

# 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)

Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida <sup>1</sup>  
Mônica Mazzini Perrotta <sup>2</sup>  
Carlos Roberto de Souza Filho <sup>3</sup>  
Maurício Guerreiro Martinho dos Santos <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Universidade de São Paulo – IGc/USP  
Rua do Lago, 562 – 05508-080 - São Paulo - SP  
talmeida@usp.br

<sup>2</sup>CPRM – Serviço Geológico do Brasil – Divisão de Sensoriamento Remoto  
Rua Costa, 55 – 01304-010 - São Paulo – SP, Brasil  
perrotta@sp.cprm.gov.br

<sup>3</sup>Universidade Estadual de Campinas IG/UNICAMP  
Caixa Postal 6152 – 13083-970 - Campinas – SP, Brasil  
beto@ige.unicamp.br

**Abstract.** This paper describes a geobotany application for geological mapping in an area of Amazon terra firme forest. The Aster imagery was processed to enhance the response of the main leaves components and considering also the albedo. The obtained results suggest that this low costs method is adequate to be applied in rain forests.

**Palavras-chave:** remote sensing, image processing, geobotany, sensoriamento remoto, processamento de imagens, geobotânica.

## 1. Introdução

A utilização de métodos indiretos no mapeamento geológico e na prospecção mineral, em áreas de floresta amazônica de terra firme, é necessária no planejamento e execução dos trabalhos de campo, em geral dificultados pela generalizada ausência de vias de acesso. Nestas áreas, dados de sensoriamento remoto e de geofísica aeroportada são muitas vezes a única possibilidade de espacializar as pontuais observações em campo, muitas vezes escassas e mal distribuídas. Nestes casos, enquanto os dados aerogeofísicos informam diretamente do meio físico, as imagens de sensoriamento remoto óptico o fazem do comportamento espectral e de albedo da vegetação, que são função da constituição celular e química das folhas componentes do dossel da floresta e de sua arquitetura, aspectos que ditarão a porção da radiação de origem solar a ser refletida.

Associar variações florísticas e fisionômicas das coberturas vegetais a variações litológicas, em um ambiente quente e úmido e recoberto por uma floresta densa como a amazônica, exige que se assumam, como quer Foucault (2003), que a natureza forma um sistema no qual todos os elementos são interdependentes. Perrotta et al. (2006) demonstram a presença desta interdependência ao encontrar notável correlação entre as respostas de aerogamaespectrometria e de sensoriamento remoto óptico na região do Vale do Guaporé (RO), fortalecendo a tese de serem estes dados passíveis de utilização nas florestas tropicais e equatoriais do planeta e evidenciando a necessidade de se aprofundar nesta aplicação do sensoriamento remoto.

A geobotânica, ou seja, a utilização da cobertura vegetal como fonte de informações geológicas indiretas, é algo intuitivo e tem sido utilizado pela humanidade desde que esta passou a procurar minérios metálicos. Georgius Agrícola, considerado na cultura ocidental como o criador da geologia, já detalhava uma aplicação da técnica em 1556, ao citar, em *De Re Metallica*, haver senescência precoce e nanismo de plantas crescidas sobre corpos de minério (Ustin et al., 1998). Embora a geobotânica tenha se tornado assim o primeiro método indireto de prospecção de minérios a ter seus princípios definidos, nunca se tornou operacional. A exigência de acurada análise visual da vegetação e conhecimentos de botânica, em acréscimo aos de geologia, certamente foi uma das causas.

