ordens, onde o rio principal é designado como de primeira ordem, seus tributários imediatos como de segunda ordem e assim sucessivamente atribuindo deste modo uma ordem mais alta aos tributários menores.

Invertendo esta sequência, considerando os tributários menores como sendo de primeira ordem, HORTON (17) atribuiu a ordem mais elevada ao rio principal, vindo deste modo facilitar a análise e a comparação das redes de drenagem, uma vez que estas somente podem ser comparadas quando constituídas por elementos de mesma ordem de ramificação.

Este sistema foi adotado por vários pesquisadores, dentre eles STRAHLER (41), MAXWELL (23), SCHUMM (37), Coates, citado por STRAHLER (41), CURTIS et al.(7), FRANÇA (13), MARCHETTI (22), FADEL

(12), VÁSQUES FILHO (44), LEÃO (18) e GEVAERD (15).

HORTON (17) propôs que a indicação de números e comprimentos de rios e tributários de diferentes classes ou ordens, independentes do padrão, sejam denominados de "composição da rede de drenagem"; e afirma ter a composição um alto grau de significância hidrológica, enquanto que o padrão isolado tem pouca ou nenhuma significância, embora seja um indicador de controle geológico.

FRANÇA (13) e VÁSQUES FILHO (44) obtiveram bons resultados estudando a significância das diferenças na composição e características do padrão de drenagem em séries de solos da região de Piracicaba.

FADEL (12), LEÃO (18) e GEVAERD (15) em estudos semelhantes obtiveram dados significativos em séries de solos do Município de Araçoiaba da Serra, e em Grandes Grupos de solos do Distrito Federal e Estado do Paraná, respectivamente.

A lei dos números de rios de HORTON (17) expressa a relação entre o número de rios de cada ordem e a ordem de ramificação em termos de uma série geométrica inversa, que tem como base a razão de ramificação. A "lei dos comprimentos de rios" do mesmo autor, expressa a relação entre os comprimentos médios de rios de cada ordem e a ordem de ramificação, em termos de uma série geométrica direta na qual o primeiro termo é o comprimento médio dos rios de primeira ordem.

MAXWELL (23) obteve de uma regressão linear do logaritmo dos números de rios de cada ordem (ordenadas) sobre as ordens de rios (abcissas), 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 a equação $R_b = \text{antilog } b$, como sendo a melhor expressão empírica da razão de ramificação (R_b).

STRAHLER (41), relacionando os logaritmos dos comprimentos totais dos rios às ordens de rios, onde w é a ordem de segmentos de rios e L_w a soma dos comprimentos de rios de determinada ordem, obteve a regressão logarítmica expressa pelas equações:

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

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

FRANÇA (13) obteve uma regressão exponencial, como medida de variação apresentada pelos comprimentos de rios das várias ordens, expressa pelas equações:

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

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

VASQUES FILHO (44) ajustou para os comprimentos médios de rios a equação logarítmica $\log L_m = \log a - b \log w$, e verificou também a validade da equação: $R_l = \log^{-1} b$, para a razão de comprimentos médios (R_l). Para razão de comprimentos totais a equação $R_{lw} = \text{antilog } b$, conduziu a resultados significativos.

HORTON (17) encontrou valores para razão de ramificação variando de 2,22 a 3,91 para bacias suavemente onduladas e bacias montanhosas, respectivamente.

Coates, citado por STRAHLER (41), encontrou valores que variaram de 4,0 a 5,1 para razões de ramificações de rios de primeira ordem e de 2,8 a 4,9 para razão de ramificação de segunda para terceira ordem. Utilizando valores acumulados para a razão de ramificação, o valor médio encontrado foi de 3,52.

Estudando bacias de quarta ordem em quatro séries de solos da região de Piracicaba, FRANÇA (13) encontrou valores para razão de ramificação que variaram de 3,22 a 3,70.

Nestas mesmas bacias a razão de comprimentos médios (R1), encontrados pelo autor sofreram variação entre 2,09 e 2,17.

.FADEL (12), LEÃO (18) e GEVAERD (15), investigando bacias de 3ª ordem em solos dos Estados de São Paulo, Paraná e Distrito Federal, para alguns latossóis encontraram para razão ramificação (Rb) valores médios que variaram de 2,50 a 2,75 e para razão de comprimentos médios de 1,58 a 2,45.

Para HORTON (17), os sistemas hidrográficos e suas bacias de drenagem se desenvolveram por processos erosivos hídricos que dependem inicialmente da proporção entre infiltração e deflúvio, sendo que em cada terreno existe um comprimento mínimo de escoamento sobre a superfície, necessário para que se concentre o volume de deflúvio suficiente para que se inicie a formação de canais. Salienta o autor que o declive superficial, a capacidade de infiltração e a resistência à erosão definem o "comprimento crítico" do terreno e que, analisando os fatores isoladamente, a resistência do terreno à erosão exerce efeito dominante em períodos longos no desenvolvimento dos sistemas hidrográficos e nas suas bacias de drenagem.

Para ZINKE (47), a densidade de drenagem é uma expressão da precipitação pluviométrica e da capacidade de infiltração, podendo ser considerada como uma descrição física quantitativa da bacia hidrográfica.

Procurando dar caráter quantitativo ao grau de desenvolvimento da drenagem superficial de uma bacia hidrográfica em relação a ordem de rios, HORTON (17) sugeriu duas relações:

1. Densidade de drenagem, que foi definida como o comprimento médio de rios por unidade de área e é expressa pela equação:

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

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

2. Frequência de rios, que vem a ser o número de rios por unidade de área e é expressa pela equação

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

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

No entanto, HORTON (17) e SMITH (40), admitem que os valores de densidades de drenagem e frequência de rios variam com o tamanho da área de drenagem, não sendo deste modo diretamente comparáveis através destas duas relações, as pequenas com as grandes bacias.

Segundo STRAHLER (41), para que se obtenha dados significativos na comparação de bacias é indispensável que estas tenham a mes-

ma ordem de ramificação, porque deste modo estarão sendo medidos elementos correspondentes dos sistemas de drenagem.

STRAHLER (41) utilizando o princípio de análise dimensional e semelhança geométrica, 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.

O mesmo autor considera a densidade de drenagem como um importante índice de escala linear, para representar a topografia de bacias hidrográficas, uma vez que a relação entre comprimento total de canais e a área resulta em um número com a dimensão do inverso do comprimento. Deste modo, para as mesmas condições, à medida que o valor numérico da densidade aumenta, a área das bacias de primeira ordem diminuem proporcionalmente.

Johnson, citado por SMITH (40), definiu a expressão "textura topográfica" como sendo o tamanho médio das unidades componentes de um determinado relevo.

SMITH (40), estudando a textura topográfica em regiões dissecada por rios, derivou um índice chamando-o de razão de textura, e limitou a utilização da textura topográfica somente à regiões dissecadas por rios, com o fim de expressar o espaçamento entre os canais de drenagem, em mapas topográficos contendo curvas de nível. Como os canais menores não são representados por convenções hidrográficas, e como as inflexões ou crênulas das curvas de nível em bons mapas topográficos indicam a existência de canais de drenagem permanentes ou temporários, o autor recomenda a escolha da curva de nível que

possua o maior número de crênulas, dentro da bacia de drenagem. A razão de textura (T), é expressa pela equação:

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

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

RAY e FISCHER (32) estudaram a significância da densidade de drenagem, em relação a litologia, sobre mapas básicos de drenagem, decalcados de fotografias aéreas. Os comprimentos de rios foram relacionados com as áreas de bacias hidrográficas e áreas circulares de 10 km². Os autores concluíram que as determinações mais consistentes, para qualquer tipo de rocha, foram as fornecidas pelas amostras circulares.

FRANÇA (13) aplicou a metodologia preconizada por RAY e FISCHER (32), para o estudo de solos, também obtendo os resultados mais significativos para a densidade de drenagem determinada em amostras circulares. O autor destacou as seguintes vantagens para as amostras circulares:

a) elimina a influência da área, uma vez que todas as medições de comprimentos de rios são referidas à mesma área circular de 10 km²;

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.

MARCHETTI (22), FADEL (12), VASQUES FILHO (44), LEÃO (18), e GEVAERD (15) confirmaram as observações de FRANÇA (13), ao investigarem redes de drenagem em diferentes unidades de solo.

RICCI e PETRI (33) salientam que as cartas topográficas , mesmo sendo fidedígnas e com escala suficientemente grande, são insuficientes para estudos geomorfológicos quantitativos. A razão é que geralmente são desenhadas de modo a formar um conjunto com relativa homogeneidade. Deste modo, o desenhista, por razões de estética cartográfica, quando a rede hidrográfica é densa suprime alguns elementos; no entanto, quando a rede é pouco densa, conserva todos os elementos. Portanto, muitos indícios significativos são perdidos.

Segundo RAY e FISCHER (32), há carência de pesquisas baseadas em medições através de fotografias aéreas. Muitos autores usam, em estudos geomorfológicos quantitativos, mapas topográficos, como por exemplo, Miller no estudo dos efeitos da litologia e estrutura no desenvolvimento de bacias de drenagem e formas topográficas de erosão.

RAY (31) afirma que as medições de dados que podem ser obtidas das fotografias aéreas tornar-se-ão, no futuro, mais importantes quando técnicas de medições forem aperfeiçoadas e mais utilizadas.

FRANÇA (13) modificou a idéia de SMITH (47) para que fosse utilizada em fotografias aéreas, uma vez que os sistemas hidrográficos podem ser melhor estudados em mapas básicos de drenagem obtidos pelo exame estereoscópico de fotografias aéreas. A modificação consiste em que, na determinação da razão de textura, considera-se N como sendo o número total de rios da bacia.

ANDERSON (2) considera a área como a variável mais importante de uma bacia hidrográfica, visto que quase todas suas características estão com ela correlacionadas.

Para SCHUMM (37), a área da bacia de drenagem aumenta exponencialmente com a ordem de ramificação de rios, sendo que a distribuição das áreas de bacias em relação às ordens de rios sofrem grandes desvios, que podem em parte serem corrigidos pelo uso de logarítmicos.

Segundo FRANÇA (13), quando se aumenta a ordem de ramificação da rede de drenagem há também um aumento da área de drenagem e das características quantitativas do padrão. Há também uma tendência natural de, ao aumentar a razão de textura, diminuir a densidade de drenagem e a frequência de rios, visto que, aumentando a área da bacia, o perímetro aumenta de um modo proporcionalmente menor.

RAY (31) afirma que a densidade de drenagem em dado ambiente climático, está relacionado principalmente com a resistência à erosão dos materiais aí presentes. À medida que diminui a resistência à erosão, a densidade de drenagem aumenta. Aplicando este fato ao caráter litológico das rochas sedimentares, examinadas em fotografias aéreas, afirma que os folhelhos e outras rochas similares de granulação fina tendem a apresentar drenagem de textura fina, sendo que os arenitos, dada sua granulação grosseira, tendem a apresentar textura grosseira. Admite porém, que podem haver muitas exceções.

2.3 - Padrão de drenagem: tipos, características e significado

Os padrões de drenagem são um importante auxílio na interpretação porque podem ser usados como critérios na identificação de fenômenos geológicos, hidrológicos, geomorfológicos e pedológicos, sendo representados em termos descritivos tais como dendrítico, treliça, retangular, etc.

LUEDER (20) define padrão de drenagem como a distribuição dos canais de drenagem, cobrindo uma área, com detalhes completos sobre: (1) grau de integração; (2) grau de controle; (3) densidade; (4) grau de uniformidade; (5) orientação; (6) angularidade; (7) ângulos de confluência; (8) tipo ou modelo.

Vários autores como LOBECK (19), ENGELN (9), HORTON (17), PARVIS (28), citam o trabalho clássico de Zernitz, que estabelece as relações gerais entre estruturas geológicas particulares e padrões de drenagem específicos.

LOBECK (19) definiu os rios de acordo com sua gênese, de acordo com a direção e inclinação das camadas em declives assimétricos.

Utilizando mais detalhes, MILLER e MILLER (24) sugeriram uma classificação genética de rios, na qual estes são designados conforme suas relações com a estrutura dos materiais subjacentes e sua topografia.

WEG (46) subdividiu os padrões de drenagem em: (1) Padrões erosionais, os que são formados por algum processo degradante de erosão, e cujos modelos se repetem com frequência; (2) Padrões deposicio

nais, os desenvolvidos por processos construcionais de deposição, estando muito relacionados ao padrão do canal; (3) Padrões especiais, todos aqueles que são classificados pelos dois anteriores.

Para BLOOM (4), padrão de drenagem diz respeito aos aspectos específicos do arranjo bidimensional e casualizado assumido pela imagem fotográfica da rede de drenagem e estabelece cinco tipos de arranjo: caótico, dendrítico, retangular, treliça, radial.

PARVIS (28) considera que, da atuação de forças naturais sobre a superfície da terra, resultam seis padrões de drenagem básicos: dendrítico, treliça, radial, paralelo, anular e retangular. Utilizando algumas modificações destes seis padrões classificou e descreveu trinta tipos ou modelos.

PARVIS (28) se refere ainda à facilidade com que estes padrões de drenagem podem ser observados e estudados analiticamente em fotografias aéreas e a sua avaliação significativa na fotointerpretação de solos e substratos rochosos.

WEG (46) critica os padrões descritos por PARVIS (34), considerando-os confusos e algumas vezes incorretos e com pouco valor prático.

Para HORTON (17), o desenvolvimento de bacias hidrográficas e de suas bacias de drenagem deve ser discutida em termos de infiltração, deflúvio e erosão, em terrenos recentemente expostos. Admite porém, que pode haver interferência de estruturas geológicas ou distúrbios geológicos, posteriormente. Deste modo, quando ocorrem afastamentos das leis dos números e dos comprimentos de rios em condições normais de topografia, clima, geologia, solo, etc., esses afastamentos po

dem estar condicionados a controle de estruturas geológicas.

RICCI e PETRI (33) acrescentam às características descritivas propostas por LUEDER (20) para diferenciação dos padrões de drenagem, o termo "anomalias", definido como a característica representativa de um ou mais cursos d'água que está em discordância com a dominante do padrão considerado. Afirmam ainda os autores que as anomalias podem fornecer informações sobre a textura superficial, permeabilidade do material exposto, grau de erodibilidade e condições estruturais das unidades cronogeológicas presentes.

TATOR (43) estudando regiões de planícies costeiras, onde as rochas são geralmente inconsolidadas, conclui que em alguns casos os desvios de uma norma de um padrão de drenagem regional, podem ser tão ou mais importantes para a interpretação, do que o próprio padrão de drenagem.

SMITH (40) caracterizou a razão de textura média (T_m) de uma área como um todo, considerando-o como a média ponderada da razão de textura em relação a área das bacias hidrográficas estudadas, e propôs parâmetros: menor que 4,0 milhas; entre 4,0 e 10,0 milhas e maior que 10,0 milhas, para classificar redes de drenagem quanto as classes de textura topográfica em "grosseira", "média" e "fina", respectivamente.

FRANÇA (13) adaptou os parâmetros de razão de textura média (T_m) estabelecidos por SMITH (40) para a classificação da textura topográfica segundo o sistema métrico decimal, obtendo os valores: T_m menor que 2,5 km; T_m entre 2,5 a 6,2 km; e T_m maior que 6,2 km para as classes grosseira, média e fina, respectivamente.

2.4 - Relações entre solos e características das redes de drenagem

Dos vários autores que estudaram aspectos das redes de drenagem, relacionados com ciências da terra, poucos foram os que levaram em consideração o solo, sob o ponto de vista pedológico. Dentre os que assim o fizeram podemos destacar BURINGH (5) e sua afirmativa que, além da textura e dos processos de deposição dos materiais de origem, ao cientista do solo interessa estudar também a ação dos fatores de formação, e a que grupo genético pertence o solo; embora tenha advertido que em muitos casos é impossível deduzir de fotografias aéreas, a que grupo genético pertence o solo e que previsões sobre a textura dos solos muitas vezes não são corretas.

DUNBAR (8), ao discutir os problemas de interpretação fotográfica em regiões tropicais e subtropicais, alertou para o fato que solos latossólicos, com elevado teor de argila, apresentavam redes de drenagem com características semelhante às que ocorrem em solo de classe textural areia barrenta.

RAY (31), citando trabalho de Jenkis et al, esclarece que as fotografias aéreas mostram a drenagem efetiva do perfil, independente da textura ou composição granulométrica do solo. Ainda se referindo a Jenkis et al, lembra que o calcário origina solos de partículas finas, porém agregadas, resultando perfis permeáveis e bem drenados internamente e, conseqüentemente, as fotos aéreas mostram uma rede de drenagem superficial de textura grosseira.

FRANÇA (13) e FADEL (12) confirmam as afirmativas de DUNBAR (8) e RAY (31), ao verificarem que solos argilosos dos grandes

grupos Latossol Roxo e Latossol Vermelho Escuro, dada sua estrutura porosa, apresentam-se mais permeáveis que solos arenosos do grande grupo Podzólico Vermelho Amarelo variação Laras.

PARR e BERTRAND (27) observam 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.

Para HORTON (17), além de outros fatores como precipitação e relevo, dois fatores importantes nos processos de erosão hídrica responsáveis pela gênese de sistemas hidrográficos e suas bacias de drenagem, são a resistência dos solos à erosão e sua capacidade de infiltração; sendo que, se considerado um longo período de tempo, em qualquer área sujeita à erosão por água corrente, acabará prevalecendo a resistência do solo e da rocha subjacente, à erosão.

ZINKE (47) considerou plausível que o solo derivado de um tipo de rocha relativamente impermeável, conduzirá a maiores proporções de deflúvio e, conseqüentemente, a um maior desenvolvimento de sua rede de drenagem superficial.

FRANÇA (13) aceita as observações de vários autores, sobre capacidade de infiltração, resistência do solo à erosão e relação infiltração/deflúvio, na formação e no desenvolvimento das redes de drenagem, porém considera as conclusões de caráter geral, sempre que não se referiram em seus trabalhos a materiais pedologicamente bem definidos.

FRANÇA (13), MARCHETTI (22), FADEL (12) e VASQUES FILHO (44), trabalhando com unidades de solo bem definidas, levantadas ao

nível de série, investigaram bacias de 3ª e 4ª ordem, constatando a influência do fator solo no desenvolvimento das bacias hidrográficas e suas redes de drenagem. LEÃO (17) e GEVAERD (14) confirmaram o fato, trabalhando com solos levantados a nível de grandes grupos.

RAY (31) argumentou que, quando o controle estrutural atinge seu mínimo, as características da rede de drenagem podem ser influenciadas pela espessura e natureza do material exposto.

FRANÇA (13), VASQUES FILHO (44) e LEÃO (18) concordam que, para bacias de 3ª ordem as características da composição das redes de drenagem dependem em primeiro lugar da natureza do solo, podendo ser modificadas por influência de controle geológico.

SMITH (39) faz a seguinte e importante afirmativa, que explica algumas divergências entre os estudiosos do assunto: a natureza é em grande parte complexa e não uniforme, muitos aspectos do terreno são poligenéticos e assim a interpretação dos dados de observação, de significância para um determinado setor, solos por exemplo, dependem de um sólido conhecimento dos princípios das ciências que explicam estes fatos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Material

3.1.1 - Descrição geral da área estudada

O Município de Ponta Grossa, no qual se desenvolveu o presente trabalho, se localiza entre as longitudes WG $49^{\circ}30'$ e $50^{\circ}30'$ e as latitudes sul $24^{\circ}30'$ e $25^{\circ}30'$, apresentando duas regiões fisiográficas bastante distintas. Segundo MAACK (21) a primeira representada pelo Algonqueano que se encontra no 1º Planalto Paranaense e limita com a segunda zona pela escarpa Devoniana, onde se inicia o 2º Planalto Paranaense e os campos gerais que se estendem a oeste até as divisas do município no rio Tibagi.

Para MAACK (21) as duas regiões pertencem a Zona de Clima quente-temperado subtropical, fresco até frio no inverno e segundo classificação de W. Koepen em Cfb sempre úmido, clima quente temperado, o mês mais quente com temperatura menor que 22°C , onze meses maior que 10°C , com mais de cinco geadas noturnas por ano.

Para MAACK (21) e SALAMUNI (36), a região situada no 1º Planalto Paranaense é constituída por materiais metassedimentares do Grupo Açungui e por granitos intrusivos na sequência deste grupo, enquanto que a região situada no 2º Planalto Paranaense é representada por duas importantes formações do Devoniano, Furnas e Ponta Grossa onde predominam respectivamente o arenito furnas e folhelhos.

Segundo ROCHA (34) a vegetação predominante da área em estudo é constituída de estepes baixas de gramíneas, com capões de mata e matas de galeria.

3.1.2 - Solos

Foram selecionados para elaboração do presente trabalho, três unidades de solo, que constam do mapa pedológico do Levantamento de Reconhecimento de Solos do Município de Ponta Grossa, Estado do Paraná descritas por ROCHA (34) e são apresentadas no Quadro 1.

QUADRO 1 - Correspondência Entre Grandes Grupos de Solos Mapeados Segundo ROCHA (34) e as Unidades de Mapeamento Segundo Critério Utilizado pela Comissão de Solos e Tentativamente Segundo a 7ª Aproximação do Novo Sistema de Classificação (SOIL SURVEY STAFF (11) ao Nível de Ordem.

ROCHA et al Unidade de Mapeamento	Comissão de Solos Unidade de Mapeamento	7ª Aproximação
Latossol Vermelho Escuro - orto	Latossol Vermelho Escuro distrófico com A moderado textura argilosa fase campos relevo suave ondulado e ondulado.	Oxissol
Latossol Vermelho Amarelo	Latossol Vermelho Escuro distrófico com A moderado textura argilosa fase floresta subperenifólia relevo forte ondulado.	Oxissol
Latossol Vermelho Escuro - dolomítico	Latossol Vermelho Escuro distrófico com A moderado textura argilosa fase floresta sub perenifólia relevo forte ondulado.	Oxissol

3.1.2.1 - Características das unidades de solo

Dentre as características das unidades de solos, as mais importantes e que interessam de perto para esta pesquisa se encontram no Quadro 2.

QUADRO 2 - Principais Características das Unidades de Solo Estudados Segundo ROCHA (34).

Características	Unidade de Solo		
	LVE Orto	LVA	LVE dolomítico
Localização	2º Planalto Paranaense	1º Planalto Paranaense	1º Planalto Paranaense
Altitude	950 m	850 m	850 m
Litologia	folhelhos	granitos migmatitos	dolomitos
Relevo			
Tipo	normal	normal	normal
Classe	suavemente ondulado , ondulado	forte ondulado a montanhoso	forte ondulado
Declive			
Classe	B-C	D-E	C-D
Forma	plano	convexo	convexo
Extensão	médio	curto	médio a curto
Uniformidade	uniforme	irregular	irregular
Textura			
Horizonte A	argila	argila	argila
Horizonte B	argila	argila	argila
Estrutura			
Horizonte A	granular, fraca, muito pequena	granular, fraca, muito pequena	granular, fraca, muito pequena
Horizonte B ₁	blocos subangulares, fraca, muito pequena	blocos subangulares, fraca, pequena	blocos subangulares, fraca, pequena
Deflúvio	moderado	rápido	rápido
Drenagem interna	boa	moderada	boa
Permeabilidade	moderada	moderada	moderada
Profundidade	> 2 m	> 1,50 m	> 2 m
Profundidade efetiva	profundo	profundo	profundo
Erosão			
Laminar	ligeira	moderada	moderada
Sulcos	não aparente	ocasionais, raras	ocasionais, raras
Vossorocas	não aparente	não aparente	não aparente

3.1.3 - Bacias hidrográficas

Foram utilizadas no trabalho nove bacias hidrográficas de terceira ordem, enumeradas de I a IX, que representaram as três unidades de solo estudadas e cujas localizações dentro das unidades de solo se encontram nas Figuras 2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 16 e 18.

