

Métodos indiretos no mapeamento geológico em região recoberta por floresta amazônica de terra firme: uma comparação entre a geobotânica por sensoriamento remoto e a aerogamaespectrometria no Vale do Guaporé (RO)

Mônica Mazzini Perrotta¹
Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida²
João Batista Freitas de Andrade³
Gilmar José Rizzotto⁴
Mauricio Guerreiro Martinho dos Santos^{1,2}
Carlos Roberto de Souza Filho⁵

¹ CPRM – Serviço Geológico do Brasil – Divisão de Sensoriamento Remoto (DISERE)
Rua Costa, 55 – 01304-010 - São Paulo – SP, Brasil
perrotta@sp.cprm.gov.br, mauricioguerreiro@uol.com.br

² Universidade de São Paulo – USP - Instituto de Geociências (IGc)
Rua do Lago, 562 – 05508-800 - São Paulo – SP, Brasil
talmeida@usp.br

³ CPRM – Serviço Geológico do Brasil – Divisão de Geofísica (DIGEOF)
Avenida Pasteur, 404 – 22292-240 - Rio de Janeiro – RJ, Brasil
jfreitas@rj.cprm.gov.br

⁴ CPRM – Serviço Geológico do Brasil – Residência de Porto Velho – (REPO)
Avenida Lauro Sodré, 2561 – 78904-300 - Porto Velho – RO, Brasil
gilmarizz@pv.cprm.gov.br

⁵ Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP - Instituto de Geociências (IG)
Caixa Postal 6152 – 13083-970 – Campinas – SP, Brasil
beto@ige.unicamp.br

Abstract. This paper comprises a comparison between the vegetation response in ASTER multispectral optical imagery and possibly equivalent bedrock/regolith/soil response in airborne gamma-ray spectrometry grids in two tropical rainforest areas in the Brazilian Amazon.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, geobotânica, aerogamaespectrometria, mapeamento geológico, sensor ASTER, remote sensing, geobotany, airborne gamma-ray, geological mapping, ASTER sensor.

1. Introdução

Em áreas de floresta amazônica, dados de sensoriamento remoto orbital (disponíveis para todo o planeta e sem custo significativo) e de geofísica aeroportada (de disponibilidade restrita e alto custo) são, em geral, a melhor alternativa para substanciar e expandir espacialmente as informações geológicas obtidas no campo.

A aerogamaespectrometria informa da radiação gama emitida pelas rochas e solos. Sua capacidade na discriminação da variação litológica em áreas densamente vegetadas vem sendo explorada há várias décadas, com inúmeros exemplos na literatura. Já as imagens de sensoriamento remoto óptico, informam, nestas áreas, do comportamento espectral da vegetação. Neste caso é a constituição química das folhas componentes do dossel da floresta, e sua arquitetura, que determinam a porção da radiação de origem solar a ser refletida.

Os raios gama têm comprimentos de onda em torno de 10^{-3} nm e são originados pelo decaimento dos isótopos radioativos K^{40} , Tl^{208} (*eTh*) e Bi^{214} (*eU*) contidos em minerais. A radiação passiva no visível e infravermelho, entre 400 e 2500nm, utilizada em sensoriamento remoto, tem origem solar e o foco de interesse, no caso de estudos em áreas cobertas por florestas, é a fração dessa radiação que é refletida pela vegetação.

A variação nas características da vegetação, em consonância a variações geológicas do substrato (geobotânica), foi objeto de investigação por Agrícola (1556), que descreveu senescência precoce e nanismo de plantas causadas por depósitos metálicos. Mouat (1982) divide a resposta da vegetação, em relação às condições geoquímicas, em fatores estruturais (alterações na fisiologia) e fatores taxonômicos (conjunto das espécies). Tais alterações na cobertura vegetal também ocorrem associadas à presença de solos e rochas particulares, como demonstrado por Sztutman e Rodrigues (2002), no Parque Estadual da Campina do Encantado (PECE), município de Pariqueira-Açu (SP). Godoy (2001) encontrou duas florestas não similares em fragmentos de Mata Atlântica secundária sobre calcários e filitos no Alto Ribeira (SP). A necessidade de acurada análise da vegetação e conhecimentos de botânica foi uma das causas da geobotânica nunca ter se tornado operacional como técnica na prospecção mineral e mapeamento geológico (Brooks, 1972). Entretanto, a disponibilidade de imagens orbitais de sensoriamento remoto óptico multiespectral abriu a perspectiva de reconhecimento de zonas tonalmente homólogas em imagens processadas para discriminação da variação da cobertura vegetal, amenizando a exigência do conhecimento botânico. Considera-se que o tipo de processamento digital adequado na identificação de discretas variações nas coberturas vegetais não privilegie a busca de padrões espectrais, mas uma abordagem sistêmica da cobertura vegetal, observando-se o maior número possível de parâmetros, como apresentado em Almeida (2005). Assim, se tais coberturas formam um sistema com os solos, a topografia e o substrato rochoso, cada planta ou conjunto de plantas também pode ser considerado um sistema e como tal deve ser abordado, como em Almeida e Souza Filho (2004).

