

## Avaliação das imagens do sensor ASTER para discriminação espectral de variações faciológicas no granito Serra Branca, Goiás

Bruno Eustáquio Moreira Lima <sup>1</sup>

Raimundo Almeida Filho <sup>2</sup>

Lênio Soares Galvão <sup>2</sup>

Paulo Roberto Meneses <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Petróleo Brasileiro S/A - PETROBRAS  
Rua Recife, 416 - Adrianópolis - 69057-001 - Manaus - AM, Brasil  
brunolima@petrobras.com.br

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{rai, lenio}@itid.inpe.br

<sup>3</sup> Universidade de Brasília - UnB  
ICC Centro, Campus Universitário Darcy Ribeiro - 70919-970 - Brasília - DF, Brasil  
pmeneses@unb.br

**Abstract.** The objective of this study was to evaluate ASTER images for the discrimination of faciological variations in the Serra Branca granite massif in the Tin Province of the Goiás, which comprises several granitoid bodies with metasomatically altered facies mineralized with cassiterite. Classification of the multispectral images using Spectral Angle Mapping (SAM) techniques enhanced previously mapped areas of biotite-granite and metassomatically altered materials. However, due to the presence of the vegetation cover, detection of diagnostic minerals (e.g., muscovite) based on hydroxyl absorption features was restricted to a small number of pixels. Results showed that under the savanna tropical environment of the study area, ASTER data were more efficacious for the characterization of rock-soil-vegetation associations than for the discrimination of the spectrally diagnostic mineralogical assemblage derived from the metassomatic activity in the study area.

**Palavras-chave:** ASTER, granito, discriminação espectral.

### 1. Introdução

O Sensoriamento Remoto tem sido cada vez mais utilizado como ferramenta auxiliar, tanto para o mapeamento geológico, quanto para a prospecção mineral. Neste caso, a ferramenta visa a discriminação espectral de alvos específicos, que podem ser áreas potenciais para exploração mineral, permitindo a redução de custo e tempo nessas campanhas exploratórias.

Estudos utilizando estes dados têm obtido maior sucesso em regiões áridas e semi-áridas do mundo, onde ocorrem maiores exposições, permitindo aquisição direta da informação espectral da assembléia rocha-solo (e.g., Amos e Greenbaum, 1989; Emran et al., 1996; White et al., 1997).

Em ambiente tropical, a caracterização das propriedades espectrais de rochas e solos é fortemente influenciada pela cobertura vegetal. Desta forma, investigações geológicas utilizando sensoriamento remoto devem explorar o fato de que mudanças sutis na cobertura vegetal podem refletir alterações nas condições do substrato, constituindo associações rocha-solo-vegetação (Almeida Filho, 1984).

Nos granitóides da Província Estanífera de Goiás a cobertura vegetal é o cerrado, típico da região Centro-Oeste do Brasil. No entanto, nas áreas de alterações metassomáticas, a quantidade de cobertura vegetal arbustiva tende a ser menor, com predominância de gramíneas, devido à menor fertilidade dos solos nessas áreas (Almeida Filho et al., 1996). Com base nessa característica, aqueles autores utilizaram imagens do *Thematic Mapper* (TM)

