

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”
Campus de Piracicaba

LSO 660 – Manejo e Conservação do Solo – 2014

Teórico/Prática – Tema:

Caracterização e Espacialização do meio físico, como base para o planejamento do uso da terra

Prof. Dr. J. Alexandre Demattê
Departamento de Ciência do Solo

Capítulo 2: Fotointerpretação e Fotopedologia

Introdução

O solo é um dos mais importantes recursos naturais da terra, pois dependemos dele para o nosso sustento. A erosão não só degrada o solo, mas concorre para outros impactos que também são severos, como o assoreamento e a queda na produtividade. Portanto, precisamos ampliar nosso conhecimento para melhor protegê-los. Neste aspecto, o sensoriamento remoto tem sido considerado uma importante ferramenta nos mais diversos aspectos relacionados a agronomia e em particular aos estudos de solos e uso da terra. Tal técnica pode auxiliar na identificação e caracterização de solos, vegetação, geologia, planejamento de cidades e desenvolvimento urbano, uso atual da terra, planejar o controle de erosão, programar reflorestamentos e planejar o uso da terra.

O conhecimento da distribuição dos solos do Brasil, apresenta como dificuldade a enorme dimensão territorial (aproximadamente 8,5 milhões de km²). Por outro lado, os mapeamentos de solos são ainda muito generalizados. A caracterização e o conhecimento dos solos é a base para a elaboração de mapas de solos e uso da terra. Como consequência, pode-se racionalizar o seu uso, diminuindo os impactos do manejo agrícola, permitindo maiores produtividades. Para a avaliação dos solos, são realizadas análises físicas, químicas e mineralógicas, as quais são normalmente caras e demoradas. Neste sentido, novas técnicas devem ser desenvolvidas com o objetivo de, conjuntamente com as convencionais, auxiliar no diagnóstico qualitativo e quantitativo dos solos.

Várias são as técnicas de sensoriamento remoto no monitoramento e discriminação de solos e uso da terra, como as fotografias aéreas, imagens multiespectrais, uso de sensores ativos e passivos. Destas, as fotografias aéreas aparecem como a de mais antiga utilização, porém, ainda com grande utilidade, sendo a base para o entendimento das relações solo/paisagem, muito utilizado em levantamento de solos. Com o surgimento das imagens orbitais e os estudos espectrais, ampliou-se o potencial do sensoriamento remoto. Nos dias atuais, cientistas exploram metodologias que venham a explorar os padrões de interação das propriedades dos solos e plantas com sua energia refletida, com o propósito de extrair o máximo de informações sobre as suas características biofísicas.

Dentro do geoprocessamento podemos incluir uma série de técnicas e equipamentos que se complementam, entre eles o sensoriamento remoto, sistemas de informações geográficas e GPS.

É nesse contexto, que os produtos do sensoriamento remoto constituem um importante material de apoio nos trabalhos de levantamentos de solos e uso da terra.

2 Evolução do Sensoriamento remoto

O inventário sobre os solos pode ser realizado pelos métodos convencionais de levantamento de solo, estabelecidos por Brasil (1960). Por outro lado, o solo também pode ser avaliado por métodos como os iniciados por Westin & Frazee (1976) e Venkataratnam (1980). Geralmente os métodos convencionais são trabalhosos, caros e demorados, quando comparados com as técnicas de mapeamento por sensoriamento remoto.

Crepani, em 1983, define de forma sucinta e que melhor expressa a definição do termo sensoriamento remoto: " é a ciência e a arte de se obterem informações sobre um objeto, área ou fenômeno, através da análise de dados coletados por aparelhos denominados sensores, que não entram em contato direto com os alvos em estudo".

Pode-se dizer que o sensoriamento provavelmente teve seu início com Laussedat, em 1850, que realizou um 1º trabalho utilizando fotografias, tendo sido chamado então de "Pai da Fotogrametria". Ele combinou o teodolito com a máquina fotográfica, obtendo medidas das fotos (fototeodolito), em relação a um espaço. A partir de 1860, foram tiradas as primeiras fotografias aéreas usando papagaios e balões, não obtendo bons resultados. A primeira fotografia aérea com resultados foi tirada utilizando um balão em 1887, por Fairman nos EUA. Em 1900 iniciaram-se trabalhos onde tiravam fotos aéreas com grande ângulo de recobrimento.

O desenvolvimento das fotografias aéreas, viria, entretanto, na época da primeira guerra mundial, fotos essas tomadas de avião para fins de mapeamento em 1913, pelo capitão Tardivo, na cidade de Bengasi. O aperfeiçoamento ocorreu na segunda grande guerra em 1939.

As aplicações de SR em pedologia começaram nos anos 30 com a utilização de fotografias aéreas como mapas-base. Nos anos 60, um novo impulso ocorreu com o desenvolvimento de novas técnicas cartográficas aplicadas a pedologia, permitindo o estudo do padrão fisiográfico dos solos. Nesta época, iniciou-se o uso de imagens orbitais, sendo que a partir de 1972, os estudos ligados ao meio ambiente se desenvolveram mais. Hoje, ocorre um uso intensivo tanto de imagens orbitais como fotografias aéreas.

O sensoriamento remoto iniciou, portanto, com o advento das fotografias aéreas conforme visto anteriormente. As imagens orbitais porém, iniciaram em 1960, e os estudos ambientais datam de 1972. O estudo em fotografias aéreas refere-se a parte mais importante no treinamento em estudo do solo pela paisagem, sendo objeto deste capítulo.

3. Fotografias aéreas

3.1. Características gerais

As fotografias aéreas são obtidas pelo recobrimento da área pelo avião tirando fotografias, como pode ser visto na figura 3.1. Para realizar este recobrimento, é necessário todo um planejamento de vôo, onde são observados a escala e o tipo desejado da fotografia, a altitude, altura e velocidade do avião, número de fotografias necessárias para recobrir toda a área, distância focal na máquina fotográfica e época ideal para a realização do vôo.

O recobrimento entre uma fotografia e outra é de aproximadamente 60% longitudinal e 30% lateral, permitindo com isso, observar as fotografias em estereoscopia (Figura 3.1). A fig 3.1b indica o mosaico formado por um conjunto de fotos aéreas obtidas por avião.

A visão binocular permite a percepção de profundidade, que é o caso da visão humana com os dois olhos. Se fecharmos um olho, teremos uma visão monocular, através da qual não se tem noção da profundidade. A profundidade, portanto, é dada pela diferença de ângulos com que as imagens são recebidas. Assim, o deslocamento do avião faz com que as fotografias aéreas sejam tomadas de tal maneira, que um mesmo objeto aparece em duas fotografias sucessivas, tiradas de ângulos diferentes. Uma vez feita a fusão dessas duas imagens, obtém-se a percepção estereoscópica (Figura 3.2).

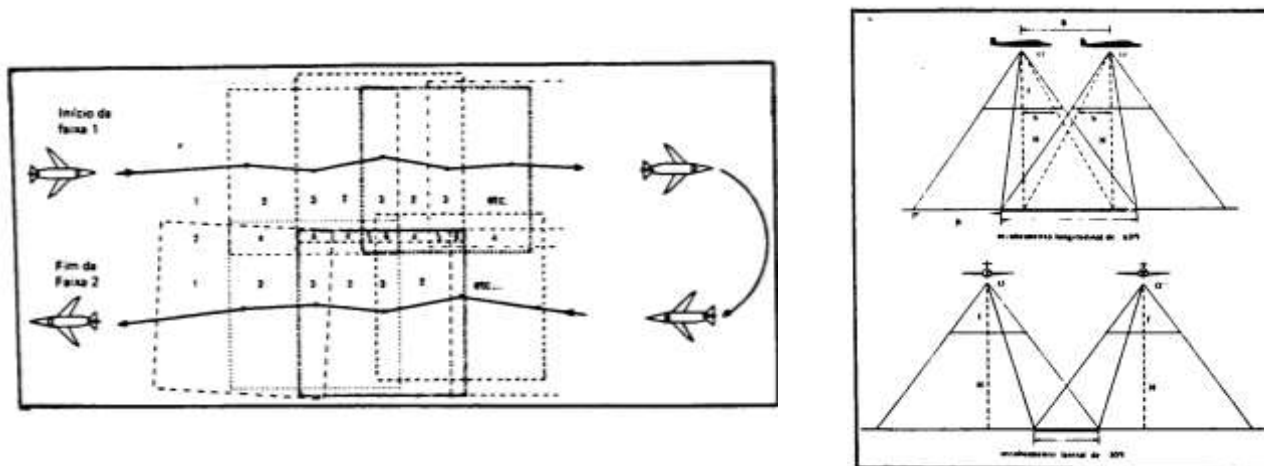


Figura 3.1. Recobrimento de uma área pelo avião, ilustrando o recobrimento lateral e longitudinal.

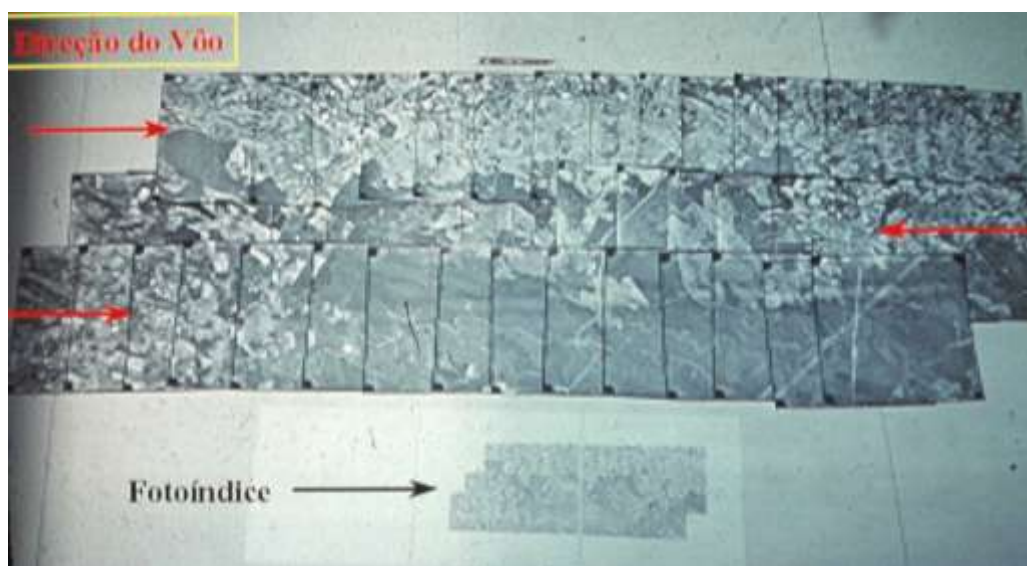
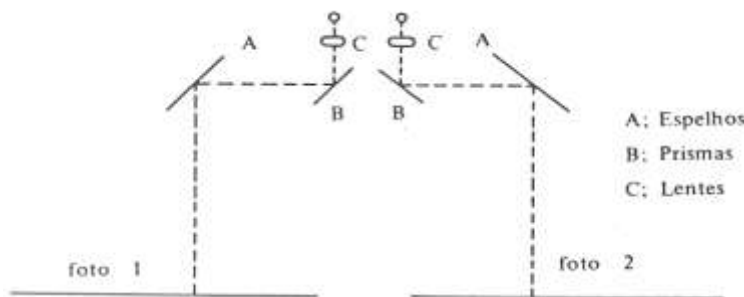
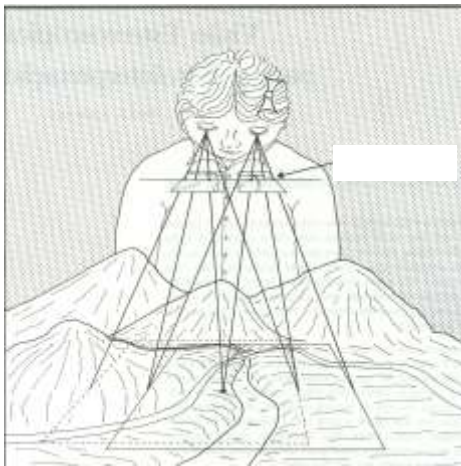


Figura 3.1b. Disposição seqüencial das fotos e indicação da direção de vôo realizada pelo avião.

O exagero estereoscópico significa que as características topográficas ficam muito exageradas quando vistas através de um estereoscópio. Um morro por exemplo, aparece muito mais alto do que é na realidade. Sem este exagero ficaria difícil detectar pequenas mudanças no relevo.

Os aparelhos utilizados são o estereoscópio de espelhos (e de bolso (Figura 3.2). O primeiro oferece uma melhor visualização da foto, entretanto, o estereoscópio de bolso é de mais fácil manuseio.

A dimensão das fotografias aéreas é de normalmente 23x23cm. A escala pode ser classificada como: pequena, 1:15000 a 1:20000; média, 1:5000 até 1:15.000 e grande : 1:200 até 1:5000. Elas podem ser pancromáticas, coloridas, infravermelho pancromático e infravermelho colorido. Os tipos de fotografias aéreas, em relação à orientação da câmara, estão ilustradas na figura 3.2.



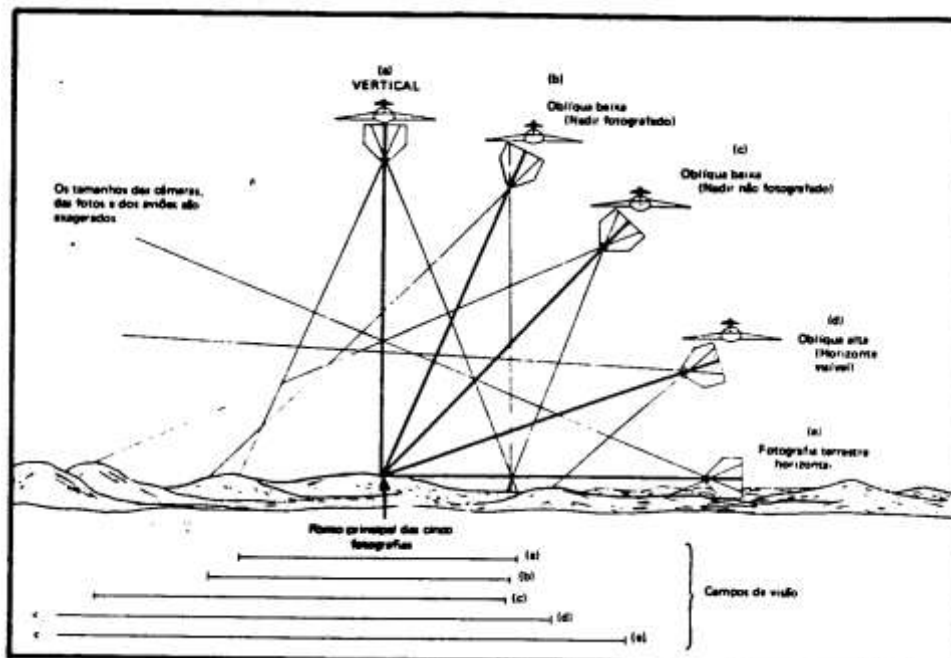


Figura 3.2. Percepção estereoscópica; Estereoscópio de espelhos, estereoscópio de bolso; Tipos de fotografias aéreas segundo a orientação da câmara.

3.2. Fotointerpretação pedológica

3.2.1. Introdução

A função das imagens aéreas em levantamentos de solos é chegar a uma classificação da superfície do terreno que, através de trabalhos de campo subsequentes e análises de laboratório, possa ser traduzida em unidades de mapeamento. Entretanto, seu uso tem valor limitado para levantamentos detalhados de solos, quando os elementos diferenciadores das unidades de mapeamento não refletem na paisagem, como será visto nos próximos itens.

