

## **General Disclaimer**

### **One or more of the Following Statements may affect this Document**

- This document has been reproduced from the best copy furnished by the organizational source. It is being released in the interest of making available as much information as possible.
- This document may contain data, which exceeds the sheet parameters. It was furnished in this condition by the organizational source and is the best copy available.
- This document may contain tone-on-tone or color graphs, charts and/or pictures, which have been reproduced in black and white.
- This document is paginated as submitted by the original source.
- Portions of this document are not fully legible due to the historical nature of some of the material. However, it is the best reproduction available from the original submission.

E82-10174

DR-168597



SECRETARIA DE PLANEJAMENTO DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA  
CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO

*"Made available under NASA sponsorship  
in the interest of early and wide dis-  
semination of Earth Resources Survey  
Program information and without liability  
for any use made thereof."*

(E82-10174) METHODOLOGY OF THE  
INTERPRETATION OF REMOTE SENSING DATA AND  
APPLICATIONS IN GEOLOGY (Instituto de  
Pesquisas Espaciais, Sao Jose) 75 p  
HC A04/MF A01

N82-22609

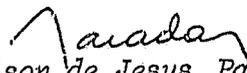
Unclas

CSSL 08G G3/43 00174

RECEIVED BY  
NASA STI FACILITY  
270-82  
FORM NO. 002949  
INDEXED BY  
 NASA STI FACILITY  
 NASA-SSS  AIAA



INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

1. Publicação nº <i>INPE-2227-MD/014</i>	2. Versão	3. Data <i>Set., 1981</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DSR</i>	Programa <i>RECFMI</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>METODOLOGIA E APLICAÇÕES EM GEOLOGIA SENSORIAMENTO REMOTO</i>			
7. C.D.U.: <i>528.711.7:55</i>			
8. Título <i>METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO E APLICAÇÕES EM GEOLOGIA</i>		10. Páginas: <i>76</i>	
		11. Última página: <i>69</i>	
		12. Revisada por  <i>José Eduardo Rodrigues</i>	
9. Autoria <i>Paulo Veneziani Célio Eustáquio dos Anjos</i>		13. Autorizada por  <i>Nelson de Jesus Parada Diretor</i>	
Assinatura responsável 			
14. Resumo/Notas <p><i>Os objetivos deste trabalho foram: apresentar a metodologia de interpretação geológica usando dados de sensoriamento remoto, limitados à utilização da parte do espectro eletromagnético; apresentar os critérios para o mapeamento geológico regional utilizando os produtos do LANDSAT; e apresentar alguns resultados obtidos pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). A metodologia é baseada nos métodos de fotointerpretação convencionais, descritos na literatura e que foram desenvolvidos para as fotografias aéreas branco e preto. O Método Lógico (Guy, 1966) foi usado e adaptado em função das características de resolução, de escala e espectrais dos diversos produtos de sensoriamento remoto. Os dados de sensoriamento remoto são valiosas ferramentas que podem ser utilizadas para alcançar os objetivos dos estudos geológicos, que são: mapeamento geológico; procura de recursos minerais; geologia de engenharia; planejamento ambiental e prevenção de acidentes naturais. Apesar da idéia de que o sensoriamento remoto é um corpo unificado de tecnologia, será dada maior ênfase à metodologia de "fotointerpretação" das imagens LANDSAT, para o mapeamento geológico regional.</i></p>			
15. Observações			

### ABSTRACT

The objectives of this work were: to show the methodology of geological interpretation using remote sensing data limited to the utilization of the electromagnetic spectrum; to show the criteria for regional geological mapping using orbital data from LANDSAT imaging; and to present some results obtained by the "Instituto de Pesquisas Espaciais" (INPE). The methodology is based on the available conventional photointerpretation methods described in literature that were developed to the airborne black and white photographs. The Logic Method (Guy, 1966) was used and adapted based on the functions of resolution, scale and spectral characteristics of the remote sensing products. The remote sensing data is a valuable tool that can be used to reach the geological objectives that are: geological mapping; to look for ore minerals; engineering geology; ambiental planning and natural accidents prevention. In spite of the idea that remote sensing is a unified body of technology in itself, most emphasis will be given to the "photointerpretation" methodology of LANDSAT imagery for regional geological mapping.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS .....	v
<u>CAPÍTULO 1 - INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO EM GEOLOGIA</u> .....	1
1.1 - Introdução .....	1
1.2 - Metodologia .....	2
1.2.1 - Produtos de sensoriamento remoto de grande escala .....	5
1.2.2 - Produtos de sensoriamento remoto de pequena escala .....	14
1.2.3 - Confeção de mapas geológicos .....	18
<u>CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO DE DADOS ORBITAIS (LANDSAT) NO MAPEAMENTO GEOLÓGICO REGIONAL</u> .....	19
2.1 - Introdução .....	19
2.2 - Metodologia .....	20
2.2.1 - Análise dos elementos .....	20
2.2.2 - Processamento dedutivo dos elementos analisados .....	30
2.3 - Normas e procedimentos para o mapeamento geológico regional utilizando-se produtos de sensoriamento remoto do LANDSAT .....	41
2.4 - Recursos auxiliares .....	43
2.5 - Nível de detalhes obtidos através da interpretação dos produtos do LANDSAT .....	44
<u>CAPÍTULO 3 - APLICAÇÕES DE SENSORIAMENTO REMOTO EM GEOLOGIA</u> ....	47
3.1 - Dados do LANDSAT e níveis de interpretação .....	48
3.1.1 - Níveis de interpretação .....	49
3.2 - Considerações gerais sobre o mapeamento geológico .....	50
3.2.1 - Geomorfologia .....	50
3.2.2 - Geologia estrutural .....	50
3.2.3 - Litologia .....	51
3.2.4 - Estratigrafia .....	51
3.2.5 - Geologia superficial .....	52
3.2.6 - Processos dinâmicos .....	52
3.3 - Aplicação de imagens do LANDSAT no mapeamento geológico ..	53

	<u>Pág.</u>
3.4 - Aplicações de imagens do LANDSAT em pesquisa mineral .....	55
3.5 - Aplicações de imagens do LANDSAT em hidrogeologia .....	56
3.6 - Aplicações de imagens do LANDSAT em geotécnica .....	57
3.7 - Exemplos de mapeamento regional .....	57
3.7.1 - Projeto estudo das rochas intrusivas: SE de S.P.; partes do Sul de Minas Gerais; Estados de Rio de Janeiro e Espí rito Santo .....	57
3.7.2 - Mapa geológico preliminar do pré-Cambriano do Estado do Piauí .....	60
3.7.3 - Projeto Gondwana (folha Jaguaribe) .....	61
3.8 - Exemplos de pesquisa mineral .....	62
3.8.1 - Projeto Cobre no Rio Grande do Sul .....	62
3.8.2 - Aplicação de sensoriamento remoto no estudo do comporta mento geológico da região do Complexo Alcalino de Ita tiaia .....	62
3.9 - Exemplos de análises automáticas .....	63
3.9.1 - Projeto Intrusivas .....	63
3.9.2 - Pesquisa mineral de depósitos de Ilmenita Primária na Re gião de Floresta (PE) através de técnicas de classifica ção automática de dados do LANDSAT: 1978 .....	64
3.10 - Exemplos de aplicações utilizando-se outros tipos de sen sores .....	64
3.10.1 - Fotografia aérea .....	64
3.10.2 - Radar de visada lateral .....	64
3.10.3 - "SCANNER" infravermelho termal aereoportado .....	65
3.11 - Exemplo de aplicação de sensoriamento remoto na prospec ção de anomalia geotermal no município de Caldas Novas - Goiás .....	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	67
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA .....	69

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 - Padrões clássicos da rede de drenagem .....	8
2.1 - Densidade da rede de drenagem .....	21
2.2 - Alinhamentos, lineações e curvaturas .....	22
2.3 - Assimetria .....	23
2.4 - Tropa .....	24
2.5 - Uniformidade .....	25
2.6 - Densidade textural do relevo .....	26
2.7 - Alinhamentos e lineações de relevo .....	27
2.8 - Quebras positivas e negativas de relevo .....	28
2.9 - Assimetria do relevo .....	29
2.10 - Modelo fotointerpretativo da rede de drenagem .....	32
2.11 - Modelo fotointerpretativo das formas de relevo .....	35
2.12 - Mapa fotogeológico .....	38

## CAPÍTULO 1

### INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO EM GEOLOGIA

#### 1.1 - INTRODUÇÃO

Neste texto, aborda-se inicialmente e de modo generalizado a metodologia de interpretação de dados de geologia dos diversos produtos obtidos por sensores remotos. Em segundo lugar, trata-se de parte específica de interpretação de dados orbitais (LANDSAT) no mapeamento geológico regional e, por último, apresentam-se exemplos de aplicações desenvolvidas por pesquisadores do INPE.

Basicamente, os métodos são derivados das definições da fotointerpretação geológica convencional, desenvolvidos para as fotografias aéreas em branco e preto, podendo ser adaptados a todos os produtos, desde que se considerem as semelhanças e diferenças existentes entre eles.

A abordagem da primeira parte obedecerá à ordem de grandeza de escalas (das maiores para as menores), procurando-se dar ênfase aos tipos de problemas que podem ser estudados em cada um dos produtos.

Os objetivos dos estudos geológicos podem ser, de um modo geral, englobados nos seguintes itens:

- mapeamento geológico;
- procura de recursos minerais e energéticos;
- geotécnica; e
- planejamento ambiental e prevenção de acidentes naturais.

O sensoriamento remoto é uma importante ferramenta, que pode ser utilizada com o intuito de atingir estes objetivos. Neste texto dar-se-á ênfase ao primeiro deles.

## 1.2 - METODOLOGIA

Os elementos mais significativos para a interpretação geológica são: textura, estrutura, forma, nível de cinza ou cor, e sombra, definidos a seguir segundo os critérios do Método Lógico da Fotointerpretação (Guy, 1966).

Elemento de textura de uma imagem fotográfica é o menor elemento distinguível visualmente com forma e dimensão definidas.

O arranjo dos elementos texturais, segundo os mais variados padrões (retilíneos, curvilíneos, com formas geométricas regulares ou não), constitui a estrutura de uma imagem fotográfica.

A forma é a expressão espacial da disposição dos elementos texturais que possuem propriedades comuns. É através desta disposição que se definem as formas de relevo e os padrões da rede de drenagem.

O nível de cinza (ou cor) é definido de acordo com as variações de reflectância (ou emitância) dos alvos imageados na superfície do terreno, exceção feita aos mosaicos de radar. Neste caso ele é definido como a relação entre o sinal emitido e o sinal recebido.

A sombra é outro elemento importante, pois confere às imagens fotográficas (principalmente às de pequena escala) a impressão de relevo; está relacionada com o ângulo de elevação solar, quando se trata de sensores passivos. No caso dos mosaicos de radar, relaciona-se com a ausência de sinal de retorno.

Considerando-se que neste texto abordar-se-ão os métodos para mapeamento geológico, utilizando-se os produtos de sensoriamento remoto como uma ferramenta para ser interpretada visualmente, e que estes produtos, após sofrerem os processamentos mais adequados para cada tipo, serão apresentados sob a forma de imagens fotográficas, fica implícita a relação entre os métodos aqui discutidos com aqueles já consagrados, desenvolvidos para as fotografias aéreas convencionais.

Assim, os procedimentos para a interpretação podem ser subdivididos na *análise* dos elementos acima definidos para a identificação de áreas sobre as imagens fotográficas que possuem características semelhantes, e nos *processamentos indutivo* (raciocínio do particular para o geral) e *dedutivo* (raciocínio do geral para o particular) destas áreas em seu significado geológico.

O bom desempenho destas atividades relaciona-se diretamente com: o conhecimento das características do sensor e da geometria das imagens; o embasamento acadêmico em ciências geológicas, geomorfológicas e pedológicas; o conhecimento prévio da área a ser estudada; a experiência em fotointerpretação; a intuição para explicar, compreender e avaliar os detalhes observados nas imagens fotográficas.

Salienta-se ainda a necessidade de ter uma idéia a respeito dos fatores que controlam a textura de uma imagem fotográfica, considerando-os sob o ponto de vista da geologia, antes de abordar os métodos, para cada produto individualmente, porque tais fatores não dependem diretamente do tipo de produto ou de sua escala; quanto maior for a resolução espacial, mais plausível será seu discernimento.

Os principais fatores são:

a) Morfoгенéticos

São aqueles que envolvem a formação do relevo, como o clima, a tectônica recente e outros.

## b) Litológicos

Os principais são a resistência à erosão, a permeabilidade, a plasticidade e a tropia.

A resistência de um maciço rochoso à erosão pode ser visualizada através do estudo de suas encostas que, de um modo geral, são mais côncavas quanto mais resistentes são os maciços. Por outro lado, em uma região que está sob o efeito de condições idênticas de intemperismo, os dependentes estados de alteração dos maciços podem refletir mudanças litológicas.

A permeabilidade é inversamente proporcional à densidade de drenagem, em regiões com o mesmo índice pluviométrico. Portanto, nestas condições, limites entre zonas de maior ou menor densidade de drenagem podem ser evidências de mudanças litológicas.

A plasticidade e a ruptura são propriedades dos maciços rochosos, em função dos esforços de tensão e compressão. Maciços menos plásticos apresentam uma densidade maior de fraturas que os mais plásticos, quando submetidos aos mesmos esforços de tensão e compressão, se forem penecontemporâneos.

Por fim, a tropia refere-se ao desenvolvimento orientado das formas de relevo, ligado a fatores como: xistosidade, acamamento, foliação, os quais são estruturas das rochas, refletidas na textura das imagens fotográficas.

## c) Deformacionais

Dobramentos, falhamentos e fraturamentos são fatores que afetam a textura, nas imagens fotográficas, condicionando as formas de relevo e padrões de drenagem a feições lineares. Os exemplos mais comuns, facilmente identificáveis na maioria das vezes em imagens fotográficas, são os casos de regiões onde afloram faixas ou parte de fai

xas de rochas metassedimentares dobradas, soerguidas e erodidas. Anticlinais e sinclinais deixam impressas suas características no relevo e no padrão de drenagem. Áreas, ou parte destas, que sofreram um tectonismo de blocos, poderão apresentar um padrão de drenagem paralelo e um relevo estruturado em "horsts" e "grábens". Regiões afetadas por intenso fraturamento terão esta característica ressaltada, principalmente na rede de drenagem.

Tendo-se em mente os fatores que controlam a textura, muito importantes sob o ponto de vista geológico, pode-se passar a uma análise dos produtos de sensoriamento remoto e ter uma idéia de suas potencialidades e limitações.

#### 1.2.1 - PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO DE GRANDE ESCALA

Os produtos de sensoriamento remoto de grande escala são utilizados para trabalhos de detalhe (escalas de 1:50.000 e maiores) e semidetalhe (até 1:100.000). Normalmente são obtidos a nível de aeronaves, e os mais utilizados são as fotografias aéreas em branco e preto, em virtude de apresentarem menor custo. Uma de suas maiores vantagens é o recurso da esteroscopia, que permite a visão tridimensional da área a ser estudada.