3.1.4 - Fotografias aéreas

Foram utilizadas 50 fotografias aéreas verticais provenientes do levantamento aerofotogramétrico efetivado em 1953 em todo Estado do Paraná para o Departamento de Geografia Terras e Colonização do Estado do Paraná, pela Empresa de Serviços Aerofotogramétricos Cruzeiro do Sul, na escala aproximada 1:25.000.

As fotografias apresentam recobrimento de aproximadamente 60% na mesma faixa e 30% entre faixas adjacentes, permitindo deste modo visão estereoscópica.

3.1.5 - Estereoscópio

Para observação de pares estereoscópicos foram utilizados estereoscópio de bolso da marca Vasconcelos e estereoscópio de espelho da marca Wild, com binocular de aumento 3x.

3.1.6 - Outros materiais

As transferências dos limites das unidades de solo para as fotografias aéreas foram efetuadas com Aéro-Skechtmaster, e as medições sobre mapas decalcados em papel vegetal usando-se planímetro po-

lar, curvímetero, compasso e régua com escala.

3.2 - Métodos

A metodologia utilizada nesta pesquisa é descrita a seguir.

3.2.1 - Seleção das áreas de estudo

Após um estudo do mapa pedológico e eleitas as unidades de solos que seriam estudadas, com auxílio de fotoíndices da região foram selecionadas as fotografias aéreas de ocorrência dessas unidades de solos e que deveriam portanto, conter a informação desejada.

Este método é sugerido por RABBEN (30) e denominado de pesquisa lógica.

3.2.2 - Obtenção dos mapas básicos de drenagem

Através do método de triangulação radial descrito por NAMI e SLEPETYS (25) efetuou-se o controle das posições relativas das fotografias.

A seguir, segundo método descrito por RABBEN (30), foi delimitada a área útil sobre os overlays de cada fotografia alternada para que ficasse sempre uma fotografia isenta de anotações para maior facilidade nas observações estereoscópicas. Embora ocorresse uma maior distorção de escala, na sequência do trabalho foi possível a correção deste fato.

Através acurado exame estereoscópico traçou-se as redes de drenagem bem definidas, independente de que fossem cursos d'água per-

manentes ou temporários, conforme sugestões de LUEDER (20), STRAHLER (41), RAY (31).

Baseados na triangulação radial anteriormente efetuada foram elaborados os mapas básicos de drenagem, e sobre estes transferidos com auxílio do Aéro-Sketchmaster por método descrito por RICCI e PETRI (33), os limites das unidades de solo do Mapa Pedológico do Município de Ponta Grossa segundo ROCHA (34). Desta forma obteve-se os mapas de drenagem das unidades de solos, de acordo com sugestões de RAY (31), isentas da exuberância da imagem fotográfica, para maior facilidade de trabalho.

3.2.3 - Seleção das bacias hidrográficas

Através exame detalhado dos mapas de drenagem e seguindo STRAHLER (41), foram selecionadas três bacias hidrográficas de mesma ordem representativas de cada unidade de solo. Considerando-se observações efetuadas por PARVIS (28), as nove bacias selecionadas foram de 3ª ordem.

Em seguida voltando as fotografias aéreas, escolheu-se aquelas em que as bacias selecionadas ocupavam a parte mais próxima ao centro com fins de diminuir a distorção a que estivessem sujeitas.

Nestas fotografias por exame estereoscópico, sobre os "overlays" foram retraçadas as redes de drenagem e traçados os divisores de água das bacias hidrográficas.

3.2.4 - Análise das bacias hidrográficas

Nos decalques definitivos, procedeu-se à análise das bacias hidrográficas, que em planta segundo FRANÇA (13), são áreas fechadas, delimitadas por divisores de água que circundam toda a área de drenagem considerada, as quais convergem para o ponto na qual o canal principal desagua em outro maior, do qual é tributário.

A análise efetuada foi do tipo proposto por BURINGH (5), e denominada de analítica, levando em consideração os seguintes elementos.

3.2.4.1 - Localização e representatividade

a) Localização

Indicação do rio a que está subordinada, e a situação em relação a vertente, através de figuras.

b) Representatividade

Levou-se em consideração a área ocupada pela unidade de solo que representa, expressa em percentagem.

3.2.4.2 - Propriedades dimensionais

a) Maior comprimento - corresponde à medida entre a foz e ponto extremo sobre a linha do divisor de águas, acompanhando aproximadamente a direção do vale principal. Foi medido com escala e expresso em quilômetros.

b) Maior largura - medida com escala transversalmente ao vale principal e expresso em quilômetros.

c) Comprimento do curso principal - medido com curvímetro, acompanhando as sinuosidades do curso principal desde a foz até a nascente, cujo percurso foi determinado segundo normas propostas por HORTON (17). Foi expresso em quilômetros.

d) Perímetro - medido por curvímetro e corresponde a linha do divisor de águas que circunda a bacia. Foi expresso em quilômetros.

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

3.2.4.3 - Propriedades não dimensionais

a) Forma aproximada - indicada pelo contorno da bacia e designada por termos descritivos (piriforme, reniforme, retangular, etc.).

b) Ordem da bacia - determinada pela ordem do rio principal nela contido, que corresponde pelo sistema adotado ao canal de drenagem de ordem mais elevada da bacia.

c) Semelhança geométrica - foi efetuada com a aplicação dos princípios sugeridos por STRAHLER (50), para os dados obtidos em cada unidade de solo estudada. Este teste foi usado para várias bacias com o objetivo de se selecionar as mais representativas para esta pesquisa.

3.2.5 - Análises das redes de drenagem

De acordo com BURINGH (5), a análise efetuada foi do tipo analítica e os elementos foram considerados isoladamente e/ou em conjunto. Estes elementos foram, de acordo com sua natureza reunidos em dois grupos: (a) quanto à composição da rede de drenagem; (b) quanto às características das redes de drenagem.

Todas as vias de drenagem, com canais definidos, quer fossem cursos d'água permanentes ou temporários foram considerados, de acordo com LUEDER (20), STRAHLER (41), RAY (31).

3.2.5.1 - Composição das redes de drenagem

a) Ordem de ramificação - os canais de drenagem, aqui também denominados de segmentos de rios, foram classificados segundo sistema de HORTON (17), modificado por STRAHLER (41), designando-se a ordem genericamente com a letra w .

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

Para cada unidade de solo foram ainda calculados o número de segmentos de rios de cada ordem de ramificação e o número total, através dos seguintes procedimentos:

- média ponderada em relação a área das bacias;
- equação ajustada por MAXWELL (23) ($N_w = \log a - w \log b$);
- lei do número de rios enunciada por HORTON (17).

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

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

- média ponderada em relação à área das bacias;
- equação ajustada por FRANÇA (13) ($\log L_w = \log a - w \log b$);
- lei dos comprimentos de rios enunciada por HORTON (17).

d) Comprimentos médios de rios - determinados para cada ordem de segmentos de rios nas bacias hidrográficas, dividindo-se o número de segmentos (N_w) pelos comprimentos totais de segmentos de rios (L_w) observados e designados por L_m .

Também calculou-se, 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 (44);
- lei dos comprimentos de rios, enunciada por HORTON (17).

e) Razão de bifurcação ou ramificação - HORTON (16) a define como a relação entre o número de segmentos de rios de uma dada ordem e o da ordem imediatamente mais elevada.

Foi designada por R_b e calculada entre cada duas ordens de rios consecutivas em todas as bacias hidrográficas segundo indica-

ção de STRAHLER (41).

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

Também foi calculada a razão de ramificação segundo MAXWELL (25), onde $R_b = \text{ant log } b$ e FRANÇA (13) pela relação $R_l = \frac{R_b}{R_{lw}}$

f) Razão de comprimentos totais - vem a ser segundo STRAHLER (41), 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} .

Para cada unidade de solo estudado foram calculados também os valores médios da razão de comprimentos totais através de:

- a média aritmética dos dados observados;
- a equação ajustada por FRANÇA (13), onde $R_{lw} = \text{ant log } b$;
- pela relação preconizada por FRANÇA (13), onde $R_l = \frac{R_b}{R_{lw}}$.

g) Razão de comprimentos médios - segundo HORTON (17) diz respeito a relação entre o comprimento médio de segmentos de rios de uma dada ordem e o da ordem imediatamente inferior, e 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 calculou-se ainda os valores médios da razão de comprimentos médios, por meio da:

- média aritmética dos valores observados nas bacias hidrográficas;

- equação ajustada por VASQUES FILHO (44), onde $R\dot{l} = \text{ant log } b$;
- relação proposta por FRANÇA (13), onde $Rl = \frac{Rb}{Rlw}$.

3.2.5.2 - Características descritivas das redes de drenagem

O padrão de drenagem das bacias hidrográficas foi descrito segundo LUEDER (20), sendo incluído o tipo segundo PARVIS (28).

3.2.5.3 - Características quantitativas das redes de drenagem

a) Densidade de drenagem - Foram calculadas, para todas ba cias hidrográficas segundo HORTON (17) e designadas por Dd, e em três amostras circulares de 10 km^2 selecionadas para cada unidade de solo estudada, segundo RAY e FISCHER (32) propõe para interpretação lotoló gica, e designada por Ddc.

b) Frequência de rios - Foi calculada para todas bacias hi drográficas segundo HORTON (17) e designada por F.

Foi também calculada para as amostras circulares através a relação entre o número de rios na área da amostra circular e foi re- presentado por Fc.

c) Razão de textura - Foi calculada para todas bacias hi drográficas, segundo definição de SMITH (40), modificada por FRANÇA (13) e designada por T.

Foi também determinada para as amostras circulares onde ex

pressa o número de rios no perímetro da amostra circular, e designada por T_c .

d) Razão de textura média - Calculada para cada unidade de solo estudada, segundo FRANÇA (13), e designada por T_m .

Também determinada para cada unidade de solo estudada nas amostras circulares, onde vem a ser a média aritmética da razão de textura em amostras circulares, e designada por T_{mc} .

e) Textura topográfica - Baseados na razão de textura média das bacias hidrográficas, as unidades de solo estudadas foram classificadas quanto a textura topográfica, segundo proposição de SMITH (40) adaptadas por FRANÇA (13) indicadas no Quadro 3.

O mesmo foi efetuado para os dados obtidos em amostras circulares.

QUADRO 3 - Classes de Textura Topográfica, Baseada nos Valores da Razão de Textura Média, Proposto por SMITH (40) e Adaptado por FRANÇA (13).

Classe de textura topográfica	Razão de textura média	
	Perímetro expresso em milhas	Perímetro expresso em km
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

3.2.5.4 - Relações entre características quantitativas das redes de drenagem

Foram efetuados estudos comparativos entre:

- a) razão de textura média (T_m) e densidade de drenagem, ambas de bacias hidrográficas (D_d);
- b) razão de textura média (T_m) de bacias hidrográficas e densidade de drenagem (D_{dc}) de amostras circulares, conforme sugestão de FRANKÇA (13);
- c) razão de textura média (T_{mc}) de amostras circulares e densidade de drenagem (D_d) de bacias hidrográficas;
- d) razão de textura média (T_{mc}) e densidade de drenagem (D_{dc}), ambas de amostras circulares;
- e) frequência de rios (F_c) de amostras circulares e densidade de drenagem (D_d) de bacias hidrográficas;
- f) frequência de rios (F_c) e densidade de drenagem (D_{dc}), ambas de amostras circulares;
- g) frequência de rios (F) e densidade de drenagem (D_d) de bacias hidrográficas, conforme sugestão de VASQUES FILHO (44);
- h) densidades de drenagem de bacias hidrográficas (D_d) e de amostras circulares (D_{dc});
- i) razões de textura média de bacias hidrográficas (T_m) e de amostras circulares (T_{mc}).

4. RESULTADO

4.1 - Características das bacias hidrográficas.

As bacias hidrográficas representativas das unidades de solo estudadas se encontram nas Figuras 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 e 17 e os resultados são apresentados a seguir.

4.1.1 - Localização

A situação geográfica em que se encontram as bacias, dentro de cada unidade de solo, estão representadas nas Figuras 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 e 18.

4.1.2 - Representatividade

As bacias hidrográficas I, II e III da unidade de mapeamento Latossol Vermelho Escuro-Orto apresentam pequenas inclusões de solos aluviais e hidromórficos em alguns vales, não ultrapassando 7,3% da área, na bacia de maior ocorrência desses solos.

O restante das bacias, representam integralmente as unidades de solo estudadas, de acordo com o mapa pedológico do Município de Ponta Grossa (ROCHA (34)).

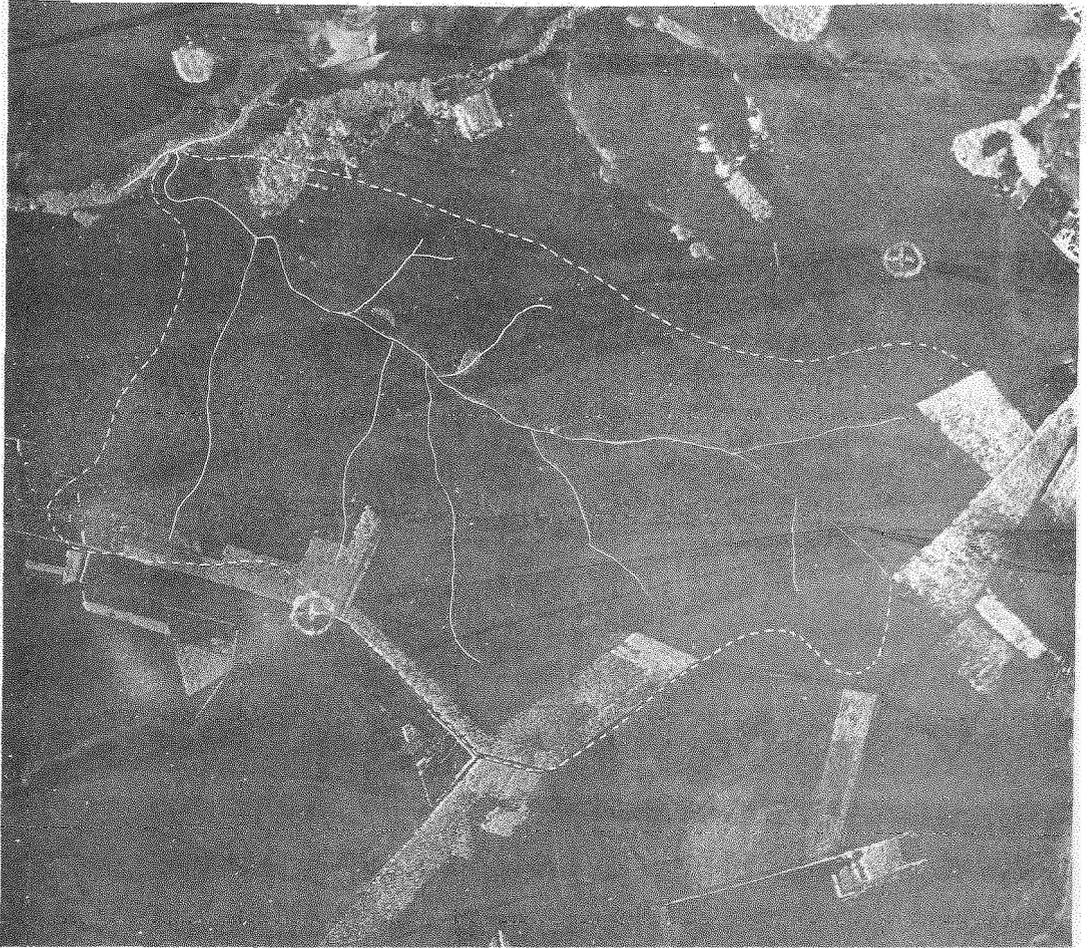


FIGURA 1 - Bacia Hidrográfica I, Representativa da Unidade de Solo Latossol Vermelho Escuro Orto (Escala 1:25.000).

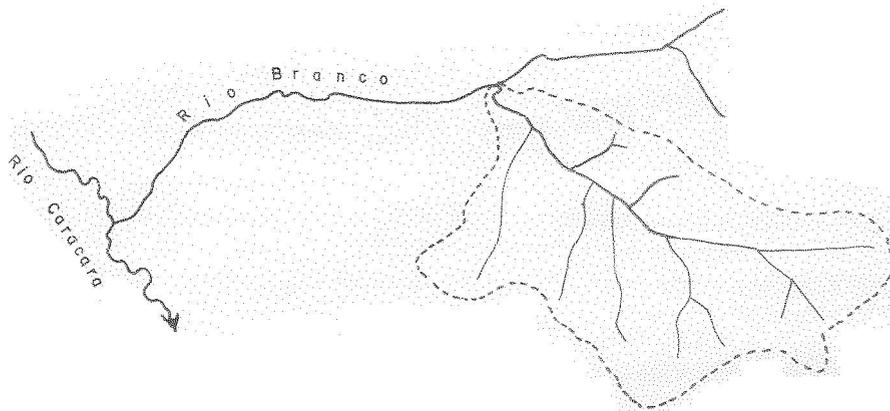


FIGURA 2 - Localização da Bacia Hidrográfica I (Escala 1:50.000).



FIGURA 3 - Bacia Hidrográfica II, Representativa da Unidade de Solo Latossol Vermelho Escuro Orto (Escala 1: 25.000).

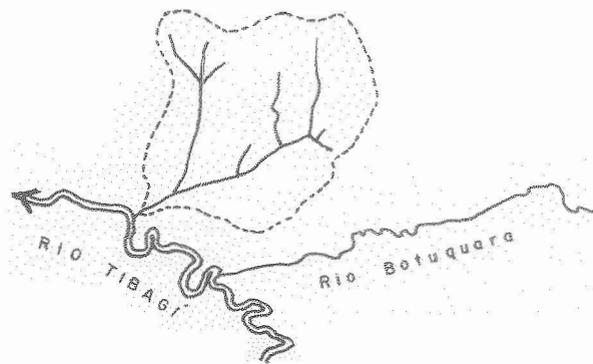


FIGURA 4 - Localização da Bacia Hidrográfica II (Escala 1: 50.000).

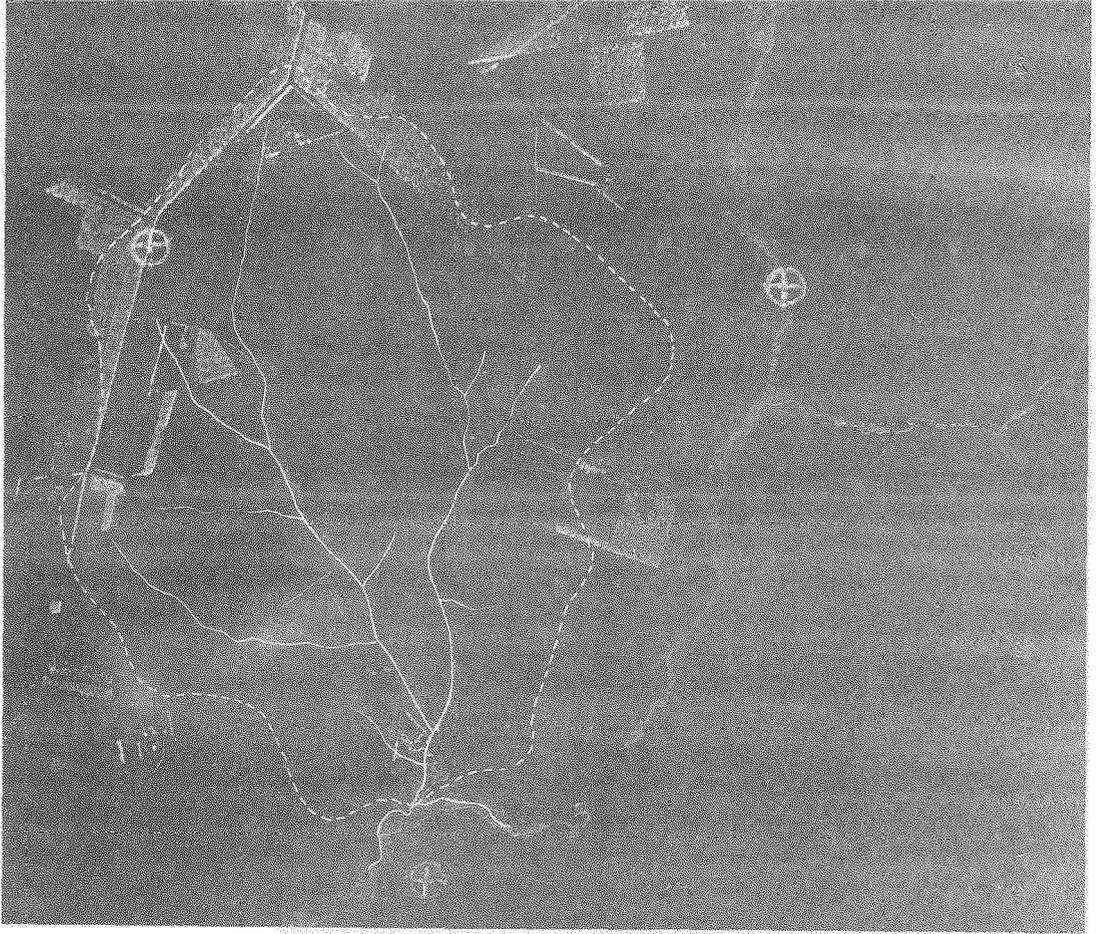


FIGURA 5 - Bacia Hidrográfica III, Representativa da Unidade de Solo Latossol Vermelho Escuro Orto (Escala 1:25.000).

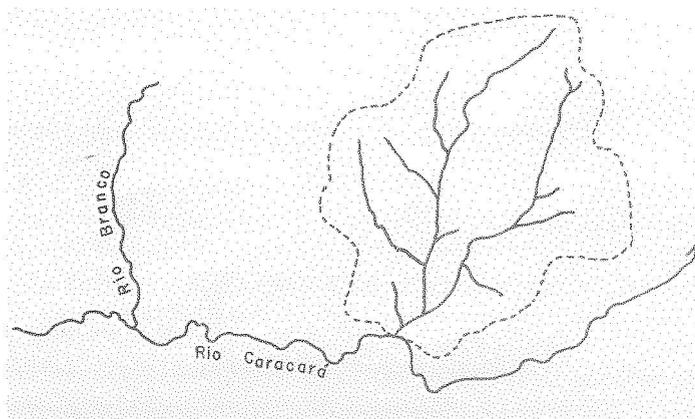


FIGURA 6 - Localização da Bacia Hidrográfica III (Escala 1:50.000).



FIGURA 7 - Bacia Hidrográfica IV, Representativa da Unidade de Solo Latossol Vermelho Amarelo (Escala 1: 25.000).

