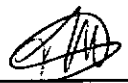




1. Publicação nº <i>INPE-2209-MD/007</i>	2. Versão	3. Data <i>Agosto, 1981</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa  <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DSR</i>	Programa <i>ANAMB</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>IMAGENS LANDSAT INTERPRETAÇÃO DE DADOS</i> <i>APLICAÇÕES EM GEOMORFOLOGIA</i>			
7. C.D.U.: <i>528.711.7:551.4</i>			
8. Título  <i>METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO E APLICAÇÕES EM GEOMORFOLOGIA</i>		<i>INPE-2209-MD/007</i>	10. Páginas: <i>44</i>
			11. Última página: <i>39</i>
			12. Revisada por
9. Autoria <i>Tania Maria Sausen</i> <i>Evelyn Marcia Leão de M. Novo</i>			<i>Sérgio dos Anjos F. Pinto</i> <i>Sérgio dos Anjos F. Pinto</i>
Assinatura responsável 			13. Autorizada por  <i>Parada</i> <i>Nelson de Jesus Parada</i> <i>Diretor</i>
14. Resumo/Notas  <p><i>O objetivo da geografia aplicada é estudar os padrões de organização do espaço, a fim de predizer e controlar suas mudanças. Para atingir esses objetivos, a geografia precisa contar com um fluxo constante de informações, que sejam capazes de refletirem as variações nos padrões de organização espacial. Sob esse aspecto, a técnica de sensoriamento remoto é de grande utilidade, pois permite, em curto espaço de tempo, a obtenção de grande quantidade de informações sobre os fenômenos que ocorrem na superfície terrestre. Neste fascículo será dada atenção à utilização de técnicas de sensoriamento remoto no campo da geomorfologia, procurando-se dar uma visão geral da aplicação de diferentes produtos do sensoriamento remoto em trabalhos geomorfológicos.</i></p>			
15. Observações			

#### ABSTRACT

*The objective of applied geography is to study the patterns of spatial organization, aiming to predict and control their changes. To attain such objective, geography needs a constant flux of information reflecting the variations in the patterns of spatial organization. This respect, remote sensing techniques are of great value since they allow, in a short time, the acquisition of a large volume of informations regarding phenomena that occur at the surface of the earth. In this fascicle, attention is given to the utilization of remote sensing techniques, in the field of geomorphology, in an attempt to give a global view of application of different remote sensing products that can be utilized in geomorphology.*

## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u> .....	1
1.1 - Conceito de geomorfologia .....	2
1.2 - Escalas de mapeamento geomorfológico .....	2
1.3 - Tipos de sensores utilizados para geomorfologia .....	3
<u>CAPÍTULO 2 - ELEMENTOS DE INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO</u> <u>REMOTO EM GEOMORFOLOGIA</u> .....	7
2.1 - Sensores fotográficos .....	7
2.1.1 - Fotografias aéreas pancromáticas .....	7
2.1.2 - Fotografias aéreas coloridas .....	9
2.1.3 - Fotografias aéreas multiespectrais .....	10
2.2 - Sensores não-fotográficos .....	11
2.2.1 - Imagens de radar .....	11
2.2.2 - Imagens de scanner (infravermelho termal) .....	12
2.2.3 - Imagens de scanner multiespectral do sistema LANDSAT ....	13
<u>CAPÍTULO 3 - MÉTODOS DE INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO</u> <u>REMOTO EM GEOMORFOLOGIA</u> .....	15
3.1 - Considerações gerais .....	15
3.2 - Metodologia de interpretação de imagens LANDSAT em geomorfo logia .....	19
3.2.1 - Seleção da escala de imagem .....	19
3.2.2 - Seleção da época de tomada da imagem .....	20
3.2.3 - Seleção de canais do MSS .....	22
3.2.4 - Seleção de legenda .....	24
3.2.5 - Aquisição de informações em imagens .....	25
3.3 - Comparação dos dados extraídos de imagens como os dados cola terais .....	28
3.3.1 - Comparação com perfis topográficos .....	28
3.3.2 - Comparação com cartas de declividade .....	28
3.3.3 - Comparação com informações bibliográficas .....	29
3.4 - Análise das informações extraídas da imagem e confecção de um mapa preliminar .....	29

	<u>Pág.</u>
3.4.1 - Análise da rede de drenagem .....	29
3.4.2 - Análise dos padrões de textura .....	30
3.4.3 - Confeção do mapa preliminar .....	30
3.5 - Trabalho de campo .....	31
3.6 - Elaboração do mapa final .....	31
<u>CAPÍTULO 4 - EXEMPLOS DE APLICAÇÕES DE DADOS LANDSAT EM GEOMORFO</u>	
<u>LOGIA</u> .....	33
4.1 - Aplicação de imagens MSS/LANDSAT em geomorfologia .....	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	37

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

O objetivo da Geografia Aplicada é estudar os padrões de organização do espaço, a fim de predizer e controlar suas mudanças. Essas mudanças por sua vez, deverão proporcionar novas formas de organização que favoreçam a vida humana, através do aproveitamento racional dos recursos ambientais da superfície terrestre.

Para atingir esses objetivos, a geografia precisa contar com um fluxo constante de informações, que sejam capazes de refletirem as variações nos padrões de organização espacial. Sob esse aspecto, a técnica de sensoriamento remoto é de grande utilidade, pois permite, em curto espaço de tempo, a obtenção de grande quantidade de informações a respeito dos fenômenos que ocorrem na superfície terrestre.

O desenvolvimento de uma grande variedade de instrumentos de sensoriamento remoto a bordo de espaçonaves e aeronaves removeu barreiras na pesquisa geográfica e cartográfica, permitindo a participação nas análises de novas formas de dados.

As características das imagens obtidas de sensores a níveis orbitais, como por exemplo o sistema LANDSAT, são de grande utilidade em Geografia, devido à obtenção quase instantânea dos dados, à visão sinótica de grandes áreas, e à cobertura repetitiva. No contexto da geomorfologia, os produtos do sensoriamento remoto têm sido utilizados tanto para mapeamento a nível regional, como para análise de eventos geomorfológicos dinâmicos a níveis locais, como por exemplo assoreamento de corpos d'água, análise de áreas sujeitas a processos de erosão acelerada, avaliação de alterações provocadas por enchentes, etc.

Neste fascículo será dada atenção à utilização de técnicas de sensoriamento remoto no campo da Geomorfologia, procurando-se dar uma visão geral da aplicação de diferentes produtos do sensoriamento remoto em trabalhos geomorfológicos.

## 1.1 - CONCEITO DE GEOMORFOLOGIA

A Geomorfologia é o ramo do conhecimento científico que se propõe a descrever e classificar o modelado terrestre e explicitar os processos que lhe deram origem.

Segundo Rossetti (1970), o fenômeno geomorfológico é de extensão espacial muito variável, podendo ser observado quer a nível orbital (cadeias montanhosas), quer a nível microscópico (grau de arredondamento de grãos de areia). À medida que aumenta a extensão espacial de uma forma, ou de um conjunto geomorfológico, mais difícil se torna ao observador estudá-la em sua totalidade. O uso da tecnologia de sensoriamento remoto, através da obtenção de imagens fotográficas, permite a observação global do terreno, possibilitando o estudo das formas e de suas relações com outros fenômenos ambientais.

Em trabalhos de Geomorfologia podem-se utilizar diferentes tipos de dados de sensoriamento remoto, em função do objetivo da pesquisa e das características das áreas em estudo (Ab'Saber, 1969).

## 1.2 - ESCALAS DE MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO

A cartografia geomorfológica constitui uma das técnicas de pesquisa, dentro da geomorfologia, que se beneficia amplamente da tecnologia de sensoriamento remoto.

O primeiro passo para um estudo de Geomorfologia é o reconhecimento e a representação de formas e/ou conjunto de formas. Para esta finalidade o uso de técnicas de sensoriamento remoto se mostra mais efetivo, uma vez que fornece uma visão sinótica do modelado.

A primeira tentativa para classificar os fenômenos geomorfológicos de primeira ordem abrange áreas equivalentes a  $10^7$  km<sup>2</sup> de extensão, englobando continentes e bacias oceânicas. Estes são fenômenos mapeáveis através de imagens obtidas por sensoriamento remoto orbital.