Com a disponibilidade de imagens orbitais de sensoriamento remoto multiespectral no domínio óptico, a partir de 1972, a informação geológica presente na vegetação passa a ser mais passível de utilização. Com isso, inicia-se um período em que numerosas publicações sugeriam padrões espectrais associados a mudanças-padrão nas coberturas vegetais em função de estresses pela presença de altos teores de metais. Logo, entretanto, a técnica passa a um quase total ostracismo, quando diversos autores, como Brooks (1983), Labovitz *et al.* (1983), Schwaller (1984), constatam a freqüente falta de padrões definidos nas respostas das coberturas vegetais frente a solos anômalos e a dificuldade de se replicar experiências. Para contornar este problema, Almeida (2005) apresenta a possibilidade de não se buscar padrões, mas simplesmente respostas espectrais diferentes, mesmo que discretas. Para tal utiliza um método de processamento digital de imagens, variante do apresentado em Almeida e Souza Filho (2004). Baseia-se na resposta espectral relativa aos teores foliares em pigmentos, água e compostos bioquímicos e na resposta de albedo, esta última influenciada enormemente pela arquitetura do dossel florestal. Com isto, procura-se observar a floresta como um sistema dependente do meio físico e não como uma superfície. Outra questão de base, apresentada em Almeida (2005), é a forma como se manifesta a geobotânica em florestas de alta e baixa diversidade: em regiões de clima quente e úmido a geobotânica não é expressa por estresses, mas por variações florísticas e fisionômicas, exceto em situações extremas. Em florestas temperadas e boreais a pequena biodiversidade não permite a substituição de numerosas espécies por outras mais adaptadas, o que dá à detecção de estresses grande importância. Para as florestas tropicais adota-se a hipótese de que a rica biodiversidade leva a diferentes comunidades florísticas em cada ambiente, mesmo que sejam pequenas as variações ambientais, pois a possibilidade de haver espécies mais bem adaptadas será tanto maior quanto maior for a biodiversidade. E como as variações florísticas geram diferentes respostas espectrais e as fisionômicas introduzem diferenças no albedo (ao influenciarem a arquitetura do dossel), viabiliza-se a geobotânica por sensoriamento remoto (GbSR) nestas florestas.

As dimensões continentais do Brasil e a existência de potencial mineral em extensas áreas ainda recobertas por vegetação natural, e com grande dificuldade de acesso, tornam o país um destino ideal para ter na GbSR uma ferramenta de prospecção mineral e também como fonte de informação preliminar no mapeamento geológico. São raros os trabalhos publicados de geobotânica na Floresta Amazônica e, em geral, não são voltados à geologia regional. Destacam-se, como aplicações de geobotânica no Brasil, os trabalhos de Almeida Filho et al. (1996), Almeida Filho & Vitorello (1997) e Paradella et al. (1984). Uma das causas certamente é a aceitação da hipótese, amplamente divulgada, da prevalência na região de um modelo ecológico neutro, no qual as variações florísticas são aleatórias, o que inviabilizaria a geobotânica. O objetivo deste trabalho é demonstrar, com o apoio da literatura, que o modelo ecológico neutro não parece se aplicar na Floresta Amazônica e que a GbSR pode ter elevada aplicabilidade como ferramenta auxiliar no mapeamento geológico regional e na prospecção mineral naquele bioma.

## 2. Caracterização da distribuição de espécies arbóreas na Floresta Amazônica

De acordo com Tuomisto et al. (2003a), há três hipóteses alternativas para explicar como se dispõe a grande biodiversidade das florestas de baixa latitude e altitude (FBLA) como a floresta amazônica de terra firme: (i) as plantas são igualmente competitivas e a composição florística local resulta de imigrações e extinções aleatórias; (ii) a floresta é essencialmente homogênea e uma pequena proporção de espécies são dominantes em amplas áreas, por serem mais competitivas; (iii) diferenças nos solos ao longo das florestas tropicais são suficientemente importantes para gerar numerosos mosaicos floristicamente diferentes.

Para o primeiro caso, Hubell (1997) defende o modelo ecológico neutro, que considera serem idênticas as propriedades ecológicas de qualquer indivíduo em uma população. Em função desta neutralidade, Condit et al. (2002) consideram que a similaridade florística é relacionada com o logaritmo da distância geográfica, o que indica mudanças graduais e ausência de contatos bruscos e sobretudo a ausência de relação entre meio físico e floresta, impedindo a existência de mosaicos florestais e inviabilizando por completo a GbSR.