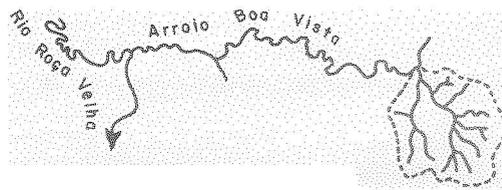


FIGURA 8 - Localização da Bacia Hidrográfica IV (Escala 1: 50.000)

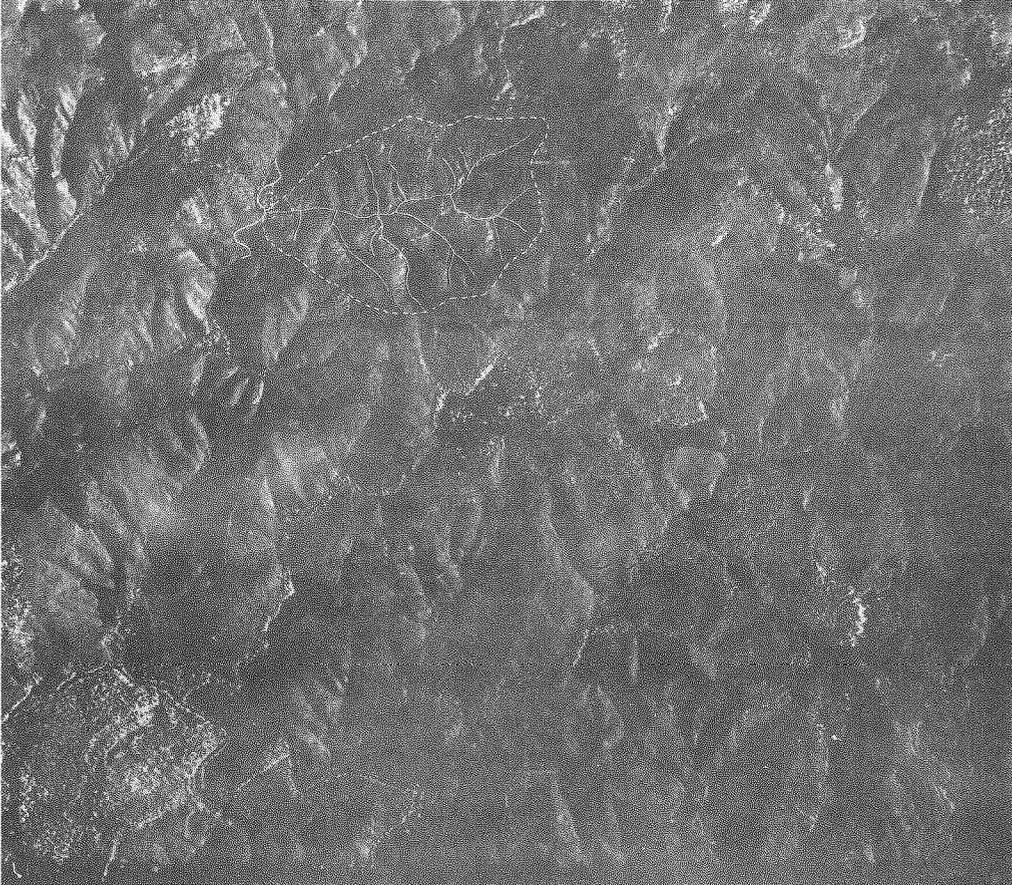


FIGURA 9 - Bacia Hidrográfica V, Representativa da Unidade de Solo Latossol Vermelho Amarelo (Escala 1: 25.000).

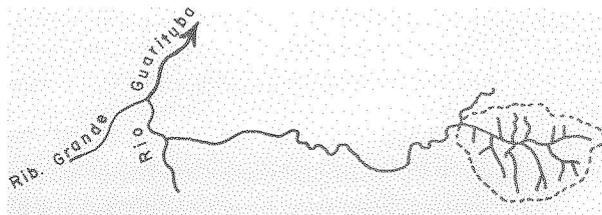


FIGURA 10 - Localização da Bacia Hidrográfica V (Escala 1: 50.000).

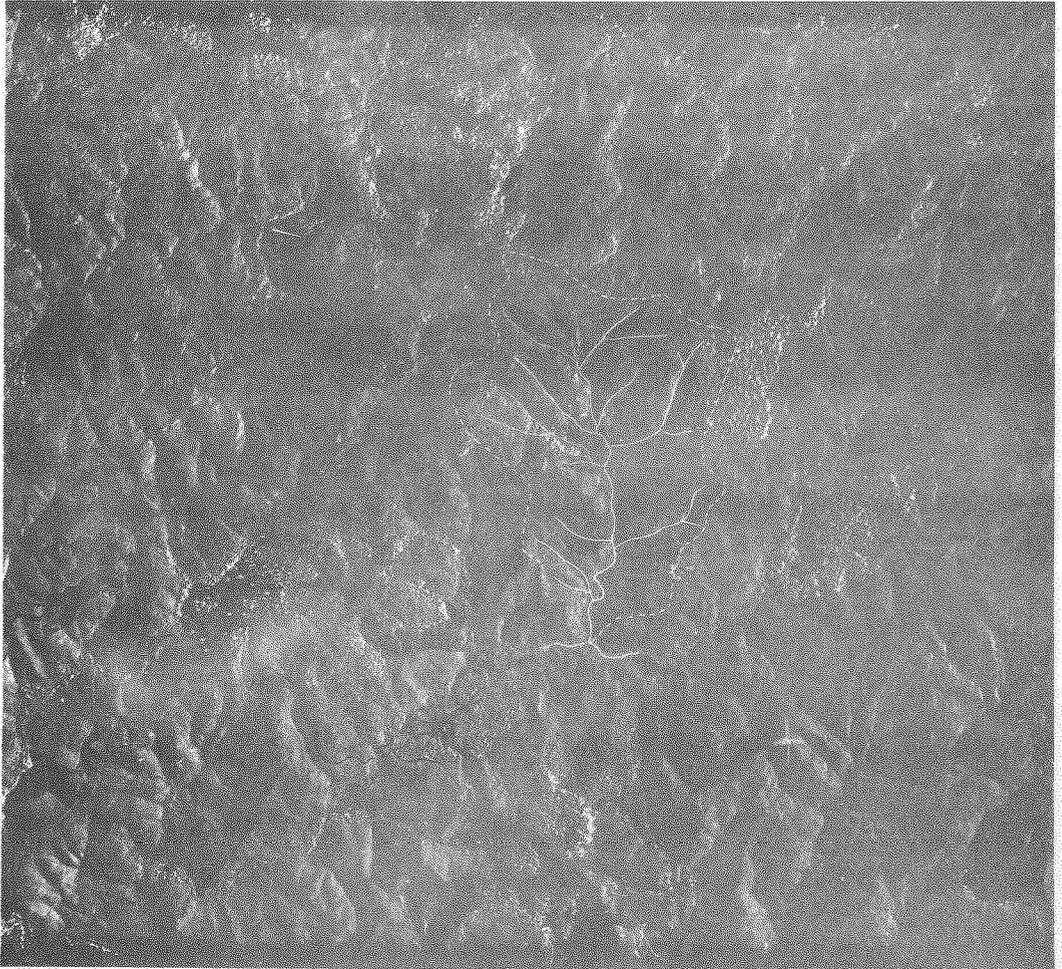


FIGURA 11 - Bacia Hidrográfica VI, Representativa da Unidade de Solo Latossol Vermelho Amarelo (Escala 1: 25.000).



FIGURA 12 - Localização da Bacia Hidrográfica VI (Escala 1: 50.000).

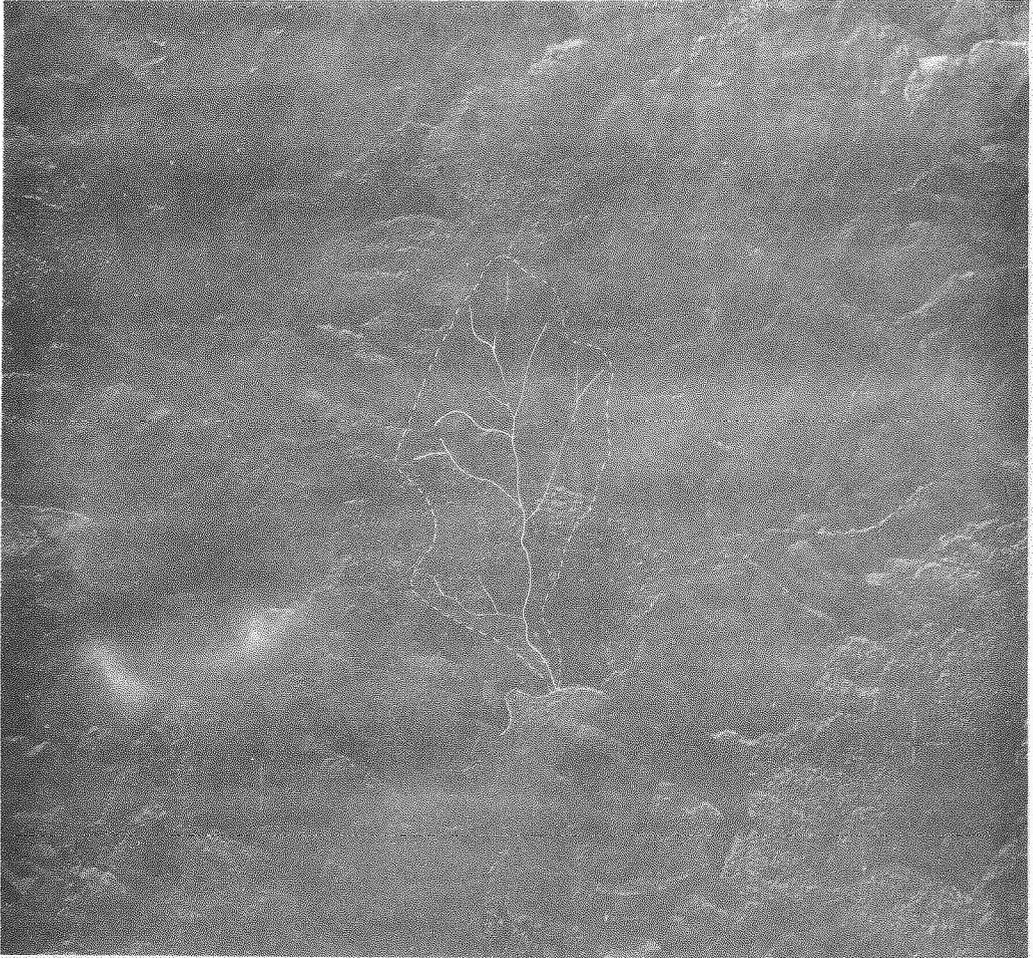


FIGURA 13 - Bacia Hidrográfica VII, Representativa da Unidade de Solo Latossol Vermelho Escuro Dolomítico (Escala 1: 25.000).

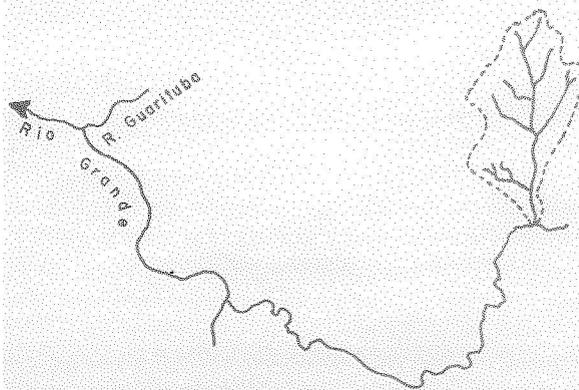


FIGURA 14 - Localização da Bacia Hidrográfica VII (Escala 1:50.000).

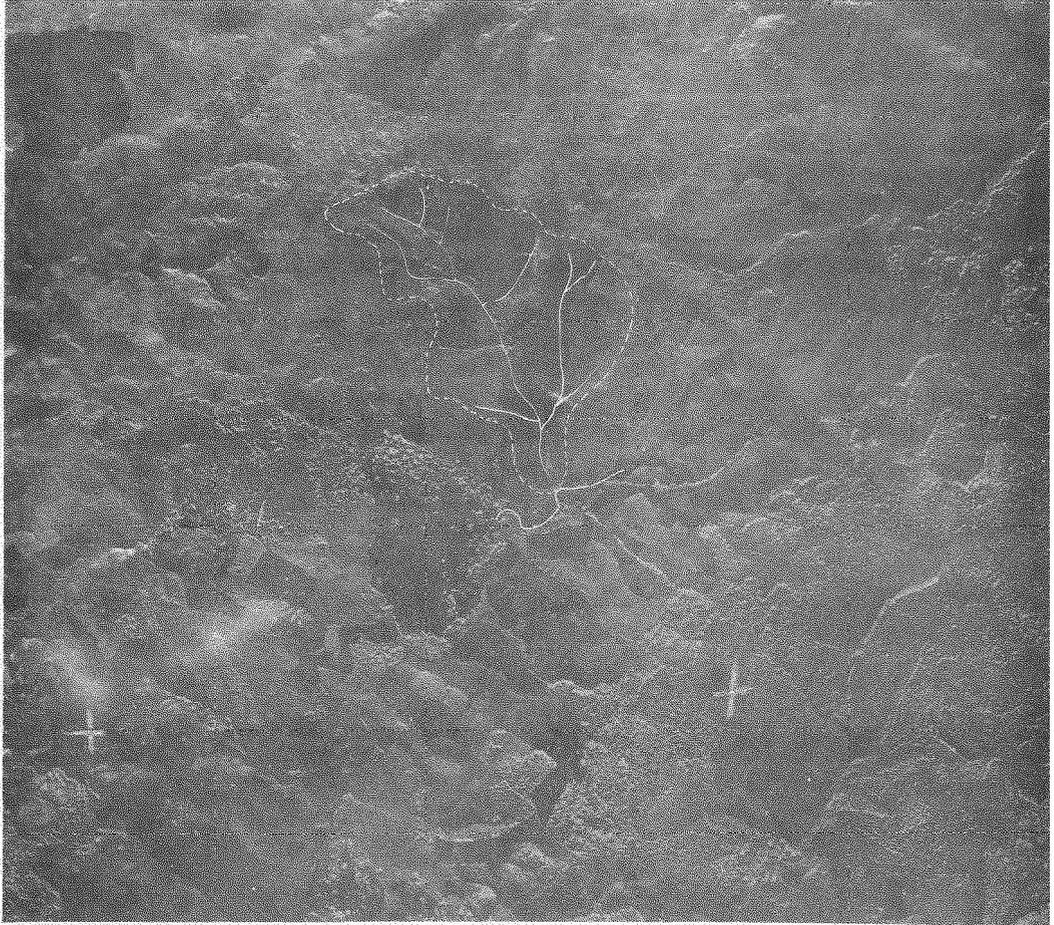


FIGURA 15 - Bacia Hidrográfica VIII, Representativa da Unidade de Solo Latossol Vermelho Escuro Dolomítico (Escala 1:25.000).

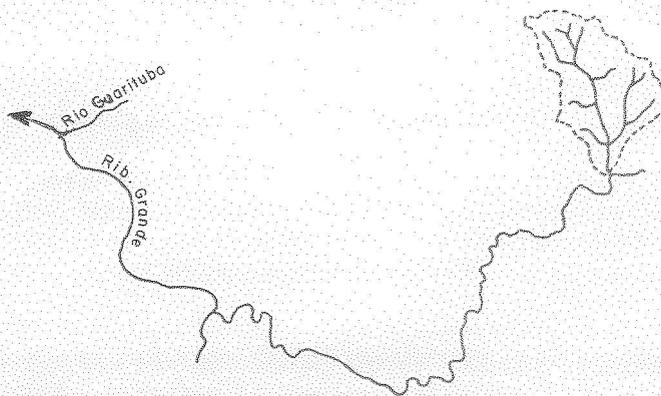


FIGURA 16 - Localização da Bacia Hidrográfica VIII (Escala 1:50.000).

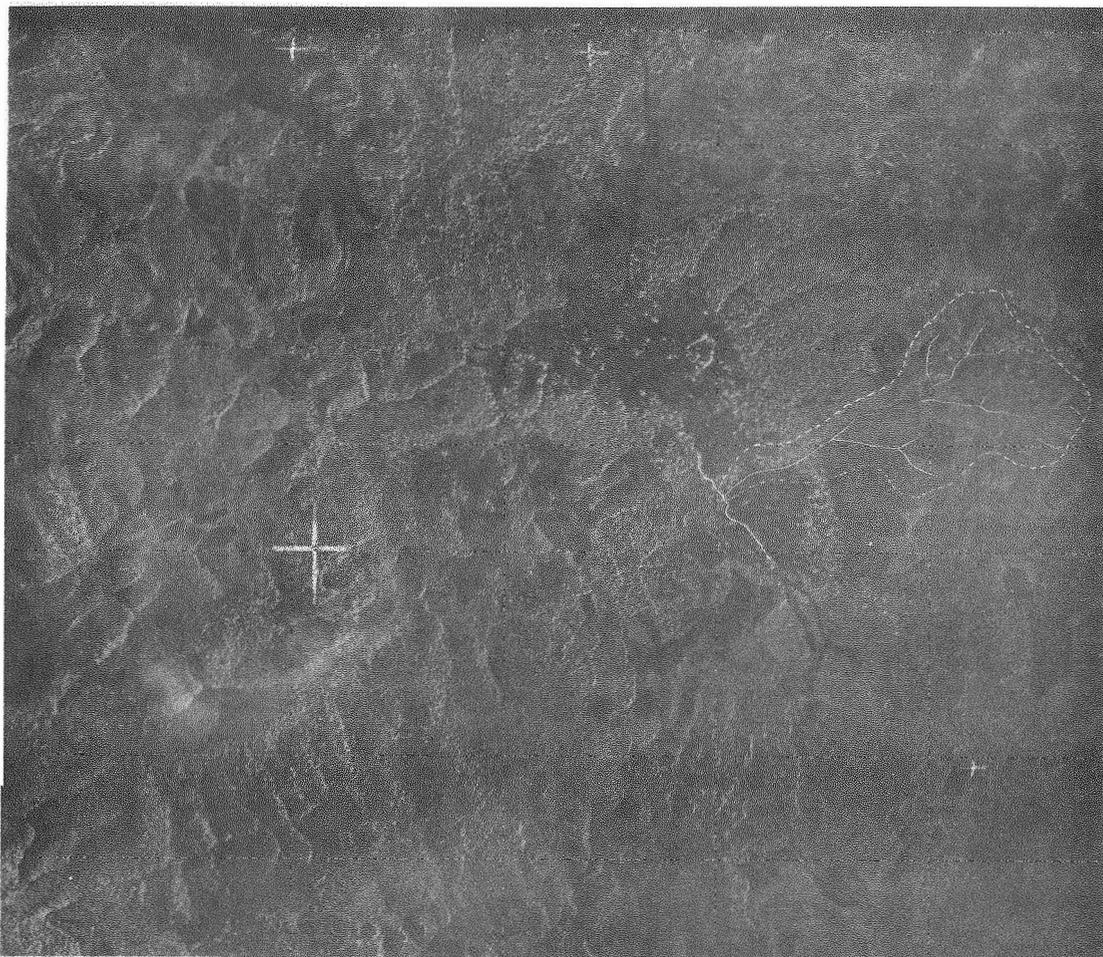


FIGURA 17 - Bacia Hidrográfica IX, Representativa da Unidade de Solo Latossol Vermelho Escuro Dolomítico (Escala 1:25.000).



FIGURA 18 - Localização da Bacia Hidrográfica IX (Escala 1:50.000).

4.1.3 - Propriedades não dimensionais

Algumas propriedades representadas por números sem dimensão ou apenas descritivas, utilizadas na caracterização das bacias hidrográficas, encontram-se no Quadro 4.

4.1.4 - Propriedades dimensionais

As propriedades expressas por números dimensionais, selecionadas para a caracterização das bacias hidrográficas que representam as unidades de solo estudadas, encontram-se no Quadro 5.

4.1.5 - Análise dimensional

A análise dimensional foi empregada na seleção das bacias hidrográficas, servindo como teste de semelhança geométrica. Os resultados obtidos, indicados no Quadro 6, demonstram que as bacias selecionadas preenchem satisfatoriamente aquela exigência, para representar as unidades de solo estudadas.

4.2 - Características das amostras circulares

As amostras circulares que representam as unidades de solos estudadas estão indicadas nas Figuras 19, 20 e 21; e as suas características dimensionais no Quadro 7.

QUADRO 4 - Propriedades Não Dimensionais das Bacias Hidrográficas Representativas das Unidades de Solos Estudadas.

Unidade de Solo	Ordem (w)	Bacia Hidrográfica	Forma aproximada	Simetria das vertentes
Latossol Vermelho Escuro orto	3ª	I	Trapezoidal	Assimétrica
	3ª	II	Trapezoidal	Assimétrica
	3ª	III	Trapezoidal	Assimétrica
Latossol Vermelho Amarelo	3ª	IV	Circular	Simétrica
	3ª	V	Oval	Assimétrica
	3ª	VI	Trapezoidal	Assimétrica
Latossol Vermelho Escuro dolomítico	3ª	VII	Losangular	Assimétrica
	3ª	VIII	Triangular invertida	Assimétrica
	3ª	IX	Triangular alongada	Simétrica

QUADRO 5 - Propriedades Dimensionais das Bacias Hidrográficas.

Unidade de Solo	Bacia Hidrográfica	Maior comprimento (C) (km)	Maior largura (L) (km)	Comprimento de rios		Perímetro (P) (km)	Área (A) (km ²)
				incipial Cp (km)	Rede Cr (km)		
Latossol Vermelho Escuro orto	I	2,90	1,90	3,20	9,62	9,00	3,58
	II	1,80	1,50	1,86	4,75	5,00	1,64
	III	2,50	2,00	2,50	8,25	7,00	3,14
Latossol Vermelho Amarelo	IV	0,87	0,75	0,86	4,30	2,80	0,45
	V	0,98	0,63	1,00	4,50	3,00	0,47
	VI	1,32	0,95	1,37	6,50	3,70	0,72
Latossol Vermelho Escuro dolomítico	VII	1,42	0,72	1,46	4,70	3,50	0,67
	VIII	1,20	0,70	1,27	3,75	3,10	0,54
	IX	1,25	0,62	1,33	3,35	3,00	0,41

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

Unidade de Solo	Bacias hidrográficas com paradas	Razão de escala linear (R)				Razão média (Rm)	Razão de escala quadrática (R ²)	
		C/C'	L/L'	Cp/Cp'	Cr/Cr'		P/P'	A/A'
LVE - ortó	I/II	1,61	1,26	1,72	2,02	1,80	2,18	2,82
	II/III	0,72	0,75	0,74	0,57	0,71	0,52	0,49
	III/I	0,86	1,05	0,78	0,86	0,77	0,87	0,74
LVA	IV/V	0,66	1,19	0,86	0,95	0,93	0,96	0,83
	V/VI	0,75	0,66	0,73	0,69	0,81	0,65	0,53
	VI/IV	1,52	1,27	1,59	1,51	1,32	1,60	2,07
LVE - dolomítico	VII/VIII	1,18	1,03	1,15	1,25	1,13	1,24	1,32
	VIII/IX	0,96	1,13	0,95	1,12	1,03	1,32	1,08
	IX/VII	0,88	0,86	0,91	0,71	0,86	0,61	0,71

QUADRO 7 - Características Dimensionais das Amostras Circulares Representativas das Unidades de Solos Estudadas. (Área = 10 km²; Perímetro = 11,18 km).