Este estudo compreende uma avaliação da correlação das variações da cobertura vegetal com a variação litológica em duas áreas na Amazônia brasileira através de dados do sensor ASTER. A investigação baseia-se na hipótese de que o comportamento espectral da vegetação está associado a variações na constituição química foliar, arquitetura do dossel e de seu estado fisionômico, fatores que, em parte, estão relacionados ao substrato rochoso, o que potencializa a detecção de padrões litológicos em produtos de sensoriamento remoto óptico. Para tanto, dados aerogamaespectrométricos e de campo foram utilizados como balizadores dos resultados.

Os dados aerogeofísicos são essenciais para estudos geológicos em áreas ínvias, já que as assinaturas radiométricas podem contribuir na discriminação litogeoquímica do substrato rochoso e das formações superficiais. Entretanto, durante intemperismo químico ou físico radioelementos das rochas são remobilizados, redistribuídos e incorporados no regolito, podendo diferir substancialmente das rochas do substrato (Wilford et al. 1997). Já o problema da atenuação da emissão da radiação gama pela absorção de parte do sinal por florestas densas é menos importante, uma vez que há preservação das variações de sinal relacionadas à geologia, permitindo sua interpretação como observado por Martelet et al. (2006) em floresta equatorial na Guiana Francesa.

2. Área de estudo

A área de estudo localiza-se no Vale do Guaporé (RO), na Folha Pimenteiras 1:250.000, ora em fase de mapeamento geológico pela CPRM (Rizzotto 2006). Para aplicação da técnica empregada de realce da variação da cobertura vegetal em imagem multiespectral (como descrita em Almeida 2005), é necessário que a área trabalhada contenha apenas vegetação

original preservada, de forma que se seleccionou duas áreas densamente vegetadas, praticamente inacessíveis, dentro de reservas indígenas (**Figura 1**).

Na região, segundo Rizzotto (2006), depósitos sedimentares do Neógeno, Cretáceo e Paleozóico, têm como embasamento, de idade ectasiana, uma associação de rochas metamáficas e metaultramáficas, de afinidade N-MORB, com intercalações de formações ferríferas bandadas e manganesíferas e de gnaisses calcissilicáticos. Depósitos de níquel ocorrem em corpos de serpentinito e ocorrências localizadas de platinóides associam-se a metabásicas. Compreende ainda o embasamento uma extensa associação de xistos e paragnaisses. Intrusões de granitóides calcialcalinos de alto potássio, representados por titanita-biotita monzogranitos, granodioritos e subordinadamente tonalitos, são sin a tardi-tectônicas na evolução de uma orogênese intracontinental mesoproterozóica, que provocou deformação e metamorfismo das rochas no grau médio. Sieno e monzogranitos a biotita e granada marcam as fases finais do magmatismo e da deformação em torno de 1320 M.a.. O regolito na área é areno-argiloso rico em minerais de potássio (k-feldspato e muscovita).