Na segunda hipótese, Pitman (2001), baseado em estudos na Amazônia peruana, afirma que a grande maioria das espécies arbóreas ocorre indistintamente em toda a América do Sul, com apenas 15% das espécies restritas a um único tipo de floresta e com a ocorrência praticamente invariável, nas 21 parcelas estudadas, de 88% das espécies. Esta hipótese, portanto, considera a presença de um amplo conjunto de espécies onipresentes na floresta, sem relação com condições ambientais locais. Com poucas espécies localmente dominantes, as respostas espectrais do dossel seriam relativamente homogêneas, deixando à GbSR poucas possibilidades de sucesso.

A terceira hipótese considera a existência de variações ambientais pronunciadas, mesmo em biomas tidos como mais homogêneos, como a floresta amazônica de terra firme, em função de variações na topografia e solos (Tuomisto et al., 1995). Esta última hipótese vem sendo confirmada por numerosos trabalhos, como em Ruokolainen et al. (1997), Tuomisto et al. (2003b). A maior parte destas pesquisas contou com volumosos dados de campo, dando segurança a esta hipótese. E realmente, se a literatura indica que a floresta de terra firme é a mais uniforme fisionomicamente das três grandes formações florestais da Amazônia, indica também que, estudadas em detalhe, mostram constante variação da sua composição botânica em função das condições do meio ambiente, dos tipos de solo, da drenagem, da aeração e da disponibilidade de água superficial e profunda (Rodrigues et al., 2004).

Tuomisto et al. (2003a) fizeram um transecto com 43 km de comprimento em florestas de terra firme na Amazônia peruana, dividido em parcelas de 500m de comprimento e 400 de largura. O Índice de Jaccard é comumente utilizado para quantificar a similaridade florística entre duas coberturas vegetais ou parcelas, considerando as espécies que são exclusivas de cada parcela e as que estão presentes em ambas. Quando o índice resulta superior a 0,25, indica similaridade florística. Os índices obtidos naquele trabalho variaram de 0,01 a 0,71 e com valor médio de 0,27. Isto permite concluir que a similaridade média não é alta e que foram encontradas florestas completamente diferentes entre si enquanto outras eram altamente similares. Aqueles autores expõem ainda que sítios ambiental e floristicamente dissimilares podem ocorrer em grande proximidade e que, por fim, há previsibilidade de abundância de determinadas espécies em sítios ambientalmente semelhantes. Tuomisto et al. (2003b) constatam que a maior correlação entre resposta espectral em imagens TM-Landsat e dados florísticos se deu na banda TM7 (2080 a 2215nm). Observe-se que esta região espectral é afetada pelo conteúdo em água foliar, mas sensivelmente menos que na região de 1750 nm (banda TM5) e, por outro lado, tem picos de absorção devidos aos compostos bioquímicos da vegetação, como açúcares, amidos, celulosas, ligninas, proteínas. Já Lacruz (1996) constata, em campo, que as imagens TM Landsat 5 permitem a separação de três subunidades na

floresta de terra firme, graças às diferenças espectrais fornecidas pela estrutura da floresta, sua composição florística e conteúdo de umidade, concluindo que as bandas TM4 e TM5 são as de maior potencial na separação das unidades florestais.