Por ser a utilização de imagens fotográficas em levantamentos de solos baseada na relação solo e paisagem, alguns autores classificam esse tipo de levantamento como morfopedológico, quando as unidades de mapeamento são definidas somente pelos aspectos observados na paisagem, como a topografia e vegetação.

O exame de fotografias aéreas, com o objetivo de estudar as unidades fisiográficas que representam um solo, é também denominada de Fotopedologia, que pode ser definida como: "um exame cuidadoso de todos os elementos dos padrões fotográficos, quantitativos e qualitativos, e que, através da convergência de evidências, permitem diagnosticar sobre as prováveis unidades de solos existentes na área. Depende muito do conhecimento do fotointérprete em solos, e de sua experiência em correlacioná-lo com a fotografia aérea".

As fotografias aéreas só observam a superfície da terra. Essa superfície, entretanto, forma-se devido a diversos fatores, ou seja, os fatores de formação dos solos. Assim, o clima e os organismos agem sobre o material de origem e relevo num determinado tempo. Pelo relevo, portanto, podemos tirar várias informações sobre os solos.

3.2.2. Métodos de levantamentos de solos utilizando fotografias aéreas

Para um levantamento de solos, podemos ou não nos utilizar das imagens fotográficas, tendo com isso seqüências básicas, como descrito a seguir.

- a) **Método Convencional:**(1) observação do relevo da área; (2) abertura de perfis, tradagens, caracterização das unidades taxonômicas; (3) delimitação das unidades no escritório.
- b) **Método utilizando fotografias aéreas:** (1) observação da paisagem, correlação campo e fotografia aérea; (2) delimitação das unidades; (3) campo: caracterização das unidades delimitadas, checagem de trincheiras.

As fotografias aéreas podem ser utilizadas em mapeamentos de vários níveis principalmente como mapa base. No entanto, apresenta as maiores vantagens no nível semi-detalhado.

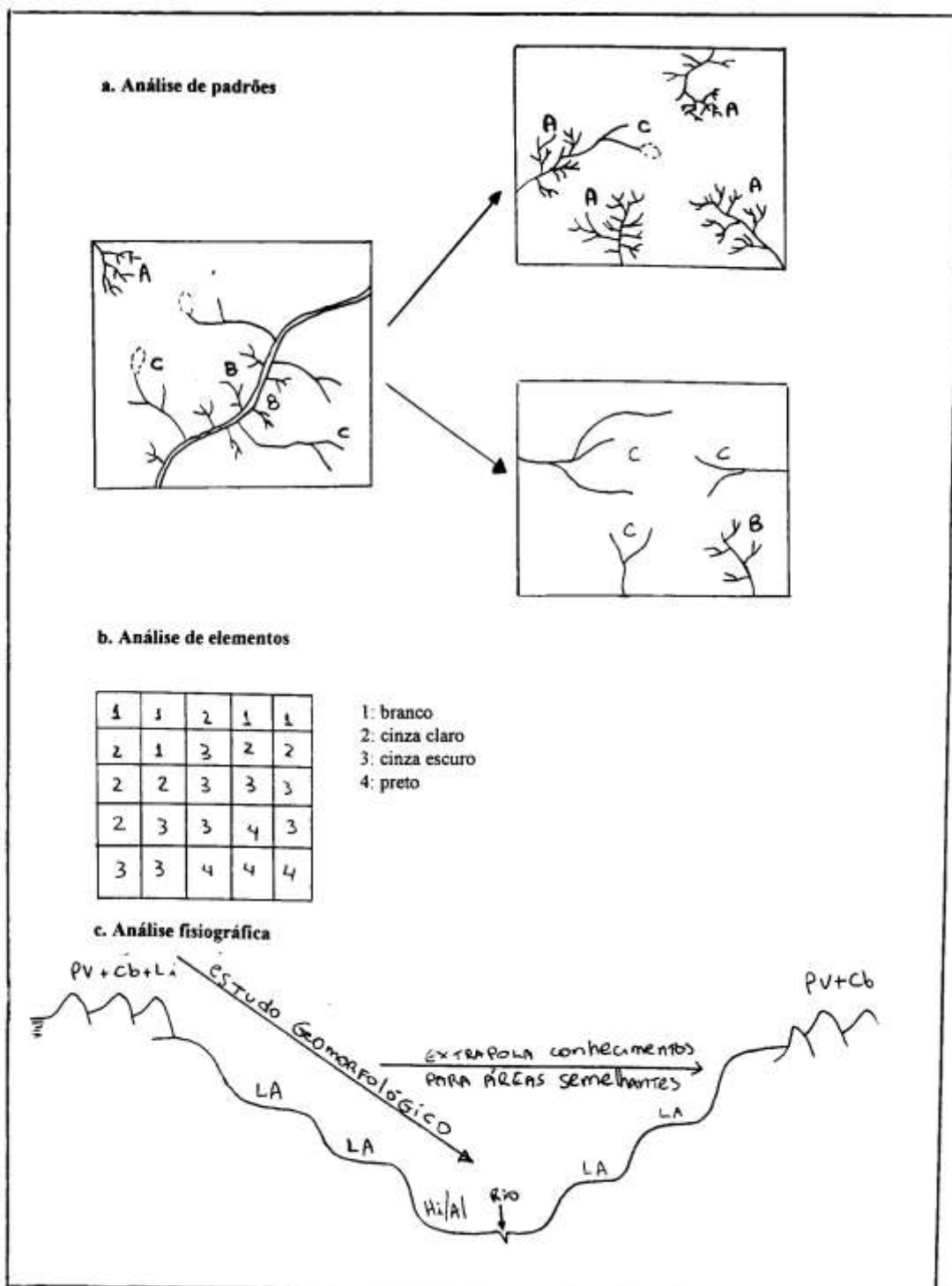
3.2.3. Métodos de levantamentos de solos utilizando fotografias aéreas

A metodologia descrita a seguir, foi estabelecida sobre fotografias aéreas convencionais. Entretanto, grande parte pode ser utilizada para outros tipos de imagens, com as devidas adaptações.

A utilização da fotointerpretação para levantamentos de solos é feita através dos seguintes métodos principais:

- a) **Análise de padrões:** observação de padrões, como os de drenagem por exemplo. Esses padrões são extrapolados para áreas desconhecidas. Na análise de padrões descrita por Frost (1960), são estudados os padrões indicativos de condições superficiais e de sub-solo como: forma do terreno, drenagem, aspectos de erosão, vegetação, tonalidade fotográfica e características culturais. O ponto de partida é a identificação de grandes padrões regionais, que servem para dividir a área em grandes unidades de paisagem. Tendo entendido as condições ambientais regionais, o intérprete divide essas unidades principais da paisagem em unidades menores e examina os padrões locais por meio do estereoscópio.
- b) **Análise de elementos:** analisa numa fotografia aérea, os elementos ou parâmetros fotográficos separadamente, como o relevo, a rede de drenagem, vegetação e tonalidade.
- c) **Análise fisiográfica:** utiliza-se dos conhecimentos de fisiografia, para separar unidades. Diferentes formas de relevo e a posição das unidades nesse relevo determinam sua delimitação. Esse método de "análise fisiográfica" é descrita por Buringh (1960) e está vinculado a um conhecimento profundo de processos geomorfológicos e seus reflexos nas imagens. O terreno é classificado segundo unidades fisiográficas, cada uma das quais contendo uma associação única de solos.

A figura 3.3, exemplifica essas análises. Como podemos observar, o ideal é utilizarmos todos esses métodos ao mesmo tempo, para obtermos um melhor resultado, na separação das unidades.



3.2.4. Elementos utilizados em fotopedologia

Os elementos principais utilizados na análise das fotografias aéreas para fins pedológicos são: relevo, rede de drenagem, aspectos de erosão, vegetação, uso atual e tonalidade.

A fotopedologia é um termo empregado na análise de solos através das fotografias aéreas. Entretanto, deve-se esclarecer que o fotointérprete não diagnostica solos, mas sim feições de paisagem (relevo), que estão refletindo as condições de solo e ambiente. Mesmo por que o solo não é composto apenas a superfície, mas é um “corpo” tridimensional, como visto anteriormente. Entretanto, a superfície não deixa de ser um reflexo das condições de subsuperfície somado às condições ambientais, conforme exemplificado na figura 3.4, em relação à formação de dolinas. Nesse caso, a observação de características de superfície nos leva a inferir sobre as condições de subsuperfície. O “nome” do solo é dado pela classificação de solos, atividade realizada no campo e análises laboratoriais.

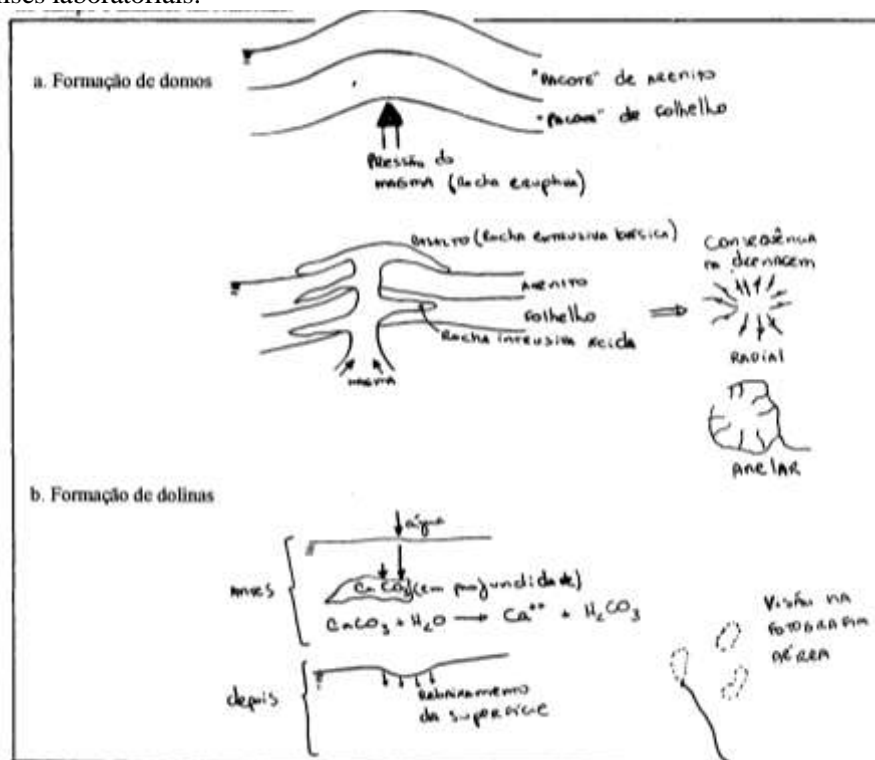


Figura 3.4. Esquema de uma seqüência para a formação de domos e dolinas, e sua relação com a rede de drenagem.

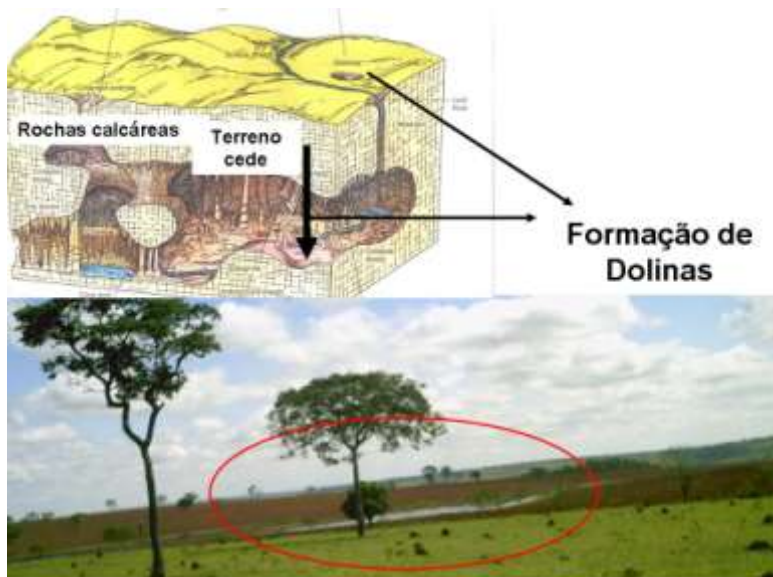


Figura xx. Esquema ilustrativo de formação de dolinas

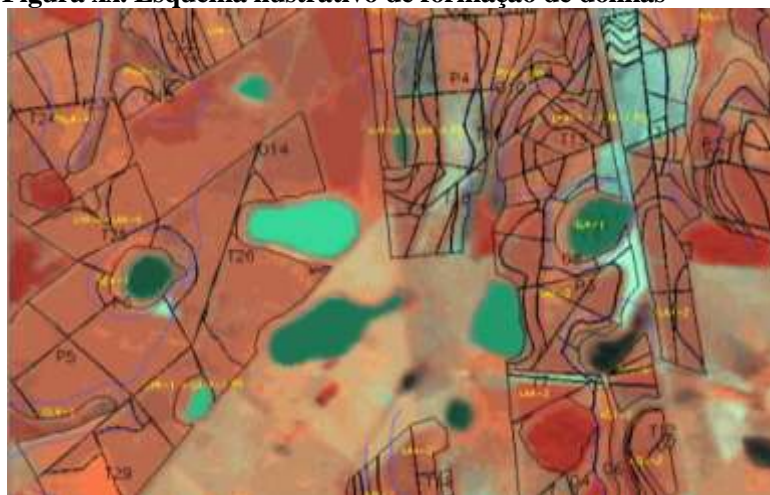


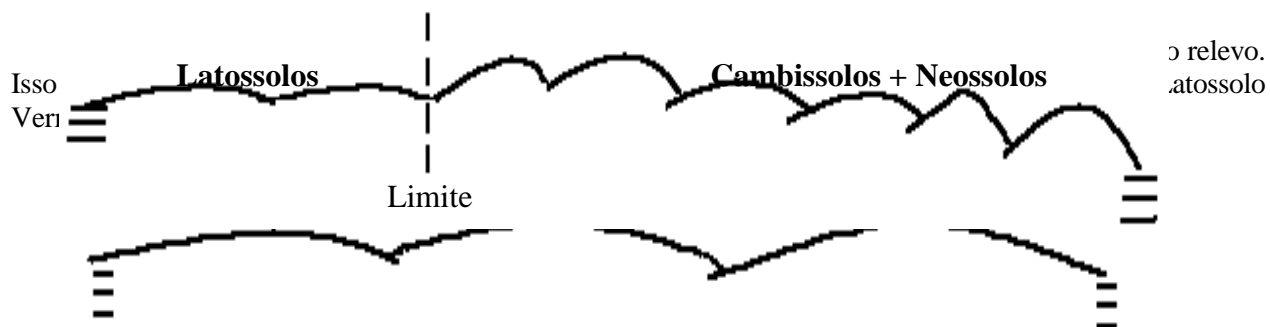
Figura xx. Imagem mostrando presença de dolinas.

a. Relevo

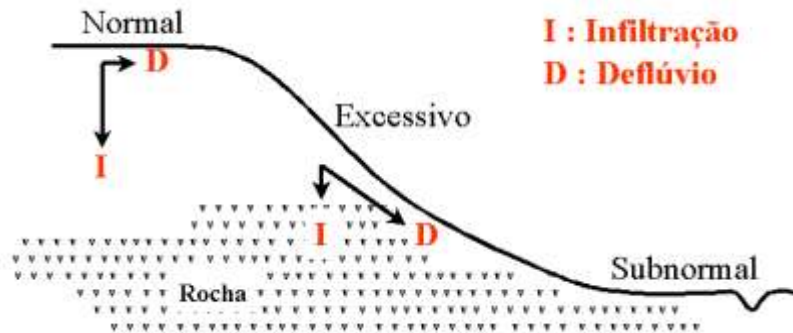
O relevo é um dos principais elementos utilizados em ftopedologia, pois é diretamente observado numa fotografia aérea e é um dos fatores de formação dos solos.

$$S = f(\text{material de origem, clima, relevo, organismos, tempo})$$



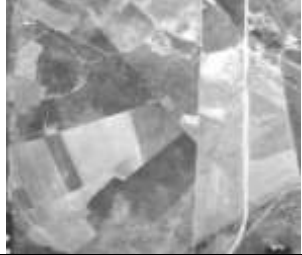


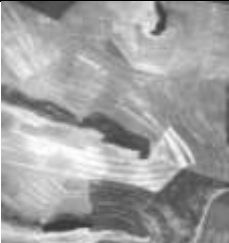








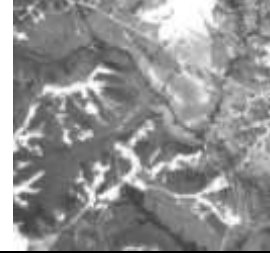
Assim, normalmente quando ocorre mudança no relevo, há mudança de solos. Ex.: Saindo de uma área plana e chegando numa área com relevo forte ondulado, houve mudança de solos, como dos Latossolos para os Litossolos:



Tipos de relevo. O relevo pode ser do tipo normal, subnormal e excessivo, representando respectivamente áreas com infiltração > deflúvio; deflúvio > infiltração; infiltração = deflúvio, conforme observado no esquema a seguir.