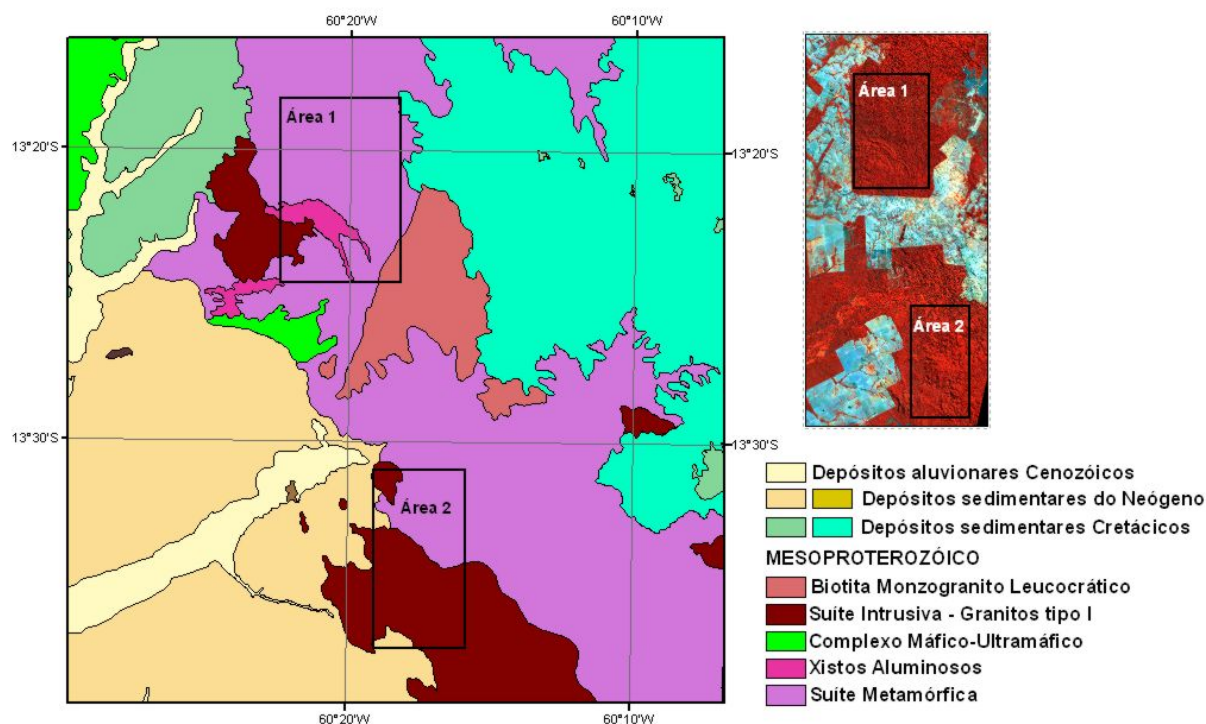


Figura 1. Extrato do mapa geológico preliminar da Folha Pimenteiras 1:250.000 com localização das áreas trabalhadas (fonte: Rizzotto 2006). No detalhe o recorte das áreas na imagem ASTER original (RGB = ASTER 3 ASTER 1 ASTER 2).

3. Materiais e métodos de processamento

Os dados de sensoriamento remoto óptico utilizados neste estudo compreendem uma cena do sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), de identificação: AST_L1B_003_08042001143459_08132001090542, datada de 4 de agosto de 2001 com centro nas coordenadas 13,5°S e 60,42°W.

O pré-processamento da imagem compreendeu a correção do efeito de *cross-talk*, a reamostragem das bandas do infravermelho de ondas curtas (SWIR) para resolução espacial de 15 metros, compatível com a resolução das bandas do visível e infravermelho próximo (VNIR), e a compensação atmosférica da cena, por modelo de transferência radiativa MODTRAN. Finalmente foi feito o recorte para extração das duas áreas contendo apenas a mata original preservada.

A seqüência de processamentos aplicada seguiu o procedimento descrito em Almeida (2005) que envolve quatro passos: 1- realce espectral de diferentes compostos foliares por meio de índices espectrais ou razões de bandas; 2- aplicação de uma análise por principais componentes (APC) sobre o conjunto de razões de bandas; 3- aplicação de filtro de convolução do tipo passa-baixa sobre as componentes principais obtidas, sendo que no presente estudo foi escolhido um filtro proporcional de 17 elementos; 4- introdução de imagem de albedo (primeira componente de APC sobre as bandas originais) através de fusão por processamento do tipo IHS, com os tripletes escolhidos para interpretação. Informações detalhadas sobre este processamento são descritas em Almeida et al. (2007).

Os dados aerogeofísicos de gamaespectrometria utilizados foram coletados no Projeto Guaporé (CPRM, inédito), com linhas de vôo espaçadas de 500m. A partir desses dados foram gerados *grids* com malha quadrada de 125 m, através do método da mínima curvatura, os quais foram reamostrados para 20m de resolução. A combinação das imagens gamaespectrométricas com a informação textural da superfície, realçada na imagem Principal Componente 1 (PC1), obtida através da APC sobre o conjunto de bandas ASTER originais, facilita a interpretação dos padrões aerogeofísicos relacionados aos litotipos. Esta combinação foi feita através de técnica de fusão do tipo IHS.

