



1. Publicação nº <i>INPE-2227-MD/014</i>	2. Versão <i>2ª Versão</i>	3. Data <i>Nov., 1982</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DDS</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>61</i>	
		11. Última página: <i>54</i>	
		12. Revisada por <i>Athos Ribeiro dos Santos</i>	
9. Autoria <i>Paulo Veneziani Célio Eustáquio dos Anjos</i>		13. Autorizada por <i>Nelson de Jesus Parada</i> Diretor	
Assinatura responsável <i>Paulo Veneziani</i>			
14. Resumo/Notas <p><i>Os objetivos deste trabalhos 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 de Guy, 1966, 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 ideia 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 from Guy, 1966, was used and adapted 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

	pág.
LISTA DE FIGURAS	v
 <u>CAPÍTULO I</u>	
1.1 - Introdução	1
1.2 - Metodologia	2
1.2.1 - Elemento de fotointerpretação	2
1.2.1.1 - Textura fotográfica	2
1.2.1.2 - Estrutura fotográfica	3
1.2.1.3 - Forma	3
1.2.1.4 - Tonalidades (níveis) de cinza	3
1.2.1.5 - Sombras	3
1.2.2 - Discussão sobre a escolha do método de fotointerpretação ...	4
1.2.3 - Caracterização das formas e definição de zonas homólogas	4
1.2.4 - Relacionamento entre a textura fotográfica e estrutura das feições e objetivos da paisagem superficial	11
1.2.5 - Análise das formas da rede de drenagem	13
1.2.5.1 - Propriedades texturais da rede de drenagem	14
1.2.6 - Dados obtidos através da análise destas 6 propriedades	17
1.2.7 - Esquema para realização da análise das formas da rede de drenagem sobre imagens fotográficas do LANDSAT	18
1.2.8 - Análise das formas de relevo	19
1.2.8.1 - Propriedades texturais das formas de relevo	19
1.2.9 - Esquema para análise das formas de relevo sobre as imagens fotográficas do LANDSAT	22
1.2.10 - Análise das tonalidades (níveis) de cinza	24
1.2.11 - Fotointerpretação	25
 <u>CAPÍTULO 2</u>	
Aplicações de Sensoriamento Remoto em geologia	31
2.1 - Dados do LANDSAT e níveis de interpretação	32
2.1.1 - Níveis de interpretação	33
2.2 - Considerações gerais sobre o mapeamento geológico	34
2.2.1 - Geomorfologia	34

	pág.
2.2.2 - Geologia estrutural	34
2.2.3 - Litologia	35
2.2.4 - Estratigrafia	35
2.2.5 - Geologia superficial	35
2.2.6 - Processos dinâmicos	36
2.3 - Aplicação de imagens do LANDSAT no mapeamento geológico	36
2.4 - Aplicações de imagens do LANDSAT em pesquisa mineral	39
2.5 - Aplicações de imagens do LANDSAT em hidrogeologia	40
2.6 - Aplicações de imagens do LANDSAT em geotécnica	40
2.7 - Exemplos de mapeamento regional	41
2.7.1 - Projeto estudo das rochas intrusivas: SE de SP; partes do sul de Minas Gerais; Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo	41
2.7.2 - Mapa geológico preliminar do pré-cambriano do Estado do Piauí	43
2.7.2 - Projeto Gondwana (Folha Jaguaribe)	44
2.8 - Exemplos de Pesquisa Mineral	45
2.8.1 - Projeto Cobre no Rio Grande do Sul	45
2.8.2 - Aplicação de Sensoriamento Remoto no estudo do comportamento geológico da região do complexo alcalino de Itatiaia	45
2.9 - Exemplos de análise automáticas	46
2.9.1 - Projeto intrusivas	46
2.9.2 - Pesquisa mineral de depósitos de ilmenita primária na região de floresta (PE) através de técnicas de classificação automática de dados do LANDSAT: 1978	47
2.10 - Exemplos de aplicações utilizando-se outros tipos de sensores	47
2.10.1 - Fotografia aérea	47
2.10.2 - Radas de visada lateral	47
2.11 - Exemplo da aplicação de Sensoriamento Remoto na prospecção de anomalia geotermal no município de Caldas Novas-Goiás	48
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	51
BIBLIOGRÁFICA RECOMENDADA	53

LISTA DE FIGURAS

	pág.
1.1 - A iluminação oblíqua, no instante da tomada da imagem, proporciona o efeito do sombreamento que irá fornecer a idéia da morfologia	5
1.2 - Rupturas de declive em imagens MSS LANDSAT	6
1.3 - Os segmentos dos canais, localizados entre dois pontos, são os elementos texturais de drenagem	7
1.4 - Propriedades que caracterizam as formas da rede de drenagem e do relevo	9
1.5 - "A" e "B" são zonas homólogas em propriedades. "Y" é um alinhamento de drenagem, isto é, uma forma linear estruturada que determina um limite <i>definido</i> entre as zonas homólogas.	
1.6 - "A" e "B" são zonas homólogas em propriedades texturais de relevo. "Y" é um limite <i>progressivo</i> na zona de transição dos elementos texturais	10
1.7 - "A" e "B" são zonas homólogas em propriedades texturais de relevo. "Y" é um limite <i>envoltório</i> na passagem difusa da Zona "A" para a "B"	11
1.8 - "A" e "B" são zonas com diferentes densidades texturais de drenagem por unidade de área arbitrária. "Y" é o limite entre zonas homólogas	14
1.9 - ℓ: lineações de drenagem; a: alinhamentos de drenagem	15
1.10 - A confluência dos elementos texturais de drenagem na zona homóloga "A" é bastante acentuada e se faz por meio de ângulos aproximadamente retos (90°)	15
1.11 - Tropa unidirecional preferencial "A"; Tropa bidirecional preferencial "B"; Tropa multidirecional ordenada "C"; Tropa multidirecional desordenada "D"	16
1.12 - Drenagem fracamente assimétrica "A"; Drenagem fortemente assimétrica "B"	16
1.13 - Nas zonas homólogas "A", observa-se a uniformidade em função da densidade textural, tropia, angularidade e lineações texturais. Nas zonas "B", as propriedades não são persistentes. A largura do canal principal não é constante, ele é não uniforme	17

	pág.
1.14 - Sugestão para legenda	19
1.15 - As quebras de relevo da superfície irão aparecer como res alongados luz-sombra nas imagens fotográficas LANDSAT	20
1.16a- O plano de declividade estrutural (zona homóloga A) forma um ângulo baixo com a linha do horizonte (h), pois o re levo é fortemente assimétrico. Quanto maior é este ângulo menor é a assimetria e, portanto, mais acentuado o mergu gulho estrutural	21
1.16b- A largura da região iluminada na imagem fotográfica do LANDSAT é bem maior que a da sombreada indicando a forte assimetria do relevo	21
1.17 - Sugestão de legenda para as propriedades texturais de relevo	24
1.18 - Legenda associando o significado geológico	27
1.19 - Diagrama do fluxo para mapeamento geológico utilizando pro dutos do LANDSAT	29

CAPÍTULO I

METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE PRODUTOS LANDSAT NO MAPEAMENTO GEOLÓGICO REGIONAL

1.1 - INTRODUÇÃO

O estabelecimento de uma metodologia e a definição de critérios de interpretação visual dos produtos LANDSAT têm sido uma das principais atividades dos Departamentos de Sensoriamento Remoto e de Aplicações de Dados de Satélite, que constituem o desmembramento do antigo Departamento de Sensoriamento Remoto do Instituto de Pesquisas Espaciais. O empenho em definir um procedimento adequado e lógico para o mapeamento geológico regional levou à sistematização de regras que orientam os trabalhos de interpretação, de tal maneira que possam ser transmitidas e compreendidas por técnicos que se dedicam a tal atividade.

De um modo geral, as regras que conceituam estes procedimentos podem ser enunciadas como se segue:

- a análise dos elementos de textura e da estrutura fotográfica e das tonalidades (níveis) de cinza, a fim de definir as propriedades que caracterizam a forma e individualização de áreas imageadas que possuam características semelhantes (zonas homólogas);
- o processamento dedutivo e indutivo destas áreas em seu significado geológico.

O bom desempenho nestas atividades relaciona-se diretamente com o entendimento das características dos produtos, isto é, do sensor e da geometria das imagens (já vistas nos capítulos precedentes), com o conhecimento prévio da área a ser mapeada e a experiência em trabalhar com fotointerpretação.

Neste capítulo procurar-se-á orientar os técnicos interessados a seguir critérios adaptados da metodologia desenvolvida para a fotointerpretação de fotografias aéreas, de um modo didático, a fim de capacitá-los na utilização dos produtos do LANDSAT.