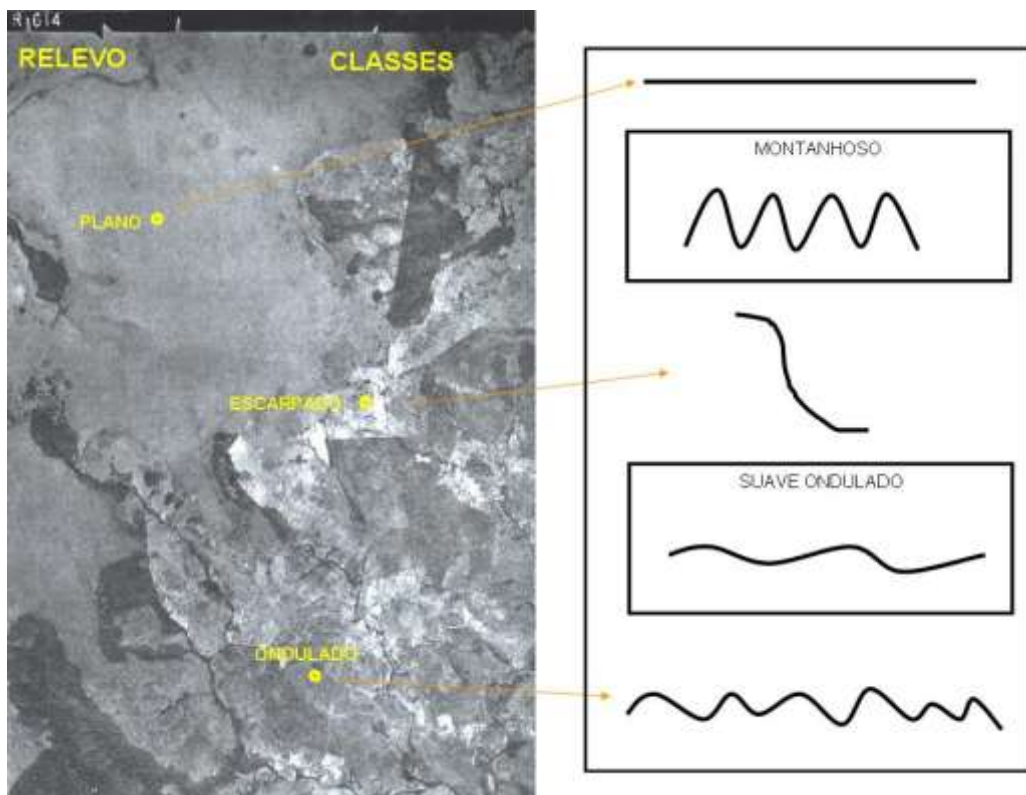
Classe de relevo: plano, suave ondulado, ondulado, forte ondulado e montanhoso e escarpado, havendo relação com as classes de solo.

Classe	Declividade (%)	Ilustração	Foto "horizontal"	Foto "vertical"
Plano	0-3 %	 <p>Plano 0-3%</p>		
Suave-ondulado	3-8 %	 <p>Suave ondulado 3-8%</p>		
Ondulado	8-20%	 <p>Ondulado 8-20%</p>		
Forte-ondulado	20-45%	 <p>Forte ondulado 20-45%</p>		
Montanhoso	>45%	 <p>Montanhoso > 45% de declividade</p>		

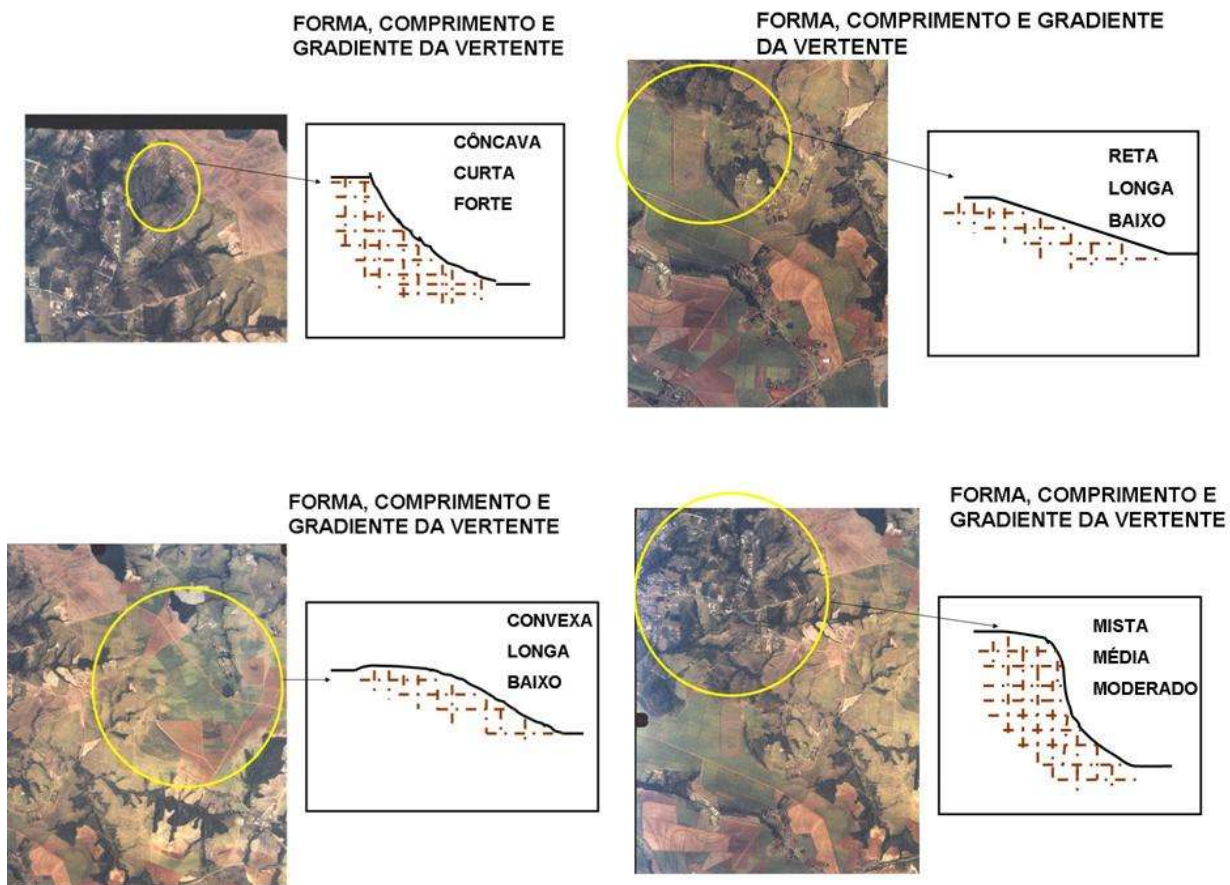
Conservação e cultivo de solos para plantações florestais



Figura 3.2. Exemplos de classes de relevo e relação com solos (extraído de Gonçalves & Stape, 2002)



Forma



b. Aspectos de erosão

Este critério procura estudar as formas e dimensões dos canais de drenagem. A água ao atingir a superfície da terra produz efeitos de desagregação, arrastamento e solubilização de partículas, produzindo formas no terreno relacionadas com características dos solos existentes.

Normalmente em materiais argilosos, devido às características laminares das argilas, o entalhamento em profundidade é dificultado, predominando a erosão lateral. Em contrapartida, em solos com textura mais arenosa, a erosão é facilitada, havendo entalhamento em profundidade. Assim, em relação ao canal, temos as características observadas na figura 3.5.

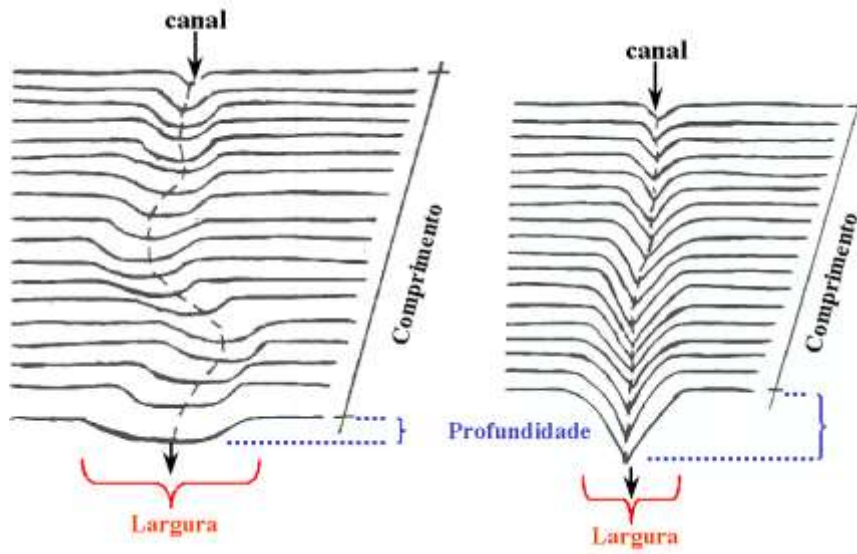


Figura 3.5. Esquema ilustrativo de caminhamento de canais em um solo argiloso e um arenoso. (l: distância igual)

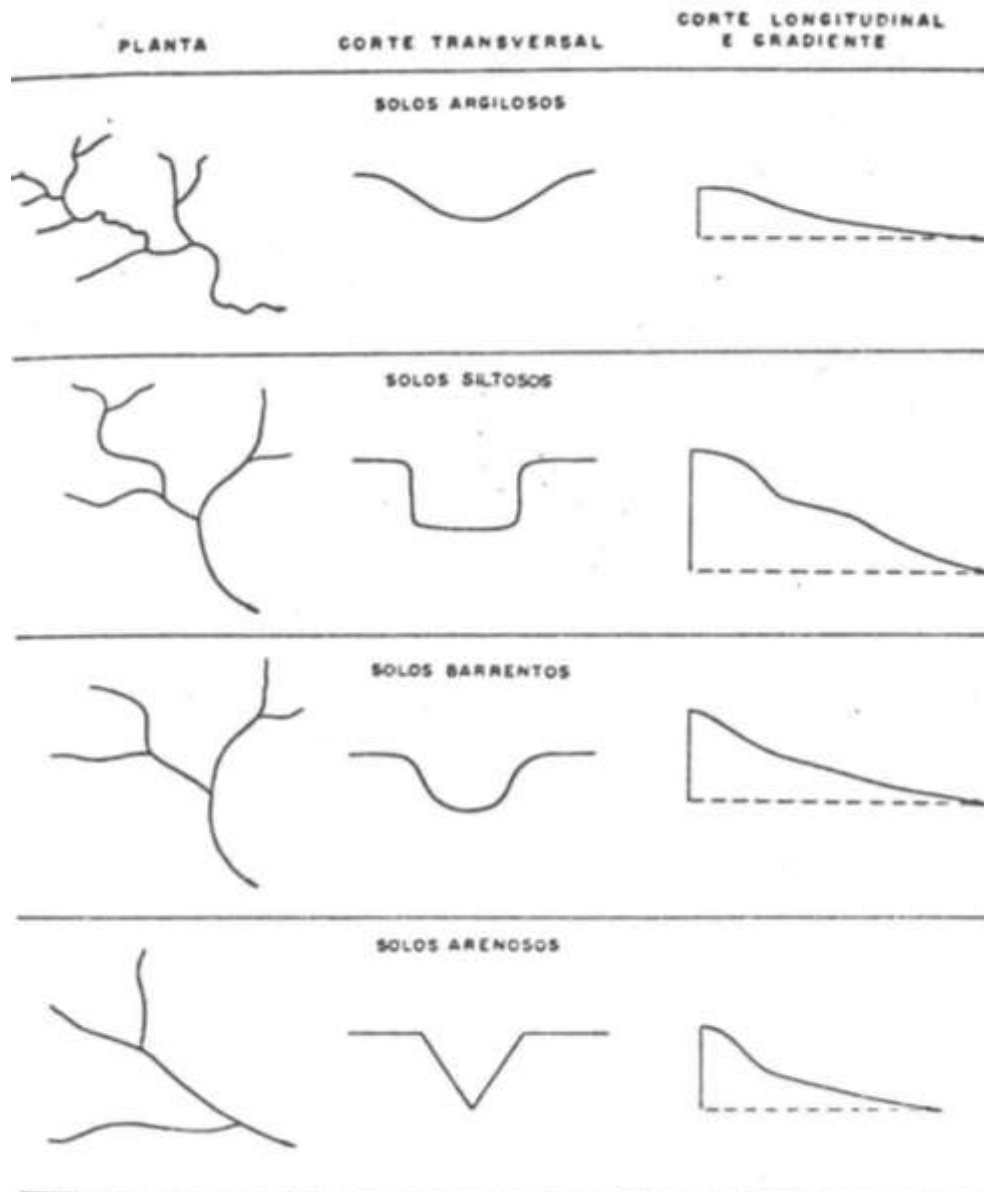


Figura XX. Esquema da forma de canais de 1ª ordem característicos de diferentes tipos de solos (Amaral & Audi, 1972).

c. Vegetação

A vegetação pode ser perfeitamente observada numa fotografia aérea. Sabe-se que, por exemplo, em solos profundos haverá maior incidência de vegetação de porte maior. Isto, entretanto, muitas vezes não ocorre. No cerrado podem ocorrer dois solos diferentes, em áreas com um mesmo tipo de vegetação.

Outro problema é a maior parte da vegetação natural já ter sido removida para implantação de outro tipo de vegetação ou mesmo de culturas. No estado de São Paulo, estima-se que exista aproximadamente 5 % da vegetação natural, sendo, portanto, um critério de difícil utilização.



