

FOTOINTERPRETAÇÃO DE ATRIBUTOS DO RELÉVO APLICADA A SOLOS DA REGIÃO DE PIRACICABA

DELMAR ANTONIO BANDIERA MARCHETTI

Engenheiro - Agrônomo, Instrutor da Cadeira de
Topografia e Estradas de Rodagem da Escola
Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Tese apresentada à Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz" da
Universidade de S. Paulo, para obten-
ção do título de Doutor em Agronomia

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo
1 9 6 9

À memória de minha mãe
Ao meu pai
À minha esposa
As minhas filhas

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Guido Ranzani, Catedrático da Cadeira de Solos e Agrotecnia da ESALQ e Orientador desta pesquisa - as valiosas críticas e sugestões apresentadas ao texto original.

Ao Dr. Geraldo Victorino de França, Professor Assistente da Cadeira de Solos e Agrotecnia da ESALQ - por seu apoio a este trabalho e pelas oportunas sugestões de natureza metodológica.

Ao Prof. Dr. Antonio Petta e ao Dr. Reinaldo Godoy, respectivamente, Catedrático e Professor Assistente da Cadeira de Topografia e Estradas de Rodagem da ESALQ - pela inestimável colaboração prestada em todas as etapas da pesquisa.

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

ÍNDICE

| | Pág. |
|---|------|
| 1 - <u>INTRODUÇÃO</u> | 1 |
| 2 - <u>REVISÃO DA LITERATURA</u> | 2 |
| 2.1 - Fotografias aéreas na interpretação e mapeamento de solos | 2 |
| 2.2 - Estudos de bacias hidrográficas e da composição das redes de drenagem | 3 |
| 2.3 - Padrão de drenagem - Tipos, características e significado | 7 |
| 2.4 - Atributos da forma do terreno e suas relações com solos.. | 8 |
| 3 - <u>MATERIAIS E MÉTODOS</u> | 13 |
| 3.1 - <u>Materiais</u> | 13 |
| 3.1.1 - Descrição geral da área estudada | 13 |
| 3.1.2 - Solos | 13 |
| 3.1.3 - Fotografias aéreas | 16 |
| 3.1.4 - Planta topográfica' | 16 |
| 3.1.5 - Estereoscópios | 16 |
| 3.1.6 - Equipamento de medição | 16 |
| 3.2 - <u>Métodos</u> | 16 |
| 3.2.1 - Seleção da área de estudo | 16 |
| 3.2.2 - Obtenção dos mapas básicos de drenagem | 17 |
| 3.2.3 - Análise das bacias hidrográficas | 17 |
| 3.2.4 - Características do padrão de drenagem | 18 |
| 3.2.5 - Descrição do relêvo' | 19 |
| 3.2.6 - Razão de relêvo | 19 |
| 3.2.7 - Declive máximo da encosta | 19 |
| 3.2.8 - Razão de declive | 20 |
| 4 - <u>RESULTADOS</u> | 21 |
| 4.1 - <u>Unidade 3</u> | 21 |
| 4.1.1 - Características das bacias hidrográficas | 21 |
| 4.1.1.1 - Representatividade | 21 |
| 4.1.1.2 - Propriedades dimensionais | 22 |
| 4.1.1.3 - Propriedades não dimensionais | 22 |
| 4.1.1.4 - Semelhança geométrica | 22 |
| 4.1.2 - Características das redes de drenagem | 22 |
| 4.1.2.1 - Composição da rede de drenagem | 22 |
| 4.1.2.2 - Padrão de drenagem | 23 |
| 4.1.3 - Características do relêvo | 23 |

| | Pág. |
|--|------|
| 4.1.3.1 - Descrição | 24 |
| 4.1.3.2 - Propriedades dimensionais | 24 |
| 4.2 - <u>Unidade 7</u> | 29 |
| 4.2.1 - Características das bacias hidrográficas | 29 |
| 4.2.1.1 - Representatividade | 29 |
| 4.2.1.2 - Propriedades dimensionais | 29 |
| 4.2.1.3 - Propriedades não dimensionais | 29 |
| 4.2.1.4 - Semelhança geométrica | 30 |
| 4.2.2 - Características das redes de drenagem | 30 |
| 4.2.2.1 - Composição da rede de drenagem | 30 |
| 4.2.2.2 - Padrão de drenagem | 30 |
| 4.2.3 - Características do relêvo | 31 |
| 4.2.3.1 - Descrição | 31 |
| 4.2.3.2 - Propriedades dimensionais | 31 |
| 4.3 - <u>Unidade 10</u> | 36 |
| 4.3.1 - Características das bacias hidrográficas | 36 |
| 4.3.1.1 - Representatividade | 36 |
| 4.3.1.2 - Propriedades dimensionais | 36 |
| 4.3.1.3 - Propriedades não dimensionais | 37 |
| 4.3.1.4 - Semelhança geométrica | 37 |
| 4.3.2 - Características da rede de drenagem | 37 |
| 4.3.2.1 - Composição da rede de drenagem | 37 |
| 4.3.2.2 - Padrão de drenagem | 37 |
| 4.3.3 - Características do relêvo | 38 |
| 4.3.3.1 - Descrição | 38 |
| 4.3.3.2 - Propriedades dimensionais | 38 |
| 5 - <u>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</u> | 43 |
| 5.1 - Representatividade | 43 |
| 5.2 - Características das bacias hidrográficas | 44 |
| 5.3 - Características das redes de drenagem | 44 |
| 5.3.1 - Composição das redes de drenagem | 44 |
| 5.3.2 - Padrão de drenagem | 45 |
| 5.4 - Características do relêvo | 45 |
| 5.4.1 - Descrição | 45 |
| 5.4.2 - Razão de relêvo | 46 |
| 5.4.3 - Declive máximo da encosta | 46 |
| 5.4.4 - Razão de declive | 46 |

| | Pág. |
|-------------------------------|------|
| 6 - <u>CONCLUSÕES</u> | 47 |
| 6.1 - Unidade 3 | 47 |
| 6.2 - Unidade 7 | 47 |
| 6.3 - Unidade 10 | 48 |
| 6.4 - Conclusões gerais | 49 |
| 7 - <u>RESUMO</u> | 50 |
| 8 - <u>SUMMARY</u> | 52 |
| 9 - <u>LITERATURA CITADA</u> | 54 |

FIGURAS

| | Pág. |
|---|------|
| 1 - Bacia hidrográfica de 3ª ordem representativa da unidade 3 Bacia hidrográfica <u>A</u> | 25 |
| 2 - Bacia hidrográfica de 3ª ordem representativa da unidade 3 Bacia hidrográfica <u>B</u> | 26 |
| 3 - Amostragem circular da densidade de drenagem de solos da unidade 3 | 27 |
| 4 - Bacias hidrográficas de 3ª ordem representativas da unidade 7 Bacias hidrográficas <u>A</u> e <u>B</u> | 33 |
| 5 - Amostragem circular da densidade de drenagem de solos da unidade 7 | 34 |
| 6 - Bacias hidrográficas de 3ª ordem representativas da unidade 10. Bacias hidrográficas <u>A</u> e <u>B</u> | 40 |
| 7 - Amostragem circular da densidade de drenagem de solos da unidade 10 | 41 |

FOTOGRAFIAS

| | |
|--|----|
| Aspecto do relêvo de uma bacia hidrográfica representativa dos solos da unidade 3 | 28 |
| Aspecto do relêvo de uma bacia hidrográfica representativa dos solos da unidade 7 | 35 |
| Aspecto do relêvo de uma bacia hidrográfica representativa dos solos da unidade 10 | 42 |

1 - INTRODUÇÃO

É indiscutível a necessidade e, por conseguinte, a importância, do levantamento de solos de uma região. Tanto para uma simples avaliação das possibilidades de um determinado solo e de suas possíveis limitações para exploração agrícola, quanto para o estabelecimento de modalidades de uso e normas de manejo adequadas. Evidentemente, haverá uma proporcionalidade entre a utilidade de um levantamento de solos e o seu grau de detalhes.

Atualmente, a maioria dos levantamentos de solos é realizada por meio de fotointerpretação e controle de campo. Este método de levantamento baseia-se em correlações entre aspectos do terreno e as características de sua imagem fotográfica.

Este trabalho tem por fundamento o estudo de características das redes de drenagem e de atributos do relevo que poderão contribuir para compor o quadro geral da forma do exterior ou superfície do corpo do solo, observável no modelo estereoscópico. A sua finalidade precípua é a de demonstrar diferenças entre unidades de solo, através de correlações entre índices de relevo e as características da imagem fotográfica.

Assim sendo, espera-se contribuir, de maneira efetiva, para o estabelecimento de critérios que permitam a identificação e delimitação desses solos, por fotointerpretação, em outras áreas de ocorrência.

2 - REVISÃO DA LITERATURA

2.1 - Fotografias aéreas na interpretação e mapeamento de solos

SIMONSON (32), ROURKE e AUSTIN (30) informam que, em 1929, Bushnell e seus colaboradores usaram pela primeira vez fotografias aéreas em mapeamento de solos. Devido à riqueza de detalhes registrados nas fotografias, os técnicos e pesquisadores passaram a usá-las como fonte adicional de informação.

SIMONSON (32) e RAY (27) consideram a utilização das fotografias aéreas como um dos maiores avanços em levantamento de solos.

COLWELL (8) define fotointerpretação como o ato de examinar imagens fotográficas de objetos, com o propósito de identificá-los e avaliar a sua significância. Interpretação é definida por SUMMERSON (39) como a inferência do que não pode ser realmente visto. A interpretação fotográfica de solos se ajusta perfeitamente a esta última definição, visto que as fotografias aéreas não mostram todo o corpo do solo, mas somente sua superfície, que geralmente apresenta cobertura vegetal. As formas topográficas, os padrões de drenagem, de erosão, de vegetação e de uso, mais a tonalidade fotográfica, mostram as diferenças entre solos e seu padrão de distribuição.

Alguns autores, como SCHULTZ e CLEAVES, citados por RAY (27), dizem que a forma fisiográfica é o elemento mais importante na fotointerpretação de solos, porém, outros elementos, como as características de drenagem e de relevo, podem fornecer informações igualmente importantes.

Segundo COLWELL (8), a fotointerpretação deve apoiar-se no princípio da convergência de evidências, segundo o qual os vários elementos de

reconhecimento levam a uma determinada conclusão, que provavelmente será correta.

RABBEN (25), RAY (27), RICCI e PETRI (29) dizem que a interpretação de fotografias aéreas é geralmente considerada como um processo em duas etapas. A primeira, inclui a observação, coleta de dados, medição e identificação de aspectos visíveis nas fotografias aéreas. A segunda, inclui processos mentais dedutivos e/ou indutivos, usando a informação obtida na solução de um problema. Este procedimento foi usado com sucesso por FRANÇA (14), para avaliar a significância das características de redes de drenagem, em termos de diferenças entre solos da região de Piracicaba.

GOOSEN (16) demonstra a utilidade das fotografias aéreas nos levantamentos de reconhecimento, detalhados e semidetalhados. O Projeto CEA Chile, descrito por VERA (41) e comentado por BASTOS (4), é um bom exemplo das técnicas aerofotográficas aplicadas em mapeamento detalhado de solos.

Segundo RABBEN (25), três fatos fundamentais explicam a utilidade incomparável da fotografia aérea: (a) - cada fotografia representa pouco mais de 20 km² na escala de 1:20.000 e cerca de 33 Km² na escala de 1:25.000; (b) - os pares estereoscópicos de fotografias aéreas proporcionam imagens tridimensionais da superfície terrestre e dos objetos localizados sobre ela; (c) - as imagens fotográficas são representações permanentes e não tendenciosas dos objetos originais.

A fotointerpretação vem sendo cada vez mais utilizada em trabalhos de levantamento de solos, embora haja uma certa divergência à respeito da quantidade de informações a ser obtida. A maioria dos autores, entre os quais se incluem ROURKE e AUSTIN (30), CRESWICK e ROCKWELL (11), BOMBERGER e DILL (5), BURINGH (6) e GOOSEN (16), tem adotado uma posição intermediária: reconhece que a fotografia aérea não substitui completamente o trabalho de campo, mas o auxilia bastante, aumentando o rendimento e a exatidão dos mapeamentos de solo.

FROST (15) afirma que a fotointerpretação de solos pode ser conduzida à luz de três princípios básicos: (a) - solos semelhantes aparecem nas fotografias aéreas com padrões semelhantes; (b) - solos diferentes aparecem com padrões diferentes; (c) - desde que as características da imagem fotográfica tenham sido correlacionadas com as propriedades do solo observadas no campo e no laboratório, muitas propriedades importantes de solos semelhantes podem ser inferidas por meio de fotointerpretação.

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

O estudo das bacias hidrográficas e das redes de drenagem, há muitos anos, despertou o interesse de pesquisadores em ciência do solo. Atualmente, engenheiros de estradas, hidrólogos e pedólogos passaram, também, a se dedicar ao estudo das redes de drenagem. Entretanto, êsses pesquisadores trabalharam quase que inteiramente em bases descritivas, pois estavam mais interessados em descrever as formas do relêvo atual ou identificar a natureza dos solos ou das rochas subjacentes. Como resultado de suas descobertas, muitos padrões de drenagem foram descritos e classificados, procurando correlacioná-los à natureza dos solos e dos substratos rochosos ou à presença de estruturas geológicas.