### **3. A forma de expressão geobotânica dominante em florestas tropicais úmidas e a necessidade de informação sistêmica**

As anomalias geobotânicas associadas a estresses químicos da vegetação crescida sobre depósitos minerais são muito mais importantes nas florestas boreais e temperadas, embora também presentes em florestas tropicais. Esta tese baseia-se na diferença entre a biodiversidade destas florestas com as floristicamente pobres dos climas temperados e frios. Aí não há uma concorrência entre numerosas espécies, com a não fixação daquelas menos adaptadas ao ambiente: a literatura indica que o grande número de espécies arbóreas das florestas tropicais permite notável seleção ao nível de espécie, em função de discretas variações nas condições ambientais locais. Assim, a geobotânica por sensoriamento remoto parece ter, nos trópicos, uma grande aplicabilidade. E, ao contrário do que determinaram as pesquisas em altas e médias latitudes, nas baixas latitudes não devem ser buscadas áreas com estresses na vegetação, mas áreas em que as florestas se apresentam diferentes do padrão regional e, no caso de mapeamento geológico regional, identificação do mosaico gerado por florestas não similares.

Na diferenciação de florestas dissimilares, a adoção do maior número possível de parâmetros naturalmente aumenta a possibilidade de sucesso. Há que se considerar que as variações florísticas implicam em diferentes teores nos compostos bioquímicos, pigmentos, água e atividade dos fitocromos, bem como nos índices de área foliar e de distribuição angular foliar e na participação de outros órgãos vegetais. Por outro lado, em função das variações ambientais, mesmo para uma única espécie as coberturas apresentam potenciais diferenças em todos os aspectos acima, implicando, por exemplo, em maior ou menor participação de outros órgãos vegetais que não as folhas. Já o teor em água foliar em um dossel é fortemente influenciado pelas características e condições do solo, evidentemente, da mesma forma que a proporção entre os pigmentos foliares, com a clorofila sendo tanto o dominante como o mais facilmente degradável. Alterações mais discretas ocorrem com os compostos bioquímicos. Assim, para uma mesma espécie, na presença de estresse, há variações no acúmulo diurno de amido com a fotossíntese. Entre diferentes espécies tais variações podem ser bem mais expressivas. Da mesma forma é reportado aumento no teor em lignina com o aumento de idade das folhas, o que não ocorre com celulose e hemicelulose. Espécies vegetais que tenham folhas mais longevas tenderão a ter folhas com mais lignina, o que terá implicações na resposta do pixel correspondente à área de dossel que contém tais folhas.

Parte dos compostos foliares tem comportamento funcional interdependente ou parcialmente interdependente, o que se verificará em intervalos específicos de comprimentos de onda, com correlações positivas (como clorofila no visível e água foliar no infravermelho ondas curtas), ou negativas (como clorofilas e carotenóides no visível). Já outros obedecem a condições variadas, como os casos citados para amido e lignina, que podem ser ora mais ora menos reproduzidas em dosséis de florestas dissimilares, o mesmo ocorrendo com os demais compostos bioquímicos. Como cita Branco (1989), são as relações de interdependência entre as partes de um todo que constituem a realidade principal, que é um sistema. Um algoritmo que contemple simultaneamente os diferentes elementos de uma cobertura vegetal será, assim, uma abordagem sistêmica, aumentando a possibilidade de identificar pequenas variações florísticas e fisionômicas.

#### 4. Área de estudo

A área selecionada para aplicação de um método de discriminação litológica a partir das respostas espectrais relacionadas à variação florística da floresta, como descrito no próximo item, localiza-se no Vale do Guaporé (RO), na Folha Pimenteiras 1:250.000, ora em fase de mapeamento geológico pela CPRM (Rizzotto, 2006) (**figura 1**).

