

Metodologia para Integração de Imagens Gamaespectrométricas e TM/LANDSAT-5 através do IHS

ADRIANA CHATAACK CARMELO
PAULO ROBERTO MENESES

Laboratório de Sensoriamento Remoto-Instituto de Geociências da Universidade de Brasília.
Caixa Postal 04465, CEP: 70910-900, Brasília-DF. E-mail: carmelo@guarany.cpd.unb.br

Abstract. In the last years advances in digital data integration have been performed. This paper presents the study of integration methodology of TM/LANDSAT multispectral images and gammaespectrometric images obtained from original geophysical data. This methodology was tested in one area of basement terranes, represented by gnaissic and granitic rocks. The proposed integration process involves merging of enhanced and registered TM images (2, 4 and 5 bands) with original aerogeophysical data (regular grid) that have been established in raster format. Both of them were resampled for some spatial resolution of 90m x 90m. The resulting merged images shows that the spatial and spectral features of the studied area allowed an accurate lithological and structural discriminations. The adequate integrated use of enhanced TM/LANDSAT images and gammaespectrometric images clearly discriminates areas of different geological features. The results of this study show that remotely sensing techniques may be an efficient tool for preparing geological maps on previously unrecognized terranes.

Keywords: Digital integration, methodology, merged images, geophysical interpretation.

Introdução

A integração de dados é um procedimento muito comum dentro da Geociências. Ainda na década de setenta, a integração de diversos dados era basicamente visual e o volume de informações utilizados muito reduzido, pois todo o processo de integração e análise dos resultados era desempenhado pelo intérprete. Nesse tipo de trabalho o produto final obtido resultava principalmente da experiência e capacidade de observação do pesquisador/intérprete e a metodologia de trabalho desenvolvida possuía características pessoais.

Em alguns países, já nos anos oitenta, a integração de dados começa a ser realizada com auxílio de sistemas computacionais. Alguns trabalhos que exemplificam este novo procedimento de integração de dados geológicos foram os de Green & Craig (1984), Aarnisalo (1984), Eliason *et alii* (1983), entre outros. Assim, sistemas e algoritmos computacionais foram desenvolvidos para tratar e analisar grande volume de informações e processar a diversidade de dados obtidos por diferentes tipos de sensores. Com estes recursos é possível utilizar técnicas de geoprocessamento para trabalhar conjuntamente com informações geofísicas, imagens de satélite e radar, etc. Seguindo essa linha, alguns trabalhos pioneiros no Brasil foram os de Paradella *et alii* (1990), Rolim (1992 *in* Rolim *et alii*, 1993), Almeida Filho & Castelo Branco (1992), Miranda *et alii* (1992), Carmelo & Carvalho (1993), Carmelo (1994), que utilizaram a técnica de Transformação no espaço IHS.

Neste trabalho, o processo de integração de dados utilizou imagens do satélite

TM/LANDSAT-5 (bandas 1,2,3,4,5,e 7) e dados de gamaespectrometria (canais U,K,Th e CT) para gerar um produto final híbrido com informações multiespectrais ampliadas.

Geologia da Área

A área estudada situa-se no NW de Goiás, região de Crixás-Hidrolina, e denomina-se de Complexo Caiamar. Com uma área de aproximadamente 750 km², apresenta-se como a mais extensa unidade de rochas granito-gnáissicas dos terrenos granito-*greenstone* de Goiás, mas são poucos estudos devido a distribuição esparsa de afloramentos, ao arrasamento do relevo e a forte ação intempérica sobre suas rochas.

Estudos petrográficos, geoquímicos, estruturais e geocronológicos realizados por Vargas (1992) e Jost *et alii* (1992 e 1994) concluíram que estes domínios caracterizam-se por extensa continuidade lateral e homogeneidade química-mineralógica. O Complexo Caiamar é constituído predominantemente por rochas quartzo-feldspáticas pouco deformadas que foram divididas através de suas variações composicional, textural e estrutural em 3 unidades (Jost *et alii*, 1994). Estas variações litológicas apresentam-se através de um complexo de gnaisses (Gnaisse Crixás-Açú), tonalitos (Tonalito Tocambira) e granodioritos (Granodiorito Águas Claras). Os Complexo Caiamar apresenta limites, a leste, com *Greenstone-Belt* de Guarinos e, a oeste, com o *Greenstone-Belt* de Crixás.

