

Dados EO-1 Hyperion no mapeamento mineralógico de pegmatitos na porção sul da Província Pegmatítica da Borborema (PPB), Nordeste do Brasil.

Sebastião Milton Pinheiro da Silva^{1,2}

Alvaro Penteado Crósta²

Rômulo Simões Angélica³

Hartmut Beurlen⁴

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN/CCHLA/DGEO
Caixa Postal 59072-970 - Natal - RN, Brasil
smpsilva@cchla.ufrn.br, sebastiaomilton@ige.unicamp.br

²Universidade Estadual de Campinas – Instituto de Geociências
Caixa Postal 6152, Campinas – SP, Brasil
alvaro@ige.unicamp.br

³Universidade Federal do Pará - UFPA
Faculdade de Geologia, Instituto de Geociências
Campus do Guamá, CEP 66023-220, Belém - PA, Brasil
angelica@ufpa.br

⁴Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Depto. Engenharia de Minas, Centro de Tecnologia e Geociências
Rua Acadêmico Hélio Ramos, s. n. CEP 50740-530, Recife - PE, Brasil.
beurlen@ufpe.br

Abstract. Short-wave infrared bands from the EO-1/Hyperion hyperspectral sensor were used to map granitic pegmatites and associated country rocks, based on their mineralogical composition. Hydrothermal and superficial alteration processes formed minerals such as kaolinite, white micas, biotites, chlorites, tourmalines and epidote, all of which have diagnostics absorption features in the shortwave infrared region (SWIR) of the electromagnetic spectrum, ranging from 2000 to 2400 nanometers. The study region is located in the southern portion of the Borborema Pegmatitic Province (BPP), in Northeastern Brazil. The Hyperion image was radiometrically corrected and converted to apparent reflectance. Mineral mapping was performed using the Spectral Angle Mapper (SAM) hyperspectral classification technique. In areas where outcrops are well exposed it was possible to map pegmatite occurrences and to establish mineral zonation within pegmatitic bodies, based on differential mineral contents. However, mineralogical mapping was limited by the reduced areal extent of most of the pegmatites bodies, coupled with the 30 m spatial resolution of the sensor, as well as by the presence of vegetation and low surface concentrations of many minerals, such as tourmaline, biotites, chlorites and cookeite.

Palavras-chave: remote sensing, imaging spectrometry, Borborema Province, hyperspectral, reflectance spectroscopy, sensoriamento remoto, espectrometria de imageamento, Província Borborema, hiperespectral, espectroscopia de reflectância.

1. Introdução

No sul da Província Pegmatítica da Borborema (PPB) (Scorza 1944) ocorrem centenas de corpos de pegmatitos graníticos produtores de minerais metálicos (Be, Ta, Li, Sn), industriais (caulim, feldspatos) e minerais gemas (Turmalina Paraíba). A crescente expansão da produção desses minerais tem motivado a busca de novos depósitos pegmatíticos para suprir as demandas da indústria de transformação mineral.

Mesmo impulsionada por políticas governamentais de fomento à organização dos produtores locais, a mineração ainda encontra muitos obstáculos para crescer na PPB, em função da obsolescência dos cadastramentos minerais existentes e da carência de informações

geológicas atualizadas e de maior detalhe. Os cadastramentos minerais e o mapeamento geológico clássico utilizam como apoio fotografias aéreas e imagens multiespectrais de satélites (pancromáticas ou coloridas). Contudo, devido à baixa resolução espectral dessas imagens, principalmente na região do infravermelho de ondas curtas (SWIR), só é possível separar os grandes conjuntos mineralógicos dos argilominerais, dos carbonatos e óxidos e hidróxidos de ferro (Silva et al. 2006).

O Hyperion é o primeiro sensor hiperespectral a operar em nível orbital, contando com 242 bandas espectrais, cobrindo o intervalo do espectro ótico do visível e infravermelho próximo (VNIR - 400 nm a 1000 nm) ao infravermelho de ondas curtas (SWIR - 1000 nm a 2400 nm). Suas imagens têm possibilitado aplicações na agricultura (Galvão et al. 2006), nos estudos de águas costeiras (Brando e Dekker 2003) e no mapeamento de zonas de alteração hidrotermal (Ducart 2007).