Figura xx, Cerrado. Exemplo de relação solo-vegetação, solo raso vegetação rasteira.

d. Uso atual

Este critério refere-se à observação do uso atual das terras, para fazer sua correlação com solos. Se, observando uma fotografia temos numa área apenas uma cultura e há mudança abrupta para pastagem, significa que pode haver diferenças de solos. Este critério, entretanto, tem suas desvantagens, pois em regiões onde o nível tecnológico é alto, consegue-se implantar culturas mesmo em solos ruins. Assim, deve-se tomar cuidado, com este parâmetro.

e. Tonalidade

Os fatores que influenciam a tonalidade são: umidade - quanto maior a umidade do solo, mais escura a tonalidade; textura - solos arenosos refletem mais e argilosos menos; teor de ferro e matéria orgânica - quanto maior o teor desses elementos, mais escura a tonalidade. Entretanto, esse parâmetro depende da qualidade do material fotográfico. A tonalidade pode ser classificada como preto, cinza escuro, médio, cinza claro e branco.

f. Rede de drenagem

Depois do relevo, o padrão rede de drenagem superficial é o mais consistente e confiável indicador das condições do terreno, disponível para o fotointérprete.

A facilidade com que os sistemas de drenagem podem ser observados nas imagens favorece o reconhecimento de padrões de drenagem, o estudo analítico de seus elementos e avaliação de sua significância para o mapeamento de solos. A figura 3.6 ilustra a formação dos canais de drenagem desde a cabeceira de drenagem, considerada o início do canal, até a formação das bacias hidrográficas de diferentes ordens. Normalmente as bacias de terceira ordem refletem melhor as características de drenagem de um solo, justamente por ter um entalhamento menos profundo do que uma bacia de quarta ordem. Ter um entalhamento menos profundo significa que os canais de drenagem, como os de terceira ordem, provavelmente ainda não atingiram a rocha, o que os torna mais representativos do solo sobre o qual correm. Já os canais de quarta ordem, por serem mais profundos, provavelmente estariam sendo influenciados pela rocha e não mais pelo solo, o que os torna interessantes para estudos geológicos, e não para estudos pedológicos.

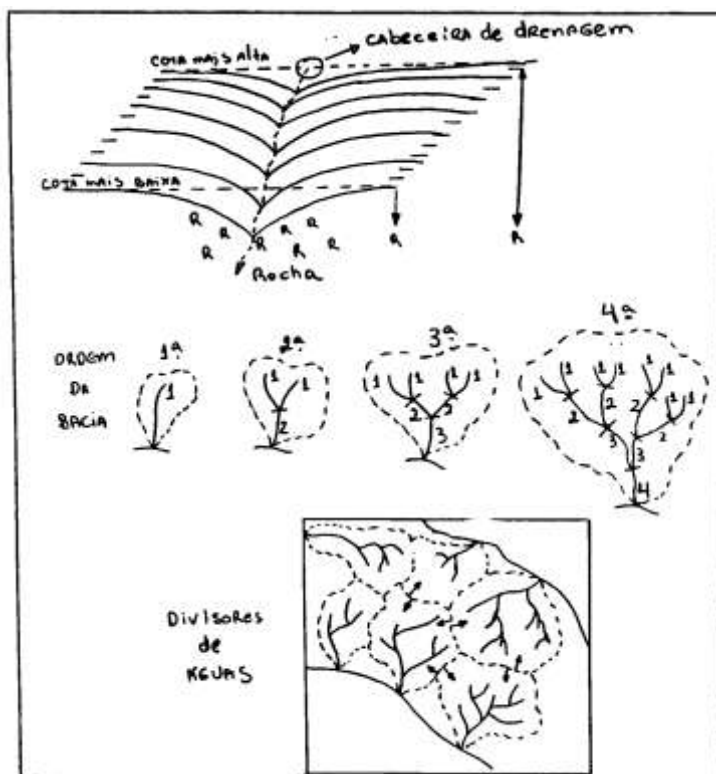


Figura 3.6. Formação do canal de drenagem e bacias hidrográficas de diferentes ordens.

Aspectos descritivos

A rede de drenagem tem seus aspectos descritivos, determinados por Lueder (1959), tipo segundo Parvis (1950), a saber:

- Tipo ou modelo: quanto ao aspecto do conjunto de canais. Existem diversos tipos, entre eles estão os ilustrados na figura 3.7;

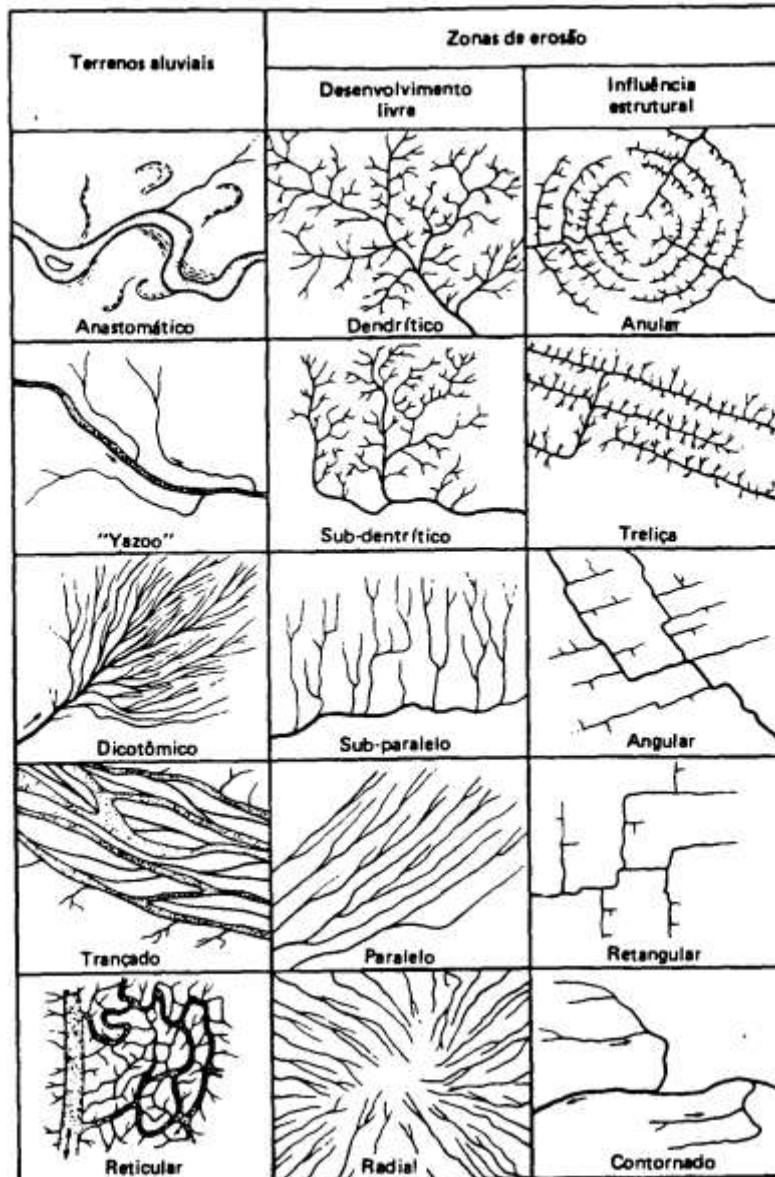


Figura 3.7. Representação de alguns padrões de rede de drenagem.

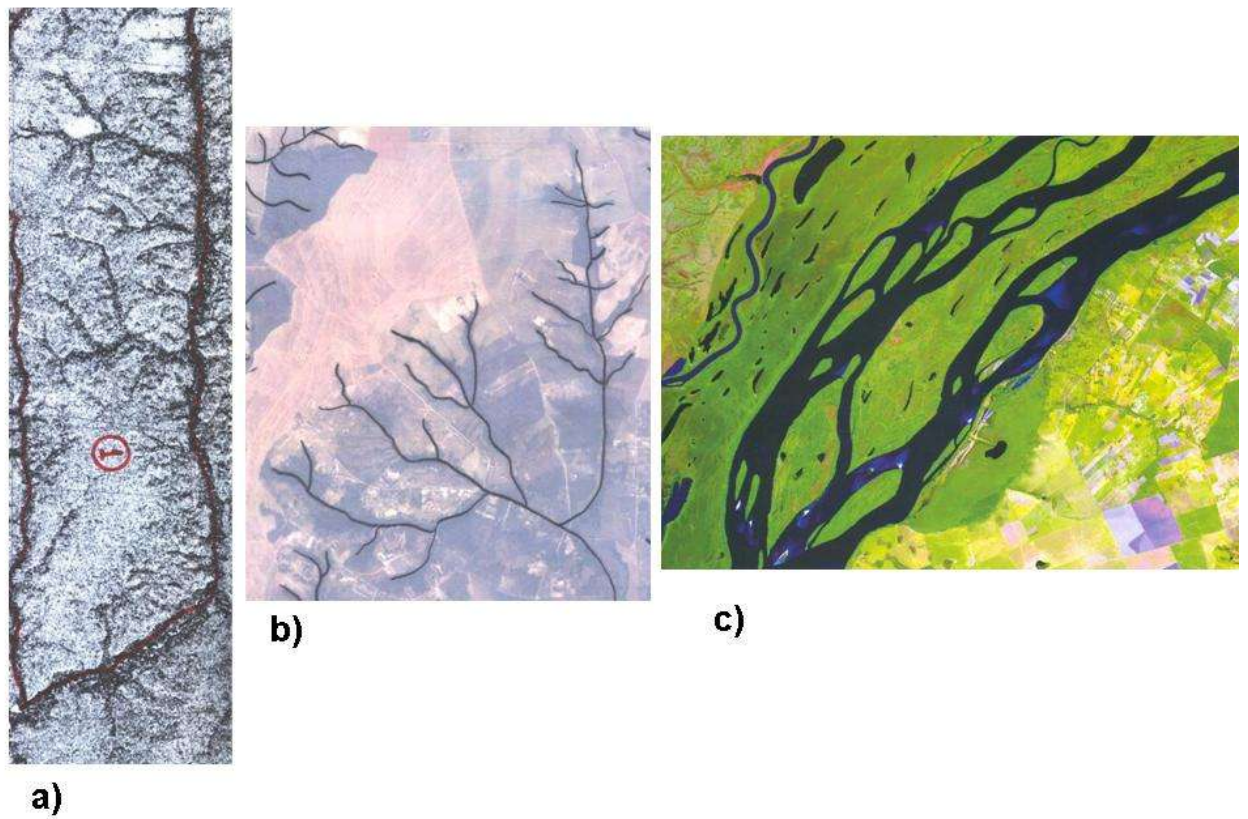


Figura 3.8. Exemplos de alguns padrões de drenagens: a) sub-dendrítico b) dendrítico c) Anastomático.

- Grau de integração: refere-se ao caminhamento dos canais entre dois pontos. Quanto mais curto esse caminhamento, maior a integração.

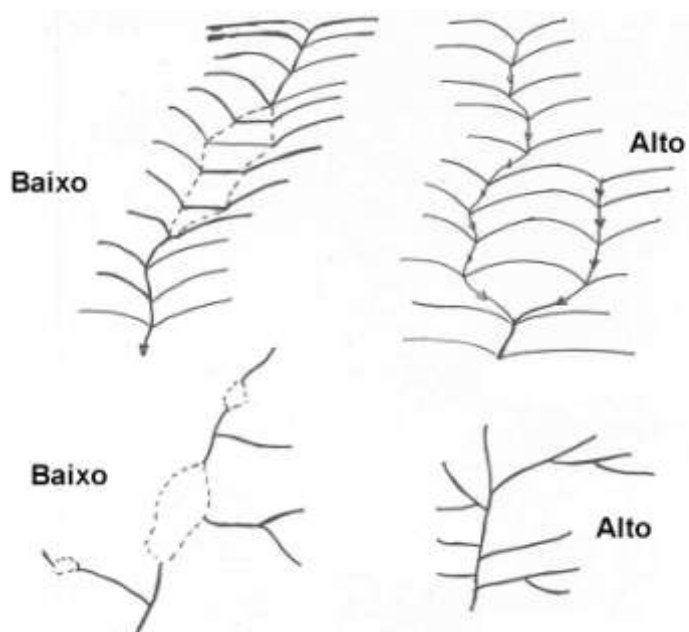


Figura XX. Representação esquemática do grau de integração.

- Densidade: refere-se ao número de canais por unidade de área. Quanto maior o número de canais por unidade de área, maior a densidade. Um padrão com alta densidade é constituído por um alto número de canais próximos entre si. Assim, podemos classificá-la em alta, média e baixa;

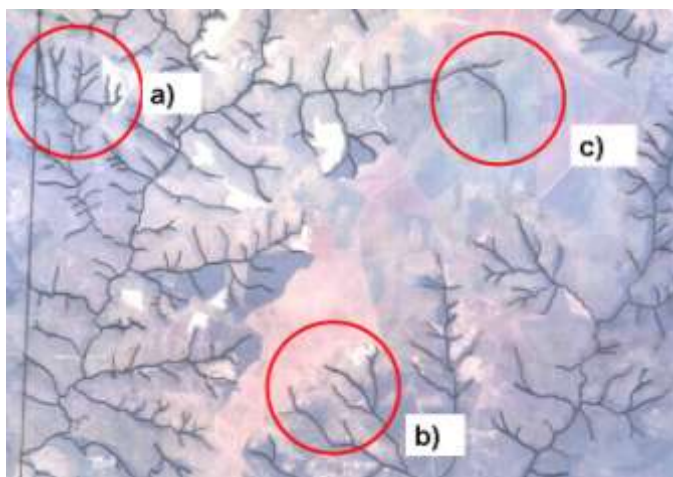


Figura XX. Ilustração comparativa em uma foto aérea de áreas iguais com densidade de drenagem: a)alta; b)média e c) baixa.

- Grau de uniformidade: uma rede de drenagem é uniforme, quando o padrão não se altera se examinado como um todo. Um padrão não uniforme possui áreas com subpadrões individuais distintos das demais;
- Orientação: refere-se à presença de aspectos direcionais no caminamento descendente normal dos cursos de água;

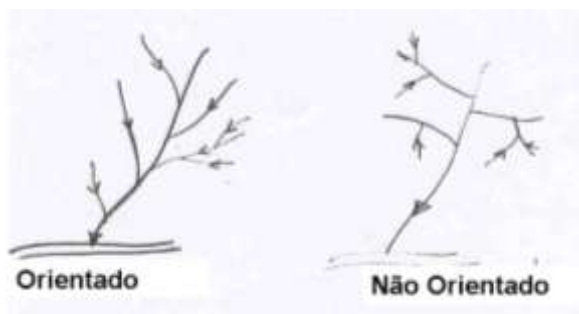


Figura xx. Ilustração de orientação.