4. Resultados

Oito razões de bandas foram preparadas utilizando-se no numerador sempre a banda ASTER 3 (NIR: 780-860 nm) como comprimento de onda de referência. É nesta região do espectro que a radiação eletromagnética (REM) é fortemente refletida pela vegetação devido a presença de pigmentos foliares transparentes. As demais bandas, no denominador, como comprimentos de onda índice, representam: ASTER 1 e 2 (VIS: 520 – 690 nm), faixa de absorção por pigmentos foliares tais como clorofila, carotenóides e antocianina; ASTER 4 a 9 (SWIR: 1600 – 2430 nm), domínio da água na estrutura foliar com máximo de reflectância em 1650 nm (ASTER 4) e feições de absorção ligadas a compostos bioquímicos tais como amido (ASTER 5, 6 e 7), lignina (ASTER 8, 9, 6 e 7), proteínas e açúcares.

A análise por principais componentes, com o objetivo de concentração e hierarquização da informação espectral, mostrou em ambas as áreas resultados semelhantes (**Tabelas 1 e 2**):

- a PC1, que concentra aproximadamente 75% da informação, é dominada pelas razões que envolvem as bandas do visível;

- a PC2 com 15% da informação, concentra, de forma negativa, a informação das razões entre a banda ASTER 3 e as bandas do SWIR, exceto a banda 4, além de alguma contribuição positiva das razões da banda 3 com as bandas do visível;

- a PC8 com menos de 1% da informação, concentra quase que exclusivamente a informação da razão 3/4, mas ao contrario das PCs de 3 a 7, onde predominam feições de ruído, apresenta coerência espacial satisfatória.

O fato de a PC8 concentrar a informação da razão 3/4 é devido à baixa variância desta razão e muito baixa covariância entre ela e as demais. As maiores variâncias ocorrem nas razões 3/1 e 3/2 e dentre as razões que envolvem bandas do SWIR a 3/8 é a que apresenta maior variância e maior contribuição na PC2.

As **figuras 2A e 3A** mostram o resultado do triplete RGB = PC1 PC2 PC8 com aplicação de um filtro tipo passa-baixa 17X17, e a introdução da imagem de albedo para as áreas 1 e 2.

Numa variação do método acima descrito utilizou-se um processamento do tipo MNF (*Minimum Noise Fraction*) sobre as razões de bandas, em lugar da APC. Neste método de determinação da dimensionalidade dos dados, uma transformação do tipo principais componentes, baseada numa matriz de covariância do ruído estimado, é processada antes de uma APC final sobre os dados sem ruído (Green et al., 1988).

Este processamento gerou conjunto MNF que também apresentou coerência estatística e uniformidade entre as duas áreas de estudo na separação dos conjuntos de razões de bandas conforme a composição química foliar (**Tabelas 3 e 4**). Dentre as componentes MNF que apresentam coerência espacial, as 1, 5 e 8 (no caso da área 1), e as 1, 4 e 8 (no caso da área 2) são as que representam melhor os três conjuntos distintos de compostos foliares. Elas acumulam, aproximadamente 23%, 12% e 5%, respectivamente, do total da informação. Neste processamento a informação referente à razão 3/4 ficou mais uma vez fortemente concentrada na última componente, MNF8. Exemplos de tripletes escolhidos para interpretação, já submetidos à filtragem de passa-baixa e introdução da imagem de albedo são apresentados nas **figuras 2B e 3B**.

Tabela 1. Matriz de autovetores da APC sobre o conjunto de razões de bandas processadas na área 1. Em negrito os pesos dominantes nas PCs selecionadas. AV = autovetores.

autovetores	3/1	3/2	3/4	3/5	3/6	3/7	3/8	3/9
PC1	0,405	0,855	0,055	0,135	0,135	0,143	0,179	0,109
PC2	0,309	0,204	-0,162	-0,395	-0,376	-0,418	-0,515	-0,315
PC3	0,860	-0,476	0,027	0,057	0,071	0,083	0,118	0,061
PC4	-0,016	0,007	-0,032	-0,173	-0,123	-0,470	0,798	-0,310
PC5	0,001	-0,001	-0,032	0,024	-0,091	-0,545	-0,008	0,832
PC6	0,014	-0,010	0,082	0,578	0,498	-0,521	-0,220	-0,302
PC7	-0,011	0,000	0,064	-0,671	0,732	-0,057	-0,039	0,065
PC8	0,004	-0,001	0,978	-0,084	-0,168	-0,065	-0,052	-0,021