Neste estudo são apresentados os resultados da investigação realizada na região sul da PPB com o propósito de discriminar e mapear minerais relacionados aos corpos pegmatíticos, entre os quais caulinita, turmalina, muscovita, clorita e biotita, tanto por meio da caracterização em campo a partir de medidas espectroscópicas de reflectância em pegmatitos e rochas encaixantes regionais, como também a partir do processamento das bandas do SWIR do Hyperion. Nesse sentido, foram avaliados o desempenho e as limitações desses dados e das técnicas de processamento empregadas, com foco nas aplicações e contribuições futuras dessas tecnologias para o avanço do conhecimento geológico e do potencial mineral da região.

1.1. Objetivos

O objetivo do estudo foi o mapeamento mineralógico de pegmatitos através de dados Hyperion e da espectroscopia de reflectância. Paralelamente, avaliou-se a eficácia dos dados e das técnicas de correção e processamento aplicadas.

1.2. Área de estudos

A área de estudos está localizada na região limítrofe entre os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, sendo delimitada pelas coordenadas geográficas 06° 45' 00" e 07° 15' 00" de latitude sul e 36° 20' 00" e 36° 50' 00" de longitude oeste de Greenwich (Figura 1).

Trata-se de região de clima quente, semi-árido, com temperaturas médias de 24°C, precipitação pluviométrica escassa e mal distribuída, cuja média anual está em torno de 500 mm nos últimos 50 anos. O relevo é acidentado, com cotas variando de 250 no pediplano regional a 850 metros de altitude nas Serras da Queimadas ao norte e do Bonfim ao sul das cidades de Junco do Seridó/PB e Equador/RN, respectivamente.

A vegetação é caracterizada pelo fenômeno de xerofitismo, típico das espécies de caatinga que tem como principal característica as folhas pequenas, frequentemente espinhosas. De julho a dezembro essa vegetação apresenta-se seca, mas recupera-se rapidamente logo após as primeiras chuvas de janeiro.

A área está inserida na porção centro-sul da Faixa Seridó (FSE) (Jardim de Sá 1994), na Província Borborema (PB) (Almeida et al. 1977). São reconhecidas as rochas do Complexo Serra dos Quintos, da Suíte Várzea Alegre, do Grupo Seridó e da Suíte Intrusiva Itaporanga (Granito de Acari), além das coberturas não dobradas, tércio-quaternárias (Figura 2), (Angelim et al. 2004).

O Complexo Serra dos Quintos é constituído por xistos, gnaisses, BIF's, intercalações de mármores, metamáficas e metaultramáficas. Já a Suíte Várzea Alegre comporta ortognaisses tonalíticos-granodioríticos e migmatitos com idade de 2193 Ma U-Pb (Angelim et al. 2004).

O Grupo Seridó compreende a Formação Jucurutu, com paragnaisses a biotita, epidoto e anfibólio e abundantes intercalações de mármores, cálcio-silicáticas, quartzitos e itabiritos; a

Formação Equador, com quartzitos puros, micáceos contendo níveis de metaconglomerados e intercalação de metagrauvacas e metaconglomerados polimíticos e, no topo; a Formação Seridó, predominantemente constituída por biotita xistos com delgadas intercalações de mármore, quartzitos, anfíbolitos, cálcio-silicáticas e tactitos. Van Schmus et al. (1995) obtiveram idades de 741 ± 15 Ma, pelo método Sm-Nd e U-Pb, em zircões de micaxistos e paragneisses do Grupo Seridó.

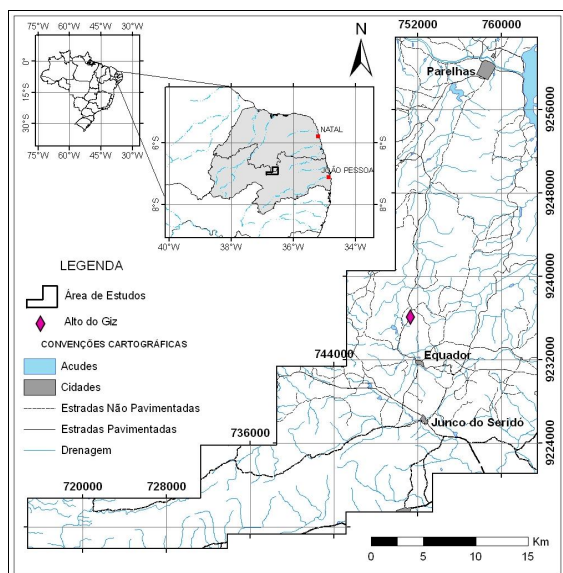


Figura 1 - Localização da área de estudos e do pegmatito do Alto do Giz.

