

USO INTEGRADO DE DADOS DIGITAIS MULTIFONTE NA PROSPECÇÃO MINERAL  
ATRAVÉS DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS:  
UMA CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA\*

Raimundo Almeida Filho  
Secretaria Especial de Ciência e Tecnologia  
Instituto de Pesquisas Espaciais-INPE  
Diretoria de Sensoriamento Remoto  
Caixa Postal 515 - 12201 - São José dos Campos, SP

RESUMO

Discute-se uma abordagem metodológica para a análise integrada de dados digitais-multifonte (dados litológicos, estruturais, topográficos, geoquímicos, geofísicos, geobotânicos, etc.) combinados com imagens de sensoriamento remoto finamente realçadas, através do emprego de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), visando o selecionamento prévio de áreas-alvos potenciais à prospecção mineral.

ABSTRACT

This work discusses a methodological procedure in the integrated analyses of multisource digital data (lithological, structural, topographic, geochemical, geophysical, geobotanical, etc.) combined with enhanced remote sensing images through the use of a Geographical Information Systems (GIS), aiming at previous selection of potential target areas to mineral prospecting.

\* Trabalho financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, contrato Nº 88/3822-8.

## 1. INTRODUÇÃO/OBJETIVOS

A pesquisa geológica (prospecção mineral) é uma atividade complexa do ponto de vista científico e onerosa do ponto de vista financeiro. Para conduzi-la eficientemente deve-se lançar mão de todas as informações disponíveis sobre a área de interesse, com o objetivo de criar, desenvolver e/ou testar modelos que possam explicar a ocorrência de determinado bem mineral, ou prognosticar sítios favoráveis à sua ocorrência. Para isto geralmente torna-se necessário o manuseio de grande massa de dados oriunda de diferentes fontes, a qual pode incluir, por exemplo, dados geoquímicos, geofísicos, mapas geológicos diversos, cartas topográficas, além de informações pedológicas, geobotânicas, etc. Incorporando-se a esta massa de dados ditos *convencionais*, o sensoriamento remoto tem se constituído em poderosa ferramenta de auxílio a campanhas de prospecção mineral.

A necessidade de correlacionar dados de natureza e formatos diversos é um desafio com que o geólogo normalmente se depara. Para contornar este problema, técnicas de processamento digital de imagens, acopladas aos Sistemas de Informações Georeferenciadas (SIG), têm permitido integrar dados diversos (registrados numa base de referência comum) e, desse modo, facilitado a análise e interpretação de suas interrelações múltiplas. O conjunto de dados tão diversos como dados geoquímicos, geográficos, sísmicos, litológicos, estruturais, topográficos, pedológicos, etc., pode ser representado na forma de *imagens* e integrado a produtos de sensoriamento remoto, como fotografias aéreas, imagens de satélite e dados radiométricos de campo e laboratório (Ref. 1). A análise sinérgica de dados multifonte tem permitido prognosticar com maior precisão áreas-alvos potenciais à ocorrência de bens minerais, propiciando, assim, significativas economias de tempo e recursos em campanhas de prospecção mineral (Ref. 2 a 5).

Em consonância com o acima exposto, o presente trabalho propõe uma seqüência metodológica para a análise sinérgica de dados digitais multifonte combinados com imagens de sensoriamento remoto, visando a indicação prévia de áreas-alvo potenciais à ocorrência mineral. É importante ressaltar, no entanto, que qualquer modelo prospectivo deve levar em consideração as características geológicas do alvo e a fisio

grafia da região em foco, a qual determina as características da cobertura vegetal e de intemperismo.

## 2. ABORDAGEM METODOLÓGICA

A Figura 1 sumarisa a abordagem metodológica proposta, a qual consta de cinco fases principais, a saber: a) Criação do Modelo Diagnóstico; b) Entrada de Dados Digitalizados; c) Criação do Banco de Dados Digitais Multifonte; d) Etapa de Manipulação; e e) Saída e Interpretação dos Dados. As principais características de cada uma dessas fases serão, a seguir, descritas sucintamente.