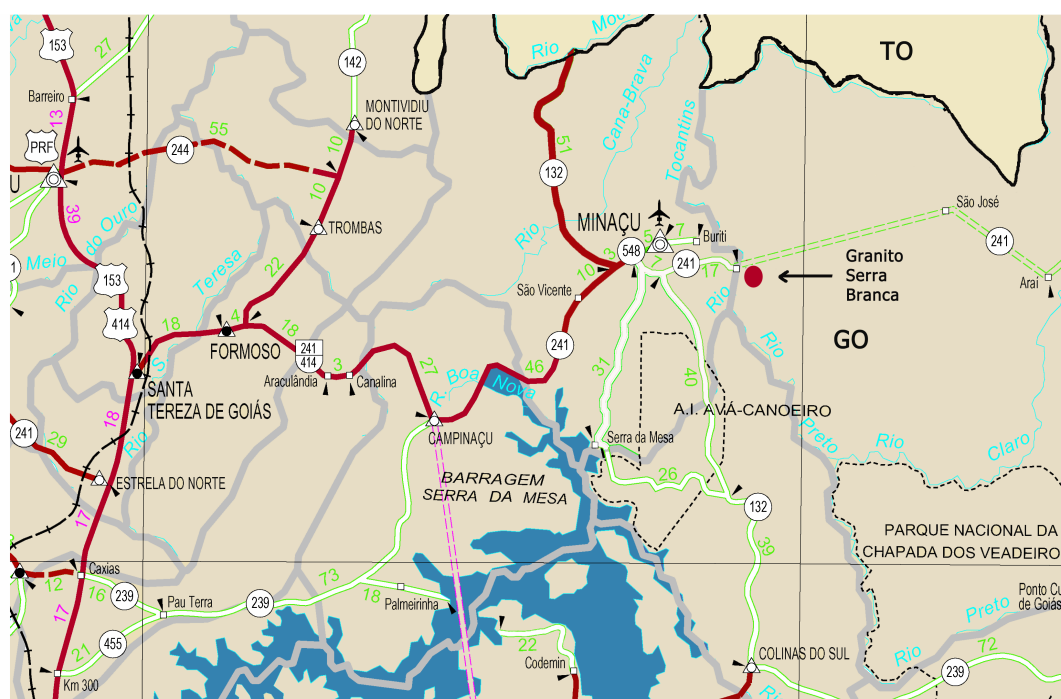
do satélite Landsat-5 na discriminação de áreas alteradas metassomáticamente representadas por fácies albitizadas-greisenizadas em corpos granitóides daquela Província Estanífera.

Novas perspectivas para a discriminação de alvos geológicos foram abertas com o advento das imagens do sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), a bordo do satélite Terra, representando um avanço, em termos de resolução espectral, quando comparado ao instrumento ETM<sup>+</sup> (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) do satélite Landsat-7. O objetivo deste trabalho é avaliar a utilização das imagens ASTER para a discriminação de variações faciológicas no Granito Serra Branca (Província Estanífera de Goiás). A influência da cobertura vegetal sobre a detecção de feições espectrais oriundas de assembléias mineralógicas associadas às atividades metassomáticas na área de estudo também será discutida.

## 2. Área de Estudo

A Província Estanífera de Goiás localiza-se na parte norte do estado de Goiás, a aproximadamente 400km de Brasília-DF. O granitóide Serra Branca encontra-se na porção oeste daquela província, no município de Cavalcante, limitado pelos paralelos 13° 33' 44" e 13° 38' 50" de latitude sul e pelos meridianos de 48° 05' 03" e 48° 07' 13" de longitude oeste.

O acesso à área de estudo pode ser feito pela rodovia federal BR-153 (Belém-Brasília) até a cidade de Santa Tereza de Goiás-GO e, a partir desta, pela rodovia estadual GO-241 até a cidade de Minaçu-GO (**Figura 1**). Daí em diante, o acesso é por estradas não pavimentadas.



**Figura 1** - Mapa de localização e vias de acesso à área de estudo (Fonte: MT/DNIT, 2004).

O clima da região caracteriza-se por duas estações distintas: uma seca, de abril a outubro, e outra de chuvas, entre novembro e março. As temperaturas médias variam entre 23° e 24° C, com precipitação pluviométrica anual em torno de 1750 mm. A cobertura vegetal, como já foi mencionado anteriormente, é do tipo cerrado, tendo como característica básica a presença de árvores de pequeno porte, com troncos e galhos retorcidos, intercaladas por arbustos e plantas herbáceas.

A Província Estanífera de Goiás está inserida no Escudo Central Brasileiro, composto de rochas arqueanas de alto grau de metamorfismo (gnaisses, migmatitos, anfíbolitos e metabasaltos) (Almeida et al., 1981). Essas rochas possuem evolução geológica complexa, com evidências de polimetamorfismo e eventos tectono-estruturais superimpostos. Esse núcleo é envolvido pelo Cinturão de Dobramentos Brasileiro, de idade neoproterozóica, constituído por metassedimentos metamorfisados na fácies xisto verde.

A Província Estanífera de Goiás é composta por cerca de duas dezenas de corpos graníticos de idade proterozóica média, alguns mineralizados em cassiterita (Marini e Botelho, 1986). Segundo esses autores, os granitóides podem ser agrupados em quatro subprovíncias: Rio Tocantins, Rio Paranã, Pirenópolis-Goianésia e Ipameri. O granitóide Serra Branca pertence à subprovíncia Rio Tocantins.