Pretende-se chamar a atenção para o fato da realização de trabalhos de campo: será um grave erro imaginar que estes trabalhos podem ser relegados a um segundo plano e que a utilização dos produtos do LANDSAT pode substituí-los. É somente em contacto direto com os afloramentos que se pode avaliar o significado geológico das feições extraídas das imagens.

Portanto, o emprego da técnica e dos produtos LANDSAT deve ser encarado com prudência para que não seja desvirtuada a potencialidade destas ferramentas auxiliares, que podem minimizar os custos de um projeto, mas possuem vantagens e limitações como qualquer outra.

1.2 - METODOLOGIA

1.2.1 - ELEMENTOS DE FOTOINTERPRETAÇÃO

1.2.1.1 - TEXTURA FOTOGRÁFICA

Adotou-se a definição de Soares e Fiori (1976) para o elemento de fotointerpretação. Elemento de textura é a menor superfície contínua e homogênea, distinguível na imagem fotográfica e possível de repetição. Isto implica uma forma e dimensões definidas, para este elemento, e que a textura fotográfica seja um padrão de arranjo de elementos texturais.

É evidente que a distinção destes elementos, isto é, sua individualização, é uma função da escala e da resolução espacial dos produtos LANDSAT e do contraste entre objetos ou feições da superfície do terreno.

1.2.1.2 - ESTRUTURA FOTOGRAFICA

Adotou-se a definição dos autores acima citados. Estrutura fotográfica é a lei que exprime o padrão de organização no espaço dos elementos texturais. Implica, portanto, uma disposição ordenada ou aleatória dos elementos distinguíveis segundo os mais variados padrões (retilíneos, curvilíneos, com formas geométricas ou não).

1.2.1.3 - FORMA

Adotou-se a definição dos mesmos autores. As formas exprimem a disposição espacial dos elementos texturais com propriedades comuns.

1.2.1.4 - TONALIDADES (NÍVEIS) DE CINZA

No papel fotográfico, onde estão registradas as imagens obtidas pelos sensores do MSS-LANDSAT, existem 16 tonalidades (matizes do cinzento) que são representantes dos 256 níveis de cinza gravados originalmente. Estão diretamente relacionadas com a reflectância dos materiais superficiais imageados, nas bandas do espectro eletromagnético de atuação dos sensores.

No caso das imagens RBV-LANDSAT, as 16 tonalidades (matizes do cinzento) distinguíveis são semelhantes às das fotografias aéreas pancromáticas.

1.2.1.5 - SOMBRAS

As sombras, nas imagens fotográficas, são resultantes da iluminação oblíqua, pelo Sol, da superfície do terreno, no instante da tomada de registros pelos sensores LANDSAT.

1.2.2 - DISCUSSÃO SOBRE A ESCOLHA DO MÉTODO DE FOTOINTERPRETAÇÃO

O método escolhido é o lógico, surgido das pesquisas de Guy (1966) e sistematizado por Riverau (1972). Baseia-se, essencialmente, no estudo das *propriedades das formas*, permitindo que a fotointerpretação possa ser utilizada como um meio de descoberta autônomo, que permite analisar a paisagem sem idéias preconcebidas.

Existem estruturas ao mesmo tempo comuns às imagens fotográficas e ao espaço que as feições ou objetos ocupam na superfície imageada. Se em imagens de uma mesma região observam-se estruturas semelhantes, as feições ou objetos da superfície possuem propriedades semelhantes, sem dúvida

Dos dois parágrafos acima, pode-se deduzir que as características dos produtos utilizados não irão influir na estrutura do método e, portanto, este poderá ser utilizado, com sucesso, para extrair informações das imagens fotográficas MSS e RBV, desde que certos critérios sejam estabelecidos. Estes critérios, por sua vez, dizem respeito a adaptações necessárias em função dos seguintes aspectos:

- a) impossibilidade de utilizar o recurso da estereoscopia (visão tridimensional);
- b) baixa resolução espacial dos produtos (80 m para o MSS e 40 m para o RBV);
- c) possibilidade de caracterizar os alvos em diferentes bandas do espectro, nos produtos do MSS.

1.2.3 - CARACTERIZAÇÃO DAS FORMAS E DEFINIÇÃO DE ZONAS HOMÓLOGAS

Para definir os caracteres das formas, existem 5 propriedades. Através destas, torna-se possível introduzir a definição de zonas homólogas.

Mas, antes de discutir estas definições, é necessário esclarecer de que modo devem ser obtidos os elementos de textura de relevo e de drenagem sobre as imagens fotográficas do LANDSAT.

Quando se consideram imagens fotográficas de alta resolução espacial, obtidas de tal modo que seja possível conseguir a visão tridimensional (estereoscópica), o elemento de textura do relevo é definido em função das rupturas de declive. No caso das imagens MSS e RBV a sombra é função das rupturas de declive. Portanto, este elemento é a menor superfície distinguível, contínua e homogênea, definida nestas imagens pelos pares alternados "luz-sombra". A Figura 1.1 procura esquematizar tal definição.

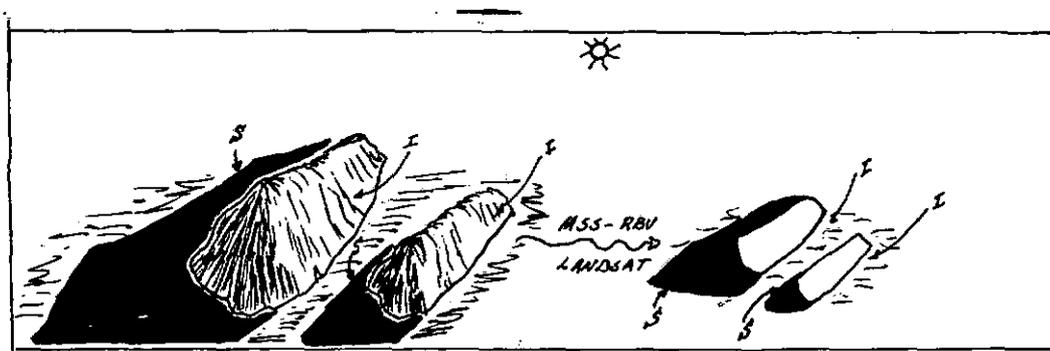


Fig.1.1- A iluminação oblíqua, no instante da tomada da imagem, proporciona o efeito do sombreamento que irá fornecer a idéia da morfologia do terreno.

I - Região iluminada - luz

S - Região sombreada - (sombra)

I e S - são elementos texturais de relevo.

Torna-se evidente a ocorrência de perda de informações sobre os elementos texturais do relevo, quando as dimensões destes, na superfície do terreno, não são compatíveis com certos limites que aqui se convencionou chamar "limites superiores e inferiores". A Figura 1.2 procura ilustrar este fato. Além disso, quando as quebras de relevo e rup

turas de declive são paralelas ao azimute solar, não se podem obter in formações com relação a estas feições.

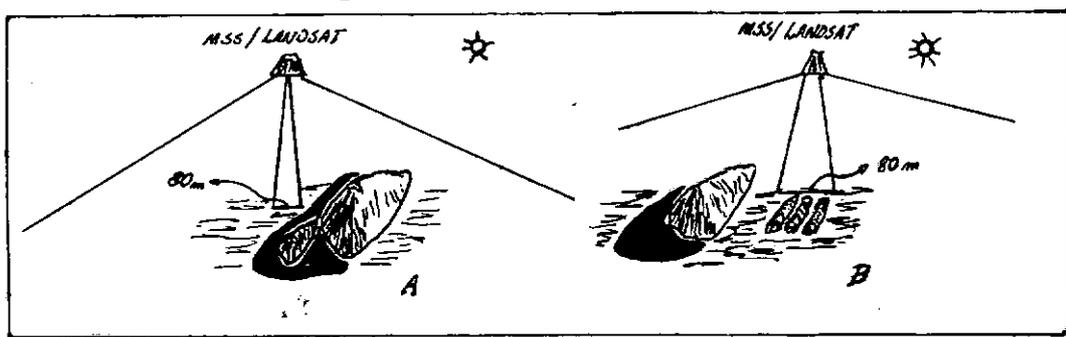


Fig.1.2 - Rupturas de declive em imagens MSS LANDSAT.

Observa-se que em "A" as dimensões da escarpa à direita ultrapassam as da escarpa à esquerda (neste caso, o "limite superior", é a altura), fazendo com que esta fique totalmente sombreada. Em "B", observa-se que as dimensões das ondulações (larguras) são muito reduzidas (neste caso, o "limite inferior" é determinado pelo elemento de resolução), que ocasiona uma "homogeneização da iluminação" que torna as rupturas de declive imperceptíveis.