Conforme a citação de ENGEL (13), Playfair já observara 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. Esta afirmativa tem um caráter qualitativo. Coube a HORTON (17) a primazia de fazer a interpretação numa base quantitativa. Seguindo uma aproximação hidrofísica, em que considerou as relações infiltração-deflúvio e os processos de erosão pelas águas correntes, êsse autor estabeleceu leis fundamentais, as quais relacionam o número e o comprimento de rios às diversas ordens de ramificação da rede hidrográfica.

Segundo o sistema europeu de classificação dos rios em ordens, - descrito por Gravelius e citado por HORTON (17), o rio principal é designado como o de 1ª ordem, seus tributários imediatos como de 2ª ordem e assim sucessivamente. HORTON (17) inverteu esta seqüência de numeração considerando os tributários menores, não ramificados, como sendo de 1ª ordem e atribuindo ao rio principal a ordem mais elevada. Isto facilitou a análise e a comparação das redes de drenagem, pois somente são comparáveis entre si os elementos de mesma ordem de ramificação.

Êste ponto de vista foi adotado por inúmeros pesquisadores, dentre os quais STRAHLER (35), MAXWELL (22), SCHUMM (31), COATES - citado por STRAHLER (35), CURTIS et al. (12) e FRANÇA (14).

HORTON (17) diz que a composição da rede de drenagem tem alto grau de significância hidrológica, enquanto o padrão isolado tem pouca significância hidrológica; reconhece, contudo, que o padrão de drenagem é altamente significativo como indicador de controle geológico.

As afirmativas de HORTON (17) foram plenamente comprovadas por FRANÇA (14), em seu estudo sobre a significância das diferenças na composição e nas características do padrão de drenagem de cinco séries de solos

da região de Piracicaba, identificadas por RANZANI et al.

Para expressar quantitativamente o grau de desenvolvimento da rede de drenagem de uma bacia hidrográfica, HORTON (17) propôs duas relações: a densidade de drenagem e a frequência de rios. A densidade de drenagem, definida por êsse autor, vem a ser o comprimento médio dos rios por unidade de área. A densidade de drenagem, Dd, é expressa pela equação:

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

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

Segundo HORTON (17), frequência de rios, Fr, é expressa pela equação:

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

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

SMITH (33), estudando a textura topográfica de regiões dissecadas por rios, derivou um índice semelhante, ao qual denominou razão de textura topográfica, com o propósito de expressar o espaçamento entre os canais de drenagem, em plantas topográficas com curvas de nível. A razão de textura topográfica, T, é expressa pela equação:

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

onde N é o número de canais de drenagem, permanentes ou temporários, conforme indicados pelas crênulas ou inflexões na curva de nível possuindo o maior número delas e P é o comprimento do perímetro da bacia.

Para caracterizar a textura topográfica de uma dada área como um todo, levando em consideração o tamanho de cada bacia, SMITH (33) propôs o uso do valor médio ponderado, que pode ser determinado através da seguinte equação:

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

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

Porque os sistemas de drenagem podem ser melhor estudados em mapas básicos de drenagem obtidos pelo exame estereoscópico de fotografias aéreas

reas, conforme recomendação de HOWE (18), RAY (27), RICCI e PETRI (29), a razão de textura topográfica de SMITH (33) foi modificada por FRANÇA (14) para ser aplicada a fotografias aéreas. Neste caso, a relação entre densidade de drenagem (ordenadas) e razão de textura (abscissas) resultou ser exponencial, para bacias hidrográficas. Por outro lado, comparando razão de textura média (ponderada em relação às áreas) e densidade de drenagem determinada em amostras circulares - segundo o método proposto por RAY e FISCHER (28) - foi obtida uma correlação linear altamente significativa.

RAY e FISCHER (28) fizeram um estudo da significância da densidade de drenagem com respeito à litologia. Medições de comprimentos de rios e de áreas de drenagem foram feitas sobre mapas básicos de drenagem, decalcados de fotografias aéreas. Os comprimentos de rios foram relacionados com as áreas de bacias hidrográficas e áreas circulares de 10 Km^2 . Os autores chegaram à conclusão de que as amostras circulares fornecem determinações de densidade de drenagem mais consistentes do que as amostras representadas por pequenas bacias.

Tanto HORTON (17) como SMITH (33) reconheceram que os valores de densidade de drenagem e frequência de rios para pequenas e grandes bacias não são diretamente comparáveis porque variam com o tamanho da área de drenagem. Segundo STRAHLER (35), para que bacias de drenagem possam ser comparadas de maneira significativa é necessário considerar bacias de mesma ordem de ramificação. Assim, se medirmos as áreas de bacias de 2ª ordem, estaremos medindo elementos correspondentes dos sistemas de drenagem. Este autor tentou basear um sistema de geomorfologia quantitativa sobre princípios de análise dimensional e semelhança geométrica. Se existe semelhança geométrica aproximada entre duas bacias, todas as medições de comprimentos, entre pontos correspondentes, mantêm uma razão de escala fixa. Se medirmos as áreas de bacias de 2ª ordem, estaremos medindo elementos correspondentes, cuja razão é o quadrado da razão de escala.

ANDERSON (3), procurando relacionar a produção de sedimentos às variáveis de uma bacia hidrográfica, considerou a área como sendo a variável mais importante, uma vez que todas as características da bacia estão correlacionadas com a área.

A área da bacia de drenagem aumenta, exponencialmente, com a ordem de ramificação de rios, conforme foi estabelecido por SCHUMM (31), parafraseando a lei de HORTON (17) dos comprimentos de rios.

FRANÇA (14) constatou o aumento da área de drenagem e modificações na composição e nas características quantitativas do padrão, quando aumentou a ordem de ramificação da rede de drenagem. A tendência é diminuir

a densidade de drenagem e a frequência de rios e aumentar a razão na textura topográfica, porque a área da bacia aumenta em proporção maior do que o perímetro.

2.3 - Padrão de drenagem - Tipos, características e significado

Os autores definem padrão de drenagem como a maneira pela qual os cursos d'água se arranjam ou se distribuem dentro de uma dada área de drenagem. De acôrdo com a configuração que tomam, os padrões recebem nomes. Assim, por exemplo, quando os cursos são semelhantes ao tronco, galhos e ramos de uma árvore, o padrão é chamado dendrítico ou arborescente; quando os cursos se unem em ângulo reto, o padrão é denominado retangular.

LOBECK (19) definiu geneticamente rios consequentes, subsequentes, ressequentes e obsequentes, relacionando-os à direção de inclinação das camadas em declives assimétricos. MILLER e MILLER (24) classificaram os rios de acôrdo com suas relações com a topografia e a estrutura dos materiais subjacentes.

A justificativa principal para a análise da drenagem superficial segundo LUEDER (20), é que ^{proporcionais} fornece indicações sôbre a relação infiltração-deflúvio, capacidade de infiltração, erodibilidade e textura dos materiais presentes em uma área. Para indicar os aspectos significantes do padrão de drenagem, êsse autor propôs a descrição das seguintes características do padrão de drenagem: (a) - grau de integração; (b) - densidade; (c) - grau de uniformidade; (d) - orientação; (e) - grau de contrôle; (f) - angularidade; (g) - ângulos de confluência; (h) - tipo ou modelo de padrão.

Considerando que os padrões de drenagem podem ser facilmente vistos e delineados em pares estereoscópicos de fotografias aéreas, FROST(15) afirma que os mesmos refletem a maneira pela qual a água que atinge a superfície do solo se distribui, em têrmos de deflúvio e infiltração, fornecendo, assim, indícios da origem e da composição dos materiais de solos. Entretanto, BURINGH (6) adverte que, além da textura e dos processos de deposição dos materiais de origem, ao cientista de solo interessa estudar, - também, a ação dos fatores de formação e saber a que grupo genético pertencê um dado solo. O acêrto desta observação foi constatado por FRANÇA(14), que estudou as características de composição e do padrão de drenagem de solos desenvolvidos a partir de arenitos eólicos de formação Botucatu. Ficou demonstrado que êstes, apesar de se tratarem de materiais de textura semelhantes e depositados pelo mesmo agente de transporte, deram origem a solos diferentes, cujas diferenças se refletiram, também, na composição e nas características do padrão de drenagem.

SMITH (33) estudou as razões de textura topográfica em duas regiões; usando plantas topográficas. Verificou que o tamanho das bacias de drenagem individuais variou bastante nas duas regiões, sendo que os comprimentos de perímetros variaram de 0,95 a 3,99 Km numa região e de 3,70 a 10,63 Km na outra. Entretanto, as bacias eram semelhantes quando os rios principais eram de 2ª ou 3ª ordens, portanto as amostras eram de redes de drenagem de unidades comparáveis. Além disso, SMITH (33) estabeleceu um valor médio ponderado para caracterizar a textura topográfica de uma dada-área como um todo, tomando em consideração o tamanho de cada bacia. Usou para isso a equação:

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

onde T_m é o valor médio ponderado da razão de textura topográfica, \sum significa soma, A representa a área e T a razão de textura topográfica de cada bacia. SMITH (33) propôs o emprêgo de limites para os valores da razão de textura média, a fim de classificar a textura topográfica em classes: grosseira (menos de 4,0), média (entre 4,0 e 10,0) e fina (mais de 10,0). Concluiu ainda que existe uma relação de função logarítmica entre a razão de textura topográfica e a densidade de drenagem. Baseando-se nesta conclusão, RAY (27) sugeriu que, sendo fácil determinar a densidade de drenagem, as fotografias aéreas seriam úteis num estudo comparativo de topografias de erosão.

RAY e FISCHER (28) fizeram medições de comprimentos de rios e de áreas de drenagem, sobre mapas básicos da drenagem, decalcados de fotografias aéreas. Os comprimentos de rios foram relacionados com as áreas de bacias hidrográficas e áreas circulares de 10 Km^2 . Concluíram que as amostras circulares fornecem determinações de densidade de drenagem mais consistentes.

Segundo as observações de SMITH (33) e RAY (27), quanto mais elevados os valores da frequência de rios $-Fr$, densidade de drenagem Dd e textura média T_m , tanto mais dissecada é a superfície do terreno (relêvo mais acentuado).

2.4. - Atributos da forma do terreno e suas relações com solos

Somente nos últimos anos os pesquisadores têm deixado de lado a limitada fase de simples observações visuais e descrições verbais generalizadas, passando para uma fase mais produtiva. Com o impulso dado por HORTON (17) e sob o crescente desenvolvimento que tinha a clássica análise descritiva, alguns geomorfologistas começaram a levar em conta a descrição quantitativa da forma da terra.

A conformação do terreno, segundo RANZANI (26), constitui uma componente muito importante do sistema natural que cada solo representa. Apesar de normalmente ocorrerem diferentes solos para diferentes conformações de terreno, essa característica só é tomada como base de diferenciação entre solos quando associada a outras.

Segundo RICCI e PETRI (29), o estudo do relêvo é, sem dúvida, de primeira importância na fotointerpretação, sendo que o critério mais significativo para a identificação de depósitos sedimentares pelas fotos aéreas é a forma do terreno. O fotointérprete, pelo exame cuidadoso e crítico das fotos aéreas, pode obter informações sobre a estrutura de uma dada região; estas informações são via de regra, muito superiores às obtidas diretamente no terreno.

Segundo MILLER e MILLER (24), em áreas sujeitas por longo tempo ao ciclo de erosão normal (pela água corrente), as rochas resistentes permanecem nas partes mais altas e as menos resistentes ocupam as posições topográficas mais baixas (elevações formadas por arenito e vales, por folhelho). Porém, em casos relativamente raros, tal correlação entre relêvo e litologia não ocorre (deslocamentos de falhas recentes podem elevar rochas não resistentes adjacentes).

Discutindo as aplicações da fotointerpretação aos levantamentos de solos, GOOSEN (16) também deu ênfase à forma do terreno, recomendando o método de análise fisiográfica, embora reconhecesse a utilidade da análise elementar, preconizada por BURINGH (6).

HORTON (17), defendeu o ponto de vista de que, além de outros fatores como o relêvo e a precipitação, dois fatores importantes nos processos de erosão hídrica, responsáveis pelo desenvolvimento de sistemas hidrográficos e suas bacias de drenagem, são a capacidade de infiltração do solo e sua resistência à erosão.

O relêvo, segundo RANZANI (26), do ponto de vista topográfico é representado pelas diferenças de cota ou de altitude de um ponto a outro; do ponto de vista geomorfológico é um termo descritivo, sujeito a explicação e interpretação; do ponto de vista edafológico caracteriza os atributos de forma do exterior ou superfície do corpo do solo.

Segundo SMITH e AANDAHL (34), as unidades de solo não ocorrem ao acaso na paisagem: elas geralmente têm um padrão de distribuição que se repete e está associado ao relêvo. As relações entre solos e os ambientes em que ocorrem variam de uma região para outra, porém as relações geralmente existem. As delimitações entre solos se fazem com base em corre

lações pré-estabelecidas entre as unidades de mapeamento e os aspectos visíveis da paisagem, com controle de campo.