Tabela 2. Matriz de autovetores da APC sobre o conjunto de razões de bandas processadas na área 2. Em negrito os pesos dominantes nas PCs selecionadas.

autovetores	3/1	3/2	3/4	3/5	3/6	3/7	3/8	3/9
PC1	0,372	0,851	0,062	0,159	0,155	0,160	0,202	0,134
PC2	0,264	0,286	-0,155	-0,397	-0,377	-0,399	-0,504	-0,334
PC3	0,890	-0,441	0,009	0,051	0,040	0,051	0,069	0,051
PC4	0,003	-0,001	-0,015	-0,200	-0,087	0,267	0,530	-0,775
PC5	-0,006	0,003	-0,050	-0,189	-0,164	-0,674	0,638	0,273
PC6	0,007	-0,005	0,100	0,587	0,406	-0,529	-0,085	-0,440
PC7	-0,005	0,006	-0,085	0,621	-0,773	0,074	0,059	-0,005
PC8	0,009	-0,003	0,976	-0,093	-0,188	-0,044	-0,039	-0,015

As imagens gamespectrométricas com introdução da imagem de albedo através de fusão por IHS mostraram-se mais adequadas para interpretação, com a possibilidade de se limitar os padrões radiométricos observados conforme as feições topográficas e texturais do terreno. Exemplos destas imagens podem ser observados nas **figuras 2C, 2D, 3C e 3D**.

5. Discussão

Tanto os produtos gerados pela manipulação das imagens do sensor ASTER quanto os aerogeofísicos apontam para uma maior complexidade litológica da área do que a apresentada no mapa geológico preliminar, elaborado sem o uso destas ferramentas (**figura 1**).

Um ensaio de interpretação dos dados, com base na área 1 (**figura 4B**), foi realizado em ambiente GIS de forma que todas as imagens pudessem ser avaliadas em conjunto. Para maior coerência dos contatos traçados, incorporou-se ainda a digitalização de feições lineares do terreno extraídas analogicamente da imagem PC1.

Como se pode notar nas **figuras 2 e 3** existem coincidências entre as imagens espectrais e as radiométricas. Como feição mais marcante na área 1 a dobra na porção sudoeste fica

evidente em todas as imagens geradas, correspondendo a alto radiométrico em todos os temas geofísicos. Seu conteúdo litológico de acordo com dados de campo na extensão oeste desta estrutura e em lente de mesma assinatura radiométrica a noroeste (**figura 4A**) deve corresponder a xistos aluminosos. As imagens espectrais sugerem que estas lentes têm espessuras mais restritas do que poderia ser interpretado pela geofísica, e ocorrem como intercalações no conjunto de rochas metamórficas predominantes na área. Wilford et al. (1997) descrevem assinaturas relativamente altas nos canais K, eTh e eU em regolitos argilosos derivados de xistos e filitos no oeste da Austrália. O elemento K estaria associado a minerais de argila potássicos e micas enquanto Th e U ocorreriam associados a minerais de argila, óxidos de Fe e fragmentos líticos. Não se pode descartar a presença de anatexia nestas rochas, que já se encontram na zona da sillimanita, o que poderia explicar a sustentação do relevo por presença de mobilizados graníticos. Por outro lado, o relevo mais acentuado pode indicar rochas mais próximas à superfície o que elevaria, relativamente, os valores radiométricos, apesar da correção topográfica, aplicada aos dados brutos. A sul desta feição, assinatura alta no canal K, e intermediária nos canais Th e U, além de variação tonal nas imagens espectrais e relevo elevado sugerem a presença de corpo granítico. A unidade mapeada como suíte metamórfica, de xistos e paragneisses, têm assinaturas moderadas e heterogêneas entre os temas geofísicos na porção centro norte da área. Entretanto, tanto nas imagens espectrais, como nas radiométricas, nota-se que subdivisões podem ser esboçadas organizando-se numa ampla dobra com traço axial de orientação NE. No extremo sudoeste, um corpo de metamárfica (também sugerido nos dados de campo adjacentes – **figura 4A**) fica bem delimitado nas imagens geofísicas, contornado por provável xisto aluminoso.