### 2.1 - CRITÉRIOS E MODELOS DIAGNÓSTICOS

No contexto de pesquisa mineral, um modelo quantitativo diagnóstico consiste de *regras de decisão* impostas sobre parâmetros descritivos numericamente codificados (*critérios diagnósticos*), com o objetivo de definir um tipo específico de ambiente geológico. Esta fase consiste, portanto, na definição dos critérios diagnósticos que suportarão a elaboração dos modelos teóricos semiquantitativos, para a área considerada. Tais modelos são elaborados com base em hipóteses fundamentadas em informações prévias do tipo multifonte, e a seguir submetidos a processos de avaliação que permitirão testá-los, refiná-los ou rejeitá-los, uma vez que eles são fortemente dependentes dos critérios diagnósticos e das regras de decisão adotadas (Ref. 6). A validade de qualquer modelo semiquantitativo (Ref. 7) é função: a) do conhecimento geológico que é usado para selecionar, correlacionar e associar parâmetros incorporados ao modelo; b) das limitações do sistema de processamento de dados utilizado para desenvolver e impor o modelo; e c) da habilidade do modelo para definir áreas já previamente conhecidas e, assim, predizer com maior acuidade novas áreas potenciais.

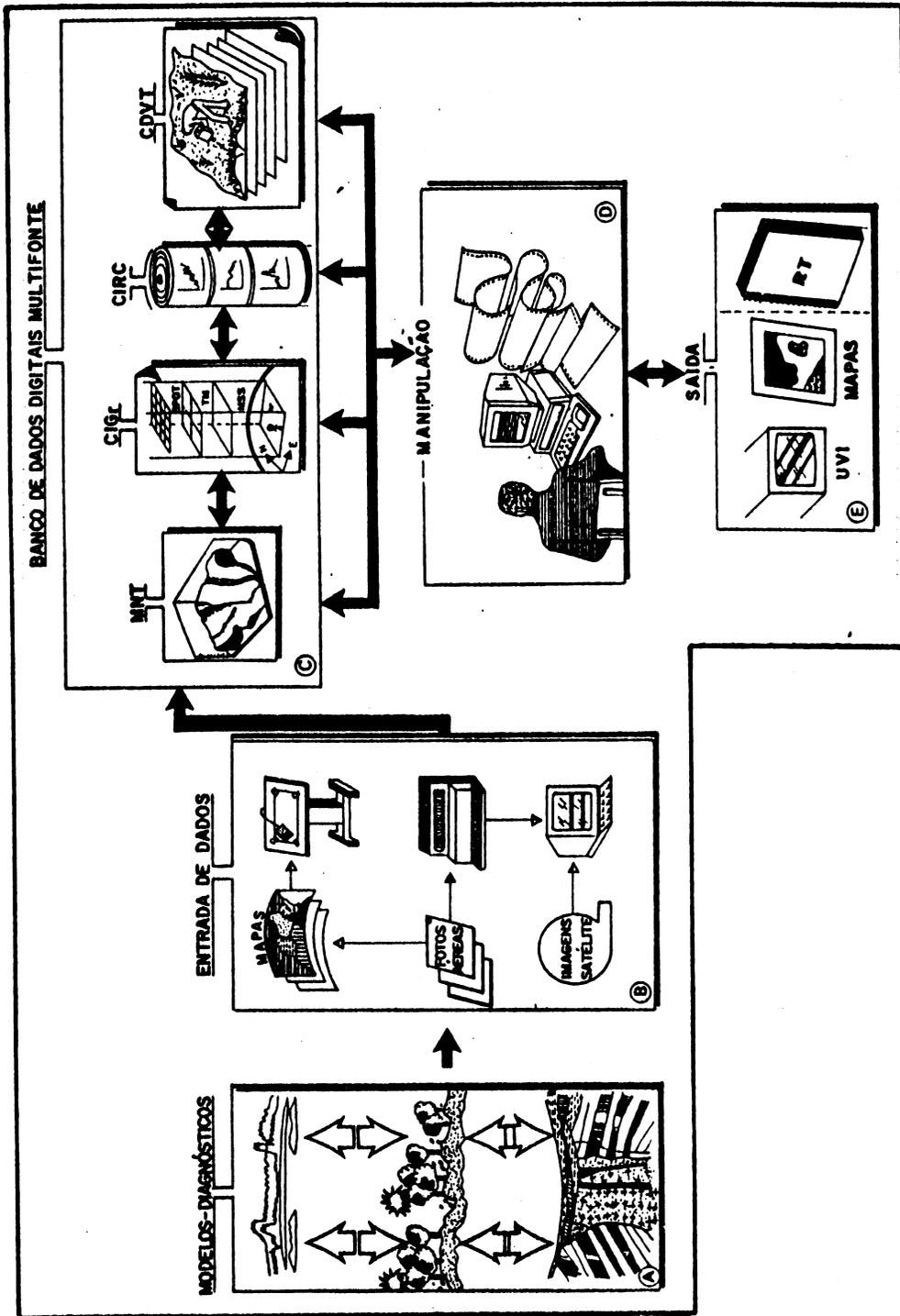


Fig. 1 - Abordagem metodológica para análise integrada de dados em geologia.

A origem complexa dos dados de campo, que são manuseados para a elaboração do modelo prospectivo, requer que as regras de decisão adotadas levem em consideração o *peso* de cada informação dentro do contexto da área considerada. Isto leva, conseqüentemente, a uma interrogação básica: qual é a conexão entre informações coletadas em superfície e a geologia (particularmente mineralização) em profundidade? As respostas a esta questão passam por uma nova maneira de comparar, analisar e observar o