Para STRAHLER (35 e 36), estudos dinâmico-quantitativos requerem, primeiramente, uma análise morfológica total, a fim de que os elementos que formam o relevo possam ser separados e descritos quantitativamente de região para região. As características da rede de drenagem, densidade de drenagem e as propriedades hipsométricas devem ser determinadas para que diferenças essenciais e similaridades entre regiões possam ser entendidas.

RAY (27) afirma que a análise do relevo constitui a base da fotogeologia, porém, ela não pode representar, por si só, toda a interpretação fotogeológica, pois existem outras informações de primeira ordem, como o padrão de drenagem e padrão de vegetação; medidas fotogramétricas fornecem, também, informações de primeira ordem. Feições diversas das formas topográficas podem, realmente, ser mais importantes para interpretações estruturais.

Segundo TATOR (40), feições do relevo demasiadamente pequenas para serem representadas nas plantas topográficas têm sido utilizadas desde muito tempo pelos fotogeólogos na identificação de unidades de rocha. Essas microfieções topográficas são extraordinariamente claras nas fotos aéreas, podendo-se afirmar que cada unidade litológica tem microfieções distintas e típicas que permitem, com a prática, a segura identificação na maioria dos casos.

Segundo STRAHLER (35 e 36), quando existe similaridade entre 2 (duas) bacias hidrográficas, possuem as mesmas uma relação fixa, quanto ao relevo, comprimento ou largura da bacia e perímetro da bacia.

Para STRAHLER (35 e 36) um indicador importante na escala linear de elementos do relevo em uma bacia hidrográfica é a densidade de drenagem, definida por HORTON (17) como sendo o valor da soma dos comprimentos dos canais dividido pela área da bacia.

SCHUMM (31) descobriu e aplicou uma estatística simples da razão de relevo, definida como a razão entre o relevo total da bacia (que é a diferença em elevação da foz da bacia e o comêço dela) e o comprimento da bacia, medido na mais longa dimensão da bacia de drenagem. De uma maneira geral, a razão de relevo indica, segundo STRAHLER (37 e 38), todo o declive da superfície hidrográfica. É um número sem dimensão, prontamente correlacionado com outras medições que não dependem das dimensões do total da bacia de drenagem. A razão de relevo é simples de se computar e pode ser obtida mesmo onde informações detalhadas de topografia estão faltando.

Segundo STRAHLER (37 e 38), somente a parte mais íngreme de uma linha do perfil do declive deveria ser medida; além do mais, que a linha do perfil tem que seguir a linha verdadeira do declive, a partir do divisor para a base. Deve-se evitar o uso do declive máximo aparente em detrimento do verdadeiro. A razão mais importante e fundamental para se usar a parte mais íngreme de um perfil de declive é que, em uma topografia natural, o declive é a manifestação morfológica de um estado permanente, no qual as forças que removem o material estão ligadas às propriedades de resistência da superfície. A parte mais íngreme de um declive irá então refletir no máximo ângulo, o qual pode ser mantido, sendo um indicador da relativa efetividade das forças opostas na relação de equilíbrio. Devido ao declive na sua parte superior decrescer no ângulo até tornar-se horizontal na base, os ângulos menores do que o máximo têm pouca significância e seu uso conduziria em um amplo elemento de amostragem subjetiva. Como a última meta em geomorfologia tem que ser um entendimento mecânico, é essencial que aqueles elementos da forma sejam medidos, por estarem eles intimamente relacionados com as forças causativas.

Na amostragem de campo, STRAHLER (38) usou somente os declives das paredes do vale (encostas) dirigindo-se para os lados de um canal. Especificamente, foram usadas as bacias de drenagem de 1ª, 2ª e 3ª ordens. O abandono de ordens mais altas dos rios principais eliminou a leitura de declives íngremes e anormais.

O declive máximo da encosta tem sido analisado por inúmeros pesquisadores, em uma grande variedade de condições geológicas e climáticas; a variância dentro da área é relativamente pequena quando comparada com diferentes áreas.

Os perfis do declive, segundo STRAHLER (38), estão em equilíbrio com os perfis do canal para o qual os declives contribuem com seus detritos. [Para uma dada área, livre dos controles estruturais sistemáticos, mas, sujeita aos fatores que controlam uniformemente o clima, a vegetação, o solo e o estágio de desenvolvimento, todas as características morfológicas tendem a atingir uma forma que independe do tempo. Os gradientes do solo e do canal, bem como a densidade de drenagem, atingem uma forma melhor adaptada à manutenção de um estado permanente na remoção de detritos. Isto é simplesmente uma extensão da lei de Playfair para incluir todos os aspectos de forma da topografia.] Se o tipo de ajuste descrito acima realmente existe, poder-se-ia esperar que o ângulo de declive das paredes do vale variasse, sistematicamente, com o gradiente do canal na base do declive. Declives de superfícies íngremes seriam esperados corresponder a gradientes de canais íngremes; baixos declives de superfície a baixos gra-

dientes de canal. Esta relação foi afirmada por HORTON (17), o qual usa a seguinte definição:

$$R_d = \frac{D_c}{D_s}$$

onde, R_d é razão de declive, D_c o declive do canal e D_s é o declive da superfície.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Materiais

3.1.1 - Descrição geral da área estudada

A área que serviu de base para o presente trabalho pertence à Usina Costa Pinto, localizada no município e comarca de Piracicaba, Estado de São Paulo. De acordo com a COMISSÃO DE SOLOS (9 e 10) essa área se situa na região fisiográfica abrangida pela Depressão Paleozóica, sub-região Médio-Tietê.

O clima dessa área é do tipo mesotérmico Cwa, isto é, subtropical úmido com estiagem no inverno. A temperatura média do mês mais frio é inferior a 18° C e a do mês mais quente é superior a 22° C: o total de chuvas do mês mais seco não atinge 30 mm. O total anual de chuvas está compreendido entre 1.200 e 1.300 mm. Este tipo climático é denominado, segundo MAGNANINI (21) e CAMARGO e ORTOLANI (7), de "tropical de altitude".

A geologia dessa área foi estudada por ALMEIDA e BARBOSA (1 e 2) e MEZZALIRA (23), sendo assinaladas as seguintes formações geológicas: (a) - sedimentos arenosos glaciais do grupo Tubarão; (b) - sedimentos finos sub-aquosos do grupo Estrada Nova, formação Corumbataí; (c) - eruptivas básicas do grupo São Bento, formação Serra Geral.

3.1.2 - Solos

Três unidades de solos foram utilizados como base para o presente trabalho. Estas constam da carta de solos da Usina Costa Pinto, identificadas e descritas por RANZANI et al. (1968)*

(*) RANZANI et al. - Carta de Solos da Usina Costa Pinto (1968)
Trabalho datilografado.

As unidades edafológicas escolhidas são geneticamente diferentes entre si, com morfologia e propriedades distintas. São elas:

Unidade 3 - Latosol Vermelho Amarelo fase arenosa, Lfa

Unidade 7 - Série Quebra Dente, QD

Unidade 10 - Litosol fase substrato folhelho, LiC

Com expressão geográfica geralmente menor do que as anteriores, também ocorrem na área das bacias hidrográficas estudadas as seguintes unidades edafológicas:

Unidade 1 - Série Luiz de Queiroz, LQ

Unidade 8 - Litosol Quebra Dente, LiQD

Unidade 12 - Hidromórfico, Hi

Unidade 13 - Latosol Vermelho Escuro orto, LE

Unidade 14 - Podzólico Vermelho-Amarelo, PV

Segundo RANZANI et al. (1968), as características assinaladas para os solos estudados foram:

UNIDADE 3

Origem: solos desenvolvidos sobre sedimentos arenosos Tubarão, ocupando as posições mais altas do relevo regional.

Relêvo: suavemente ondulado, muito longo, declividade de 3% a 8%, muito uniforme.

Drenagem: boa.

Características dos perfis: perfis fracamente desenvolvidos, caracterizados pela presença de horizontes B mal expressos. Solos pardo avermelhados, arenosos e profundos.

Fertilidade aparente: baixa.

Erosão: laminar, ligeira, com sulcos rasos ocasionais.

Uso atual: cana-de-açúcar.

Classes de capacidade de uso: II

Subclasses de capacidade de uso: IIs.

Alternativas de uso: subclasse IIs: culturas, pastagens, florestas e vida silvestre.

UNIDADE 7

Origem: solos provenientes de sedimentos Tubarão finos, desfrutando posição mediana no relevo regional.

Relêvo: normal, ondulado a forte ondulado, curto, irregular; declividade de 10 a 20%.

Drenagem: moderada a boa.

Características dos perfis: perfil bem desenvolvido com sub-horizontes A e apresentando B textural. Cor pardo amarelada, textura arenosa, profundidade compreendida entre 1,00 e 1,50 m.

Fertilidade aparente: baixa.

Erosão: laminar, moderada a severa e em sulcos médios frequentes.

Uso atual: cana-de-açúcar e reflorestamento com eucalipto.

Classes de capacidade de uso: III, IV.

Subclasses de capacidade de uso: IIIe, IVe.

Alternativas de uso :

Subclasse IIIe: culturas, pastagens, florestas e vida silvestre.

Subclasse IVe: cultura ocasional, pastagens, florestas e vida silvestre.

UNIDADE 10

Origem: solos provenientes de sedimentos finos do grupo Estrada Nova, formação Corumbataí, ocupando uma posição intermediária no relevo da região.

Relêvo: ondulado, curto a médio, irregular com declividade até 10%.

Drenagem: pobre.

Características dos perfis: solos mal desenvolvidos, apresentando cores claras, textura fina e profundidade até 30 cm.

Fertilidade: baixa a média.

Erosão: laminar, severa e sulcos médios frequentes.

Uso atual: pastagens, cana-de-açúcar e reflorestamento com eucalipto.

Classes de capacidade de uso: VI, VII.

Subclasses de capacidade de uso: VIe,s; VIIe,s.

Alternativas de uso:

Subclasse VIe,s: pastagens, florestas, vida silvestre.

Subclasse VIIe,s: florestas, vida silvestre.

3.1.3 - Fotografias aéreas

Foram utilizadas fotografias aéreas verticais provenientes da cobertura aerofotográfica afetuada pela Prospec, em agosto de 1962, na escala aproximada de 1:25.000.

O recobrimento entre fotografias é de cerca de 60% na mesma faixa de voo e de 30% entre faixas adjacentes, o que permite a visão estereoscópica.

3.1.4 - Planta topográfica

Foi utilizada uma planta topográfica, na escala de 1:20.000, com levantamento plani-altimétrico, contendo curvas de nível de equidistância vertical de 10 m. Tal planta foi elaborada pela Prospec, em dezembro de 1968.

3.1.5 - Estereoscópios

Foram empregados dois tipos de estereoscópios: um de espelho Zeiss, para os trabalhos de escritório; e outro de marca Vasconcelos, de bolso, para exame de detalhes no campo.

3.1.6 - Equipamento de medição

Para as diversas medições, os equipamentos utilizados foram os seguintes:

cálculo de áreas: planímetro polar Amsler.

perímetro e comprimentos de rios: curvímetro Rosenhain.

altitudes: altímetro J. J. Hicks & London Eng., com precisão de 10 m.

declividades: clinômetro Rosenhain.

distâncias: escala triangular Tecnostyl 91/C.

3.2 - Métodos

3.2.1 - Seleção da área de estudo

A escolha da área pertencente à Usina Costa Pinto se deveu ao fato dela apresentar carta de solos, levantamento plani-altimétrico e cobertura fotográfica, indispensáveis à realização do presente trabalho.

3.2.2 - Obtenção dos mapas básicos de drenagem

Através de detalhado exame dos pares estereoscópicos, foram delimitadas, para cada um dos solos estudados, pequenas bacias hidrográficas, de tamanhos variáveis, mas de mesma ordem de rios (3ª ordem). Para cada unidade de solo, escolheram-se duas bacias hidrográficas, relativamente homogêneas e geomêtricamente semelhantes. Após a demarcação dos divisores de água, foi traçada a rede de drenagem completa, englobando os canais permanentes e temporários.

Em seguida, procedeu-se à transferência das áreas dos solos, das cartas de solo para as fotografias aéreas. E por último, os limites das bacias hidrográficas foram decalçados das fotografias aéreas para papel transparente, bem como suas respectivas redes de drenagem e os limites das unidades de solo.

3.2.3 - Análise das bacias hidrográficas

Para a análise geral das bacias hidrográficas, seguiu-se a metodologia descrita por FRANÇA (14).