A partir do estudo detalhado da rede de drenagem, formas de relevo e níveis de cinza ou cores, poderão ser definidos compartimentos homólogos, isto é, que apresentam as mesmas propriedades nas imagens fotográficas. Considerando-se a existência de um certo grau de conhecimento a respeito da área de estudo, seja através de pesquisa bibliográfica e/ou prévio reconhecimento de campo, o fotointerprete poderá então fazer deduções quanto à litologia, estrutura e estratigrafia.

##### 1) Análise da rede de drenagem

Os padrões da rede de drenagem desenvolvidos sobre os materiais da superfície são, em grande parte, dependentes da razão entre a infiltração e o escoamento.

Esta razão, por sua vez, é dependente de diversas variáveis tais como: características físico-químicas dos materiais, cobertura vegetal, grau de consolidação do solo, e, obviamente, do clima atuante sobre uma determinada região.

Além da idéia de permeabilidade, outros valores podem ser obtidos através da interpretação da rede de drenagem. Estes são:

- Localização e extensão de materiais com diferenças significativas.
- Grau de uniformidade dos materiais.
- Localização e extensão de variações locais.
- Localização de fatores de controle.
- Determinação do mergulho de feições planares.
- Interferências sobre a natureza das rochas.

Todos estes dados podem ser obtidos através do traçado detalhado da rede de drenagem, utilizando-se os pares estereoscópicos e definindo-se os padrões. Estes, por sua vez, são os arranjos espaciais dos canais na superfície do terreno, os quais são obtidos através do estudo minucioso das propriedades tais como a densidade, os alinhamentos, as lineações ou curvaturas, a assimetria, a tropia e a uniformidade da rede de drenagem. (Essas propriedades serão analisadas no Capítulo 2, seção 2.2.1).

É sempre interessante reduzir a escala 2 a 4 vezes, após o traçado, para facilitar o estudo das propriedades acima mencionadas.

Outros conceitos importantes a serem introduzidos são os referentes a zonas homólogas e a diferentes graus.

Zonas homólogas são áreas com limites definidos ou difusos, caracterizados por propriedades comuns da rede de drenagem.

Os graus referem-se à estruturação (definida pela intensidade de ocorrência de alinhamentos e lineações), à assimetria (em relação ao elemento textural de drenagem de maior extensão) e à uniformidade, e podem ser definidos em uma escala de "forte" a "fraco".

É sobre o mapa da rede de drenagem que se faz a análise das propriedades, definem-se os padrões, delimitam-se as zonas homólogas e caracterizam-se os graus de estruturação, assimetria e uniformidade.

Termos descritivos, tais como os seis clássicos (dendrí-ticos, radiais concêntricos, angulares, paralelos, retangulares e treliça) (Figura 1.1), podem ser utilizados para os padrões de drenagem e os modificados a partir destes desde que haja um certo cuidado em associá-los com feições geológicas. Isto é, não se pode emprestar-lhes em caráter de chaves de interpretação, pois a textura da drenagem depende de diversos fatores; como já foi visto anteriormente, e não apenas da natureza petrográfica do substrato.

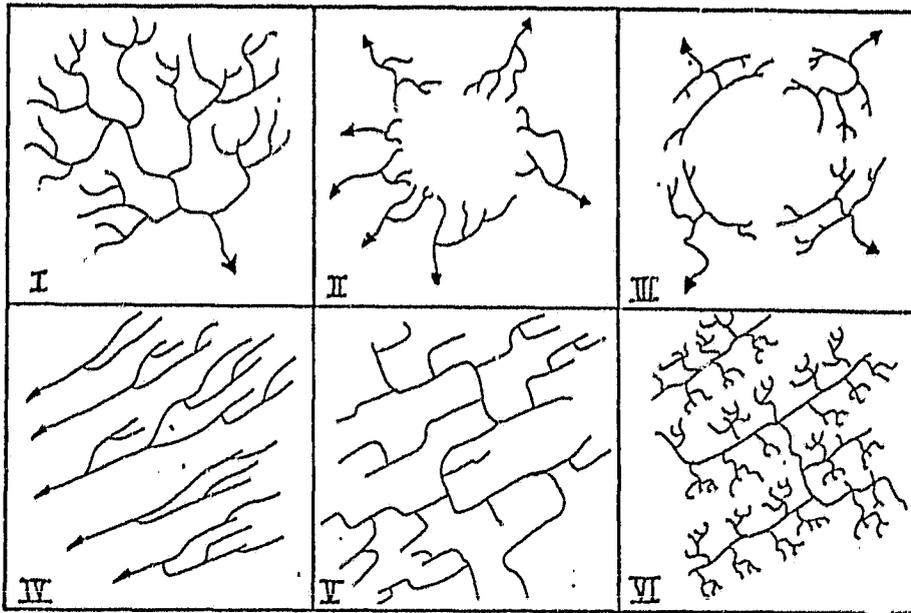


Fig. 1.1 - Padrões clássicos da rede de drenagem.

Termos descritivos	Algumas feições geológicas associadas aos padrões
I - Dendrítico	Materiais facilmente erodíveis ou, então, que tenham resistência uniforme aos processos erosivos, tais como rochas sedimentares horizontais e algumas rochas cristalinas, respectivamente.
II - Radial concêntrico	Domos, vulcões, crateras (e outras depressões).
III - Anular	Domos e bacias estruturais e possíveis "stocks".
IV - Paralelos	Mergulhos moderados e feições morfológicas alongadas, condicionadas por falhas ou <u>fraturas</u> .
V - Retangulares	Fraturas e falhas.
VI - Treliça	Rochas metassedimentares dobradas, soergidas e erodidas.

## 2) Análise das formas de relevo

As menores variações bruscas da superfície do terreno, visíveis nas imagens fotográficas, são as rupturas de declive, cuja disposição na área fotografada (ou imageada) define zonas homólogas em estrutura de relevo.

Estas zonas são reflexos dos materiais rochosos que jazem na superfície terrestre e dos agentes atmosféricos (clima, água, gelo, etc...) que atuaram sobre estes materiais, modelando-os e criando sua expressão morfológica.

Para melhor compreender e obter parâmetros geológicos de uma região em função do estudo das formas de relevo, é necessário ter um conhecimento básico dos princípios morfogenéticos.

A expressão morfológica de uma unidade litoestratigráfica, ou de um corpo rochoso, exposta à ação dos agentes atmosféricos depende da sua constituição físico-química e do tipo de agente cuja atuação predomina na região em que ela se situa.

No território brasileiro, seguramente o agente de maior importância na modelagem atual do relevo é a água, principalmente sob as formas de atuação fluvial e meteórica.

Os regimes de precipitação pluviométrica determinam a importância dos processos de intemperismo: Assim, por exemplo, em áreas em que predomina a alta precipitação em períodos curtos e constantes durante o ano, não haverá tempo suficiente para o ataque químico das rochas que sofrerão principalmente a desagregação mecânica.

Esta ocorrência é bem peculiar na região sudeste brasileira; aliada à constituição físico-química dos complexos granítico-gnáissicos (bem semelhantes) que predominam nesta região, têm-se como

consequência que a expressão morfológica das unidades litoestratigráficas, ou de corpos rochosos, será muito difusa, prejudicando sobremaneira a análise das formas de relevo.

Por outro lado, em áreas onde a precipitação pluviométrica é torrencial, mas alternada com períodos longos de seca, existe tempo para o ataque químico das rochas. A desagregação estará condicionada às características físico-químicas destas rochas.

Na região nordeste brasileira encontra-se esta situação, cujas consequências são criar expressões morfológicas das unidades litoestratigráficas ou corpos rochosos peculiares, de acordo com as características físico-químicas destas unidades ou corpos, facilitando a análise das formas de relevo, quando o seu objetivo é identificar e mapear unidades geológicas.

Existem certas formas de relevo com características peculiares que controlam a textura fotográfica, refletindo uma expressão morfológica de unidades geológicas ou feições estruturais praticamente invariável em relação às áreas fotografadas (ou imageadas). Assim, é possível obter indícios quanto à natureza das rochas - isto é, se são ígneas, sedimentares ou metamórficas - e também associar feições lineares com estruturas geológicas. Na literatura especializada em fotointerpretação, são encontrados vários exemplos de formas de relevo como platos, monoclinais, relevo cárstico associados a rochas sedimentares; feições circulares associadas a rochas ígneas; formas de relevo orientadas, que sugerem a existência de rochas metamórficas (devido à forte anisotropia destas).

No entanto, a sistemática para análise das formas de relevo, apesar dos fatos mencionados no parágrafo anterior, não deve ser baseada apenas em chaves de interpretação. Assim, o procedimento lógico para determinar a expressão morfológica de uma unidade geológica e suas características estruturais é o estudo das propriedades texturais do relevo, tais como: a densidade textural, as lineações e alinhamentos, as quebras positivas e negativas, a assimetria e as formas das encostas.

Estas propriedades são observadas e transferidas das imagens fotográficas de grande escala para os "overlays" adequados, utilizando-se os pares estereoscópicos.

Do mesmo modo que foi visto quando se abordou a análise da rede de drenagem, os conceitos de zonas homólogas e diferentes graus devem ser introduzidos, para que se possa desenhar o mapa da análise das formas de relevo.

Zonas homólogas são áreas com limites definidos ou difusos caracterizados por propriedades texturais comuns das formas de relevo.

Os graus referem-se à estruturação do relevo (definida pela intensidade de ocorrência de lineações e alinhamentos de relevo) e à assimetria, podendo ser definidos em uma escala de "forte" a "fraco".

Sobre os mapas acima citados é que serão delimitadas as zonas homólogas e caracterizados os graus. Estes mapas irão subsidiar a interpretação geológica e estrutural.

### 3) Análise dos níveis de cinza ou cor

Os níveis de cinza ou cor constituem outro elemento bastante útil para a interpretação das imagens fotográficas. Mudam de acordo com a variação de reflectância e de emitância dos materiais superficiais imageados no visível e no infravermelho próximo, e no infravermelho termal, respectivamente. O fotogeólogo, ao estudar estas variações, deve ter em mente que, por si sô, elas não são um fator discriminatório, pois a imagem fotográfica da superfície do terreno mostra uma associação entre solo, rocha e vegetação.

No entanto, quando unidades geológicas (ou corpos rochosos) possuem características contrastantes, sejam estas influenciadas pela vegetação que sobre elas se instala, pelo tipo de solo, ou ainda

por quaisquer outras que causam variações anormais dos níveis de cinza ou cores, é possível associar estas variações com feições que possuem um significado geológico.

#### 4) Processamento dedutivo e indutivo dos elementos analisados

Nesta fase procede-se à interpretação geológica propriamente dita. Após a identificação das áreas com características semelhantes e das feições lineares, através da análise da rede de drenagem, das formas de relevo e dos níveis de cinza ou cores, inicia-se o processamento das mesmas em seu significado geológico.

Os modelos interpretativos são elaborados. Isto é, utilizando-se os mapas obtidos durante as fases de análise, procura-se relacionar os traços neles contidos com unidades litoestratigráficas e feições estruturais, desenhando-se um novo mapa fotogeológico. Este irá conter diversas zonas que representam rochas com as mesmas características petrográficas, ou conjuntos de rochas que mostram as mesmas propriedades texturais nas imagens fotográficas, mas possuem características petrográficas diferentes. Irá conter, também, traços que representam estruturas geológicas e outros que não têm significado geológico.

Foram vistos anteriormente os fatores que controlam a textura de uma imagem fotográfica, ficando evidente o relacionamento das propriedades dos elementos texturais com as características dos materiais superficiais imageados. Assim, torna-se compreensível a elaboração do mapa fotogeológico.

#### 5) Aspectos relevantes quanto à utilização de produtos de Sensoriamento Remoto de grande escala

De um modo geral, a metodologia descrita até o presente momento é utilizada para a interpretação de todos os produtos de sensoriamento remoto de grande escala, apesar de terem sido desenvolvidos para as fotografias aéreas em branco e preto e existirem diferenças significativas entre eles.

O incremento de dados, de acordo com a maior sofisticação dos produtos, é facilmente compreensível, desde que o fotointérprete tenha entendido as diferenças entre eles.

As principais vantagens dos produtos de sensoriamento remoto de grande escala são:

- Utilização do recurso da estereoscopia, que permite a visão tridimensional da área a ser estudada. Além disso, através do exame de escarpas, vales suficientemente profundos, pode-se chegar a uma idéia do empilhamento das unidades geológicas e, também, do sentido do mergulho das mesmas, sendo possível até medir com bastante precisão estes mergulhos.
- Utilização de dados de reflectância de um corpo rochoso em diversas bandas selecionadas do espectro, no caso das fotografias multiespectrais e imagens do "scanner".
- Utilização de dados de reflectância dos materiais superficiais imageados no infravermelho próximo, no caso das fotografias multiespectrais, e de dados de emitância no infravermelho termal, no caso das imagens do "scanner", os quais representam as variações de temperatura.
- Utilizar o elemento cor em vez de o elemento nível de cinza, no caso das fotografias em colorido normal, em infravermelho falsa cor, e no caso de composições coloridas obtidas com fotografias multiespectrais e imagens do "scanner".
- Utilizar as fitas CCTs obtidas através de "scanner" para a análise automática.

Mas apesar de se poder contar com uma série de recursos adicionais, principalmente no caso dos produtos de "scanner" aerofotogramétrico, as fotografias aéreas convencionais em branco e preto ainda são as

mais utilizadas para levantamentos geológicos, devido ao seu menor custo, tanto na operação do sistema como na sua produção.

No entanto, não se deve esquecer que a natureza e o homem impõem uma série de restrições (cobertura vegetal, grau de intemperismo, ocupação humana) que irão dificultar e, às vezes, tornar impossível a resolução dos problemas geológicos. Somente os trabalhos de campo poderão, então, elucidá-los; assim, os objetivos do trabalho serão alcançados satisfatoriamente.

### 1.2.2 - PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO DE PEQUENA ESCALA

Os produtos de sensoriamento remoto de pequena escala são utilizados para trabalhos de geologia regional (escalas menores que 1:100.000), sendo ferramentas excelentes e de baixo custo. Os mais importantes são os produtos do LANDSAT e os mosaicos de radar de visada lateral. Existem ainda à disposição as fotografias do SKYLAB; porém não há recobrimento para todo o território brasileiro.

Devido às características inerentes a estes produtos (escala, resolução, impossibilidade de utilizar o recurso da estereoscopia), a análise dos elementos de interpretação não vai fornecer o mesmo nível de detalhes que os produtos de grande escala.

No entanto, quando se considera que o Brasil é um país de vastas dimensões e carente de mapeamento básico, as imagens fotográficas do LANDSAT, os mosaicos de radar e as fotografias do SKYLAB assumem um valor inestimável como ferramentas de trabalho.

#### 1) Análise da rede de drenagem

Apesar das restrições expostas acima, os procedimentos descritos para os produtos de grande escala devem ser aplicados para que se possam utilizar posteriormente os valiosos dados obtidos através do estudo da rede de drenagem.

