

INTERPRETAÇÃO AUTOMÁTICA DE IMAGENS LANDSAT PARA
EXPLORAÇÃO MINERAL NA REGIÃO AMAZÔNICA

Gilberto Amaral

Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo - IGUSP
São Paulo, SP, Brasil

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
São José dos Campos, SP, Brasil

José Carlos Moreira

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
São José dos Campos, SP, Brasil

RESUMO

De modo a avaliar as potencialidades das imagens LANDSAT para a prospecção de novos depósitos minerais, nas áreas de florestas densas da região Amazônica, está sendo desenvolvido um programa com o auxílio de fitas CCT e do analisador multiespectral Image-100. Por isso, foram selecionadas três áreas teste: Serra dos Carajás, sul do Pará, encerrando cerca de 20 bilhões de toneladas de minério de ferro de alto teor; granitos estaníferos da bacia do rio Xingu, no Estado do Pará; depósitos de bauxita da bacia do rio Trombetas, no leste do Pará. Devido a notáveis diferenças na cobertura vegetal, os dois primeiros tipos de depósitos foram facilmente identificados. No terceiro caso, foi possível apenas um realce das feições morfológicas (taboleiros) às quais se associam os depósitos de bauxita. Os resultados obtidos até o momento foram bastante encorajadores e o programa terá prosseguimento com a análise de depósitos de manganês, níquel e cobre.

INTRUDUÇÃO

A exploração mineral é uma potencialidade frequentemente mencionada para os dados obtidos pelos satélites LANDSAT. Este trabalho apresenta alguns resultados, obtidos para uma floresta tropical chuvosa típica, relativos à utilização de dados LANDSAT para a pesquisa mineral.

O objetivo do programa aqui relatado foi o desenvolvimento de metodologias para a prospecção de depósitos minerais nas áreas de floresta densas e com espesso manto de solo. É óbvio que essas metodologias deverão basear-se em características da cobertura vegetal e feições morfológicas, como visíveis dentro da sensibilidade espectral e resolução espacial dos sistemas sensores dos satélites LANDSAT.

Na utilização de dados de sensoriamento remoto para a exploração mineral, dois aspectos deverão ser considerados:

- 1 - Localização direta de depósitos de grande porte, tais como os de ferro e alumínio.
- 2 - Identificação de rochas e estruturas favoráveis, como é o caso dos granitos estaníferos.

O presente trabalho apresenta os resultados obtidos até o momento de um projeto objetivando o uso de interpretação automática de dados LANDSAT para a prospecção mineral na região amazônica. Para tanto, três áreas teste foram selecionadas:

- 1 - Serra dos Carajás, encerrando os maiores depósitos de ferro do país (TOLBERT et al., 1971).
- 2 - Vale do Rio Xingu, onde ocorrem diversos corpos de granitos estaníferos (ABREU e RAMOS, 1974).
- 3 - Vale do Rio Trombetas, encerrando os maiores depósitos de bauxita do país (DENNEN and NORTON, 1977).

Na região da Serra dos Carajás, os depósitos de ferro são resultantes da lixiviação de sílica de itabiritos. Na superfície, desenvolve-se uma espessa crosta laterítica (canga) que inibe o desenvolvimento de vegetação densa. Esta feição é muito favorável para observação em imagens LANDSAT devido aos fortes contrastes esperados entre a canga e as áreas estêreis.

Complexos circunscritos de granitos alcalinos portadores de mineralizações estaníferas ocorrem em diversas áreas na Amazônia. Esses complexos têm geralmente forma ovalada ou circular e são constituídos por granitos ricos em potássio aos quais se associam zonas de greisen com cassiterita e topázio. Devido à sua composição, esses granitos são menos intemperizados que as rochas graníticas mais sódicas. Isto resulta em solo menos espesso e cobertura vegetal menos densa, permitindo fácil identificação em imagens LANDSAT devido a diferenças texturais.

Morros tabulares (taboleiros), formados por arenitos e argilitos silteosos da Formação Solimões, são bastante conspícuos no baixo vale do rio Trombetas. O intemperismo das argilas resultou na lixiviação da sílica do caulim, com o conseqüente enriquecimento em alumina, e a formação de bauxita na base da zona laterítica. Por este motivo, os depósitos de bauxita não afloram e, aparentemente, não afetam a cobertura vegetal. As imagens dos canais 6 e 7 do MSS do LANDSAT são excelentes para a delimitação dos taboleiros, mas as diferenças tonais não são observáveis visualmente.

O programa está sendo conduzido em três fases:

- 1 - seleção das áreas-teste, tendo em mente o tamanho dos alvos, a importância econômica dos depósitos e a possibilidade de existência de diferenças espectrais com relação às rochas e solos vizinhos;
- 2 - avaliação das potencialidades dos dados LANDSAT para a prospecção de depósitos similares;

- 3 - teste das metodologias desenvolvidas em outras áreas geologicamente favoráveis, com vistas à localização de novos depósitos.