Unidade de Solo	Amostras Circulares	Nº de segmentos de rios em cada ordem					Total	Comprimento da rede Circ (km)
		em cada ordem						
		1ª	2ª	3ª	4ª	5ª		
Latossol Vermelho Escuro orto	A	30	8	2	--	--	40	24,00
	B	31	8	2	--	--	41	21,50
	C	26	6	3	--	--	35	21,00
Latossol Vermelho Amarelo	D	317	77	18	4	1	417	85,55
	E	332	88	22	4	1	447	87,20
	F	372	106	28	6	1	513	91,00
Latossol Vermelho Escuro dolomítico	G	248	59	16	3	--	326	71,50
	H	192	55	10	3	--	260	67,80
	I	234	59	13	4	--	310	66,10

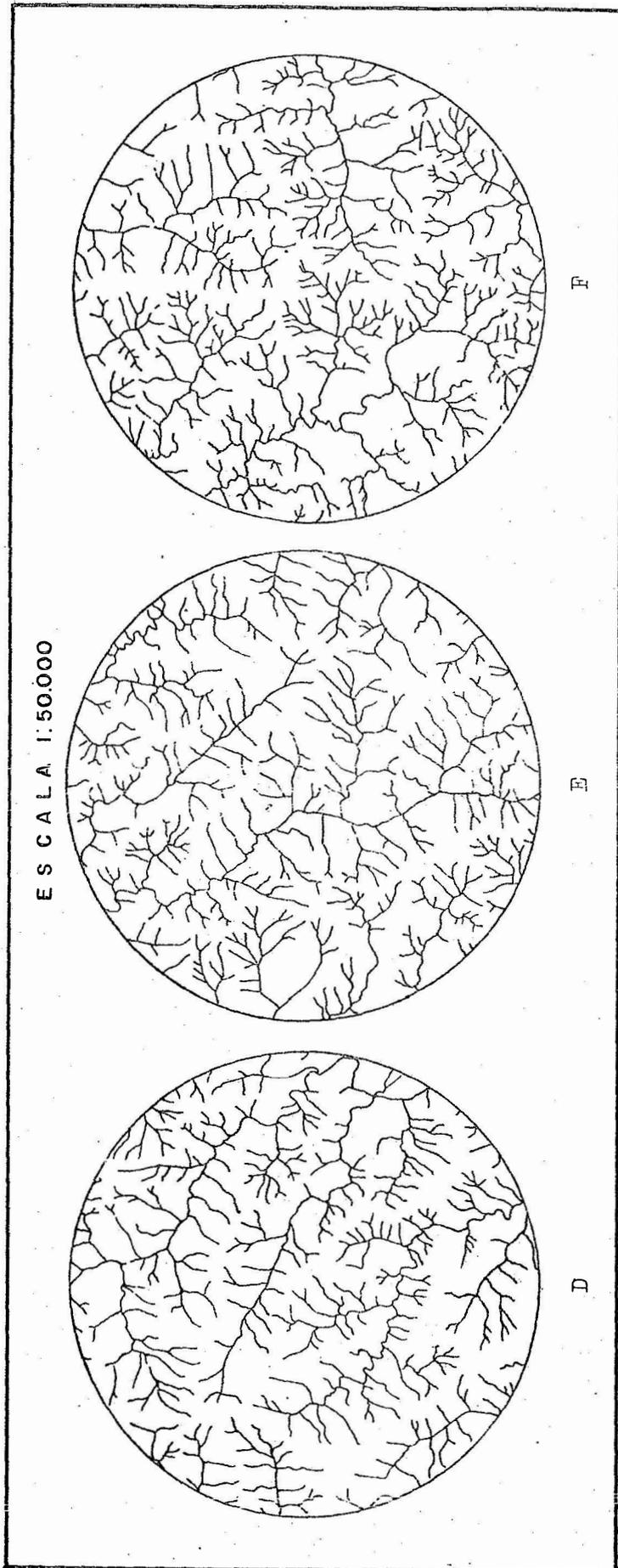


FIGURA 20 - Amostras Circulares (10 km²) Representativas da Unidade de Solo Latossol Vermelho Amarelo.

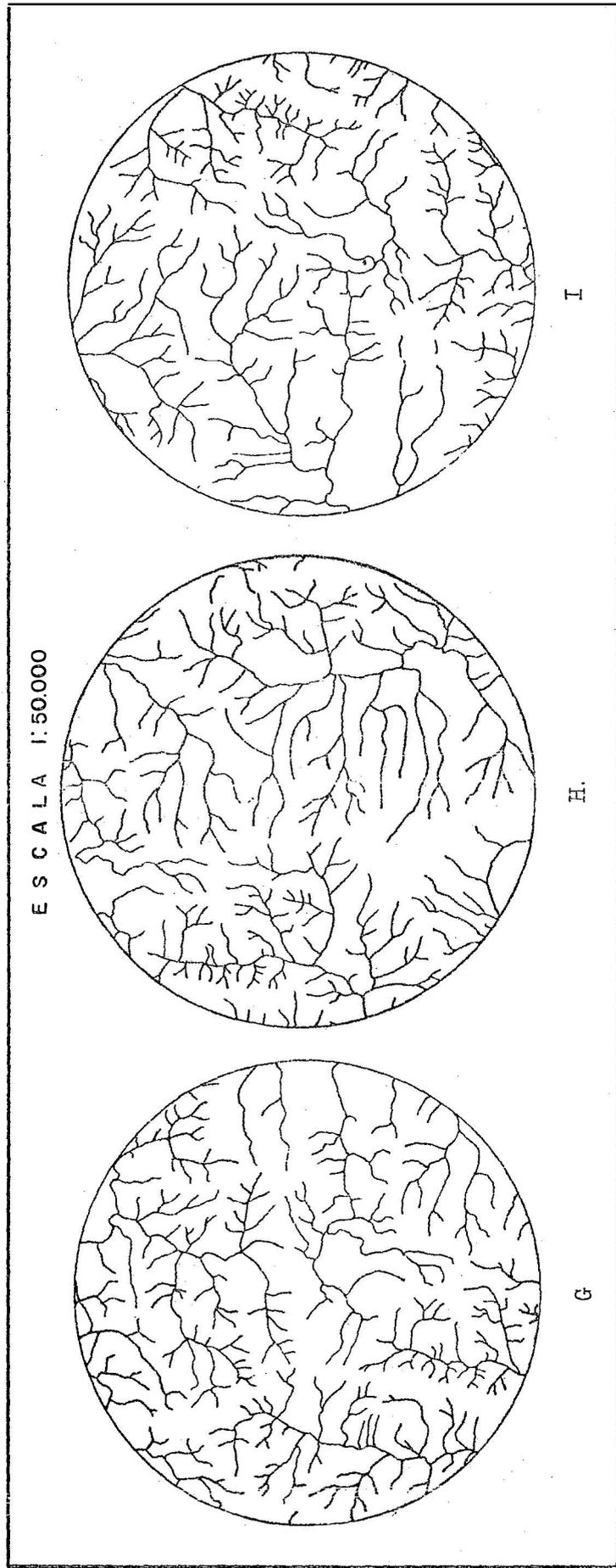


FIGURA 21 - Amostras Circulares Representativas da Unidade de Solo Latossol Vermelho Escuro dolomítico.

4.3 - Características das redes de drenagem

O estudo das características das redes de drenagem representativas das unidades de solos, forneceu os resultados apresentados a seguir.

4.3.1 - Características descritivas dos padrões de drenagem

As características descritivas dos padrões das redes de drenagem das unidades de solos estudadas estão resumidas no Quadro 8, e permitem as seguintes inferências:

a) Latossol Vermelho Escuro - orto

É o que tem maior relação infiltração/deflúvio dos três solos, e possui controle topográfico, evidências que decorrem de sua baixa densidade e distribuição dos tributários.

b) Latossol Vermelho Amarelo

É o que possui menor relação infiltração/deflúvio dos solos e apresenta controle estrutural, evidências decorrentes de sua densidade de drenagem alta e modelo regionalmente retangular.

c) Latossol Vermelho Escuro - dolomítico

No tocante à relação infiltração/deflúvio, ocupa posição intermediária, assemelhando-se mais ao Latossol Vermelho Amarelo, dada sua alta densidade de drenagem. Sua rede de drenagem apresenta controle litológico, o que explica aspectos de variação direcional em alguns tributários.

QUADRO 8 - Características Descritivas das Redes de Drenagem das Unidades de Solos Estudadas.

Características	Latossol Vermelho Escuro orto	Latossol Vermelho Amarelo	Latossol Vermelho Escuro dolomítico
Grau de integração	Médio	Alto	Alto
Densidade	Baixa	Alta	Alta
Grau de uniformidade	Pouco uniforme	Não uniforme	Não uniforme
Orientação	Pouco orientado	Orientado	Orientado
Grau de controle	Baixo	Alto	Moderado
Ângulos de junção	Agudos e retos	Agudos e retos	Predominantemente agudos
Angularidade	Ausente	Alta	Média
Tipo ou modelo	Complexo, tendendo para angular	Dendritico retangular	Dendritico modificado
Anomalias	Tributários irregularmente distribuídos	Modelo localmente dendrítico e regionalmente re-tangular	Variações locais na densidade e aspectos direcionais

4.3.2 - Características quantitativas das redes de drenagem

4.3.2.1 - Bacias hidrográficas

As características quantitativas das redes de drenagem, relacionando o comprimento total de segmentos de rios (STRAHLER (41)) à área das bacias hidrográficas e o número de rios segundo HORTON (17) ao perímetro e à área das bacias hidrográficas; e a determinação da média ponderada da razão de textura para as unidades de solo e sua respectiva classe de textura topográfica, encontram-se indicadas no Quadro 9.

4.3.2.2 - Amostras circulares

De modo análogo ao utilizado para as redes de drenagem das bacias hidrográficas, procedeu-se para as amostras circulares representativas das unidades de solo, obtendo-se as mesmas características, indicadas no Quadro 10.

4.3.3 - Relação entre características quantitativas das redes de drenagem

O Quadro 11 apresenta as médias das características quantitativas das redes de drenagem obtidas para as bacias hidrográficas e amostras circulares representativas das unidades de solos estudadas e suas respectivas classes de textura topográfica, de acordo com os valores de razão de textura média para as bacias hidrográficas.

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

Características quantitativas observadas	LVE - orto			LVA			LVE - dolomítico		
	A m o s t r a s c i r c u l a r e s								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Frequência de rios (Fc)	3,00	3,10	2,60	31,70	33,20	37,20	24,80	19,20	23,40
Frequência de rios média (Fm)	2,90			34,03			22,70		
Erro padrão da média	± 0,15			± 1,61			± 1,82		
Densidade de drenagem (Ddc)	2,40	2,15	2,10	8,55	8,72	9,10	7,15	6,78	6,61
Densidade de drenagem média (Ddcm)	2,22			8,79			6,85		
Erro padrão da média	± 0,09			± 0,16			± 0,16		
Razão de textura (Tc)	2,69	2,77	2,32	28,35	29,70	33,26	22,18	16,28	20,93
Razão de textura média (Tmc)	2,59			30,43			19,80		
Erro padrão da média	± 0,14			± 1,46			± 1,79		
Classe textural topográfica	média			fina			fina		

QUADRO 11 - Média da Frequência de Rios, Densidade de Drenagem e Razão de Textura das Bacias Hidrográficas e Amostras Circulares nas Unidades de Solos Estudadas.

Características	LVE - orto	LVA	LVE - dolomítico
Frequência de rios nas bacias hidrográficas (F)	3,82	29,97	23,29
Frequência de rios nas amostras circulares (Fc)	2,90	34,03	22,70
Densidade de drenagem nas bacias hidrográficas (Dd)	2,74	9,38	7,37
Densidade de drenagem nas amostras circulares (Ddc)	2,22	8,79	6,85
Razão de textura média das bacias hidrográficas (Tm)	1,41	4,93	3,36
Razão de textura média em amostras circulares (Tmc)	2,59	30,43	19,80
Classe de textura topográfica (bacias hidrográficas)	grosseira	média	média

Com base nos dados obtidos, foi possível estabelecer as relações seguintes, para as unidades de solos estudadas:

a) relação entre razão de textura média (T_m) e densidade de drenagem (D_d), ambas de bacias hidrográficas, apresentada na Figura 22;

b) relação entre razão de textura média (T_m) de bacias hidrográficas e densidade de drenagem (D_{dc}) de amostras circulares, apresentada na Figura 23;

c) relação entre razão de textura média (T_{mc}) de amostras circulares e densidade de drenagem (D_d) de bacias hidrográficas, apresentada na Figura 24;

d) relação entre razão de textura média (T_{mc}) e densidade de drenagem (D_{dc}), ambas de amostras circulares, apresentada na Figura 25;

e) relação entre frequência de rios (F_c) de amostras circulares e densidade de drenagem (D_d) de bacias hidrográficas, apresentada na Figura 26;

f) relação entre frequência de rios (F_c) e densidade de drenagem (D_{dc}), ambas de amostras circulares, apresentada na Figura 27;

g) relação entre frequências de rios (F) e densidade de drenagem (D_d) de bacias hidrográficas, apresentada na Figura 28;

h) relação entre as densidades de drenagem de bacias hidrográficas (D_d) e de amostras circulares (D_{dc}), apresentada na Figura 29;

i) relação entre as razões de textura média de bacias hidrográficas (T_m) e de amostras circulares (T_{mc}), apresentada na Figura 30.

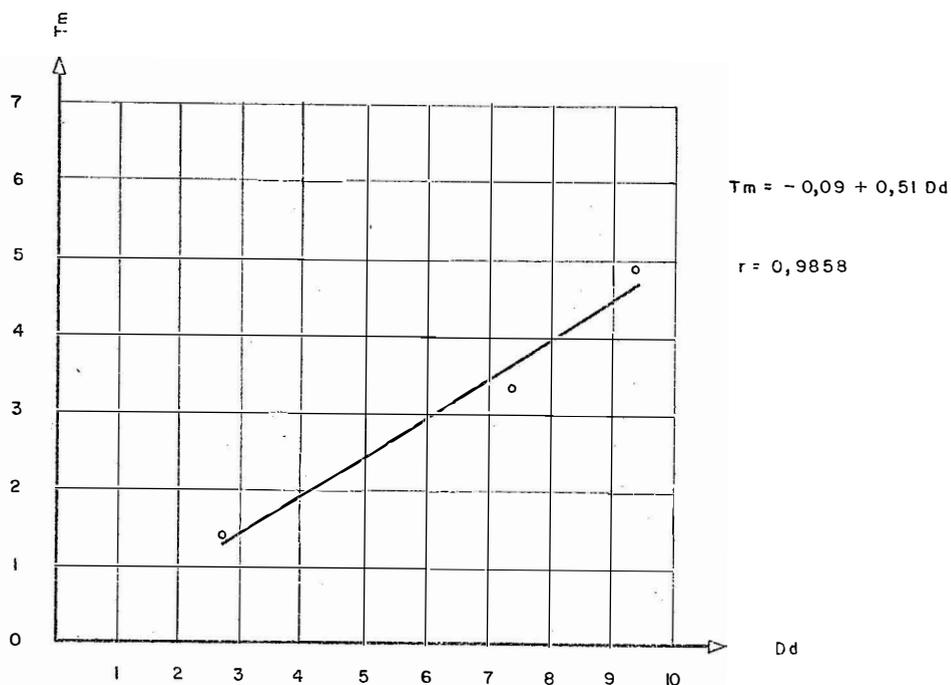


FIGURA 22 - Relação Funcional Entre Razão de Textura Média e Valores Médios de Densidade de Drenagem de Bacias Hidrográficas, para as Três Unidades de Solos Estudadas.

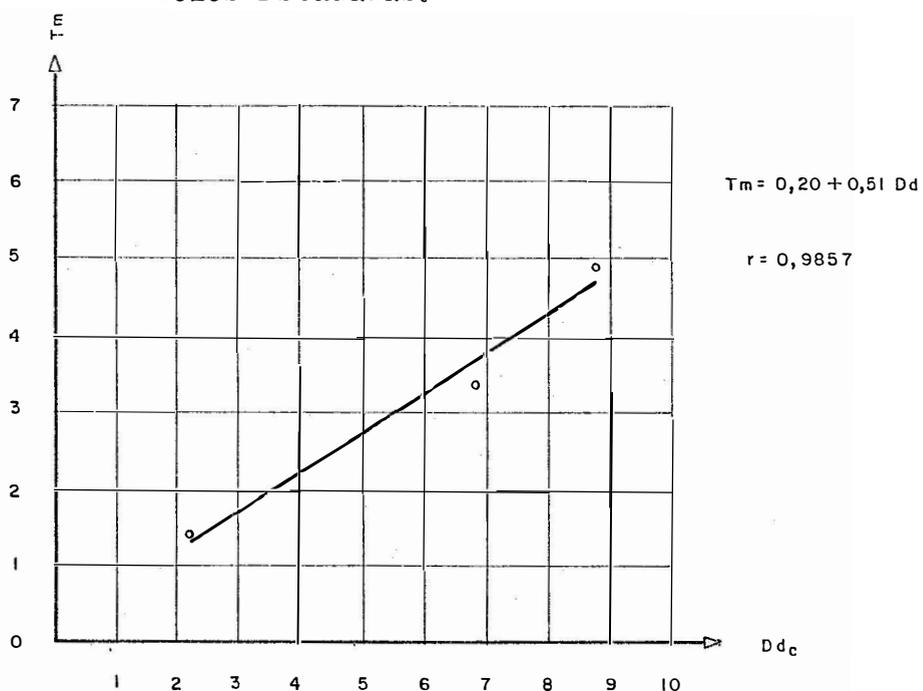


FIGURA 23 - Relação Funcional Entre Razão de Textura Média de Bacias Hidrográficas e Valores Médios de Densidade de Drenagem de Amostras Circulares Para as Três Unidades de Solo Estudadas.

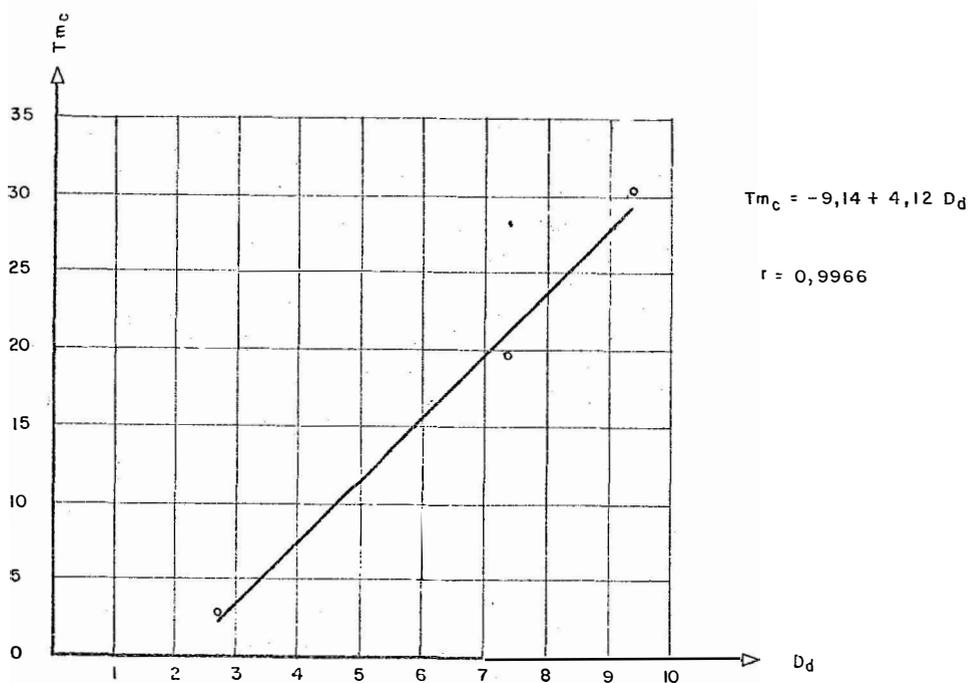


FIGURA 24 - Relação Funcional Entre Razão de Textura Média de Amostras Circulares e os Valores Médios de Densidade de Drenagem de Bacias Hidrográficas Para as Três Unidades de Solos Estudadas.

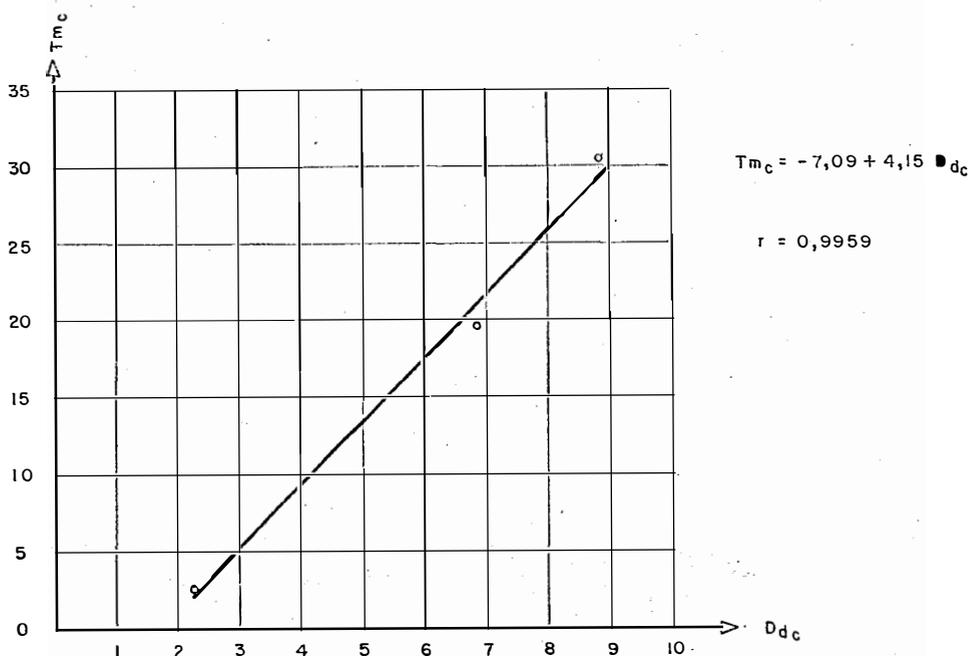


FIGURA 25 - Relação Funcional Entre Razão de Textura Média e Valores Médios de Densidade de Drenagem, de Amostras Circulares, para as Três Unidades de Solos Estudadas.

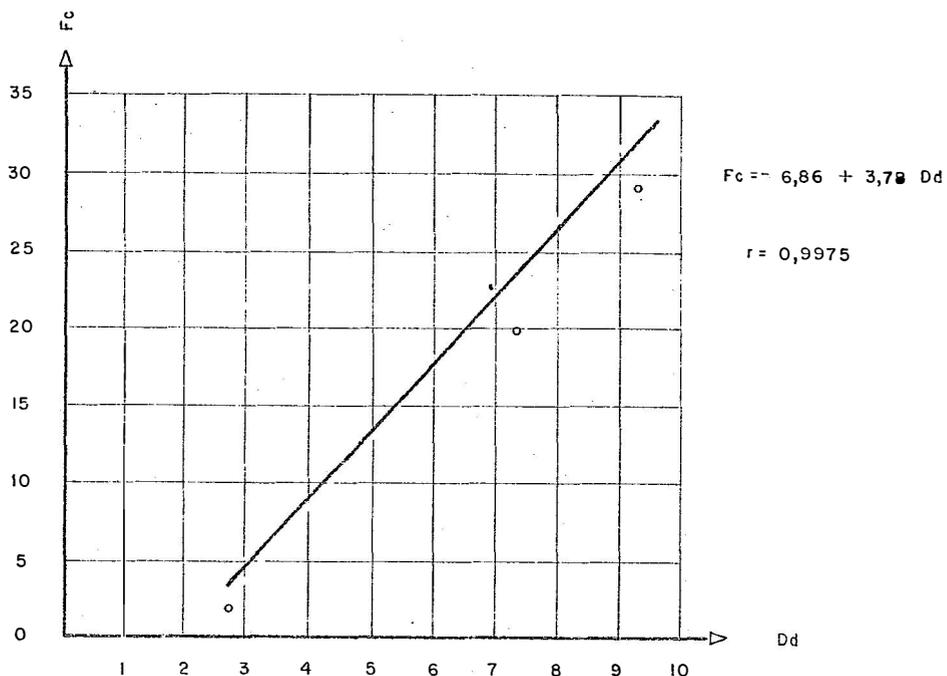


FIGURA 26 - Relação Funcional Entre os Valores Médios de Frequência de Rios de Amostras Circulares e Densidade de Drenagem de Bacias Hidrográficas Para as Três Unidades de Solos Estudadas.