No entanto, a principal dificuldade não é devida somente à escala, à resolução e à impossibilidade de utilizar o recurso da estereoscopia. Relaciona-se às características do terreno imageado (ou fotografado, caso do SKYLAB). Quando este está mediana ou fortemente dissecado, é praticamente impossível observar e traçar a rede de drenagem utilizando-se apenas as imagens fotográficas do LANDSAT, SKYLAB ou mosaicos de radar. Nestes casos, é necessário recorrer às cartas topográficas ou planimétricas (caso elas estejam disponíveis para a área de interesse, de preferência em escalas maiores que as dos produtos em utilização), copiá-las em "overlays", reduzi-las a escala de interesse e ajustá-las sobre as imagens fotográficas.

O estudo das propriedades da rede de drenagem irá definir os padrões. Serão delimitadas as zonas homólogas e definidos os graus de estruturação, assimetria e uniformidade. Assim, algumas características dos materiais sobre os quais se instala a rede de drenagem poderão ser obtidas e posteriormente interpretadas.

## 2) Análise das formas de relevo

Aqui também devem ser aplicados os procedimentos já descritos para os produtos de grande escala, levando-se sempre em consideração os problemas da escala, da resolução e principalmente da inexistência de estereoscopia.

Uma das primeiras dificuldades encontradas em virtude dos problemas acima citados é a impossibilidade de visualizar as formas das encostas, uma das propriedades texturais do relevo que indica a resistência à erosão.

Mas é evidente que não se pode esperar um nível de detalhes semelhante ao obtido com os produtos de grande escala, com o material que existe à disposição até o momento.

Por outro lado, como será visto no Capítulo 2, através de propriedades tais como densidade textural, alinhamentos e lineações, e assimetria de relevo, consegue-se determinar a expressão morfológica das grandes unidades geológicas e os principais traços estruturais.

As grandes quebras positivas e negativas podem ser visualizadas, e seu significado geológico muitas vezes implica o contato de grandes unidades tectônicas.

Enfim, o estudo criterioso e minucioso das propriedades texturais do relevo é o fator decisivo para subsidiar a interpretação geológica de produtos de sensoriamento remoto de pequena escala.

### 3) Análise dos níveis de cinza ou cores

Exceção feita aos mosaicos de radar, os níveis de cinza ou cores estão diretamente relacionados com a reflectância dos alvos imageados. Este fato é muito útil na discriminação das grandes unidades geológicas, colocando os produtos do LANDSAT e do SKYLAB em vantagem, quando comparados com os mosaicos de radar.

Porém não se deve esquecer que os produtos destes satélites são de bandas do espectro que realçam principalmente o comportamento da vegetação. Isto é um fato limitante pois, de um modo geral, apenas nos casos em que diferentes comportamentos da vegetação estão relacionados com variações geológicas, as inferências relacionadas com a análise dos níveis de cinza ou cores são válidas.

### 4) Processamento dedutivo e indutivo dos elementos analisados

Do mesmo modo que para os produtos de grande escala, geram-se os modelos interpretativos, utilizando-se os dados das fases de análise.

Obtêm-se o mapa fotogeológico regional a partir da interpretação das zonas homólogas delimitadas, e os principais traços estruturais a partir das feições lineares observadas.

5) Aspectos relevantes quanto à utilização de produtos de sensoriamento remoto de pequena escala

As principais vantagens dos produtos de sensoriamento remoto de pequena escala são:

- A visão sinótica de grandes áreas imageadas (ou fotografadas), muito importante quando o objetivo é o mapeamento geológico regional.
- A repetitividade na obtenção dos produtos do LANDSAT, possibilitando a seleção da época do ano ou a escolha de imagens de diversas épocas para o estudo de uma determinada área.
- Utilização de dados de reflectância em bandas selecionadas do espectro, de uma mesma unidade geológica, no caso dos produtos do LANDSAT e SKYLAB.
- Utilização de dados de energia refletida na banda do radar (região das microondas).
- Utilização do elemento cor (falsa cor e composições coloridas).
- Utilização das fitas CCT do LANDSAT para análise automática.

A natureza e o homem impõem uma série de restrições, que são frequentemente notadas pelos usuários dos produtos de grande escala; quando se utilizam os produtos de pequena escala e de baixa resolução, tais restrições são maiores. Assim fica evidente que os trabalhos de campo são indispensáveis para que se possa confiar nos resultados.

### 1.2.3 - CONFECÇÃO DE MAPAS GEOLÓGICOS

Através da análise dos produtos de sensoriamento remoto, chega-se à confecção de mapas geológicos, cuja finalidade vai depender do campo de pesquisas preestabelecido. Assim, de acordo com o interesse, podem-se obter mapas geológicos de detalhe, regionais, estruturais, tectônicos, voltados para a pesquisa mineral e para estudos de geologia de engenharia e prevenção de acidentes geológicos.

O primeiro passo para confeccionar estes mapas é o estabelecimento de uma legenda que represente todas as feições de interesse. A seguir, deve-se escolher o produto, em função do nível de detalhe que se quer conseguir e do tamanho da área a ser mapeada. Obviamente, esta escolha é baseada na resolução e na escala dos diversos produtos em disponibilidade. A utilização conjugada de diversos produtos é recomendável. Assim, por exemplo, se o objetivo for a confecção de um mapa geológico regional, é importante que se analise produtos do LANDSAT, mosaicos de radar e, quando disponíveis, as fotografias multiespectrais do SKYLAB.

Após a escolha da legenda e do produto, faz-se uma base planimétrica que contenha a rede de drenagem, estradas e cidades; esta base deve ser ajustada em função das cartas topográficas preexistentes.

Segue-se exaustiva pesquisa bibliográfica e visitas de reconhecimento, quando será estabelecido contato com as principais unidades geológicas da área de estudo.

Realiza-se a fotoanálise e conseqüente fotointerpretação. A seguir vêm perfis de campo, que são predeterminados de acordo com a escala e complexidade dos problemas geológicos.

A integração destes dados com os petrográficos e geocronológicos e com as medidas e interpretação das estruturas geológicas vai permitir que se chegue à confecção do mapa final.

## CAPÍTULO 2

### METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO DE DADOS ORBITAIS (LANDSAT) NO MAPEAMENTO GEOLÓGICO REGIONAL

#### 2.1 - INTRODUÇÃO

O estabelecimento de uma metodologia de interpretação visual dos produtos do LANDSAT tem sido uma das principais atividades do grupo de Recursos Minerais do Departamento de Sensoriamento Remoto do Instituto de Pesquisas Espaciais. O empenho em definir um procedimento mais adequado e lógico para o mapeamento geológico regional levou à adoção das regras que orientam os trabalhos de interpretação.

As regras que conceituam estes procedimentos podem ser enunciadas como se segue:

- análise dos elementos textura e estrutura fotográficas, da forma e dos níveis de cinza para identificação e individualização de áreas imageadas que possuem características semelhantes;
- processamento dedutivo e indutivo destas áreas em seu significado geológico.

Neste capítulo serão discutidos os principais conceitos teóricos da análise e interpretação, e formulados alguns modelos teóricos com fins didáticos. A seguir, serão apresentadas as normas e procedimentos de utilização dos produtos do LANDSAT e, finalmente, serão equacionadas as principais questões em relação às expectativas do usuário que pretende utilizar tais produtos.

Seria uma grave omissão relegar os trabalhos de campo a segundo plano, esperando que, apenas através da utilização dos produtos do LANDSAT, resolver-se-iam satisfatoriamente todos os problemas

do mapeamento geológico regional. É somente no campo que se pode avaliar o significado geológico das feições extraídas das imagens.

Portanto, o emprego dos produtos do LANDSAT deve ser encarado com prudência para que não seja desvirtuada sua potencialidade como ferramenta auxiliar, de baixo custo, com vantagens e limitações como qualquer outra.

## 2.2 - METODOLOGIA

### 2.2.1 - ANÁLISE DOS ELEMENTOS

Os elementos definidos no Capítulo 1 (textura, estrutura, formas, níveis de cinza e sombra) são analisados nos produtos do LANDSAT que são apresentados sob a forma de imagens fotográficas em preto e branco e coloridas ou diapositivos, que podem ser projetados sobre uma tela. Estes diapositivos são obtidos como produtos finais das fitas CCTs, tratadas no computador I-100.

Apresenta-se a seguir o processo de análise de cada um dos elementos citados:

#### 1) Análise da rede de drenagem

Experiências têm mostrado que as imagens da banda 5 são as que normalmente fornecem maior volume de informações, com referência às propriedades da rede de drenagem. No entanto, a banda 7 também deve ser analisada. Deve ser ponderada a sua dificuldade de análise para áreas onde o relevo é medianamente ou muito acidentado, pois quanto maior a dissecação maior é a dificuldade de extração de dados referentes à rede de drenagem.

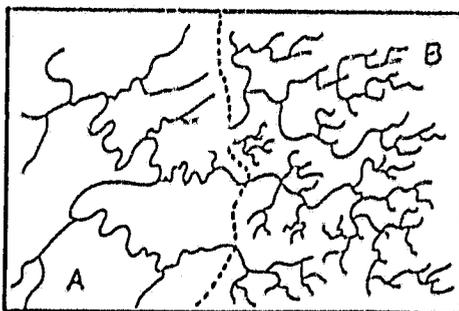
A observação criteriosa e o traçado rico em detalhes vão permitir o estudo das propriedades e consequentes padrões da rede de drenagem, além de fornecerem uma idéia sobre permeabilidade; grau de

dissecação do substrato, localização de variação nas características dos materiais imageados e inferências sobre a natureza das rochas. No entanto, não se deve esquecer que os produtos do LANDSAT jamais irão fornecer a riqueza de detalhes que podem ser observados em fotografias aéreas convencionais.

Para atacar todos os aspectos significativos de uma análise da rede de drenagem é necessário distinguir cada uma de suas características particulares, e não generalizá-las. Isto é conseguido através da observação das principais propriedades resumidas a seguir:

a) Densidade

Está relacionada com a quantidade de canais observados por unidade de área imageada, sendo esta relação arbitrária. É utilizada para caracterizar zonas homólogas em densidade de drenagem e para dar uma idéia da permeabilidade do substrato (Figura 2.1).



---- limite entre zonas homólogas (A e B).

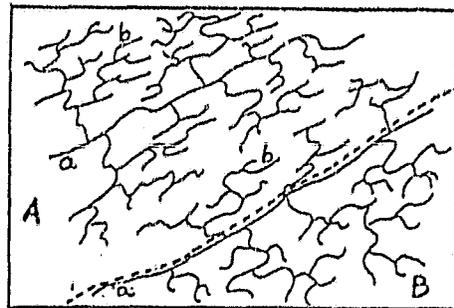
A - baixa densidade.

B - alta densidade.

Fig. 2.1 - Densidade da rede de drenagem.

b) Alinhamentos, lineações ou curvaturas

Os alinhamentos e lineações referem-se ao desenvolvimento orientado dos canais. Tal desenvolvimento pode ser um reflexo das estruturas das rochas sobre as quais se instala a rede. Essas estruturas podem ser falhamentos (alinhamentos), foliações, fraturamentos e acamamentos (lineações). As curvaturas, por sua vez, podem sugerir a existência de sedimentos e, logicamente, a ausência do reflexo de estruturas lineares conspícuas. Podem ainda estar relacionadas com feições como domos, intrusões circulares, etc. (Figura 2.2).



---- limite entre zonas homólogas (A e B)

a - alinhamentos.

b - lineações.

A - predominância das lineações de drenagem.

B - predominância de curvaturas.

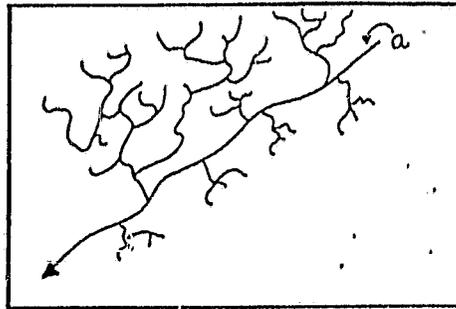
Fig. 2.2 - Alinhamentos, lineações e curvaturas.

O grau de estruturação é definido em função da densidade de alinhamentos e lineações de drenagem por unidade de área, sendo esta relação arbitrária e classificada em uma escala de "fraco" a "forte".

c) Assimetria

Refere-se às dimensões e à organização dos afluentes de ambas as margens, comparativamente, sendo considerada em relação ao elemento estrutural de drenagem de maior expressão (Figura 2.3).

O grau de assimetria define estas relações e pode ser classificado em uma escala de "forte" a "fraco".



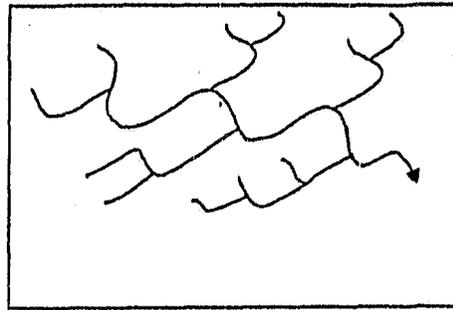
Drenagem fortemente assimétrica.

a - elemento estrutural principal.

Fig. 2.3 - Assimetria.

d) Tropia

Está relacionada com a orientação das linhas de drenagem em uma ou mais direções preferenciais (Figura 2.4).

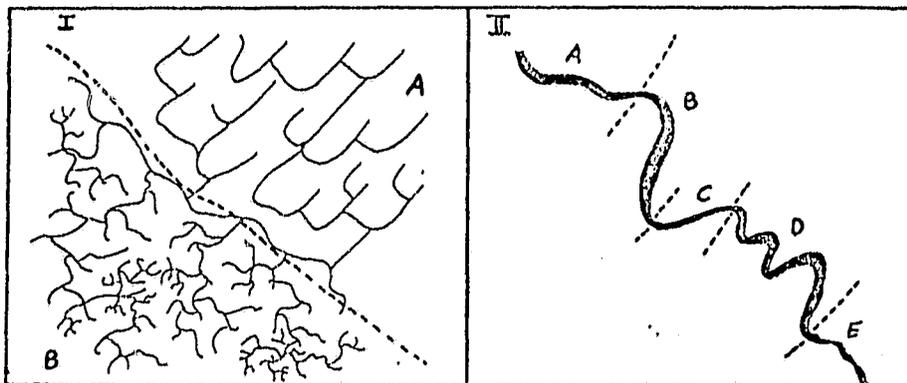


Tropia bidirecional preferencial.

Fig. 2.4 - Tropia.

e) Uniformidade

É considerada em relação à uniformidade ou não de distribuição da rede de drenagem e dos canais, isto é, quanto ao alargamento, estreitamento e angularidade dos componentes texturais dos mesmos (Figura 2.5).



---- limite entre zonas  
homólogas (A. e B).

A - distribuição uniforme.

B - distribuição não-uniforme.

A, B, C, D e E - zonas de  
alargamento e estreitamen  
to do canal não-uniforme.

Fig. 2.5 - Uniformidade.