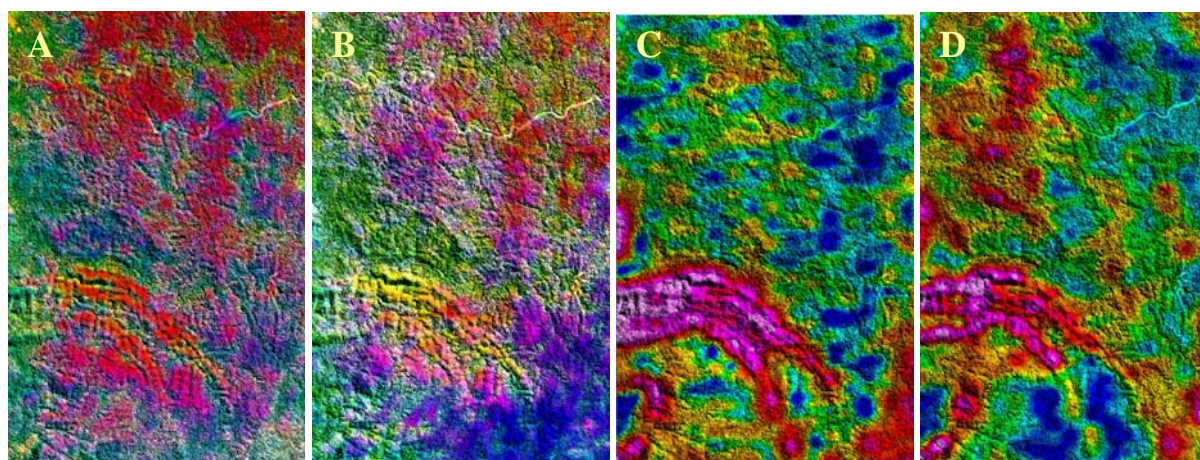


Figura 2. Área 1. **A, B** - Composições coloridas da APC e MNF das razões 3/(demais) após filtragem passa-baixa e introdução de imagem de albedo: **(A)** RGB = PC1 PC2 PC8, **(B)** RGB = MNF1 MNF5 MNF8. **C, D** - Imagens aerogeofísicas: **(C)** canal do Th, **(D)** canal do K.

Tabela 3. Matriz de autovetores da MNF sobre o conjunto de razões de bandas processadas na área 1. Em negrito as razões dominantes nas MNFs selecionadas.

autovetores	3/1	3/2	3/4	3/5	3/6	3/7	3/8	3/9
MNF1	0,279	-0,352	0,152	-0,037	0,136	-0,011	-0,302	0,815
MNF2	0,440	-0,185	0,201	0,237	-0,194	0,260	0,753	0,057
MNF3	0,019	-0,018	0,002	0,356	-0,828	-0,370	-0,218	0,054
MNF4	0,140	-0,051	0,028	-0,668	-0,073	-0,653	0,314	0,014
MNF5	-0,341	0,413	-0,200	0,391	0,237	-0,350	0,378	0,446
MNF6	-0,407	0,170	-0,140	-0,453	-0,442	0,486	0,151	0,355
MNF7	0,603	0,760	-0,043	-0,102	-0,040	0,097	-0,171	0,070
MNF8	-0,250	0,248	0,935	-0,015	0,006	-0,031	-0,026	0,006

Tabela 4. Matriz de autovetores da MNF sobre o conjunto de razões de bandas na área 2. Em negrito as razões dominantes nas MNFs selecionadas.

autovetores	3/1	3/2	3/4	3/5	3/6	3/7	3/8	3/9
MNF1	0,409	-0,382	0,171	0,029	0,076	0,081	0,175	0,784
MNF2	0,069	-0,082	0,021	0,407	0,241	-0,859	0,153	-0,064
MNF3	-0,512	0,103	-0,144	-0,085	-0,563	-0,187	0,498	0,315
MNF4	0,447	-0,110	0,125	-0,316	-0,662	-0,334	-0,326	-0,131
MNF5	-0,136	0,068	-0,041	0,742	-0,331	0,136	-0,500	0,216
MNF6	-0,339	0,171	-0,106	-0,417	0,268	-0,301	-0,568	0,431
MNF7	0,373	0,889	0,130	0,044	0,012	-0,017	0,139	0,179
MNF8	-0,306	0,001	0,951	-0,006	-0,003	-0,005	-0,021	-0,041