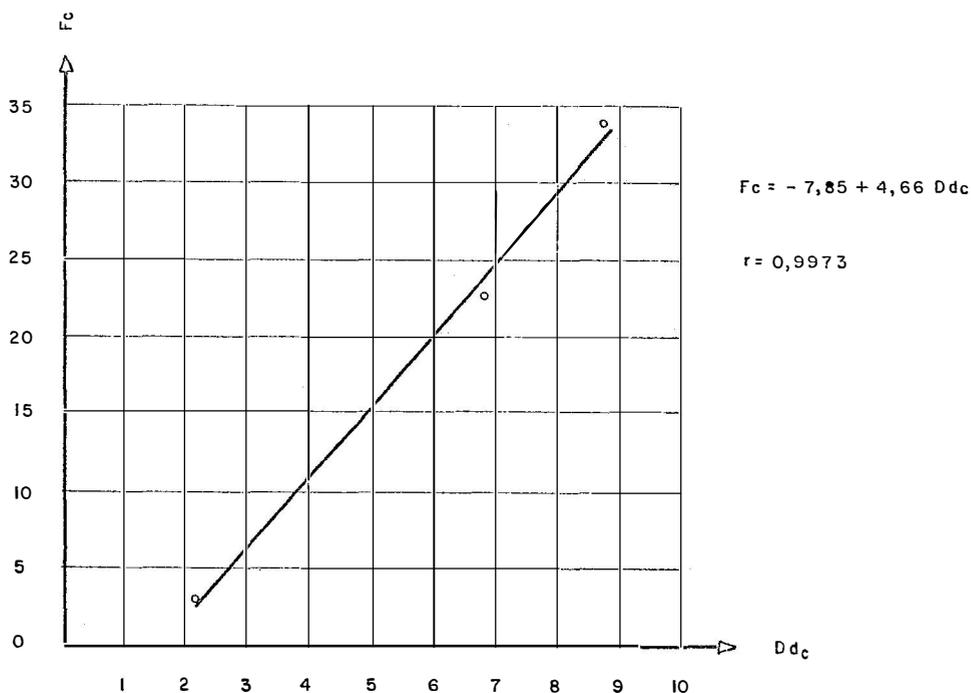


FIGURA 27 - Relação Funcional Entre os Valores Médios de Frequência de Rios e Densidade de Drenagem em Amostras Circulares Para as Três Unidades de Solos Estudadas.

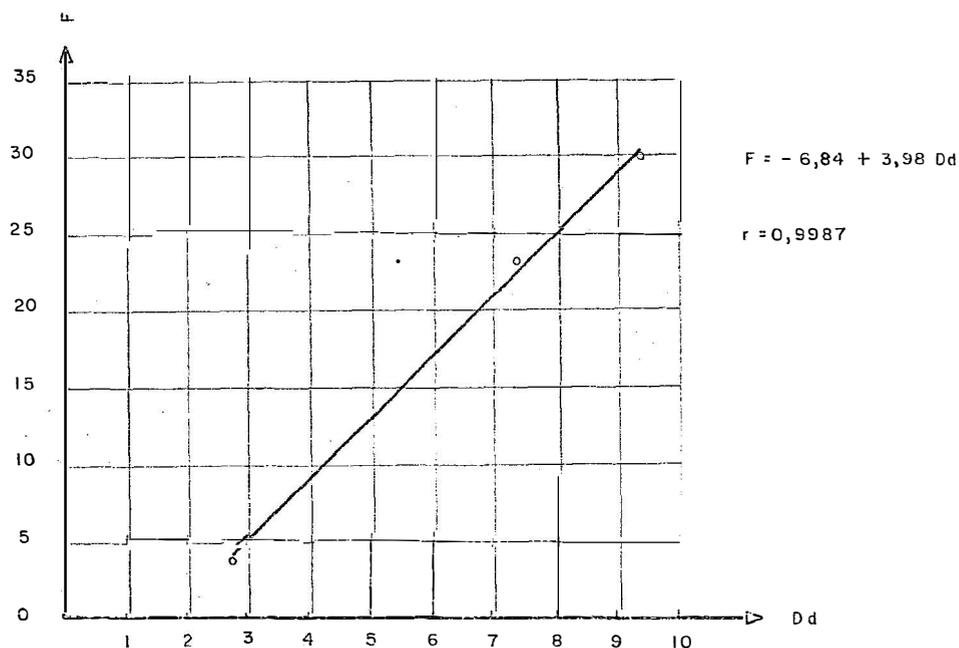


FIGURA 28 - Relação Funcional Entre os Valores Médios de Frequência de Rios e Densidade de Drenagem em Bacias Hidrográficas para as Três Unidades de Solos Estudadas.

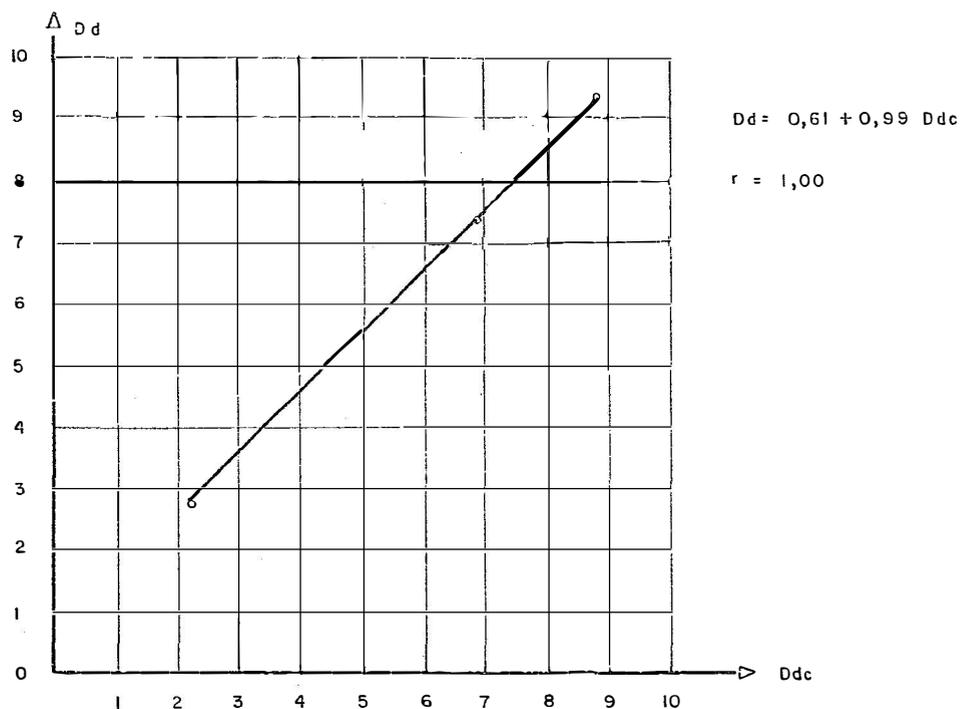


FIGURA 29 - Relação Funcional Entre os Valores Médios de Densidade de Drenagem de Bacias Hidrográficas e Amostras Circulares Para as Três Unidades de Solos Estudadas.

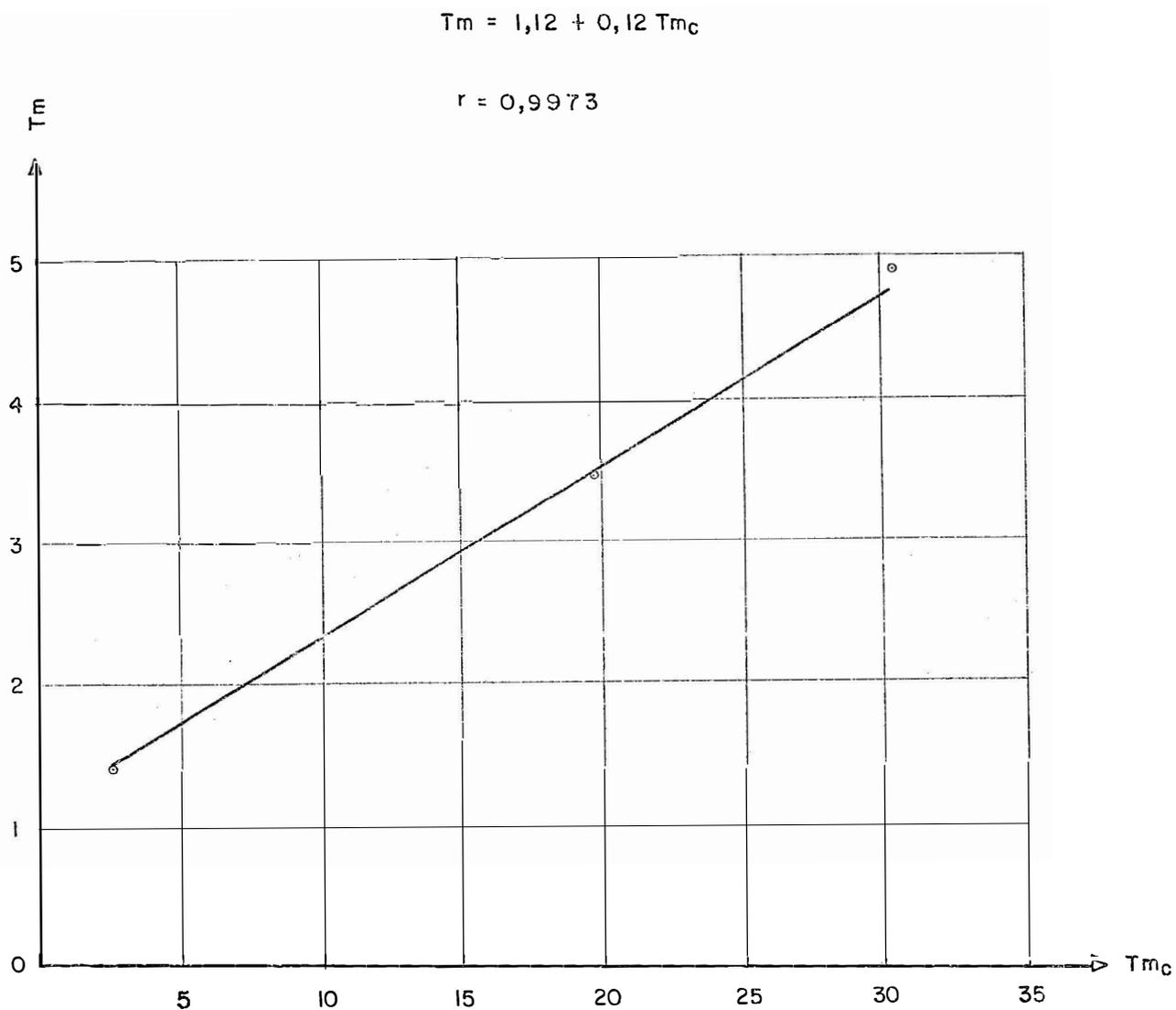


FIGURA 30 - Relação Funcional Entre as Razões de Textura Média de Bacias Hidrográficas e Amostras Circulares Para as Três Unidades de Solos Estudadas

4.3.4 - Composição das redes de drenagem

4.3.4.1 - Análise do número de segmentos de rios

Os números de segmentos de rios em cada ordem e os totais observados em cada bacia hidrográfica e as médias ponderadas em relação às áreas das bacias, para cada unidade de solo estudada, estão indicadas no Quadro 12.

O número de segmentos de rios em cada ordem e o total, calculados pela equação de MAXWELL (23) e pela lei de HORTON (17), acompanhados da média ponderada observada em relação à área das bacias hidrográficas para as três unidades de solos estudadas, encontram-se no Quadro 13.

O Quadro 13 mostra que, com exceção da unidade Latossol Vermelho Amarelo, as demais apresentam os maiores valores para os dados calculados segundo a lei de Horton, mantendo porém, para todos os casos, a mesma sequência verificada no número de segmentos de rios observados em cada ordem de ramificação.

As formas assumidas pela equação de MAXWELL (23), nas unidades de solos estudadas, estão apresentadas no Quadro 14.

A Figura 31 se refere às regressões do número dos segmentos (N_w) de rios sobre as ordens de ramificação (w), para as três unidades de solos estudadas.

QUADRO 12 - Número de Segmentos de Rios Observados em Cada Ordem e o Total, para as Bacias Hidrográficas e a Média Ponderada em Relação à Área para Cada Unidade de Solo Estudada.

Ordem w	Nº de segmentos de rios em cada ordem, Nw												
	LVE - orto			LVA			LVE - dolomítico						
	Bacias hidrográficas		Média ponderada	Bacias hidrográficas		Média ponderada	Bacias hidrográficas		Média ponderada	Bacias hidrográficas		Média ponderada	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1ª	11	8	11	13	16	18	13	16,05	13	10	9	10,99	
2ª	3	2	2	3	5	6	4	4,89	4	2	3	3,08	
3ª	1	1	1	1	1	1	1	1,00	1	1	1	1,00	
Nº total de rios	15	11	14	17	22	25	18	21,94	18	13	13	15,08	

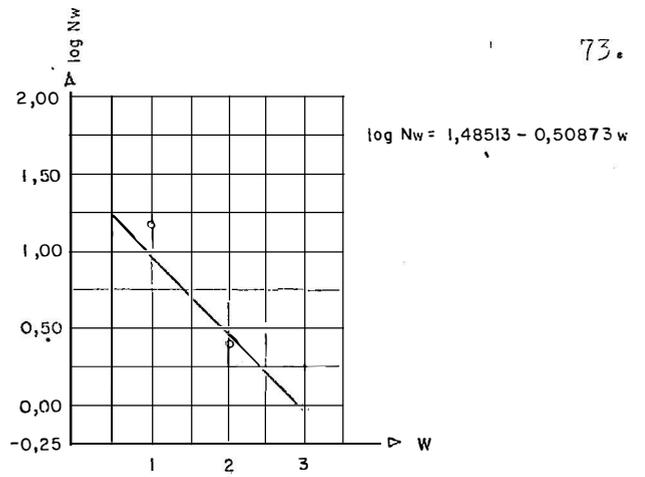
QUADRO 13 - Número de Segmentos de Rios em Cada Ordem e Número Total, Calculados e a Média Ponderada Observada Para as Três Unidades de Solos Estudadas.

Ordem w	Nº de segmentos de rios em cada ordem, Nw								
	LVE - orto			LVA			LVE - dolomítico		
	Média ponderada	calculados		Média ponderada	calculados		Média ponderada	calculados	
		Equação	Horton		Equação	Horton		Equação	Horton
1ª	10,41	9,47	10,43	15,05	17,15	16,00	10,99	10,72	11,02
2ª	2,43	2,93	3,23	4,89	4,28	4,00	3,08	3,23	3,32
3ª	1,00	0,91	1,00	1,00	1,07	1,00	1,00	0,98	1,00
Nº total de rios	13,84	13,31	14,66	21,94	22,50	21,00	15,08	14,93	15,34

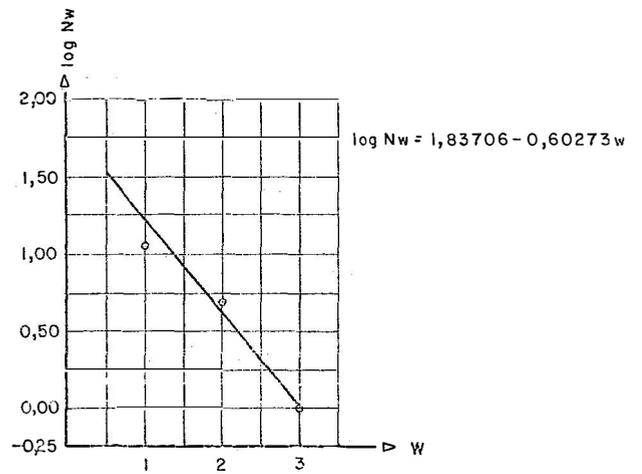
QUADRO 14 - Formas Assumidas Pelas Substituições Numéricas na Equação Ajustada por MAXWELL (23) ($\log Nw = \log a - \log b \cdot w$), para os Números de Segmentos de Rios, em Cada uma das Três Unidades de Solos Estudadas.

Unidade de Solo	Equação
Latossol Vermelho Escuro orto	$\log Nw = 1,48513 - 0,50872 \cdot w$
Latossol Vermelho Amarelo	$\log Nw = 1,83706 - 0,60273 \cdot w$
Latossol Vermelho Escuro dolomítico	$\log Nw = 1,55084 - 0,52049 \cdot w$

Latossol Vermelho Escuro
orto



Latossol Vermelho Amarelo



Latossol Vermelho Escuro
dolomítico

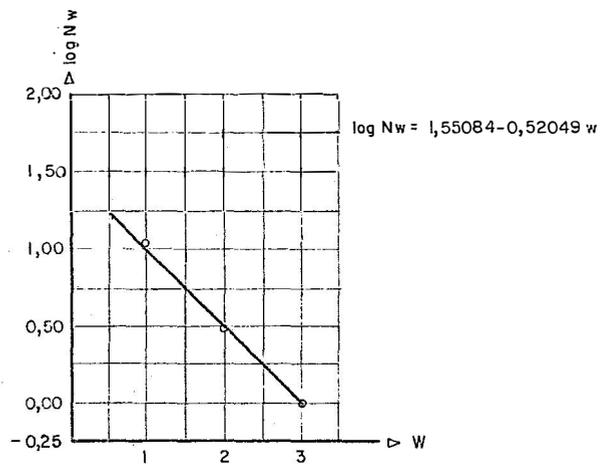


FIGURA 31 - Regressão do Número de Segmentos de Rios Sobre as Ordens de Ramificação Para as Unidades de Solos Estudadas.

4.3.4.2 - Análise da razão de ramificação

Os valores observados para a razão de ramificação nas bacias hidrográficas, e os valores calculados através da média dos dados observados e segundo MAXWELL (23), estão no Quadro 15.

Esse quadro mostra as seguintes variações ocorridas para a razão ramificação:

a) Latossol Vermelho Escuro - ortó

De 2,00 a 5,50, sendo que os valores médios obtidos foram 3,36 para a média calculada e, para a equação de Maxwell,

$$R_b = \text{antilog } b = 3,23 .$$

b) Latossol Vermelho Amarelo

A variação observada foi entre 3,00 e 6,00, e os valores médios 4,09 para a média calculada e, para a equação de Maxwell,

$$R_b = \text{antilog } b = 4,00 .$$

c) Latossol Vermelho Escuro - dolomítico

A variação observada foi entre 2,00 e 5,00 e as médias obtidas foram 3,37 para a média calculada e, para a equação ajustada por Maxwell,

$$R_b = \text{antilog } b = 3,32 .$$

4.3.4.3 - Análise dos comprimentos totais de segmentos de rios.

Os valores das somas dos comprimentos de segmentos de rios observados em cada ordem; o comprimento total para as bacias e suas médias ponderadas em relação às áreas, estão indicadas no Quadro 16.

O Quadro 17 mostra os valores de comprimentos totais de rios em cada ordem e o comprimento total da bacia, calculados através da média ponderada em relação à área, e pela equação preconizada por FRANÇA (13) e pela lei de comprimentos de rios de HORTON (17).

A análise do Quadro 17 mostra que os menores valores para os comprimentos totais da bacia (L_t) são os obtidos pela lei de HORTON (17); e que os valores referentes aos segmentos de rios de 1ª ordem pela lei de HORTON (17) e pela média ponderada estão muito próximos. Os maiores desvios ocorrem para os comprimentos de segmentos de rios de 2ª ordem, onde o sistema preconizado por HORTON (17) tende a corrigir os dados observados, visto que esses estão muito próximos dos obtidos pela equação de FRANÇA (13).

O Quadro 18 mostra as formas assumidas pela equação ajustada por FRANÇA (13), $\log N_w = \log a - w \log b$, para cada uma das três unidades de solos estudadas; e a Figura 32, as regressões da soma dos comprimentos de segmentos de rios sobre as ordens de ramificação para as mesmas unidades de solo.

QUADRO 16 - Comprimentos Totais de Segmentos de Rios em Cada Ordem; Comprimento Total Observado em Cada Bacia Hidrográfica e as Respective Médias Ponderadas Para as Unidades de Solos Estudadas.

Ordem w	Comprimento de rios em cada ordem, Lw (em km)												
	LVE - orto			LVA			LVE - dolomítico						
	Bacias hidro- gráficas			Bacias hidro- gráficas			Média ponde- rada		Bacias hidro- gráficas		Média ponde- rada		
	I	II	III	IV	V	VI	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
1ª	6,25	2,75	5,00	3,00	3,00	4,20	3,53	2,20	2,25	1,80	2,11		
2ª	1,75	1,75	3,00	0,30	0,80	1,30	1,02	1,75	1,30	0,80	1,36		
3ª	1,62	0,25	0,25	0,50	0,70	0,70	0,78	0,75	0,20	0,75	0,57		
Comprimento total de rios (Lt)	9,62	4,75	8,25	4,30	4,50	6,50	5,32	4,70	3,75	3,35	4,04		

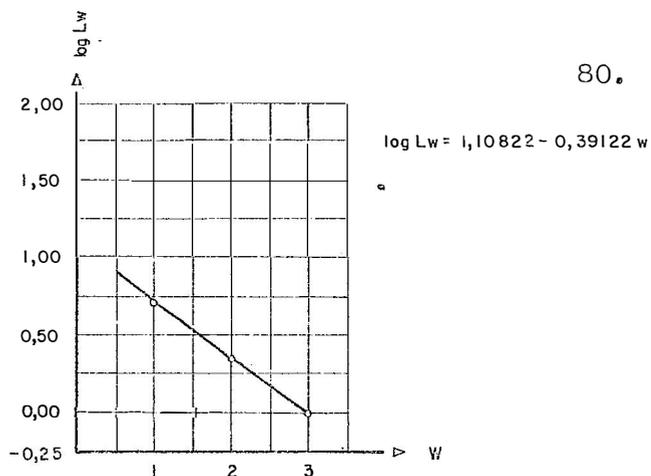
QUADRO 17 - Comprimentos Totais dos Segmentos de Rios em Cada Ordem e o Comprimento Total dos Rios das Bacias Hidrográficas Para Cada Unidade de Solo, Médias Observadas e Calculadas, Segundo a Equação de FRANÇA (13) e a Lei de Horton.

Ordem w	Comprimentos totais de segmentos de rios em cada ordem, Lw (km)								
	LVE - orto		LVA		LVE - dolomítico				
	Média ponderada	calculados Horton	Média ponderada	calculados Horton	Média ponderada	calculados Horton	Equação	Horton	
1ª	5,09	5,21	5,09	5,53	3,00	3,54	2,11	2,27	2,09
2ª	2,22	2,12	2,07	1,02	1,41	1,66	1,36	1,18	1,09
3ª	0,84	0,86	0,84	0,73	0,66	0,78	0,57	0,61	0,57
Comprimento total de rios (Lt)	8,15	8,19	8,00	5,33	5,07	4,97	4,04	4,06	3,75

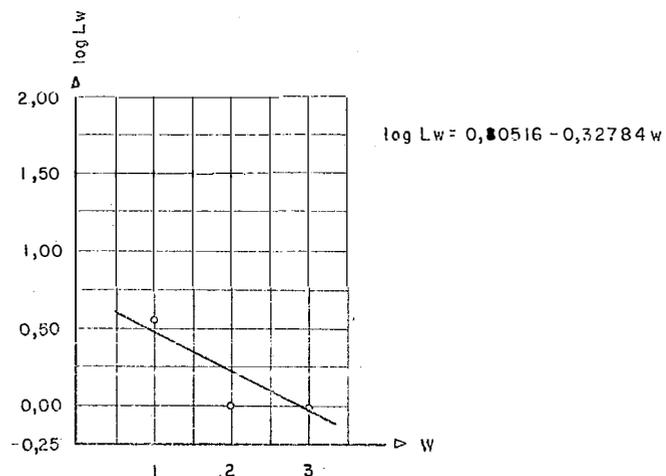
QUADRO 18 -- Formas Assumidas pelas Substituições Numéricas na Equação Ajustada por FRANÇA ($\log Iw = \log a - w \log b$), Para os Comprimentos Totais de Segmentos de Rios, em Cada uma das Três Unidades de Solos Estudadas.