Dentre os vários aspectos ou elementos analisados nas fotografias aéreas e relacionados aos propósitos desta investigação, procurou-se dar ênfase àqueles que pudessem ser mensuráveis e cujos dados fossem dignos de confiança. Com base nesse procedimento, puderam ser analisados os seguintes elementos das bacias de drenagem:

a. representatividade; expressa em termos de porcentagem da área total da bacia, ocupada pelo solo predominante.

b. propriedades dimensionais:

- maior comprimento; medido com escala, acompanhando aproximadamente a direção do vale principal, entre a foz e o ponto extremo sobre a linha do divisor de águas;

- maior largura: medida com escala, transversalmente ao vale principal; ✓

- comprimento total dos rios das diversas ordens: - medido com curvímetero, acompanhando as sinuosidades dos rios, da foz até a nascente;

- perímetro: expresso pelo comprimento da linha do divisor de águas que circunda a bacia, medido com curvímetero;

- área: medida com planímetro.

c. propriedades não dimensionais:

- forma aproximada: indicada pelo contôrnio da bacia e referida por designação apropriada (ovalada, e líptica, piriforme, trapezoidal, etc.);
- ordem da bacia: determinada pela ordem do rio principal nela contido e que vem a ser a do segmento de ordem mais elevada, de acôrdo com o sistema adotado. A importância dêste item reside no fato de que os dados de bacias de ordens diferentes não são diretamente comparáveis entre si;
- semelhança geométrica: avaliada para cada grupo de duas bacias representando uma unidade de solo. Êste teste de semelhança geométrica, entre bacias de mesma ordem, foi empregado para dar maior segurança às comparações feitas e maior consistência aos resultados.

3.2.4 - Características do padrão de drenagem

A caracterização do padrão de drenagem foi feita segundo critérios quantitativos, tomados como índices de relêvo. Esta caracterização compreendeu o estudo de:

a. frequência de rios e a densidade de drenagem, definidas por HORTON (17), e a razão de textura, definida por SMITH (33) e modificada por FRANÇA (14) para o uso de fotografias aéreas. Segundo SMITH (33) a textura topográfica T é a razão entre o número de crênulas N na curva de nível (contendo o máximo delas) e o perímetro P bacia.

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

A determinação da textura topográfica, a partir de fotografias aéreas, foi feita considerando-se N como sendo o número total de segmentos de rios da bacia, como indicou FRANÇA (14). Estas três características quantitativas se referem a bacias hidrográficas individuais. Para representar o padrão de drenagem como um todo, foram determinadas outras duas características a saber:

b. razão de textura média ponderada, em relação à área das respectivas bacias, segundo SMITH (33). Êste valor médio ponderado da razão de textura topográfica, representativo da unidade de solo, foi obtido usando a fórmula:

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

onde T_m é a razão de textura média, Σ significa soma, A representa a área e T a razão de textura de cada bacia hidrográfica.

A classificação da textura topográfica foi feita como recomenda FRANÇA (14) e é apresentada no quadro 1.

c. Amostras circulares para interpretação litológica, segundo RAY e FISCHER (28), consistindo na tomada de amostras circulares, homogêneas, com área de 10 Km². No presente trabalho, procurou-se selecionar amostras circulares, abrangendo a maior proporção possível de cada unidade de solo.

Quadro 1 - Parâmetros para classificação da textura topográfica com base nos valores de razão de textura média, segundo SMITH (33) modificado por FRANÇA (14).

| Classe de textura topográfica, T | Razão de textura média, T_m Perímetro (km) |
|------------------------------------|---|
| grosseira | abaixo de 2,5 |
| média | 2,5 a 6,2 |
| fina | acima de 6,2 |

3.2.5 - Descrição do relêvo

Os atributos de forma do exterior ou superfície externa do corpo do solo foram descritos segundo RANZANI (26).

3.2.6 - Razão de relêvo

Foi definida por SCHUMM (31) como sendo a razão entre o relêvo total da bacia (diferença entre as altitudes extremas) e o comprimento da mesma, medido na sua mais longa dimensão. Segundo STRAHLER (35), a razão de relêvo indica o declive total da superfície da bacia hidrográfica. É um número sem dimensão, prontamente correlacionável com outras medições, independentemente do tamanho da bacia hidrográfica.

O valor da razão de relêvo foi obtido através da seguinte relação:

$$\text{Razão de relêvo} = \frac{\text{Maior altitude} - \text{Menor altitude}}{\text{Maior comprimento da bacia}}$$

A maior e menor altitudes foram determinadas com auxílio do altímetro.

3.2.7 - Declive máximo da encosta

Para STRAHLER (37 e 38), um índice significativo do de

clive de uma bacia hidrográfica é o declive máximo da encosta ou declive da superfície D_s , medido em intervalos aproximadamente iguais, ao longo de uma das encostas do vale (a de maior declive), desde a parte mais alta (divisor) até onde ela se torna horizontal, na base do vale.

A determinação do declive máximo foi feita na encosta - mais íngreme, a partir do divisor até as proximidades da confluência de dois vales de 1ª ordem formando um de 2ª. Em bacias hidrográficas de textura fina o espaçamento adotado para obtenção das leituras dos declives variou de 1,5 a 3,0 m e nas de textura média adotou-se 8,0 a 10,0 m. de espaçamento. Os declives foram obtidos com o nível de mão de Abney e foram expressos pelos seus respectivos ângulos de inclinação. O total de leituras obtidas ao longo de cada linha de maior declive, variou de 25 a 40. Utilizou-se o valor médio, obtido do total de cada linha, como representativo do declive.

3.2.8 - Razão do declive

A razão de declive foi definida por HORTON (17) como:

$$R_d = \frac{D_c}{D_s}$$

onde, R_d é a razão de declive, D_c é o declive do canal e D_s é o declive da superfície.

O declive da superfície D_s foi obtido pelo método já descrito e o declive do canal D_c foi determinado ao longo dos vales de rios de 2ª ordem, próximo do ponto onde eles são formados pela junção de dois tributários de 1ª ordem. Estes dados tornam-se comparáveis, entre si, por quanto são obtidos em posições equivalentes no sistema de drenagem das diversas bacias hidrográficas.

4 - RESULTADOS

4.1 - UNIDADE 3

O estudo das características das bacias hidrográficas, das respectivas redes de drenagem e do relêvo forneceu os seguintes resultados:

4.1.1 - Características das bacias hidrográficas

4.1.1.1 - Representatividade

As bacias hidrográficas escolhidas apresentam solos cuja distribuição está indicada nos quadros 2 e 3.

Quadro 2 - Distribuição das unidades de solos na bacia hidrográfica A de 3ª ordem.

| Unidade de solo | Área em hectares | Porcentagem da área total da bacia |
|-----------------|------------------|------------------------------------|
| 3 | 760,62 | 80,65 |
| 7 | 79,37 | 8,42 |
| 12 | 103,12 | 10,93 |

Quadro 3 - Distribuição das unidades de solos na bacia hidrográfica B de 3ª ordem.

| Unidade de solo | Área em hectares | Porcentagem da área total da bacia |
|-----------------|------------------|------------------------------------|
| 3 | 515,00 | 48,56 |
| 7 | 164,75 | 15,55 |
| 13 | 247,50 | 23,30 |
| 12 | 133,50 | 12,59 |

4.1.1.2 - Propriedades dimensionais

Para a caracterização das bacias hidrográficas estudadas, estas propriedades acham-se indicadas no quadro 4.

Quadro 4 - Propriedades dimensionais das bacias hidrográficas representativas da unidade 3.

| Bacia hidrográfica | Maior comprimento \underline{C} (km) | Maior largura \underline{L} (km) | Perímetro \underline{P} (km) | Área, \underline{A} (km ²) |
|--------------------|--|------------------------------------|--------------------------------|--|
| A | 5,33 | 1,94 | 16,20 | 9,4313 |
| B | 5,81 | 3,07 | 16,30 | 10,6063 |

4.1.1.3 - Propriedades não dimensionais

Algumas propriedades descritivas ou representadas por números sem dimensão estão indicadas no quadro 5.

Quadro 5 - Propriedades não dimensionais das bacias hidrográficas representativas da unidade 3.

| Bacia hidrográfica | Forma aproximada | Ordem \underline{W} | Número de segmentos de rios, \underline{N} |
|--------------------|--------------------|-----------------------|--|
| A | reniforme alongada | 3* | 9 |
| B | trapezoidal | 3* | 9 |

4.1.1.4 - Semelhança geométrica

Com base nos princípios da análise dimensional e de semelhança geométrica, constatou-se que as bacias hidrográficas - escolhidas como representativas da unidade 3 são planimetricamente semelhantes, diferindo em largura e na forma, como mostram os quadros 4 e 5.

4.1.2 - Características das redes de drenagem

4.1.2.1 - Composição da rede de drenagem

As características referentes à composição das redes de drenagem das bacias hidrográficas estudadas são apresentadas no quadro 6.

Quadro 6 - Composição das redes de drenagem das bacias hidrográficas de 3ª ordem, representativas da unidade 3.

| Bacia hidrográfica | Ordem <u>W</u> | Número de segmentos de rios | | Comprimento total dos rios das diversas ordens (km) |
|--------------------|----------------|-------------------------------------|--------------------------|---|
| | | em cada ordem, <u>N_w</u> | total da bacia, <u>N</u> | |
| A | 1ª | 6 | | 9,20 |
| | 2ª | 2 | | |
| | 3ª | 1 | 9 | |
| B | 1ª | 6 | | 9,80 |
| | 2ª | 2 | | |
| | 3ª | 1 | 9 | |

4.1.2.2 - Padrão de drenagem

a. As características quantitativas do padrão de drenagem, relacionando a rede de drenagem à área e ao perímetro da bacia hidrográfica, estão indicadas no quadro 7.

Quadro 7 - Características quantitativas do padrão de drenagem de solos da unidade 3.

| Bacia hidrográfica | Frequência de rios <u>Fr</u> | Densidade de drenagem <u>Dd</u> | Razão de Textura <u>T</u> | Razão de textura média <u>T_m</u> |
|--------------------|------------------------------|---------------------------------|---------------------------|---|
| A | 0,95 | 0,98 | 0,56 | 0,43 |
| B | 0,85 | 0,92 | 0,31 | |

b. Foi de 0,43 o valor da razão de textura média T_m das duas bacias hidrográficas, representativas dos solos da unidade 3.

c. Com base no valor da razão de textura média, a textura topográfica foi classificada como grosseira.

d. A densidade de drenagem determinada em amostra circular de 10 km² de área, representativa dos solos da unidade 3, é de 0,8 (km/km²).

As figuras 1 e 2 mostram, respectivamente, as bacias hidrográficas A e B. Na figura 3, apresenta-se a amostra circular deste solo.

4.1.3 - Características do relêvo

4.1.3.1 - Descrição

As bacias hidrográficas, representativas de solos da unidade 3, possuem um relevo suavemente ondulado, muito longo, com declividade predominante entre 3 e 8%, muito uniforme.

4.1.3.2 - Propriedades dimensionais

Para a caracterização do relevo desta unidade de solo foram determinadas as seguintes propriedades dimensionais:

a. Razão de relevo

A razão de relevo das bacias hidrográficas está indicada no quadro 8.

Quadro 8 - Razão de relevo das bacias hidrográficas representativas de solos da unidade 3.

| Bacia hidrográfica | Altitudes (m) | | Diferença de nível (m) | Maior comprimento da bacia (m) | Razão de relevo |
|--------------------|---------------|-------|------------------------|--------------------------------|-----------------|
| | Maior | Menor | | | |
| A | 650 | 570 | 80 | 5.340 | 0,015 |
| B | 660 | 580 | 80 | 5.350 | 0,015 |

b. Declive máximo da encosta

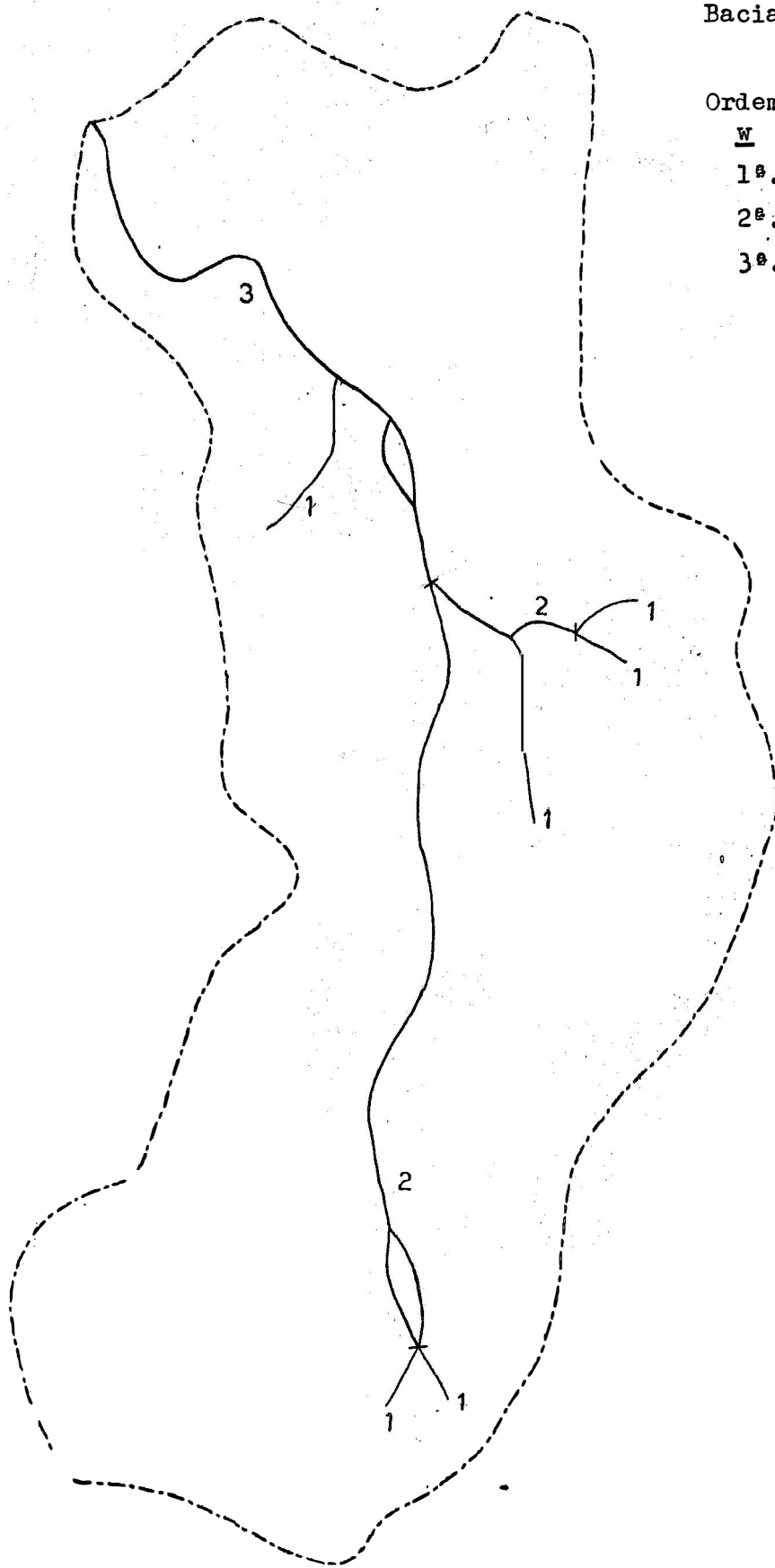
Nas bacias hidrográficas representativas da unidade 3, os valores do declive máximo da encosta foram: 8,6% na bacia A e 9,0% na bacia B.

c. Razão de declive

A razão de declive das bacias hidrográficas estão indicadas no quadro 9.