O grau de uniformidade de distribuição da rede ou dos canais indica a uniformidade do material sobre o qual eles se instalam, e pode ser classificado de "baixo" a "alto".

Todas estas propriedades implicam variações do substrato rochoso sobre o qual se instala a rede de drenagem; tais variações podem ou não ter um significado geológico. É através da análise rigorosa das mesmas que se obtêm dados significativos, que definem e caracterizam zonas homólogas, as quais podem ou não representar variações litológicas e padrões estruturais.

Como já foi citado anteriormente, nem sempre é possível a extração de dados da rede de drenagem nos produtos do LANDSAT. Recorre-se então às cartas topográficas preexistentes e, em última instância, tenta-se delimitar as zonas homólogas sobre as imagens, mesmo que o traçado da rede de drenagem seja inviável.

## 2) Análise das formas de relevo

Experiências têm mostrado que as imagens da banda 7 são as que melhor se adaptam ao estudo da morfologia do terreno porque, devido às suas características espectrais, são as que mais realçam as rupturas de declive.

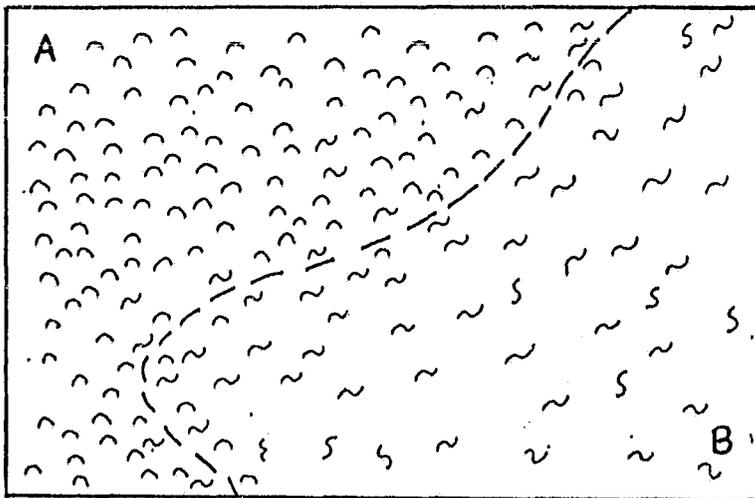
No entanto, não se deve analisá-las isoladamente. As outras bandas, principalmente a 5, devem ser utilizadas paralelamente, pois adicionam dados valiosos que tornam os resultados mais satisfatórios.

Através da análise das formas de relevo, é possível chegar a uma definição da expressão morfológica de um corpo rochoso, desde que este possua uma natureza físico-química diferente em relação aos corpos adjacentes, e esteja junto com estes sob a ação dos mesmos processos de intemperismo (ver Capítulo 1).

O procedimento lógico para determinar a expressão morfológica de um corpo rochoso é através das propriedades texturais do relevo que, de maneira geral, são citadas a seguir:

a) Densidade de textura

Está relacionada com a quantidade de rupturas de declive, por unidade de área imageada, sendo esta relação arbitrária. Deve ser utilizada na definição de zonas homólogas em densidade de relevo. Para classificar estas zonas, podem ser empregados termos puramente descritivos, relacionados com a rugosidade. Assim, quando a densidade é muito baixa denomina-se "relevo liso". À medida que esta aumenta, empregar-se termos como rugoso, muito rugoso, etc. (Figura 2.6).



---- limite entre as zonas homólogas (A e B).

A - alta densidade - relevo rugoso.

B - baixa densidade - relevo liso.

~ - elementos texturais de relevo.

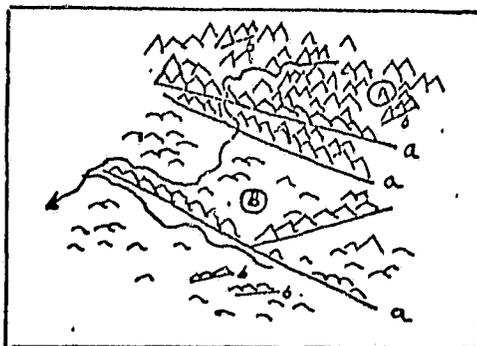
Fig. 2.6 - Densidade textural do relevo.

## b) Lineações e alinhamentos de relevo

Lineações são elementos texturais do relevo, com disposição retilínea, que correspondem a feições estruturais do terreno, menores que 3,5 quilômetros. Alinhamentos correspondem à disposição retilínea a quase retilínea destes elementos, em linhas ou faixas, causando forte estruturação do relevo e possuindo extensão maior que 3,5 quilômetros no terreno. Estas propriedades podem estar refletindo estruturas ou descontinuidades geológicas (Figura 2.7).

Esta extensão de 3,5 km está relacionada com o trabalho de Northfleet et al (1971), que a consideraram como o limite a partir do qual as fraturas vão sofrer deslocamentos.

O grau de estruturação do relevo é definido através da densidade de lineações e alinhamentos, variando de fraco a forte.



Λ - elementos texturais do relevo

a - alinhamentos.

b - lineações.

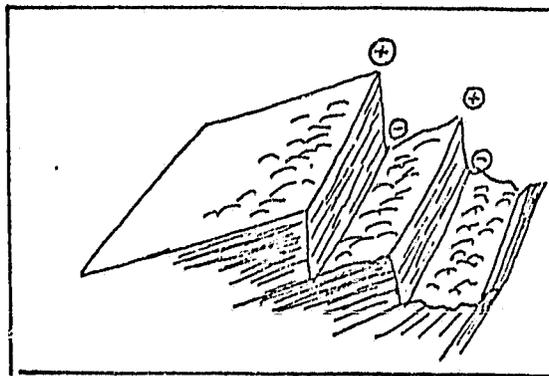
A - zona A: forte estruturação.

B - zona B: baixa estruturação.

Fig. 2.7 - Alinhamentos e lineações de relevo.

c) Quebras positivas e negativas

As primeiras são as cristas do relevo que constituem o topo das rupturas de declive, e as quebras negativas são os vales estruturados que constituem a base das rupturas de declive (Figura 2.8). Normalmente constituem os limites definidos entre zonas homólogas de relevo.



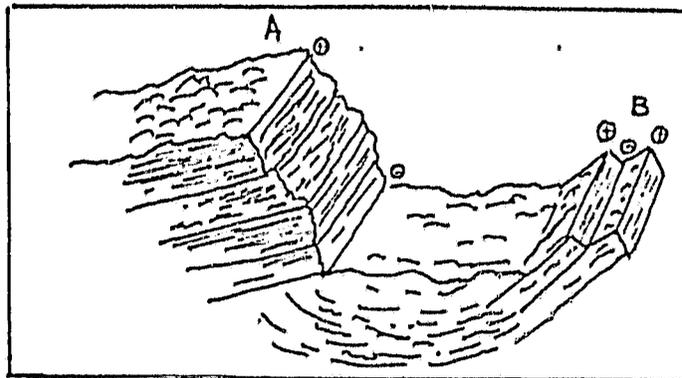
- ⊕ quebra positiva - crista.
- ⊖ quebra negativa - vale estruturado.

Fig. 2.8 - Quebras positivas e negativas de relevo.

d) Assimetria do relevo

É definida em relação à separação de zonas, com declividade maior e menor, pelas quebras positivas e negativas de relevo. É evidente que estas zonas irão apresentar outras propriedades diferentes, como, por exemplo, a densidade textural de relevo.

O grau de assimetria é definido em função da declividade: quanto maior for a diferença de declividade entre os flancos separados pela quebra positiva, maior será a assimetria (Figura 2.9).



A - Relevo fortemente assimétrico.

B - Relevo fracamente assimétrico.

⊕ - quebra positiva.

⊖ - quebra negativa.

Fig. 2.9 - Assimetria do relevo.

### e) Formas das encostas

Apesar de serem um bom indicador da resistência à erosão, dificilmente podem ser observadas nos produtos do LANDSAT.

### 3) Análise dos níveis de cinza

Convém recordar, de maneira sucinta, o conceito de níveis de cinza.

O nível de cinza é a quantidade de energia refletida por uma associação de materiais da superfície do terreno, em uma determinada banda espectral.

Sendo as bandas 5 e 7 as mais utilizadas para interpretações de cunho geológico, é importante ressaltar quais materiais da superfície refletem mais nestas bandas.

A banda 5 corresponde à região do verde-laranja, apresentando as tonalidades mais escuras onde a vegetação é densa, e as mais claras onde a vegetação é rala ou praticamente ausente.

A banda 7 corresponde à região do infravermelho próximo, apresentando as tonalidades mais claras onde a vegetação é mais densa.

Deve-se lembrar que, dos 256 níveis de cinza originais, cerca de 16 são reproduzidos nas cópias fotográficas.

Após estas breves considerações, alguns fatores enumerados a seguir devem ser levados em conta, quando se tenta a delimitação de *zonas homólogas em níveis de cinza*:

- 1) As superfícies imageadas do terreno constituem associações solo-rocha-vegetação.
- 2) As imagens da banda 5 fornecem as maiores informações da associação solo-rocha, pois esta tem os picos mais altos de reflectância na região do laranja.
- 3) As imagens da banda 7 fornecem uma representação muito aproximada da morfologia do terreno, pois na região do infravermelho predomina a captação de energia refletida sobre a absorvida.

#### 2.2.2 - PROCESSAMENTO DEDUTIVO DOS ELEMENTOS ANALISADOS

Esta seção trata da fotointerpretação e da confecção do mapa fotogeológico que guarda algumas relações com um mapa geológico propriamente dito.

Este mapa fotogeológico irá conter diversas zonas delimitadas em função de suas propriedades, zonas estas que representam rochas com as mesmas características petrográficas, ou então conjuntos de rochas que mostram as mesmas propriedades nas imagens, mas possuem

características petrográficas diferentes. Este mapa conterá também traços representantes de estruturas geológicas como falhamentos, foliações, fraturamentos e acamamentos, e ainda outros que não tenham um significado geológico.

Como já foi visto, toda a análise desenvolvida sobre os produtos do LANDSAT está diretamente relacionada com a disposição espacial dos elementos texturais. Existe um relacionamento entre as propriedades destes elementos e as propriedades dos materiais superficiais imageados, já descrito no Capítulo 1.

Após estas considerações preliminares, onde ficou evidente a necessidade dos trabalhos de campo para a confecção de um mapa geológico, serão abordados alguns modelos fotointerpretativos hipotéticos com fins didáticos:

#### 1) Modelo fotointerpretativo da rede de drenagem

A Figura 2.10 mostra um modelo fotointerpretativo das propriedades texturais da rede de drenagem. Em uma primeira observação, destacam-se as zonas homólogas A, B, D e E, onde se notam diferenças marcantes em relação à densidade, aos alinhamentos e lineações, às curvaturas, à assimetria, à uniformidade e à tropia.

As propriedades texturais de drenagem que caracterizam a zona homóloga A são a baixa densidade relativa e o predomínio de curvaturas. Alguns valores relativos às características dos materiais superficiais que nela se encontram podem ser inferidos, tais como uma permeabilidade relativa maior, a inexistência de fatores controladores da drenagem e a sugestão de vertentes extensas e pouco íngremes.

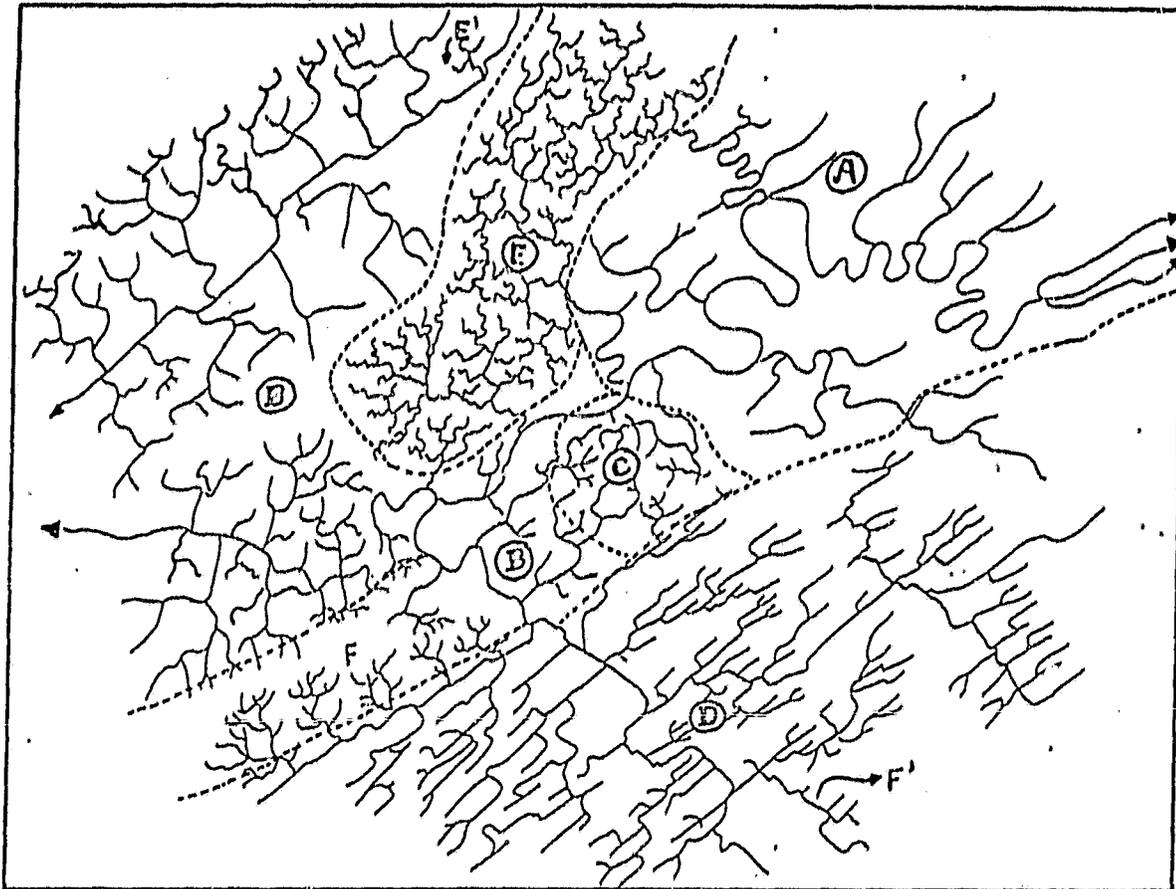


Fig. 2.10 - Modelo fotointerpretativo da rede de drenagem.

Por outro lado, a zona homóloga E é a que possui a mais alta densidade relativa. Outras propriedades que lhe são peculiares são a tropia multidirecional desordenada e a distribuição não-uniforme dos canais. Os valores indicados por estas propriedades dizem respeito à baixa permeabilidade relativa e ao baixo grau de uniformidade dos materiais. Pode ser inferida a existência de vertentes pouco extensas e íngremes, o que sugere que a forte resistência à erosão seja o fator de controle da textura fotográfica.