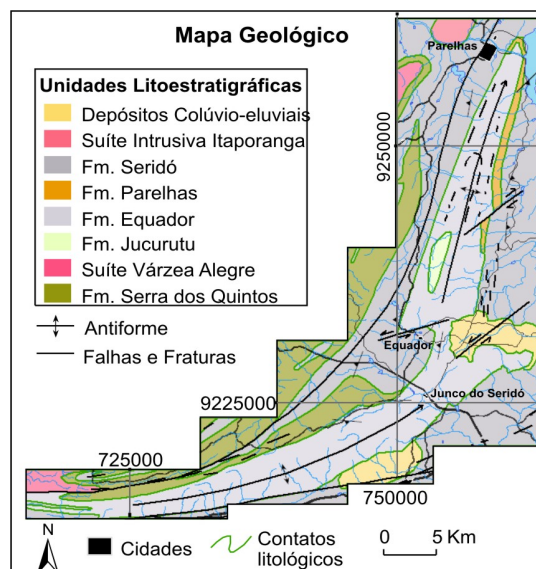


Figura 2 - Mapa Geológico. Fonte: Angelim et al. (2004).

Estas rochas foram submetidas ao metamorfismo do fácies xisto verde a anfíbolito e intrudidas por granitos sin- a tardi-tectônicos de idade Neoproterozóica o que resultou na formação de extensas áreas ocupadas por enxames de corpos pegmatíticos classificados, a partir do seu zoneamento interno, em homogêneos e heterogêneos (Johnston Jr., 1945). São corpos de dimensões variadas, sendo os homogêneos normalmente sub verticais, com morfologia marcadamente tabular, e os heterogêneos, quase sempre mineralizados, com formas elípticas e de maior extensão. Araújo et al. (2003) obtiveram pelo método Ar^{40}/Ar^{39} idades Cambro-Ordovicianas (527.7 ± 1.4 Ma) em biotita de pegmatitos mineralizados em Be-Ta-Li

2. Metodologia de trabalho

2.1. Dados EO-1 Hyperion

O Hyperion foi lançado a bordo do satélite Earth Observing-1 (EO-1), pela NASA, em 21/11/2000, numa órbita sol-síncrona, com inclinação de 98.2 graus e período orbital de 98.9 minutos. O Hyperion é sensor do tipo *pushbroom* com um telescópio e dois espectrômetros, totalizando 242 bandas espectrais, cobrindo os intervalos de 400 nm a 1000 nm (VNIR) e de 1000 nm a 2400 nm (SWIR). Tem largura de banda de 10 nm, resolução espacial de 30 metros e temporal de 16 dias. Está posicionado a 705 km de altitude, em formação e com horário de passagem no Equador a cerca de 1 minuto após o satélite Landsat 7 ETM⁺ (Ungar et al. 2003).

Esse sensor apresenta algumas vantagens em relação a outros, tais como a combinação de múltiplas bandas para simular qualquer sensor operacional ou em construção com maior largura de banda (Datt et al. 2003). Tem como principais limitações a baixa relação sinal/ruído

(SNR) e a variação na qualidade dos dados decorrente da época de aquisição da cena, com diferenças significativas entre períodos secos e chuvosos (Kruse et al. 2003).

A cena utilizada foi a EO1H2150652002258110PZ_HGS_01, referente à órbita 215, ponto 65, com passagem de 15/09/2002. A faixa imageada tem largura de 7,6 km e extensão de 48 km. A imagem foi recortada em cerca de 40% na porção norte e 30% na porção sul em função da total cobertura de nuvens nessas regiões.

Os métodos e técnicas de análise hiperespectral compreenderam as etapas de pré-processamento, seguida da classificação e mapeamento mineralógico.