- Angularidade: refere-se à presença de mudanças abruptas, no caminamento dos canais. Pela observação da angularidade, você tira inferências sobre o grau de controle. Ela pode ser alta, média, baixa ou ausente;



Figura X. Exemplo visual de angularidade

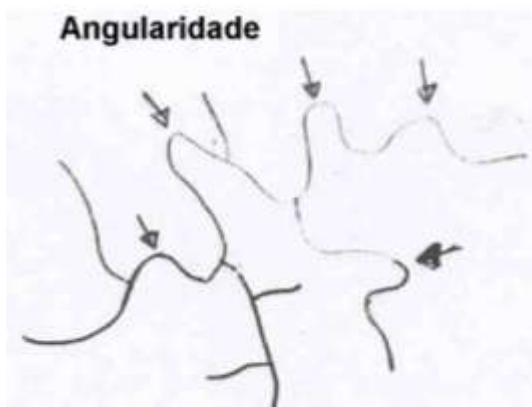
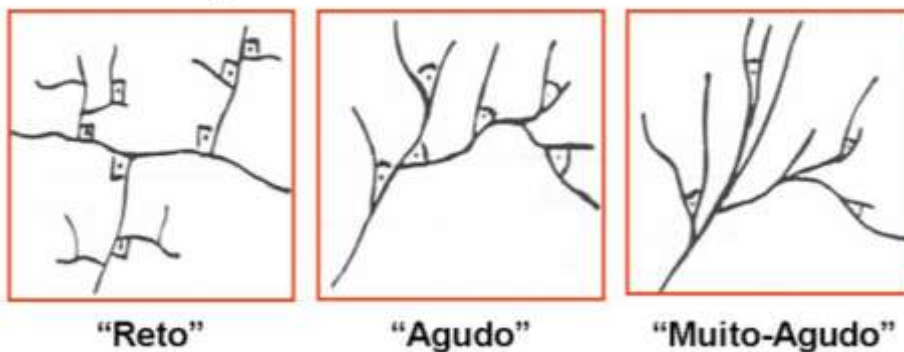


Figura xx. Ilustração referente à angularidade

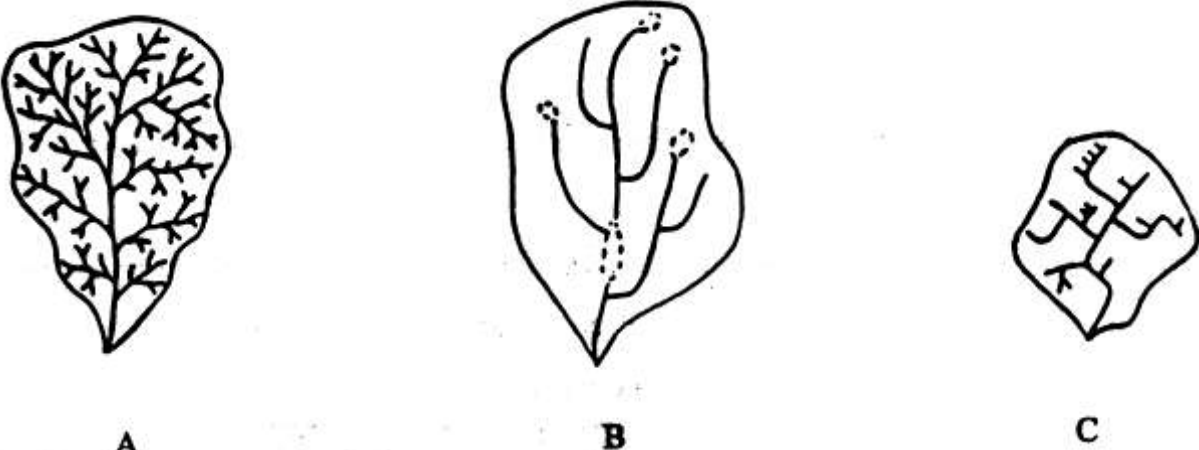
- Grau de controle: refere-se à presença de fatores que alteram o sentido normal da rede de drenagem. Ele indica se está ou não havendo um controle da rede de drenagem, pela rocha. Este parâmetro está intimamente ligado ao aspecto angularidade e orientação. Por exemplo: se a orientação for alta e a angularidade baixa, o grau de controle será médio.
- Ângulos de confluência: é o ângulo formado na foz de um tributário com o seu receptor.

Ângulos de Confluência



Figuraxx. Ilustra exemplo de ângulos de confluência.

A figura 3.8 ilustra um exemplo hipotético, de análise descritiva da rede de drenagem.



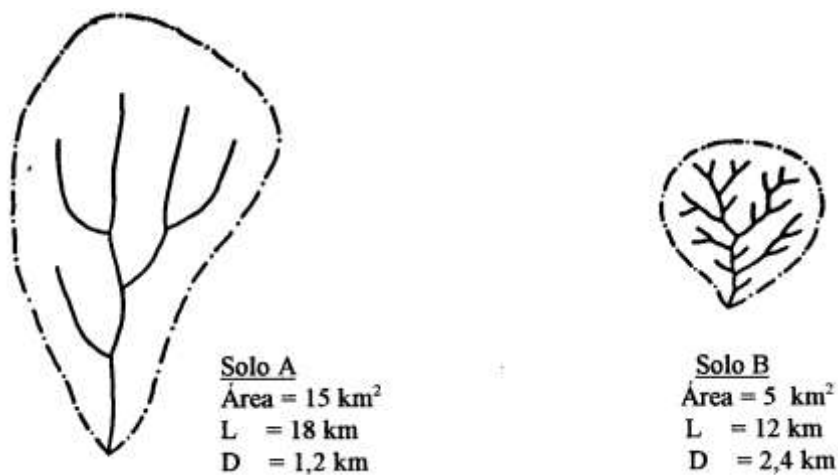
Característica	Bacia		
	A	B	C
Tipo ou modelo	dendrítico	paralelo	retangular
Grau de integração	alto	médio	alto
Densidade	alta	baixa	média
Grau de uniformidade	alto	alto	baixo
Grau de controle	ausente	ausente	médio/alto
Orientação	não orientado	orientado	pouco orientado
Angularidade	ausente	ausente	média
Ângulos de confluência	agudos	retos	retos

Figura 3.8. Exemplo hipotético de análise descritiva da rede de drenagem.

3.2.5. A relação infiltração/deflúvio: inferências sobre permeabilidade

A análise da rede de drenagem superficial fornece uma indicação sobre a razão infiltração/deflúvio, capacidade de infiltração, permeabilidade e textura dos materiais que ocorrem em uma área. Geralmente, um padrão de drenagem bem desenvolvido indica a ocorrência de baixa infiltração e materiais relativamente pouco permeáveis, enquanto que uma drenagem superficial escassa indica alta infiltração e permeabilidade. A topografia do terreno também pode influenciar o padrão de drenagem.

A avaliação de características físicas do terreno (textura, permeabilidade do solo, estruturas geológicas, natureza das rochas, etc.) pode ser feita através da interpretação da rede de drenagem, pois ela é resultante da interação de uma série de fatores, sendo os mais importantes: relevo, geologia, clima, textura, estrutura, permeabilidade do solo e a cobertura vegetal. A figura 3.9 ilustra um exemplo de avaliação de dois solos hipotéticos em função de sua drenagem superficial.



Inferências sobre solos. Bacias hidrográficas de 3^a ordem, A e B

Condição do	Solo A	Solo B
Relevo	mais suave	mais ondulado
Profundidade	mais profundo	menos profundo
Permeabilidade	mais permeável	menos permeável
Resistência à erosão	mais resistente	menos resistente

Figura 3.9. Exemplo de avaliação de dois solos hipotéticos em função de sua drenagem superficial.

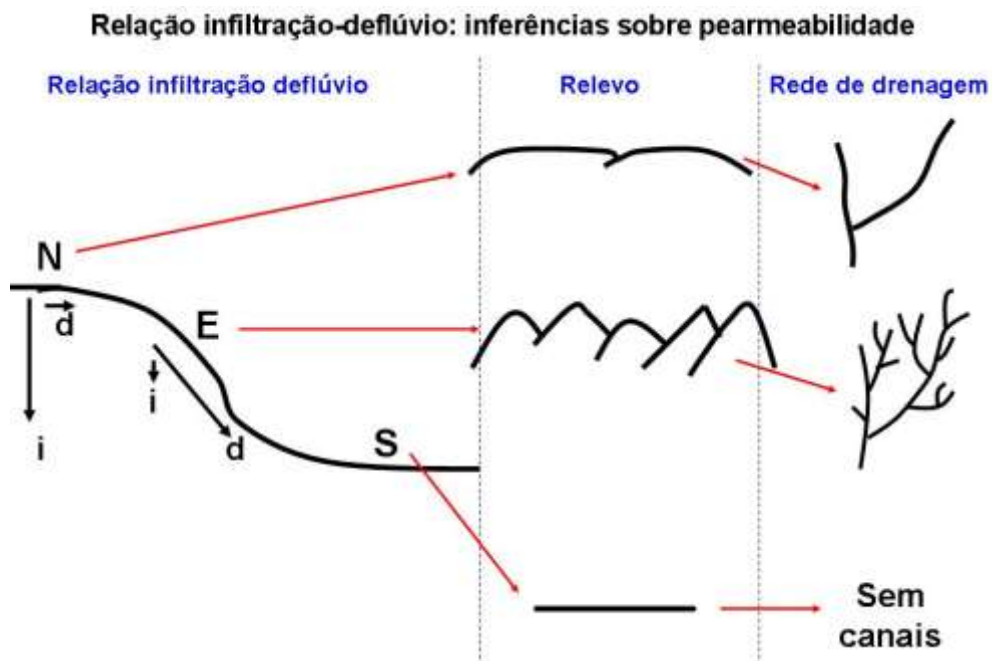


Figura XX: Ilustração destacando visão longitudinal, lateral e de sobrevôo do relevo e rede de drenagem.

3.2.6. Aspectos quantitativos da rede de drenagem

O estudo dos aspectos quantitativos da rede de drenagem de solos segue uma metodologia pioneira no Brasil, de França (1968). Essa avaliação possibilita ao fotointérprete correlacionar valores com as diversas características do solo. Basicamente são calculados índices de drenagem, como a frequência de rios e a da

densidade de drenagem. A frequência de rios (número de canais/km²) é calculada pelo número de canais de primeira ordem dividido pela área amostrada, enquanto que a densidade de drenagem (km/km²) refere-se à relação entre o comprimento total dos rios e a área da área amostrada. No caso:

$$Dd = Lt/A \quad Fr = Nt/A$$

Sendo Lt o comprimento total de rios dentro de uma certa área A e Nt número total de rios de primeira ordem

A figura 3.10 ilustra as bacias hidrográficas e a rede de drenagem de três solos.

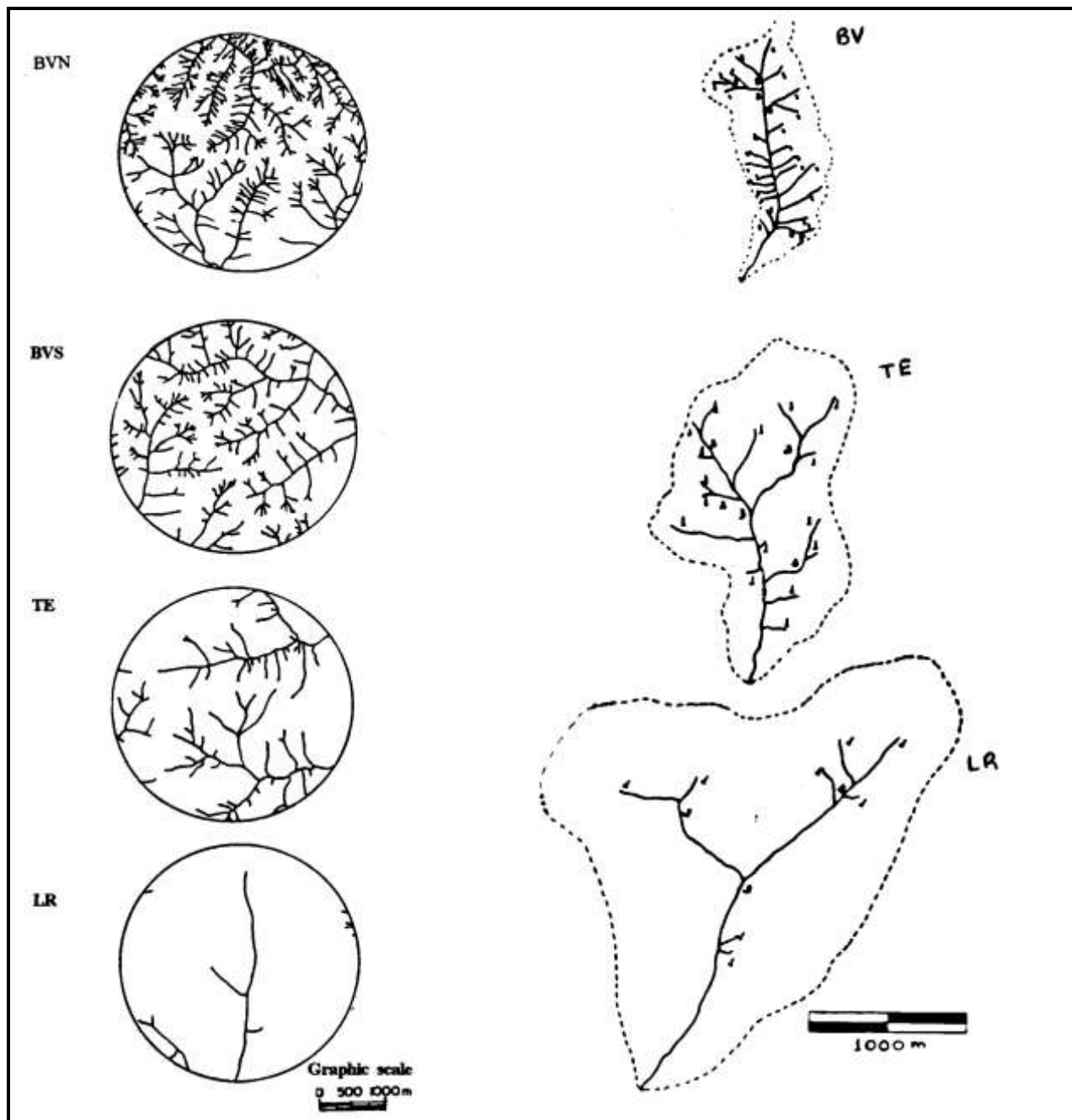


Figura 3.10. Bacias hidrográficas e amostras circulares (10 km²) ilustrando a rede de drenagem de solos desenvolvidos de basalto do estado do Paraná, com diferentes níveis de intemperismo. Onde: BVN, Brunizem Avermelhado localizado ao Norte da região de Jataizinho; BVS, Brunizem Avermelhado localizado ao sul da região de Jataizinho; TE, Terra Roxa Estruturada; LR, Latossolo Roxo (Fonte: Adaptado de Demattê & Demétrio, 1996; Demattê & Demétrio, 1998).

3.2.7. Relação entre o relevo e os fatores e processos de formação de solos

Considerando a superfície do globo no seu conjunto, pode ser observado grande número de regiões naturais, em cujo interior os diferentes elementos físicos e biológicos, em ação recíproca e inseparável, constituem uma unidade que se concretiza na paisagem.

Cada uma dessas regiões distingue-se das outras pelos caracteres físicos seguintes: a) modelado topográfico; b) cobertura vegetal; c) solos; d) regime climático; e) altitude; f) idade das superfícies.

O relevo como já comentado é o elemento mais importante utilizado em fotopedologia, pois é um fator de formação dos solos e diz respeito às formas de terreno que compõem uma paisagem, que pode ser diretamente observado na fotografia, proporcionado pela estereoscopia. Sua ação reflete principalmente sobre a dinâmica da água, quer no sentido vertical (infiltração), quer no sentido lateral ("run off" ou deflúvio).