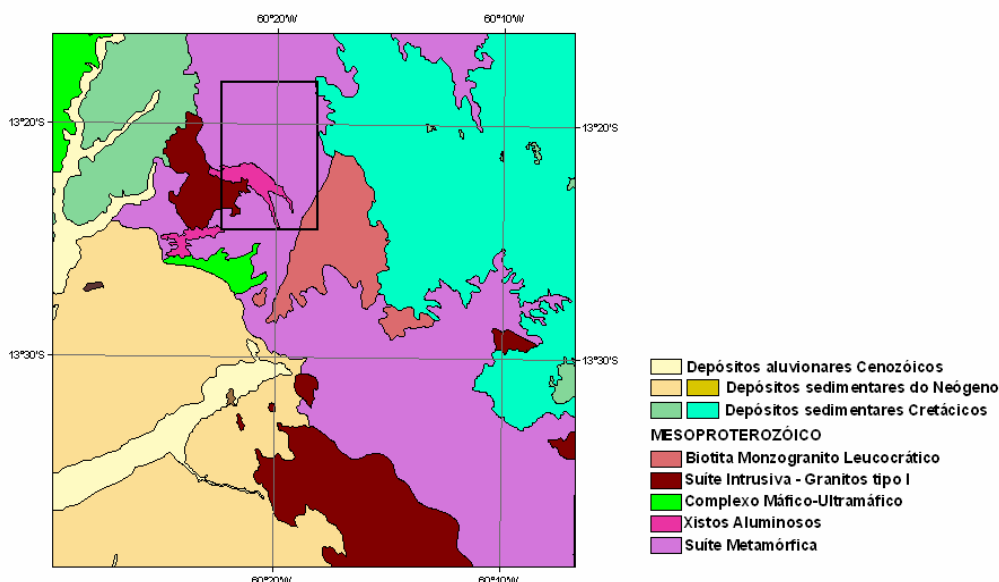


Figura 1 - Extrato do mapa geológico preliminar da Folha Pimenteiras 1:250.000 com localização da área trabalhada (modificado de Rizzotto, 2006)

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. Compreende ainda o embasamento uma extensa associação de xistos e paragneisses. Intrusões de granitóides calcialcalinos de alto potássio associam-se a uma orogênese intracontinental no Mesoproterozóico.

#### 5. Materiais e Métodos

Neste processamento foi utilizada a cena L1B 003 08042001143459 08132001090542 do sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), a bordo do satélite Terra, adquirida a 4 de agosto de 2001 e com centro da imagem nas coordenadas 13,5°S e 60,42°W. Como pré-processamento foi feita a reamostragem das bandas do infravermelho ondas curtas (SWIR) para resolução espacial de 15 metros, compatível com a resolução das bandas do visível e infravermelho próximo (VNIR), bem como a correção atmosférica, por modelo de transferência radiativa MODTRAN. Finalmente foi feito o recorte da imagem em uma área contendo apenas a mata original preservada. Embora parte considerável da região esteja desmatada, a subárea selecionada é coberta por Floresta Amazônica de terra firme preservada.

Foi aplicado o processamento apresentado em Almeida (2005), que envolve quatro passos: o realce espectral de diferentes compostos foliares por meio de índices espectrais ou razões de bandas, a aplicação de uma análise por principais componentes (APC) sobre o conjunto de razões de bandas, a introdução de uma imagem de albedo (primeira componente de APC sobre subconjunto das bandas) e aplicação de filtro de convolução passa-baixas proporcional sobre as componentes principais obtidas sobre o conjunto de razões de bandas.

O princípio básico das razões de bandas é suprimir a informação espectral comum a ambas e realçar a diferente. Diversos modelos teóricos foram desenvolvidos para prever a reflectância foliar associada a pigmentos, estrutura celular, água e compostos bioquímicos, mas o mais utilizado dos métodos de realce espectral ainda é a aplicação de razões entre bandas. Embora as razões de bandas não sejam métodos precisos de análise espectral, quando construídas sobre bases espectrométricas podem ser ferramentas efetivas. As razões de bandas devem ser antecedidas de correção dos efeitos atmosféricos, sob risco de alterar seriamente a resposta, notadamente quando utilizados os comprimentos de onda no visível e, sobretudo, na região do azul. As razões de bandas normalmente utilizam um comprimento de onda de referência (em geral entre 750 e 900 nm) e um comprimento de onda índice.

Nesta pesquisa foram adotadas 8 razões de bandas, utilizando a banda Aster 3 (760-860nm) como comprimento de onda de referência e as demais como índice (**Tabela 1**).