Assim, escolheu-se trabalhar com informações de gamaespectrometria e imagens de satélite num único produto final onde fosse possível realçar e caracterizar variações

composicionais e estruturais dos terrenos granito-gnaisses do Complexo Caiamar.

Natureza dos Dados Utilizados

Dados de Gamaespectrometria (U,Th, K e CT): Os dados originais de gamaespectrometria foram obtidos pelo levantamento aerogeofísico PGBC - Projeto Geofísico Brasil-Canadá e cedidos pela Divisão de Geofísica da CPRM (Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais) na forma de grades regulares para cada canal (U,Th,K e CT). **Grades Regulares** O tamanho da célula da grade foi escolhido considerando-se as diferenças de amostragem ao longo das direções NS (estações de medidas a aproximadamente cada 61m) e EW (espaçamento aproximado entre as linhas de produção em 1000m). Segundo Vasconcellos *et alii* (1994) as células de uma grade só terão valores aceitos quando estiverem no intervalo de 1/4 a 1/8 do valor do espaçamento entre as linhas de produção. Assim, neste trabalho as células tiveram dimensões de 250m, o valor equivalente a 1/4 do espaçamento entre as linhas de produção do PGBC/Fase II (1000m). A CPRM processou os dados utilizando funções interpoladoras que foram aplicadas segundo direções específicas. Para este trabalho, escolheu-se os interpoladores de funções linear (NS) e *spline* cúbico (EW), as quais promovem uniformização dos dados quando são aplicadas de modo diferenciado ao longo das direções escolhidas.

Imagens Gamaespectrométricas - Os dados originais de gamaespectrometria, na forma **RICAS** de grade regular, foram convertidos para o formato imagem, onde os valores de raios gama são reescalados para uma faixa de 0 a 255 níveis de brilho. Para manipular e converter os dados de gamaespectrometria, utilizou-se o sistema de informação geográfica, desenvolvido pelo INPE, o SGI/INPE, onde a conversão de formatos utiliza o recurso de refinamento de grade para se obter uma dimensão de célula mais próxima ao tamanho de pixel das imagens do TM (30m x 30m), pois as imagens de radioelementos (U, K, Th e CT) serão posteriormente integradas com as imagens de satélite. Neste procedimento, a grade é refinada e sua célula passa a ter uma dimensão de 125m, o que representa a metade do valor da célula inicial (250m). Este é o mais baixo valor aceito para a resolução de uma imagem que foi obtida a partir dos dados originais. Depois desta etapa, as imagens de gamaespectrometria podem ser integradas com as bandas originais do TM e utilizadas como novas bandas espectrais.

Processamento das Imagens de Satélite As imagens de satélite usadas neste trabalho são da trajetória de órbita WRS 222, ponto 70 do LANDSAT-5, nas bandas 1,2,3,4,5 e 7. As imagens foram tratadas por técnicas de realce em

duas etapas diferentes. A primeira etapa consistiu da avaliação individual das bandas para se analisar a informação espectral de acordo com as informações geológicas dos terrenos granito-gnaissicos. A segunda etapa foi destinada à integração das imagens de satélite com imagens de radioelementos (U, K, Th e CT) através do realce de transformação no espaço IHS, isto é, a aplicação dessa técnica de realce consistiu na ferramenta para realizar a integração de produtos gerados por sensores diferentes. No trabalho foram utilizados dois conjuntos de bandas para serem realçados pela transformação no espaço IHS. Na composição colorida 245 foi aplicada a transformação e observou-se uma excelente discriminação espectral e textural na porção interna do Complexo Caiamar. A composição colorida 457 sofreu realce IHS e gerou um produto com características espectrais diferentes. Pode-se observar pouca diversidade espectral dentro do Complexo Caiamar, mas este produto apresenta o melhor realce para os limites externos do Complexo Caiamar com as rochas supracrustais de Crixás e Guarinos.