2.2. Pré-processamento e classificação hiperespectral

A cena Hyperion foi processada no Laboratório de Processamento de Informações Georreferenciadas – LAPIG, do Instituto de Geociências da UNICAMP. As etapas de pré-processamento da imagem constaram de:

1) Conversão do formato dos dados Level 1R HDF para o formato ENVI utilizando a ferramenta *Hyperion_Tools* e seleção das bandas (*spectral subsetting*) para processamento. Das 242 bandas existentes apenas 196 são calibradas (8-57 e 79-224); também foram excluídas as bandas nos intervalos de absorção atmosférica (120-132, 165-182 e 185-187);

2) Aplicação da rotina *Pushbroom Plugger* do MMTG/A-List Hyperspectral Data Processing Software (CSIRO 2002), para identificar e substituir pixels de valores de radiância anômalos através da interpolação de valores de pixels vizinhos. Depois aplicou-se a técnica *Pushbroom Destripper* do MMTG-A para remoção dos ruídos verticais na cena, decorrentes da não linearidade das respostas dos detetores (Datt et al. 2003);

3) Na correção atmosférica utilizou-se o módulo comercial *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes* – FLAASH, acoplado ao software ENVI 4.5 e os parâmetros de altitude do sensor, data e horário de aquisição dos dados, modelos de atmosfera, localização da área e sua elevação topográfica média;

4) Com os dados corrigidos aplicou-se a rotina *Empirical Flat Field Optimal Reflectance Transformation* - EFFORT *Polishing* (Boardman et al. 1998) para remoção de efeitos remanescentes da correção atmosférica e suavização dos espectros, lançando-se mão de espectros de referência das amostras de campo. A Figura 3 mostra os resultados obtidos com a técnica EFFORT *Polishing*.

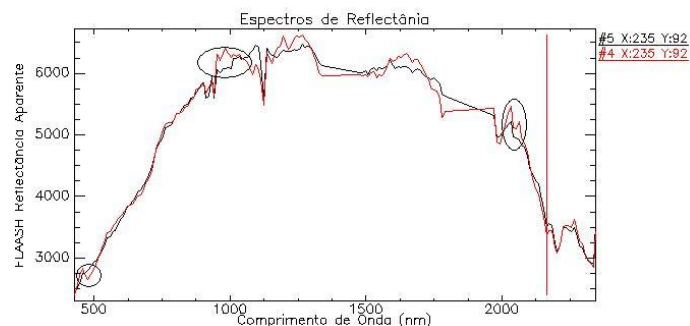


Figura 3 – Espectros de reflectância aparente de caulinita em vermelho (antes) e preto (depois) da aplicação da técnica EFFORT *Polishing*. Notar a suavização e remoção de *spikes* nos círculos assinalados nos espectros.

Os círculos assinalados nas curvas espectrais em vermelho (antes) e em preto (depois) destacam picos anômalos que foram minimizados ou mesmo removidos nesses espectros depois da aplicação dessa rotina. Os espectros são de um mesmo local de ocorrência de caulinita mostrando seu *doublet* característico de 2160 nm e 2200 nm.

5) Aplicação da função *Minimum Noise Transform* - MNF para determinar a

dimensionalidade dos dados e minimizar ruídos residuais (Green et al. 1988), seguida da técnica *Pixel Purity Index* – PPI e do visualizador n-dimensional para identificar *endmembers* para a classificação hiperespectral. A Figura 4 mostra imagens MNF 1, 4, 10 e 18 ordenadas da maior para a menor variância dos dados e a segregação de ruídos para as imagens de mais alta ordem.

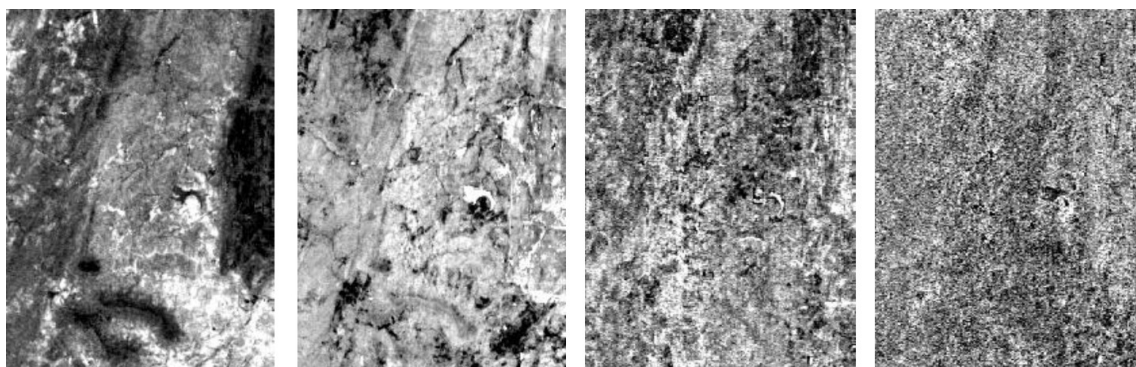


Figura 4 – Imagens resultantes da transformação MNF dos dados Hyperion. Da esquerda para a direita: MNF banda 1, MNF banda 4, MNF banda 10 e MNF banda 18.