Tabela 1- Razões de bandas ASTER utilizadas e compostos foliares realçados, com indicação dos comprimentos de onda ( $\lambda$ ) das bandas índice. Feições espectrais de compostos foliares identificadas a partir de Baret (1999).

Razões	Composto foliar realçado	$\lambda$ das bandas índice (nm)
3/1	pigmentos foliares: pigmentos marrons (melanoproteínas), carotenóides e clorofila b.	520-600
3/2	Clorofilas a e b	630-690
3/4	água foliar	1600-1700
3/5	Compostos bioquímicos, com ênfase em amido. Água foliar	2145-2185
3/6	Compostos bioquímicos (pela ordem de importância, amido, lignina e hemicelulose) e água foliar	2185-2225
3/7	Compostos bioquímicos (pela ordem de importância, amido e lignina, seguidos de todos os demais). Água foliar	2235-2285
3/8	Compostos bioquímicos, com ênfase em lignina e água foliar	2295-2365
3/9	Compostos bioquímicos, com ênfase em lignina e água foliar	2360-2430

## 6. Resultados Obtidos e Discussão

Analisando o comportamento espectral da floresta, constata-se ter a banda no infravermelho próximo (NIR) um comportamento pouco variável, sobretudo comparanda com as bandas no infravermelho ondas curtas (SWIR) e, entre estas, com a banda Aster 4 (1600 a 1700nm), a que apresenta maior variação seguida pelas bandas 5, 7 e 8. O relativamente não variante platô do NIR indica dossel homogeneamente fechado, sem contribuição notável de solos e de outras coberturas vegetais. Já o comportamento na banda 4 confirma a importância das variações em água foliar, que são função da disponibilidade hídrica nos sistemas radiculares.

A matriz de auto vetores (**Tabela 2**) mostra parte das componentes principais (CPs) concentrando notavelmente as informações espectrais de compostos foliares realçadas nas razões de bandas. Encontrando-se os percentuais dos pesos em módulo da tabela 2, verifica-se que a CP1 é dominada pelos pigmentos foliares, que participam com 62% do peso total (soma dos pesos das razões 3/1 e 3/2); a CP2 é dominada pelos compostos bioquímicos, com 75% do peso total (soma dos pesos das razões 3/5, 3/6, 3/7, 3/8 e 3/9) e, finalmente, a CP8 tem na água foliar um peso de 71% (razão 3/4). Estas 3 CPs, assim, concentram tanto o essencial dos grupos de compostos foliares como concentram informações espectrais do visível (pigmentos), do infravermelho próximo (estrutura celular) e do infravermelho ondas curtas (água e compostos bioquímicos).

Tabela 2 – Matriz dos autovetores da APC sobre o conjunto de razões de bandas da tabela 1. Em negrito os pesos dominantes nas CPs selecionadas.

Auto vetores	3_1	3_2	3_4	3_5	3_6	3_7	3_8	3_9
CP 1	<b>0,405</b>	<b>0,855</b>	0,055	0,135	0,135	0,143	0,179	0,109
CP 2	0,309	0,204	-0,162	<b>-0,395</b>	<b>-0,376</b>	<b>-0,418</b>	<b>-0,515</b>	<b>-0,315</b>
CP 3	0,860	-0,476	0,027	0,057	0,071	0,083	0,118	0,061
CP 4	-0,016	0,007	-0,032	-0,173	-0,123	-0,470	0,798	-0,310
CP 5	0,001	-0,001	-0,032	0,024	-0,091	-0,545	-0,008	0,832
CP 6	0,014	-0,010	0,082	0,578	0,498	-0,521	-0,220	-0,302
CP 7	-0,011	0,000	0,064	-0,671	0,732	-0,057	-0,039	0,065
CP 8	0,004	-0,001	<b>0,978</b>	-0,084	-0,168	-0,065	-0,052	-0,021