Quando da redação do presente texto, havia-se alcançado a segunda fase. Presentemente, está se selecionando áreas favoráveis para se passar à terceira fase.

METODOLOGIA

Os dados LANDSAT, utilizados no presente programa, foram recebidos na estação de Cuiabá e processados em Cachoeira Paulista, nas instalações do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). Para cada uma das áreas teste dispunham-se de dados do MSS do LANDSAT-1 sob a forma de fitas compatíveis com computador (CCT).

As fitas foram interpretadas no analisador multiespectral Image-100 do INPE. Este sistema é composto basicamente por um computador Digital modelo PDP 11/45, duas unidades de fitas magnéticas, uma unidade de disco, uma unidade de memória, um terminal gráfico, uma impressora, uma unidade fotográfica Dicomed e um console de operação. O sistema é dotado de cerca de 50 programas utilitários que permitem diversos tipos de processamento de imagens.

Depois que uma imagem, ou parte dela, é armazenada na memória, é possível realizar diversas operações de modo a melhorar a visualização de imagem, tais como: compressão de contraste, ampliação, realce de feições, composição a cores, remoção de ruídos, etc. É possível, ainda, extrair assinaturas espectrais, e respectivos temas, pelo uso de diversas técnicas estatísticas.

O sistema Image-100 apresenta, ainda, a possibilidade de pré-processar as imagens, através da:

- multiplicação ou divisão por qualquer potência de 2;
- divisão de um canal pelo adjacente;

- relação entre a diferença e a soma de dois canais adjacentes;
- divisão de um canal pela soma de todos canais.

Dessa maneira, o sistema utilizado permite extrair gran de quantidade de informação de dados de sensoriamento remoto.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Região da Serra dos Carajás - A observação direta das imagens permite a identificação imediata das clareiras associadas ao minério de ferro. Nos canais 4 e 5, elas aparecem com tonalidades claras devido à vegetação mais rala. Nos canais 6 e 7, as clareiras apresentam-se mais escuras com relação à mata circundante. A nebulosidade afeta mais os canais 4 e 5 do que os canais 6 e 7.

A composição coloridas, utilizando os canais pré-processados, forneceram os melhores resultados, pois permitiram a discriminação das clareiras mesmo debaixo de nebulosidade moderada.

O tratamento estatístico consistiu na análise das distribuições de frequência dos níveis de cinza de cada um dos canais. Tal tratamento objetivou a definição dos intervalos tonais característicos para cada um dos alvos de interesse. A clareira N-4 foi usada como área teste para a extração das assinaturas. Apenas os canais 5 e 7 são suficientes para caracterizar as clareiras. Esse procedimento foi aplicado, também, para clareiras sob moderada e intensa cobertura de nebulosidade.

Os resultados obtidos demonstram que é possível a prospecção de depósitos similares nas áreas de florestas densas, mesmo sob moderada cobertura de nuvens.

Região do Vale do Rio Xingu - Sob observação visual, os granitos estaniferos aparecem como áreas elípticas, com textura maculada, de tonalidade clara, no canal 5 e escura, no canal 7. A imagem obtida como resultado da divisão do canal 5 pelo 6, é a melhor para

discriminação dos granitos estaníferos (claros) das outras rochas graníticas (escuras) da região. Entretanto, cobertura arenosas da Formação Gorotire também aparecem com tonalidades claras. Quando se utiliza composições coloridas com a relação entre os canais 5 e 6 em azul e verde e a relação entre os canais 6 e 7 em vermelho, os arenitos são facilmente discriminados.

O tratamento estatístico foi feito tomando -se como área de treinamento o Granito Velho Guilherme. Devido à interferência das coberturas de arenito, não foi possível a definição de intervalos tonais específicos. Os melhores resultados foram obtidos quando o tema foi superposto à seguinte composição colorida:

$$\text{relação } \frac{\text{canal 4} - \text{canal 5}}{\text{canal 4} + \text{canal 5}} \text{ em azul}$$

$$\text{relação } \frac{\text{canal 5} - \text{canal 6}}{\text{canal 5} + \text{canal 6}} \text{ em verde}$$

$$\text{relação } \frac{\text{canal 6} - \text{canal 7}}{\text{canal 6} + \text{canal 7}} \text{ em vermelho}$$

resultando na melhor visualização dos granitos com relação aos arenitos.

Os resultados assim obtidos demonstram que é possível discriminar granitos ricos em potássio, de outras rochas, na região Amazônica. Estudos recentes têm demonstrado que esses granitos estão associados com mineralizações em estanho, tungstênio, nióbio e tântalo, de grande importância econômica. Granitos desse tipo ocorrem em outras partes da Amazônia (AMARAL, 1974) e é possível que uma investigação sistemática de dados LANDSAT resulte na localização de novos depósitos daqueles elementos.