Com base no trabalho de Cailleux e Tricart (1956), Moreira (1969) propõe uma classificação das escalas de mapeamento em geomorfologia, ressaltando que as definições da escala taxonômica facilitam a seleção dos tipos de relevo a serem incluídos nas cartas geomorfológicas, que se classificam em:

- 1) *Cartas gerais* - compreendem mapeamento em escalas menores que 1:1.000.000, constando de amplas generalizações dos fatos geomorfológicos. Estas cartas englobam unidades de 1ª, 2ª e 3ª grandeza ( $10^7 - 10^4 \text{ km}^2$ ).
- 2) *Cartas regionais* - compreendem mapeamentos em escalas menores que 1:500.000, e são orientadas para fenômenos morfoestruturais, que se associam a relevos de 4ª ou 5ª grandezas ( $10^2 - 10 \text{ km}^2$ ).
- 3) *Cartas de detalhe* - compreendem mapeamentos em escalas maiores que 1:100.000 (Demeck, 1972) ou maiores que 1:50.000 (Tricart et alii, 1973). Estas cartas são orientadas para o reconhecimento das formas dos processos de origem e da gênese de fenômenos de ordem superior à 5ª grandeza ( $10 \text{ km}^2 - 10^{-6} \text{ km}^2$ ).

Dependendo das características do sistema sensor utilizado no levantamento de uma área, podem-se obter informações compatíveis com os três diferentes níveis de cartografia geomorfológica.

### 1.3 - TIPOS DE SENSORES UTILIZADOS PARA GEOMORFOLOGIA

Todos os materiais e fenômenos naturais absorvem, transmitem, refletem e emitem seletivamente radiação eletromagnética. Com o desenvolvimento tecnológico atual é possível medir, com razoável precisão e à distância, as propriedades espectrais daqueles materiais e fenômenos.

Num programa de sensoriamento remoto podem ser selecionados os sensores em função da *fonte de energia* (sensores *passivos* e sensores *ativos*) ou do *tipo de produto* que eles fornecem (*imageadores* - fotográficos e não fotográficos e *não-imageadores*).

Um sistema é *passivo* quando não possui uma fonte própria de radiação (ex. câmara fotográfica). Ele mede radiação solar refletida ou radiação emitida pelos alvos.

Um sistema sensor *ativo* possui sua própria fonte de radiação eletromagnética (ex. radar de visada lateral), trabalhando em faixas restritas do espectro.

Nos sistemas sensores classificados como *imageadores*, obtêm-se a representação tridimensional da variável de interesse (fotografias aéreas, imagens de radar, etc.).

Nos sistemas *não-imageadores* a representação é bidimensional, sob a forma de gráficos e fitas. Este tipo de sensor é pouco usado em estudos geomorfológicos.

Os sistemas sensores *fotográficos* foram os primeiros a serem utilizados em sensoriamento remoto e ainda hoje são os mais largamente utilizados. Estes sistemas sensores cobrem a faixa do espectro eletromagnético do ultra violeta próximo ao infravermelho próximo. Câmaras, filme e filtros são os principais elementos de um sistema fotográfico.

Os sistemas sensores *não-fotográficos* são sensores capazes de operar em regiões do espectro eletromagnético, desde as microondas até as regiões do ultravioleta, possuindo detetores especiais diferentes de uma emulsão fotográfica. Os dados destes sistemas são coletados sob a forma de sinal elétrico.



Os tipos de sensores (transportados por aeronaves e satélites) mais utilizados em estudos geomorfológicos são:

a) Sensores fotográficos

São muito utilizados, apesar do grande avanço ocorrido no desenvolvimento de sensores eletrônico ("scanner", radar, televisão). São operados a partir de aeronaves e espaçonaves, e as fotografias são obtidas na região do ultravioleta ( $0,35 \mu\text{m}$ ) ao infravermelho próximo ( $1,5 \mu\text{m}$ ). Dentro desta faixa de operação, podem-se obter diversos tipos de imagens fotográficas que, de acordo com as suas características espectrais, podem fornecer diferentes informações sobre a geomorfologia de uma área. O conteúdo da fotografia é de fácil interpretação, pois apresenta uma aparência mais natural com relação à forma, ao tamanho, à cor, etc. dos objetos fotografados.

Os principais produtos dos sistemas fotográficos utilizados em geomorfologia são:

- Fotografias aéreas pancromáticas - que registram o espectro visível inteiro em preto e branco (gama de cinzas).
- Fotografias aéreas coloridas - que se dividem em colorido normal - onde os objetivos fotografados aparecem na sua cor natural; este tipo de fotografia é obtida na faixa do visível - e colorido infravermelho - os quais obtêm informações além do espectro visível ( $400 - 900 \mu\text{m}$ ), sendo visível a porção refletida do infravermelho.
- Fotografias aéreas multiespectrais - que são obtidas a partir da utilização simultânea de diversas combinações de filmes e filtros, registrando informações na faixa do visível e do infravermelho próximo.

b) Sensores não-fotográficos

Os mais utilizados em geomorfologia são:

- Radar - é um sensor ativo que opera na faixa de rádio ou microondas; por ser um sensor ativo pode ser operado a noite, sob qualquer condição atmosférica e em regiões de grande sombreamento provocado pelo relevo. O mais utilizado em geomorfologia é o Radar de Visada Lateral (SLAR).
- Radiômetro imageador (Scanner) - este sistema sensor opera na faixa do infravermelho termal (8.0 a 13.0  $\mu$ ), sendo muito utilizado para estudos de poluição de corpos d'água.
- Scanner multiespectral do sistema LANDSAT - é um imageador multiespectral de 4 canais, atuando nas faixas do visível e do infravermelho próximo. Este sensor está acoplado a uma plataforma a nível orbital, possibilitando a aquisição de dados repetitivos sobre a superfície terrestre.

## CAPÍTULO 2

### ELEMENTOS DE INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO EM GEOMORFOLOGIA

#### 2.1 - SENSORES FOTOGRÁFICOS

##### 2.1.1 - FOTOGRAFIAS AÉREAS PANCROMÁTICAS

Os elementos de interpretação de fotografias aéreas em Geomorfologia são:

#### 1) Rede de drenagem

A análise da rede de drenagem fornece elementos para a interpretação de fatos de interesse da Geomorfologia. Os padrões de drenagem são elementos importantes para os estudos de Geomorfologia, pois se associam à estrutura, à litologia e à textura do solo de uma dada área (Anderson, 1979).

Entende-se como padrão de drenagem a disposição ordenada dos rios de uma determinada área, de modo a enquadrá-la em modelos pré-estabelecidos (Ricci e Petri, 1965).

Os padrões de drenagem são importantes e úteis para muitas disciplinas na área de Ciências Naturais que usam fotointerpretação, porque podem revelar informações sobre o substrato rochoso, a estrutura e a permeabilidade dos solos.

#### 2) Tonalidade

A tonalidade representa o matiz de cinza que um objeto é capaz de registrar num filme fotográfico. Ela é dada pela quantidade de energia refletida e/ou emitida por este objeto em uma determinada banda espectral.

A tonalidade fotográfica   um elemento essencial na interpreta o de imagens, especialmente quando se trata de imagens pancromáticas ou no infravermelho preto e branco. Nessas imagens, a tonalidade se constitui de grada es de cinza que variam do branco ao preto. A grada o de tons na imagem depende não apenas das caracteristicas da emulsão e do processamento fotográfico, mas também da natureza dos objetos imageados.

A análise da tonalidade de cinza em fotografias aéreas permite, muitas vezes, a classifica o de fatos geomorfológicos, fornecendo subsídio para a cronologia relativa das formas. Numa planície aluvial, por exemplo, podem-se identificar paleocanais através do critério de tonalidade. Os canais mais recentemente abandonados aparecem, em geral, com níveis de cinza mais escuros, devido   maior umidade que ret m; os mais antigos são identificados com maior dificuldade, porque apresentam-se pouco mais escuros que a planície como um todo.