conjunto de dados, baseando-se sempre em expectativas fundamentadas no conhecimento da geologia da área de estudo (Ref. 8). Desse modo, em vez de se buscar um *novo* mapa geológico para a área em foco derivado de tais dados, a questão que deve ser colocada é: *que tipo de informação trazida por esses dados é ainda desconhecida e merece ser verificada no campo pelo potencial prospector que encerra?*

## 2.2 - ENTRADA DOS DADOS

Dados de natureza geológica usualmente são produzidos em três formatos: pontos, linhas e polígonos. Dados pontuais podem estar relacionados a valores geoquímicos ou serem indicativos do local de ocorrência de certo bem mineral. Dados em formato linear tanto podem representar uma falha ou fratura geológicas, quanto estabelecerem o limite entre duas unidades quaisquer. Polígonos, por outro lado, em geral delimitam área de ocorrências de determinada unidade litológica, pedológica, etc. Tais informações são manuseadas na forma de mapas de distribuição espacial, mapas de isovalores ou mapas de simbologias. Muitos dados de interesse são ainda fornecidos na forma de relatórios, gráficos ou tabelas. Além da incompatibilidade de formatos e dos problemas inerentes ao registro e comparação de produtos em diferentes escalas, projeções ou formatos, ocorre ainda o fato de um dado de natureza geológica em geral requerer dois tipos de descrição: posição geográfica e magnitude. Uma solução para este tipo de representação consiste na digitalização deles gerando imagens geocodificadas que compõem um Banco de Dados Digitais Multifonte (BDDM). A entrada de dados (na forma de mapas diversos, tabelas, pontos, fotografias digitalizadas, imagens de satélite realçadas, etc.) é feita utilizando-se mesa digitalizadora e "scanner" conectados a sistemas computacionais de processamento digital de imagens.