Os complexos graníticos possuem dimensões variáveis e ocupam núcleos de estruturas braqui-anticlinais que se destacam no relevo, como os granitóides Serra Branca, Serra da Mesa, Serra Dourada e Serra do Encosto. Estes granitóides são compostos predominantemente por biotita granitos rosados a acinzentados, com textura variando de aplítica a porfírica. Ocorrem também fácies alteradas metassomaticamente, representadas principalmente por muscovita granitos greisenizados e albitizados, hospedeiras das mineralizações de cassiterita (Botelho, 1992).

O granito Serra Branca forma uma estrutura dômica circundada por rochas quartzíticas, que sustentam cotas altimétricas próximas a 840 metros, enquanto no núcleo elas estão por volta de 400 metros. Essas rochas pertencem às formações pré-cambrianas que recobrem extensas áreas da parte central de Goiás, atribuídas ao Pré-Cambriano Médio (Grupo Serra da Mesa) e ao Pré-Cambriano Superior (Grupo Araújo).

Na porção interna da estrutura dômica ocorrem as fácies graníticas, com considerável variação petrográfica, iniciando com biotita granito porfírico, passando progressivamente para granito greisenizado, chegando a greisens típicos mineralizados em Sn, Be, Cu, Li e F (Andrade, 1978) (**Figura 2**).

### **3. Materiais e Métodos**

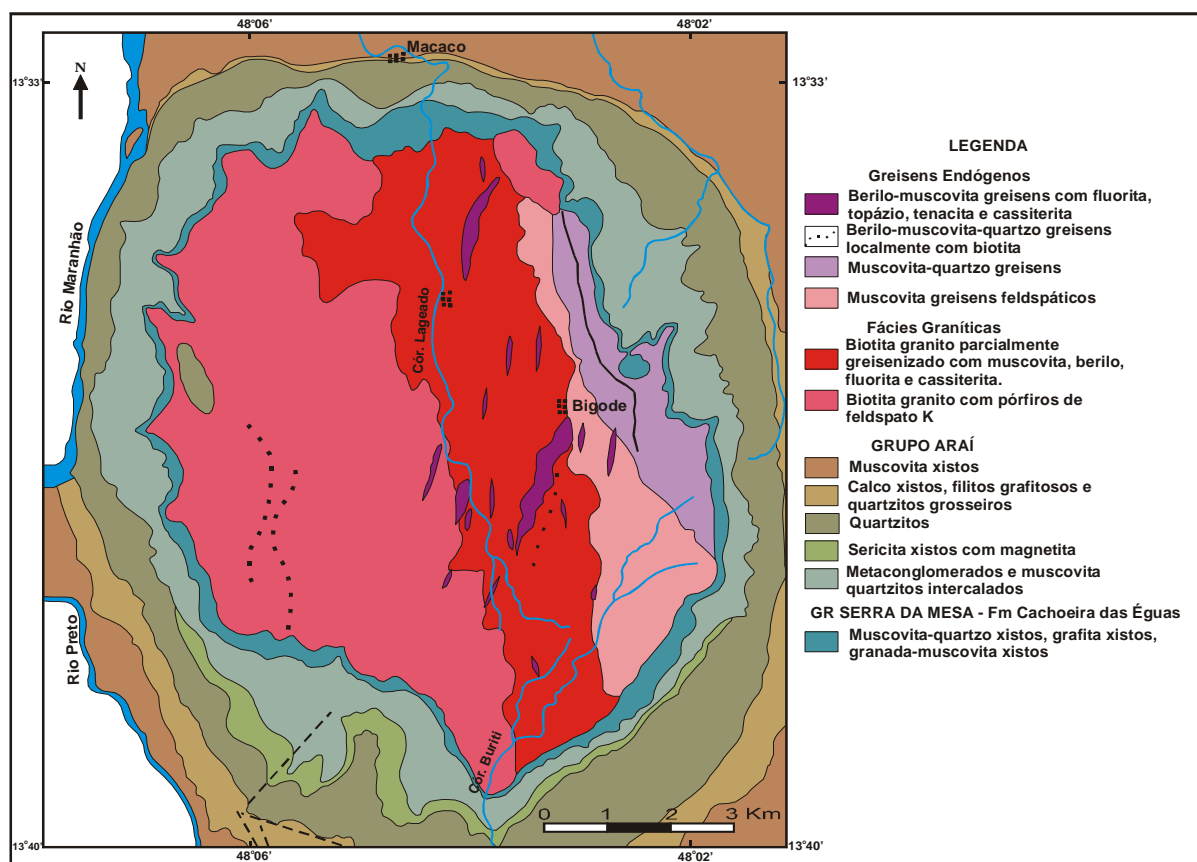
O sensor ASTER é fruto de uma cooperação entre o Japão e os Estados Unidos da América, no qual os japoneses foram responsáveis pela construção do sensor e os norte-americanos pelo satélite. A plataforma Terra, que carrega o sensor ASTER, foi lançada em 18 de dezembro de 1999, em órbita sol-síncrona, altitude de 705km, período orbital de 98,9 minutos e cobertura total da Terra em 16 dias. Uma cena imageada pelo sensor ASTER tem dimensões de 60 x 60km.