Com relação aos elementos texturais de drenagem, não há necessidade de definições especiais, pois, praticamente, eles são observados nas imagens fotográficas do LANDSAT, como o são em fotografias aéreas comuns. São os menores segmentos de uma linha de drenagem, homogêneos e com dimensões definidas. (Figura 1.3).

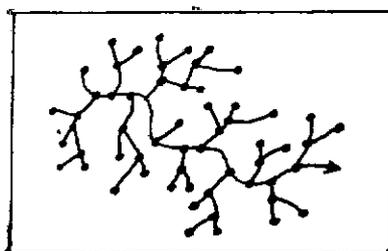


Fig. 1.3 - Os segmentos dos canais, localizados entre dois pontos, são os elementos texturais de drenagem.

Embora não haja necessidade de artifícios para poder de finir os elementos texturais de drenagem, como foi necessário para o caso dos de relevo, devem ser levados em conta os seguintes problemas:

- 1) Os canais de primeira ordem dificilmente podem ser observados por problemas de resolução espacial e ausência de visão tridi mensional;
- 2) Em regiões com alta densidade de drenagem e relevo fortemente dissecado é muito difícil individualizar as diversas linhas que compõem uma bacia, pelos mesmos fatos mencionados no item acima.

Quanto ao primeiro problema não existe solução. Já com relação ao segundo, é possível e necessário realizar a extração das li nhas, com grau razoável de confiabilidade, realizando-se os seguintes ar tifícios:

- a) extrair os canais de 4^a ordem (rios principais) e os de 3^a or dem dos canais 5 e 7 e cenas correspondentes do RBV, com auxílio de cartas topográficas e/ou planimétricas, sobre um "overlay";
- b) tentar definir a(s) tropia(s) da(s) bacia(s);
- c) inferir as linhas de drenagem, com base na intersecção dos pa res luz-sombra. Recordando a definição do elemento textural de relevo, estes pares estão diretamente relacionados com a existên

cia das rupturas de declive, onde normalmente se encaixam as linhas de drenagem.

A extração detalhada da rede de drenagem é de vital importância como subsídio à fotointerpretação. Vários dados geológico-estruturais, geomorfológicos e pedológicos são obtidos a partir da análise das formas da rede de drenagem. Além disso, a investigação minuciosa, realizada sobre as imagens fotográficas, durante a tentativa de extrair o maior número de detalhes possíveis, familiariza o técnico com o produto, permitindo que ele "enxergue além" das deficiências deste.

Após estas discussões sobre elementos texturais é possível definir as propriedades que caracterizam as formas e o conceito de zonas homólogas.

- 1) *Propriedade qualitativa dos elementos texturais:* é a propriedade que atribui uma qualidade, classifica os elementos texturais. Através dela define-se que o elemento distinguido é de drenagem, de relevo, de floresta, de cidade, etc.;
- 2) *Densidade de textura:* é uma propriedade quantitativa que pode ser considerada como uma avaliação relativa. Diz respeito à quantidade de elementos texturais distinguíveis por área imageada;
- 3) *Estrutura:* é uma propriedade qualitativa e refere-se à organização dos elementos texturais no espaço (Figura 4 A e B);
- 4) *Grau de estruturação:* é uma propriedade quantitativa e está relacionada com a lei de ordenação dos elementos texturais. Quando a lei de ordenação é mal definida, a forma é fracamente estruturada. Quando os elementos possuem uma disposição regularmente ordenada, a forma é fortemente estruturada (Figura 4 C e D);
- 5) *Ordem de estruturação:* é uma propriedade qualitativa. Relaciona-se com a complexidade de organização dos elementos texturais. Quanto maior é a ordem, mais evidente é o resultado de um determinado fator de condicionamento da forma (Figura 4 E e F);

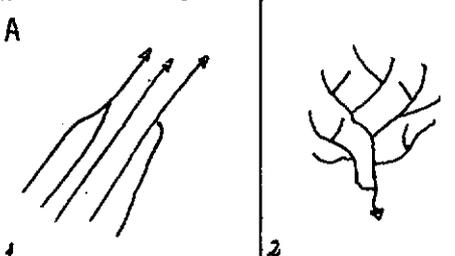
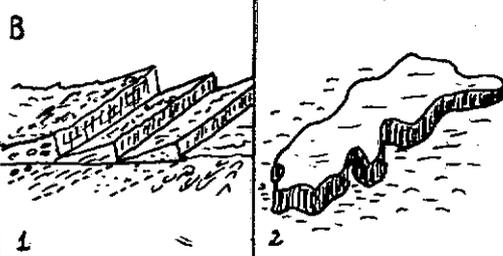
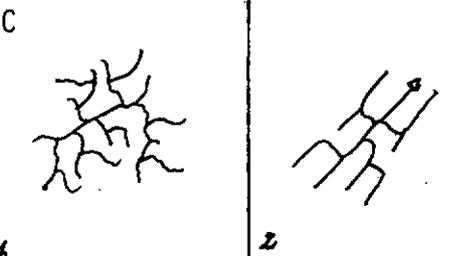
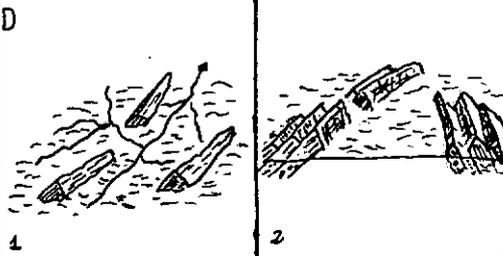
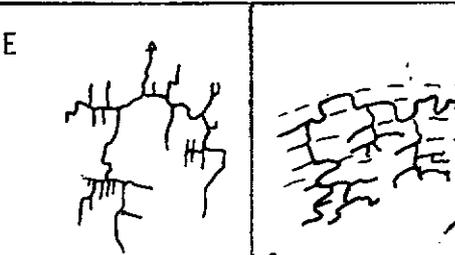
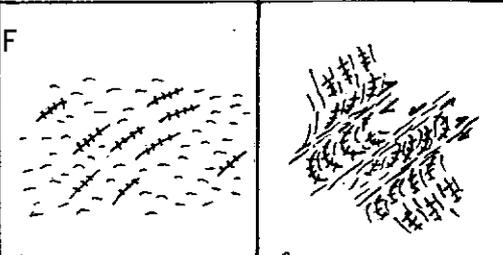
DRENAGEM		RELEVO	
A		B	
A- ESTRUTURA 1- Organização linear; 2- Organização em "árvore" (dendrítica).		B- ESTRUTURA 1- Organização em cristas, linear; 2- Organização sem formas geométricas definidas	
C		D	
C- GRAU DE ESTRUTURAÇÃO 1- Disposição irregular; 2- Disposição regularmente ordenada: forma fortemente estruturada.		D- GRAU DE ESTRUTURAÇÃO 1- Disposição irregular: forma fracamente estruturada; 2- Disposição regularmente ordenada: forma fortemente estruturada.	
E		F	
E- ORDEM DE ESTRUTURAÇÃO 1- Organização simples: ordem baixa. 2- Organização complexa (treliça recurvado superimposto a dendrítico): ordem alta (fator de condicionamento da forma: antiforma).		F- ORDEM DE ESTRUTURAÇÃO 1- Organização simples: ordem baixa. 2- Organização complexa (deformações plásticas geradas por falhas): ordem alta (fator de condicionamento da forma: falhamento transcorrente).	

Fig. 1.4 - Propriedades que caracterizam as formas da rede de drenagem e do relevo.

Através destas propriedades é possível conceituar as zonas homólogas: são áreas delimitadas sobre as imagens fotogrâficas, constituídas por elementos texturais que possuem *propriedades qualitativas* idênticas e a mesma *estrutura*. Seus limites podem ser *definidos* quando coincidem com formas lineares estruturadas (Figura 1.5), *progressivos* quando se verifica uma transição entre elementos de zonas adjacentes (Figura 1.6) e *envoltórios* quando a passagem entre propriedades e estruturas distintas é muito difusa (Figura 1.7).

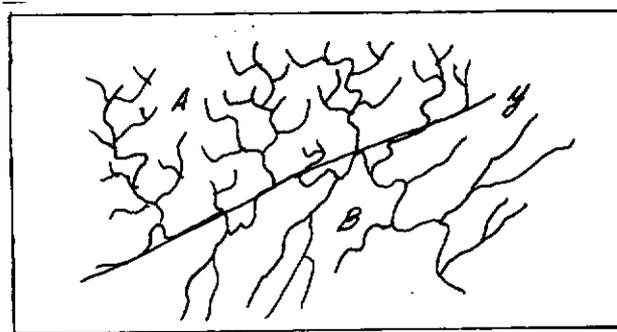


Fig. 1.5 - "A" e "B" são zonas homólogas em propriedades. "Y" é um alinhamento de drenagem, isto é, uma forma linear estruturada que determina um limite *definido* entre as zonas homólogas.