Nas várzeas podem-se separar, através de varia es tonais, terraços fluviais de pequenas amplitudes altimétricas. Os terraços mais elevados menos sujeitos   umidade, tendem a apresentar tonalidades mais claras.

### 3) Textura

A menor superfície contínua e homog nea distinguível na imagem fotográfica e passível de repeti o   denominada textura ou elemento textural. Um elemento textural pode ser a imagem de uma parte da linha de drenagem ou de uma parte do relevo. Uma mudança de dire o ou de forma, na linha de drenagem ou na superfície do relevo, constitui uma mudança na distribui o espacial do elemento textural.

As varia es na textura do relevo e da drenagem constituem a propriedade fundamental da análise da imagem, pois permitem separar fei es com significados diferentes ou associar fei es com o mesmo significado, dado por condi es naturais.

A análise da textura também permite interferência de interesse geomorfológico. As variações de textura numa dada vertente permitem inferir, por exemplo, a existência de afloramentos rochosos. Vertentes submetidas a processos mais agressivos de erosão tendem a apresentar textura mais áspera, devido ao microrrelevo determinado pelos múltiplos canais de escoamento pluvial. Áreas de depósitos recentes (colúvios e alúvios) apresentam, em geral, textura lisa, pois são áreas de acumulação em que os processos degradacionais praticamente não atuam.

O significado geomorfológico da textura, entretanto, vai depender da escala de tomada da fotografia. Na escala de 1:5.000, a textura da área interna de um arco meândrico aparecerá áspera, porque as marcas de sedimentação se tornarão perceptíveis. Na escala de 1:60.000, esta mesma área apresentará uma textura lisa, que caracterizará as áreas de sedimentos recentes.

### 2.1.2 - FOTOGRAFIAS AÉREAS COLORIDAS

#### 1) Colorido normal

Os procedimentos para a interpretação de fotografias aéreas coloridas são os mesmos utilizados na interpretação de fotografias pancromáticas. A fotografia aérea colorida oferece vantagens adicionais, quando se utiliza mais intensamente o critério de análise de tonalidade, uma vez que o olho humano é mais sensível à variação de cor que à de níveis de cinza.

Segundo Mintezzer (Garcia, 1975), trabalhos realizados com fotografias coloridas e pancromáticas, sob as mesmas condições, demonstraram a superioridade das primeiras no que se refere ao tempo despendido na caracterização da drenagem e às características erosivas.

Em estudos hidrológicos, por exemplo, variações na cor da água ao longo de um rio podem indicar a presença de sedimentos transportados por afluentes. Variações na cor dos solos ou de afloramentos

rochosos podem indicar diferenças no grau de alteração das rochas, tipo de material predominante, etc.

## 2) Colorido infravermelho

A principal vantagem do filme, infravermelho colorido é a ampliação das informações além do espectro visível (400-900 m $\mu$ ), tornando-o sensível à porção do infravermelho. Esta característica é de grande utilidade para a interpretação geomorfológica quando se analisam diferenças de cores, pois os filmes infravermelhos apresentam grande contraste entre objetos.

Segundo Garcia (1975), havendo fotografia de uma região no infravermelho, a rede de drenagem pode ser mapeada em monoscopia, pois este tipo de foto fornece resultados comparáveis aos de análise estereoscópica com fotografias pancromáticas. Esta acuidade na identificação da drenagem pode ser explicada pela sensibilidade do filme infravermelho às variações de umidade. Em geral, ao longo do leito dos rios, mesmo temporários, podem ser observadas cores mais escuras, devido à absorção da radiação no infravermelho.

### 2.1.3 - FOTOGRAFIAS AÉREAS MULTIESPECTRAIS

A potencialidade da análise das densidades (ou níveis de cinza) é consideravelmente aumentada, quando se utilizam fotografias multiespectrais. Para sua análise utiliza-se geralmente o Color Additive Viewer que, através de um sistema de filtros, permite a simulação de composições normais e no infravermelho.

Segundo Nascimento e Nascimento (1977), as áreas de cristas quartzíticas na região de Vazantes (MG) foram caracterizadas através de fotografias multiespectrais.

As fotografias multiespectrais podem também, ser analisadas separadamente com o auxílio de mesa de luz. A análise de cada faix

xa do espectro pode ser útil quando se quer estudar um fenômeno particular. Se o interesse for o mapeamento da drenagem e de áreas de maior concentração de umidade, a análise da faixa do infravermelho permitirá o rápido reconhecimento da drenagem e de superfícies úmidas, caracterizadas por tonalidade de cinza-escuro.

## 2.2 - SENSORES NÃO-FOTOGRAFICOS

### 2.2.1 - IMAGENS DE RADAR

Em geomorfologia, a principal utilização do Radar de Visada Lateral (RVL) tem sido para mapeamentos geomorfológicos a nível de reconhecimento. No Brasil, o Projeto RADAM está fazendo o mapeamento geomorfológico de todo o País, utilizando principalmente imagens de radar.

Para utilizar imagens de radar em mapeamento geomorfológico, é imprescindível o conhecimento prévio das principais características físicas do sistema RVL.

A imagem de radar pode ser interpretada da mesma forma que as fotos aéreas convencionais (em branco e preto), considerando-se, no entanto, algumas diferenças fundamentais entre ambas, como os tons de cinza e o sombreamento.

Em imagens de radar, a rugosidade da superfície do terreno fica caracterizada pelo sinal recebido pelo sistema imageador, instalado a bordo de uma aeronave. Por exemplo, um relevo muito dissecado em colinas convexas possui, frequentemente, maior rugosidade do que um relevo de amplos interflúvios tabulares.

Assim, a textura (impressão visual da rugosidade ou uniformidade determinada por alguns objetos) é um elemento muito importante na interpretação geomorfológica através do RVL.

O sombreamento, em imagens de radar, indica a ausência do sinal de retorno para o sistema imageador. Esta ausência é frequente em relevos residuais ou em áreas de relevo mais movimentado, que mostram uma encosta escurecida.

Na interpretação do relevo através dos mosaicos de radar, deve-se considerar principalmente a fisionomia do relevo. Em áreas dissecadas, para avaliar o padrão de dissecção, são importantes as seguintes informações:

- densidade da rede de drenagem;
- profundidade de incisão dos vales; e
- inclinação das vertentes.

Estes dados permitem a identificação de conjuntos de formas, tais como: relevos colinosos, relevos de cristas e relevos tabulares. Feito o estudo do conjunto de formas (compartimentação do relevo), procura-se obter dados sobre a hidrologia, geologia, vegetação, solos e clima da área em estudo para efetuar a análise da evolução do relevo.

Maiores informações sobre a utilização de imagens de radar em estudos geomorfológicos, bem como para o mapeamento geomorfológico, podem ser encontradas nos trabalhos de Barbosa (1973 e 1976) e Tricart et alii (1973).

#### 2.2.2 - IMAGENS DE SCANNER (INFRAVERMELHO TERMAL)

Imagens na faixa do infravermelho termal também podem ser utilizadas para a obtenção de dados de interesse em estudos geomorfológicos.

Conforme o manual da American Society of Photogrammetry (1975), a energia emitida pelos materiais na superfície depende de mu



tos fatores, dentre os quais podem-se destacar inércia termal, emissividade e temperatura. As imagens no infravermelho termal mostram as temperaturas radiométricas dos materiais de superfície.

Segundo Lintz e Simonet (1976) os corpos d'água à noite são relativamente mais quentes do que as áreas adjacentes devido à inércia termal da água. Áreas de falhamento, contendo alta concentração de água, tenderão a aparecer na imagem em tonalidades mais escuras.

Através da análise das diferenças de tonalidade da imagem termal, podem-se identificar, através de diferentes teores de umidade, áreas com depósitos aluviais, zonas de saturação de umidade propícias a deslizamentos de terra, etc.

### 2.2.3 - IMAGENS DE SCANNER MULTIESPECTRAL DO SISTEMA LANDSAT

A interpretação geomorfológica de imagens LANDSAT não envolve técnicas especiais, sendo seus critérios basicamente idênticos aos da interpretação de imagens fotográficas convencionais, como por exemplo, análise da rede de drenagem, textura e tons de cinza. O caráter original na interpretação das imagens MSS do LANDSAT é a possibilidade de analisar um fenômeno em diferentes faixas espectrais.