O ASTER é formado pelos seguintes subsistemas: Visível e Infravermelho Próximo (VNIR), com três bandas e resolução espacial de 15 metros; Infravermelho Médio (SWIR), com seis bandas e resolução espacial de 30 metros; e Infravermelho Termal (TIR), com cinco bandas e resolução espacial de 90 metros.

O estudo aqui apresentado foi desenvolvido em três etapas, a saber: a) pré-processamento digital dos dados; b) processamento digital dos dados; e c) análise e interpretação dos produtos gerados. Antes da fase de pré-processamento, as bandas do SWIR (4, 5, 6, 7, 8 e 9) foram reamostradas para 15 metros, de modo a ficarem com a mesma resolução espacial das bandas 1, 2 e 3 (visível e infravermelho próximo). O pré-processamento envolveu duas etapas: correção atmosférica e correção geométrica. A correção atmosférica foi realizada utilizando-se o programa ACORN 3.12, baseado no uso do MODTRAN 4, que transforma valores de radiância em valores de reflectância de superfície.

Na etapa de processamento digital foram gerados produtos a partir do uso da técnica *Spectral Angle Mapping-SAM* (Kruse et al., 1993). Em seguida, foi feita uma análise da

influência da cobertura vegetal sobre os resultados obtidos com a técnica SAM, utilizando-se para isto dados NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) (Rouse et al., 1974).



**Figura 2** - Mapa geológico do granitóide Serra Branca (Fonte: Andrade, 1978; Andrade e Danni, 1978; Dardenne e Schobbenhaus, 2001).

Com base em observações de campo e na análise de composições coloridas, foram obtidos espectros de reflectâncias a partir das bandas multiespectrais, representativos das três unidades litológicas predominantes na área do complexo granítico: biotita granito, biotita granito greisenizado e greisens. Para tanto, foram consideradas 10 amostras de cada unidade, utilizando-se uma janela de 7 por 7 *pixels* para cada amostra. Posteriormente, foi calculado o espectro de reflectância média das 10 amostras para cada litotipo. Esses espectros foram utilizados como dados de entrada para a classificação, com o emprego da técnica SAM. Para efeito de comparação com os valores NDVI, também foram geradas imagens utilizando-se a curva de reflectância do mineral muscovita da biblioteca espectral do USGS (*United States Geological Survey*), no intervalo de 2000 a 2350nm (bandas 5 a 8 do ASTER).

Investigações relacionadas à detecção mineral têm sido realizadas com maior sucesso em regiões áridas e semi-áridas, onde extensas áreas de material exposto permitem a aquisição de informação espectral diretamente da associação rocha-solo. Em terrenos tropicais, contudo, essa característica é raramente observada, devido à forte influência da componente vegetação nas imagens. Nesses ambientes, a recuperação de feições espectrais depende do grau da exposição litológica ou da mistura espectral. Por esse motivo foi gerada uma imagem NDVI, para a melhor caracterização das associações rocha-solo-vegetação presentes na área de estudo.

A curva de comportamento espectral da vegetação verde apresenta baixa reflectância na faixa da radiação vermelha (banda 2 do ASTER), devido à absorção da radiação pelos

pigmentos fotossintéticos, e alta reflectância na região do infravermelho próximo (banda 3), devido ao espalhamento múltiplo na estrutura foliar. Os valores das reflectâncias nessas duas bandas podem ser usados para gerar índices de cobertura vegetal do terreno. Diversas transformações lineares de bandas espectrais já foram propostas para estes índices. O índice mais comumente utilizado é o NDVI, obtido utilizando a seguinte equação:  $NDVI = (NIR - VER) / (NIR + VER)$ , onde NIR e VER são, respectivamente, as reflectâncias nas regiões do espectro eletromagnético correspondentes ao infravermelho próximo e ao vermelho.