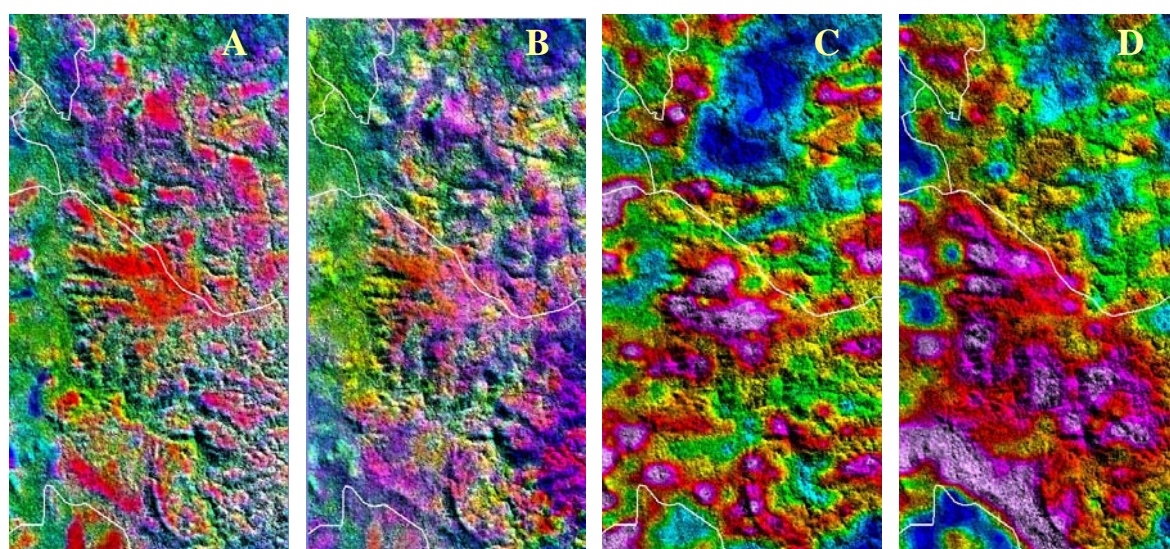


Figura 3. Área 2. **A, B** - Composições coloridas da APC e MNF das razões 3/(demais) após filtragem passa-baixa e introdução de imagem de albedo: **(A)** RGB = PC1 PC2 PC8, **(B)** RGB = MNF1 MNF(-4) MNF8. **C, D** - Imagens aerogeofísicas: **(C)** canal do Th, **(D)** canal do K. Contornos litológicos do mapa geológico preliminar em branco.

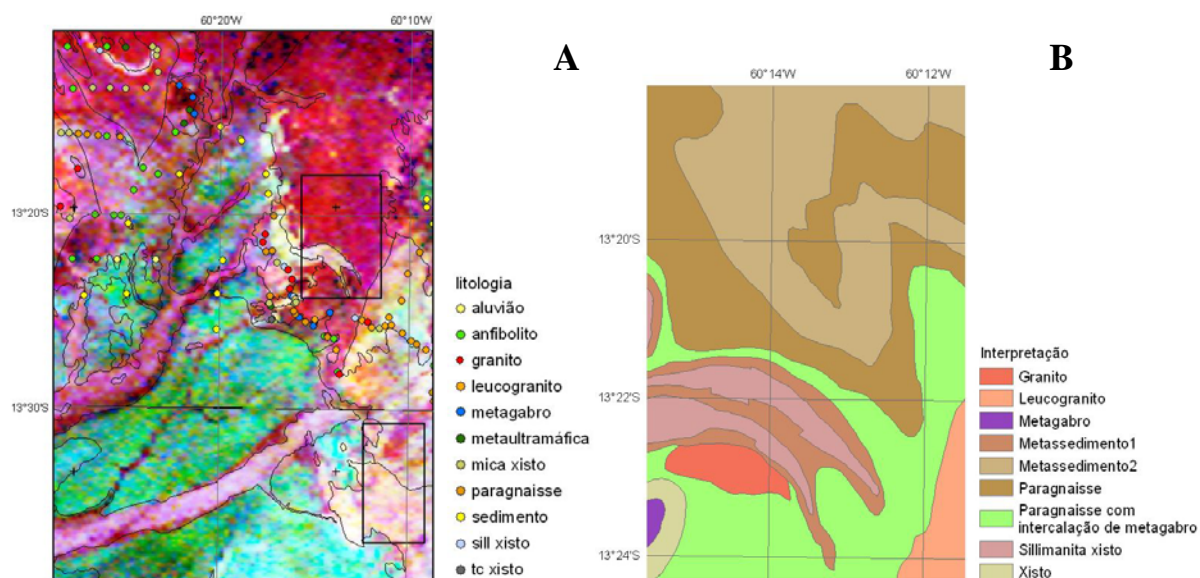


Figura 4. **A** – Aerogeofísica, distribuição ternária K-Th-U, com litologias amostradas. **B** – Interpretação litológica da área 1 baseada nas imagens produzidas e dados de campo.