A quase totalidade da água de precipitação caída nos relevos pouco movimentados, se infiltra no solo (Figura 3.11), havendo pouca perda por escoamentos laterais proporcionando condições ótimas para desenvolvimento de solos zonais; em relevos muito movimentados, grande parte da precipitação é perdida em escoamentos laterais, favorecendo os processos erosivos e dificultando o desenvolvimento de perfis profundos, condicionando a formação de litossolos ou solos rasos; finalmente o relevo deprimido, recebe, além das águas fornecidas pela precipitação direta, aquela das vertentes vizinhas, que ocasionam frequentemente o aparecimento de solos hidromórficos.

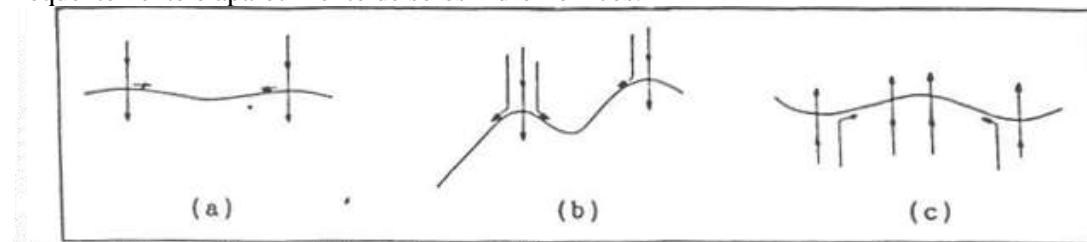


Figura 3.11. (a) relevo pouco movimentado as águas de precipitação encontram condições adequadas para drenar externamente e também para infiltrar no solo; (b) condições de relevo fortemente movimentado há maior drenagem que infiltração de água no solo; (c) relevo deprimido há preferencialmente acúmulo de água.

O desenvolvimento do perfil do solo depende também da ação de 4 processos de formação:

- a. **adição:** refere-se à entrada de outros elementos no perfil do solo. Exemplo: matéria orgânica, água, material deposicional, adubo.
- b. **Remoção ou Perda:** refere-se à tudo aquilo que "sai" do perfil do solo. Exemplo: erosão, remoção de nutrientes pelas raízes, lixiviação.
- c. **Translocação:** movimento de materiais dentro do perfil do solo, provocando acúmulo. Exemplo: carbonato, minerais de argila.
- d. **Transformação:** refere-se à transformação de um mineral "A" para um mineral "B". Exemplo: 2:1 para 1:1 para óxido

Esses processos, aliados aos fatores de formação de solos, darão origem aos horizontes do solo, ou ainda os horizontes diagnósticos, que por sua vez, influirão nas relações infiltração e deflúvio da água num determinado relevo, como pode ser observado na figura 3.12 .

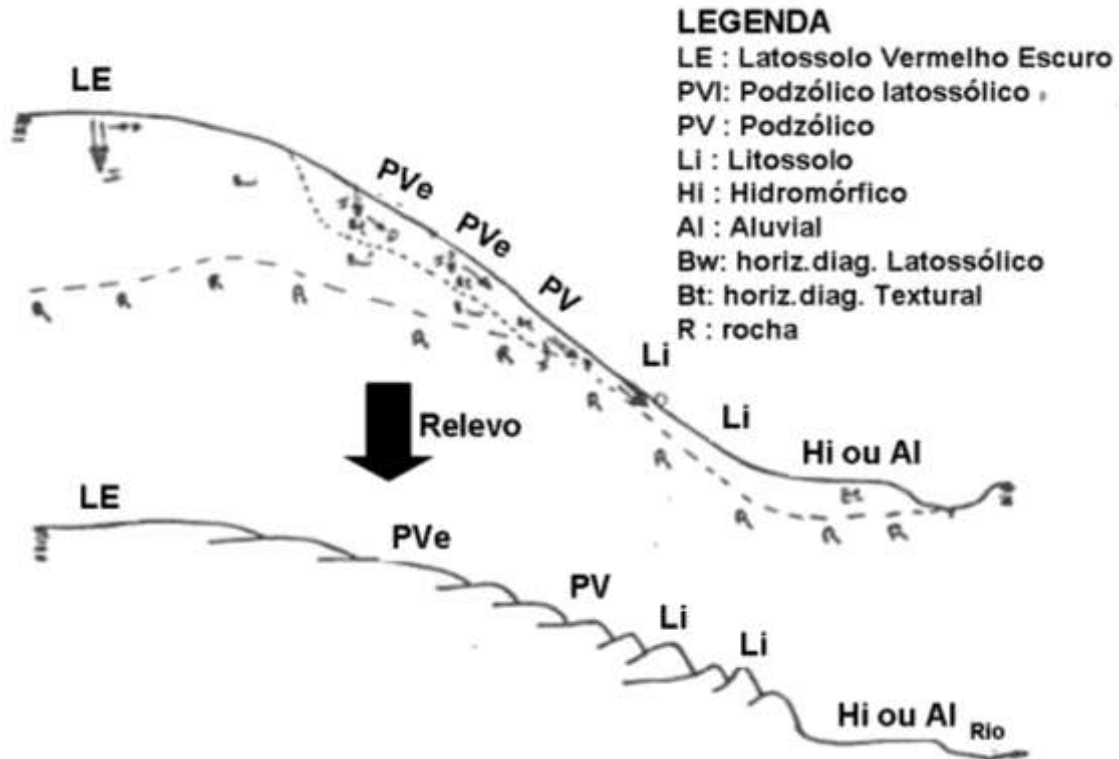
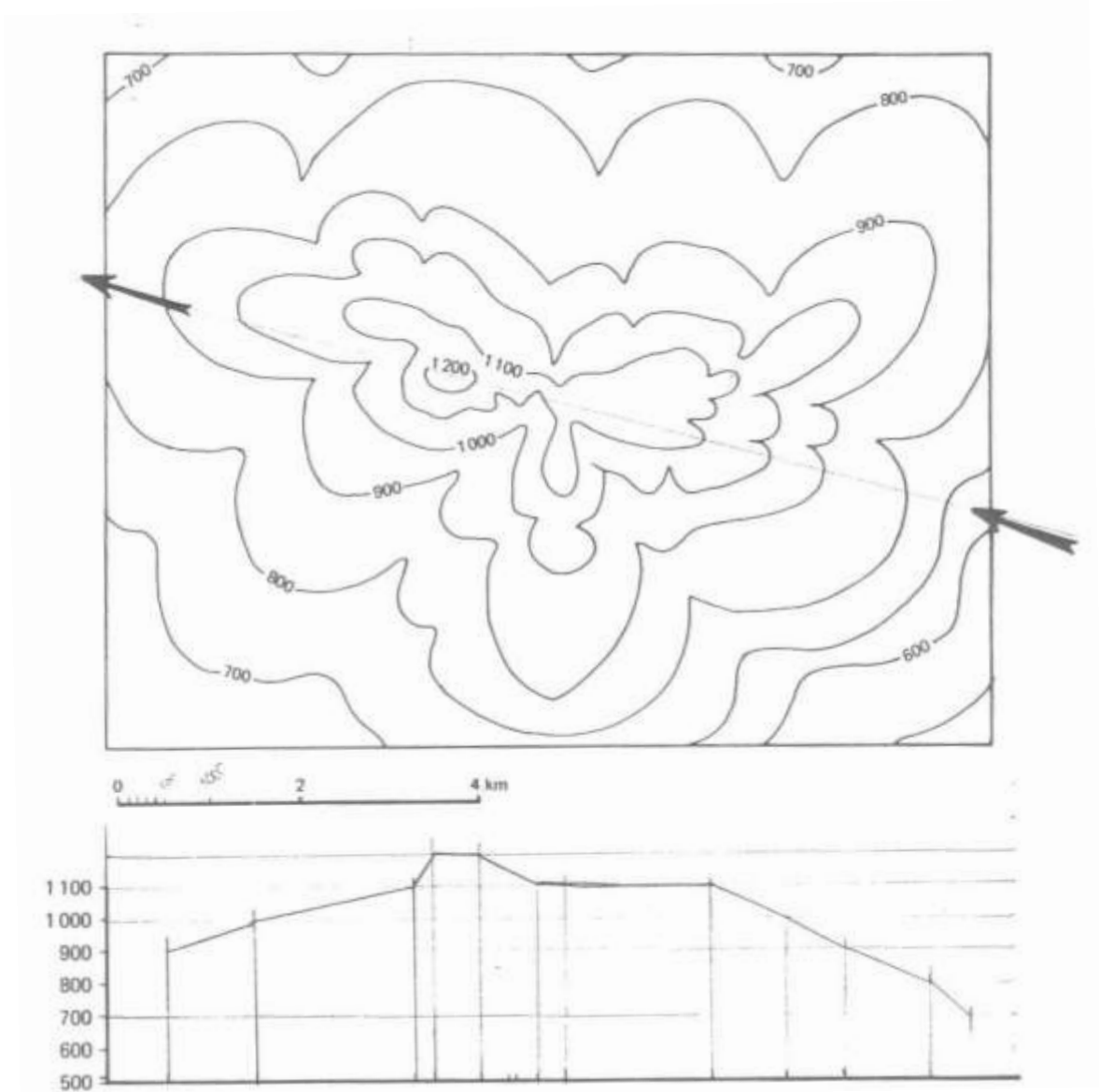


Figura 3.13. Relações entre a infiltração (I) e o deflúvio (D) em determinados tipos de solos, com seus respectivos horizontes diagnósticos, e suas relações com a formação do relevo.

3.2.8. Topossequência

Topossequência, segundo Milne, 1935, é "uma repetição regular de uma sequência de perfis de solos associada a uma determinada topografia". Numa topossequência pode-se ter um ou mais materiais de origem, diferindo de uma catena, onde ocorre apenas um. O conhecimento da topossequência básica de uma região a ser mapeada é de suma importância, pois permite ao profissional descobrir unidades de mapeamento não detectadas numa primeira análise da área em questão.

Uma Topossequência refere-se ao esquema de um corte longitudinal da paisagem, conforme demonstrado a seguir.



Uma Topossequência completa pode ser exemplificada na figura a seguir

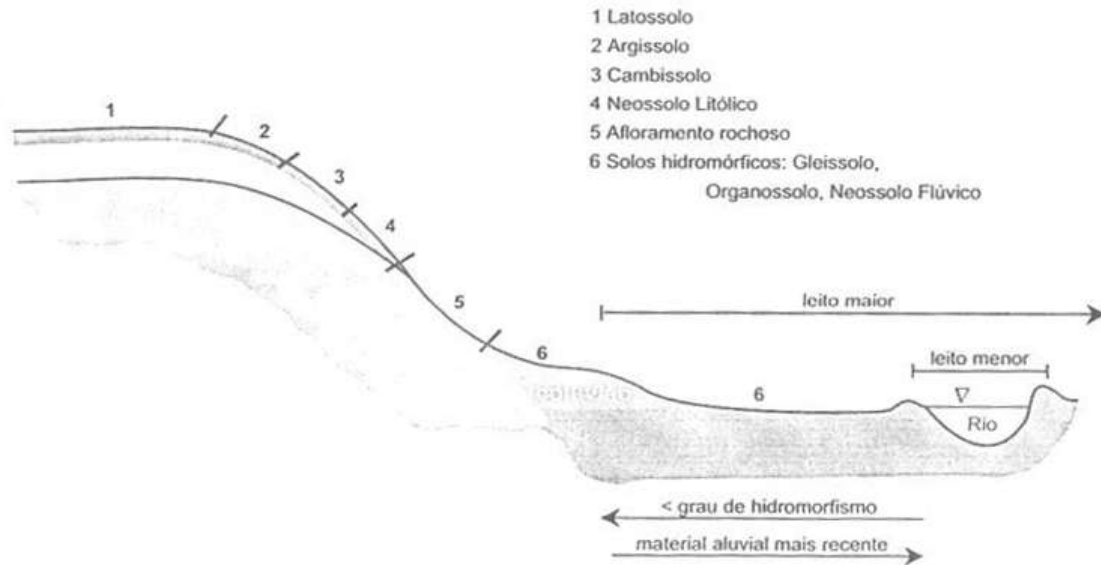


Figura 3.14. Topossequência completa (Gonçalves & Stape, 2002).

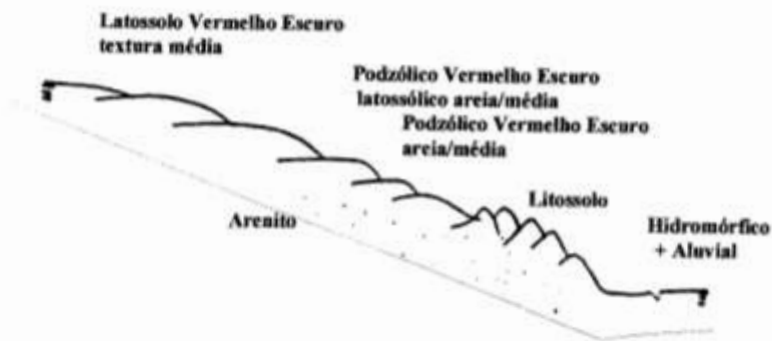
A seguir são ilustradas alguns exemplos de topossequências.



a. Solos originados de basalto



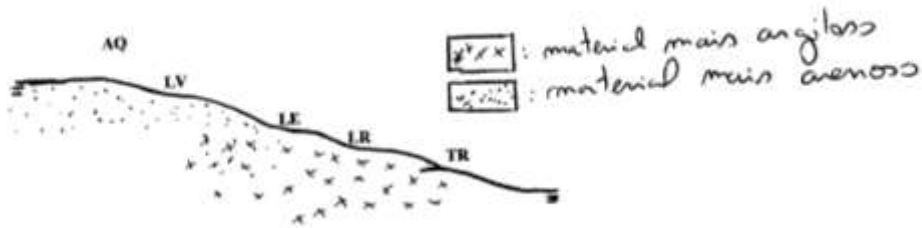
b. Solos originados de arenito ou material retrabalhado



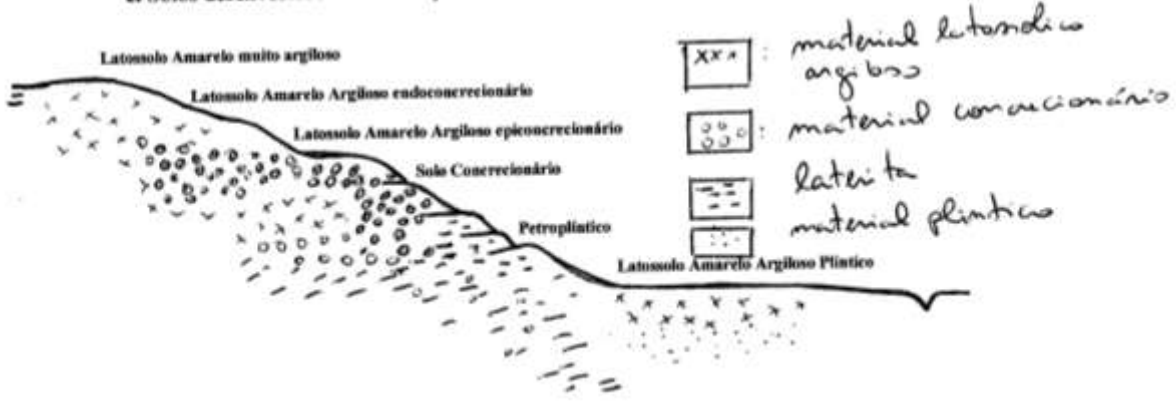
c. Solos originados de basalto e folhelho



d. Solos arenosos e por deposição



e. Solos desenvolvidos da Formação Barreiras



3.2.9. Técnicas de delimitação de paisagens utilizando fotografias aéreas

Observando uma fotografia aérea, podemos "separar" unidades de acordo com o relevo, a rede de drenagem ou os dois simultaneamente. A figura 3.14, ilustra separações de unidades de paisagem de acordo com o relevo ou a rede de drenagem, unidades essas que representarão um solo, só caracterizado posteriormente por trabalhos de campo.