A influência da cobertura vegetal sobre o processo de detecção mineral com a técnica SAM foi investigada através da correlação dos valores de NDVI com os valores de ângulo SAM. Para isto, foram escolhidos aleatoriamente 100 *pixels* na porção da imagem que apresentou melhores resultados de classificação utilizando a curva de reflectância da muscovita, ou condições mais favoráveis para a detecção mineral, como áreas com baixo índice de cobertura vegetal.

#### 4. Resultados e Discussão

Na classificação litológica utilizando os espectros de reflectância média representativos das unidades litológicas mais representativas na área de estudo, a partir da imagem ASTER, o melhor resultado foi obtido com os ângulos de 0,03, 0,05 e 0,07 radianos para as curvas do biotita granito, do biotita granito greisenizado e do greisen, respectivamente (**Figura 3**).

Estes espectros obtidos a partir da imagem ASTER representam misturas espectrais de rocha, solo, vegetação e sombreamento. A influência da cobertura vegetal sobre esses espectros será discutida mais adiante.

Na **Figura 3** observa-se que os *pixels* classificados como biotita granito (em vermelho), biotita granito greisenizado (em azul) e greisens (em verde), estão nas porções oeste, centro e leste do complexo granítico, respectivamente. Essa configuração espacial corresponde, grosso modo, à distribuição dessas litologias no mapa geológico da área (**Figura 2**), onde a intensidade de greisenização aumenta de oeste para leste no interior do complexo granítico.

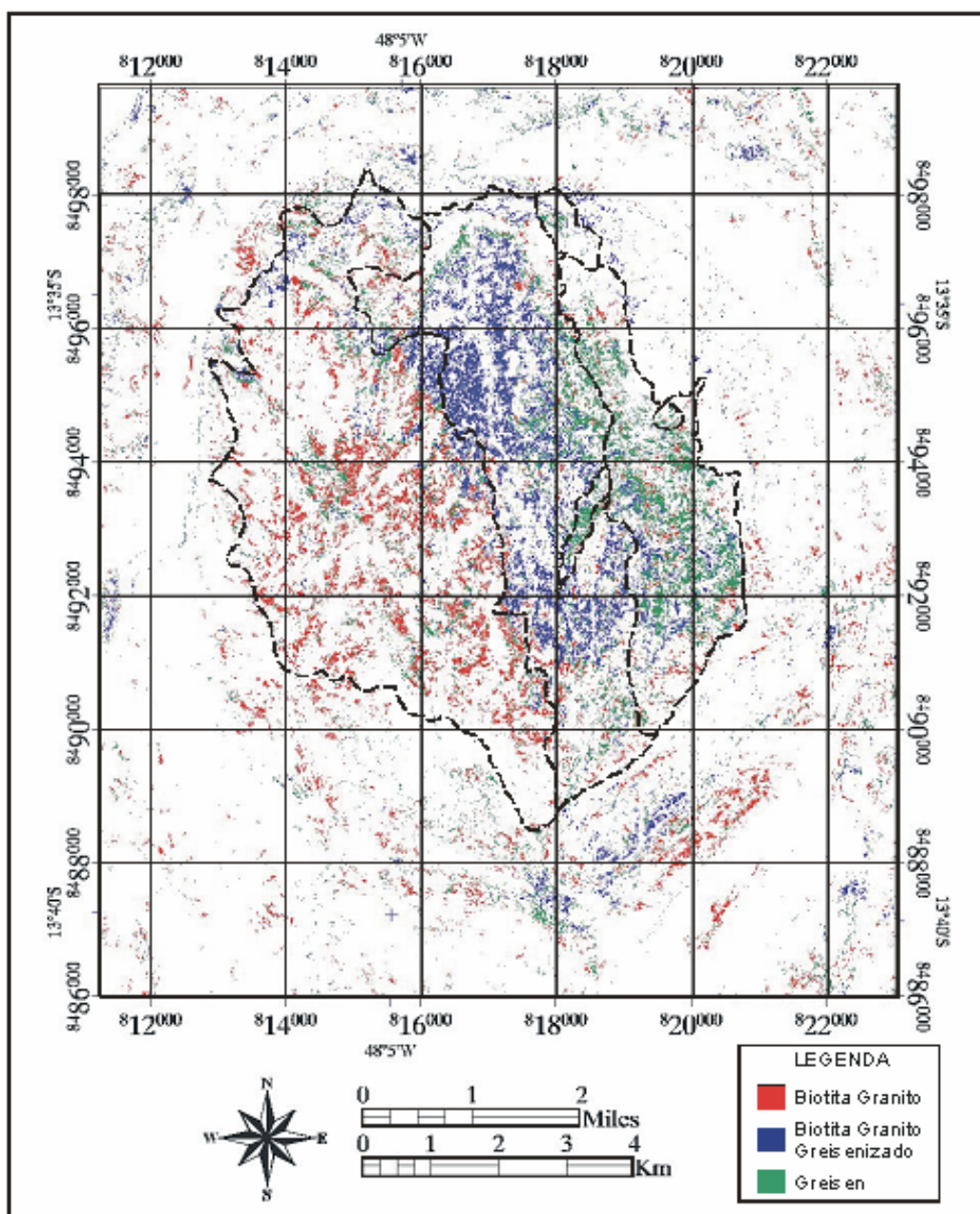
Na área de garimpo de cassiterita (extremo leste da estrutura dômica), onde foram obtidos os melhores resultados de detecção da muscovita com a técnica SAM, a influência espectral da vegetação sobre o processo de detecção mineral é menos acentuado, em função de boas exposições de rochas e solos.