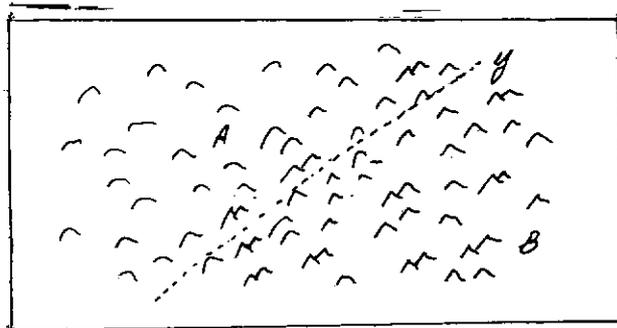


Fig. 1.6 - "A" e "B" são zonas homólogas em propriedades texturais de relevo. "Y" é um limite *progressivo* na zona de transição dos elementos texturais.

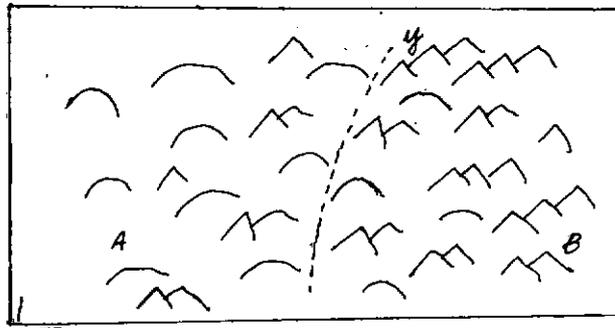


Fig. 1.7 - "A" e "B" são zonas homólogas em propriedades texturais de relevo. "Y" é um limite *envoltório* na passagem difusa da Zo na "A" para "B".

1.2:4 - RELACIONAMENTO ENTRE A TEXTURA FOTOGRÁFICA E A ESTRUTURA DAS FEIÇÕES E OBJETOS DA PAISAGEM SUPERFICIAL.

A estrutura espacial das feições e objetos, que compõem a paisagem superficial, influencia diretamente a textura fotográfica. Ao definir quais são os fatores que ocasionam esta influência estar-se-á dando um significado lógico para a análise das propriedades texturais de drenagem e relevo, bem como, para a análise das tonalidades de cinza.

Soares e Fiori (1976) apresentaram uma excelente discussão a respeito destes fatores, motivo pelo qual, recomenda-se a leitura dos autores acima citados e também que a discussão desta assunto seja apresentada aqui, de forma resumida. Serão incluídos outros fatores que auxiliam indiretamente a fotointerpretação geológica.

- 1) *Fatores morfogenéticos*: são os responsáveis pela elaboração das formas de relevo e da rede de drenagem. A modelagem de formas ocasionada é uma função dos agentes do medelado e da estrutura do material rochoso sobre o qual eles atuam. Existem os agentes externos que, em grande parte, são uma função do clima e os a gentes internos que são função da tectônica:

- a) Agentes externos - meteorização, erosão fluvial, erosão glacial, erosão glacial, erosão marinha e erosão devida à intervenção humana;
 - b) agentes internos - processos tectônicos recentes;
- 2) *Fatores litológicos* - são fatores que dependem das propriedades físicas e químicas dos materiais rochosos. Os principais são:
- a) *Resistência à erosão*: o melhor critério analítico para interpretar os graus de erodibilidade de materiais rochosos é o exame das vertentes. No entanto, quando se utiliza imagens fotográficas do LANDSAT, tal critério não pode ser aplicado devido aos motivos expostos no item 1.2.3. Apesar disto, é possível realizar observações em termos relativos, através da comparação de áreas com diferentes densidades texturais de relevo e drenagem, que podem fornecer dados do ponto de vista regional com relação a diferentes unidades geológicas.
 - b) *Permeabilidade*: o critério mais adequado, que também fornece dados regionais relativos, para se ter uma idéia a respeito da permeabilidade dos materiais superficiais imageados pelo LANDSAT, é baseado no estudo comparativo da densidade textural de drenagem.
 - c) *Plasticidade e ruptibilidade*: o critério baseia-se na obtenção de informações sobre zonas de concentração de fraturas que estão refletidas nas lineações texturais de relevo e drenagem.
 - d) *Solubilidade*: o critério também é relativo e baseia-se na observação da densidade textural de drenagem:
 - e) *Tropia*: o critério baseia-se na análise das lineações texturais de relevo e drenagem que podem ser reflexos da intersecção de planos de foliações com a superfície topográfica.

- 3) *Fatores deformaionais*: são fatores resultantes das deformações sofridas pelos materiais rochosos (tectônica ou atectônica_{mente}), as quais deixam suas características impressas nas formas de relevo e da rede de drenagem. Os principais são:
- a) *Falhamentos*: o critério baseia-se na identificação de zonas fortemente estruturadas (alinhamentos de relevo e/ou drenagem):
 - b) *Faturamentos*: o critério baseia-se na identificação de lineações texturais de relevo e/ou de drenagem;
 - c) *Foliações*: O critério baseia-se na identificação de lineações texturais de relevo e/ou de drenagem;
 - d) *Dobramentos*: O critério baseia-se na identificação das lineações texturais de relevo e na determinação do sentido do mergulho através de observação das assimetrias do relevo e/ou drenagem.
- 4) *Fatores antropogenéticos*: são fatores resultantes de atividade humana sobre a superfície imageada. Como exemplos pode-se citar o desaterro e o aterro antropogenéticos, as atividades de exploração mineral e etc. O critério para identificação destas atividades baseia-se no estudo das propriedades que caracterizam a forma (principalmente a ordem de estruturação) e tonalidade de cinza.
- 5) *Fatores ligados ao desenvolvimento da vegetação natural*: São fatores ligados ao "condicionamento geológico" da vegetação natural tais como, certos alinhamentos de vegetação, anomalias geobotânicas, exuberância correlacionada ao tipo de solo-rocha, etc. O critério baseia-se essencialmente na análise das tonalidades de cinza.

1.2.5 - ANÁLISE DAS FORMAS DA REDE DE DRENAGEM

Já foi visto que, para caracterizar uma forma e definir uma zona homóloga, existem cinco propriedades (ver item 1.2.2).

Por outro lado, existem propriedades particulares da rede de drenagem entendida como um arranjo de canais ramificados, que são analisadas em busca de inferências geológico-estruturais a respeito dos materiais superficiais imageados. Estas propriedades particulares levam à definição daquelas cinco que caracterizam as formas tornando possível delimitar as zonas homólogas.

1.2.5.1 - PROPRIEDADES TEXTURAS DA REDE DE DRENAGEM

- 1) Densidade textural: pode ser definida com a razão entre o número de elementos texturais de drenagem por unidade de área (Figura 1.8). É utilizada para definir zonas homólogas em densidade textural de drenagem.

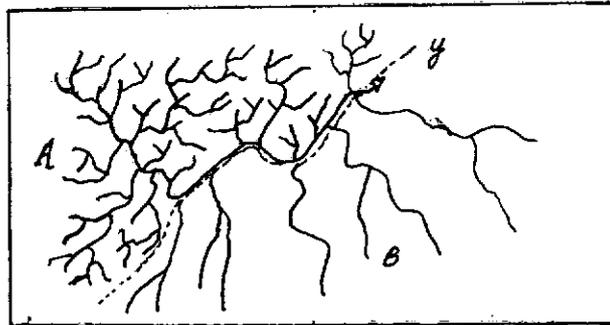


Fig. 1.8 - "A e "B" são zonas com diferentes densidades texturais de drenagem por unidade de área arbitrária. "Y" é o limite em zonas homólogas.

- 2) Alinhamentos, lineações e curvaturas dos elementos texturais de drenagem: as lineações de drenagem são definidas por segmentos retilíneos de elementos texturais e a disposição destes, em linha reta, define os alinhamentos. Curvaturas são segmentos curvilíneos dos elementos texturais (Figura 1.9).

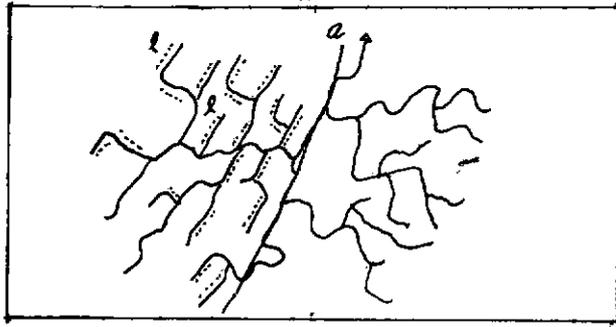


Fig.1.9- l : lineações de drenagem;
a : alinhamentos de drenagem.