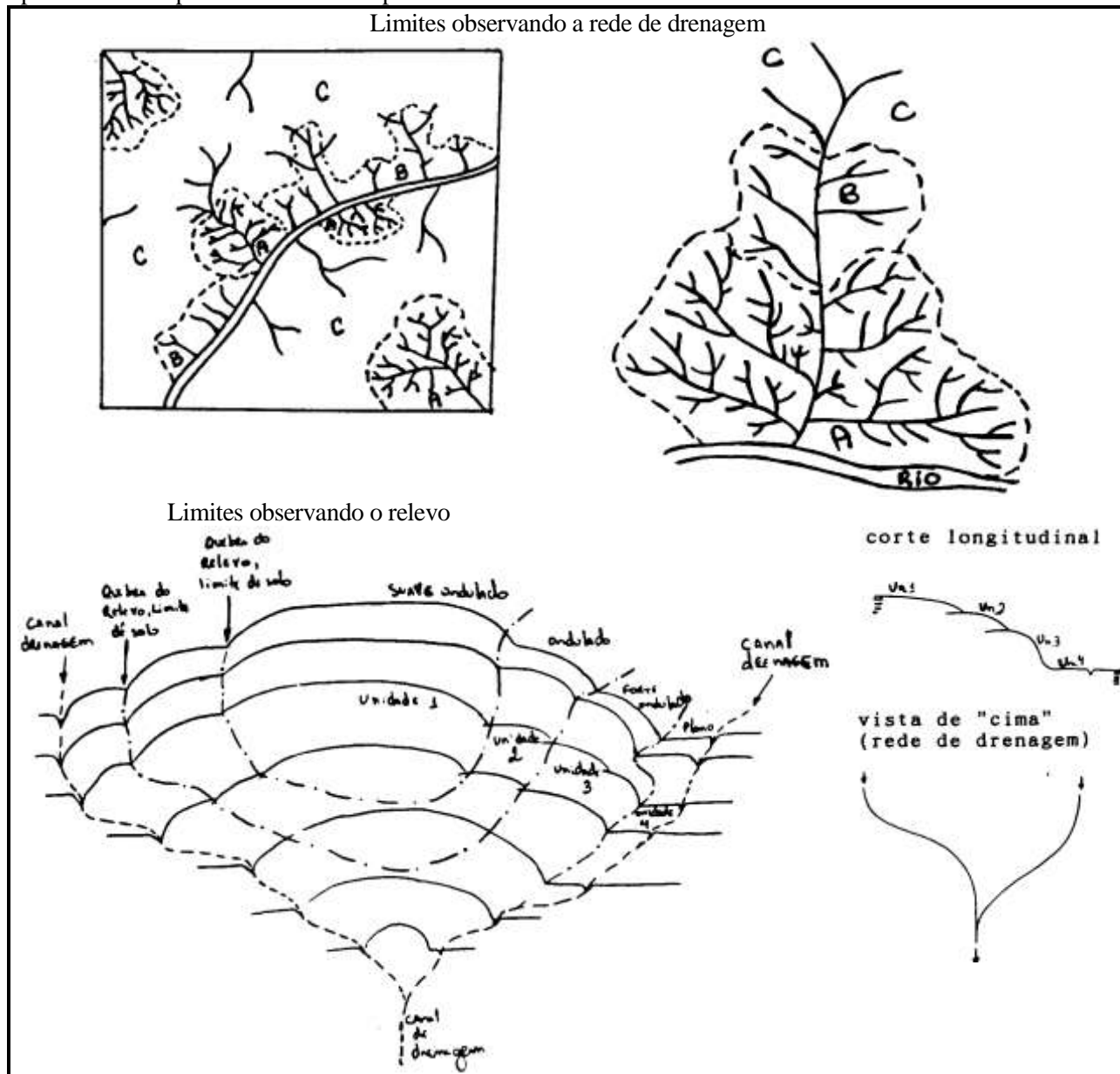


Figura 3.14. Esquema de delimitação de paisagens através da rede de drenagem e do relevo.

3.2.10. Etapas de trabalho num levantamento de solos com auxílio de fotografias aéreas

- a. Definição dos objetivos;
- b. Estudo da área (mapas de solos, geológicos, planialtimétricos, entre outros);
- c. Fotointerpretação preliminar;
- d. Identificação das unidades de mapeamento;
- e. Fotointerpretação e delimitação dos solos;
- f. Trabalho de campo: trincheiras, tradagens, checagem de campo;
- g. Revisão dos limites, correções;
- h. Organização do mapa final e relatório;

3.2.11. Alguns solos e suas características em fotografias aéreas

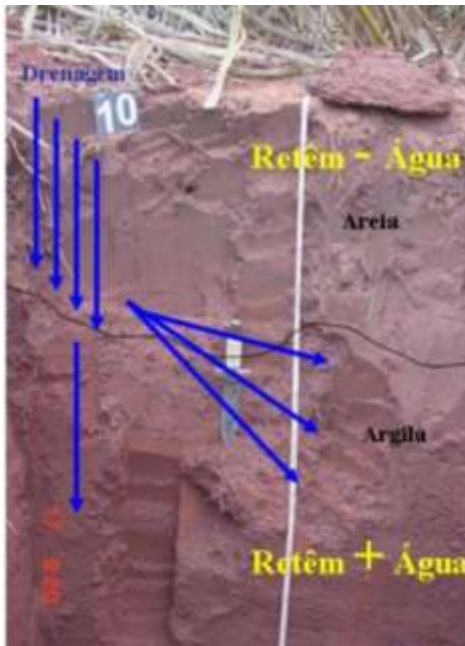
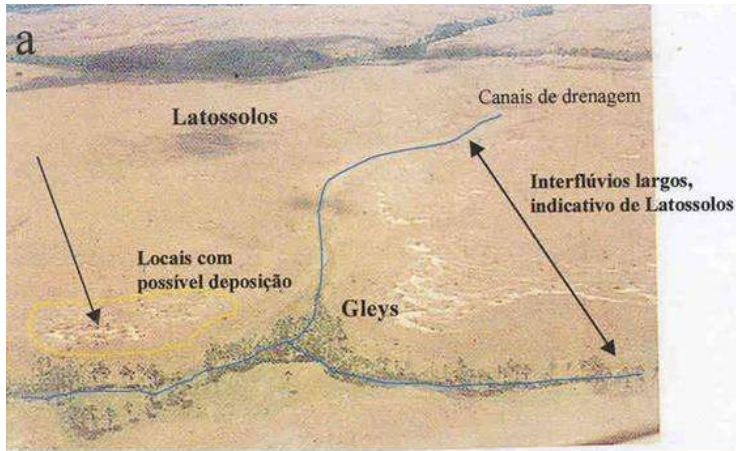
Através dos dados e informações dos solos e suas características nas fotografias aéreas, foi possível montar o quadro 3.1 de correlação entre esses parâmetros.

Quadro 3.1. Correlação entre as características dos solos e fotografias aéreas.

Solo*	Horizontes	Horiz. diagn.	Processo formação	Relação I/D	Drenagem nos horiz.	Posição na paisagem	Características nas fotos		Obs.
							Rede de drenagem	Relevo	
Lat.	ABC R	Latossó-lico	Remoção	I>D	Boa	Normalmente no topo	Poucos canais Canais longos Drenagem paralela Densidade baixa	Plano a suave ondulado	LE e AQ mesma paisagem
PV	ABC R	Argílico	Translocação	D>I	A: boa B: moderada	Encosta	Alguns canais curtos e longos drenagem pode ser dendrítica densidade média	Suave ondulado a ondulado	Pode estar associado com Li
Li	AR	----	Remoção	D>>I	A: boa R: moderada a impedida	Encosta	Muitos canais curtos dendrítica densidade alta	Forte ondulado	Pode estar associado a Cb ou PV
Ni ou Al	ABC ou AC	Argílico Câmbico	Adição	Local de acúmulo	Imperfeita a impedida	Baixada	Sem canais	Plano	Tonalidade escura

* Lat: latossolos; PV: Podzólico; Li: Litossolo; Hi: Hidromórficos; Al: Aluvial

Solo	Perfil	Foto "horizontal"	Foto "vertical"
Latossolo			
Argissolo			
Gleissolo			



Prefundidade cm	Textura gkg ⁻¹	Obs
0	—	
10	100	
140	—	
34	—	
340	—	

= Alto risco de erosão

3.2.12. Vantagens da utilização de fotografias aéreas em levantamentos pedológicos

Vantagens:

- a. Área abrangida. Por exemplo, uma foto aérea de escala 1:25.000, abrange aproximadamente 3306,2 ha;
- b. Visão tridimensional: observada pela estereoscopia, permite a percepção do relevo;
- c. Facilidade de delimitação (Figura 3.15). Observando uma área numa foto aérea, fica muito mais fácil separar as chamadas unidades fisiográficas, que representam determinado solo. Assim, após separar essas unidades, basta ir a campo para caracterizar os solos por elas representados. Obtido esse padrão, ou correlação "solo-no-campo X solo-na-foto", fica mais fácil delimitar esses solos nas fotografias. Num mapeamento convencional sem a utilização desses produtos, fica difícil observar toda a área ao redor, podendo assim, perder detalhes importantes.
- d. Redução de tempo de trabalho, para mapeamentos ao nível semi-detalhado.

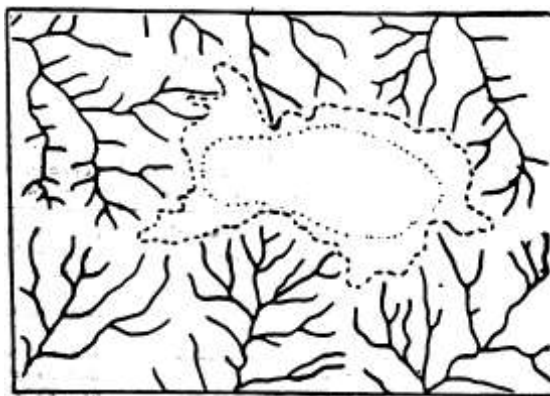


Figura 3.15. Comparação de limites de solos, pelo método convencional (....), e utilizando fotos aéreas (--). Rede de drenagem(——).



Figura 3.15. Fotografia aérea vertical ilustrando rede de drenagem de duas paisagens diferentes.

4 Interpretação de objetos e uso da terra em fotografias aéreas



Figura xx Mata, cana, linha de alta tensão



Figura xx. Pomar, cultura anual



Figura xx. Cidade



Figura xx: pivô central

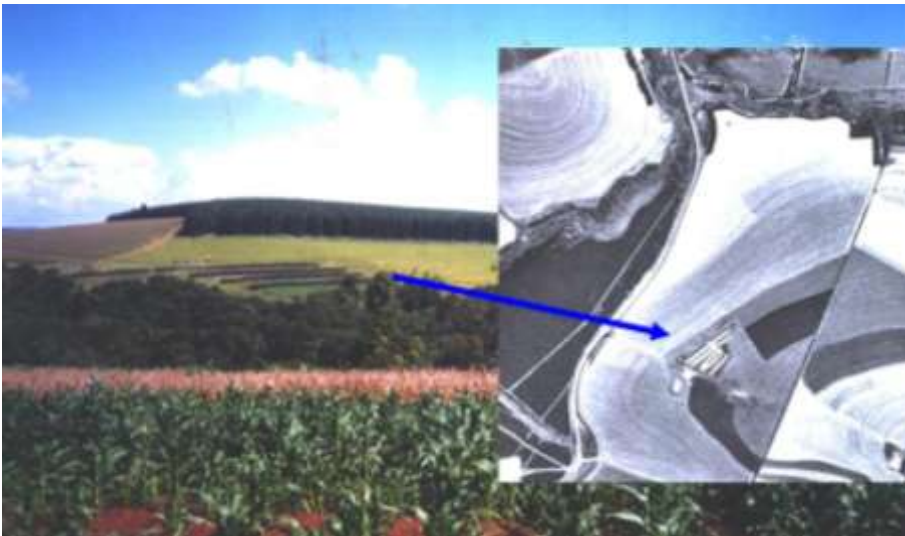


Figura xx.



Figura xx.



a. Chaves de interpretação para aerofotos pancromáticas

Muitas vezes os levantamentos de uso da terra são realizados utilizando-se imagens já disponíveis no mercado, resultantes de aerolevantamentos efetuados para outros fins. Se nenhum fator envolvido na obtenção dessas imagens as tornarem inviáveis, principalmente o relacionado com a resolução espacial,

objetos distintos da superfície do terreno deverão apresentar padrões próprios, que serão reconhecidos durante os trabalhos de correlação aeroterrestre, possibilitando o seu mapeamento.

Em fotografias aéreas convencionais (pancromáticas de baixa altitude), vários trabalhos sobre o uso da terra foram realizados, permitindo estabelecer os padrões de interpretação das principais categorias de uso da terra. Os padrões descritos asseguir servem como chave de interpretação para fotografias aéreas verticais de escalas entre 1:25.000 e 1:35.000 ou próximas, obtidas no período seco do ano.

Os padrões considerados referem-se de uma maneira geral, as seguintes características da imagem fotográfica:

TEXTURA: Frequência na mudança e arranjo de tons da imagem de um conjunto de indivíduos de uma população. (grosseira, média, fina).

PORTE: Altura relativa dos elementos, individualizados ou não, quando observamos ao estereoscópio (alto, médio, baixo, muito baixo).

TONALIDADE: Medida da mistura entre o branco e o preto absolutos; tons cinza nas fotos pancromáticas.

(Branco, Cinza claro, Cinza escuro... preto)

4) **ASPECTOS ASSOCIADOS:** Informações adicionais que auxiliam a fotointerpretação. (formas geométricas, carreadores, etc.).

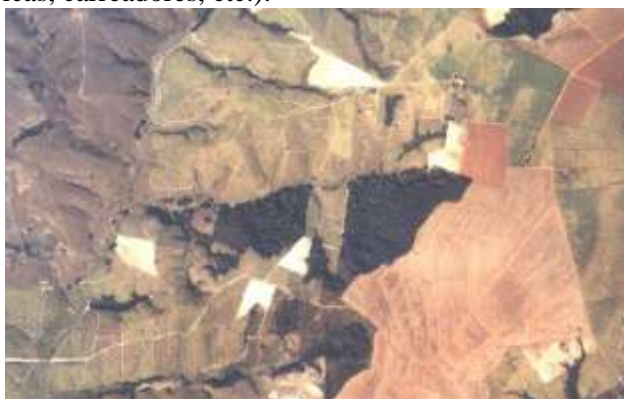


Figura xx. Exemplo de textura mais rugosa na região de mata.



Figura xx. Exemplo de diferença de tonalidade: região mais escura (mata) região mais clara (pastagem).



Figura xx. Exemplo de aspectos associados: pivô central, carregadores.

Padrões geológicos.