Metodologia para Integração de Dados de Sensoriamento Remoto através do IHS

A partir das imagens TM foram selecionadas três bandas, que analisadas na forma de uma composição colorida no padrão RGB, apresentaram melhores contrastes espectral e poder de discriminação dos alvos da área. Esse conjunto é constituído pelas bandas 2,4 e 5. Nessas três bandas foi aplicada a transformação IHS no contexto de técnica de realce obtendo-se as componentes independentes da cor I (*Intensity*), H (*Hue*) e S (*Saturation*). A fim desta transformação resultar num componente com melhor equilíbrio dos comprimentos de onda dominantes da cor (H), normalizou-se previamente a média de nível de cinza das três bandas pelo valor da média mais alta (banda 5). Com as bandas normalizadas realizou-se a transformação do espaço de cor RGB para o espaço IHS. Os componentes I, H e S podem ser correlacionados individualmente com os atributos da cor diretamente relacionados às propriedades espectrais dos alvos. A **componente I** tem como característica principal a propriedade de preservar o atributo da resolução espacial das imagens transformadas, evidenciando com clareza as variações morfológicas do terreno em função da intensidade luminosa mínima percebida pelo olho humano. É possível distinguir-se nitidamente o contraste entre domínio serrano das rochas dos *greenstones* de Crixás e de Guarinos e com os relevos de topografia arrasada do Complexo Caiamar. O histograma da imagem mostra-se com variância mediana e, visualmente a componente 1, exibe um relativo contraste tonal entre as rochas

granito-gnáissicas com as rochas do *greenstone*. A fim de acentuar o realce entre os níveis de cinza da imagem, aplicou-se à toda cena uma expansão linear de contraste para alcançar todo o intervalo dinâmico de 0 a 255 níveis de cinza, obtendo-se uma imagem que permite melhor diferenciar variações tonais ou áreas com diferentes níveis de albedo, dentro dos terrenos granito-*greenstone*. A **componente H** é caracterizada por apresentar toda a informação espectral contida nas bandas 2,4 e 5. São extremamente acentuadas as variações de cor das rochas granito-gnáissicas com as rochas dos *greenstones*. Variações mais sutis de cores podem ser identificadas nas porções norte e limítrofe do *Greenstone* de Guarinos em relação a porção central do complexo. Considerando-se que a componente H retrata o comportamento espectral dos alvos, deve-se entender que tais variações de “cores” representam variações nas composições das rochas granito-gnáissicas. A **componente S** representa a pureza das cores dos alvos onde os níveis de cinza mais claros são relacionados a cores com maior pureza (quantidade de branco). É notado o predomínio de níveis de cinza escuros que denotam a baixa pureza das cores dos alvos. Isto implica numa imagem híbrida que representa gradações de cores com baixo contraste de matizes. De acordo com a curva histogrâmica, para ser realçada a quantidade de branco, foi aplicado um reescalamento na imagem com um valor x de *offset*, seguindo-se a Ampliação Linear de Contraste.

Após esta fase de tratamento de realce e análise das componentes independentes das cores a transformação IHS assume, a partir de então, um caráter de técnica de integração de dados de diferentes sensores e diferentes resoluções. Nesse processo foram testadas as possíveis combinações dos dados substituindo-se as componentes I,H ou S das imagens TM pelas imagens gamaespectrométricas U, Th, K e CT, com objetivo de conseguir uma melhoria na discriminação espectral e espacial das rochas do Complexo Caiamar.

Devido a grande diferença entre as imagens TM e gamaespectrométricas optou-se em preservar a componente I gerada a partir das bandas 2,4 e 5, com objetivo de manter melhores variações de intensidade de brilho na imagem integrada. As tentativas de substituições da componente H pelas imagens de gamaespectrometria resultou num produto integrado com reduzida informação espectral e baixo poder de discriminação de possíveis variações litológicas do Complexo Caiamar. Isto ocorre devido as imagens gamaespectrométricas possuírem reduzida informação espectral. Os melhores resultados foram obtidos pela substituição da componente S. Desta maneira a