A textura é determinada pela escala de observação. Desta forma, feições ou objetos que podem ser reconhecidos individualmente em fotografias aéreas não podem ser observados em imagens de pequena escala, tais como as do LANDSAT.

Em escalas muito pequenas (imagens orbitais), a textura é a combinação dos elementos de reconhecimento ou de interpretação, tais como: tonalidade, forma, tamanho e padrão. Com imagens de pequena escala, a textura é usada com mais vantagem do que as imagens aéreas convencionais, pois, feições que são normalmente padrões sobre imagens aéreas frequentemente aparecem como textura em imagens orbitais.

Uma séria limitação na análise de imagens LANDSAT, para a geomorfologia, é a impossibilidade de visão estereoscópica, o que não permite a visualização dos conjuntos geomorfológicos em três dimensões. Outra limitação é a resolução do atual sistema (79 m), que o torna apto apenas para detectar formas de grandes dimensões espaciais.

Estudos realizados anteriormente (Gimbarzewiśky, 1975; Santos e Novo, 1977) demonstraram que os canais MSS 5 e 7 são os melhores para estudos geomorfológicos.

As imagens LANDSAT podem ser utilizadas, principalmente, para mapeamentos geomorfológicos regionais; podendo ser identificados relevos colinosos, cristas, planícies, chapadões, etc.

Os grandes chapadões, que se constituem em formas de relevo conservadas, apresentam características bastante especiais. Estas formas são facilmente diferenciadas de outros compartimentos do relevo. Os chapadões, em geral, apresentam textura lisa no canal MSS 7, tonalidades homogêneas de cinza nos canais MSS 5 e 7 e limites escarpados perceptíveis em ambos os canais.

Maiores detalhes sobre as aplicações de imagem LANDSAT em geomorfologia podem ser vistos em Verstappen (1977); Santos e Novo (1977) Santos et alii (1980).

## CAPÍTULO 3

### MÉTODOS DE INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO EM GEOMORFOLOGIA

#### 3.1. - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Segundo Verstappen (1977), o processo de interpretação de uma imagem envolve basicamente quatro fases:

- 1) detecção de características observáveis na imagem;
- 2) reconhecimento e identificação dessas características;
- 3) análise dos padrões formados pelos objetos reconhecidos; e
- 4) classificação dos objetos em conjuntos significativos.

Uma interpretação geomorfológica completa não está restrita apenas às características visíveis na imagem, mas também ao estabelecimento de associações entre estas e os fenômenos não-visíveis, como os processos, as propriedades hidrológicas, as pedológicas, etc.

Para Verstappen (1977), a interpretação geomorfológica envolve:

#### 1) Identificação e reconhecimento de formas

A identificação e o reconhecimento de formas estão estreitamente vinculados ao tipo de produto de sensoriamento remoto utilizado. A escala de obtenção da imagem e as características de resolução espectral e geométrica afetam a grandeza da forma reconhecível. Na escala de 1:20.000, por exemplo, podem ser reconhecidas formas decamétricas, tais como sulcos de escoamento pluvial ou trilhas de pisotéio; na escala de 1:60.000, com o mesmo tipo de produção, a grandeza das for

mas reconhecíveis seria maior a hectométrica. Para a escala de 1:60.000; é possível reconhecer alinhamentos de cristas, escarpamentos, etc.

A identificação e o reconhecimento de formas baseiam-se em dois critérios:

a) Critério de forma ou relevo

Através deste critério é observada a configuração espacial do fenômeno de interesse. Um canal meândrico é reconhecido pela sua configuração espacial, que determina uma forma sinuosa. A análise de forma é extremamente facilitada pela possibilidade de visão este reoscópica, a qual, entretanto, depende do tipo de sistema sensor utilizado e dos parâmetros de voo (altura, recobrimento, etc.), estabelecidos no aerolevanteamento.

A análise do relevo também é facilitada pela visão este reoscópica. A visão tridimensional dos objetos é um dos requisitos de maior importância nos estudos geomorfológicos, pois permite o reconhecimento da forma das vertentes, dos vales, das soleiras, etc. A este reoscopia possibilita, ainda, a avaliação de parâmetros morfométricos do relevo, tais como declividade, amplitude altimétrica, etc.

Na análise do relevo, os principais aspectos que devem ser considerados para a compartimentação geomorfológica são:

- *Forma de vales* - através da análise da forma dos vales, pode-se ter informações sobre as condições paleoclimáticas que atuaram sobre a região de estudo; pode-se também verificar se as formas existentes são herdadas, ou são respostas a processos atuais ou subatuais. A ocorrência de vales em "V", embutidos em vales de fundo chato, pode indicar, por exemplo, uma retomada da erosão pelo rio, em virtude de desequilíbrios ambientais atuais e subatuais.

- *Forma de vertentes* - as vertentes podem ter diferentes perfis, os quais podem indicar não sô os processos que atuaram ou atuam no seu modelado, mas também a litologia sobre a qual foi modelada, a tectônica que afetou a região, o tempo em que vêm sendo expostas ao intemperismo, etc.
- *Forma dos canais fluviais* - os canais fluviais podem ser sinuosos, ramificados, meândricos, anastomosados, etc. A análise da forma dos canais permite inferir sobre as condições de escoamento da área em estudo. Canais anastomosados, por exemplo, indicam que a capacidade de transporte do rio naquele trecho é inferior ao fornecimento de material pelas encostas ou pela drenagem a montante.

#### b) Crítério de densidade

Através deste critério são observadas as diferenças de nível de cinza existentes. A análise da densidade é um aspecto importante na interpretação do relevo, embora o relacionamento entre forma e tonalidade seja muitas vezes indireto. Somente quando o padrão de tonalidade da imagem representa padrões de sombreamento é que se pode estabelecer uma relação direta entre densidade e forma. Apesar das desvantagens, a análise da tonalidade e textura é o único meio de visualizar formas em imagens que não apresentem o recurso da estereoscopia.

A potencialidade da análise de densidade será consideravelmente aumentada, se forem utilizadas imagens multiespectrais. A análise temporal dos padrões de densidade também adiciona informações à análise de densidade. Tem-se o caso, por exemplo, em que a observação de imagens sequenciais, abrangendo o período seco e úmido, coloca em evidência zonas de acumulação onde existe maior retenção de umidade. Este reconhecimento torna-se ainda mais fácil quando se usam imagens na faixa do infravermelho próximo.

A análise de densidade pode ser feita qualitativa ou quantitativamente; segundo Verstappen (1977), a análise qualitativa nem sempre é satisfatória, mesmo quando se utilizam técnicas "de realce", devido ao alto grau de subjetividade; a análise quantitativa ou automática diminui essa subjetividade, embora a qualidade dos resultados esteja em estreita dependência com as amostras oferecidas para o processo de classificação.

É importante salientar que as densidades de cinza não dependem apenas das características do sensor utilizado (filme, filtros, sistema ótico, etc); do tipo de processamento e das características do objeto, mas também do ângulo de inclinação do sol, da posição do objeto em relação ao sistema sensor e de outras circunstâncias que afetam a iluminação dos objetos.

## 2) Análise sistemática

Há três formas de analisar os dados contidos numa imagem ou fotografia:

- *Análise de padrões* - a área é dividida em unidades de paisagens homogêneas, segundo os diferentes padrões que se apresentam no produto analisado.
- *Análise do relevo* - a análise do relevo se fundamenta em um conhecimento amplo de Geomorfologia, através do qual se procura associar a grandes conjuntos de formas os processos morfogenéticos que nelas atuam.
- *Análise paramétrica* - a análise paramétrica baseia-se na aquisição de dados numéricos sobre parâmetros característicos do relevo e das formas. Esses parâmetros (densidade de drenagem, amplitude dos interflúvios, tamanho, ordem da bacia, etc.) são utilizados como critérios na identificação de unidades geomorfológicas.

### 3) Indução e dedução

Com base nas informações coletadas, descritas anteriormente, são feitas interpretações morfogenéticas. Os processos atuantes no modelado atual são deduzidos a partir das características visíveis na paisagem.