Unidade de Solo	Equação
Latossol Vermelho Escuro orto	$\log Iw = 1,10822 - 0,39122 \cdot w$
Latossol Vermelho Amarelo	$\log Iw = 0,80516 - 0,32784 \cdot w$
Latossol Vermelho Escuro dolomítico	$\log Iw = 0,63963 - 0,28420 \cdot w$

Latossol Vermelho Escuro
orto



Latossol Vermelho Amarelo



Latossol Vermelho Escuro
dolomítico

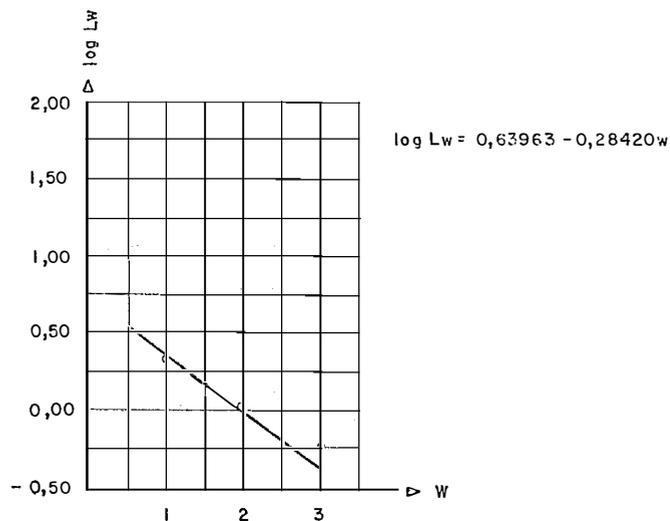


FIGURA 32 - Regressão da Soma dos Comprimentos de Segmentos de Rios Sobre as Ordens de Ramificação Para as Unidades de Solos Estudadas.

4.3.4.4 - Análise da razão de comprimentos totais(Rlw)

As razões de comprimentos totais, determinadas relacionando os comprimentos totais de segmentos de rios de 1ª ordem com os de 2ª ordem e estes com os de 3ª ordem, para cada bacia hidrográfica, estão indicadas no Quadro 19.

Neste mesmo quadro encontram-se os valores médios calculados para as unidades de solos, através da média ponderada dos dados observados e da equação ajustada por FRANÇA (13) para os comprimentos totais de segmentos de rios ($\text{Log } Lw = \log a - w \log b$), onde,

$$Rlw = \text{antilog } b .$$

As formas assumidas pela equação, apresentadas no Quadro 18, para cada unidade de solo, originaram os seguintes valores calculados para a razão de comprimentos totais:

a) Latossol Vermelho Escuro orto,

$$Rlw = \text{antilog } 0,39122 = 2,46$$

b) Latossol Vermelho Amarelo,

$$Rlw = \text{antilog } 0,32784 = 2,13$$

c) Latossol Vermelho Escuro dolomítico

$$Rlw = \text{antilog } 0,28420 = 1,92$$

QUADRO 19 - Valores Observados e Valores Médios Calculados para a Razão de Comprimentos Totais (Rlw), das Redes de Drenagem Representativas das Unidades de Solos Estudadas.

Ordens relacionadas	LVE orto			LVA			LVE dolomítico			
	Rlw observada		Rlw Calculada	Rlw observada		Rlw Calculada	Rlw observada		Rlw Calculada	
	Bacias hidrográficas		Médias	Bacias hidrográficas		Médias	Bacias hidrográficas		Médias	
	I	II		III	IV		V	VI		VII
w_1/w_2	3,57	1,59	1,66	3,75	3,75	3,23	1,26	1,73	2,25	
				2,44	2,46	2,38	2,13		1,96	1,92
w_2/w_3	1,08	7,00	12,00	1,60	1,14	1,30	2,32	6,50	1,06	

4.3.4.5 - Análise dos comprimentos médios de segmentos de rios

Os comprimentos médios de rios observados em cada ordem das bacias hidrográficas e a sua média ponderada para as unidades de solo estudadas, estão expressas no Quadro 20.

Os valores obtidos nem sempre revelam uma sequência crescente entre os dados de 1ª para 3ª ordem, como era esperado. No entanto o Quadro 21, que contém os dados calculados segundo equação ajustada por VASQUES FILHO (44), pela relação L_w calculado / N_w calculado, pela lei de Horton e ainda pela média ponderada dos dados observados, a tendência crescente do comprimento médio de segmentos de rios de 1ª para 3ª ordem torna-se evidente, estando os valores muito próximos uns dos outros.

As formas assumidas pelas substituições numéricas na equação ajustada para os comprimentos médios de segmentos de rios por VASQUES FILHO (44), onde, $\log L_m = \log a - w \log b$, encontram-se expressas no Quadro 22. A Figura 33 apresenta as regressões obtidas dos comprimentos médios de segmentos de rios sobre as ordens de ramificação, para cada uma das três unidades de solos estudadas.

QUADRO 20 - Comprimentos Médios de Rios em Cada Ordem das Bacias Hidrográficas e a Média dos Comprimentos Médios Para as Unidades de Solos Estudadas.

Ordem w	Comprimento médio de rios em cada ordem, Im (km)											
	LVE orto			LVA			LVE dolomítico					
	Bacias hidrográficas		Média ponderada	Bacias hidrográficas		Média ponderada	Bacias hidrográficas		Média ponderada			
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX			
1ª	0,57	0,34	0,45	0,23	0,19	0,23	0,22	0,17	0,22	0,20	0,20	
2ª	0,58	0,87	1,50	0,26	0,16	0,21	0,21	0,44	0,65	0,26	0,45	
3ª	1,62	0,25	0,25	0,50	0,70	1,00	0,73	0,75	0,20	0,75	0,57	

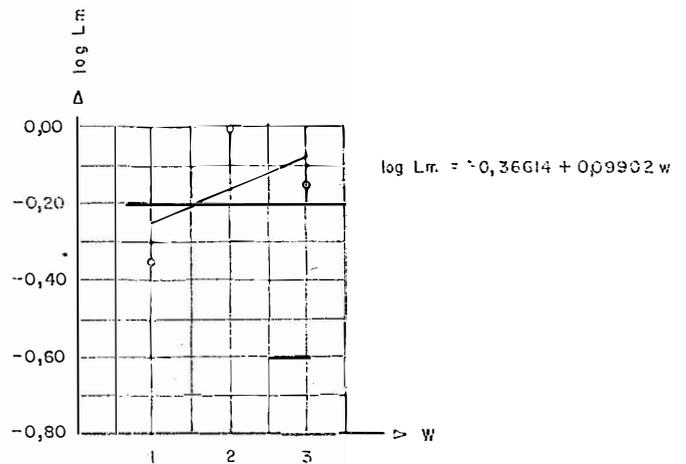
QUADRO 21 - Valores Médios Calculados Para os Comprimentos Médios de Rios (Im) em Cada Ordem de Ramificação das Redes de Drenagem das Unidades de Solos Estudadas.

Ordem w	Comprimento médio de rios em cada ordem, Im (km)											
	LVE orto				LVA				LVE dolomítico			
	Média	Equação	Lw/Nw calcu lados	Horton	Média	Equação	Lw/Nw calcu lados	Horton	Média	Equação	Lw/Nw calcu lados	Horton
1ª	0,45	0,54	0,55	0,45	0,22	0,13	0,17	0,22	0,20	0,22	0,21	0,20
2ª	0,98	0,68	0,72	0,58	0,21	0,32	0,33	0,42	0,45	0,37	0,36	0,34
3ª	0,71	0,85	0,94	0,76	0,73	0,59	0,62	0,79	0,57	0,63	0,62	0,58

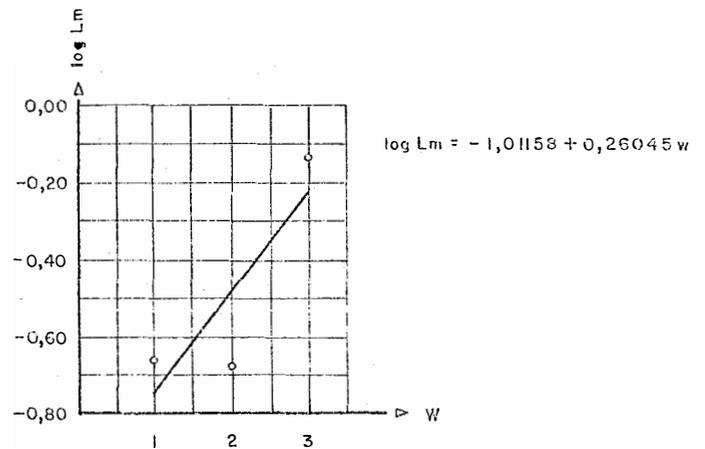
QUADRO 22 - Formas Assumidas pelas Substituições Numéricas na Equação Ajustada Para Comprimentos Médios de Rios por VASQUES FILHO (44),
 ($\log L_m = \log a - w \log b$), para Cada uma das Três Unidades de Solos Estudadas.

Unidade de Solo	Equação
Latossol Vermelho Escuro ortó	$\log L_m = - 0,36614 + 0,09902 \cdot w$
Latossol Vermelho Amarelo	$\log L_m = - 1,01158 + 0,26045 \cdot w$
Latossol Vermelho Escuro dolomítico	$\log L_m = - 0,88480 + 0,22742 \cdot w$

Latossol Vermelho Escuro
orto



Latossol Vermelho Amarelo



Latossol Vermelho Escuro
dolomítico

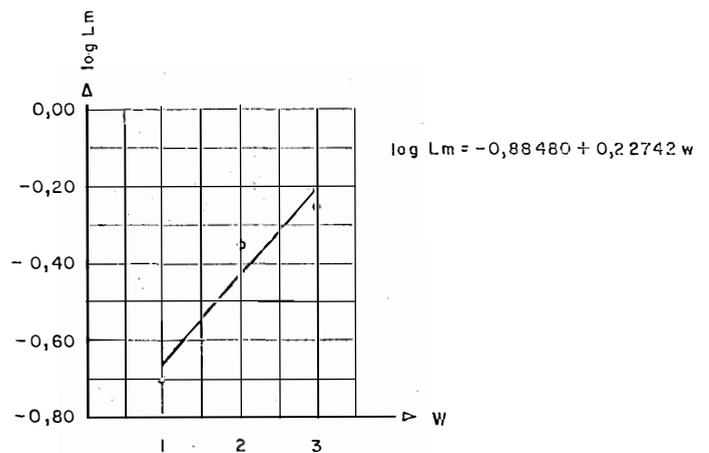


FIGURA 33 - Regressão dos Comprimentos Médios de Segmentos de Rios Sobre as Ordens de Ramificação Para as Unidades de Solos Estudadas.

4.3.4.6 - Análise da razão de comprimentos médios

Os valores observados da relação entre os comprimentos médios de segmentos de rios de 3ª ordem e os de 2ª ordem (w_3/w_2), bem como os de 2ª ordem com os de 1ª ordem (w_2/w_1) em cada bacia hidrográfica e os valores médios obtidos pela média dos dados observados e ainda pela equação de Maxwell onde $R1 = \text{antilog } b$, estão indicados no Quadro 23.

A análise deste quadro evidencia a variação acentuada entre os dados observados e entre as médias, sendo que os calculados pela equação ajustada por VASQUES FILHO (44) são sempre menores que a média calculada para as unidades de solos estudadas.

4.3.5 - Relações entre os dados que compõem as redes de drenagem

4.3.5.1 - Relação entre os números de segmentos de rios, comprimentos totais de segmentos de rios e comprimentos médios de segmentos de rios, calculados

As características citadas no ítem acima, para cada ordem além dos totais dos números de segmentos de rios (N_t) e comprimentos totais de segmentos de rios (L_t) em cada unidade de solo, estão incluídas no Quadro 24.

Os dados foram obtidos de três formas:

- a) através da média ponderada em relação à área das bacias;

QUADRO 23 - Valores Observados Para a Razão de Comprimentos Médios das Redes de Drenagem das Bacias Hidro-gráficas e os Valores Médios em Cada Unidade de Solo Estudada.

Ordens relativas	LVE orto			LVA			LVE dolomítico		
	RL observadas			RL observadas			RL observadas		
	Bacias hidrográficas			Bacias hidrográficas			Bacias hidrográficas		
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
w_3/w_3	2,79	0,29	0,17	1,92	4,37	4,76	1,70	0,31	2,88
							2,32	1,82	
									1,95
w_2/w_1	1,02	2,56	3,33	1,13	0,84	0,91	2,59	2,95	1,30

QUADRO 24 - Número de Segmentos de Rios; Comprimento Total de Segmentos de Rios, Comprimento Médio de Segmentos de Rios, Para Cada Ordem e Valores Totais Calculados, das Redes de Drenagem das Unidades de Solo Estudadas.

Ordem W	LVE orto			LVA			LVE dolomítico		
	Nw	Lw	Lm	Nw	Lw	Lm	Nw	Lw	Lm
Média ponderada									
1ª	10,41	5,09	0,45	16,65	3,53	0,22	10,99	2,11	0,20
2ª	2,43	2,22	0,98	4,89	1,02	0,21	3,08	1,36	0,45
3ª	1,00	0,84	0,71	1,00	0,78	0,73	1,00	0,57	0,57
Total	13,84	8,15	-	21,94	5,33	-	15,08	4,04	-
Escalação									
1ª	9,47	5,21	0,54	17,15	3,00	0,18	10,72	2,27	0,22
2ª	2,93	2,12	0,68	4,28	1,41	0,32	3,23	1,18	0,37
3ª	0,91	0,86	0,85	1,07	0,66	0,59	0,98	0,61	0,63
Total	13,31	8,19	-	22,50	5,07	-	14,93	4,06	-
Horção									
1ª	10,43	5,09	0,45	16,00	3,53	0,22	11,02	2,09	0,20
2ª	3,23	2,07	0,58	4,00	1,66	0,42	3,32	1,09	0,34
3ª	1,00	0,84	0,76	1,00	0,78	0,79	1,00	0,57	0,58
Total	14,66	8,00	-	21,00	4,97	-	15,34	3,75	-

b) através das equações ajustadas por MAXWELL (23) para os números de segmentos de rios, FRANÇA (13) para os comprimentos totais de segmentos de rios e VASQUES FILHO (44), para os comprimentos médios de segmentos de rios;

c) Através das leis de HORTON (17) para as três características.

O quadro mostra com clareza que os valores advindos do uso das equações ou das leis de Horton, têm uma sequência lógica de distribuição de acordo com a ordem de ramificação.

Também se destaca o fato de que os três dados (N_w , L_w , L_m) analisados em conjunto caracterizam cada uma das unidades de solo, porém isoladamente, em muitos casos, não oferecem a mesma segurança.

O Quadro 24 torna ainda evidente que a análise dos dados deve ser efetuada segundo um mesmo critério, de preferência o das equações, ou das leis de Horton, visto que solos diferentes apresentam dados semelhantes quando analisados por critérios diferentes.

4.3.5.2 - Relações entre os valores médios da razão de ramificação, razão de comprimentos totais e razão de comprimentos médios

Os valores médios das razões foram obtidas segundo três critérios para cada unidade de solo e estão inseridos no Quadro 25.

a) Média

Diz respeito aos valores obtidos pela média aritmética dos valores observados em cada bacia hidrográfica.

QUADRO 25 - Valores Médios Calculados Para as Razões de Bifurcação (Rb), Comprimentos Totais (Rlw) e Comprimento Médio (Rl) das Redes de Drenagem Representativas das Unidades de Solos Estudadas.

Características	LVE orto			LVA			LVE dolomítico		
	Média	Equação	Relação*	Média	Equação	Relação*	Média	Equação	Relação*
Razão de ramificação (Rb)	3,36	3,23	3,10	4,09	4,00	3,88	3,37	3,32	3,24
Razão de comprimentos totais (Rlw)	2,44	2,46	2,56	2,38	2,13	2,20	1,96	1,92	1,96
Razão de comprimentos médios (Rl)	1,69	1,26	1,31	2,32	1,82	1,87	1,95	1,69	1,73

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

b) Equação

Refere-se ao antilog b, para as equações:

$$\log Nw = \log a + w \cdot \log b \quad (\text{Maxwell})$$

$$\log Lw = \log a + w \cdot \log b \quad (\text{França})$$

$$\log Lm = \log a + w \cdot \log b \quad (\text{Vasques Filho})$$

que, respectivamente, forneceram os dados de razão de ramificação (R_b), razão de comprimentos totais (R_{lw}) e razão de comprimentos médios (R_l).

c) Relação

FRANÇA (13) concluiu que $R_l = \frac{R_b}{R_{lw}}$, relação essa comprovada por FADEL (12), LEÃO (18), VASQUES FILHO (44) e GEVAERD (15).

Por analogia, estabeleceu-se que:

$$R_b = R_l \cdot R_{lw} \quad \text{e} \quad R_{lw} = \frac{R_b}{R_l} .$$

A análise do Quadro 25 mostra estreita relação entre os dados, havendo no entanto algumas tendências:

Para razão de ramificação (R_b):

$$\text{média} > \text{equação} > \text{relação}$$

Para razão de comprimentos médios (R_l):

$$\text{média} > \text{relação} > \text{equação} .$$

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 - Características das bacias hidrográficas

As pesquisas em fotopedologia que se propõem a estudar as redes de drenagem e suas correlações com as unidades de solos, devem utilizar como áreas de amostragem, para a obtenção e análise de dados, pequenas bacias hidrográficas. Esta afirmativa corrobora a observação de PARVIS (28), que à medida que aumenta a ordem de ramificação, os cursos de água entalham mais profundamente a coluna geológica, expondo materiais diferentes, que influenciam o comportamento da rede de drenagem.

HORTON (17), STRAHLER (41), SMITH (40), SCHUMM (37), FRANÇA (13), MARCHETTI (22), FADEL (12), VASQUES FILHO (44), LEÃO (18) e GEVAERD (15), concluíram a necessidade de se utilizar, como amostragem, bacias de mesma ordem de ramificação. Dentre estes autores, HORTON (17), SMITH (40) e FRANÇA (13) demonstraram que a utilização de bacias hidrográficas de ordens diferentes, embora em igualdade das demais condições, apresentam modificações em sua composição e nas caracte-

terísticas das redes de drenagem.

Com base nesses fatos, seguiu-se o procedimento de MARCHETTI (22), FADEL (12), VASQUES FILHO (44), LEÃO (18) e GEVAERD (15), utilizando-se como amostras três bacias hidrográficas de 3ª ordem para cada um dos três Latossóis estudados. Levou-se também em consideração, na escolha das bacias, as observações de FROST (14) sobre a semelhança de materiais, e de STRAHLER (41) sobre a semelhança geométrica.

As características das bacias, tanto dimensionais como não dimensionais, e a análise de semelhança geométrica, apresentadas nos Quadros 4, 5 e 6, permitem afirmar que, embora apenas as bacias representativas da unidade de mapeamento Latossol Vermelho Escuro orto apresentem formas semelhantes e as de unidade de mapeamento Latossol Vermelho Escuro dolomítico, dimensões aproximadas, todas as bacias hidrográficas estão de acordo com os requisitos exigidos por STRAHLER (41).

Quanto à representatividade, pode ser considerada alta, pois apenas as bacias da unidade de mapeamento Latossol Vermelho Escuro orto apresentam pequenas inclusões de solos hidromórficos; aliás, esta é uma característica desta unidade em toda sua área de ocorrência, o que pode ser observado nas Figuras 1, 3 e 5. Desta forma, todas as áreas de amostragem escolhidas para o estudo das bacias hidrográficas concordam também com as recomendações de FROST (14).

Eventuais variações que ocorrem na forma e nas dimensões das bacias, devem ser atribuídas à provável controle topográfico, uma vez que, dadas a homogeneidade das unidades de solos e de suas características morfogenéticas, dificilmente bacias de tais dimensões estariam sujeitas a controles geológicos.

5.2 - Características das amostras circulares

O estudo das redes de drenagem e sua significância em relação à pedologia, deve contar também com amostras circulares de 10 km^2 , das áreas de ocorrência dos solos estudados.

RAY e FISCHER (32), utilizando esse tipo de amostragem, pesquisaram a significância da densidade de drenagem em relação à litologia e concluíram que os dados assim obtidos foram os que fornecem os resultados mais consistentes.

FRANÇA (13) utilizou, com sucesso, o mesmo método de amostragem para estudos pedológicos, e posteriormente MARCHETTI (22), FADEL (12), VASQUES FILHO (44), LEÃO (18) e GEVAERD (15), comprovaram a sua eficiência nos estudos de solos. De maneira análoga, utilizou-se neste trabalho, para cada unidade de solo pesquisada, três amostras circulares de 10 km^2 , mostradas nas Figuras 19, 20 e 21, cujas características dimensionais se encontram no Quadro 7.

A análise desse quadro mostra uma nítida diferença entre os solos, sob todos os aspectos dimensionais estudados, embora as três unidades de solo possuam semelhanças morfogenéticas, o que sugere diferenças quanto ao comportamento hidrológico. Dentre estas características que diferenciam as unidades de solo, deve ser destacada a ocorrência da bacia de ordem mais elevada, dentro das amostras circulares, em cada unidade de solo. Para o Latossol Vermelho Escuro orto ocorrem no máximo bacias de 3ª ordem, para o Latossol Vermelho Amarelo de 5ª ordem e para o Latossol Vermelho Escuro dolomítico de 4ª ordem. Estes dados sugerem que, para estudos relacionados à pedologia, a área das

amostras circulares pode variar. Isto viria facilitar a análise, permitindo amostragem mais representativa: (a) no caso de solos com áreas de ocorrência relativamente pequenas, seriam tomadas amostras circulares com área menor; (b) no caso de solos com áreas de ocorrência extensas, seriam tomadas amostras circulares com área maior. Esta sugestão está de acordo com o que foi preconizado por RAY e FISCHER (32) para estudos litológicos, discordando, até certo ponto, de FRANÇA (13), MARCHETTI (22), FADEL (12), VASQUES FILHO (44), LEÃO (18) e GEVAERD (15), que fixaram a área das amostras circulares para estudos pedológicos, em 10 km^2 .

5.3 - Características das redes de drenagem

É geralmente reconhecida a falta de plantas topográficas adequadas, contrastando com a facilidade na obtenção de fotografias aéreas, que possibilitam mediante técnicas de fotointerpretação, um estudo detalhado das redes de drenagem, como salientam QUACKENBUSH (29), RABEN (30), BURINGH (5), COLWELL (6), GOOSEN (16), ROURKE e AUSTIN (35), ZINKE (47), RICCI e PETRI (33), FRANÇA (13).

Neste trabalho, procedeu-se ao estudo das características das redes de drenagem, com base em decalques efetuados sobre fotografias aéreas.

As investigações foram efetuadas seguindo duas linhas de estudo: (a) qualitativa ou descritiva, de acordo com as recomendações de LUEDER (20), PARVIS (28), RICCI e PETRI (23); (b) quantitativa, como foi preconizada por HORTON (17), STRAHLER (41), SMITH (40), RAY e

FISCHER (32), ZINKE (47), FRANÇA (13), MARCHETTI (22), FADEL (12), VASQUES FILHO (44), LEÃO (18), e GEVAERD (15).