imagem integrada resultante foi constituída pelas componentes da cor I e H das bandas TM 2,4 e 5, e por uma das bandas gamaespectrométricas. A imagem híbrida formada com a **banda de urânio (U)** apresentou baixa variação de níveis de brilho e poucas diferenças espectrais. A este fato relaciona-se a baixa resposta de urânio para a região dos terrenos granito-*greenstone* devido a forte susceptibilidade deste elemento no processo generalizado de lixiviação que reflete num padrão radiométrico homogêneo para a área. A imagem integrada com a **banda thório (Th)** apresenta variações de níveis de brilho e espectrais mais nítidas para as rochas granito-gnáissicas do Complexo Caiamar. Isto é constatado pela presença do elemento thório na estrutura dos minerais acessórios, como zircão e apatita, comuns aos granitóides da área. A imagem integrada a partir da **banda potássio (K)** apresenta-se com melhores respostas de níveis de brilho e diferenças espectrais que àquela obtida com a componente Th, pois o potássio é um dos elementos mais abundantes e importantes no processo de formação dos minerais essenciais das rochas graníticas, e resulta numa imagem melhor discriminada. Melhores resultados foram obtidos para a imagem integrada com a substituição da imagem de **contagem total (CT)**, Figura 1. A sua semelhança com a imagem integrada, formada a partir da imagem K, confirma que o canal do potássio é o que mais contribui como canal de discriminação das rochas graníticas na imagem CT.

Definida a imagem gamaespectrométrica que substituirá a componente S das imagens TM, foi aplicada a transformação inversa IHS→RGB para obter-se uma imagem da composição colorida compatível ao sistema de monitor de vídeo RGB. Em todo este processo é necessário que, para gerar-se uma imagem integrada com boa qualidade espectral, os dados tenham a mesma resolução espacial, ou seja, o mesmo tamanho de *pixel*. Para isso foram testadas conversões de resolução dos *pixels* das imagens TM e gamaespectrométricas para valores iguais de 125m x 125m, 90m x 90m e 60m x 60m.

O melhor resultado foi conseguido com a resolução de 90m x 90m onde a imagem integrada apresenta a melhor compensação entre as resoluções espaciais e espectrais das imagens, Figura 2. Com este tamanho de *pixel* a imagem CT representa com mais fidelidade a informação contida nos dados originais de gamaespectrometria e a imagem TM, apesar de ter sua resolução espacial degradada, mantém boa resolução espectral. Este fato resulta da amenização no atributo espacial das feições de relevo, da cobertura vegetal e do uso da terra. Enquanto nas imagens com a resolução de 60m x 60m, os limites dos *pixels* são realçados e provocam um aspecto

quadriculado por toda a imagem. Para resolução espacial de 125m x 125m, as componentes da imagem TM são fortemente degradadas e resultam numa imagem híbrida com aparência desfocada ou embaçada, com frequência espacial baixa.

Conclusões A integração de imagens utilizando-se a técnica de transformação IHS permitiu gerar um produto final que reúne as melhores informações espectrais das imagens TM (2,4 e 5) e gamaespectrométrica (CT). As imagens integradas apresentam excelente discriminação das informações espectrais e espaciais e resultam num produto híbrido que traduz com mais fidelidade as feições geológicas do Complexo Caiamar.

Após analisar e discutir os resultados conseguidos pela metodologia de integração proposta, as principais conclusões obtidas foram:

a) A integração através da transformação no espaço IHS constiu-se numa técnica eficiente para gerar um produto final que detém informações obtidas por diferentes sensores. O melhor conjunto de bandas selecionadas do sensor imageador TM foram 2,4 e 5 e do sensor não imageador gamaespectrométrico foi o canal CT. Mas salienta-se que as bandas referentes aos canais Th e K apresentam excelentes informações radiométricas para o interior e limites externos do complexo. Na porção NE destas imagens é observado claramente o Domo de Guarinos através das diferentes repostas radiométricas das rochas que constituem o *Greenstone belt* de Guarinos e os granitóides do domo.

b) Devido a natureza e resoluções dos dados de 1000m para as imagens gamaespectrométricas e 30m para as imagens TM, verificou-se que a melhor imagem híbrida obtida destes dois sensores foi para resoluções reamostradas de 90m com imagens apresentadas nas escalas de 1:100.000 e 1:140.000.

c) Na transformação IHS, como técnica de integração, as componentes I e H foram geradas a partir das imagens 2, 4 e 5, e mantidas por deterem o conteúdo de informação espectral associada a uma boa expressão espacial dos dados e a componente S, foi substituída pela imagem gamaespectrométrica CT.

d) As imagens integradas permitiram adicionar novos conhecimentos sobre a natureza dos terrenos granito-gnáissicos do Complexo Caiamar como segue (Figura 3):

- A confirmação da existência de quatro variações faciológicas representadas pelos gnáisses bandados Crixás-Açú; tonalitos isotrópicos Tocambira; tonalitos orientados Tocambira e os granodioritos Águas Claras.