### 2.3 - BANCO DE DADOS DIGITAIS MULTIFONTE-BDDM

Uma vez estabelecido o *modelo prospectivo* e os *critérios diagnósticos* para a área de estudo, a etapa de entrada de dados propiciará a criação de um BDDM, o qual, na maioria dos casos deve ser constituído por:

#### I - Modelos Numéricos do Terreno-MNT

Os MNTs são especialmente úteis para a correção de valores de radiância lidos pelo sistema sensor, através do estabelecimento de mapas de declividade do terreno. Quando integrados com dados digitais multifonte, servem também como *imagens* de "background", propiciando a visualização espacial (tridimensional) de informações temáticas derivadas da análise de outros produtos. Além dos dados topográficos, os MNTs podem mostrar, ainda, a representação espacial de dados *geoquímicos*, *geofísicos*, etc.

#### II - Conjunto de Imagens Georreferenciadas-CIGr

Quando imagens de sensoriamento remoto geradas por diferentes sistemas (ou em diferentes épocas do ano) são utilizadas na análise comparativa entre elas ou com dados oriundos de outras fontes, tais produtos precisam ser *geocodificados*, ou sejam, colocados numa base de referência comum (Ref. 9). Daí resulta a necessidade da criação do CIGr, o qual permite a combinação de tais produtos com mapas e dados digitalizados diversos. A criação de um CIGr deve estar atenta para os seguintes requisitos:

- correções para erros ligados à forma de coleta do dado,
- reamostragem para "pixels" de tamanho padrão,
- rotação para alinhamento com eixo norte-sul,
- transformação para a escala de projeção desejada,
- ampliações para escala compatíveis com os demais produtos.

### III - Conjunto de Imagens Radiometricamente Corrigidas - CIRC

Dados digitais de sensoriamento remoto são normalmente analisados admitindo-se que o valor de nível de cinza do "pixel" representa a radiância medida pelo sistema sensor. Esta, por sua vez, é diretamente proporcional à irradiância solar e à reflectância da superfície contida dentro do campo de vistas instantâneo do sistema, para cada banda espectral. Essa premissa é razoavelmente satisfatória quando se está trabalhando com imagens simultâneas de um mesmo sistema sensor. Entretanto, quando se pretende comparar imagens multitemporais, imagens multisensor, ou se objetiva correlacioná-las com dados radiométricos coletados em campo, os valores de níveis de cinza precisam ser convertidos para valores de radiância ou de reflectância. Além das características espectrais da área de estudo, os valores de níveis de cinza registrados pelo satélite são dependentes dos padrões de calibração do sensor em um dado tempo, das características atmosféricas, das relações entre topografia e ângulos solares.

Para a criação de um CIRC deve-se levar em consideração os seguintes fatores (Ref. 10 e 11):

- transmitância vertical atmosférica entre sensor e alvo,
- irradiância solar no topo da atmosfera,
- transmitância da atmosfera ao longo de vetor sol-terreno,
- iluminação difusa sobre o alvo,
- distância Terra-Sol,
- ângulo entre o vetor sol e a perpendicular à superfície,
- reflectividade do terreno,
- radiância mínima para produzir um valor digital unitário,
- valor de radiância para saturação do detetor,
- valor digital máximo capaz de ser registrado (64, 128, 256).

### IV - Conjunto de Dados de Verdade Terrestre-CDVT

O CDVT engloba um pacote de informações derivadas de campo e colocada em formato digital compatível (geocodificadas), para permitir seu cruzamento com dados de sensoriamento remoto. Tal pacote pode englobar o seguinte elenco de informações:

- a) dados litológicos prévios (quer seja na forma de mapas, pontos ou tabelas);
- b) dados geológicos-estruturais prévios ou interpretados de fotografias aéreas ou de imagens de sensoriamento remoto, convenientemente realçados por técnicas de processamento digital;
- c) dados pedológicos, incluindo sempre que possível análises químicas;
- d) dados de cobertura vegetal, visando estabelecer modelos que expressem as possíveis relações rocha-solo-vegetação, e o modo como essas se manifestam em produtos de sensoriamento remoto;
- e) dados geofísicos, tanto de natureza superficial quanto de profundidade;
- f) dados geoquímicos de rochas, solos e sedimentos de corrente; e
- g) dados de radiometria de campo e laboratório, para a caracterização espectral de alvos específicos e correlação com imagens de satélite.