A **Figura 4** comprova essas assertivas, ao indicar uma relação de covariância positiva entre os valores de ângulo SAM (**Figura 4a**) e valores de NDVI (**Figura 4b**). *Pixels* com menores (em vermelho) e maiores (em amarelo) valores de ângulo SAM (**Figura 4a**) tendem a apresentar também menores (em vermelho) e maiores (em amarelo) valores de NDVI (**Figura 4b**), respectivamente.

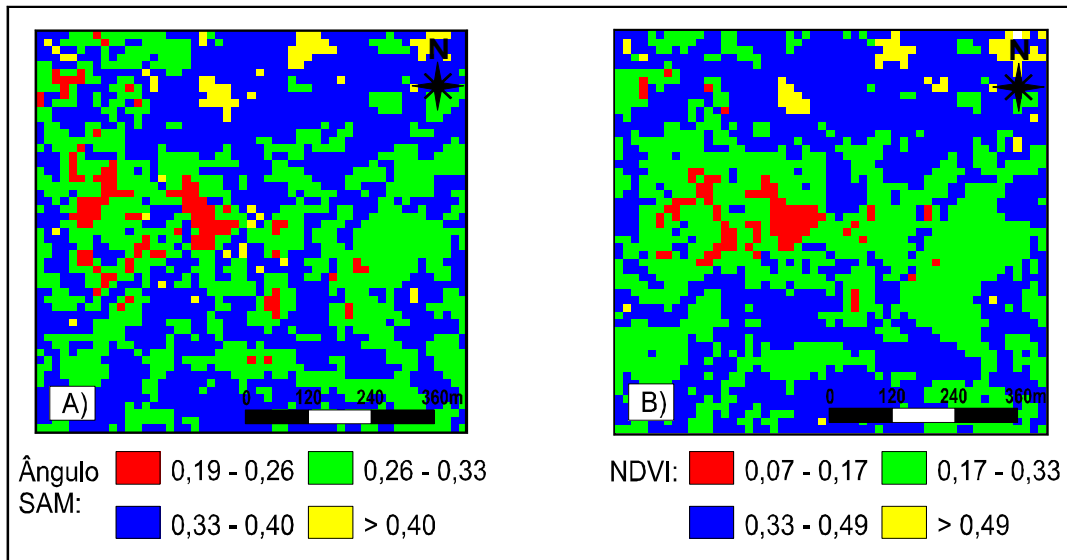
A relação de covariância entre os valores de NDVI e ângulo SAM na área do garimpo é também mostrada na **Figura 5a**, obtida a partir de 100 *pixels* aleatoriamente selecionados na **Figura 4**. Um coeficiente de correlação (*r*) de +0,56 foi obtido para a relação entre estes dois parâmetros, confirmando a tendência dos valores de ângulo SAM aumentarem com o aumento do NDVI. Esse resultado comprova que mesmo nas áreas mais favoráveis, com boas exposições de rocha-solo, o processo de detecção mineral com a técnica SAM ainda é influenciado pela presença da cobertura vegetal rala. A presença da vegetação produz aumento nos valores de NDVI do substrato e, conseqüentemente, nos valores de ângulo SAM, afetando as relações de similaridade entre os espectros dos *pixels* e o do mineral de referência (muscovita).