Quadro 9 - Razão de declive das bacias hidrográficas, representativas de solos da unidade 3.

| Bacia hidrográfica | Declive máximo da encosta D_s (%) | Declive do canal D_c (%) | Razão de declive R_d |
|--------------------|-------------------------------------|----------------------------|------------------------|
| A | 8,6 | 7,5 | 0,87 |
| B | 9,0 | 8,0 | 0,88 |



Bacia hidrográfica A

| Ordem, <u>w</u> | Número de segmentos, <u>N_w</u> |
|----------------------|--|
| 1 ^a | 6 |
| 2 ^a | 2 |
| 3 ^a | 1 |
| | <u>N</u> = 9 |

Figura 1 - Bacia hidrográfica de 3^a ordem
representativa da unidade 3.
Escala = 1:25.000

Bacia hidrográfica B

| Ordem, <u>w</u> | Número de segmentos, <u>N_w</u> |
|----------------------|--|
| 1 ^a | 6 |
| 2 ^a | 2 |
| 3 ^a | 1 |
| | <u>N</u> = 9 |

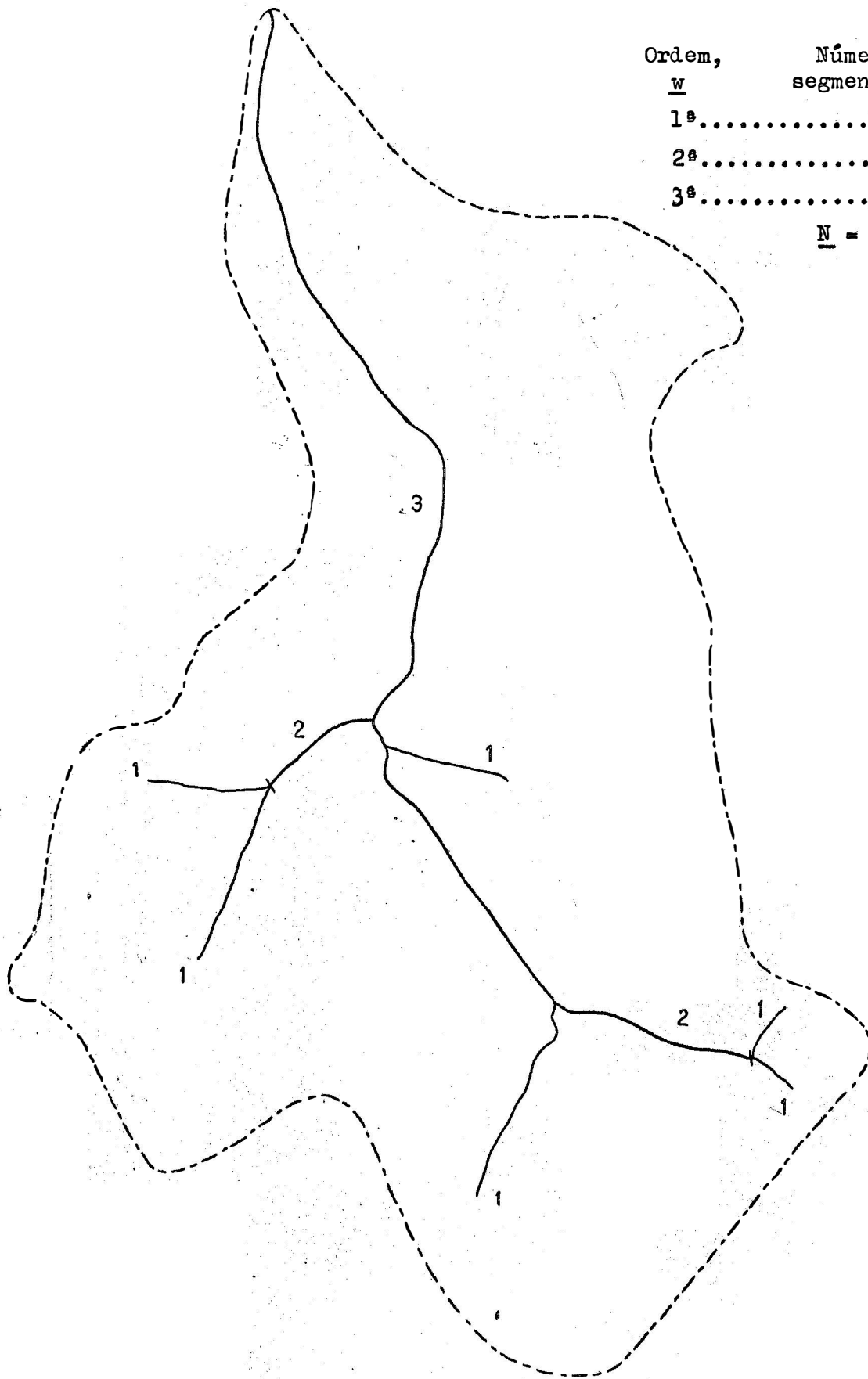
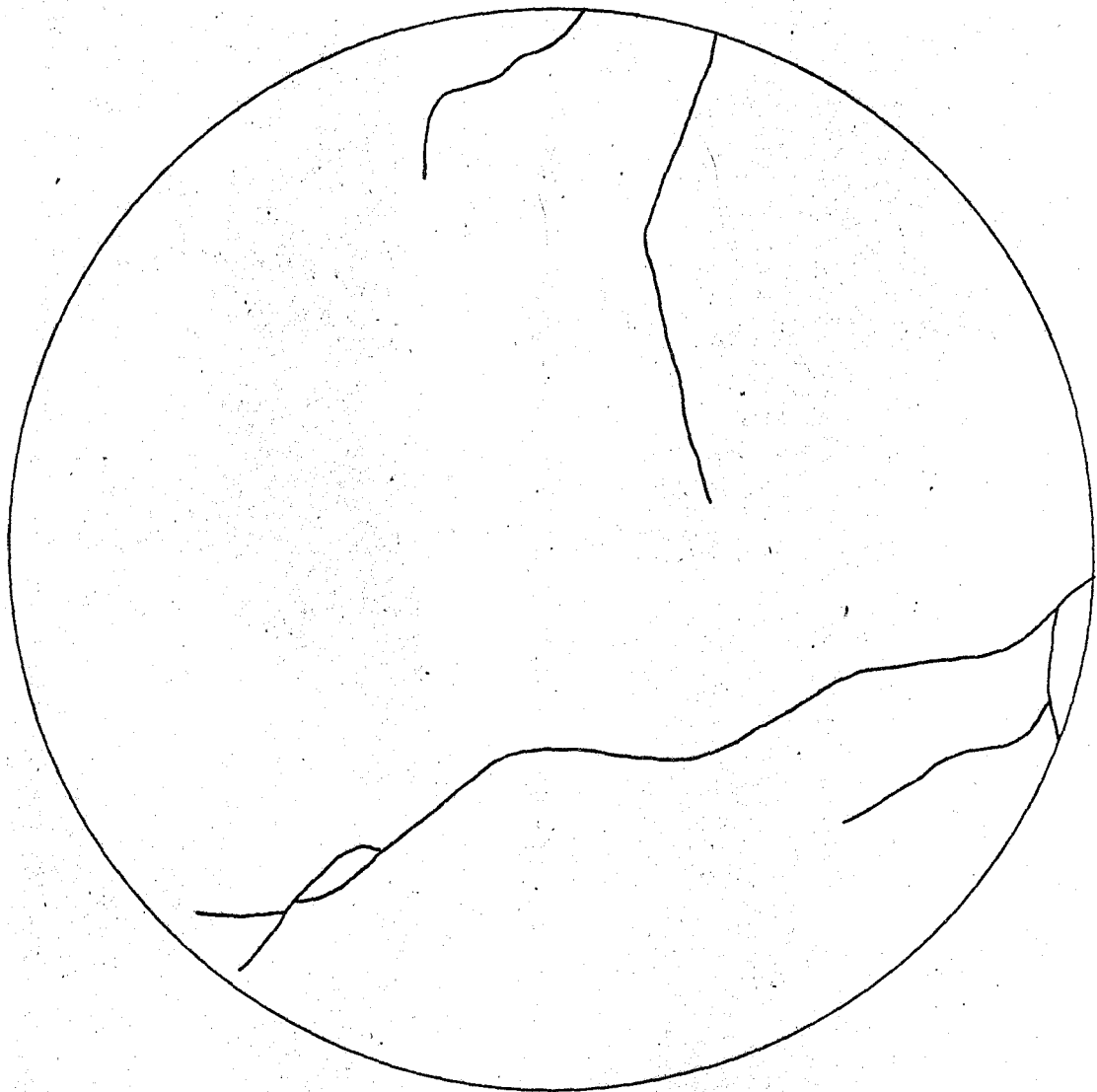


Figura 2 - Bacia hidrográfica de 3^a ordem
representativa da unidade 3.
Escala = 1:25.000



$Dd = 0,8$

Figura 3 - Amostragem circular da densidade de drenagem de solos da unidade 3.



Aspecto do relêvo de uma bacia hidrográfrica
representativa dos solos da unidade 3.

4.2 - UNIDADE 7

O estudo das características das bacias hidrográficas, das respectivas redes de drenagem e do relevo forneceu os seguintes resultados:

4.2.1 - Características das bacias hidrográficas

4.2.1.1 - Representatividade

As bacias hidrográficas escolhidas apresentam solos cuja distribuição está indicada nos quadros 10 e 11.

Quadro 10 - Distribuição das unidades de solos na bacia hidrográfica A de 3ª ordem.

| Unidade de solo | Área em hectares | Porcentagem da área total da bacia |
|-----------------|------------------|------------------------------------|
| 7 | 26,25 | 45,16 |
| 8 | 31,87 | 54,84 |

Quadro 11 - Distribuição das unidades de solos na bacia hidrográfica B de 3ª ordem.

| Unidade de solo | Área em hectares | Porcentagem da área total da bacia |
|-----------------|------------------|------------------------------------|
| 7 | 46,87 | 52,97 |
| 8 | 41,62 | 47,03 |

4.2.1.2 - Propriedades dimensionais

A caracterização das bacias hidrográficas por números dimensionais acha-se no quadro 12.

Quadro 12 - Propriedades dimensionais das bacias hidrográficas representativas da unidade 7.

| Bacia hidrográfica | Maior comprimento <u>C</u> (%) | Maior largura <u>L</u> (km) | Perímetro <u>P</u> (km) | Área <u>A</u> (km ²) |
|--------------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| A | 1,38 | 0,62 | 3,60 | 0,5813 |
| B | 1,28 | 1,00 | 3,60 | 0,8850 |

4.2.1.3 - Propriedades não dimensionais

Algumas propriedades descritivas ou representadas por números sem dimensão, estão indicadas no quadro 13.

Quadro 13 - Propriedades não dimensionais das bacias hidrográficas representativas da unidade 7.

| Bacia hidrográfica | Forma aproximada | Ordem <u>W</u> | Número de segmentos de rios <u>N</u> |
|--------------------|------------------|----------------|--------------------------------------|
| A | ameba | 3º | 14 |
| B | ovalada | 3º | 19 |

4.2.1.4 - Semelhança geométrica

As bacias hidrográficas escolhidas como representativas da unidade 7 são planimetricamente semelhantes, diferindo na forma e na maior largura, como mostram os quadros 12 e 13.

4.2.2 - Características das redes de drenagem

4.2.2.1 - Composição da rede de drenagem

As características referentes à composição das redes de drenagem das bacias hidrográficas estudadas são apresentadas no quadro 14.