#### 2.4 - MANIPULAÇÃO DOS DADOS

Esta etapa consiste no manuseio (*manipulação*) dos dados, visando testar, validar ou desenvolver os modelos prospectivos hipotetizados, através de um *Sistema de Informações Geográficas*.

#### 2.5 - SAÍDA DOS DADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados digitais processados podem sair em dois formatos principais: formato analógico, através da unidade visualizadora de imagens e na forma de mapas e tabelas gerados por impressoras. É sempre oportuno mencionar, no entanto, que os sistemas computacionais e os modelos quantitativos de prospecção, por eles gerados, jamais poderão substituir o papel do geólogo de campo. Será sempre ele que criará os modelos teóricos prospectivos para cada área de interesse, com base em seus conhecimentos prévios, e testará as diferentes hipóteses para validá-los. Desse modo, as técnicas quantitativas devem sempre ser entendidas apenas como mais uma ferramenta de apoio, visando a otimizar

a coleta e interpretação de dados, direcionando, assim, as campanhas de campo, com o objetivo básico de reduzir seus custos operacionais.

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AARNISALO, J. Image processing and integration of geophysical, Landsat and other data as a tool for mineral exploration in glaciated Precambrian terrain. In: Int'l Symp. on Rem. Sensing of Environment-3rd Thematic Conference, Remote Sensing for Exploration Geology. Proc. Vol. 1, p. 107-128. Colorado Springs, 1984.

ARONOFF, S. Image processing for data integration in mineral exploration. In: Canadian Symp. on Rem. Sensing, 9. Proc. p. 423-432, St. John, 1984.

BAKER, M.C.W.; LOCKETT, N.H. Landsat-based tectonic and metallogenic synthesis of the Southwest United States: an example of low technology data integration. In: Int'l Symp. on Rem. Sensing of Environment-3rd Thematic Conference, Remote Sensing of Exploration Geology. Proc. Vol. 1, p. 97-105. Colorado Springs, 1984.

BURROUGHS, P.A. Principles of geographical information system for land resources assessment. Oxford Science Publication. Mon. on Soil and Res. Survey, 12. Oxford, 1987.

GREEN, A.A. and CRAIG, M. Integrated analysis of images data for mineral exploration. IN: Int'l Symp. on Rem. Sensing of Environment-3rd Thematic Conference, Remote Sensing for Exploration Geology. Proc. vol. 1, p. 131-137, Colorado Springs, 1984.

LAVERTY, I., MACDONALD, J. and CIHLAR, J. Application of geocoded imagery. In: Int'l Symp. on Rem. Sensing of Environment, 19. Proc. vol. 1, p. 105-119, Ann Arbor, 1985.

MIDDLETON, E.M. and LU. Y-C. Using the solar elevation angle and radiance conversion to normalize forest spectral signatures. In: Int'l Symp. on Rem. Sensing of Environment, 17. Proc. vol. 2 p. 895-905. Ann Arbor, 1983.

REIMCHEN, T.H.F. Location of economic gypsum deposits by integration of multispectral, multitemporal, geophysical, geochemical, geobotanical and geological data. In: Int'l Symp. on Rem. Sensing of Environment-2nd Thematic Conf. Remote Sensing for Exploration Geology, Proc. Vol.1 p. 109-129, Fort Worth, 1982.

- ROBINOVE, C.J. Computation with physical values from Landsat digital data. Photogram. Engin. & Rem. Sensing, 48(5):781-784, 1982.
- WALKERA, K-M. Digital spatial data handling techniques applied to the development of quantitative geologic models. In: Int'l Symp. on Rem. Sensing of Environment, 17. Proc. vol. 2, p. 827-838, Ann Arbor, 1983.
- XINGYUAN, H. and ZENGCHUN, L. A preliminary research on land resources information system and its application in land evaluation. In: Int'l Workshop on Geographic Information system. Proc. p. 384-398. Beijing, 1987.