A **Figura 5b** mostra os espectros de reflectância de dois *pixels* indicados na **Figura 5a**, com valores diferentes de NDVI e de ângulo SAM. A presença de vegetação fotossinteticamente ativa ou não-ativa no substrato não apenas produz aumentos nos valores

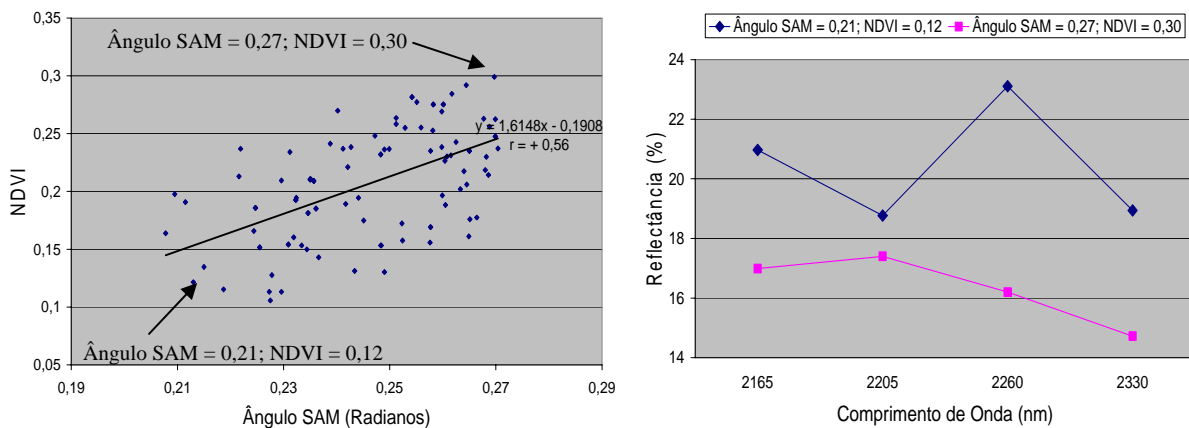
de ângulo SAM (0,21 para 0,27) e de NDVI (0,12 para 0,30), como também provocam a substituição da banda de absorção mineral, em torno de 2200nm, por feições de lignina/celulose, em torno de 2100 e 2300nm. Nos dados ASTER utilizados neste trabalho, a banda de absorção mineral foi normalmente observada nos espectros dos *pixels* com valores de ângulo SAM inferiores a 0,25 radianos. A partir deste valor, as feições espectrais de vegetação passaram a predominar no intervalo do SWIR.



**Figura 3** - *Pixels* classificados pela técnica SAM utilizando como referência espectros de reflectância média, extraídos das imagens, representativos de biotita granito, biotita granito greisenizado e greisens, com os principais contatos entre esses litotipos mapeados por Andrade (1978) (**Figura 2**) em tracejado.



**Figura 4** - Área de garimpo de cassiterita no granito Serra Branca com: (a) variações nos valores de ângulo SAM para o mineral muscovita; e (b) variações nos valores de NDVI.



**Figura 5** - (a) Correlação entre os valores de ângulo SAM e de NDVI, obtida a partir de 100 (cem) *pixels* aleatoriamente selecionados na área do garimpo (**Figura 4**); (b) curvas espectrais no intervalo de comprimento de onda correspondente ao das bandas 5 a 8 do ASTER, de 2 (dois) *pixels* com valores distintos de ângulo SAM e de NDVI indicados na **Figura 5a**.