5.3.1 - Características descritivas das redes de drenagem

Os resultados da análise descritiva das redes de drenagem, apresentados no Quadro 8, concordam com LUEDER (20), mostrando que, mesmo quando contendo detalhes, a interpretação da significância do padrão de drenagem é difícil, requerendo uma combinação de conhecimentos tanto teóricos como práticos, para que se possa correlacionar os aspectos da imagem fotográfica com as condições reais do terreno.

Os resultados demonstram ainda, o caráter regional que deve ser atribuído a estas características, visto que, embora as três unidades de solos estudadas sejam morfogeneticamente semelhantes, apresentam características descritivas de redes de drenagem diferentes. Os resultados obtidos para as unidades Latossol Vermelho Amarelo e Latossol Vermelho Escuro dolomítico, se comparados com os de trabalhos realizados por GEVAERD (15) no Nordeste Paranaense; e por FRANÇA (13) no Município de Piracicaba (SP), levariam à conclusão que solos do Grande Grupo Brunizem Avermelhado estudado por GEVAERD (15) e solos da série Anhumas estudados por FRANÇA (13), são mais permeáveis que aqueles dois Latossóis utilizados neste trabalho, o que evidentemente não é verdade.

Conforme está indicado no Quadro 8, a análise descritiva das redes de drenagem se mostrou um eficiente critério auxiliar, para distinguir as três unidades de solo estudadas. O Latossol Vermelho Es

curo orto difere dos outros dois solos, em todas as características, com exceção dos ângulos de junção.

No entanto, as diferenças entre o Latossol Vermelho Amarelo e o Latossol Vermelho Escuro dolomítico, são menos evidentes; as características que sugerem possíveis diferenças quanto ao comportamento hidrológico destes dois solos, são: ângulos de junção; angularidade; tipo ou modelo, e principalmente as anomalias decorrentes de controle estrutural para o Latossol Vermelho Amarelo, originando regionalmente um padrão de drenagem retangular; e de controle litológico para o Latossol Vermelho Escuro dolomítico, associado frequentemente com diques de diabásicos, interferindo na direção dos cursos de água. Estas observações estão de acordo com RICCI e PETRI (33), embora essas anomalias não sejam decorrência direta das unidades de solos. Contudo, não deixam de ser um critério auxiliar para se fazer distinção entre estes dois Latossóis.

5.3.2 - Características quantitativas das redes de drenagem

Alguns autores exploraram melhor os detalhes oferecidos pelas redes de drenagem e passaram a estudá-las quantitativamente, correlacionando os índices encontrados com o desenvolvimento das redes de drenagem e com os materiais subjacentes, rochas ou solos. Entretanto, esses trabalhos conduziram à conclusões muito gerais, sobre os fatores responsáveis pelo desenvolvimento das redes, tais como: permeabilidade e resistência à erosão para HORTON (17), SMITH (40), RAY e FISCHER (32); resistência à erosão para RAY (31), MILLER e MILLER(24),

RICCI e PETRI (33); relação infiltração/deflúvio para LUEDER (20), FROST (14), ZINKE (47).

A falta de consistência nos dados obtidos pelos mencionados autores pode ser explicada pela heterogeneidade do material com que trabalharam.

FRANÇA (13), MARCHETTI (22), FADEL (12), VASQUES FILHO(44), LEÃO (18) e GEVAERD (15), trabalhando com materiais relativamente homogêneos e pequenas bacias hidrográficas demonstraram que nessas condições, os índices obtidos são consistentes e refletem a influência do fator solo no desenvolvimento das redes de drenagem, resultante da interação de um conjunto de propriedades dos perfis de solos.

5.3.2.1 - Características baseadas no estudo de bacias hidrográficas

Os resultados obtidos se encontram no Quadro 9 e concordam com os obtidos por FRANÇA (13), MARCHETTI (22), FADEL (12), VASQUES FILHO (44), LEÃO (18) e GEVAERD (15), demonstrando diferenças entre os solos, o que não ocorreu com a mesma evidência, na análise descritiva.

Os dados obtidos discordam, até certo ponto, de RAY (31), MILLER e MILLER (24) e RICCI e PETRI (33), HORTON (17), SMITH (40), RAY e FISCHER (32), que apontam como principais fatores responsáveis pelo desenvolvimento das redes de drenagem, a resistência à erosão, e a permeabilidade do material. As características intrínsecas dos solos estudados demonstram a igualdade de condições que se encontram frente aos fenômenos erosivos e à permeabilidade do perfil. No entan-

to, as diferentes características quantitativas das redes de drenagem podem ser explicadas pela relação infiltração/deflúvio, concordando com LUEDER (20), FROST (14) e ZINKE (47), dadas as condições de relevo dos solos estudados.

A afirmativa de HORTON (17), de que para a caracterização da rede de drenagem são necessários dois índices, frequência de rios e densidade de drenagem, não se verificou neste trabalho, em virtude de qualquer um destes índices, isoladamente, ser suficiente para diferenciar os solos, objetos deste estudo.

Os valores obtidos para a razão de textura e para a razão de textura média, sugeridas por SMITH (40) e modificadas por FRANÇA (13), foram igualmente significativos, em termos das diferenças entre solos.

Conforme mostra o Quadro 9, todas as características quantitativas, referentes às bacias hidrográficas, evidenciaram diferenças entre os solos estudados, sendo que os valores mais elevados pertencem ao Latossol Vermelho Amarelo; os valores intermediários ao Latossol Vermelho Escuro dolomítico e os mais baixos, ao Latossol Vermelho Escuro orto.

Apenas a classe de textura topográfica segundo SMITH (40), resultou ser a mesma — "média" — para o Latossol Vermelho Escuro dolomítico e Latossol Vermelho Amarelo, embora os valores obtidos sejam algo diferentes - 3,36 para o primeiro e 4,93 para o segundo. O Latossol Vermelho Escuro orto se enquadrou na classe "grosseira", com o valor 1,41.

Das três (3) unidades de solos estudadas, apenas a razão de textura média do Latossol Vermelho Escuro orto, concorda com os encontrados em Latossóis argilosos por FRANÇA (13), FADEL (12) e GEVAERD (15), cujos valores variaram de 1,08 a 2,25.

5.3.2.2 - Características baseadas no estudo de amostras circulares

RAY e FISCHER (32), ao estudarem a significância da densidade de drenagem em relação à litologia, sobre mapas básicos de drenagem decalcados de fotografias aéreas, relacionaram as densidades de drenagem de bacias hidrográficas com as de amostras circulares de 10 km², e concluíram que os valores encontrados em amostras circulares eram mais consistentes, em qualquer tipo de rocha, que os representados por pequenas bacias hidrográficas.

FRANÇA (13), estudando bacias e redes de drenagem em séries de solos no município de Piracicaba, considerou os dados obtidos em bacias hidrográficas, pouco consistentes, e testou dois outros métodos, a razão de textura média (SMITH, 40) e a densidade de drenagem de amostras circulares (RAY e FISCHER, 32).

O mesmo procedimento foi adotado por FADEL (12), VASQUES FILHO (44), LEÃO (18), os quais obtiveram dados de densidade de drenagem que evidenciaram a diferença entre os solos estudados, concordando com os obtidos neste trabalho e que estão expressos no Quadro 10.

Neste mesmo quadro, constam ainda, dados referentes a frequência de rios, razão de textura média e classe de textura topográfica, sendo que a literatura consultada não menciona a utilização de

amostras circulares para a sua obtenção.

Os valores encontrados evidenciam diferenças entre as unidades de solo, mais expressivos que os obtidos em bacias hidrográficas.

As classes de textura topográfica (SMITH, 40) não concordam com as de bacias hidrográficas, visto que os valores de razão de textura média, em virtude de se manter constante a área de um círculo, originam valores bem mais elevados e, conseqüentemente, com diferenças entre os solos, mais expressivas.

5.3.3 - Relações entre as características quantitativas das redes de drenagem

Os valores médios dos índices empregados na caracterização das redes de drenagem fornecidos pela análise das bacias hidrográficas e amostras circulares estão inseridos no Quadro 11.

Considerando-se que foram utilizadas bacias de 3ª ordem, que os solos estudados são profundos, argilosos e de natureza e permeabilidade semelhantes, que a bacia de máxima ordem encontrada nas amostras circulares é de 5ª ordem, deduz-se que os diferentes valores encontrados são função da natureza dos solos estudados.

Alguns desses resultados foram plotados em gráficos, permitindo que as características mais importantes das redes de drenagem, representativas das unidades de solos, fossem comparadas duas a duas, com o objetivo de testar a sua significância. A discussão dos estudos comparativos é apresentada a seguir.

a) Relação entre razão de textura média (T_m) e densidade de drenagem (D_d) de bacias hidrográficas.

A literatura consultada não faz referência a esta relação funcional, representada na Figura 22, com alto coeficiente de correlação ($r = 0,9858$) e de natureza linear.

A equação ajustada para estas características de bacias hidrográficas ($T_m = 0,09 + 0,51 D_d$), indiretamente indica, para as condições estudadas, correlação entre a densidade de drenagem de bacias hidrográficas e classe de textura topográfica, sugerindo os seguintes parâmetros para as classes de textura topográfica:

- grosseira: quando a densidade de drenagem for menor que 5,08;
- média: quando a densidade de drenagem estiver entre 5,08 e 12,33; e
- fina: quando a densidade de drenagem for maior que 12,33.

Quando comparados, os dados das densidades de drenagens, obtidos por FRANÇA (13), MARCHETTI (22), FADELL (12), VASQUES FILHO (44), LEÃO (18), e GEVAERD (15) com os parâmetros encontrados pela equação, não há concordância para as classes de textura topográfica determinados pelos parâmetros estabelecidos por SMITH (40), para algumas unidades de solo. No entanto, para todos os solos estudados, com horizonte B latossólico, se verifica a correlação.

- b) Relação entre a razão de textura média de bacias hidrográficas e a densidade de drenagem de amostras circulares.

FRANÇA (13), estudando redes de drenagem de solos do município de Piracicaba, SP, em virtude de ter obtido alguns dados com pouca consistência em pequenas bacias hidrográficas, testou dois outros métodos; a razão de textura média de SMITH (40); e a densidade de drenagem em amostras circulares segundo RAY e FISCHER (32).

Os valores obtidos mostraram ser os mais consistentes e de grande utilidade para a fotointerpretação de solos e, quando correlacionados, evidenciaram uma tendência linear com coeficiente de correlação, $r = 0,985$.

Do mesmo modo procederam FADEL (12), VASQUES FILHO (44) e GEVAERD (15), sendo que destes, apenas o último autor encontrou um baixo coeficiente de correlação ($r = 0,260$).

A Figura 23 apresenta a correlação efetuada neste trabalho e o alto coeficiente de correlação ($r = 0,9857$) obtido, que está de acordo com as observações de FRANÇA (13), FADEL (12) e VASQUES FILHO (44), discordando de GEVAERD (15).

- c) Relação entre razão de textura média de amostras circulares e densidade de drenagem de bacias hidrográficas.

Por analogia, ao método de SMITH (40), modificado por FRANÇA (13), para determinação da razão de textura de bacias hidrográficas, efetuou-se estas determinações para as amostras circulares, sendo que, neste caso, o perímetro considerado passou a ser constante, ou

seja, 11,18 km.

A razão de textura média tornou-se a média aritmética das razões de textura encontradas, visto que a área de 10 km^2 , também tornou-se constante.

Com o fim de se obter a significância deste valor, procedeu-se ao seu estudo comparativamente a outras características quantitativas das redes de drenagem.

A Figura 23 mostra o estudo efetuado e o alto coeficiente de correlação encontrado ($r = 0,9966$).

d) Relação entre razão de textura média e densidade de drenagem de amostras circulares.

O estudo comparado destas duas características também não se encontra na literatura consultada; a sua representação gráfica está indicada na Figura 25, com o coeficiente de correlação, $r = 0,9959$. O alto valor de "r" encontrado deve ser atribuído a dois fatores: à representatividade das unidades de solos nas amostras circulares, com consequência da qualidade da amostragem; e às características morfogenéticas dos solos que os tornam o principal responsável pelo desenvolvimento das redes de drenagem, relegando a segundo plano a influência de outros fatores, como os controles estrutural e litológico.

Os valores, densidade de drenagem (RAY e FISCHER, 32) e razão de textura média para amostras circulares, nas condições estudadas, inseridos nos Quadros 10 e 11 e correlacionados na Figura 25, permitem afirmar que são eficientes características para separação de solos.

e) Relação entre frequência de rios de amostras circulares e densidade de drenagem de bacias hidrográficas.

De modo análogo ao efetuado para bacias hidrográficas, determinou-se a frequência de rios em amostras circulares, sendo que para estas condições a área considerada tornou-se constante, 10 km².

Embora os dados encontrados tenham sido suficientes para se distinguir as unidades de solos estudadas, procurou-se compará-los com os de densidade de drenagem, segundo HORTON (17), obtidos em bacias hidrográficas e bastante estudados por outros autores, com o fim de testar a significância da frequência de rios de amostras circulares.

Os dados obtidos constam no Quadro 11, e a representação gráfica do estudo comparativo, na Figura 26 que evidencia a significância existente na relação através de alto coeficiente de correlação ($r = 0,9777$).

Os valores comprovam a dominância do fator solo no desenvolvimento das redes de drenagem, visto que, os dados obtidos de frequência de rios em uma área de 10 km², estão altamente correlacionados com os de pequenas bacias hidrográficas (3^a ordem).

f) Relação entre frequência de rios e densidade de drenagem de amostras circulares.

Da mesma forma que VASQUES FILHO (44) e GEVAERD (15) procederam para estas características em bacias hidrográficas, neste trabalho efetuou-se a relação funcional entre frequência de rios e densida

de de drenagem de amostras circulares.

Os resultados obtidos encontram-se na Figura 27, e se ajustam a uma equação linear com alto coeficiente de correlação ($r=0,9973$).

A significância do resultado para as unidades de solos estudadas, conduz indiretamente à conclusão que, o número de segmentos de rios está altamente correlacionado com o comprimento da rede, uma vez que as áreas consideradas, sendo constantes (10 km^2), a frequência de rios e a densidade de drenagem correspondem respectivamente ao número de segmentos de rios e ao comprimento destes.

g) Relação entre frequência de rios e densidade de drenagem de bacias hidrográficas.

Embora estas características, isoladamente, tenham sido suficiente para distinguir os solos estudados, procedeu-se da mesma forma que VASQUES FILHO (44) e GEVAERD (15), testando a significância da relação funcional, para os três Latossóis estudados, indicada na Figura 28.

Os resultados se ajustaram a uma equação linear, com alto coeficiente de correlação ($r = 0,9987$), concordando com VASQUES FILHO (44) e GEVAERD (15), que obtiveram $r = 0,924$ e $r = 0,997$, respectivamente.

h) Relação entre as densidades de drenagem de bacias hidrográficas e de amostras circulares.

A densidade de drenagem determinada segundo HORTON (17) em bacias hidrográficas e segundo RAY e FISCHER (32) em amostras circulares.

res, são inegavelmente da mais alta importância no estudo quantitativo das redes de drenagem, uma vez que levam em consideração os fatores, comprimentos de segmentos de rios e a área que contém os segmentos.

Em virtude dos dados obtidos, em ambos os casos, serem de alta consistência para distinguir os solos estudados, procedeu-se ao estudo de suas relações funcionais para se testar a significância da correlação, indicada na Figura 29.

O resultado mostra que a relação é altamente significativa, com um coeficiente de correlação $r = 1,00$ e que os dados se ajustam segundo uma equação linear.

Este resultado comprova a afirmativa que: para as condições do estudo, o fator solo foi o principal responsável pelo desenvolvimento das redes de drenagem; e que os resultados de densidade de drenagem em amostras circulares para solos com características morfológicas dos Latossóis, é um dado que reflete a influência do fator solo, o que pode ser comprovado analisando-se comparativamente o comportamento de Latossóis incluídos em trabalhos de outros autores, tais como FRANÇA (13), MARCHETTI (22), FADEL (12), VASQUES FILHO (44), LEÃO (18) e GEVAERD (15).

- i) Relação entre a razão de textura média de bacias hidrográficas e de amostras circulares.

A razão de textura média em bacias hidrográficas, sugerida por SMITH (40) e modificada por FRANÇA (13), é tida como uma das mais importantes características quantitativas para que se faça distinção

entre unidades de solos, o que foi comprovado por FRANÇA (13), MARCHETTI (22), FADEL (12), VASQUES FILHO (44) e LEÃO (18).

Da mesma forma, determinou-se a razão de textura média em amostras circulares, resultando valores da mais alta consistência na distinção dos solos estudados.

Com o objetivo de testar a significância destes dados, efetuou-se a correlação, indicada na Figura 30.

O resultado obtido apresentou alto coeficiente de correlação, $r = 0,9973$.

A razão de textura média em amostras circulares apresenta a vantagem de que, as diferenças entre os dados alcançados para as unidades de solo são maiores, como já foi salientado em outro capítulo deste trabalho. Por este motivo, ao procurar utilizar-se os valores encontrados para a classificação de textura topográfica segundo SMITH (40), não há coincidência nestas classes, quando são utilizados os valores de bacias hidrográficas.

Considerando-se: as maiores diferenças entre solos para os valores obtidos em amostras circulares e a maior facilidade para sua interpretação; o alto coeficiente de correlação encontrado. Sugere-se, com base na classificação de textura topográfica de SMITH (40) e na equação ajustada com os valores obtidos para as duas características consideradas, os seguintes parâmetros, expressos em quilômetros, para a classificação de textura topográfica através dos valores de razão de textura média, obtidos em amostras circulares, para os solos estudados:

- razão de textura média menor que 11,5 — classe grosseira;

- entre 11,5 e 42,3 — classe média; e
- maior que 42,3 — classe fina.

5.3.4 - Composição das redes de drenagem

O termo composição de redes de drenagem, preconizado por HORTON (17), envolve os estudos de: número de segmentos de rios e razão de ramificação; comprimentos totais de rios e razão de comprimentos totais; comprimentos médios de segmentos de rios e razão de comprimentos médios.

Para o desenvolvimento de trabalhos desta natureza torna-se imperativa a classificação das ordens de rios e neste trabalho optou-se pelo sistema de HORTON (17) modificado por STRAHLER (41), o que permite, segundo FRANÇA (13), a análise dos elementos semelhantes de diferentes redes de drenagem, bem como a comparação de dados, nos moldes preconizados por HORTON (17), SMITH (40), SCHUMM (37), STRAHLER (41), além de outros.

Considerando ainda as observações de STRAHLER (41), que duas bacias hidrográficas diferindo bastante em tamanho, podem ser comparadas com respeito a seus elementos correspondentes em sua geometria, desde que dentro do mesmo número de ordem de rios, utilizou-se neste trabalho bacias hidrográficas de mesma ordem, e procedeu-se à computação dos dados para cada ordem de rio, tal como efetuaram FRANÇA (13), MARCHETTI (22), FADEL (12), VASQUES FILHO (44), LEÃO (18) e GEVAERD (15).

5.3.4.1 - Análise do número de segmentos de rios

Os valores médios, para o número de segmentos de rios em cada ordem e o número total, para os três Latossóis estudados, estão indicados no Quadro 13. Os resultados obtidos, tanto pela média ponderada, em relação à área, das bacias hidrográficas; pela equação ajustada por MAXWELL (23), Figura 31; e pela lei de HORTON (17), mostram que os valores calculados estão próximos dos observados, Quadro 12.

A análise dos dados, também mostra que, para cada unidade de solo, o número de segmentos de rios ocorre com valores maiores, ora para a média ponderada, ora para a equação e/ou a lei de HORTON (17).

Deste modo, os dados obtidos contestam as observações de PADEL (12), FRANÇA (13) e VASQUES FILHO (44).

Comparando-se os valores de número de segmentos de rios com as características quantitativas das redes de drenagem, observa-se que ocupam as mesmas posições relativas, ou seja, os maiores valores ocorrem para Latossol Vermelho Amarelo, seguido do Latossol Vermelho Escuro dolomítico e Latossol Vermelho Escuro orto, este último com valores menores; o que discorda de observações efetuadas neste sentido por VASQUES FILHO (44) e HORTON (17), que afirmam ser ainda necessárias para a caracterização das redes de drenagem, os valores de frequência de rios.

A comparação efetuada entre número de segmentos de rios e área das bacias hidrográficas, dados inseridos nos Quadros 5 e 12 respectivamente, mostrou que: existe a relação entre as bacias hidrográficas dentro de cada unidade de solos; não existe relação entre as

unidades de solos, mais particularmente entre o Latossol Vermelho Escuro dolomítico e Latossol Vermelho Amarelo, que apresentam bacias com áreas aproximadas, e com o número total de segmentos de rios bem diferentes.

O número de segmentos de rios para as unidades de solos estudadas é diretamente proporcional às suas declividades, visto que, as unidades de solos com declives mais acentuados, Quadro 2, consequentemente com uma menor relação infiltração/deflúvio, apresentaram um maior número de segmentos de rios. Este fato concorda com as observações de LUEDER (20), FROST (14), e ZINKE (47) que atribuem à relação infiltração/deflúvio, o desenvolvimento das redes de drenagem.

5.3.4.2 - Análise da razão de ramificação

Os valores observados e calculados para as razões de ramificação, para cada unidade de solo, encontram-se no Quadro 1b, indicando uma pequena variação entre solos, particularmente entre os dois Latossóis Vermelho Escuro (orto e dolomítico).

Observando-se os valores para as bacias hidrográficas relacionadas, evidencia-se a instabilidade dos valores, discordando das afirmativas de STRAHLER (41) e concordando com FRANÇA (13), FADEL (12), VASQUES FILHO (44) e LEÃO (18).

Os valores obtidos pela média dos dados das bacias hidrográficas são maiores que os da equação ajustada por MAXWELL (23); no entanto, estão muito próximos.

Os valores observados seguiram a mesma sequência dos encontrados para o número de segmentos de rios, ou seja, os maiores valo-

res para o Latossol Vermelho Amarelo e os menores para o Latossol Vermelho Escuro orto. As pequenas diferenças encontradas entre solos, podem ser atribuídas às declividades visto que, as pequenas bacias que serviram como amostragem, estão isentas de controle geológico, e os solos estudados apresentam características morfogênicas semelhantes, discordando até certo ponto de STRAHLER (41).

Dentre os trabalhos consultados, nenhum apresenta valores tão elevados para razão de ramificação, como o obtido para o Latossol Vermelho Amarelo — 4,09 para a média e 4,00 para a equação ajustada segundo MAXWELL (23).

Para os outros dois Latossóis a variação encontrada está entre 3,23 e 3,37, concordando com os encontrados por FRANÇA (13), embora em bacias de 4ª ordem. FADEL (12), VASQUES FILHO (44), LEÃO (18) e GEVABRD (15), encontraram para Latossóis, valores que variaram de 2,51 a 3,02.

5.3.4.3 - Análise dos comprimentos totais de rios

Os valores médios encontrados para os comprimentos totais de segmentos de rios, apresentados no Quadro 17, não se comportam da mesma forma que os demais dados obtidos, visto que, os maiores valores pertencem ao Latossol Vermelho Amarelo e os menores ao Latossol Vermelho Escuro dolomítico.

Os dados obtidos segundo a lei dos comprimentos de rios de HORTON (17), mostraram-se consistentes, da mesma forma que os dos números de segmentos de rios, resultando para o comprimento total das

bacias, valores ligeiramente menores, o que discorda das observações de HORTON (17), SCHUMM (37), STRAHLER (41), FRANÇA (13), FADEL (12), VASQUES FILHO (44), LEÃO (18) e GEVAERD (15), embora estes a tenham utilizado somente para o comprimento médio de segmentos de rios.