- A existência de dois marcantes sistemas de falhamentos e lineamentos nas direções N45W e N20E que cortam o complexo e estendem-se às áreas dos *greenstones*.

- A identificação de estruturas circulares na porção central do complexo balisadas por falhamentos e que fortemente sugerem processos diapíricos.

- A presença realçada, nas imagens integradas, de uma foliação concêntrica evidencia uma forma anelar/circular para a porção tonalítica do complexo e para os lineamentos de direção ENE.

- A interpretação geológica final confirma a recente proposta de subdivisão do Complexo Caiamar apresentada por Jost *et alii* (1994) e a ela adicionou-se novas informações obtidas no presente trabalho.

- Constatou-se a validade da técnica de integração através da transformação IHS, e propõe-se a utilização desta metodologia para uma aplicação e uso dos dados geofísicos do PGBC, com finalidade prospectiva.

Referências Bibliográficas

Aarnisalo, J. 1984. Image processing and Integration of Geophysical, LANDSAT and other data as a tool for Mineral Exploration and Glaciated Precambrian Terrain. In: Int.. Simp. on Remote Sensing of Environm., T. Conference, Remote Sensing for Exploration Geology, 3. Colorado, 1984. Anais... Colorado, p 107-127.

Almeida Filho R. & Castelo Branco, R. G. 1992. Location of Kimberlites using LANDSAT Thematic Mapper images and aerial photographs: the Redondão diatreme, Brazil. *International Journal Remote Sensing*, 13(8): 1449 - 1457.

Carmelo, A.C. 1994. Integração de Imagens TM/LANDSAT-5 e Gamaespectrométricas no Estudo Geológico do Complexo Caiamar, na região de Crixás, G.O. Brasília. 63p. (Dissertação de Mestrado/UNB).

Carmelo, A.C. & Carvalho, A. S. 1993. Realce digital para os Greenstones-Belt de Crixás, Goiás. In: SIMP. BRAS. SENS. REMOTO, 7. Curitiba. Anais... Curitiba, v.3, p.182-187.

Eliason, P.T.; Donovan, T. J.; Chaves Jr., P.S. 1983.

Integration of geologic, geochemical and geophysical data of the cement oil field, Oklahoma, using spatial array processing. *Geophysics*, 48(10): 1305-1317.

Green, A. A. & Craig, M. 1984. Integrated Analysis of Image Data for Mineral Exploration In: Int. Symp. on Remote Sensing of Environment, Third Thematic Conference. Remote Sensing for Exploration Geology. Anais... Colorado Springs p. 131-137.

Harding, A. E. & Forrest, M. D. 1989. Analysis of Multiple Geological Datasets from English Lake District. IEEE Transac. Geosc. Rem. Sens.; 27(6):732-738.

Jost, H.; Nascimento, C. T. C.; Vasconcellos, F. M.; Freitas, A. L. S.; Costa, A. L. L.; Martins, M. C. A.;
Carvalho, M. N.; Condé, V. C. 1992. Geologia da Porção norte do Greenstone-Belt de Guarinos, Brasília. (Relatório Final de Graduação - UNB/IG).

Jost, H.; Carmelo, A. C.; Meneses, P. R. 1994. Litologias, Relações de Contato e Estrutura do Bloco Caiamar, Crixás, Goiás. In: Simp. Geol. Centro Oeste, 4. Brasília, 1994. Anais... Brasília, SBG., p. 18-20.

Miranda, F. P.; Bentz, C.M.; Fonseca, L. E. N.; Lima, C. C.; Nunes, K. C.; Costa, A. R. A.; Almeida Filho, R.; Felgueiras, C. A. 1992. Integração Digital de Dados de Sensoriamento Remoto, Aeromagnetometria e Topografia na definição do Arcabouço Estrutural do rio Uatumã (Bacia do Amazonas) In: CONGR.BRAS. GEOL., 37. São Paulo, 1992. Anais... Goiânia, SBG, Boletim de Resumos Expandidos, p.165-166.