Combinando-se estas CPs como -2 1 8 em RGB (dada a contribuição negativa das razões relativas aos compostos bioquímicos na CP2) obtém-se uma imagem sem maior interesse aparente (**figura 2A**). Aplicando-se um filtro passa baixas proporcional de 17 elementos, a imagem é notavelmente realçada (**figura 2B**), já que a informação geobotânica configura tendências e as respostas tonais isoladas apenas as mascaram. Finalmente é introduzido o albedo, perdido nas razões de bandas. O albedo informa tanto da textura geológica como da arquitetura do dossel florestal e é essencial à identificação de zonas homólogas (**figura 2C**), confirmando os contatos apresentados na figura 1 e sugerindo a presença de uma geologia mais variada, o que exige ainda confirmação em campo.

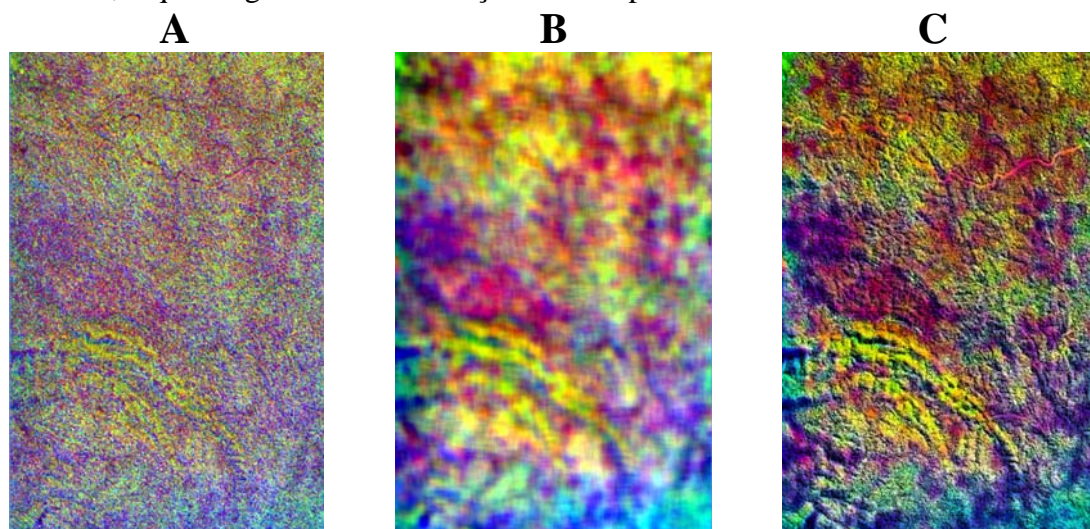


Figura 2. (A) Composição colorida das CPs -218 (RGB), (B) após filtragem passa-baixas de 17 elementos, (C) após introdução de imagem de albedo (CP1 das bandas Aster 1 a 9)

## Referências

- 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
- Almeida Filho, R; Vitorello, I. Remote sensing data integration in the definition of hydrothermally altered áreas in vegetated terrain, central Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 18, n. 8, p. 1835-1842, 1997.
- 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.