A equação que melhor se ajustou, para o cálculo dos comprimentos totais de segmentos de rios em cada ordem, foi a preconizada por FRANÇA (13), $\log L_w = \log w + \log b$ — cujas formas assumidas estão no Quadro 18. Os resultados obtidos concordam com FRANÇA (13), FADEL (12), LEÃO (18) e GEVAERD (15).

Observando-se os valores obtidos para cada bacia hidrográfica, e as médias calculadas para cada unidade de solo (Quadros 16 e 17), notam-se diferenças entre as unidades de solos estudadas, porém é evidente que estas diferenças tornam-se muito mais expressivas quando estes valores são relacionados com a área das bacias, confirmando de certa forma, as observações de HORTON (17) relativamente à densidade de drenagem.

5.3.4.4 - Análise da razão de comprimentos totais

Os valores encontrados para esta característica, componente das redes de drenagem, estão indicadas no Quadro 19 e confirmam a sugestão de STRAHLER (41), que o antilogaritmo de b na equação que relaciona a soma dos comprimentos de segmentos de rios às ordens de ramificação, pode ser tomado como a expressão de razão de comprimentos totais (R_{lw}). O mesmo procedimento foi empregado por FRANÇA (13), FADEL (12), VASQUES FILHO (44), LEÃO (18) e GEVAERD (15).

A análise dos índices médios, mostra diferenças entre solos, porém quando se considera o conjunto das bacias hidrográficas, a variação encontrada é muito grande, revelando pouca consistência entre os dados.

5.3.4.5 - Análise dos comprimentos médios de segmentos de rios

Os resultados apresentados nos Quadros 20 e 21, permitem a afirmação que os comprimentos médios de segmentos de rios, evidenciam a distinção apenas do Latossol Vermelho Escuro orto, tornando-se difícil a interpretação dos dados para os outros dois solos estudados, o que discorda de STRAHLER (41), SCHUMM (37), FRANÇA (13), FADEL (12), VASQUES FILHO (44), LEÃO (18) e GEVAERD (15).

A equação ajustada por VASQUES FILHO (44) foi a que forneceu resultados mais consistentes para os comprimentos médios; as formas assumidas pela equação e sua representação gráfica estão no Quadro 22 e na Figura 33, respectivamente.

Os valores obtidos pela lei dos comprimentos de rios de HORTON (17), em relação aos obtidos pela equação ajustada por VASQUES FILHO (44) e pela relação L_w/N_w calculados, apresentou pequenos desvios, discordando até certo ponto de HORTON (17), STRAHLER (41), VASQUES FILHO (44), SCHUMM (37), FRANÇA (13), FADEL (12), LEÃO (18) e GEVAERD (15).

5.3.4.6 - Análise da razão de comprimentos médios

Os valores obtidos não são suficientemente consistentes para expressar diferenças entre solos. Se analisados os índices do Quadro 23: calculados pela média dos observados; ou pela indicação de STRAHLER (41), onde $R1 = \text{antilog } b$, aplicada à equação ajustada por VASQUES FILHO (44), observa-se que separadamente apresentam pequenas diferenças.

Os dados calculados pelos dois critérios, considerados em conjunto, apresentam idêntica razão de ramificação para os dois latossóis Vermelho Escuro (orto e dolomítico), que via de regra, tem sido facilmente distinguíveis pelas demais características.

Os valores encontrados para este índice calculado, concordam com os obtidos por FADEL (12), com uma média de 1,60, discordando STRAHLER (41), FRANÇA (13), VASQUES FILHO (44), LEÃO (18) e GEVAERD (15), com valores mais elevados, acima de 2,00.

5.3.5 - Relação entre as características que compõem as redes de drenagem

Os Quadros 24 e 25 agrupam todos os valores médios que compõem as redes de drenagem, discutidos isoladamente no ítem 5.3.4.

A análise dos dados em conjunto evidencia que, destas características, as mais importantes, que distinguem as unidades de mapeamento estudadas são: o número de segmentos de rios; e os comprimentos totais de segmentos de rios.

Para cada uma das bacias estudadas, estas características

se comportaram de uma maneira peculiar em função das características do solo que representam.

A distinção dos solos, no entanto, quando baseada nestas características, deve ser efetuada considerando-as em conjunto, e os dados analisados devem ser obtidos segundo um mesmo critério ou pela média ponderada; ou por uma das equações ajustadas — MAXWELL (23), FRANÇA (13), VASQUES FILHO (44); ou segundo HORTON (17).

Os comprimentos médios de segmentos de rios, sendo uma função da relação entre os comprimentos totais de segmentos de rios, pode eventualmente conduzir bacias hidrográficas com características diferentes a resultados semelhantes.

O Quadro 25 apresenta em conjunto, as razões médias calculadas: pela média observada; pelas equações ajustadas por MAXWELL(23), FRANÇA (13) e VASQUES FILHO (44); e segundo a relação preconizada por FRANÇA (13) onde $R_l = \frac{R_b}{R_{lw}}$.

Os dados apresentados, com exceção da razão de comprimentos médios, apresentam pequenas diferenças e confirmam a eficiência da relação preconizada por FRANÇA (13), assim como efetuaram FADEL (12), VASQUES FILHO (44), LEÃO (18) e GEVAERD (15).

6. CONCLUSÕES

O estudo das redes de drenagem de três Latossóis que ocorrem no município de Ponta Grossa, Paraná, com o material existente e a metodologia empregada, conduziu a um conjunto de resultados que, analisados e interpretados, permitiram as conclusões apresentadas a seguir.

6.1 - Latossol Vermelho Escuro orto

Esta unidade de solo apresentou:

- a) bacias hidrográficas com maior área, menor representatividade e formas mais semelhantes;
- b) amostras circulares com inclusões de solos hidromórficos, e redes de drenagem de 3ª ordem, no máximo;
- c) padrão de drenagem de tipo complexo, tendendo para angular, com tributários eventualmente distribuídos irregularmente, por influência de controle topográfico;
- d) os menores valores para as características quantitativas de-

terminadas em bacias hidrográficas e amostras circulares, classificado quanto à textura topográfica como "grosseira";

e) os menores valores para o número de segmentos de rios e razão de ramificação;

f) os maiores valores para os comprimentos totais de segmentos de rios e razão de comprimentos totais;

g) os maiores valores para os comprimentos médios de segmentos de rios e os menores para a razão de comprimentos médios;

h) com base nas características morfogênicas dos solos e nas conclusões anteriores, pode-se inferir que, dentre os solos estudados, este é o que possui relevo mais suave e a maior relação infiltração/deflúvio, embora possuam permeabilidades semelhantes; consequentemente, é o que apresenta, sob as mesmas condições de cobertura, maior resistência à erosão.

6.2 - Latossol Vermelho Amarelo

Esta unidade de solo apresentou:

a) bacias hidrográficas com áreas aproximadamente iguais às do Latossol Vermelho Escuro dolomítico e menores que as do Latossol Vermelho Escuro orto, sem inclusões de outros solos, apresentando formas diferentes;

b) amostras circulares sem inclusão aparente de outras unidades de solos, e com redes de drenagem de 5ª ordem, no máximo;

c) padrão de drenagem localmente de tipo dendrítico e regionalmente retangular, em virtude de controle geológico;

d) os maiores valores para as características quantitativas determinadas em bacias hidrográficas e amostras circulares e classe de textura topográfica "média";

e) os maiores valores para os números de segmentos de rios e para a razão de ramificação;

f) valores intermediários para os comprimentos totais de segmentos de rios e para razão de comprimentos totais;

g) valores dos comprimentos médios de rios, ora maiores, ora menores que os obtidos para o Latossol Vermelho Escuro dolomítico, de acordo com o critério utilizado para obtenção dos dados, e sempre menores que os do Latossol Vermelho Escuro orto. Para a razão de comprimentos médios, no entanto, os valores obtidos foram sempre os maiores dentre os solos estudados;

h) essas conclusões permitem inferir que, dentre os solos estudados, este é o que possui menor relação infiltração/deflúvio, e dadas as suas características morfogenéticas semelhantes aos demais solos; isto se deve às condições de relevo em sua área de ocorrência, o mais movimentado dos três solos, permitindo concluir, ser este, em igualdade de condições quanto aos agentes de erosão, o mais suscetível a este fenômeno.

6.3 - Latossol Vermelho Escuro dolomítico

Dentre os solos estudados, este apresentou:

a) bacias hidrográficas menores que as do Latossol Vermelho Escuro orto e aproximadamente iguais às do Latossol Vermelho Amarelo, com formas variadas, e sem inclusões de outras unidades de solo;

b) amostras circulares sem inclusão aparente de outras unidades de solo, e com redes de drenagem de 4ª ordem, no máximo;

c) padrão de drenagem dendrítico modificado, com aspectos direcionais em virtude da presença de diques de diabásio na sua área de ocorrência;

d) valores intermediários para as características quantitativas das bacias hidrográficas e de amostras circulares;

e) valores intermediários para o número de segmentos e razão de ramificação;

f) os menores valores para os comprimentos totais de segmentos de rios e razão de comprimentos totais;

g) para os comprimentos médios de segmentos de rios, valores maiores e/ou menores em relação ao Latossol Vermelho Amarelo e sempre menores que os do Latossol Vermelho Escuro orto. Para a razão de comprimentos médios, os valores encontrados ocuparam posição intermediária em relação aos outros dois solos;

h) as conclusões anteriores permitem inferir que esta unidade de solo ocupa posição intermediária em relação aos outros dois, no que diz respeito à relação infiltração/deflúvio e a suscetibilidade à erosão, visto que possui características morfogenéticas semelhantes e relevo com características intermediárias, porém mais próximas das do Latossol Vermelho Amarelo.

6.4 - Conclusões gerais

O estudo comparativo dos três grandes grupos de solos utilizados neste trabalho, conduziram às seguintes conclusões gerais:

a) as características e a composição das redes de drenagem têm como responsáveis os solos, condicionados pela posição topográfica que ocupam;

b) o desenvolvimento das redes de drenagem nos solos estudados teve como principal fator o relevo, que modificou a dinâmica da água, originando diferentes relações infiltração/deflúvio;

c) as características morfogenéticas dos solos estudados, tornam outras hipóteses inviáveis pelo fato de serem: profundos; argilosos; com permeabilidade semelhante; horizonte B latossólico; sem influência local de controles litológicos ou estruturais;

d) todas as características quantitativas das redes de drenagem, sem exceção, serviram para evidenciar as diferenças entre os solos, particularmente com maior destaque a frequência de rios em bacias hidrográficas e amostras circulares, e a razão de textura média em amostras circulares;

e) a caracterização quantitativa das redes de drenagem pode ser efetuada com vantagens através do uso de amostras circulares, permitindo uma melhor amostragem, adaptando-se sua área à extensão da unidade de mapeamento investigada;

f) a composição das redes de drenagem mostrou-se útil para a distinção dos solos, principalmente o número de segmentos de rios e os comprimentos totais de segmentos de rios, porém com menos evidência

que as características quantitativas;

g) as equações que relacionam as ordens de ramificação ao número de segmentos de rios, aos comprimentos totais de segmentos de rios e ao comprimento médio de segmentos de rios, para as condições estudadas, são semelhantes;

h) em virtude da boa qualidade da amostragem, da alta representatividade dos solos, e de serem estes os responsáveis pelo desenvolvimento das redes de drenagem, observou-se uma correlação linear altamente significativa entre: densidade de drenagem de bacias hidrográficas e frequência de rios de amostras circulares; densidade de drenagem de amostras circulares e frequência de rios de amostras circulares; frequência de rios e densidade de drenagem, tanto em amostras circulares como em bacias hidrográficas; razão de textura média em amostras circulares e bacias hidrográficas.

7. RESUMO

Este trabalho foi realizado com a finalidade de estudar, com o auxílio de fotografias aéreas, a significância das diferenças na composição e nas características das redes de drenagem de três Latossóis que ocorrem no primeiro e segundo planaltos paranaenses.

As unidades de solos escolhidas encontram-se apenas identificadas e mapeadas nas denominadas áreas 4 e 5 do sul do Paraná a nível de reconhecimento e no município de Ponta Grossa, a nível semidetalhado, onde foi desenvolvido este trabalho.

Os três solos utilizados possuem características morfogenéticas semelhantes e suas áreas de ocorrência situam-se: o Latossol Vermelho Escuro dolomítico e o Latossol Vermelho Amarelo, no 1º Planalto Paranaense, em região constituída por materiais metassedimentares do grupo Açungui e por granitos intrusivos na sequência deste grupo; o Latossol Vermelho Escuro orto no 2º Planalto Paranaense, onde ocorrem as formações Furnas e Ponta Grossa, predominantemente constituídas por arenitos e folhelhos. As duas regiões têm clima sempre úmido, quente temperado (Cfb), segundo Koeppen.

As unidades de solos selecionadas tiveram suas redes de drenagem representadas por: três bacias hidrográficas de terceira ordem, cuja representatividade foi testada pelo princípio de semelhança geométrica, e posteriormente analisadas quanto à sua composição e características descritivas e quantitativas; e três amostras circulares que foram analisadas quanto a suas características quantitativas.

Os resultados obtidos foram analisados, comparados e discutidos, permitindo as seguintes conclusões gerais:

a) as características e a composição das redes de drenagem têm como responsáveis os solos, condicionados pela posição topográfica que ocupam;

b) o desenvolvimento das redes de drenagem nos solos estudados teve como principal fator o relevo, que modificou a dinâmica da água, originando diferentes relações infiltração/deflúvio;

c) as características quantitativas das redes de drenagem foram as que mais evidenciaram as diferenças entre os solos, com maior destaque para a frequência de rios em bacias hidrográficas e amostras circulares, e para a razão de textura média em amostras circulares;

d) a caracterização quantitativa das redes de drenagem pode ser efetuada com vantagens através do uso de amostras circulares, permitindo uma melhor amostragem, desde que se adapte sua área à extensão da unidade de mapeamento investigada;

e) a composição e as características descritivas das redes de drenagem forneceram informações úteis na diferenciação dos solos estudados, porém com menor evidência que as características quantitativas.

8. SUMMARY

This study was conducted with the specific objective of determining, by means of aerial photographs, the differences in composition and general characteristics, as well as their significance, of the drainage network of three Latosols occurring in the first and second altiplanes of the State of Paraná.

The soil units selected for this purpose are identified and mapped at the reconnaissance level in areas 4 and 5 located in Southern Paraná. Their occurrence in the Ponta Grossa Municipality is mapped at the semi-detailed level. The latter were used for this study.

The morphogenetic characteristics of the soils under consideration are very similar. The soils and their respective sites were as follows:

Dark Red Latosol dolomitic - first Paraná altiplane
Red Yellow Latosol - first Paraná altiplane
(Geology: metasedimentary materials of Açungui group
and intrusive granite in the geological sequence)

Dark Red Latosol ortho - second Paraná altiplane
(Geology: Furnas and Ponta Grossa Formations Com-
posed of sandstone and shale).

The climate of these regions is humid, warm temperate (Cfb) according to Koeppen's classification.

The drainage network of each soil unit was represented by the following parameters: three third order basins (selected by the geometric simalarity principle) and three circular samples. These river basins were analyzed as to their composition and descriptive and quantitative characteristics where as for the circular samples the quantitative characteristics were determined.

The results obtained were analyzed and interpreted leading to the following conclusions:

a - the characteristics and composition of the drainage network is directly related to the soil unit considered and conditioned to their topographical situation;

b - the relief was the main factor in the development of the drainage network of the soil units studied. The relief acted as a modifier of water-dynamics leading to different infiltration/runoff relationships;

c - the quantitative characteristics of the drainage networks gave the best indication of differences between the soils studied. And the most important were the drainage basins and circular sample river frequency and average texture ratio in the circular samples;

d - the quantitative characterization of the drainage network can be made with advantage by means of the circular samples resulting in

a better sampling provided it's area is proportional to that of the mapped soil units;

e - useful information was derived from the composition and descriptive characteristics of the drainage network of the soils studied. These were, however, less informative than the quantitative characteristics.

9. LITERATURA CITADA

1. AMARAL, A.Z. e AUDI, R. Fotopedologia. In: MONIZ, A.C., coord. Elementos de Pedologia. São Paulo, Polígono e Ed. da USP, 1972. p. 429-442.
2. ANDERSON, H.W. Relating Sediment Yield to Watershed Variables. Trans.Amer.Geophys.Union, Washington, 38:921-924, 1957.
3. BASTOS, S.A. Soils Mapping and Aerial Photography on Soils Conservation. In: CONGRESSO PANAMERICANO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 1., São Paulo, 1966. Atas. São Paulo, Secretaria de Agricultura, 1966. p. 383-388.
4. BLOOM, A.L. Superfície da Terra. Trad. e coment. por S. Petri e R. Ellert. São Paulo, Blücher e Ed. da USP, 1970. 184 p.
5. BURINGH, P. The Applications of Aerial Photographs in Soil Surveys. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of Photographic Interpretation. Washington, 1960. Cap. 11, p. 633-666.

6. COLWELL, R.N. Photographic Interpretation for Civil Purposes. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of Photogrammetry. 2.ed. Washington, 1952. p. 535-602.
7. CURTIS, L.F.; DOORKAMP, J.C. e GREGORY, K.J. The Description of Relief in Field Studies of Soils. J. Soil Sci., 16: 16-30, 1965.
8. DUNBAR, R.A. Problems of Interpretation in Tropical Regions. In: Aerial Photographic Interpretation: Principles and Applications. New York, McGraw-Hill, 1959. p. 426-427.
9. ENGELN, O.D. Geomorphology: Systematical and Regional. New York, MacMillan, 1942. 655 p.
10. ESTADOS UNIDOS. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. SOIL SURVEY STAFF. Soil Survey Manual. Washington, 1951. (Handbook n. 18).
11. ————— . Soil Classification: a Comprehensive System. 7 th Approximation. Washington, 1960. 265 p.
12. FADEL, H. Fotointerpretação de Bacias e de Redes de Drenagem de Três Séries de Solos da Fazenda Ipanema, Município de Araçoiaba da Serra (SP). Piracicaba, 1972. 92 p. "Tese - ESAIQ".
13. FRANÇA, G.V. Interpretação Fotográfica de Bacias e de Redes de Drenagem Aplicada a Solos da Região de Piracicaba. Piracicaba, 1968. 151 p. "Tese - ESAIQ".
14. FROST, R.E. Photointerpretation of Soil. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of Photographic Interpretation. Washington, 1960. Cap. 5, p. 343-402.

15. GEVAERD, I. Parâmetros Fotoanalíticos de Três Unidades de Solo da Região Nordeste Paranaense. Piracicaba, 1974. 110 p. "Tese - ESAIQ".
16. GOOSEN, D. Interpretação de Fotos Aereas y su Importancia en Levantamiento de Suelos. Roma, FAO, 1968. 58 p. (Boletim Sobre Suelos, n. 6).
17. HORTON, R.E. Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins: Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. B. Geol. Soc. Amer., 56:275-370, 1945.
18. LEÃO, S.R.F. Interpretação Fotográfica dos Padrões de Drenagem Desenvolvidos em Dois Solos do Distrito Federal. Piracicaba, 1972. 110 p. (Dissertação ESAIQ).
19. LOBECK, A.K. Geomorphology: an Introduction to the Study of Landscapes. New York, McGraw-Hill, 1939. 731 p.
20. LUEDER, D.R. Aerial Photographic Interpretation: Principles and Applications. New York, McGraw-Hill, 1959. 162 p.
21. MAACK, R. Geografia Física do Estado do Paraná. Curitiba, Banco de Desenvolvimento do Paraná, 1968. 350 p.
22. MARCHETTI, D.A.B. Fotointerpretação de Atributos de Relevô Aplicada a Solos da Região de Piracicaba. Piracicaba, 1969, 58p. "Tese - ESAIQ".

23. MAXWELL, J.C. The Bifurcation Ratio in Horton's Law Streams Numbers. Trans. Amer. Geophys. Union, Washington, 36:520, 1955.
Resumo.
24. MILLER, V.C. e MILLER, C.F. Photogeology. New York, McGraw-Hill, 1961. 248 p.
25. NAMI, A.J. e SLEPETYS, Z. Mosaicos Aerofotográficos. R. Eng.Fotogram, São Paulo, n.2, 3, 4, 5, 1953. n.6, 1954.
26. PARANÁ. DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA, TERRAS E COLONIZAÇÃO. DIVISÃO DE GEOGRAFIA. Folhas Topográficas SF20-VI-II-2 e SF20-VI-II-3. Curitiba, 1963. Escala 1:50.000.
27. PARR, J.F. e BERTRAND, A.R. Water Infiltration Into Soils. Adv. Agron., 12:311-363, 1960.
28. PARVIS, M. Drainage Pattern Significance in Airphoto Identification of Soils and Bedrocks. Photogram, Engng, 16:387-409, 1950.
29. QUACKENBUSH JR., R.S. Development of Photointerpretation. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of Photographic Interpretation. Washington, 1960. Cap. 1, p.1-18.
30. RABBen, E.L. Fundamentals of Photointerpretation. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of Photographic Interpretation. Washington, 1960. Cap. 3, p. 99-186.
31. RAY, R.G. Fotografias Aéreas na Interpretação e Mapeamento Geológicos. Trad. de Jesuino Felicissimo Jr. São Paulo, Instituto Geográfico e Geológico, 1963. 88 p. + 75 fotogramas.

32. RAY, R.G. e FISCHER, W.A. Quantitative Photography: a Geologic Research Tool. Photogram.Engng., 26, 143-150, 1960.
33. RICCI, M. e PETRI, S. Princípios de Aerofotogrametria e Interpretação Geológica. São Paulo, Ed. Nacional, 1965. 226 p.
34. ROCHA, H.O. Levantamento Pedológico do Município de Ponta Grossa, Estado do Paraná. Curitiba, ETEPLA, 1970. 25 p. mimeografado.
35. ROURKE, J.D. e AUSTIN, M.E. The Use of Air-Photos for Soil Classification and Mapping in the Field. Photogram. Engng., 17: 738-745, 1951.
36. SALAMUNI, R. Fundamentos Geológicos do Paraná. In: EL-KHATIB, F. Coord. História do Paraná. Curitiba, Grafipar, 1969. V.2, p. 13-128.
37. SCHUMM, S.A. Evolution of Drainage Systems and Slopes in Badlands at Perth Amboy, N. Jersey. B.Geo1.Soc.Amer., 67:597-646, 1956.
38. SIMONSON, R.W. Use of Aerial Photographs in Soil Surveys. Photogram. Engng., 16:308-315, 1950.
39. SMITH, H.T.U. Aerial Photographs and Their Applications. New York, Appleton-Century, 1943. 372 p.
40. SMITH, K.G. Standards for Grading Texture of Erosional Topography. Amer.J.Sci., 248:655-668, 1950.
41. STRAHLER, A.N. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. Trans. Amer. Geophys.Union, Washington, 38:913-920, 1957.

42. SUMNERSON, C.H. A Philosophy for Photo Interpreters. Photogram. Engng. 20:412-417, 1954.
43. TATOR, B.A. Drainage Anomalies in Coastal Plains Regions. Photogram. Engng., 20:412-417, 1954.
44. VASQUES FILHO, J. Critérios Morfométricos Aplicados à Fotointerpretação de Redes de Drenagem em Três Unidades de Solos no Município de Piracicaba (SP). Piracicaba, 1972. 113 p. "Tese - ESALQ".
45. VERA, L. Técnicas de Inventario de la Tierra Agrícola: el Proyecto Aerofotogramétrico OEA/Chile. Washington, Union Panamericana, 1964. 136 p. (Manuales Técnicos, 10).
46. WEG, R.F. Patrones de Drenaje. Bogotá, Centro Interamericano de Fotointerpretación, 1966, 25 p.
47. ZINKE, P.J. Photointerpretation of Soil. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of Photographic Interpretation. Washington, 1960. Cap. 10, p.539-560.