#### 3.2 - METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS LANDSAT EM GEOMORFOLOGIA

Com base na experiência acumulada pelos diversos pesquisadores, pôde-se desenvolver um conjunto de procedimentos que permitam a aquisição de informações geomorfológicas das imagens MSS do LANDSAT.

Esses procedimentos são discutidos a seguir:

##### 3.2.1 - SELEÇÃO DA ESCALA DA IMAGEM

A seleção da escala da imagem é feita em função do objetivo da pesquisa. Em geral, para mapeamentos geomorfológicos, costuma-se utilizar imagens na escala 1:500.000.

A escala de 1:500.000 tem a vantagem de apresentar uma melhor definição dos elementos texturais, quando comparada com as escalas maiores (1:250.000 e 1:100.000). Além disso, é de fácil manuseio, permitindo ao fotointérprete maior facilidade na comparação entre canais.

Quando se tem em mente um mapeamento com mais detalhes, aconselha-se a utilização da imagem na escala de 1:250.000, mas sempre acompanhada de imagens de escalas menores para servirem de orientação na definição mais precisa de limites entre unidades.

Deve-se salientar que uma ampliação da escala original não implica aumento da resolução da imagem. Levando-se em conta que esta resolução é de cerca de 80 m x 80 m no terreno, independentemente da escala da imagem utilizada, formas e feições, cuja dimensão sejam

inferiores à essa área, não serão mapeáveis. O uso de escalas amplias pode facilitar apenas a restituição de feições muito pequenas.

As escalas acima mencionadas geralmente são utilizadas para a análise visual das imagens MSS/LANDSAT.

Na análise automática dos dados LANDSAT, dependendo do alvo a ser analisado, pode-se utilizar escalas maiores (de até 1:50.000) sem perda de definição geométrica. Neste caso, a ampliação da área de interesse para escalas maiores é feita por intermédio de programas implementados no Analisador Automático de Imagens Multiespectrais (IMAGE-100).

Assim, para estudos de: dispersão de sedimentos em suspensão na água de rios e reservatórios artificiais, poluição destes corpos d'água, circulação das águas de superfície em função das concentrações de material em suspensão transportado pelas correntes, o uso de escalas maiores permite maior precisão na análise dos diferentes aspectos apresentados pelo alvo. Salienta-se que para fazer a análise de alvos de grande extensão na escala de 1:50.000, é necessário dividir esse alvo em várias partes, e ampliar estas partes para a referida escala. Isto se deve à dimensão do vídeo do sistema I-100 (29 cm x 29 cm), que na escala de 1:50.000 comporta alvos de apenas 14,5 km x 14,5 km.

### 3.2.2 - SELEÇÃO DA ÉPOCA DE TOMADA DA IMAGEM

A seleção da época de tomada de imagem vai depender das características da região em estudo e dos objetivos do trabalho, pois alguns alvos têm seu comportamento espectral modificado no tempo.

Quando se pretende estudar áreas que possuem topografia plana ou com cobertura vegetal densa, é aconselhável utilizar imagens correspondentes aos meses de inverno, com pequenos ângulos de elevação solar, que tendem a realçar, pelo efeito de sombreamento, pequenas variações na topografia. Em áreas de relevo caracterizado por elevados



valores de amplitude altimétrica, entretanto, imagens de baixos ângulos de elevação solar podem provocar um excesso de sombreamento, obliterando importantes feições do relevo.

As melhores estações do ano para o mapeamento de ravinas são o outono e o inverno, porque os ângulos mais baixos de elevação do sol acentuam o efeito de sombreamento. Com ângulos de elevação inferiores a  $30^{\circ}$ , ravinas mais profundas podem ser identificadas no canal MSS 5 (Morrison e Cooley, 1973).

Sempre que for possível, deve-se optar pela utilização de imagens de mais de uma época, para aproveitar o realce natural de feições, proporcionado pelas variações de azimute e elevação do sol, conforme sugerido por Rabchevsky (1979).

Quando se tem por objetivo o estudo de fenômenos geomorfológicos dinâmicos, deve-se utilizar imagens sequenciais. Para estudos de dispersão de sedimentos em suspensão em águas de superfície, geralmente o período chuvoso é o mais indicado, pois é a época em que ocorrem os picos de carreamento de material.

Sausen (1981) estudou a dispersão de sedimentos em suspensão em reservatórios artificiais, através da utilização de imagens tomadas em duas épocas do ano e em anos sucessivos. Em todos os anos analisados, as imagens do período chuvoso forneceram maiores informações sobre a dispersão da pluma de sedimentos em suspensão na água, do que as do período seco. A utilização das imagens em dois períodos sazonais possibilita a caracterização do comportamento de reservatórios artificiais, em função das variações pluviométricas.

Santos et alii (1980) estudaram a variação do perímetro úmido do Rio Doce em períodos pré e pós-enchente, utilizando imagens LANDSAT em anos diferentes. A seleção da estação ou estações mais próprias ao estudo depende das características inerentes ao fenômeno a ser estudado, cujo conhecimento deve ser adquirido pelo intérprete, através de minuciosa pesquisa bibliográfica.

### 3.2.3 - SELEÇÃO DE CANAIS DO MSS

A seleção de canal ou canais a serem utilizados na análise de imagens MSS/LANDSAT depende também dos objetivos da pesquisa. O conhecimento prévio das características do alvo em cada canal auxilia a escolha dos canais adequados ao objetivo do intérprete.

Quando o objetivo da pesquisa é a compartimentação geomorfológica, o canal 7 é o mais adequado, como ficou evidenciado pelos trabalhos de Verstappen (1977), Koffler (1976), Santos e Novo (1977), e Sausen (1981). O canal MSS 5, entretanto, deve ser utilizado para a aquisição de informações adicionais, tais como: drenagem secundária, cobertura vegetal, etc.

Weyns em 1975 (Verstappen, 1977) utilizou diferentes técnicas de interpretação visual para avaliar o grau de precisão com que o fenômeno geomorfológico pode ser mapeado através de imagens LANDSAT. Ele concluiu, que algumas unidades geomorfológicas (dunas costeiras, argilas marinhas) podem ser identificadas mais facilmente que outras. Isto é explicado pelo fato de que, em algumas áreas, as variações de vegetação estão mais associadas à geomorfologia que em outras, e que esta associação também pode variar com a estação do ano e com o grau de interação humana. O autor concluiu também que, em geral, o canal MSS 7 fornece mais informações de natureza geomorfológica que o canal MSS 5, mas que o uso conjunto dos dois canais aumenta consideravelmente a eficiência da interpretação.

O canal MSS 5 é o mais indicado para a identificação de áreas com ocorrência de ravinas, devido ao alto contraste tonal entre o solo exposto na cicatriz e a vegetação adjacente. Este alto contraste pode ser explicado pelo comportamento espectral do solo e da vegetação neste canal. Na faixa do espectro correspondente ao canal MSS 5, a vegetação apresenta um mínimo de reflectância, o que determina, em áreas de alta densidade de cobertura, a ocorrência de tonalidade clara dos solos sem recobrimento vegetal (Morrison e Cooley, 1973).

Koffler (1976) observou que algumas características, tais como densidade de drenagem e textura topográfica, podem ser avaliadas através de feições de textura fotográfica nas imagens do canal MSS 7.

Santos e Novo (1977) observaram que a variação das condições topográficas provocam variações na textura fotográfica da imagem do canal 7. Estes autores desenvolveram um estudo no sentido de avaliar que características da topografia afetavam a textura fotográfica no canal 7. Para expressar o comportamento da topografia, foram selecionados parâmetros, tais como: declividade, densidade de drenagem e textura topográfica. A textura fotográfica foi expressa quantitativamente através do índice de rugosidade, definido como o número de variações de tonalidade por amostra, paralelamente à linha de varredura. Os resultados alcançados encontram-se resumidos na Tabela 3.1.