As zonas B e D possuem densidades relativas intermediárias entre A e E, e suas propriedades mais conspícuas são respectivamente:

- a - alternância entre alinhamentos, lineações e curvaturas, o que lhe confere em grau moderado de estruturação, um alto grau de assimetria e um grau moderado de uniformidade. Os valores inferidos através destas características são relativos à existência de fatores de controle deformacionais e a um grau moderado de uniformidade dos materiais;
- b - predomínio de alinhamentos e lineações sobre as curvaturas dos elementos texturais de drenagem (alto grau de estruturação); alto grau de uniformidade na distribuição dos canais e tropia bidirecional preferencial. Estas características indicam um forte controle litológico (anisotropia) e alto grau de uniformidade dos materiais superficiais.

A zona C é uma típica representante de uma anomalia de drenagem. Possui uma tropia multidirecional ordenada, propriedade esta que lhe confere um padrão anular. Os parâmetros que podem ser inferidos através de sua análise são a localização e extensão de uma variação local e a localização de um fator de controle, relacionados com a possível existência de um domo, ou com uma bacia estrutural, ou ainda com um "stock".

A zona homóloga F caracteriza-se por uma baixa densidade textural em sua região central e por uma forte assimetria de seu limite SE. Localiza-se um fator de controle que sugere a possível presença de uma crista, formada pela existência de um maciço rochoso mais resistente à erosão, ou talvez por camadas fortemente inclinadas para SE que sustentam o relevo. Indica também a presença de material com diferença significativa em relação àqueles que a rodeiam.

Os alinhamentos texturais de drenagem, como por exemplo F' e E', podem representar traços de falha e eixo de dobra, respectivamente.

As lineações texturais de drenagem, bastante frequentes na zona D, refletem traços de foliações e possíveis zonas de concentração de juntas.

Todos estes dados devem ser armazenados para um posterior confronto com as interpretações das formas de relevo e níveis de cinza.

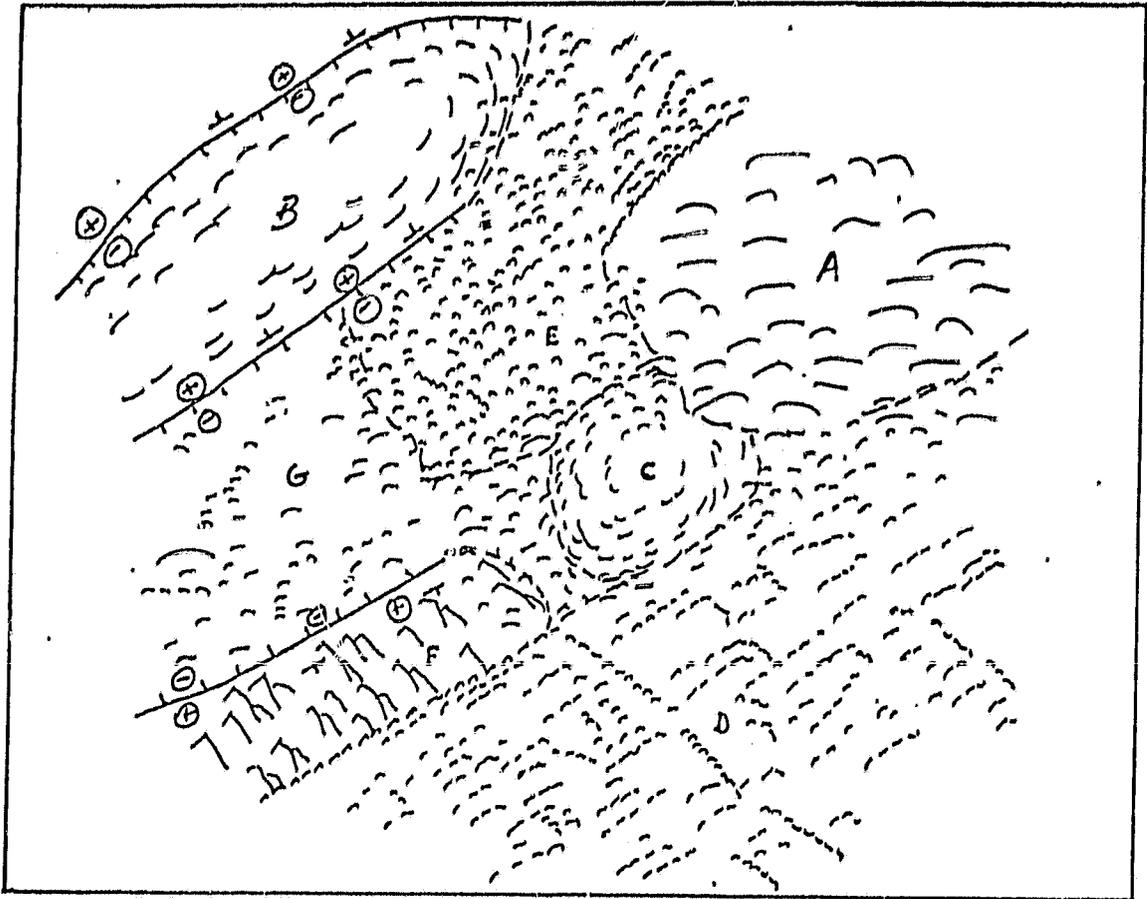
## 2) Modelo fotointerpretativo das formas de relevo

A Figura 2.11 mostra um modelo fotointerpretativo das propriedades texturais de relevo. Nesta figura, a escolha dos símbolos que caracterizam os elementos texturais de relevo é arbitrária.

Foram delimitadas 7 zonas homólogas em propriedades texturais de relevo. É evidente que as feições de drenagem e relevo são interdependentes; portanto as zonas homólogas, (A e E da Fig. 2.10) cuja propriedade discriminatória é a densidade textural de drenagem, coincidem aproximadamente com as zonas A e E cuja propriedade discriminatória é a densidade textural de relevo. Outras características texturais destas unidades serão discutidas a seguir.

A zona homóloga A, com uma densidade textural de relevo muito baixa (lisa) e ausência de lineações e alinhamentos texturais de relevo, revela que o fator controlador da textura fotográfica é o litológico, em função da baixa resistência à erosão.

Por outro lado, a zona E, com sua alta densidade textural e baixo grau de estruturação, em virtude da baixa quantidade de lineações e alinhamentos de relevo observados, também mostra que o fator que controla a textura fotográfica é o litológico, em função da alta resistência à erosão. Estas características sugerem a existência de material maciço, fracamente anisótropo. Limita-se parcialmente com a zona A por um alinhamento conspícuo de relevo. O mesmo ocorre com a zona B, quando se observa que quebras positivas e negativas de relevo limitam parcialmente estas zonas com propriedades texturais distintas de relevo. No restante de sua área de ocorrência, os limites com as demais zonas é difuso.