Paradella, W. R.; Vitorello, I.; Lui, C. C.; Mattos, J. T.; Dutra, L. V.; Meneses, P.R. 1990. Imagens do Satélite SPOT-1 em Mapeamento Geológico: um estudo comparativo com vários produtos de sensores no vale do Rio Curaçá, Bahia. Rev. Bras. Geoc.; 20(1-4): 282-292.

Rolim, S. B. A.; Paradella, W. R.; Vasconcellos, R. M.; Azevedo, M. L. V. 1993. Metodologia para geração de imagens de Geofísica: uma contribuição à integração de dados na pesquisa geológica. In: Simp. Bras. Sens. Remoto, 7. Curitiba. Anais... Curitiba, v.3, p.315-322.

Vargas, M. C. 1992. Geologia das Rochas Granito-gnássicas da região de Crixás, Guarinos, Pilar de Goiás e Hidrolina, Goiás. Brasília. 172 p. (Dissertação de Mestrado/UNB).

Vasconcellos, R. M.; Metelo, M. S.; Mota, A. C.; Gomes, R. D. 1994. Levantamentos Geológicos no Brasil em Geofísica. CPRM/DIGEOP, Rio de Janeiro, 172p.



Figura 1 - Composição Colorida RGB das imagens gamaespectrométricas dos canais U, K e Th (Tamanho do pixel de 90m x 90m).

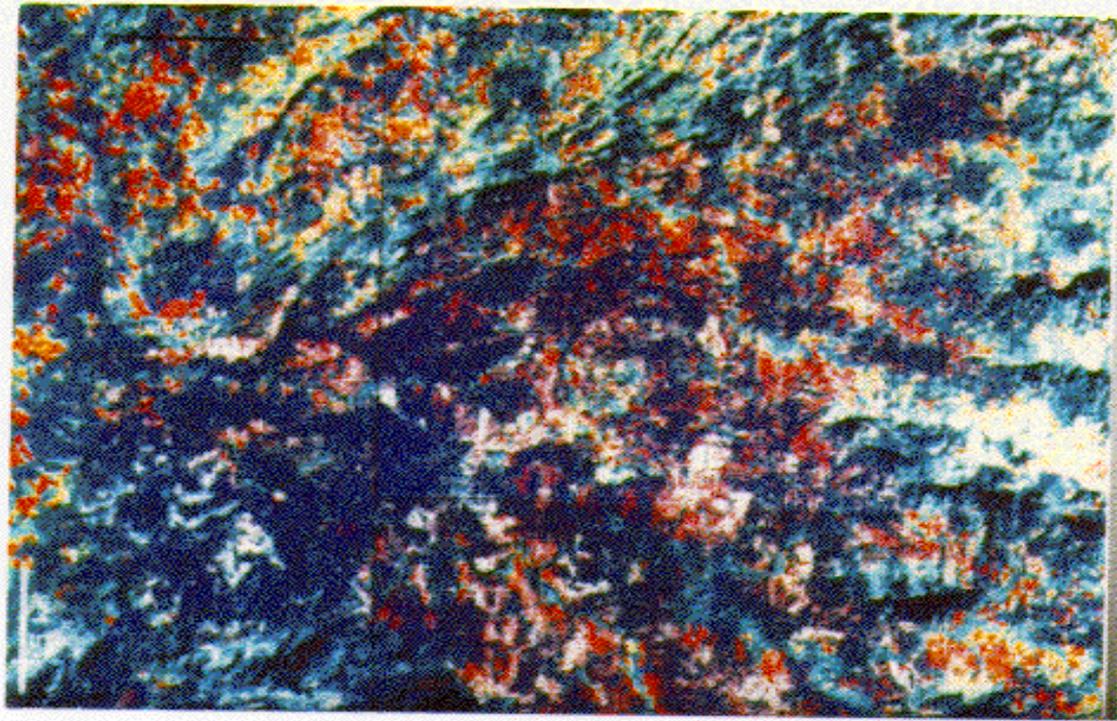


Figura 2 - Imagem Integrada via Transformação IHS (bandas do TM 2, 4 e 5, com substituição de componente S pela banda gamaespectrométrica CT). Pixel original de 90m x 90m



Figura 3 - Mapa Geológico do Complexo Caiçamar resultante da interpretação da imagem integrada