Quadro 14 - Composição das redes de drenagem das bacias hidrográficas de 3º ordem, representativas da unidade 7.

| Bacia hidrográfica | Ordem <u>W</u> | Número de segmentos de rios | | Comprimento total dos rios das diversas ordens (km) |
|--------------------|----------------|-------------------------------------|--------------------------|---|
| | | em cada ordem, <u>N_w</u> | total da bacia, <u>N</u> | |
| A | 1º | 10 | | 3,4 |
| | 2º | 3 | | |
| | 3º | 1 | 14 | |
| B | 1º | 14 | | 3,9 |
| | 2º | 4 | | |
| | 3º | 1 | 19 | |

4.2.2.2 - Padrão de drenagem

a. As características quantitativas do padrão de drenagem, relacionando a rede de drenagem à área e ao perímetro da bacia hidrográfica, estão indicadas no quadro 15.

Quadro 15 - Características quantitativas do padrão de drenagem, de solos da unidade 7.

| Bacia hidrográfica | Frequência de rios \bar{Fr} | Densidade de drenagem \bar{Dd} | Razão de Textura \bar{T} | Razão de textura média \bar{T}_m |
|--------------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| A | 24,09 | 5,85 | 3,89 | 4,60 |
| B | 21,46 | 4,40 | 5,28 | |

b. Foi de 4,60 o valor da razão de textura média \bar{T}_m das duas bacias hidrográficas, representativas dos solos da unidade 7.

c. Com base no valor da razão de textura média, a textura topográfica foi classificada como média.

d. A densidade de drenagem, determinada em amostra circular (figura 5) de 10 km^2 de área, representativa de solos da unidade 7, é de 4,29 (km/km^2). Na figura 4, são representadas as duas bacias hidrográficas A e B desta unidade de solos.

4.2.3 - Características do relêvo

4.2.3.1 - Descrição

As bacias hidrográficas, representativas de solos da unidade 7, possuem o relêvo ondulado a forte ondulado, curto, de declividade predominante entre 10 e 20%, irregular. Alguns trechos com declividade mais acentuada correspondem ao Litosol associado.

4.2.3.2 - Propriedades dimensionais

Para a caracterização do relêvo desta unidade de solo foram determinadas as seguintes propriedades dimensionais:

a. Razão de relêvo

A razão de relêvo das bacias hidrográficas, está indicada no quadro 16.

Quadro 16 - Razão de relêvo das bacias hidrográficas, representativas de solos da unidade 7.

| Bacia hidrográfica | Altitudes (m) | | Diferença de nível (m) | Maior comprimento da bacia (m) | Razão de relêvo |
|--------------------|---------------|-------|------------------------|--------------------------------|-----------------|
| | Maior | Menor | | | |
| A | 640 | 520 | 120 | 1.380 | 0,087 |
| B | 640 | 490 | 150 | 1.240 | 0,120 |

b. Declive máximo da encosta

Nas bacias hidrográficas representativas da unidade 7, os valores do declive máximo da encosta foram: 22,7% na bacia A e 27,4% na bacia B.

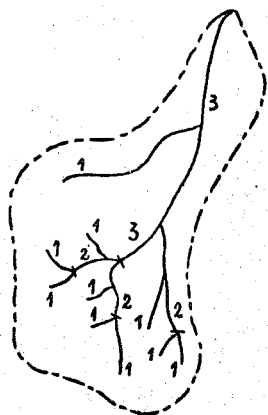
c. Razão de declive

A razão de declive das bacias hidrográficas, está indicada no quadro 17.

Quadro 17 - Razão de declive das bacias hidrográficas, representativas de solos da unidade 7.

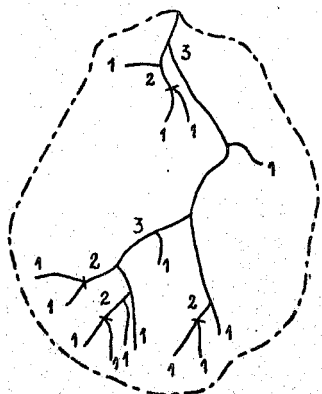
| Bacia hidrográfica | Declive máximo da encosta <u>Ds</u> (%) | Declive do canal <u>Dc</u> (%) | Razão de declive <u>Rd</u> |
|--------------------|---|--------------------------------|----------------------------|
| A | 22,7 | 12,0 | 0,53 |
| B | 27,4 | 12,5 | 0,53 |

Bacia hidrográfica A



| Ordem, <u>w</u> | Número de segmentos, <u>N_w</u> |
|--------------------|--|
| 1ª..... | 10 |
| 2ª..... | 3 |
| 3ª..... | <u>1</u> |
| | <u>N = 14</u> |

Bacia hidrográfica B



| Ordem, <u>w</u> | Número de segmentos, <u>N_w</u> |
|--------------------|--|
| 1ª..... | 14 |
| 2ª..... | 4 |
| 3ª..... | <u>1</u> |
| | <u>N = 19</u> |

Figura 4 - Bacias hidrográficas de 3ª ordem representativas da unidade 7.

Escala = 1:25.000



Dd = 4,29

Figura 5 - Amostragem circular da densidade de drenagem de solos da unidade 7.



Aspecto do relêvo de uma bacia hidrográfica
representativa dos solos da unidade 7.

4.3 - UNIDADE 10

O estudo das características das bacias hidrográficas, das respectivas redes de drenagem e do relevo forneceu os seguintes resultados:

4.3.1 - Características das bacias hidrográficas

4.3.1.1 - Representatividade

As bacias hidrográficas escolhidas apresentam solos cuja distribuição está indicada nos quadros 18 e 19.

Quadro 18 - Distribuição das unidades de solo nas bacias hidrográficas A de 3ª ordem.

| Unidade de solo | Área em hectares | Porcentagem da área total da bacia |
|-----------------|------------------|------------------------------------|
| 10 | 49,37 | 71,82 |
| 1 | 13,75 | 20,00 |
| 12 | 5,25 | 8,18 |

Quadro 19 - Distribuição das unidades de solos nas bacias hidrográficas B de 3ª ordem.

| Unidade de solo | Área em hectares | Porcentagem da área total da bacia |
|-----------------|------------------|------------------------------------|
| 10 | 248,12 | 73,52 |
| 1 | 37,50 | 11,11 |
| 14 | 17,50 | 5,19 |
| 12 | 34,37 | 10,18 |

4.3.1.2 - Propriedades dimensionais

Para a caracterização das bacias hidrográficas estudadas, as propriedades expressas por números dimensionais acham-se indicadas no quadro 20.

Quadro 20 - Propriedades dimensionais das bacias hidrográficas representativas da unidade 10.

| Bacia hidrográfica | Maior comprimento <u>C</u> (km) | Maior largura <u>L</u> (km) | Perímetro <u>P</u> (km) | Área <u>A</u> (km ²) |
|--------------------|---------------------------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| A | 1,20 | 0,80 | 3,20 | 0,6875 |
| B | 2,70 | 1,74 | 8,50 | 3,3750 |

4.3.1.3 - Propriedades não dimensionais

Algumas propriedades descritivas ou representadas por números sem dimensão estão indicadas no quadro 21.

Quadro 21 - Propriedades não dimensionais das bacias hidrográficas representativas da unidade 10.

| Bacia hidrográfica | Forma aproximada | Ordem \underline{w} | Número de segmentos de rios \underline{N} |
|--------------------|------------------|-----------------------|---|
| A | ovalada | 3ª | 13 |
| B | ovalada | 3ª | 32 |

4.3.1.4 - Semelhança geométrica

As bacias hidrográficas escolhidas como representativas da unidade 10 são geomêtricamente semelhantes, apesar de apresentarem tamanhos diferentes, como mostram os quadros 20 e 21.

4.3.2 - Características da rede de drenagem

4.3.2.1 - Composição da rede de drenagem

As características referentes à composição da rede de drenagem das bacias hidrográficas estudadas estão no quadro 22.

Quadro 22 - Composição das redes de drenagem das bacias hidrográficas de 3ª ordem representativas da unidade 10.

| Bacia hidrográfica | Ordem \underline{w} | Número de segmentos de rios | | Comprimento total dos rios das diversas ordens (km) |
|--------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------|---|
| | | em cada ordem, \underline{Nw} | total da bacia, \underline{N} | |
| A | 1ª | 10 | | |
| | 2ª | 2 | | |
| | 3ª | 1 | 13 | 3,1 |
| B | 1ª | 24 | | |
| | 2ª | 7 | | |
| | 3ª | 1 | 32 | 12,4 |

4.3.2.2 - Padrão de drenagem

a. As características quantitativas do padrão de drenagem, relacionando a rede de drenagem à área e ao perímetro da bacia hidrográfica estão indicadas no quadro 23.

Quadro 23 - Características quantitativas do padrão de drenagem, de solos da unidade 10.

| Bacia hidrográfica | Frequência de rios \underline{Fr} | Densidade de drenagem \underline{Dd} | Razão de Textura \underline{T} | Razão de textura média \underline{Tm} |
|--------------------|-------------------------------------|--|----------------------------------|---|
| A | 19,0 | 4,51 | 4,06 | 3,81 |
| B | 9,4 | 3,67 | 3,76 | |

b. Foi de 3,81 o valor da razão de textura média \underline{Tm} das duas bacias hidrográficas, representativas de solos da unidade 10.

c. Com base no valor da razão de textura média, a textura topográfica foi classificada como média.

d. A densidade de drenagem determinada em uma mostra circular (figura 7) de 10 Km² de área, representativa de solos da unidade 10, é de 3,99 (km/km²). Na figura 6, são representadas as bacias hidrográficas A e B destes solos.

4.3.3 - Características do relêvo

4.3.3.1 - Descrição

As bacias hidrográficas, representativas de solos da unidade 10, possuem relêvo ondulado a forte ondulado, curto a médio, declividade predominante entre 8 e 15%, irregular.

4.3.3.2 - Propriedades dimensionais

Para a caracterização do relêvo desta unidade de solo foram determinadas as seguintes propriedades dimensionais:

a. Razão de relêvo

A razão de relêvo das bacias hidrográficas está indicada no quadro 24.

Quadro 24 - Razão de relêvo das bacias hidrográficas, representativas de solos da unidade 10.

| Bacia hidrográfica | Altitudes (m) | | Diferença de nível (m) | Maior comprimento da bacia (m) | Razão de relêvo |
|--------------------|---------------|-------|------------------------|--------------------------------|-----------------|
| | Maior | Menor | | | |
| A | 580 | 490 | 90 | 1.200 | 0,075 |
| B | 580 | 480 | 100 | 2.700 | 0,037 |

b. Declive máximo da encosta

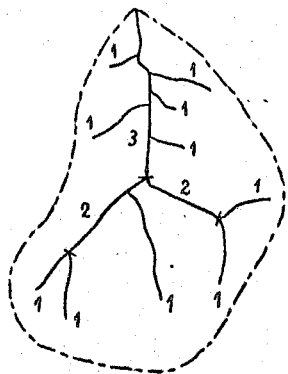
Nas bacias hidrográficas da unidade 10, os valores do declive máximo da encosta foram: 19,7% na bacia A e 17,7% na bacia B.

c. Razão de declive

A razão de declive das bacias hidrográficas estão indicadas no quadro 25.

Quadro 25 - Razão de declive das bacias hidrográficas, representativas de solos da unidade 10.