Estas propriedades servem para definir o grau e a ordem de estruturação da rede de drenagem.

- 3) Angularidade dos elementos texturais: é definida em termos dos ângulos de confluência dos elementos texturais de drenagem. (Figura 1.10).

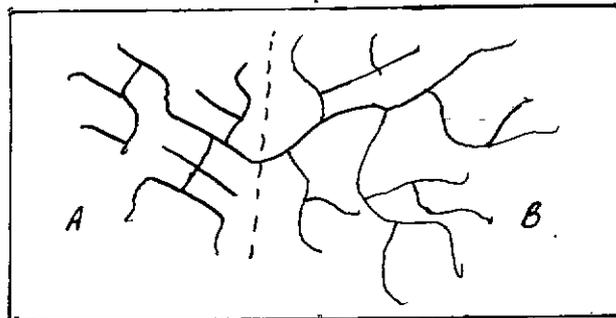


Fig.1.10.-A confluência dos elementos texturais de drenagem na zona homogênea "A" é bastante acentuada e se faz por meio de ângulos aproximadamente retos (90°).

- 4) Tropicia: é definida em função da orientação dos elementos texturais de drenagem, segundo direções preferenciais (Figura 1.11).

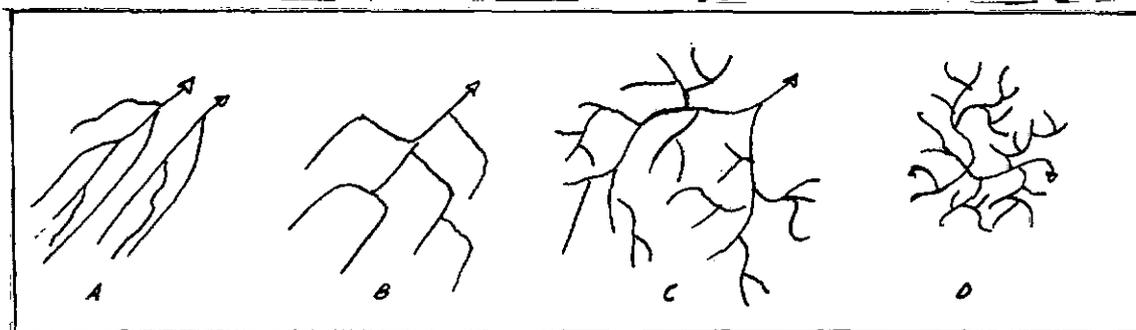


Fig. 1.11 - Tropia unidirecional preferencial "A";
Tropia bidirecional preferencial "B";
Tropia multidirecional ordenada "C";
Tropia multidirecional desordenada "D".

Esta propriedade serve para definir o grau e ordem de estruturação de drenagem.

- 5) Assimetria: é definida em função da extensão e da forma dos elementos texturais de drenagem que se constituem nos afluentes do canal principal (Figura 1.12).

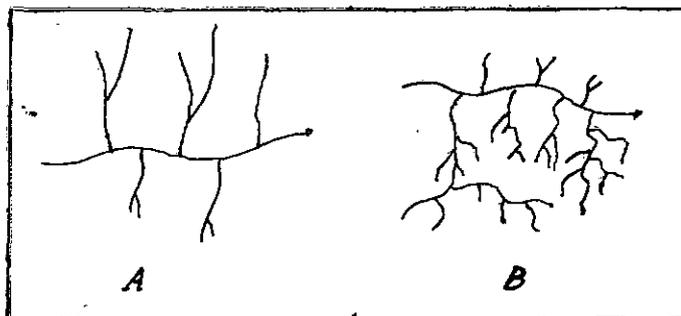


Fig. 1.12 - Drenagem fracamente assimétrica "A";
Drenagem fortemente assimétrica "B".

- 6) Uniformidade: é definida em função do grau de persistência de uma, ou mais de uma, das propriedades anteriores e ainda em função da constância das dimensões dos canais principais (largura) (Figura 1.13).

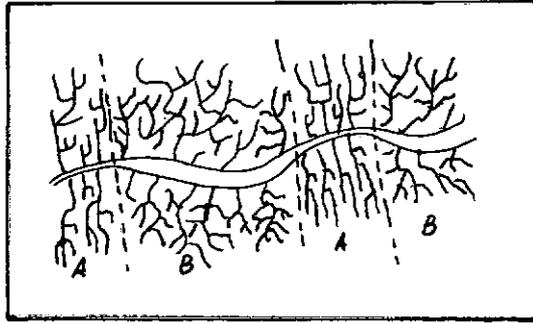


Fig.1.13 - Nas zonas homólogas "A", observa-se a uniformidade em função da densidade textural, tropia, angularidade e lineações texturais. Nas zonas "B", as propriedades não são persistentes. A largura do canal principal não é constante, ele é não uniforme.

1.2.6 - DADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA ANÁLISE DESTAS 6 PROPRIEDADES

Certos dados podem ser obtidos através da análise destas 6 propriedades, sobre as imagens fotográficas do LANDSAT, tais como:

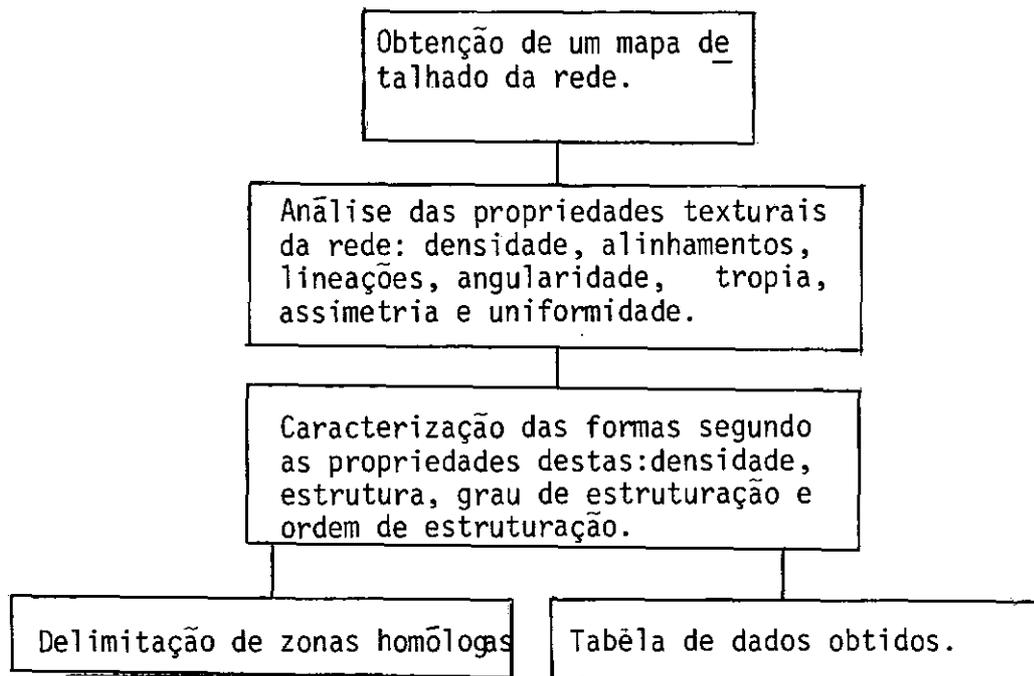
- 1) Permeabilidade relativa como função da densidade textural;
- 2) Extensão e localização de materiais com diferenças significativas como função das 6 propriedades;
- 3) Grau de uniformidade do material imageado como função da uniformidade textural;
- 4) Localização de fatores de controle como função, primeiramente dos alinhamentos, lineações e angularidade texturais e subordinadamente da tropia e assimetria;
- 5) Inferências sobre a natureza das rochas como função das 6 propriedades;
- 6) Inferências a respeito do sentido de mergulho de feições planas como função da assimetria de drenagem.

1.2.7 - ESQUEMA PARA REALIZAÇÃO DA ANÁLISE DAS FORMAS DA REDE DE DRENAGEM SOBRE IMAGENS FOTOGRÁFICAS DO LANDSAT.