- ⌒ Elements texturais de relevo.
- Limites entre zonas homólogas.
- ~ lineações de relevo.
- ~~~~ alinhamentos de relevo.
- |— cristas assimétricas.
- ⊕ ⊖ quebras positivas e negativas.
- ⊥ atitude de camadas interpretada em função da assimetria de relevo.

Fig. 2.11 - Modelo fotointerpretativo das formas de relevo.

A zona homóloga B possui uma densidade textural mais elevada que a de A (moderadamente rugosa), porém menor que a densidade das demais zonas. Outras propriedades que lhe são características são as lineações de relevo que lhe conferem um alto grau de estruturação, a assimetria dos seus flancos (cristas homoclinais) e seus limites através de quebras do relevo. Estes aspectos determinam a existência do fator deformacional, em função de dobramento, como o principal fator controlador da textura fotográfica.

A zona D possui uma densidade textural de relevo bastante acentuada (rugosa) e mostra uma grande quantidade de lineações e alinhamentos de relevo. Os principais fatores controladores da textura fotográfica são, no caso, o litológico - em função da topia (desenvolvimento acentuado de lineações de relevo), e o deformacional - em função dos falhamentos e/ou fraturas (alinhamentos e lineações de relevo). Seu limite com a zona F é abrupto, através de forte alinhamento de relevo; com as demais zonas é bastante difuso. Ainda através de suas características, é possível cogitar na existência de rochas metamórficas com foliação bastante desenvolvida.

A zona homóloga F caracteriza-se pela baixa densidade textural relativa de relevo, pela assimetria moderada, e pela ausência de lineações e alinhamentos de relevo conspícuos (baixo grau de estruturação). É limitada ao Sul e ao Norte por um forte alinhamento de relevo e por quebras de relevo, respectivamente. O fator de controle da textura fotográfica é o litológico em função da alta resistência à erosão. Constitui-se em um maciço com destaque na topografia.

A zona homóloga C destaca-se em função das lineações de relevo que lhe conferem um aspecto típico de uma estrutura circular. Os fatores de controle da textura são o litológico e o deformacional, os quais indicam uma possível intrusão, ou a existência de um domo ou bacia estrutural.

A zona homóloga G é bem semelhante, em suas propriedades texturais de relevo, à zona B. No entanto está isolada desta última por uma quebra negativa de relevo. Possui uma baixa densidade textural e um fraco grau de estruturação em função das lineações de relevo observadas. Seus limites com as zonas E, C e D são difusos, ao contrário do que acontece com a zona F, cujos limites se fazem através de uma nítida quebra de relevo. Aparentemente o fator de controle da textura fotográfica é o litológico, em função da baixa resistência à erosão.

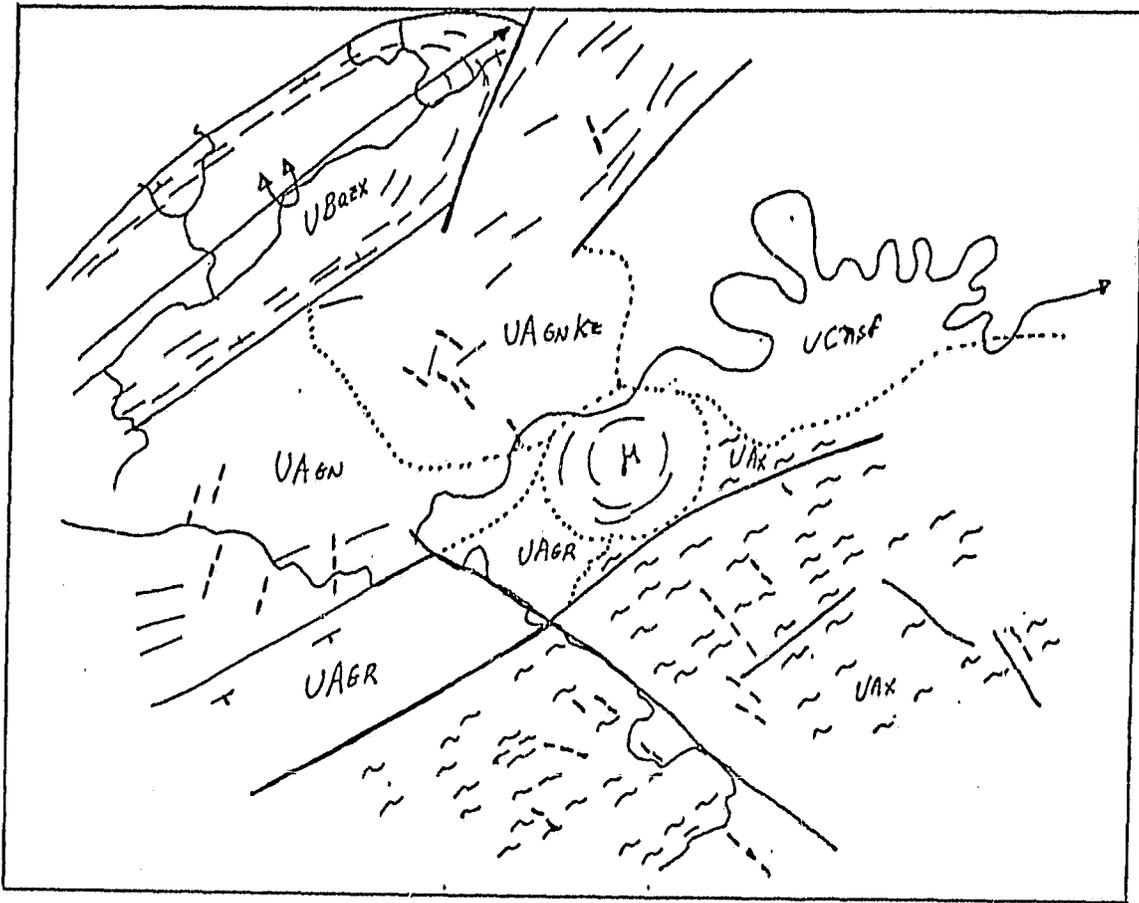
Os alinhamentos e lineações de relevo observados em toda a área são reflexos de falhas (alinhamentos) e foliações (bandamento, acamamento, xistosidade), ou fraturas (zonas de concentração de juntas).

A Figura 2.12 mostra o mapa fotogeológico obtido a partir da integração dos dados obtidos através da análise da rede de drenagem e formas de relevo.

Não se deve esquecer que a análise dos níveis de cinza também deve ser integrada. É através dela que se obtém a idéia do comportamento espectral dos materiais imageados, isto é a individualização de características destes, através da observação de suas tonalidades específicas.

Como estes exemplos apresentados são modelos hipotéticos, criados para dar uma visão do volume de dados e da sistemática que deve ser empregada para obtê-lo, não teria sentido discutir níveis de cinza.

As unidades geológicas do mapa não estão relacionadas com nenhuma área em especial, tendo sido escolhidas por poderem apresentar propriedades texturais como as que foram descritas. Isto é, quando se discorreu a respeito das análises das formas de relevo e da rede de drenagem, tinha-se em mente um esboço geológico que pudesse exercer um controle sobre a textura fotográfica dos produtos do LANDSAT, tal como foi discutido.



- uCasp - arenitos, siltitos e folhetos
- uBqzx - quartzitos e xistos
- $\gamma$  - granito
- uAgr - rochas granitoides
- { uAx - xistos
- uAgnkz - gnaisses kinzigiticos
- uAgn - gnaisses
- $\curvearrowright$  - anticlinal com flanco invertido
- $\equiv$  - bandamento e acamamento
- $\sim$  - xistosidade
- - fraturas
- — — - falhas
- $\sim$  - contato geológico ..... aproximado
- $\perp$  - atitude de foliação

Fig. 2.12 - Mapa fotogeológico.

Ressalva-se, no entanto, não existir nenhuma implicação entre estas propriedades texturais e a ocorrência de esboços geológicos semelhantes. Isto é, a relação propriedades texturais-unidades geológicas, tal como foi estabelecida, pode ocorrer, mas não é discriminatória.

O mapa fotogeológico mostra a ocorrência de sete unidades litoestratigráficas. Como é um modelo hipotético, as discussões limitar-se-ão apenas aos aspectos fotointerpretativos.

A unidade uCASF, de idade estabelecida Terciário-Quaternária é constituída por rochas sedimentares, cuja natureza petrográfica é bem contrastante com a daquelas circunjacentes, de idades estabelecidas pré-Cambrianas. Por este fato ela pode ser bem discriminada nos produtos fotográficos do LANDSAT.

A unidade uBQzx, do pré-Cambriano superior (por exemplo), é outra que possui uma expressão morfológica peculiar, devido às suas características petrográficas e à sua organização estrutural.

Nestes dois casos, verifica-se uma boa coincidência entre os limites das zonas homólogas e contatos geológicos, o que na verdade não é o que ocorre normalmente.

As demais unidades, cujas composições mineralógicas são semelhantes, exceção feita à uAx, possuem contatos geológicos aproximados e limites entre zonas homólogas difusos, não coincidentes. Os contatos são bem definidos apenas quando se estabelecem através de nítidas quebras negativas de relevo, como é o caso da unidade uAgr com a uAgn, e quando se estabelecem por falhamentos (caso da unidade uAgr com a uAx).

Este fato (delimitação não-precisa) é realmente esperado devido às dificuldades já discutidas no transcorrer deste trabalho, que envolvem não só as limitações dos sistemas de sensoramento remo-

to, mas também as dificuldades encontradas no campo, como ausência de afloramentos devidos ao estado de alteração das rochas, contatos de transição entre um e outro tipo petrográfico, etc.

Na análise minuciosa das propriedades texturais reside, então, a esperança de encontrar características que possam pelo menos sugerir a existência de unidades geológicas diferenciadas.

Dificuldades como as encontradas na porção central do mapa, em função das características texturais de relevo e drenagem (ver Figuras 2.10 e 2.11), são frequentes quando se utilizam produtos do LANDSAT. E, nestes casos, somente os trabalhos de campo podem resolver satisfatoriamente os problemas surgidos.

Este fato, no entanto, não desabona a utilização de tais produtos, pois, como já foi citado anteriormente, eles são uma ferramenta que auxilia na resolução de problemas geológicos, e não a solução para estes problemas.

Quanto aos aspectos estruturais da Figura 2.12, é possível destacar os seguintes:

- a) Anticlinal com flancos invertidos: as lineações de relevo e drenagem definiram a direção dos traços de acamamento, e a assimetria do relevo definiu o sentido do mergulho (Figura 2.9).
- b) Eixo do anticlinal: na maioria das vezes, o sentido do mergulho do eixo de anticlinais é coincidente com a convergência das cristas homocliniais. Estas, por sua vez, estão representadas na Figura 2.2 por quebras de relevo.
- c) Direção dos traços de bandamento e xistosidade esta direção foi inferida através das lineações de relevo e drenagem.

- d) Traços de fratura: também foram inferidos através das lineações de relevo e drenagem, considerando-se a dimensão máxima de 3,5 km (Northfleet et alii) na superfície do terreno; foram definidos como tal por possuírem direção transversal à tendência geral das foliações.
- e) Traços de falha: foram inferidos através da análise dos alinhamentos de relevo e drenagem.
- f) Estrutura circular: foi inferida através das lineações de relevo e curvaturas anômalas de drenagem.

### 2.3 - NORMAS E PROCEDIMENTOS PARA O MAPEAMENTO GEOLÓGICO REGIONAL UTILIZANDO-SE PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO DO LANDSAT

Esta seção, baseada em experiências práticas sugere uma divisão do trabalho em etapas, e tem por objetivo racionalizar e otimizar a utilização dos produtos do LANDSAT para o mapeamento geológico regional.

#### 1ª Etapa

- a) Aquisição de imagens - devem ser adquiridos conjuntos de imagens de diversas passagens, das 4 bandas na escala de interesse. Quando isto não for possível, a preferência é dada para as bandas 5 e 7.
- b) Aquisição e consulta de bibliografia e mapas geológicos da área de interesse (caso estejam disponíveis).
- c) Aquisição de cartas topográficas e planimétricas na mesma escala das imagens e/ou na escala de 1:50.000 para a análise da rede de drenagem, quando a área de interesse engloba uma região de relevo muito acidentado (Seção 2.2.1).

- d) Confeção da base planimétrica que contém as coordenadas, os principais rios, as rodovias, as cidades e as represas. Esta deverá ser ajustada em função das cartas citadas no item c acima.
- e) Reconhecimento preliminar de campo ao longo das principais rodovias ou de quaisquer outras vias principais de acesso à área. O intuito desta excursão é ter um primeiro contato com a geologia que irá ser estudada.

### 2ª Etapa

- a) Análise da rede de drenagem - deve ser desenhado um mapa com o maior número de detalhes possível.
- b) Análise das formas de relevo - devem ser escolhidos símbolos que melhor representem as propriedades do relevo. A seguir desenha-se um mapa que caracterize estas propriedades.
- c) Perfis de campo - devem ser realizados de acordo com a escala de trabalho, complexidade geológica e, de preferência, perpendicularmente às principais direções estruturais.

### 3ª Etapa

- a) Interpretação de dados - integrar os dados obtidos anteriormente e desenhar o mapa fotogeológico sobre a base planimétrica.
- b) Revisão bibliográfica e trabalho de campo final para elucidar os problemas surgidos.
- c) Confeção do mapa e relatório finais.

## 2.4 - RECURSOS AUXILIARES

Alguns recursos auxiliares, que contribuem efetivamente para o incremento de informações, podem ser destacados, mas acarretam um acréscimo aos custos.

Os mais importantes são o emprego das fitas compatíveis com o computador, para serem analisadas no "IMAGE-100", e a utilização dos mosaicos de radar do projeto RADAMBRASIL.

Através de filtragens, realces e classificações, é possível obter sensíveis melhorias, tanto do ponto de vista geológico como do estrutural. O procedimento normal envolve a ampliação da área de interesse para a escala desejada e a aplicação das técnicas acima citadas.

Através da observação das novas imagens formadas no vídeo, é possível selecionar a de maior interesse e fotografá-la, utilizando-se o equipamento "DICOMED", ou câmaras fotográficas comuns.

Estes produtos fotográficos serão interpretados de acordo com a metodologia já discutida.

É vantajoso usar "slides", pois estes podem ser projetados e interpretados na escala desejada.

Os mosaicos de radar do projeto RADAMBRASIL constituem um recurso auxiliar praticamente indispensável, pois funcionam como um complemento de fácil obtenção e baixo custo.

A metodologia empregada na interpretação destes produtos é bastante semelhante ao Método Lógico, com exceção do elemento nível de cinza, devido às suas características.

## 2.5 - NÍVEL DE DETALHES OBTIDOS ATRAVÉS DA INTERPRETAÇÃO DOS PRODUTOS DO LANDSAT

O nível de detalhes, que podem ser obtidos através da interpretação dos produtos do LANDSAT, é controlado por diversos fatores, sendo os mais importantes os que se seguem:

- a) Escala - conseguem-se, em cópias fotográficas, ampliações de até 1:250.000 e, utilizando-se fitas compatíveis com computador no "I-100", ampliações de até 1:100.000, sem diminuição sensível na qualidade radiométrica e consequente resolução.
- b) Resolução - a menor feição que pode ser distinguida necessita ter, no mínimo, um diâmetro de 80 m, teoricamente.
- c) Cobertura vegetal - em áreas onde a densidade de vegetação é muito alta, somente as imagens da banda 7 poderão ser utilizadas com relativo sucesso.
- d) Conhecimento prévio da área e experiência de fotointerpretação - quanto maior for o conhecimento prévio a respeito da área de interesse e a experiência de uso dos produtos LANDSAT, maior será o nível de detalhes atingível.

Considerando-se estes fatores do ponto de vista interpretativo, segue-se uma descrição simplificada das feições litológicas e estruturais quanto às suas implicações.

- a) Feições litológicas - é possível delimitar somente unidades litológicas que possuam características contrastantes (rede de drenagem, formas de relevo e, secundariamente, níveis de cinza) com as unidades adjacentes e com a expressão morfológica significativa (da ordem de vários quilômetros quadrados).

b) Feições estruturais - dentre as feições estruturais, os *traços de falha* são os mais conspícuos, sendo representados pelos alinhamentos de relevo e de drenagem, os quais significam uma descontinuidade entre zonas homólogas ao longo de uma linha. O movimento relativo dos blocos muito dificilmente pode ser inferido. Em alguns casos muito especiais, quando o deslocamento espacial dos elementos texturais é muito acentuado (de ordem quilométrica), é possível observá-lo. No entanto, apenas com os trabalhos de campo pode-se definir, com segurança, a natureza dos falhamentos. Os *traços de fratura* são representados pelas lineações de relevo e drenagem, refletindo as direções preferenciais de zonas de concentração de juntas. É necessário considerar uma dimensão mínima (cerca de 3,5 quilômetros), pois, a partir desta, já existe implicação com o movimento de blocos. Os *traços de foliações* também estão associados às lineações de relevo e drenagem. Em casos especiais, é possível, através da sua delineação, obter o desenho de dobras (de ordem quilométrica). A definição de dobras é conseguida quando, através da assimetria de relevo, infere-se o sentido dos mergulhos. Os *traços de acamamento* dificilmente podem ser observados. Com raras exceções, em áreas onde afloram rochas sedimentares tectônicamente afetadas, ou metassedimentares de baixo grau de metamorfismo, dobradas, soerguidas e erodidas, os planos que representam a interseção de camadas podem influenciar o comportamento textural da drenagem ou formas de relevo, produzindo lineações. Assim, do ponto de vista estrutural, podem ser mapeadas algumas feições mesoscópicas e a maioria das feições macroscópicas. Sob o ponto de vista estratigráfico, as restrições existentes, principalmente em relação às mesoscópicas, tornam as especulações extremamente difíceis.

CAPÍTULO 3

APLICAÇÕES DE SENSORIAMENTO REMOTO EM GEOLOGIA

Neste capítulo são apresentadas as aplicações de sensoriamento remoto à geologia, principalmente na área de mapeamento; algumas considerações sobre o escopo e prática da geologia, tendo como base os trabalhos de Gregory e Moore, (1973), (1974); alguns estudos sobre aplicações espaciais preparados pela NASA (1969); e os trabalhos de pesquisa desenvolvidos pelo pessoal técnico do Departamento de Sensoriamento Remoto do INPE.

A crosta da terra foi e está sendo afetada, durante toda a sua evolução, por numerosos processos que interagem em períodos que variam de frações de segundo, como vibrações sísmicas, até milhares e milhões de anos, como a deriva continental por exemplo.

Cabe ao geólogo entender e descrever estes processos, estudar a sua distribuição no tempo e no espaço, reconhecer seus produtos e consequências e a sua significância para o homem.

Sabe-se que as fontes de dados observáveis são muitas, que a escala de observação também é variável e que o volume potencial de seus detalhes é muito vasto. "Resolver problemas de seleção de parâmetros geológicos observáveis que levem aos objetivos específicos de seu estudo, é uma das primeiras preocupações do geólogo" (Gregory e Moore, 1973). É no campo que o geólogo observa, analisa e descreve os fenômenos naturais e os materiais que deles participam ou deles resultam. No entanto, são muitas as fontes de dados geológicos, além das observações de campo. Entre elas, podem-se citar: seções delgadas para análise microscópica; amostras de solo e de rocha para estudos comparativos; mapas aeromagnetométricos para extrapolações sobre o subsolo; idades radiativas para uma cronologia absoluta; e análises químicas ou de raio "X" para composição elementar.