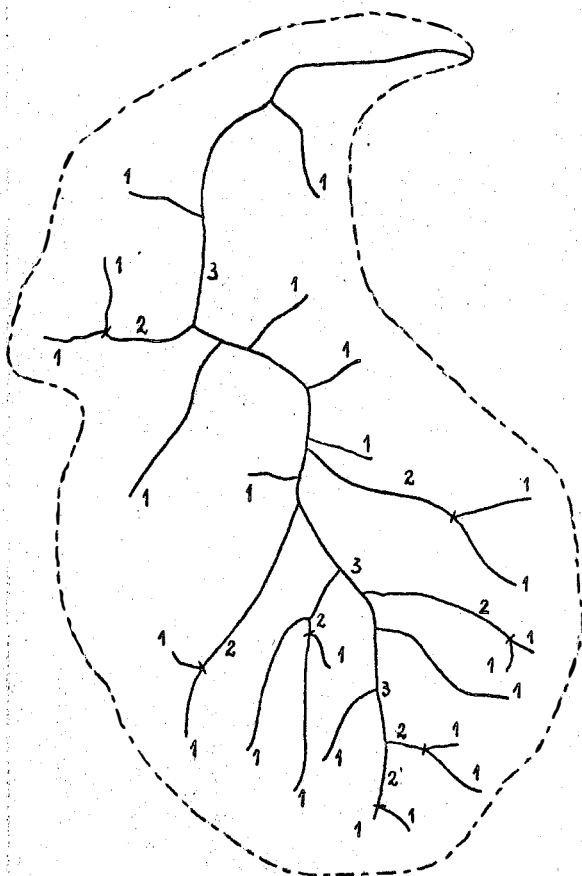
| Bacia hidrográfica | Declive máximo da encosta <u>Ds</u> (%) | Declive do canal <u>Dc</u> (%) | Razão de declive <u>Rd</u> |
|--------------------|---|--------------------------------|----------------------------|
| A | 19,7 | 12,5 | 0,63 |
| B | 17,7 | 10,0 | 0,56 |



Bacia hidrográfica A

| Ordem, <u>w</u> | Número de segmentos, <u>N_w</u> |
|----------------------|--|
| 1 ^a | 10 |

N = 13



Bacia hidrográfica B

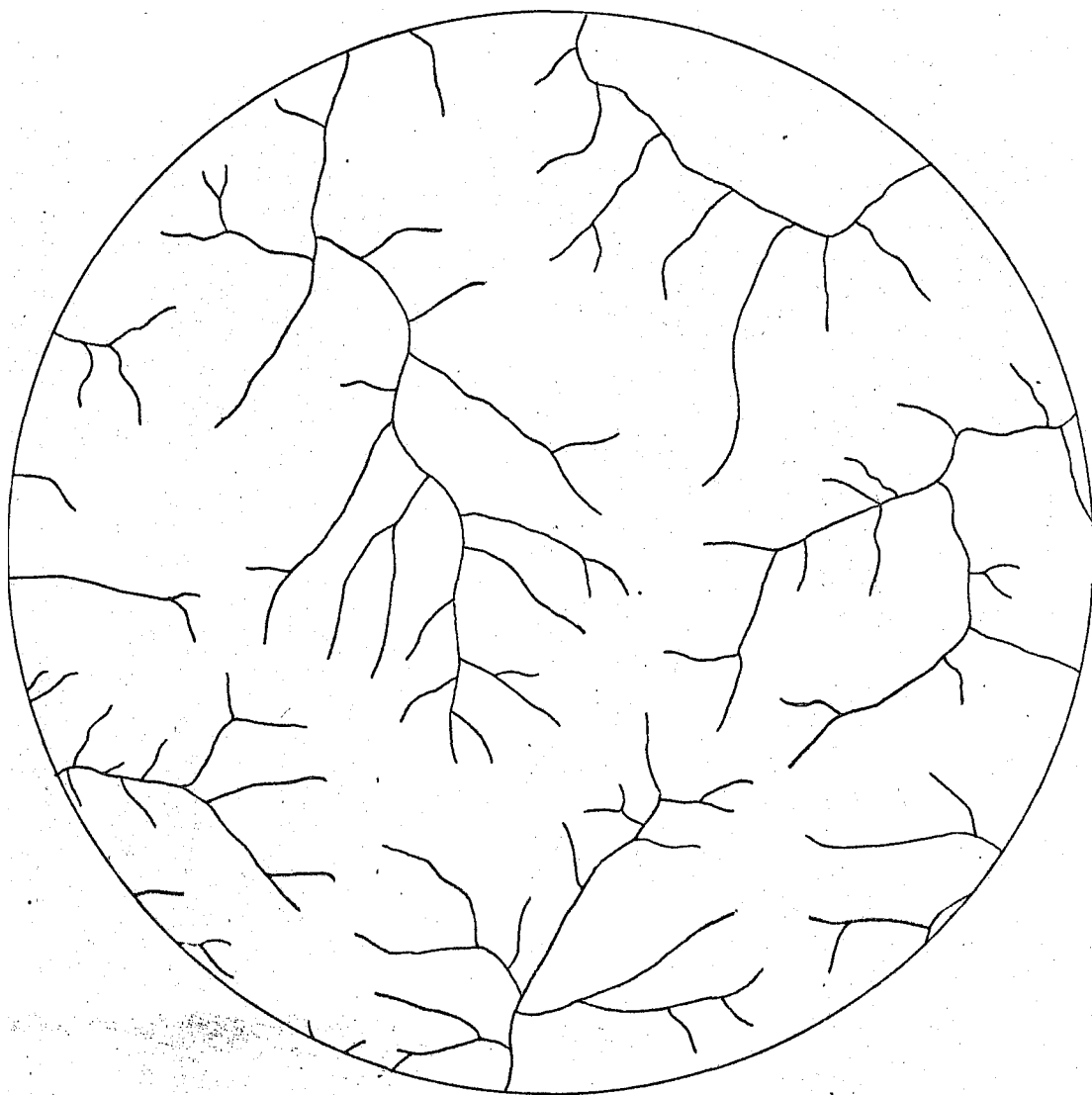
| Ordem, | Número de segmentos, <u>N_w</u> |
|----------------------|--|
| 1 ^a | 24 |

| | |
|----------------------|----------|
| 3 ^a | <u>1</u> |
|----------------------|----------|

N = 32

Figura 6 - Bacias hidrográficas de 3^a ordem
representativas da unidade 10.

Escala = 1:25.000



$Dd = 3,99$

Figura 7 Amostragem circular da densidade de drenagem de solos da unidade 10.



Aspecto do relêvo de uma bacia hidrográfrica
representativa dos solos da unidade 10.

5 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 - Representatividade

Examinando os resultados apresentados no quadro 2 observa-se que, para bacias de 3ª ordem, a unidade 3 é o solo mais representativo do grupo de terras compondo a bacia hidrográfica A. De vés que os solos hidromórficos se constituem em um grupo quase normal a tôdas as bacias hidrográficas, pode-se considerar o valor da cobertura de 80,65% da área, como uma representatividade muito alta. Na bacia hidrográfica B, quadro 3, pelas mesmas razões já expostas e considerando a participação de um maior número de terras a ela associado, a unidade 3 exhibe uma representatividade alta.

Os resultados relativos à bacia hidrográfica A, de ocorrência da unidade 7, apresentados no quadro 10, sugerem tratar-se de uma representatividade alta, apesar dessas terras exibirem uma cobertura de área de 45,16%; isto porque, essa unidade é o único solo bem desenvolvido presente nessa bacia, sendo acompanhado pela unidade 8 que dela difere apenas quanto ao grau de desenvolvimento. A unidade 8 é uma fase rasa da unidade 7. Os resultados do quadro 11, pelas mesmas razões anteriores, também sugerem para a unidade 7 uma representatividade alta na bacia hidrográfica B.

Os dados nos quadros 18 e 19 relativos à unidade 10, para as bacias hidrográficas A e B, sugerem uma representatividade muito alta para essa unidade, apesar de tratar-se de um solo no estágio inicial de desenvolvimento.

Amparados nos resultados acima e tendo em vista as limitações oferecidas pelas bacias hidrográficas discutidas por FRANÇA (14), podemos

considerar satisfatória a escolha das unidades 3, 7 e 10 em termos de representatividade das bacias hidrográficas em que ocorrem.

5.2 - Características das bacias hidrográficas

Examinando os quadros 4 e 5 e as figuras 2 e 3, observa-se que as bacias hidrográficas representativas da unidade 3 são semelhantes, diferindo apenas quanto aos atributos de forma.

Com relação à unidade 7, os quadros 12 e 13 e a figura 4 nos mostram razoável semelhança nas características das bacias hidrográficas representativas desta unidade, exceto quanto à forma.

No que se refere à unidade 10, podemos observar, nos quadros 22 e 23 e na figura 6, que as bacias hidrográficas que a representam são de tamanhos diferentes, sendo, todavia, semelhantes nos outros atributos.

Esses resultados estão de acordo com os princípios de semelhança geométrica de STRAHLER (35) e concordam com aqueles obtidos por FRANÇA (14).

5.3 - Características das redes de drenagem

5.3.1 - Composição das redes de drenagem

Conforme observamos nos quadros 6, 14 e 22, a composição das redes de drenagem nas bacias de 3ª ordem é idêntica na unidade 3 e muito semelhante na unidade 7. Na unidade 10, é aparentemente diferente, contudo, deve-se levar em conta a diferença em área. Assim sendo, podemos considerar que existe semelhança quanto à composição, segundo os critérios propostos por STRAHLER (35).

A provável explicação para esta diferença em área para bacias de mesma ordem, reside no fato de que na parte mais baixa da bacia ocorre a unidade 1 de solo, a qual oferece maior resistência à erosão pela água e, portanto, ao desenvolvimento da rede de drenagem. Este fato concorda com as observações de HORTON (17), STRAHLER (35), RAY (27), RICCI e PETRI (29) e FRANÇA (14). Em apoio a esta explicação, outro indício que pode ser observado na figura 6 é a curvatura na parte mais baixa da bacia, que é acompanhada por uma curvatura do segmento final de rio; curvaturas estas que sugerem a presença de "sill" de diabásio, ocorrência frequente na área estudada, conforme assinalam ALMEIDA e BARBOSA (1 e 2), MEZZA LIRA (23) e FRANÇA (14).

A presença de um "sill" de diabásio, originando solos da unidade 1, também explica porque não houve remoção de sedimento como seria

de se esperar, segundo as observações de ANDERSON (3).

5.3.2 - Padrão de drenagem

O exame dos quadros 7, 15 e 23 mostra que as características quantitativas do padrão de drenagem, referidas à área e ao perímetro da bacia, refletem diferentes graus de dissecação do relêvo, segundo os conceitos de HORTON (17), SMITH (33) e STRAHLER (35).

Observamos que a unidade 3 apresentou os valores numéricos mais baixos, indicando maior resistência à erosão e, portanto, menor dissecação do relêvo.

Com relação às unidades 7 e 10, observamos que a frequência de rios é maior na unidade 7 e a densidade de drenagem e a razão de textura tendem a ser maiores nesta unidade, uma vez que os seus valores são significativamente mais elevados. Esta tendência é, também, confirmada pelo maior valor da razão de textura média na unidade 7. Isto sugere que os solos da unidade 7 são menos resistentes à erosão que os solos da unidade 10. O exame das figuras 4 e 6 apóia esta hipótese, uma vez que os segmentos de rios de mesma ordem apresentam maior comprimento na unidade 10. Esses resultados concordam com aqueles obtidos por HORTON (17) SMITH (33), STRAHLER (35) e FRANÇA (14).

No que se refere aos valores da razão de textura média, os resultados obtidos permitem, segundo o quadro 1, que classifiquemos a textura topográfica da unidade 3 como grosseira e as das unidades 7 e 10 como médias. Apesar disso, o maior valor da razão de textura média na unidade 7 sugere que esses solos possuem menor resistência à erosão e um relêvo mais dissecado.

Examinando as figuras 3, 5 e 7, observamos que a densidade de drenagem, determinada em amostra circular, apresenta valor muito baixo na unidade 3 e valores relativamente altos nas unidades 7 e 10, sendo ligeiramente superior na unidade 7. Esses resultados concordam com as observações de RAY (27) e vêm confirmar o que foi discutido anteriormente.

Essas correlações entre as características das redes de drenagem e as do relêvo estão de acordo com o princípio da convergência de evidências de COLWELL (8) e com os princípios estabelecidos por FROST (15).

5.4 - Características do relêvo

5.4.1 - Descrição

Conforme se depreende dos itens 4.1.3.1, 4.2.3.1 e

4.3.3.1, a descrição das características do relêvo, segundo RANZANI (26), mostra que o relêvo da unidade 3 é diferente das unidades 7 e 10, porém a simples descrição não é suficiente para fazer a distinção entre as duas últimas unidades.

5.4.2 - Razão de relêvo

Examinando os quadros 8, 16 e 25, observamos que os valores mais baixos da razão de relêvo correspondem à unidade 3 e os mais elevados à unidade 7.

Isto significa que o relêvo mais suave é o da unidade 3 e o mais íngreme o da unidade 7. A razão de relêvo é, portanto, um indicador seguro das diferenças entre solos.

Êsses resultados se correlacionam com aqueles obtidos através das características das redes de drenagem, confirmando as observações de SCHUMM (31) e STRAHLER (35 e 36).

5.4.3 - Declive máximo da encosta

Os resultados obtidos mostram que o declive máximo da encosta é mais suave na unidade 3 e mais íngreme na unidade 7, ficando a unidade 10 mais próxima desta última, conforme podemos constatar nos itens 4.1.3.2, 4.2.3.2 e 4.3.3.2. Êsses resultados se correlacionam com a razão de relêvo e com as características da rede de drenagem, constituindo-se em um índice significativo do relêvo, concordando, assim, com STRAHLER (37 e 38).

5.4.4 - Razão de declive

Nos quadros 9, 17 e 25, observamos que os maiores valores da razão de declive correspondem à unidade 3, que é a de relêvo mais suave; e os menores valores correspondem a solos da unidade 7, que é a de relêvo mais forte. Sendo uma razão entre o declive do canal e o declive máximo da encosta ou superfície, esta característica quantitativa funciona com índice inverso, correlacionando-se, desta maneira, com os índices anteriormente discutidos. Êsses resultados confirmam os obtidos por HORTON (17) e STRAHLER (38).

6 - CONCLUSÕES

A partir da análise e discussão dos resultados obtidos nas condições que caracterizaram o presente estudo, podemos destacar as seguintes conclusões:

6.1 - Unidade 3

Esta unidade de solo foi a que apresentou:

a. representatividade muito elevada, nas bacias hidrográficas de ocorrência;

b. redes de drenagem menos desenvolvidas, com menor número de segmentos, porém, de maior comprimento médio;

c. os valores mais baixos de frequência de rios, densidade de drenagem e razão de textura.

d. os valores mais baixos de razão de textura média e de densidade de drenagem determinada em amostra circular;

e. textura topográfica grosseira;

f. com base nas conclusões b, c, d e e estes solos são os que apresentam maior resistência à erosão e ao desenvolvimento das redes de drenagem, o que concorda com a natureza do perfil - solo profundo e permeável.

g. os valores mais baixos de razão de relêvo e de declive máximo da encosta;

h. os valores mais elevados de razão de declive, ou seja, relêvo mais suave.