- Baret, F. Espectros de pigmentos e compostos bioquímicos foliares: planilhas com dados de reflectância. Informação escrita fornecida por Frédéric Baret, INRA Avignon, França, 1999.
- Branco, S. M. **Ecossistêmica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1989. 202 p.
- Brooks, R. R. **Biological Methods of prospecting for minerals**. New York: John Wiley & Sons, 1983. 322 p.
- Condit, R.; Pitman, N.; Leigh E.G. Jr.; Chave, J.; Terborgh, J. E.; Foster, R. B. Beta-diversity in tropical forest trees. **Science**, v. 295, p. 666-669, 2002.
- Foucault, A. **La Terre Planète Vivante**. Paris. Vuibert. 2003. 202p.
- Hubell, S. P. A unified theory of biogeography and relative species abundance and its application to tropical rain forests and coral reefs. **Coral Reefs**, v. 16, p. S9-S21, 1997
- Labovitz, M. L.; Masuoka, E. J.; Bell, R. A. "Blind" examination for the use of remote sensing in researching for geobotanical anomalies. In: Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology, 3., 1984, Colorado Springs, EUA. Proceedings. Ann Arbor, ERIM, 1984. p. 171-172.
- Lacruz, M. S. P. **Sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica como subsídio para levantamentos fisionômico-estruturais em floresta tropical úmida – estudo de caso: estação científica Ferreira Penna, PA**. 1996. 114 p. (INPE-6824-TDI/644) Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1996.
- Paradella, W.R.; Silva, M.F.F. da; Rosa, N. de A.; Kushigbor, C.A. A geobotanical approach to the tropical rain forest environment of the Carajás Mineral Province (Amazon Region, Brazil), based on digital TM data and DEM data. **International Journal of Remote Sensing**, v.15, n. 8, p. 1633-1648, 1994.
- Perrotta, M.M.; Almeida, T.I.R.; Santos, M.G.M. e Souza Filho, C.R. Correlação entre o comportamento espectral no visível/infravermelho refletido de floresta amazônica de terra firme com dados de aerogamaespectrometria: o exemplo do Vale do Guaporé (RO). In: 43 Congresso Brasileiro de Geologia, 2006, Aracaju. Anais. Salvador : Talismã Gráfica e Editora Ltda.. Boletim de Resumos...v. 1. p. 132-132.
- Pitman, N. C. A.; Terborgh, J.; Silman, M. R.; Nuñez, V. P.; Neil, D. A.; Cerón, C. E.; Palacios, W. A.; Aulestia, M. Dominance and distribution of tree species in upper Amazonian terra firme forests. **Ecology**, v. 82, p. 2101-2117, 2001.
- Riaza, M. L.; Martinez-Torres, R.; Ramon-Lluch, J.; Alonso, P. Heras Evolution of equatorial vegetation communities mapped using Thematic Mapper images through a geographical information system (Guinea. Equatorial Africa). **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, n. 1, p. 43-54, 1998.
- 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.
- Rodrigues, S. T.; Almeida, S. S. L.; Andrade, H. C.; Barros, I. C. L.; Van den Berg, M. E. Composição florística e abundância de pteridófitas em três ambientes da bacia do rio Guamá, Belém, Pará, Brasil. **Acta Amazônica**, v. 34, n. 1, p. 35-42, 2004.
- Ruokolainen, K.; Linna, A.; Tuomisto, H. Use of Melastomaceae and pteridophytes for revealing phytogeographic patterns in Amazonian rain forests. **Journal of Tropical Ecology**, v. 13, p. 243-256, 1997.
- Schwaller, M. R. **Remote sensing for geobotanical prospecting**. 1984. 118 p. Tese de Doutorado – University of Michigan, 1984.
- Tuomisto, H.; Ruokolainen, K.; Kalliola, R.; Linna, A.; Danjoy, W.; Rodriguez, Z. Dissecting Amazonian biodiversity. **Science**, v. 269, p. 63-66, 1995.
- Tuomisto, H.; Ruokolainen, K.; Aguilar, M.; Sarmiento, A. Floristic patterns along a 43-km long transect in an Amazonian rain forest. **Journal of Ecology**, v. 91, p. 743-756, 2003a
- Tuomisto, H.; Poulsen, A. D.; Ruokolainen, K.; Moran, R. C.; Quintana, C.; Celi, J.; Cañas, G. Linking floristic patterns with soil heterogeneity and satellite imagery in Ecuadorian Amazonia. **Ecological Applications**, v. 13, p. 352-371, 2003b.
- Ustin, S. L.; Smith, M. O.; Jacquemoud, S.; Verstraete, M.; Govaerts, Y. Geobotany: vegetation mapping for Earth Sciences. In: RENCZ, A. N. (Ed.). **Remote sensing for the Earth Sciences**. New York: Wiley, 1999. p. 251-307.