A Tabela 1.1 apresenta uma divisão em etapas para a realização da análise das formas da rede de drenagem. Em suma, consiste no seguinte: desenhar a rede de drenagem sobre um "overlay" extraído os canais das imagens fotográficas dos canais 5 e 7 e cenas correspondentes do RBV, conforme foi descrito no item 3.3.2; a seguir, realizar a análise visual das propriedades texturais da rede e anotar sobre o mapa obtido, as feições que constam da legenda (Figura 1.14) caracterizar as formas visualmente, segundo as propriedades destas (ver item 3.2.3) e delimitar as zonas homólogas anotando a parte suas propriedades; finalmente, elaborar uma tabela onde conste os principais dados obtidos para cada forma delimitada.

TABELA 1.1

ANÁLISE DAS FORMAS DA REDE DE DRENAGEM



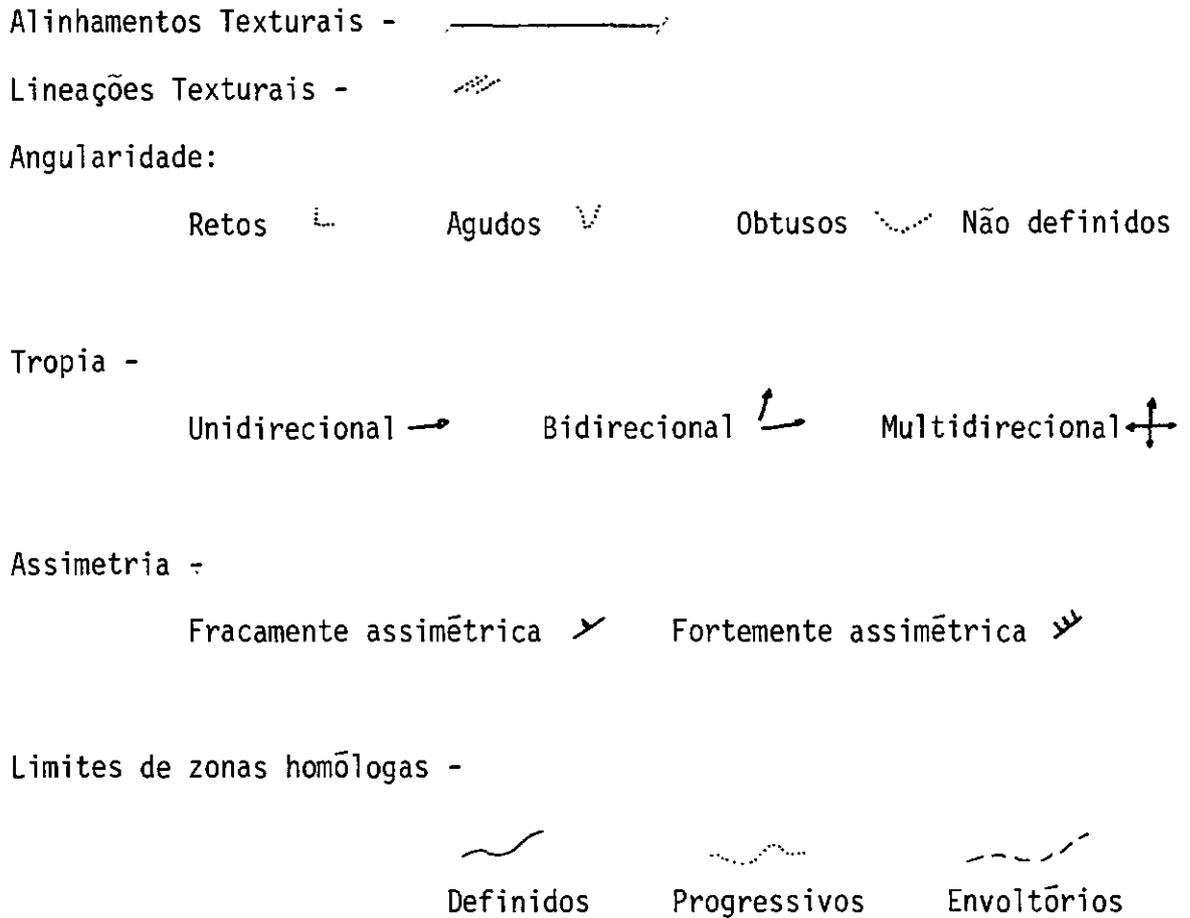


Fig. 1.14 - Sugestão para legenda

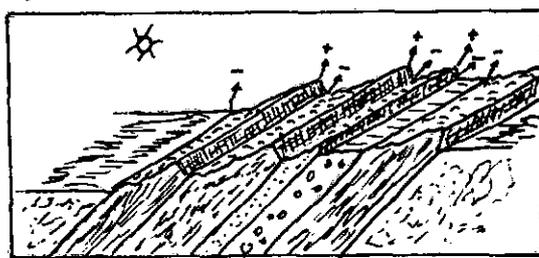
1.2.8 - ANÁLISE DAS FORMAS DE RELEVO

Assim como foi visto, para a análise das formas da rede de drenagem, existem também propriedades texturais particulares para as formas de relevo.

1.2.8.1 - PROPRIEDADES TEXTURAS DAS FORMAS DE RELEVO

1. Densidade textural de relevo: é definida em função da razão entre o número de elementos texturais de relevo por unidade de área imageada. Caracteriza zonas homólogas em densidade textural de relevo. É importante recordar que os elementos texturais são definidos em função dos pares luz-sombra.

2. Alinhamentos e lineações dos elementos texturais de relevo: lineações texturais são definidas em função da disposição retilínea a quase retilínea dos elementos, enquanto que os alinhamentos são definidos pela forte estruturação proporcionada pela disposição paralela das lineações, formando uma faixa cuja extensão é maior que a largura.
3. Quebras de relevo: são definidas pela forte estruturação proporcionada pelos alinhamentos de relevo e podem ser positivas ou negativas (Figura 1.15). Nas imagens fotográficas do LANDSAT aparecem como um par luz-sombre alongado (Figura 1.15b).



+ quebra positiva;
- quebra negativa.



Fig. 1.15 - As quebras de relevo da superfície irão aparecer como pares alongados luz-sombre nas imagens fotográficas do LANDSAT.

4. Assimetria do relevo: é definida em função do ângulo de declividade entre zonas homólogas de relevo (com diferentes propriedades texturais), cujo vértice é uma quebra positiva (Figura 1.16a). Nas imagens fotográficas do LANDSAT é definida pela disposição alongada do par luz-sombra e avaliadas segundo a largura da região sombreada, comparada com a da iluminada (Figura 1.16b).

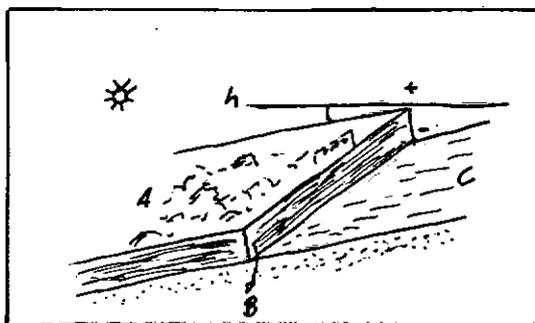


Fig. 1.16a - O plano de declividade estrutural (zona homóloga A) forma um ângulo baixo com a linha do horizonte (h), pois o relevo é fortemente assimétrico. Quanto maior é este ângulo menor é a assimetria e, portanto, mais acentuado o mergulho estrutural.

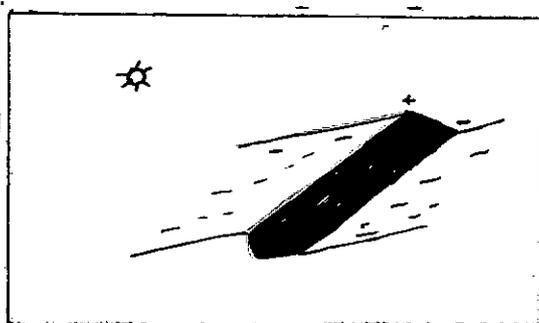


Fig. 1.16b - A largura da região iluminada na imagem fotográfica do LANDSAT é bem maior que a da sombreada indicando a forte assimetria do relevo.