TABELA 3.1

COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN ENTRE TEXTURA FOTOGRAFICA E INDICES QUE EXPRESSAM VARIAÇÕES DAS CARACTERÍSTICAS DA TOPOGRAFIA

CORRELAÇÃO \ ÍNDICES	TEXTURA TOPOGRÁFICA	DECLIVIDADE	DENSIDADE DE DRENAGEM
Área Teste do Roncador - Rugosidade	0,90	0,57	0,90
Área Teste de Cana Brava - Rugosidade	-	0,72	-
Área Teste da Serra das Almas - Rugosidade	-	0,79	-

A análise da Tabela 3.1 permite verificar que a correlação entre textura fotográfica (índice de rugosidade) e os índices de densidade de drenagem e textura topográfica é elevada, enquanto que a correlação da textura fotográfica com a declividade já é bem mais baixa. En

tretanto, essa correlação varia de 0,57 na área teste do Roncador até 0,79 na área teste da Serra das Almas. Levando-se em conta que os dados de declividade foram coletados em cartas topográficas e em imagens de escalas diferentes, pode-se concluir que o valor da correlação é afetado pelo tipo de documento utilizado na aquisição de dados.

Alguns fenômenos são mais facilmente observáveis através da análise de composições coloridas. Para isto, são utilizados equipamentos como o Additive Color Viewer, que permitem a composição das imagens MSS através da combinação de filtros e controle de intensidade luminosa. Darch (1979), estudando as condições de umidade do Pantanal Matogrossense, utilizou o canal MSS 4, com filtro azul, para obter informações sobre profundidade e turbidez da água. Segundo esta autora, a combinação entre o canal 4, com filtro azul, e o canal MSS 7, com filtro vermelho, proporcionou resultados excelentes para o mapeamento de áreas com diferentes teores de umidade.

Sausen (1981), através da análise automática de imagens MSS/LANDSAT, por meio do sistema I-100, também fez uso de combinações de filtros nos canais MSS 4 (azul), MSS 5 (verde) e MSS 7 (vermelho), para ressaltar o padrão de distribuição das plumas de sedimentos em suspensão, na camada superficial d'água do reservatório de Três Marias (MG). Este procedimento, possibilitou a caracterização das diferentes concentrações de sedimento com maior precisão.

#### 3.2.4 - SELEÇÃO DE LEGENDA

A seleção de legenda depende não somente do objetivo como também da escala de trabalho. Em geral, quando se faz a compartimentação geomorfológica de uma área, costuma-se utilizar uma legenda composta de letras e dígitos. As letras são associadas aos grandes conjuntos de formas, tais como: colinas, tabuleiros, cristas, e os dígitos, à intensidade relativa da dissecação. Este tipo de legenda também é utilizada pelo RADAM.

As formas discerníveis na imagem, tais como: escarpas, depressões, inselbergs, etc., podem ser mapeadas com a simbologia já consagrada nas legendas geomorfológicas.

A legenda de letras e dígitos, entretanto, é a que mais se presta ao mapeamento geomorfológico regional e às limitações de resolução e de escala das imagens LANDSAT.

### 3.2.5 - AQUISIÇÃO DE INFORMAÇÕES EM IMAGENS

A aquisição de informações em imagens é feita conforme as seguintes etapas:

#### 1) Aquisição de informações básicas

Colocando papel poliéster transparente sobre a imagem, o intérprete deve demarcar cuidadosamente os limites da mesma, as coordenadas, a sua data de aquisição, o ângulo de elevação, o azimute, a órbita e o ponto.

Essas informações auxiliarão posteriormente a interpretação final dos resultados, bem como a montagem de mapas quando se trabalha com mais de uma imagem.

#### 2) Traçado da rede de drenagem

O traçado da rede de drenagem deve ser feito inicialmente no canal 7, através do qual podem ser facilmente restituídos os rios principais, cuja lâmina de água apresenta tonalidade escura. Após a definição dos rios principais no canal 7, o papel poliéster deve ser cuidadosamente transferido para a imagem no canal 5, que será utilizado para o mapeamento da drenagem secundária.

A rede de drenagem secundária é identificada através da mata galeria, que apresenta tonalidade escura contrastante com as áreas adjacentes, em áreas de vegetação pouco densa.

Em regiões recobertas uniformemente por vegetação densa, deve-se utilizar a imagem no canal 7, referente ao período seco, para o mapeamento da rede de drenagem, pois nessa época existem diferenças entre a resposta espectral da mata galeria e a da mata adjacente, devido às diferenças de umidade (Santos e Novo, 1977).

Deve-se salientar que, em certas regiões com alta densidade de drenagem organizada em padrão dendrítico e caracterizada por vales encaixados e com pequena amplitude lateral, torna-se difícil a restituição da rede de drenagem. Assim sendo, em regiões do Pré-cambriano, devem ser utilizados outros critérios de interpretação do relevo, pois não se tem condições de obter um traçado minucioso da rede de drenagem.

### 3) Identificação dos padrões de textura

A identificação dos padrões de textura fotográfica é feita utilizando-se a imagem do canal 7. Os padrões de textura podem representar diferentes feições do terreno. Assim sendo, pode-se encontrar padrões de textura retilínea que podem ser associados a cristas (Figura 3.1).

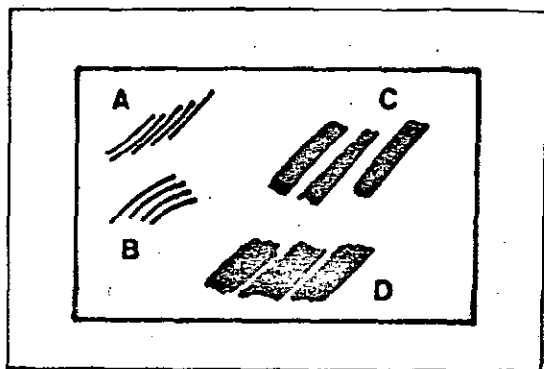


Fig. 3.1 - Padrão de textura retilínea.

Um mesmo padrão de textura pode ser ainda subdividido em função da densidade dos elementos texturais, da disposição desses elementos e de sua dimensão. Em A e B observam-se dois padrões de textura linear que se distinguem pela amplitude lateral dos elementos. No terreno, A corresponderia à região de cristas, separadas por vales estreitos, enquanto B corresponderia à região de cristas residuais em áreas com vales amplos. Em C e D, a amplitude lateral e a orientação das cristas são semelhantes; entretanto, podem representar compartimentos distintos no terreno, pois o padrão de sombreamento indica uma assimetria de vales em D, o que não ocorreria em C. O padrão de sombreamento também pode indicar o grau de entalhamento, ou seja, a amplitude altimétrica do conjunto topográfico.

As regiões de mesmo padrão de textura serão então separadas por linhas contínuas. Feições específicas do relevo, como escarpas, relevos residuais etc., serão também assinaladas.

À medida que se processa a identificação dos padrões de textura, deve-se tomar nota, numa folha à parte, da sua possível feição no terreno. Isto facilitará a análise posterior dos padrões de textura.

#### 4) Identificação de unidades homogêneas de tonalidade

Esta identificação é feita, principalmente, no canal 5 e poderá auxiliar a caracterização de unidades geomorfológicas que apresentem forte associação com as condições de cobertura vegetal. A comparação posterior do "overlay" de níveis de cinza com o "overlay" de textura permitirá a elucidação de algumas anomalias nos padrões de textura, uma vez que em áreas de vegetação densa há uma diminuição nas correlações entre as características do terreno e os padrões texturais no canal MSS 7 (Santos e Novo, 1977).

A análise de tonalidade no canal MSS 7 também pode auxiliar a identificação de regiões com teores de umidades diferentes. Assim sendo, quando forem observadas variações significativas de tonali

dade de cinza no canal MSS7, estas devem ser incorporadas ao "overlay" de tonalidade.

### 3.3 - COMPARAÇÃO DOS DADOS EXTRAÍDOS DE IMAGENS COM OS DADOS COLATERAIS

#### 3.3.1 - COMPARAÇÃO COM PERFIS TOPOGRÁFICOS

Com o auxílio de cartas topográficas, pode-se construir uma série de perfis topográficos, orientados segundo diferentes direções. Estes perfis são comparados com as unidades de textura, de modo a verificar se há correspondência entre as rupturas topográficas e os limites identificados nas imagens.