Estas fontes de dados foram acrescidas por uma visão espectral de dados de imagens espaciais para sínteses de estrutura, mapeamentos regionais, pesquisa mineral e outras pesquisas relevantes. A estes vêm ainda se juntar as informações obtidas pelo radar de visão lateral, pelo "scanner" aéreo infravermelho térmal, pelas fotografias aéreas e por outros aparelhos capazes de registrar diferenças provocadas por diferentes materiais da terra, tais como: radiatividade, propriedades elétricas, susceptibilidades magnéticas, campos gravitacionais, os quais fornecem dados a serem utilizados pelo geólogo especialista em sensoriamento remoto.

Harrison (1963), tecendo considerações a respeito da ciência geológica, resume seus pensamentos afirmando que a geologia é uma ciência na qual a concepção é tão importante como a percepção (Gregory e Moore, 1974). Para ele, o mapa geológico contém uma gravação dos fatos geológicos e uma interpretação de sua significância. Ambos os aspectos são representados, mas deve existir uma separação forte entre o que é observação e o que é inferência.

A habilidade para inferir corretamente é a meta do treinamento no campo da geologia, e a capacidade do geólogo é medida por ele saber traçar uma estratégia e chegar a conclusões razoáveis do fenômeno observado.

O produto final pode variar na ênfase de uma pequena escala, mostrando a deriva dos continentes, através de uma representação sistemática do empilhamento de camadas de rochas, para uma detalhada investigação de propriedades de engenharia dos solos, ou para o relacionamento intergranular de depósitos minerais em um campo de prospecção.

### 3.1 - DADOS DO LANDSAT E NÍVEIS DE INTERPRETAÇÃO

Durante a última década, as plataformas espaciais adicionaram nova dimensão à fotogeologia, incluindo:

- a) Imagens de pequena escala, com vista sinóptica regional.
- b) Iluminação uniforme para irradiância comum.
- c) Observação repetitiva: uma passagem de satélite a cada 18 dias.
- d) Sensoriamento seletivo por observações espectrais dentro de bandas visíveis e infravermelhas.
- e) Órbita global pelo fácil acesso a áreas remotas, e baixo custo para grandes áreas.
- f) Uma capacidade de ver o mundo todo como um sistema simples.

### 3.1.1 - NÍVEIS DE INTERPRETAÇÃO

O processo de interpretação pode ser conduzido em vários níveis:

- Reconhecimento rápido.
- Interpretação detalhada.
- Análise automática.

#### a) Reconhecimento rápido

Reconhecimento rápido pode ser feito por qualquer pessoa que tenha noção de escala, de mapas e da geografia regional. É necessário apenas uma informação generalizada da verdade terrestre.

#### b) Interpretação detalhada

Este nível fornece informações tais como estrutura geológica, concordância rochosa, extensão de erosão e sedimentação, distribuição e caráter de depósitos superficiais, localização de operações minerais contemporâneas e campos de óleo. Alguns destes dados também podem ser mapeados por processos automáticos.

### c) Análise automática

Os produtos são geralmente tabelas e "print-outs", transparências positivas e negativas, classificação e outros formatos de dados que possam ser avaliados pelo conhecimento humano. Treinamento especial e equipamento são essenciais para tal interpretação.

### 3.2 - CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O MAPEAMENTO GEOLÓGICO

Os parâmetros mais utilizados no mapeamento geológico são relacionados com o arranjo espacial e cronológico de formações geológicas e com a mineralogia de seus componentes. As imagens do LANDSAT mostram grande número de informações a serem usadas em áreas importantes da geologia, utilizando-se princípios padrões de fotointerpretação.

#### 3.2.1 - GEOMORFOLOGIA

O relevo e detalhes da superfície da terra refletem as propriedades físicas das rochas subjacentes e dos solos e os processos geológicos que os afetaram.

Muitas expressões morfológicas podem ser identificadas primariamente com base na forma. Cada tipo de rocha, cada fratura ou movimento, cada feição erosional ou deposicional produzem modelos (ainda que não necessariamente únicos), reconhecíveis, padrões e texturas. Tais características morfológicas são fontes valiosas de informação acerca da geologia subjacente. (Figuras 2.6 e 2.7).

#### 3.2.2 - GEOLOGIA ESTRUTURAL

A forma, a atitude, o tamanho e a foliação de corpos e formações rochosas e o relacionamento geométrico entre eles são bem evidenciados nas imagens do LANDSAT. Dobras, falhas, fraturas, cisalhamento, juntas, acamamento, bandamento e laminação estão todos representados sobre as imagens, como alinhamentos e lineações de relevo e drenagem.

gem. Algumas vezes a origem de um alinhamento pode ser determinada a partir de evidências sobre as imagens (por exemplo, o deslocamento de formações ao longo de uma falha).

Além do contraste espectral, formas características de relevo podem ocorrer. O tamanho e a forma de corpos intrusivos e de domos de sal podem ser discernidas. Grandes feições tectônicas podem ser vistas sobre uma simples imagem ou um mosaico (faixas de dobramentos, crãtons, bordas de províncias geológicas).

Estruturas pequenas, como dobras de 2-3 km de largura, também podem ser vistas em condições especiais de relevo e de ângulo de iluminação solar. Podem ter um interesse econômico direto.

### 3.2.3 - LITOLOGIA

Podem ser obtidos apenas algumas informações elementares, como expressão topográfica (morfológica), padrão de drenagem, reflexão espectral e estrutura interna das formações. Sob certas condições, estas feições podem ser usadas para inferir o tipo de rocha dentro de limites razoáveis.

### 3.2.4 - ESTRATIGRAFIA

Nas exposições de rochas sedimentares ou metassedimentares dobradas de grande espessura, a continuidade e sequência de formações pode ser interpretada. Unidades estratigráficas finas que são comumente mapeadas não podem ser separadas nas imagens do LANDSAT. Idades relativas das maiores unidades podem ser inferidas pela superposição de sequências mais jovens sobre as mais velhas, ou por relacionamento discordante entre formações, em geral intrusões ou discordâncias.

### 3.2.5 - GEOLOGIA SUPERFICIAL

Formas de relevo, padrões texturais, umidade e vegetação podem retratar a disposição e, algumas vezes, o grau de consolidação de sedimentos sobre a superfície. Os padrões estruturais, os depósitos recentes e bacias sedimentares são particularmente bem evidenciados nas imagens.

### 3.2.6 - PROCESSOS DINÂMICOS

A imagem do LANDSAT apresenta abundante evidência de processos geológicos contemporâneos, tais como erosão, sedimentação, aparecimento de geleiras, inundações e ainda distúrbios de materiais por processos sísmicos e vulcânicos.

Qualquer pessoa pode olhar uma imagem como um exercício de estética em apreciação de arte. Por outro lado, quando um observador começa a retirar informação prática dos padrões e contrastes, tal como "usos", começa a "aplicação potencial"; a aplicação prática começa quando o dado é sistematicamente obtido em ordem para encontrar um objetivo social estabelecido.

Assim, a pesquisa para ver se dados do LANDSAT podem ser usados em geologia prática não é uma aplicação prática, ainda que o dado esteja indubitavelmente sendo usado. Assim, o critério para aplicação prática mais que uma adição ao conhecimento científico, é um rápido retorno de investimento à sociedade.

Atentando-se para tudo o que foi dito, algumas das possíveis e realmente eminentes aplicações de dados do LANDSAT para a geologia são discutidos abaixo.

### 3.3 - APLICAÇÃO DE IMAGENS DO LANDSAT NO MAPEAMENTO GEOLÓGICO

O Brasil é um país pouco conhecido do ponto de vista geológico. Não está mapeado ainda na escala de 1:1.000.000, e apenas umas poucas áreas já têm mapas mais detalhados. Esta falta de mapas geológicos, mesmo em escala regionais, tem prejudicado grandemente os trabalhos de localização de novas jazidas minerais. O Sensoriamento Remoto vem oferecer a possibilidade de mapeamentos geológicos na escala de até 1:100.000, em um espaço de tempo relativamente curto em relação aos meios tradicionais, principalmente considerando-se que o número de geólogos no país (cerca de 3.000) é muito pequeno para a enorme extensão territorial e para a lentidão dos processos tradicionais de mapeamento.

O Instituto de Pesquisas Espaciais vem, desde o ano de 1974, testando técnicas de sensoriamento remoto para o mapeamento geológico, com os objetivos de definir metodologia de trabalho e fornecer cursos de treinamento para pessoal externo, tanto de órgãos governamentais como de empresas particulares, visando a transferência das técnicas desenvolvidas e utilizadas por seus pesquisadores para a comunidade geológica do país.

Dentro desta política, a entidade desenvolveu vários programas de pesquisa em mapeamento geológico, os quais chegam hoje a atingir um total de aproximadamente 3 milhões de km<sup>2</sup>.

Carraro, Liu e Yamagata desenvolveram um dos primeiros trabalhos numa área de cerca de 1,5 milhões de km<sup>2</sup> na região centro-leste brasileira.

O principal resultado desse trabalho pioneiro foi demonstrar a maior quantidade de informações contidas nas imagens, em relação aos mapas disponíveis na área.

Foi um trabalho eminentemente de fotointerpretação, com praticamente nenhum controle de campo.

Dentro do mesmo espírito de pesquisa, e visando-se uma melhor definição de aspectos metodológicos, foram iniciados em 1974 os projetos de mapeamento de quatro folhas ao milionésimo: Folha São Francisco, Brasília, Goiás e Belo Horizonte, as quais abrangiam uma maior diversidade e complexidade geológica.

A sequência metodológica estabelecida neste trabalho foi utilizada em projetos similares e quanto ao estabelecimento de critérios de fotointerpretação mais apropriados para as imagens, foi paralelamente melhorada.

Vários outros trabalhos de mapeamento vêm sendo desenvolvidos pela equipe do DSR, dentro do programa "Geologia Regional", alguns já finalizados, outros em andamento, entre os quais podem-se citar o Projeto Intrusivas, Projeto Gondwana, Projeto Calcários do Espírito Santo, Projeto Piauí, etc.

Sempre se procurou utilizar as imagens do LANDSAT, integradas com outros produtos, a fim de melhorar o nível de interpretação e detalhar áreas problemáticas que surgem. Entre os produtos utilizados em conjunto com as imagens, sobressaem os mosaicos de radar de visada lateral, obtidos junto ao Projeto RADAMBRASIL, e às imagens do SKYLAB, quando disponíveis sobre a área e não haver cobertura de nuvens. No mapeamento geológico regional, os produtos utilizados apresentam características específicas, tendo cada sensor uma melhor aplicabilidade, de acordo com o tipo de objetivo procurado e a área a ser estudada.

Uma análise de custos-tempo e efetividade, tomando-se por base projetos similares desenvolvidos por outras entidades, permite concluir que:

- A utilização de imagens do LANDSAT reduz de maneira apropriada os trabalhos de campo.

- O baixo custo de mapeamento por km<sup>2</sup>, a facilidade de manuseio das imagens e o curto prazo (tempo despendido) conferem a essa nova técnica um grande valor como ferramenta de trabalho para mapeamentos geológicos regionais.
- O caráter repetitivo das imagens do LANDSAT é de muita importância na separação das unidades geológicas (litológicas), pois as características texturais das diferentes unidades estão ligadas a condições de umidade do solo e de cobertura vegetal que, por sua vez, variam com as estações do ano.
- A visão sinóptica das imagens permite a identificação de grandes estruturas, bem como a correlação entre áreas conhecidas e áreas inexploradas.
- O uso de sensores remotos, em nível orbital, é eficiente em mapeamentos geológicos regionais e, quando integrados ao uso de outros sensores, permitem um intercâmbio das informações otimizando a análise dos resultados obtidos.

#### 3.4 - APLICAÇÕES DE IMAGENS DO LANDSAT EM PESQUISA MINERAL

- Localização de estruturas, tipos de rochas, formações e sedimentos superficiais com os quais depósitos de óleo, gás ou minerais metálicos e não-metálicos possam estar associados.
- Informações derivadas do LANDSAT podem ser combinadas com outras informações geológicas em uma análise regional, para selecionar alvos específicos para uma investigação detalhada.
- Mapeamento de associações de plantas em áreas com "stress" relevante.

Todavia, apesar de existirem algumas associações de plantas com significância estratigráfica e estrutural, o relacionamento entre depósitos minerais e uma grosseira associação de plantas com "stress" ainda não foi bem estabelecida (Gregory, 1973).

A grande maioria dos minerais com interesse econômico não apresenta comportamento característico nos sensores comuns. No Brasil, como em outros países tropicais, as rochas estão alteradas em solos, sobre os quais cresce algum tipo de vegetação. Uma concentração mineral é em geral uma anomalia geoquímica, o que pode afetar a vegetação que cresce sobre ela. Assim, tem sido possível a localização de depósitos minerais por meio de anomalias apresentadas pela cobertura vegetal. Essas anomalias podem ser de dois tipos.

- 1) Existência de condições para o desenvolvimento de apenas uma determinada associação vegetal.
- 2) Alterações metabólicas e estruturais na vegetação local.

### 3.5 - APLICAÇÕES DE IMAGENS DO LANDSAT EM HIDROGEOLOGIA

- Localização de fraturas e juntas, nas quais pode ocorrer água subterrânea.
- Monitoramento de água superficial, neve, geleiras, etc.
- Mapeamento de certos sedimentos superficiais onde pode ocorrer a água.
- Mapeamento de associação de plantas com "stress", que podem refletir a presença ou mudança na água superficial.

Em muitos casos, a qualidade da água não pode ser interpretada, embora alta salinidade possa ser indicada por associações específicas de plantas e/ou depósitos salinos superficiais.

### 3.6 - APLICAÇÕES DE IMAGENS DO LANDSAT EM GEOTÉCNICA

- Localização de depósitos de areia, cascalhos, argilas, e outros materiais para construção.
- Planejamento para o desenvolvimento urbano, uso da terra e transporte.
- Contribuição para previsão de medição de desastres naturais (p. ex., fraturas em terrenos instáveis).
- Monitoramento de água superficial, neve, gelo e alguns aspectos da umidade do solo.
- Monitoramento de grandes depósitos de rejeitos e pedreiras, etc.
- Monitoramento de erosão, sedimentação e fraturas em áreas onde serão implantadas grandes barragens.

Em adição às informações geológicas, as imagens do LANDSAT podem também fornecer informações e grande assistência ao planejamento e operações de campo, nos programas de mapeamento.

### 3.7 - EXEMPLOS DE MAPEAMENTO REGIONAL

#### 3.7.1 - PROJETO ESTUDO DAS ROCHAS INTRUSIVAS: SE DE S.P.; PARTES DO SUL DE MINAS GERAIS; ESTADOS DE RIO DE JANEIRO E ESPÍRITO SANTO

Os objetivos do projeto em questão foram o estudo, através de produtos de sensoriamento remoto (imagens do LANDSAT, mosaicos de radar e fitas CCTs), da viabilidade de mapeamento de rochas intrusivas e o estabelecimento de critérios para o mapeamento geológico regional na escala de 1:500.000, em áreas policíclicas e polimetamórficas e, por último, a análise do comportamento espectral das intrusivas mapeadas, no analisador automático IMAGE-100.

Durante os diversos métodos, descritos na literatura especializada em fotointerpretação, decidiu-se pelo Método Lógico que, por ter sido desenvolvido para as fotografias aéreas convencionais, sofreu as adaptações necessárias em função das características dos produtos utilizados.

Este método, em linhas gerais, é baseado na análise dos elementos texturais das imagens fotográficas e no posterior processamento dedutivo e indutivo dos elementos analisados. Isto é, procede-se ao estudo das propriedades texturais de drenagem e relevo, com o intuito de reconhecer características dos materiais superficiais imageados, e compreender quais os principais fatores controladores da textura fotográfica; posteriormente processam-se os dados obtidos em seu significado geológico.

As características espectrais dos alvos imageados foram estudadas através da análise visual e automática dos níveis de cinza.

Duas etapas de reconhecimento de campo, com cerca de 40 dias de duração cada uma, foram realizadas, e vários trabalhos e mapas preexistentes foram consultados para se obter a delimitação do mapa final.

Como resultado dessa pesquisa, obteve-se um bom nível de identificação dos corpos com características intrusivas, assim como o relacionamento desses corpos com as principais direções estruturais. Por exemplo uma das feições mais interessantes que indicam o condicionamento estrutural desses corpos é dada por uma faixa de direção NNE-SSW, que engloba diversos corpos intrusivos, tais como as alcalinas de São Sebastião, Passa Quatro e outras, e os granitos de Parati e Morro do Chapêu, entre outros. Esta região é visivelmente controlada por estruturas de direção NNE-SSW, que interceptam a direção estrutural principal NE-SW. Um outro ponto, com relação aos corpos intrusivos, diz respeito à análise de realces realizada em computador, onde se obteve em muitos casos uma melhor definição em relação à interpretação visual tanto de seus limites como de seu condicionamento estrutural.