Certos dados podem ser obtidos sobre as imagens fotográficas do LANDSAT através da análise destas quatro propriedades texturais de relevo, tais como:

- 1) Expressão morfológica (ou fisiográfica, ou geomorfológica ou geomórfica) de unidades geológicas ou associações destas, como função da forma e topografia. É reflexo das quatro propriedades;

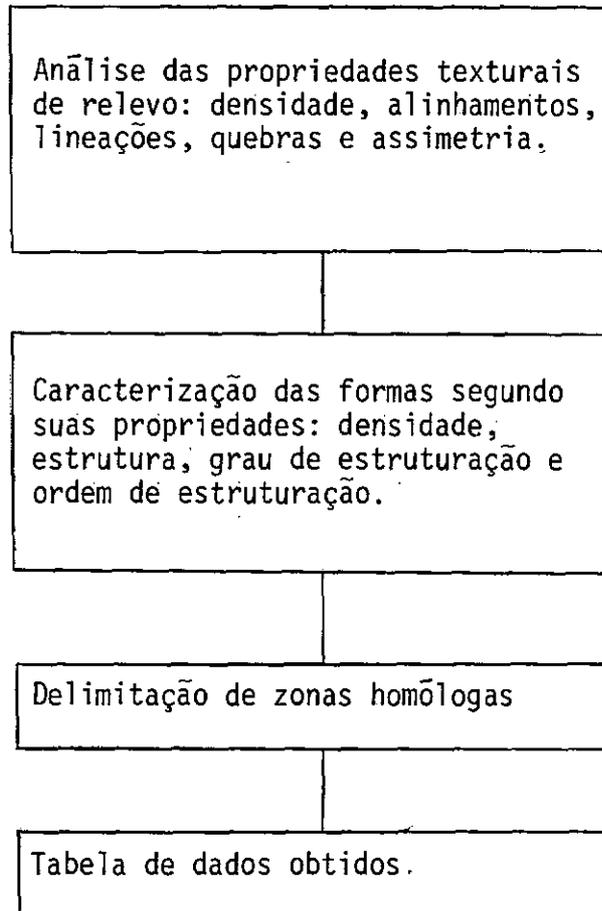
- 2) Grau relativo de dissecação como função da densidade textural de relevo;
- 3) Grau relativo de resistência à erosão como função da densidade textural do relevo;
- 4) Inferências a respeito da natureza das rochas como função das quatro propriedades;
- 5) Inferências a respeito do sentido do mergulho de feições planares como função da assimetria do relevo;
- 6) Existência de estruturas geológicas como função dos alinhamentos, lineações; quebras e assimetria do relevo.

1.2.9 - ESQUEMA PARA A ANÁLISE DAS FORMAS DE RELEVO SOBRE AS IMAGENS FOTOGRÁFICAS DO LANDSAT.

A Tabela 1.2 apresenta uma divisão em etapas para a realização da análise das formas de relevo. Em suma, consiste nos seguintes passos: analisar visualmente as propriedades texturais de relevo sobre as imagens do canal 5 e 7 do MSS e correspondentes cenas do RBV e de lineação das feições (sobre estas imagens) que constam na legenda (Figura 1.17) caracterizar visualmente as formas segundo suas propriedades e com o auxílio do mapa da rede de drenagem; delimitar sobre as imagens, as zonas homólogas; elaborar, à parte, uma tabela descritiva dos dados para cada forma delimitada.

TABELA 1.2

ANÁLISE DAS FORMAS DE RELEVO



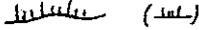
Alinhamentos texturais: 

Lineações texturais: 

Quebras: 

Assimetria:

 (+)
Cristas simétricas

 (+)
cristas moderadamente assimétricas



Cristas fortemente assimétricas

Limites de zonas homólogas:



Fig.1.17- Sugestão de legenda para as propriedades texturais de relevo.

1.2.10 - ANÁLISE DAS TONALIDADES (NÍVEIS) DE CINZA

Apesar de que tanto as imagens fotográficas do MSS/LANDSAT, como do RBV/LANDSAT serem produtos de faixas do espectro mais adequados ao estudo da vegetação, algumas importantes informações, de cunho geológico, podem ser obtidas através da análise das tonalidades (níveis de cinza) de cinza. Como as imagens fotográficas do RBV são bastante semelhantes às fotografias aéreas pancromáticas, será dada maior ênfase à análise das imagens MSS.

Os alvos existentes na superfície do terreno são constituídos pela associação vegetação, solo, rocha e água, e aquilo que está registrado nas imagens fotográficas do MSS, em cada um dos 16 matizes do cinzento identificados, é a integração de 16 níveis de cinza identificados pelos sensores. Ao considerar que a maioria dos alvos da superfície estão cobertos por algum tipo de vegetação, fica fácil compreender que esta mascara a existência de solos e rochas. Por exemplo, mesmo supondo que na faixa do espectro abrangida pelos sensores do MSS, um granito possuísse características espectrais completamente diferentes daquelas de um gnaisse (o que definitivamente não ocorre), a cobertura vegetal ainda continuaria mascarando as respostas dos alvos rochosos, pois os sensores registram a energia refletida do material que está em contato direto com o ar.

Então, levando-se em consideração os fatos acima expostos, sugere-se a seguinte sequência para a análise das tonalidades de cinza das imagens MSS:

- 1) Proceder à análise das tonalidades de cinza, após terem sido realizadas as análises das formas da rede de drenagem e daquelas do relevo, para evitar a delimitação de áreas sobre as imagens fotográficas que nada tenham a ver com unidades geológicas;
- 2) Procurar compatibilizar as características das zonas homólogas, já definidas parcialmente, com os matizes do cinzento observados nas imagens fotográficas, na tentativa de delimitá-las em regiões que, por problemas diversos, não se consegue obter as informações texturais necessárias;
- 3) Levar em consideração que determinadas unidades geológicas podem impor um condicionamento ao tipo de desenvolvimento da vegetação, o que irá permitir que se faça a discriminação espectral destas unidades;
- 4) Observar que certas atividades agrícolas, características por suas formas e também por suas tonalidades de cinza, algumas vezes são desenvolvidas em áreas de ocorrência de uma determinada associação solo-rocha, que pode fornecer indícios a respeito de uma unidade geológica específica;
- 5) Finalmente, após obter dados texturais de uma região em que a vegetação está ausente, ou é muito rarefeita e se observa um grande contraste nos matizes do cinzento, examinar a possibilidade deste contraste estar relacionado com unidades geológicas diferentes.

Esta análise deve ser realizada essencialmente sobre as imagens fotográficas do MSS e completada com observações das cenas correspondentes do RBV, podendo fornecer informações geológicas úteis, desde que realizadas criteriosamente.

1.2.11 - FOTOINTERPRETAÇÃO

O processamento dedutivo e indutivo dos dados obtidos durante as fases de análise, em seu significado geológico, conduz à elaboração de um modelo fotointerpretativo. À medida que são acrescentados

dados de mapas prē-existent_s, bibliogrāficos e de perfis de reconhecim_{en}to prēvio de campo, adicionando-se portanto dados estratigrāficos, es_{tr}uturais e litolōgicos a estes modelos, obtēm-se um *mapa fotogeolōgico regional*:

A partir deste momento ter-se-ā ā disposiçāo um docum_{en}to que deverā ser verificado e corrigido a partir da geraçāo de novos da_{da}s. Estes serāo provenientes dos perfis realizados no campo, das anā_lises petrogrāficas, das anā_lises geocronolōgicas e de outras fontes que se façam necessārias para a obtençāo do *mapa geolōgico regional*.

Para a realizaçāo do processo de fotointerpretaçāo que gera tal documento, sugere-se a realizaçāo das seguintes etapas de trabalho:

- 1) Transferir para um novo "overlay" os principais rios, cidades, estradas e represas, confeccionando uma base planimētrica nāo controlada, semi-controlada, ou controlada (utilizando os mē_{to}dos convencionais da cartografia para os 2 ūltimos casos);
- 2) Associar um significado geolōgico para as informaçōes obtidas atravēs das anā_lises das formas e das tonalidades de cinza, criando uma nova legenda (Figura 1.18).

Informações das análises	Significados geológicos associados:
1.  Lineações de drenagem	1.  Foliações, acamamentos ou zonas de concentração de fraturas.
2.  Lineações de relevo	2.  Foliações, acamamentos ou zonas de concentração de fraturas.
3.  Alinhamentos de drenagem	3.  Falhamentos (ou descontinuidades geológicas).
4.  Alinhamentos de relevo	4.  Idem
5.  Angularidade da drenagem	5.  Intersecção entre zonas de concentração de fraturas ou destas com foliações ou acamamentos.
6. Assimetria de drenagem	6.  Mergulho de feições planares sentido do mergulho de estruturas geológicas de alto ângulo
 Fracamente assimétrica	 idem de médio ângulo
 Moderadamente assimétrica	 idem de baixo ângulo
 Fortemente assimétrica	
7. Assimetria de relevo	7.  Mergulho de feições planares sentido do mergulho de estruturas geológicas de alto ângulo.
 Crista simétrica	 Idem de médio ângulo
 Crista moderadamente assimétrica.	 Idem de baixo ângulo
 Crista fortemente assimétrica.	
8. Quebras de relevo	8.  Falhamentos ou descontinuidades geológicas.
	 Contatos geológicos e definidos nas quebras negativas.
9. Propriedades texturais das formas, valores obtidos e tonalidades de cinza.	9. Delimitação de unidades geológicas e inferências sobre a natureza das rochas.