Este procedimento pode auxiliar a classificação preliminar das unidades e reduzir consideravelmente a etapa de trabalho de campo. Permite, também, atribuir às unidades, informações quantitativas de altitude, amplitude, etc. A Figura 3.2 ilustra o procedimento.

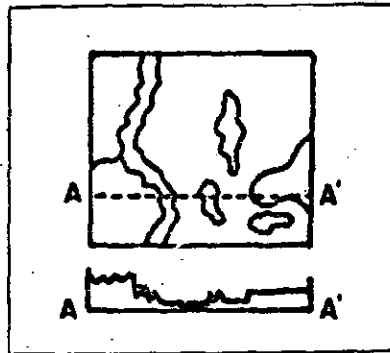


Fig. 3.2 - Comparação entre perfis topográficos e feições texturais da imagem.

#### 3.3.2 - COMPARAÇÃO COM CARTAS DE DECLIVIDADE

Com o auxílio de cartas topográficas, podem ser construídas cartas de declividade. Estas cartas podem ser comparadas com as dis



tribuições de padrões de textura, para verificar se estes apresentam distribuições semelhantes.

### 3.3.3 - COMPARAÇÃO COM INFORMAÇÕES BIBLIOGRÁFICAS

Com o auxílio de bibliografia e de informações preexistentes sobre a área, pode-se tentar atribuir a cada unidade de textura uma classificação provisória.

A comparação com dados bibliográficos é importante para a fase posterior de interpretação do significado geomorfológico das unidades mapeadas.

### 3.4 - ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES EXTRAÍDAS DA IMAGEM E CONFEÇÃO DE UM MAPA PRELIMINAR

#### 3.4.1 - ANÁLISE DA REDE DE DRENAGEM

Em regiões em que é possível obter o traçado minucioso da drenagem, o primeiro passo da fase de interpretação é a análise qualitativa e quantitativa da rede de drenagem.

Na análise qualitativa são identificados os diferentes padrões de drenagem, conforme metodologia proposta por Howard (1965). Além da análise de padrões de drenagem, pode-se observar outras características, tais como: direção de escoamento, forma de canal fluvial, assimetria, etc.

Para a análise quantitativa deve-se definir, primeiramente, o sistema de amostragem e os índices a serem coletados. O significado geomórfico dos índices morfométricos de redes de drenagem são amplamente discutidos em Gregory e Walling (1973).

A título de exemplificação, em duas unidades de mesma textura topográfica pode-se obter índices de densidade de drenagem dife

rentes. Se os fatores climáticos, morfogenéticos e biogeográficos forem semelhantes, essas diferenças podem ser atribuídas a variações da litologia.

#### 3.4.2 - ANÁLISE DOS PADRÕES DE TEXTURA

Através dessa análise, será atribuído, a cada unidade mapeada, um símbolo correspondente ao conjunto de formas que represente o terreno.

Em geral, devido à baixa resolução das imagens LANDSAT, o sistema detecta grandes conjuntos de formas. Assim sendo, podem ser identificadas: unidades de colinas, unidades de tabuleiros, unidades de cristas e chapadões.

Essas unidades podem ainda ser subdivididas, em função das dimensões das formas. Para isto podem ser obtidos valores quantitativos extraídos da própria imagem. Estes valores podem ser, por exemplo, os de amplitude lateral de formas, que expressam a dimensão dos interflúvios (Sausen, 1981).

A classificação das unidades poderá ainda ser aperfeiçoada com o auxílio das informações coletadas em cartas topográficas e bibliografia existente, e através da comparação com o "overlay" de tonalidade.

Uma unidade de textura lisa no canal MSS 7, localizada ao longo de um rio, caracterizado por canal sinuoso, pode ser classificada como planície aluvial. A análise do "overlay" de tonalidade permitirá, ainda, a subdivisão da unidade em áreas permanentemente alagadas e em áreas inundadas periodicamente.

#### 3.4.3 - CONFECÇÃO DO MAPA PRELIMINAR

Com base nas análises anteriores, confecciona-se um mapa preliminar com as unidades fotogeomorfológicas, a partir do qual se

rã elaborado um roteiro de campo que permitá a coleta de maior número de informações a respeito das unidades.

### 3.5 - TRABALHO DE CAMPO

Durante o trabalho de campo deverão ser coletadas informações que permitam confirmar ou corrigir os limites das unidades foto-geomorfológicas.

De acordo com o objetivo da pesquisa, outros dados também podem ser coletados. Santos et alii (1980) coletaram dados sobre as propriedades químicas dos solos da Amazônica para as diferentes unidades geomorfológicas mapeadas, a fim de verificar se tais propriedades sofriam um condicionamento geomórfico. Pinto (1980) coletou dados sobre frequência de ravinamentos no Sudoeste Paulista, para verificar em que tipo de compartimento geomorfológico havia maior probabilidade de ocorrência de erosão.

### 3.6 - ELABORAÇÃO DO MAPA FINAL

As informações de campo são transferidas para os "overlays" preliminares, a fim de complementar ou corrigir as unidades mapeadas. Faz-se, então a avaliação dos resultados e o relatório final.

## CAPÍTULO 4

### EXEMPLOS DE APLICAÇÕES DE DADOS LANDSAT EM GEOMORFOLOGIA

Conforme Fischer et alii (1975), a primeira referência feita ao uso de fotografias aéreas para a confecção de mapas data de 1840, para a qual foi utilizada uma fotografia tirada de um balão, a fim de traçar as principais características topomorfológicas dos arredores de Paris.

A partir dessa época, foi constante o aperfeiçoamento das câmaras fotográficas e dos filmes. Durante a I Grande Guerra Mundial, foram construídas máquinas especiais para serem aerotransportadas.

Atualmente, existe um grande número de sensores, operando em diferentes faixas do espectro-eletromagnético, o que tem ampliado as possibilidades de aplicação de sensoriamento remoto na aquisição de informações dos sistemas geomorfológicos.

São inúmeros os trabalhos que têm sido realizados em Geomorfologia e que se baseiam na utilização de dados de sensoriamento remoto. Neste capítulo serão apresentados trabalhos realizados no INPE, em Geomorfologia, através do uso de dados MSS/LANDSAT.

#### 4.1 - APLICAÇÃO DE IMAGENS MSS/LANDSAT EM GEOMORFOLOGIA

Santos et alii (1980) estudaram a relação entre a compartimentação geomorfológica nas áreas compreendidas pelas agropecuárias do sudeste da Amazônia e o estágio de degradação de suas pastagens. Concluíram que as unidades geomorfológicas, mapeadas através da análise de padrões de textura no canal MSS 7, podem ser utilizadas como critério de seleção de áreas para a implantação de pastagens.

Santos e Novo (1977) estudaram a relação entre as variações de textura da imagem do canal MSS 7 e os parâmetros da topografia.

Concluíram que a textura fotográfica está relacionada à declividade, apresentando coeficiente de correlação de 0,70, e à frequência de rios, com um coeficiente de 0,90.

Sausen (1981) utilizou imagens LANDSAT na escala de 1:500.000, nos canais MSS 5 e 7, para efetuar a compartimentação geomorfológica da bacia abastecedora do reservatório de Três Marias (MG). Esta compartimentação foi utilizada para avaliar as áreas de maior potencial de fornecimento de material que possa vir a assorear o referido reservatório.

Sausen (1980) utilizou técnicas de análise automática em dados LANDSAT, para compartimentar os níveis de cinza apresentados pela lâmina d'água do reservatório de Três Marias. Através do uso de técnicas de correlação e regressão pôde concluir que as variações nas médias dos níveis de cinza, dentro do reservatório, estão relacionadas inversamente à profundidade Secchi.

Nascimento e Nascimento (1977), fizeram uso de imagens MSS/LANDSAT, nos canais 5 e 7 e de dados morfométricos, para compartimentar o relevo da região de Vazantes (MG), em três unidades distintas, e verificaram qual o nível de detalhe a que se pode chegar através das imagens LANDSAT em geomorfologia. Neste trabalho os autores puderam discriminar duas unidades de formas diversas.