No presente trabalho, obteve-se a compartimentação tectônica da área enfocada, através da individualização das principais faixas de dobramentos formadas e/ou remobilizadas durante os grandes ciclos tectônicos (Transamazônico, Uruaçuano e Brasileiro) descritas na literatura. Dada a complexidade da área, devido à superimposição de diversos eventos, optou-se pela subdivisão destes grandes compartimentos tectônicos em unidades com predominância de certos tipos litológicos, sem conotação estratigráfica.

Entre estes o mais expressivo é o embasamento remobilizado no Brasileiro, de idade Transamazônica (mais ou menos 2.000 m.a.), no qual foram individualizadas faixas com predominância de xistos e quartzitos com gnaisses subordinados; predominância de biotita gnaisses localmente migmatizados e migmatitos heterogêneos com quartzitos e rochas marmorizadas subordinadas; predominância de granitoides e migmatitos homogêneos, com gnaisses e migmatitos heterogêneos subordinados; predominância de rochas gnáissicas e migmatitos de composição kinzigítica, com biotita-gnaisses e migmatitos heterogêneos subordinados; predominância de charnockitos e granulitos maciços; charnockitos com foliação gnáissica, charnockitos localmente migmatizados e rochas intrusivas associadas.

Na Região de Dobramentos Sudeste de idade Brasileira, se distinguem faixas com predominância de ectinitos; faixas com predominância de migmatitos homogêneos e granitoides e faixas com predominância de migmatitos heterogêneos com ectinitos e calco silicatadas subordinadas. Nesta unidade são também individualizados os corpos graníticos, rochas alcalinas e básicas intrusivas.

A Região de Dobramentos Uruaçuana-Brasileira teve separadas as áreas com predominância de gnaisses com ectinitos subordinados e localmente migmatizados de áreas com predominância de ectinitos com gnaisses subordinados.

A Formação Barreiras e outros sedimentos terciários como os da Bacia de Taubatê e Resende, baixada litorânea, foram bem individualizadas das demais unidades e, por sua vez, foram separadas das planícies aluviais costeiras do norte do Rio de Janeiro e do leste do Espírito Santo.

Os grandes falhamentos transcorrentes, de direção NE-SW da parte sul da região enfocada, definidos por Hasui (1974) como Zona de Transcorrência São Paulo, foram mapeadas com facilidade. Embora não se possa observar rejeitos relacionados a estas falhas, elas encontram-se relacionadas com extensas faixas de rochas cataclásticas que se apresentam com aspecto característico, tanto nas imagens do LANDSAT como nos mosaicos de radar. Outros "trends" estruturais também foram reconhecidos: N-NE, EW, NNW-SSE.

### 3.7.2 - MAPA GEOLÓGICO PRELIMINAR DO PRÉ-CAMBRIANO DO ESTADO DO PIAUÍ

O mapa geológico preliminar do pré-cambriano do estado do Piauí é a primeira etapa do projeto, e foi desenvolvida por técnicos do INPE e do IPT. As etapas complementares previam verdade terrestre e avaliação dos recursos minerais da região.

O trabalho foi realizado com interpretação visual de imagens do LANDSAT e complementada com dados obtidos de mosaicos de radar do Projeto RADAMBRASIL. Dada a disposição particular das áreas pré-cambrianas, que seguem de forma descontínua os limites orientais do estado, o mapa foi dividido em três partes que correspondem, respectivamente, aos segmentos Sul, Leste e Norte do Piauí.

Foram individualizadas várias unidades geológicas nos diversos segmentos, e como esta fase inicial de trabalhos foi desenvolvida em laboratório, as informações obtidas não poderiam ser consideradas definitivas. Portanto, para a elaboração da coluna geológica e para o traçado de feições em áreas duvidosas foram tomados, como apoio, dados bibliográficos disponíveis.

Finalmente, a integração dos dados obtidos por sensores remotos aos das consultas bibliográficas e mapas preexistentes resultou na confecção dos mapas geológicos preliminares.

Foram separadas rochas do pré-cambriano indiferenciado (granitos, gnaisses e xistos) e do pré-cambriano superior (quartzitos, micaxistos, filitos), rochas sedimentares paleozóicas da Sinéclise do Parnaíba, rochas mezozóicas e terciárias.

As várias unidades fotogeológicas individualizadas, suas relações estratigráficas e elementos estruturais apresentaram uma grande concordância com trabalhos consultados.

### 3.7.3 - PROJETO GONDWANA (FOLHA JAGUARIBE)

Este projeto visa o mapeamento geológico-estrutural do nordeste do Brasil e da área correlacionável da África Equatorial. Até esta fase do projeto foi terminada a parte da fotointerpretação da Folha Jaguaribe (228.000 km<sup>2</sup>).

As unidades até agora delimitadas correspondem a unidades já conhecidas nos mapas e trabalhos anteriores. Porém, apresentam geralmente distribuições geográficas distintas e detalhes geológicos estruturais em maior número que os trabalhos prévios, mesmo aqueles de maior escala.

Após a análise inicial da região pode-se concluir que, para rochas fanerozóicas, não se devem esperar modificações substanciais. O mesmo não se pode dizer quanto às rochas pré-cambrianas.

Deve-se buscar um método que permita o estudo da continuidade das estruturas e das grandes feições geotectônicas entre estas duas áreas propostas. (Nordeste do Brasil e África Equatorial Oriental).

### 3.8 - EXEMPLOS DE PESQUISA MINERAL

#### 3.8.1 - PROJETO COBRE NO RIO GRANDE DO SUL

Este projeto visou o mapeamento geológico da porção centro-oeste do Escudo Sul-Riograndense ( $30^{\circ}00'$  a  $31^{\circ}30'$  Sul e  $52^{\circ}45'$  a  $53^{\circ}30'$  Oeste), na escala de 1:500.000, utilizando-se imagens multiespectrais do satélite LANDSAT. A abordagem da metodologia utilizada para a investigação geológica regional foi baseada numa sequência genérica de trabalho. O processo de extração de informações de um dado alvo da superfície através da análise da resposta espectral constitui, basicamente, na identificação e na análise dos diferentes padrões tonais e texturais, em cada canal espectral. Como resultado, notou-se que o grau de informações dos traços de estruturas (lineamentos e folhas) é relativamente maior. Observou-se que a área de ocorrência da Formação Santa Bárbara é mais ampla; é possível a delimitação das Camadas Varzinha e Camadas Guarda Velha da Formação Guaritas; os corpos graníticos emigmatitos heterogêneos da porção sudeste da área estudada mostraram-se consideravelmente diferentes em relação aos trabalhos existentes.

#### 3.8.2 - APLICAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DO COMPORTAMENTO GEOLÓGICO DA REGIÃO DO COMPLEXO ALCALINO DE ITATIAIA

É um trabalho de avaliação metodológica no mapeamento de áreas pré-Cambrianas complexas, através da interação de dados de verdade terrestre, do sistema MSS do LANDSAT e dos mosaicos de radar. Foram feitos também tratamentos automáticos de dados da região, visando o realçamento de estruturas e de áreas de depósitos de talus, que poderiam estar associados a possíveis depósitos de bauxita cuja ocorrência é conhecida na área.

Os resultados mostram a viabilidade da utilização de imagens na pesquisa geológico-estrutural; contudo, é importante o amparo da bibliografia prévia e da verdade terrestre.

### 3.9 - EXEMPLOS DE ANÁLISES AUTOMÁTICAS

#### 3.9.1 - PROJETO INTRUSIVAS

Um dos objetivos deste projeto é a caracterização espec  
tral das rochas intrusivas da região sudeste.

De maneira geral, foram utilizados os seguintes progra  
mas:

- Programa Ruído: Visa melhorar a qualidade visual da imagem, quando necessário.
- Filtragens: Visam também melhorar a qualidade visual da imagem, realçando ou suavizando "bordas", e definir estruturas que mui  
tas vezes se misturam, não aparecendo de forma definida na ima  
gem original.
- Slicer: Permite dividir a imagem em 8 faixas de níveis de cinza. Extrai o histograma de toda a imagem, ou somente da área de cur  
sor, o qual é plotado no vídeo do terminal.
- Stretch: Realça a imagem, contrastando seus níveis de cinza. Tamb  
ém constrói um histograma da imagem. Contém limitadores móveis que permitem alterar os limites normais dos níveis de cinza.

Foram realizados vários realces e filtragens e algumas classificações no IMAGE-100.

Estes tratamentos automáticos, de uma maneira geral e em caráter preliminar, definiram melhor os corpos intrusivos com relação a seus contatos com as rochas encaixantes adjacentes, seja pela carac  
terística espectral particular de cada corpo rochoso, seja pelo realce dos padrões estruturais distintos e particulares de cada formação ou corpo rochoso.

### 3.9.2 - PESQUISA MINERAL DE DEPÓSITOS DE ILMENITA PRIMÁRIA NA REGIÃO DE FLORESTA (PE) ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE DADOS DO LANDSAT: 1978

A pesquisa visou definir áreas potencialmente favoráveis à ocorrência de ilmenita primária, importante como matéria prima na Indústria de pigmentos, através do uso de classificação em computadores.

A metodologia constou da realização de classificações supervisionadas utilizando o Analisador Multispectral IMAGE-100 do INPE, as quais revelaram mais de 600 áreas favoráveis, em cerca de 500 km<sup>2</sup>. Parte desta região, com quase uma centena de áreas indicadas, foi verificada, de onde resultaram quatro jazidas de teor médio e pobre (18% a 5% de TiO<sub>2</sub>); duas outras jazidas de pequenas dimensões, não-alarmadas, foram também encontradas.

### 3.10 - EXEMPLOS DE APLICAÇÕES UTILIZANDO-SE OUTROS TIPOS DE SENSORES

#### 3.10.1 - FOTOGRAFIA AÉREA

Como é bem conhecido, a fotografia aérea é o sistema de sensoriamento remoto mais largamente usado atualmente. É indiscutível a contribuição dada por este produto para mapeamentos geológicos e exploração mineral.

#### 3.10.2 - RADAR DE VISADA LATERAL

Tem tido uma aplicação sistemática na obtenção de dados detalhados em regiões onde as condições climáticas dificultam a obtenção da fotografia convencional. Os seus dados podem ser interpretados para fornecer informações sobre a topografia, geologia, solos, drenagem e vegetação.

É possível uma pseudo-estereoscopia; entretanto, existe uma séria perda de detalhe em áreas sombreadas.

Terrenos tropicais e grandes e remotas regiões, onde a cobertura de nuvens é constante, têm sido sobrevoados a custos aceitáveis. Por exemplo, o Projeto RADAMBRASIL, que mapeou cerca de 5 milhões de km<sup>2</sup> do território nacional, concentrando-se inicialmente na região amazônica, conhecida por seu difícil acesso.

São utilizados em conjunto com as imagens do satélite LANDSAT. Na maioria dos casos os produtos se complementam, fornecendo uma melhor visualização das estruturas geológicas e possibilitando sua melhor interpretação.

### 3.10.3 - "SCANNER" INFRAVERMELHO TERMAL AEREOPORTADO

Este sensor é utilizado para localizar e mapear contrastes superficiais de temperatura e emissividade, e tem sido empregado na prospecção de fontes de energia geotermal. Além disso, fornece uma resolução relativamente alta, a custos razoáveis.

### 3.11 - EXEMPLO DE APLICAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO NA PROSPECÇÃO DE ANOMALIA GEOTERMAL NO MUNICÍPIO DE CALDAS NOVAS - GOIÁS

Este projeto teve como objetivo principal a identificação e delimitação de áreas termalmente anômalas na região, e o estudo da viabilidade de aplicação do Imageador Termal do INPE em pesquisas desta natureza.

Estas anomalias estão intrinsecamente relacionadas com a presença de sistemas aquíferos de águas termo-minerais que atingem, na região, temperaturas de até 52°C. Embora o imageador não tenha sido efetivamente utilizado, medições de temperatura feitas na área, utilizando-se termômetros de solo e termômetro radiométrico (PRT-5), mostraram a viabilidade de utilização do sensor na pesquisa. As medidas mostraram diferenças de temperatura de até 17°C entre o background e áreas anômalas. Foram definidas quatro áreas, que seriam perfeitamente detectadas com o Scanner Infravermelho Termal.

Nessas áreas foram feitas posteriormente sondagens resultando em 9 poços com águas quentes, 2 com lama quente e 3 com água fria.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AM. ICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of Remote Sensing*. Falls Church, VA, 1975. V.2.
- ANJOS, C.E.; VENEZIANI, P. *Sensores remotos aplicados à prospecção de águas termominerais no Município de Caldas Novas - Goiás*. São José dos Campos, INPE, jan., 1979. (INPE-1412-RPE/001).
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. *Projeto Radam*.
- CARRARO, C.C.; CHIANG, L.C.; YAMAGATA, S.K. *Interpretação Geológica da região do alto e médio São Francisco, baseada nas imagens MSS -ERTS-1*. São José dos Campos, INPE, 1975. (INPE-790-TPT/018).
- CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo, Edgar Blucher, EDUSP, 1974.
- CORREA, A.C.; MENDONÇA, F. de; LIU, C.C. *Case studies on the application of LANDSAT imagery in geological mapping in Brazil*. São José dos Campos, INPE, Aug., 1975. (INPE-729-PE/006).
- CREPANI, E.; MARTINI, R.R.; CUNHA, R.P. *Projeto Gondwana: Folha Jaguaribe - SB-24*. São José dos Campos, INPE, ago., 1978. (INPE-1328-PE/158).
- CREPANI, E.; VENEZIANI, P.; MARTINI, P.R.; PAIVA FILHO, A.; MOÇO, M. *Mapa geológico preliminar do pré-cambriano do Piauí*. São José dos Campos, INPE, out. 1977. (INPE-1146-PE/049).
- HOWARD, A.D. Drainage analysis in geologic interpretation. *The American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, 51:(11):2246-2259. 1967.
- LUEDER, D.R. *Aerial photographic interpretation; principles and applications*. New York, MacGraw-Hill, 1959.
- NORTHFLEET, A.A.; BETTINI, C.; CHAVES, H.A.F. Aplicação da geometria à prospecção de petróleo análise de fraturas por poliedros ortogonais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25. São Paulo, 1971. Anais. São Paulo, Sociedade Brasileira de Geologia, 1971. V.3 p. 61-70.

- OHARA, T. *Projeto Cobre no Rio Grande do Sul*. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE. a ser publicada.
- PARADELA, W.R.; MENESES, P.R.; MATTOSO, S.O. de Pesquisa Mineral de Depósitos de Ilmenita Primária na Região de Floresta (PE), através de Técnicas de Classificação Automática de Dados LANDSAT. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE TÉCNICAS EXPLORATÓRIAS EM GEOLOGIA, 2., Gravatal, 1979. Anais. Porto Alegre, MME/DNPU, 1979, p. 307-317.
- RICCI, M.; PETRI, S. *Princípios de aerofotogrametria e interpretação geológica*. São Paulo, Nacional, 1965.
- RODRIGUES, J.E. *Aplicação de sensoriamento remoto no estudo do comportamento geológico da região do complexo alcalino de Itatiaia*. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE. No prelo.
- SIMONETT, D.S.; LINTZ, Jr., J. *Remote Sensing of Environment*. Reading, MA, Addison-Wesley, 1976.
- THORNBURY, W.D. *Principles of geomorphology*. New York, John Wiley, 1969.
- VENEZIANI, P. Interpretação de dados de sensoriamento remoto em geologia. In: INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS. Departamento de Sensoriamento Remoto (INPE/DSR). *Curso de treinamento; introdução às técnicas de sensoriamento remoto e aplicações*. São José dos Campos, ago. 1980. cap. 5, p. V.1-V.17. (INPE-1869-MD/004).
- VENEZIANI, P. Metodologia de interpretação de dados orbitais (LANDSAT) no mapeamento geológico regional. In: INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS. Departamento de Sensoriamento Remoto (INPE/DSR). *Curso de treinamento; Aplicações de sensoriamento remoto, com ênfase em imagens LANDSAT, no levantamento de recursos naturais*. São José dos Campos, out. 1980. Cap. 4, p. IV.1-IV.25. (INPE-1949-MD/006).
- VENEZIANI, P.; SANTOS, A.R.; ANJOS, C.E.; BARBOSA, M.P. *Projeto estudo das rochas intrusivas*. INPE inédito.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- GREGORY, A.F.; MOORE, H.P. *The role of Remote Sensing in mineral exploration*. Ottawa, Canada, Gregory Geoscience, 1974.
- . *Recent advances in geologic applications of Remote Sensing From space*. Ottawa, Canada, Gregory Geoscience, 1973.
- GUY, M. Quelques principes et quelques experiences sur la metodologie de la photo interpretation. In: SYMPOSIUM INTERNATIONAL DE PHOTO INTERPRETATION, 2., Paris, 1966. Acte. V.1, p. 21-24.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; COIMBRA, A.M. The Ribeira folded belt. *Revista Brasileira de Geociências*, 5(4):257-266, 1975.
- NASA. *Useful applications of Earth-oriented satellites - Geology - 2-*. Washington D.C., 1969.
- SOARES, P.C.; FIORI, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Noticia Geomorfológica*, 16:72-104, 1976.