Fig. 1.18 - Legenda associando o significado geológico.

- 3) Delinear, sobre a base, as feições extraídas das imagens durante as fases de análise, segundo a nova legenda;
- 4) Delimitar as zonas de unidades fotogeológicas (sobre a base) e tentar inferir a natureza das rochas;
- 5) Interpretar as estruturas geológicas e tentar definir, sobre a base, os tipos de falhamentos, dobramentos e descontinuidades.

A Figura 1.19 é um diagrama de fluxo dos trabalhos a serem desenvolvidos desde a etapa de aquisição dos produtos LANDSAT até a obtenção do mapa geológico regional.

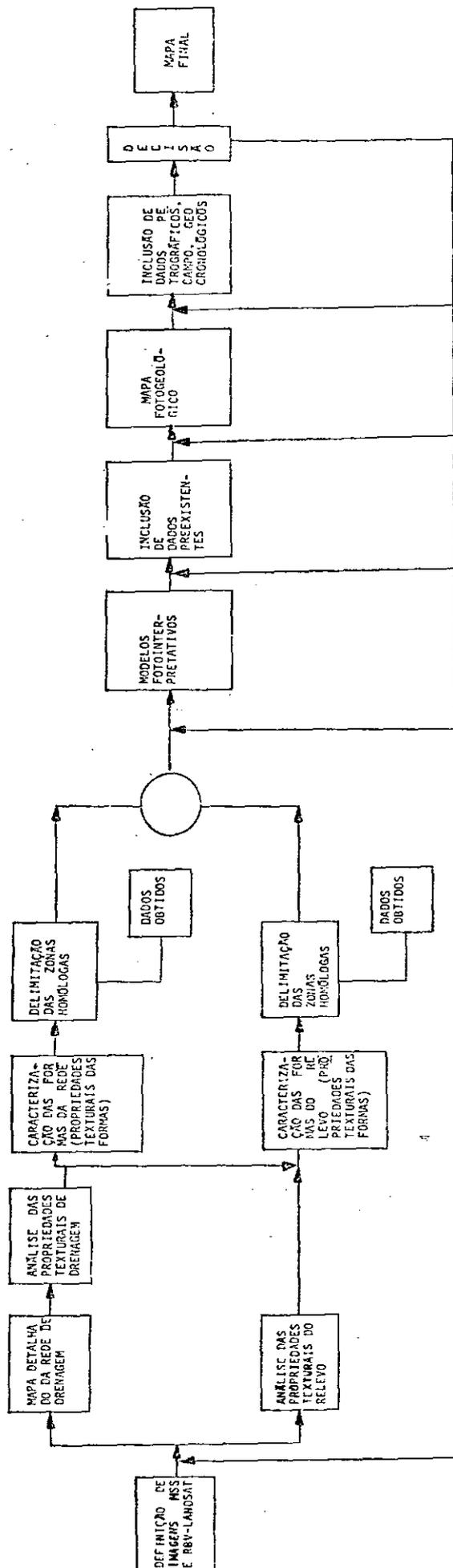


Fig. 7.19 - Diagrama de fluxo para o mapeamento geológico utilizando produtos do LANDSAT.

CAPÍTULO 2

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 Gregori e Moore, (1973 e 1974); alguns estudos sobre aplicações espaciais preparados pela NASA (1969); e alguns 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 radiométricas 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 visada lateral, pelo "scanner" aéreo infravermelho termal, 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.

2.1 - 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.

2.1.1 - 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

Esta 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 da

dos que possam ser avaliados pelo conhecimento humano. Treinamento especial e equipamento são essenciais para tal interpretação.

2.2 - 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 princípios padrões de fotointerpretação.

2.2.1 - GEOMORFOLOGIA

O relevo e os 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.

2.2.2 - 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. 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, crâtons, 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.

2.2.3 - LITOLOGIA

Podem ser obtidas 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.

2.2.4 - 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.

2.2.5 - 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.

2.2.6 - 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", tem início 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 verificar se os dados do LANDSAT podem ser usados em Geologia 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.

2.3 - 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 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 pesquisas em mapeamento geológico, os quais chegam hoje a atingir um total de aproximadamente 3 milhões de km², 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 de mesmo espírito de pesquisa, e visando 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 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 Km², 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 integrado ao uso de outros sensores, permitem um intercâmbio das informações que otimizam a análise dos resultados obtidos.

2.4 - APLICAÇÕES DE IMAGENS DO LANDSAT EM PESQUISA MINERAL

De uma maneira geral, os dados de imagens MSS/LANDSAT podem ser aplicados à pesquisa, conforme especificado nos itens abaixo:

- 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.

2.5 - APLICAÇÕES DE IMAGENS DO LANDSAT EM HIDROGEOLOGIA

Na área de Hidrogeologia, as principais aplicações das imagens MSS/LANDSAT são as seguintes:

- 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.

2.6 - APLICAÇÕES DE IMAGENS DO LANDSAT EM GEOTÉCNICA

- Localização de depósitos de areiam 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.

2.7 - EXEMPLOS DE MAPEAMENTO REGIONAL

2.7.1 - 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 do estabelecimento de critérios para o mapeamento geológico regional na escala de 1:500.000, em áreas policíclicas e polimetamórficas e, por último, da análise do comportamento espectral das intrusivas mapeadas, no analisador automático IMAGE-100.

Quando da utilização dos 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 Chapéu, 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 superposição 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 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 aluminosilicática, com biotita-gnaisses e migmatitos heterogêneos subordinados; predominância de charnóckitos e granulitos maciços; charnóckitos com foliação gnáissica, charnóckitos localmente migmatizados e rochas intrusivas associadas.

Na Região de Dobramentos Sudeste de idade Brasileira, distinguem-se faixas com predominância de ectinitos; faixas com predominância de migmatitos homogêneos e granitóides 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-Brasília 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 Taubaté 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 mapeados com facilidade. Embora não se possam 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.

2.7.2 - 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 desenvolvido 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 complementado 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 com as consultas bibliográficas e os 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 mesozóicas e terciárias.

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

2.7.3 - 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 Km²).

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 duas áreas propostas. (Nordeste do Brasil e África Equatorial Oriental).

2.8 - EXEMPLOS DE PESQUISA MINERAL

2.8.1 - 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 falhas) 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 e migmatitos heterogêneos da porção sudeste da área estudada mostraram-se consideravelmente diferentes em relação aos trabalhos existentes.

2.8.2 - 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

de 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.

2.9 - EXEMPLOS DE ANÁLISES AUTOMÁTICAS

2.9.1 - PROJETO INTRUSIVAS

Um dos objetivos deste projeto é a caracterização espectral das rochas intrusivas da região Sudeste.

De maneira geral, foram utilizados os seguintes programas:

- 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, muitas vezes, se misturam, não aparecendo de forma definida na imagem 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 cursor, o qual é plotado no vídeo do terminal.
- "Stretch": Realça a imagem, contrastando seus níveis de cinza. Também 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 característica espectral particular de cada corpo rochoso, seja pelo realce dos padrões estruturais distintos e particulares de cada formação ou corpo rochoso.

2.9.2 - 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 km². 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 TiO₂) e duas outras jazidas de pequenas dimensões, não-alarmadas.

2.10 - EXEMPLOS DE APLICAÇÕES UTILIZANDO-SE OUTROS TIPOS DE SENSORES

2.10.1 - 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.

2.10.2 - 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.

Grandes áreas de regiões remotas de climas tropicais, 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 km² do território nacional, concentrou seus trabalhos inicialmente na região amazônica, conhecida por seu difícil acesso.

Os mosaicos de radar podem ser 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.

2.10.3 - "SCANNER" INFRAVERMELHO TERMAL AEROPORTADO

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.

2.11 - 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, utilizam

do 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.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- 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.
- RIVERAU, J.C. *Notas de aula do curso de fotointerpretação*. Ouro Preto, Soc. Intern. Cult. Esc. Geol. de Ouro Preto, 1972.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

- AMERICAN 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).
- CHISTOFOLETTI, 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 Jäqua: ribe-SB-24*. São José dos Campos, INPE, ago-, 1978. (INPE-1328-PE/158).
- HOWARD, A.D. Drainage analysis in geologic interpretation. *The American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, 51:(11): 2246-2255. 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 geomatemática 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.

- PARADELLA, W.R.; MENESES, P.R.; MATTOSO, S.Q. 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., Gravataí, 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 geomorfology*. 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.