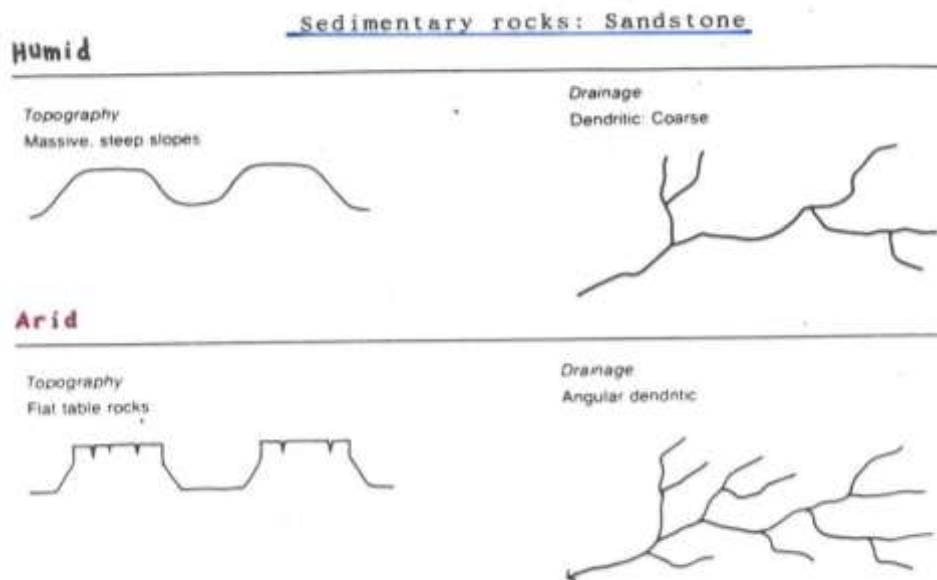


Figura xx. padrão

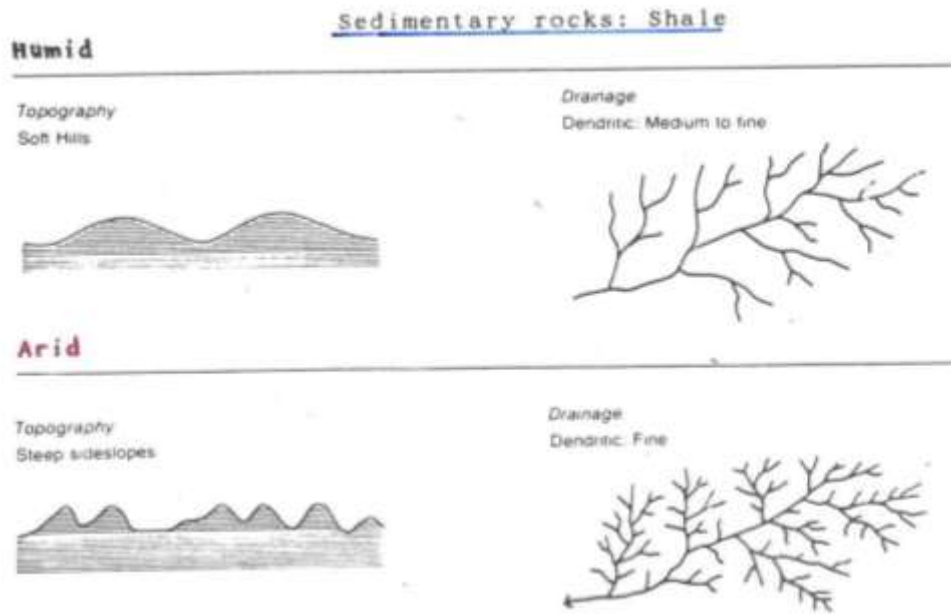


Figura xx. padrão

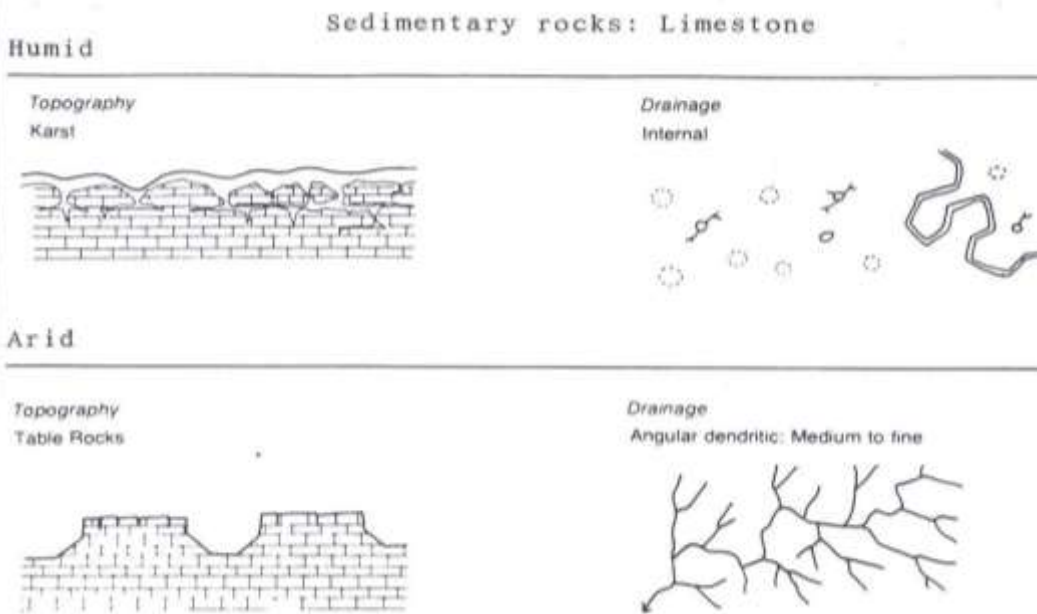
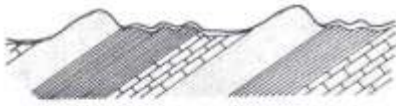


Figura xx padrão

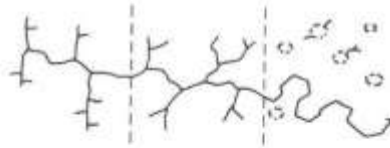
Sedimentary rocks: Tilted, interbedded

Humid

Topography
Parallel ridges

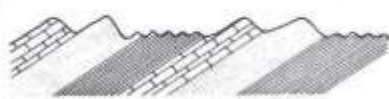


Drainage
Trellis and dendritic

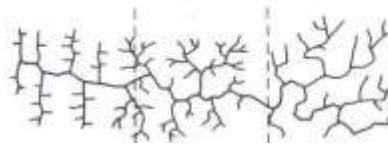


Arid

Topography
Saw-toothed ridges



Drainage
Trellis: Fine



Figuraxx Padrão

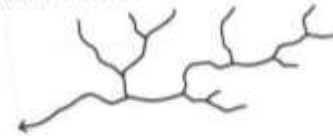
Intrusive igneous rocks: Granitic forms

Humid

Topography
Bold, dome-like hills



Drainage
Dendritic: Medium



Arid

Topography
A-shaped hills



Drainage
Dendritic: Fine

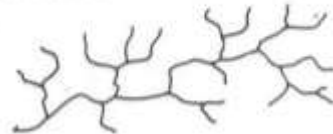
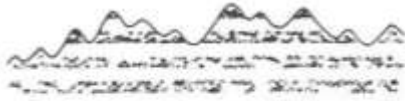


Figura xx. Padrão

Extrusive igneous rocks: Dissected
Fragmental tuff

Topography
Sharp-ridged hills



Drainage
Dendritic: Fine



Extrusive igneous rocks: Young Volcanic forms
Volcanic forms

Topography
Cinder cones



Drainage
Radial

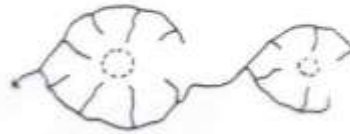


Figura XX . Padrão

Classificação quanto ao relevo

Solo	Área A	Área B	Área C
Tipo			
Classe			
Forma			
Vertente			
Uniformidade			
Gradiente			

1 Normal; Excessivo; Subnormal.

2 Plano; Suave ondulado; Ondulado; Montanhoso; Escarpado.

3 Convexo; Côncava; Mista; Reta.

4 Muito longa; Longa; Média; Curta.

5 Uniforme; Pouco uniforme; Irregular.

Inferências sobre os solos

Solo	Área A	Área B	Área C
Profundidade			
Risco de erosão			
Permeabilidade			
Drenagem do horizonte A			
Drenagem do horizonte B			
Provável B diagnóstico			
Provável solo			
Solo real (observado no mapa)			

1 muito profundo, profundo, pouco profundo, raso. 2 alto, médio, baixo, ausente.; 3 muito alta, alta, média, baixa, muito baixa

4 e 5 excessivamente drenado, fortemente, acentuadamente, bem, moderadamente, imperfeitamente, mal drenado, muito mal drenado

6 Bt, Bw, Bi, Bn, Bg, C, R; 7 indique a sigla do solo

2. Determinação dos limites das unidades de mapeamento

- Delimitar por linha tracejada as unidades de mapeamento (por relevo).

- Leve a foto que está com o vegetal e localize no mapa de solos (Quadrícula de Piracicaba e Campinas).

- Identifique os solos que estão no mapa. Em folha anexa compare os nomes dos solos que estão na legenda do mapa, com o respectivo local nas fotos aéreas.

Exercício Extra

1. Defina sensoriamento remoto
2. Como são obtidas as fotografias aéreas?
3. O que é percepção estereoscópica?
4. Quais os aparelhos utilizados para encher em estereoscopia?
5. Qual o tipo de fotografia aérea mais utilizada no reconhecimento de solos?
6. Defina fotopedologia?
7. Explique os métodos de levantamentos de solos utilizando fotografias aéreas
8. Explique por que a fotografia aérea pode expressar os tipos de solos?
9. Quais os elementos utilizados em fotopedologia?
10. Por que o relevo é um dos principais elementos utilizados em fotopedologia?
11. Quais os tipos de relevo existentes, esquematize. Relacione cada tipo de relevo com o nome de um solo.
12. Qual a classificação do relevo? Monte uma tabela relacionando os tipos de relevo com nomes de solos.
13. O que é um canal de drenagem? Esquematize.
14. A fotografia aérea representa a imagem real referente ao momento em que foi tirada. O uso da terra (pastagem, reflorestamento, culturas anuais e perenes, etc), portanto, pode ser observado na fotografia aérea. Se você está mapeando solos pela observação destes alvos, como eles podem auxiliar na discriminação dos solos?
Ilustre a rede de drenagem de duas áreas distintas, sendo uma densa e outra pouco densa. Relacione os esquemas com: tipos de relevo; profundidade dos solos; nível de intemperismo; risco de erosão; nome de solos..
15. Monte uma tabela relacionando o seguinte: Latossolos, Podzólicos, Litossolos, Gleissolos COM horizonte B diagnóstico, fator de formação predominante, relevo (tipo e classe), densidade de drenagem (alta, média, baixa), profundidade (profundo, pouco profundo, raso), relação infiltração/deflúvio, nível de dificuldade em mecanização (alto, médio, baixo), nível de intemperismo.
16. O que é uma topossequência?
17. Dê exemplo de uma topossequência em que predomina o basalto. Esquematize.
18. Quais são as vantagens e desvantagens de se utilizar fotografias aéreas em um levantamento de solos?

Leitura e resumo crítico Artigo científico número 2

Referências

- Assad, E.D. & Sano, E.S. Sistema de informações Geográficas – Aplicações na Agricultura. Segunda edição., Brasília: Embrapa, SPI/CPAC, 1998, 434 p.
- Camargo, M.N.; Klamt, E.; Kauffman, J.H. Sistema brasileiro de classificação de solos. B. Inf., Soc. Brasileira de Ci. Solo, Campinas, 12(1): 11-33, 1987. Coleman, T.L. & Montgomery, O.L. Soil moisture, organic matter, and iron content effect on the spectral characteristics of selected Vertisols and Alfisols in Alabama. Photogram. Eng. Rem. Sens.; Falls Church, 53(12): 1659-1663, 1987.
- Carver, A.J. Fotografias aéreas para planejadores do uso da terra/ A.J. Carver; tradutor Ruth Ferraz do Amaral. Brasília, 1988, 77 p.
- Demattê, J.A.M. Relações entre dados espectrais e características físicas, químicas e mineralógicas de solos desenvolvidos de rochas eruptivas. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP, 1995. 265 p. (Tese Doutorado).
- Demattê, J.A.M. & Demétrio, V.A. Caracterização de solos por padrões de drenagem e sua relação com índices de intemperismo. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, v.33, n.1; p.87-95, jan., 1998.
- Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Normas e critérios para levantamentos pedológicos. Rio de Janeiro, 1989, 94 p.
- Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos. Brasília, Humberto Gonçalves dos Santos et al. SPI, 1995.
- Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos, 4 aproximação. Rio de Janeiro, 1999, 169 p.
- Epiphanyo, J.C.N.; Formaggio, A.R.; Valeriano, M.M. & Oliveira, J.B. Comportamento espectral de solos do Estado de São Paulo. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1992. 131 p.
- França, G.V. Interpretação fotográfica de bacias e redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba. Piracicaba: ESALQ-USP, 1968, 151 p. Tese de Doutorado.
- GER. Geophysical & Environmental Research Corp. User manual of Mark V Spectroradiometer. Millbrook, NY, 1997, 63p.
- Hunt, G.R. & Salisbury, J.W. Visible and infrared spectra of minerals and rocks: II. Carbona. Modern Geol.; New York, 2:23-30,1970.
- Koffler, N.F. Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao mapeamento do uso da terra. Apontamentos de aulas da disciplina Sensoriamento remoto aplicado solos e planejamento do uso da terra, do curso de pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Piracicaba, 1992,

- Labradero, J.L.; Sanz, M.P.; Rodrigues, G.; Carlevaris Muniz, J.J. Reconhecimento de solos en la formacion ranã utilizando imagenes. In: Congresso Nacional de la Ciẽncia del Suelo, 2. Sevilla, 26-30 Sep., 1988. p. 378-383.
- Lepsch, I. F.; Bellinazzi Jr., R.; Bertolini, D.; Espíndola, C.R. Manual para levantamento do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991, 175 p.
- Novo, E.M.L.M. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. INPE/MCT, São José dos Campos, 1988, 351 p.
- Madeira Netto, J.S. Spectral reflectance properties of soils. Photo interpretation.; Paris, nº 1996/2, vol.34: 59-72. 1996.
- Prado, H. do. Manual de classificação de solos do Brasil. Jaboticabal: FUNEP, 1995, 197 p.
- Prado, H. do. Solos tropicais: potencialidades, limitações, manejo e capacidade de uso. Jaboticabal: FUNEP, 1998, 231 p.
- Ramalho Filho, A.; Pereira, E. G.; Beek, K.J. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. Brasília, PLAN/MA – SNLCS/EMBRAPA, 1978, 70 p.
- Stoner, E.R. & Baumgardner, M.F. Characteristic variations in reflectance of surface soils. Soil Sci. Soc. Amer. J., Madison, 45:1161-1165, 1981.
- Swain, P.H.; Davis, S.M. Remote sensing: a quantitative approach. Lafayette, McGraw-Hill. 1978.
- Vettorazzi, C.A. Sensoriamento remoto orbital. Apontamentos de aulas da disciplina Sensoriamento remoto aplicado a recursos naturais, do curso de pós-graduação em Irrigação e Drenagem. Piracicaba, 1991, ESALQ, USP, 131 p.
- Vitorello, I. & Galvão, L.S. Spectral properties of geologic materials in the 400 to 2500 nm range: review for applications to mineral exploration and lithologic mapping. Photo interpretation, Paris, nº 1996/2, vol.34: 77-99. 1996.