No extremo sudeste, os dados geofísicos indicam, com assinatura radiométrica elevada, a presença do biotita monzogranito mapeado, menos evidente na composição RGB = PCs128 (**figura 2A**). Nas bordas oeste e sul da área 1, próximo à região desmatada, ocorre alteração do sinal espectral que pode ser devido a efeitos residuais do *cross-talk* (ERSDAC, 2006), que afeta principalmente feições separadas por variação brusca de sinal.

No caso da área 2 (**figura 3**), os dados espectrais e radiométricos sugerem contorno e extensão diferente do corpo granítico mapeado, além de indicar presença de fácies graníticas distintas no seu interior, evidenciadas pela variação tonal e de assinaturas radiométricas. As últimas sugerem composições mais ácidas ou alcalinas na região central. Já na porção norte, o padrão textural e tonal nas imagens espectrais, contínuo com a zona central, não se assemelha aos padrões da unidade metamórfica encontrados na área 1.

A coerência entre os resultados observados nas imagens geradas por sensores que operam em comprimentos de onda tão distantes, com peculiaridades que só vêm incorporar novos parâmetros à interpretação, indica que a geobotânica por sensoriamento remoto tem alto potencial de aplicação em áreas de floresta tropical e pode suprir, com dados relevantes e de baixo custo, as áreas onde levantamentos aerogeofísicos ainda estão ausentes.

Referências

- Agrícola, G. **De Re Metálica**. Froben, Basileae. 1556. Translated from Latin by H.C. Hoover, Dover Publications, Inc., New York, 1950.
- Almeida, T.I.R. **Geobotânica por sensoriamento remoto em florestas tropicais e a abordagem sistêmica: uma ferramenta auxiliar no mapeamento geológico regional e na prospecção mineral**. 2005. 158p. Tese de Livre Docência. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2005.
- Almeida, T.I.R.; Souza Filho, C. R. Principal component analysis applied to feature-oriented band ratios of hyperspectral data: a tool for vegetation studies. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 22, p. 5005-5023, 2004.
- Almeida, T.I.R.; Perrotta, M.M.; Souza Filho, C.R.; Santos, M.G.M. dos. Geobotânica por sensoriamento remoto no mapeamento geológico de região recoberta por floresta amazônica de terra firme: uma avaliação metodológica na região do Vale do Guaporé (RO). Inédito (neste volume)
- Brooks, R.R. **Geobotany and Biogeochemistry in Mineral Exploration**. New York:Harper & Row,1972. 290p.
- Earth Remote Sensing Data Analysis Center (ERSDAC). **Aster product guide**. Release Note; Updated on 3 oct 2006. Disponível: http://www.gds.aster.ersdac.or.jp/gds_www2002/service_e/release_e/set_release_ecrs.html
- Godoy, J.R.L. **Estrutura e composição específica da Mata Atlântica secundária de encosta sobre calcário e filito, no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira, Iporanga, SP**. 2001. 112 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- Green, A. A., Berman, M., Switzer, P., and Craig, M. D., 1988, A transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal: **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 26, no. 1, p. 65-74
- Martelet, G.; Truffert, C.; Tourlière, B.; Ledru, P.; Perrin, J. Classifying airborne radiometry data with agglomerative hierarchical clustering: a tool for geological mapping in context of rainforest (French Guyana). **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 8, n. 3, p. 208-223, 2006.
- Mouat, D.A. The response of vegetation to geochemical conditions. In: **International Symposium on Remote Sensing for Exploration Geology**, 1982, Fort Worth. Proceedings... Ann Arbor, MI: Erim, 1982. 2nd Thematic Conference, p. 75-84.
- Rizzotto, G.J. Geologia da Folha Pimenteiras (SD.20.X.D), região limítrofe Brasil-Bolívia. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 43, 2006, Aracaju. **Anais**...Aracaju, SBG, 2006, p. 189.
- Sztutman, M. E Rodrigues, R. R. O mosaico vegetacional numa área de floresta contínua da planície litorânea, Parque Estadual da Campina do Encantado, Pariquera-Açu, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 25, n. 2, p. 161-176, 2002.
- Wilford, J.R.; Bierwirth, P.N.; Craig, M.A. Application of airborne gamma-ray spectrometry in soli/regolith mapping and applied geomorphology. **Journal of Australian Geology & Geophysics**, v.17, n. 2. p. 201-216.