6.2 - Unidade 7

Os solos pertencentes a esta unidade foram os que apresentaram:

- a. representatividade elevada;
- b. redes de drenagem mais desenvolvidas que na unidade 3, porém, menos do que na unidade 10, apresentando segmentos de rios de menor comprimento médio;
- c. os maiores valores de frequência de rios, de densidade de drenagem e de razão de textura referidos à bacia hidrográfica, tendendo a serem os mais elevados, porém não diferindo muito daqueles da unidade 10;
- d. os maiores valores de razão de textura média e de densidade de drenagem, determinada em amostra circular;
- e. textura topográfica média;
- f. com base nas conclusões anteriores estes solos são os menos resistentes à erosão, o que concorda com a natureza do perfil - solo de textura arenosa, apresentando horizonte B textural;
- g. os valores mais altos de razão de relêvo e de declive máximo da encosta;
- h. os valores mais baixos de razão e declive, ou seja, relêvo mais forte.

6.3 - Unidade 10

Esta unidade de solo foi a que apresentou:

- a. representatividade muito elevada e menos homogeneidade quanto às características das bacias hidrográficas, em virtude de uma das bacias ter sofrido o controle de um "sill" de diabásio;
- b. redes de drenagem ligeiramente menos desenvolvidas que na unidade 7, porém, com segmentos de rios de maior comprimento médio;
- c. os valores de frequência de rios, de densidade de drenagem e de razão de textura ligeiramente inferiores aos da unidade 7;
- d. os valores da razão de textura média e de densidade de drenagem, determinada em amostra circular, pouco inferiores aos da unidade 7, porém, bem mais elevados que os da unidade 3;
- e. textura topográfica média;
- f. com base nas conclusões b, c, d, e e, estes solos apresentam pouca resistência à erosão, o que está de acordo com a natureza do perfil - solo raso de textura fina;
- g. valores intermediários de razão de relêvo e de declive máximo da encosta, porém mais próximos daqueles da unidade 7.

h. valores intermediários de razão de declive, porém, mais próximos daqueles da unidade 7, o mesmo ocorrendo com o relêvo.

6.4 - Conclusões gerais

A comparação dos resultados obtidos para as três unidades de solo estudadas permitiu as seguintes conclusões gerais:

a. tanto as características das bacias hidrográficas e das redes de drenagem como as características do relêvo dependem da natureza do solo;

b. as características das bacias hidrográficas e das respectivas redes de drenagem indicam o grau de dissecação da superfície do solo e podem ser utilizadas como índices de relêvo;

c. dentre as características quantitativas das redes de drenagem que melhor evidenciaram as diferenças entre solos, incluem-se a frequência de rios, a razão de textura média e a densidade de drenagem determinada em amostras circulares;

d. os três índices de relêvo estudados, quais sejam, razão de relêvo, declive máximo da encosta e razão de declive, mostraram-se dignos de confiança para a distinção entre solos;

e. os índices baseados na rede de drenagem estão correlacionados com os índices de relêvo.

7 - RESUMO

Este trabalho foi realizado com a finalidade de estudar, por meio de fotografias aéreas e contrôles de campo, a significância de atributos do relêvo de alguns solos da região de Piracicaba.

Tomando-se por base a carta de solos da Usina Costa Pinto, escolheram-se três unidades de solo geneticamente diferentes, com morfologia e propriedades distintas.

A área estudada se localiza na Depressão Paleozóica, sub-região Médio-Tietê. O clima é do tipo mesotérmico, Cwa, denominado "tropical de altitude".

Os solos estudados são provenientes de sedimentos arenosos do grupo Tubarão e de sedimentos finos do grupo Estrada Nova, formação Corumbataí.

Para representar cada unidade de solo, escolheram-se duas bacias hidrográficas de 3ª ordem, relativamente homogêneas e geomêtricamente semelhantes. Procedeu-se à análise das bacias hidrográficas, das características do padrão de drenagem e de atributos do relêvo.

A comparação dos resultados obtidos nas três unidades de solo permitiu que se tirassem as seguintes conclusões gerais:

a. tanto as características das bacias hidrográficas e das redes de drenagem como as características do relêvo dependem da natureza do solo.

b. as características das bacias hidrográficas e das respectivas redes de drenagem indicam o grau de dissecação da superfície do solo e podem ser utilizadas como índices de relêvo.

c. dentre as características quantitativas das redes de drenagem que

melhor evidenciaram as diferenças entre solos, incluem-se a frequência de rios, a razão de textura média e a densidade de drenagem determinada em a mostras circulares;

d. os três índices de relêvo representados pela razão de relêvo, de clive máximo da encosta e razão de declive, mostram-se dignos de confiança para a distinção entre solos;

e. os índices baseados na rede de drenagem estão correlacionados com os índices de relêvo.

8 - SUMMARY

This thesis was realized with the purpose of studying, by means of aerial photograph and controlled experiments, the significance of some relief attributes of certain soils in the region of Piracicaba, State of São Paulo. The soils classification of the Usina Costa Pinto was taken as the base for the study. Three different types of soils (with distinct properties) were selected from the classification above. The area studied is located in the Paleozoic Depression and its climate is of the Cwa type.

The soils studied result from the sandy sediments of the Tubarão group and the fine sediments of the Estrada Nova group.

Two drainage basins of the 3rd order, relatively homogenous and geometrically similar, were used to represent each type of soil. The drainage basins, the characteristics of the type of drainage and the relief attributes were analysed.

Comparison of the results obtained in the three types of soil permit the following general conclusions:

- a. the characteristics of the drainage basin, of the drainage network as well as of the relief characteristics depend upon the nature of the soil;
- b. the characteristics of the drainage basin and the respective drainage networks can be used as relief indices;

- c. Among the quantitative characteristics of the drainage networks, the best evidence soils are the frequency of rivers, and the relationship of the average texture and density of drainage as determined by circular samples;
- d. the three relief indices represented by the relief relationship, the maximum slope of the valley and the slope relationship indicate with confidence the differences between the soils;
- e. the indices based on the drainage networks are correlated with the relief indices.

9 - LITERATURA CITADA

1. ALMEIDA, F.M.M. e O.BARBOSA - Geologia das quadriculas de Piracicaba e Rio Claro, Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Divisão de Geologia e Mineralogia. 1953. 96 p. (Boletim nº 143).
2. _____ - Cartas geológicas das quadriculas de Piracicaba (nº 2762) e de Rio Claro (nº 2731). Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Divisão de Geologia e Mineralogia. 1952.
3. ANDERSON, H.W. - Relating sediment yield to watershed variables. Trans. Amer. Geophys. Union, 38: 921 a 924. 1957.
4. BASTOS, S.A. - Soils mapping and aerial photography in soils conservation. In I Congresso Pan Americano de Conservação do Solo. São Paulo. 1966.
5. BOMBERGER, E.H. and H.W. DILL (JR.) - Photo interpretation in agriculture. In Manual of photographic interpretation. Washington, American Society of Photogrammetry. 1960. p. 561 - 632. (Chapter 11).
6. BURINGH, P. - The applications of aerial photographs in soil surveys. In Manual of photographic interpretation. Washington, American Society of Photogrammetry. 1960. p. 633 - 666. (Appendix A to chapter 11).

7. CAMARGO, A.P. e A.A. ORTOLANI - Clima das zonas canavieiras do Brasil. In Cultura e adubação da cana-de-açúcar. São Paulo, Inst. Bras. de Potassa. 1964. p. 121 - 138.
8. COLWELL, R.N. - Photographic interpretation for civil purposes. In Manual of Photogrammetry. Washington, American Society of Photogrammetry. 1952. Sec.Ed., p. 535 - 602.
9. COMISSÃO DE SOLOS DO C.N.E.P.A. - Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas. 1964. 634 p. (Boletim nº 12)
10. COMISSÃO DE SOLOS DO C.N.E.P.A. - Carta dos solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, C.N.E.P.A. - S.N.P.A. 1960.
11. CRESWICK, W.J. and W.H. ROCKWELL - Applications of aerial - photographic techniques to agricultural surveys. In Aerial photographic interpretation: principles and applications. New York, McGraw - Hill Book Co., Inc. 1959. p. 373 - 385.
12. CURTIS, L.F., J.C. DOORNKAMP and K.J. GREGORY - The description of relief in field studies of soils. J. Soil Sci., 16: 16 - 30. 1965.
13. ENGELN, O.D. Von. - Geomorphology: systematical and regional. New York, Mc Millan, 1942. 655 p.
14. FRANÇA, G.V. - Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba. Piracicaba, Universidade de São Paulo. 1968. 151 p. Tese (Doutor). Escola Superior de Agricultura " Luiz de Queiroz ".
15. FROST, R.E. - Photointerpretation of soils. In Manual of photographic interpretation. Washington, American Society of Photogrammetry. 1960. p. 343 - 402 (Chapter 5)
16. GOOSEN, D. - Aerial photo-interpretation in soil survey. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1967. 55 p. (FAO, Soils bulletin nº 6).

17. HORTON, R.E. - Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bul. Geol. Soc. Amer.*, 56 275 - 370. 1945.
18. HOWE, R.H.L. - The application of aerial photographic interpretation to the investigation of hidrologic problems. *Photogram. Eng.*, 26: 85 - 95. 1960.
19. LOBEK, A.K. - Geomorphology: an introduction to the study of landscapes. New York, McGraw - Hill Book Co., Inc. 1939. 731 p.
20. LUEDER, D.R. - Aerial photographic interpretation: principles and applications. New York, McGraw - Hill Book Co., Inc. 1959. 462 p.
21. MAGNANINI, R.L.C. - Observações sôbre o clima da Bacia Paraná - Uruguai. In Condições geográficas e aspectos geo-econômicos da Bacia Paraná-Uruguai. São Paulo, Associação dos geógrafos brasileiros, Vol. I: 103 - 110. 1955.
22. MAXWELL, J.C. - The bifurcation ratio Horton's law of stream numbers (Abstract). *Trans. Amer. Geophys. Union*, 36 : 520. 1955.
23. MEZZALIRA, S. - Descrição Geológica e Geográfica das fôlhas de Piracicaba e São Carlos, S.P. São Paulo, Instituto Geográfico e Geológico. 1965. 41 p. (Boletim nº 43).
24. MILLER, V.C. and C.F. MILLER - Photogeology. New York, McGraw-Hill Book Co., Inc. 1961. 248 p.
25. RABEN, E.L. - Fundamentals of photo interpretation. In Manual of photographic interpretation. Washington, American Society Photo grammetry. 1960. p. 99 - 168 (Chapter 3).
26. RANZANI, G. - Manual de levantamentos de Solos. 2ª Edição, São Paulo, Ed. Edgard Blucher Ltda. 1969. 167 p.
27. RAY, R.G. - Fotografias aéreas na interpretação e mapeamento geológicos. Traduzido por Jesuino Felicissimo Jr. (U.S. Geological Survey professional paper 373, 1960) São Paulo, Instituto Geográfico e Geológico. 1963. 88 p. , 75 fotogramas.

28. RAY, R.G. and W.A. FISCHER - Quantitative photography: a geologic research tool. Photogram. Eng., 26 : 143 - 150. 1960.
29. RICCI, M. e S. PETRI - Princípios de aerofotogrametria e interpretação geológica. São Paulo, Cia. Editora Nacional. 1965, 226 p.
30. ROURKE, J.D. and M.E. AUSTIN - The use of air-photos for soil classification and mapping in the field. Reprinted from Photogrammetric Engineering, December. 1951. p. 738-747.
31. SCHUMM, S.A. - Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. Bul. Geol. Soc. Amer. 67 : 597 - 646. 1956.
32. SIMONSON, R.W. - Use of aerial photographs in soil surveys. Photogram. Eng., 16: 308 - 315. 1950.
33. SMITH, K.G. - Standards for grading texture of erosional topography. Amer. J. Sci., 248 : 655 -668. 1950.
34. SMITH, G.D. and A.R. AANDAHL - Soil classification and surveys. In Soil. Washington, U.S. Dept. Agric. 1957. p. 396-400. (Yearbook of agriculture).
35. STRAHLER, A.N. - Hypsometric (area - altitude) analysis of erosional topography. Bul. Geol. Soc. Amer., 63 : 1117 - 1142. 1952.
36. _____ - Quantitative analysis of watershed geomorphology. Trans. Amer. Geophys. Union, 38: 913 - 920. 1957.
37. _____ - Equilibrium theory of erosional slopes approached by frequency distribution analysis. Amer. J. Sci., 248, 673 - 696, 800 - 814, 1950.
38. _____ - Quantitative slope analysis. Bul. Geol. Soc. Amer. 67: 571 - 596, 1956.
39. SUMMERSON, C.H. - A philosophy for photo interpreters. Photogram. Eng., 20 : 396 - 397. 1954.
40. TATOR, B.A. - Drainage anomalies in Coastal Plains Regions. Photogram. Eng., 20 : 412 - 417. 1954.

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