Pinto e Kux (1980) utilizaram técnicas de análise automática para compartimentar a bacia do Ribeirão Anhumas, no SW do Estado de São Paulo, e identificar unidades de relevo de maior potencial erosivo; utilizaram, também, programas de realce de textura de imagens MSS/LANDSAT, implementados no sistema I-100. Fornecendo-se amostras previamente selecionadas de áreas topograficamente representativas, pode-se identificar diferentes unidades de relevo, através da classificação temática pelo programa MAXVER.

Novo e Nascimento (1977), utilizando imagens MSS/LANDSAT, nos canais 5 e 7, propuseram uma metodologia para mapeamento geomorfo

lógico, na escala de 1:1.000.000, na área recoberta pela folha de Belo Horizonte. Os resultados demonstraram que, através da análise dessas imagens, é possível fazer um levantamento completo da rede de drenagem, bem como caracterizar as principais feições estruturais e esculturais de uma área.

Novo (1981, projeto em andamento) está utilizando programas de realce de textura, implementados no Sistema I-100, para a identificação de unidades de relevo nas bacias dos rios Canas e Bocaina (SP). Para a identificação das unidades estão sendo utilizadas amostras coletadas em toda a cena de uma imagem LANDSAT, a intervalos regulares. A essas amostras está sendo aplicado o programa "CLUSTERING", que determinou a existência de 5 classes de textura diferenciadas. Na determinação dessas classes foi levado em consideração o ângulo de elevação solar na área. A autora optou por uma técnica de classificação não-supervisionada, de modo a avaliar a capacidade do Sistema LANDSAT em detectar variações do relevo. Nas próximas etapas do trabalho, essas unidades serão relacionadas às identificadas por mapeamentos em fotografias aéreas.

Novo e Santos (1981), utilizando dados temporais, realizaram um estudo no baixo vale do Rio Doce (MG), com o objetivo de demonstrar como as imagens do MSS/LANDSAT poderiam auxiliar na análise do fenômeno de inundação desse rio, bem como, no levantamento de seus condicionantes naturais. O mapeamento geomorfológico permitiu levantar os fatores morfoestruturais que poderiam explicar a ocorrência de enchentes em determinados trechos do rio. A avaliação do perímetro úmido do canal do rio permitiu estimar a magnitude das modificações na vazão do rio de um período para outro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A.N. *Problemas do mapeamento geomorfológico no Brasil*. São Paulo, USP. IGEOG., 1969. (Série Geomorfologia, 6).
- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY (ASP). *Manual of remote sensing*. Falls Church, VA, 1975. V.2.
- ANDERSON, P.S. *Fundamentos para fotointerpretação*. Brasília, DF, Fundação Universidade de Brasília, 1979.
- BARBOSA, G.V. Cartografia geomorgológica utilizada pelo Projeto RADAM. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27., Aracaju, 1973. Anais. Aracaju, Sociedade Brasileira de Geologia, 1973, V.1, p.427-432.
- . Identificação de superfícies de erosão por imagem de radar na parte oriental da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., Ouro Preto, 1976. Anais. Ouro Preto, Sociedade Brasileira de Geologia, 1976, V.1 p.237-249.
- CAILLEUX, A.; TRICART, J. Le problème de la classification des faits geomorphologiques. *Geographie*, 55(349):162-186, mar./jun. 1956.
- DARCH, J.P. A study of moisture conditions in the pantanal of Brazil using satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 8(4):341-348, 1979.
- DEMECK, J. *Manual of detailed geomorphological mapping*. Praga, Czechoslovak Academy of Sciences, 1972.
- FISCHER, W.A. History of remote sensing. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY (ASP). *Manual of remote sensing*, Falls Church, VA, 1975. V.1, Cap. 2, p.27-50.
- GARCIA, G.J. *Fotointerpretação comparativa de fotografias panorâmicas, coloridas e coloridas infravermelho (falsa-cor)*. Tese de Doutorado. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1975.
- GIMBARZEWSKY, P. ERTS-1 imagery in biophysical studies. In: CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 2., Ottawa, 1974. Proceedings. Ottawa, Campebell, 1974, V.2, p.392-407.

- GREGORY, K.J.; WALLING, D.E. *Drainage basin form and process; A Geomorphological approach*, London, Edward Arnold, 1973.
- HAWARD, A.D. Geomorphological systems equilibrium and dynamics. *American Journal of Science*, 263(4):302-312, 1965.
- KOFFLER, N.F. *Utilização de imagens aerofotográficas e orbitais no padrão de drenagem em solos originados do arenito Bauru*. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, 1976. (INPE-898-TPT-1029).
- LINTZ Jr., J.; SIMONET, D.S. *Remote Sensing of Environment*. Reading, MA, Addison Wesley, 1976.
- MOREIRA, A.A. "*Cartas Geomorfológicas*" São Paulo, USP, IGEOG, 1969. (Série Geomorfologia, 5).
- MORRISON, R.B.; COOLEY, M.E. Application of ERTS/Multispectral imagery to monitoring the present episode of accelerated erosion in Southern Arizona. IN NASA. *Symposium on Significant Results Obtained from the Earth Resources Technology Satellite-1*; Proceedings of a Symposium held at New Carrollton, MD, Mar. 5-9, 1973. Washington, DC, 1973. V.1A, p.283-288.
- NASCIMENTO, F.S. do; NASCIMENTO, M.A.L.S. do "*Sensoriamento remoto aplicado a mapeamento geológico, compartimentação geomorfológica e identificação de zona mineralizada em zinco e chumbo na região de Vazante, MG*". Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, 1977. (INPE-1157-TPT-1072).
- NOVO, E.M.L. de M.; NASCIMENTO, M.A.L.S. do "*Mapeamento Geomorfológico através de imagens do LANDSAT*". São José dos Campos, INPE, jul., 1977. (INPE-1076-NTE/102).
- NOVO, E.M.L. de M. *Projeto Dinâmica de bacias hidrográficas*. Tese de Doutorado em Geografia; a ser apresentado na Universidade de São Paulo (USP).
- PINTO, S. dos A.F. *Projeto EROS*. Comunicação Pessoal, 1980.



- PINTO, S. dos A.F.; KUX, H.J.H. *Remote Sensing Data Applied to the evaluation of soil erosion caused by land-use: Ribeirão Anhumas basin area; a case study*". São José dos Campos, INPE, Dec., 1980. (INPE-1965-RPE/276).
- RABCHEVSKY, G.A. LANDSAT geologic reconnaissance of the Washington, D.C. Area Westward to the Appalachians. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 45(5):611-621, 1979.
- RICCI, M.; PETRI, S. "*Princípios de aerofotogrametria e interpretação geológica*". São Paulo, nacional, 1959.
- ROSSETTI, M. "*Manual of photo-interpretation*". Paris, Technip, 1970.
- SANTOS, A.P.; NOVO, E.M.L. de M. "*Uso de dados do LANDSAT-1 na implantação, controle e acompanhamento de projetos agropecuários no Sudeste da Amazônia Legal*". Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, 1977. (INPE-1044-TPT/056).
- SANTOS, A.P.; NOVO, E.M.L. de M.; DUARTE, V. "*Exemplo na aplicação de dados do sistema LANDSAT, no estudo das relações entre compartimentação topográfica e qualidade de pastagens no município de Paragominas (PA)*". São José dos Campos, INPE, jun. 1980. (INPE-1756-RPE/145).
- SAUSEN, R.M. "*Três Marias Reservoir, Minas Gerais State: Study of the dispersion of suspended sediments in surface waters using orbital images*". São José dos Campos, INPE, jun., 1980. (INPE - 1783-RPE/160).
- . "*Estudo da Dinâmica do Alto rio São Francisco e do Reservatório rio de Três Marias, através de imagens LANDSAT*". São José dos Campos, INPE, jul., 1981. (INPE-2154-RPE/373).
- TRICART, J.; SILVA, T.C.; VERGNE, O.C.A. "Os aspectos do meio natural estudados através das imagens de radar. Um exemplo na Bahia: A região do médio Vale do rio Paraguaçu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27., Aracaju, 1973. Anais. Aracaju, Sociedade Brasileira de Geologia, 1973, V.1, p.399-406.
- VERSTAPPEN, H. Th. *Remote Sensing in Geomorphology*. Amsterdam, Elsevier Scientific, 1977.