## 5. Conclusões

As imagens ASTER classificadas com a técnica SAM foram eficazes na discriminação de variações faciológicas previamente mapeadas no granitóide Serra Branca, especialmente das áreas de biotita-granito, biotita-granito greisenizado e de greisens. A detecção de minerais (p.ex., muscovita) com a técnica SAM foi consistente, mas restrita a um pequeno número de *pixels* que apresentaram bandas de absorção mineral em seus espectros. Os resultados foram influenciados pela discreta presença de cobertura vegetal no substrato, que pode acarretar a substituição da banda de absorção de hidroxila em 2200nm por feições de lignina/celulose em 2100 e 2300nm, dificultando a detecção remota de minerais diagnósticos.

Para as condições da área de estudo, as imagens ASTER foram mais eficazes para a caracterização da associação rocha-solo-vegetação, do que para a detecção mineral propriamente dita.

## Agradecimentos

Este estudo é parte da dissertação de mestrado do primeiro autor, desenvolvido com auxílio da Fundação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-CAPES. O Instituto de Geociências da Universidade de Brasília-UnB propiciou apoio logístico na execução dos trabalhos de campo e laboratório.

## Referências

- Almeida, F.F.M.; Hasui, Y.; Brito Neves, B.B.; Fuck, R.A. Brazilian structural provinces: an introduction. **Earth Science Reviews**, v.17, n.1, p.1-29, 1981.
- Almeida-Filho, R. Multiseasonal and geobotanical approach in remote detection of albitized-greisenized areas in the Serra da Pedra Branca granitic Massif, Goiás State, Brazil. **Economic Geology**, v.79, n.1, p.1914-1920, 1984.
- Almeida-Filho, R.; Vitorello, I.; Bins, L.S. Application of image merging, segmentation and region-classification techniques as a new approach for the detailed thematic mapping of soil-vegetation assemblages. **Revista Brasileira de Geociências**, v.27, n.2, p.207-210, 1997.
- Almeida-Filho, R.; Vitorello, I.; Correia, V.R.M. Use of landsat thematic mapper imagery as mineral prospecting tool in the Tin Province of Goiás, Brazil. **Geocarto International**, v.11, n.1, p.61-69, 1996.
- Amos, B.J.; Greenbaum, D. Alteration detection using TM imagery, the effect of supergene weathering in an arid climate. **International Journal of Remote Sensing**, v.10, n.3, p.515-527, 1989.
- Andrade, G.F. **As mineralizações de estanho, berílio e cobre do granito Serra Branca, Cavalcante - GO**. 1978. 82p. Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília, Brasília. 1978.
- Andrade, G.F.; Danni, J.C.M. As mineralizações de estanho, berílio e cobre do Granito da Serra Branca, Cavalcante-GO. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30., 1978, Recife. **Anais...** Recife: Sociedade Brasileira de Geologia, 1978.
- Botelho, N.F. **Les ensembles granitiques subalcalins a peralumineux mineralisés em Sn et In de la sous-province Paranã, Etat de Goiás, Brésil**. 1992. 344p. Tese de Doutorado - Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy. 1992.
- Dardenne, M.A.; Schobbenhaus, C. **Metalogênese do Brasil**. 1ed. Brasília: Universidade de Brasília, 2001. 392p.
- Emran, A.; Hakdaoui, M.; Chorowicz, J. Anomalies on geologic maps from multispectral and textural classification: the Bleida Mining District (Morocco). **Remote Sensing of Environment**, v.57, n.1, p.13-21, 1996.
- Kruse, F.A.; Lefkoff, A.B.; Boardman, J.W.; Heidebrecht, K.B.; Shapiro, A.T.; Barloo, P.J.; Goetz, A.F.H. The Spectral Image Processing System (SIPS) – Interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. **Remote Sensing of Environment**, v.44, n.2, p.145-163, 1993.
- Marini, O.J.; Botelho, N.F. A Província de granitos estaníferos de Goiás. **Revista Brasileira de Geociências**, v.16, n.1, p.119-131, 1986.
- Ministério dos Transportes (MT)/Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes (DNIT). **Mapas Rodoviários**. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br>>. Acesso em: Out. 2004.
- Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W.; Harlan, J.C. **Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation**. 1ed. Pasadena: JPL Publication (NASA/GSFC), 151p., 1974.
- White, K.; Walden, J.; Drake, N.; Eckardt, F.; Settle, J. Mapping the iron oxide content of dune sands, Namib Sand Sea, Namibia, using Landsat Thematic Mapper data. **Remote Sensing of Environment**, v.62, n.1, p.30-39, 1997.