Região do Vale do Rio Trombetas - As fitas compatíveis com computador disponíveis para esta região não são boas devido à presença constante de nebulosidade e intenso ruído eletrônico no canal 6. No sistema Image-100, o canal 6 foi substituído pelo canal 7 com compressão de contraste (aqui denominado canal 7').

O exame visual não permite a distinção das áreas ricas em bauxita devido à inexistência de contrastes tonais observáveis. Todavia, feições morfológicas típicas (taboleiros) foram facilmente delineadas no canal 7'. Para melhor visualização, os canais 4 e 5 foram multiplicados por 2, pois eram muito escuros devido à intensidade da cobertura vegetal. Posteriormente, foi feita uma composição colorida:

$$\text{relação } \frac{\text{canal 5} - \text{canal 7}'}{\text{canal 5} + \text{canal 7}'} \text{ em azul e vermelho}$$

$$\text{relação } \frac{\text{canal 7}' - \text{canal 7}'}{\text{canal 7}' + \text{canal 7}'} \text{ em verde}$$

que resultou na melhor discriminação entre áreas com bauxitas (verdes) e áreas estêreis (rosa).

A Serra do Saraca, encerrando os maiores depósitos, foi usada como área de treinamento para tratamento estatístico. Os melhores resultados para este tratamento foram obtidos quando se operou os histogramas das imagens correspondentes às razões entre os canais 4 e 5 e 5 e 7', resultando no tema 1. A seguir, os canais 4, 5 e 7' foram normalizados e seus histogramas tratados, resultando no tema 2. Finalmente, foram tratados os canais originais, resultando no tema 3. A melhor discriminação foi obtida quando se superpôs os temas 1 e 3. Testes adicionais foram feitos com análise multidimensional mas sem melhorias nos resultados.

O resultados obtidos indicam que os dados LANDSAT poderão ser usados para a prospecção de novos depósitos de bauxita na região.

CONCLUSÕES

Análise visual, baseada principalmente nos canais 5 e 7, é usualmente decisiva quando se dispõe de bom conhecimento da geologia da região em estudo. É o procedimento mais rápido e econômico para utilização de dados LANDSAT. Entretanto, quando as diferenças tonais forem pequenas, os resultados da análise visual são geralmente muito pobres.

Na análise automática, o pré-processamento com subsequente composição colorida foi suficiente, na maioria dos casos, para discriminação de alvos. Isto aconteceu, principalmente, na região da Serra dos Carajás e no Vale do Rio Trombetas.

Tratamentos estatísticos, já que requerem técnicas de computação, são restritos a sistemas complexos com o Image-100. Em geral, os resultados obtidos, no presente estudo, foram similares àqueles obtidos por pré-processamento, mas poderão ser decisivos em outras situações.

Os autores, em quase cinco anos de experiência em análise automática de dados LANDSAT, acreditam que essas técnicas poderão tornar-se uma das mais poderosas ferramentas para a prospecção mineral em regiões tropicais de florestas densas. Em tais áreas, as rochas (incluindo os depósitos minerais) estão geralmente recobertas por um espesso manto de solo e densa vegetação. As diferenças tonais e texturais observadas em imagem LANDSAT são devidas ao "stress" geoquímico ou condicionamento da cobertura vegetal e controle dos processos morfogênicos. Devido a isso, as assinaturas espectrais de rochas e minerais não são geralmente necessárias no processo de extração de informação em regiões tropicais úmidas. Estes aspectos constituem as principais diferenças metodológicas entre técnicas desenvolvidas para regiões temperadas ou áridas e aquelas desenvolvidas para regiões tropicais úmidas.

Os resultados, aqui relatados, são bastante promissores e o programa terá continuidade com a análise de outros tipos de mineralizações, tais como lateritas níquelíferas, cobre vulcano-sedimentar e lateritas manganêsíferas.

BIBLIOGRAFIA

- ABREU, F. de A.M. de; RAMOS, C.R. Estanho do sul do Pará. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 28., Porto Alegre, 1974. Anais. v.6, p.11-23
- AMARAL, G. *Geologia Pré-Cambriana da região Amazônica*. Tese de Livre Docência em Paleontologia e Estratigrafia. São Paulo, USP, 1974. 212 p.
- DENNEN, W.H.; NORTON, H.A. Geology and geochemistry of bauxite deposits in the lower Amazon Basin, *Economic Geology*, 72(1):82-98, jan./feb., 1977.
- TOLBERT, G.E.; TREMAINE, G.C.; MELCHER, G.C.; GOMES, C.B. The recently discovered Serra dos Carajás iron deposits, northern Brazil. *Economic Geology*, 66(7):985-994, nov., 1971