6) Na classificação aplicou-se a classificação supervisionada *Spectral Angle Mapper* (SAM) que determina o grau de similaridade entre os espectros de referência e os espectros de cada pixel da imagem (Kruse et al. 1993). A classificação baseou-se na mineralogia indicada por espectros dos *endmembers* identificados na cena e nas curvas de reflectância espectral das amostras de laboratório e campo geradas com o espectrorradiômetro portátil *FieldSpec Full Resolution*[□] (FR), da *Analytical Spectro Devices* (ASD). A caracterização espectro-mineralógica das amostras foi executada com os programas SIMIS FS 1.6 (Mackin 1998) e *The Spectral Geologist (TSG-5 PRO)* (CSIRO 2007) e com apoio da difração de raios X e da microscopia de varredura eletrônica (MEV).

3. Resultados e Discussão

A Figura 5 mostra a composição colorida das bandas Banda 38R (803 nm), Banda 20G (559 nm) e Banda 5B (467 nm), após correção radiométrica e atmosférica dos dados e a curva de reflectância aparente de um pixel com sobre área de vegetação. A curva espectral da vegetação da Figura 5 mostra que as correções aplicadas permitiram um nível de correção radiométrica e atmosférica satisfatório. O retângulo vermelho no quadrante nordeste delimita a área teste.

Na Figura 6 são mostrados espectros de minerais obtidos da cena (a partir de ocorrências conhecidas) e os identificados com medidas de laboratório e campo, os quais foram utilizados na classificação hiperespectral. Um dos espectros da Figura 6 (SSO39B2) mostra a feição de absorção espectral centrada em 2193 nm, característica da paragonita.

A curva espectral da paragonita é semelhante à da muscovita no intervalo entre 2180 nm e 2228 nm, com as principais absorções centradas em 2200 nm, 2345 nm e 2440 nm, exceto pelo fato de que a absorção de 2200 nm desloca-se para os comprimentos de onda menores até 2180 nm quando a mica apresenta enriquecimento em sódio (Pontual et al. 1997).

A curva espectral da mica (SS038D) apresentada na Figura 6 é proveniente do Pegmatito Seridozinho e foi analisada ao microscópio de varredura eletrônica, indicando teor de 8,77% de sódio. No pegmatito Alto do Giz outra amostra (SS041B) de mica mais fina, apresentando mistura com caulinita e quartzo e localizada na borda de um dos núcleos de quartzo desse pegmatito revelou teor de 33,4% de sódio.

As micas constituem importantes traçadores do fracionamento e do potencial

metalogenético de pegmatitos. Sua diferenciação a partir da espectroscopia de reflectância e a sua identificação e mapeamento a partir de um sensor orbital são resultados significativos para futuros estudos litogeoquímicos e de zoneamento de processos de substituição metassomática-hidrotermal nesse tipo de rocha.

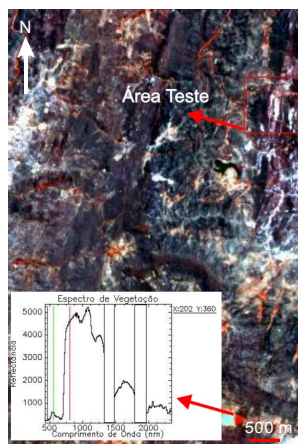


Figura 5 - Composição colorida Banda 38R (803 nm) - Banda 20G (559 nm) - Banda 5B (467nm). Área teste e localização do espectro de vegetação.

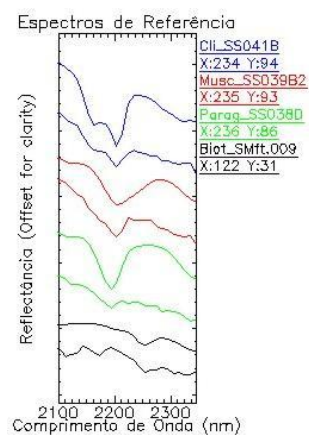


Figura 6 - Espectros de minerais da biblioteca de amostras de campo e de *endmembers* do mesmo mineral extraídos na cena (coordenadas X, Y).

Na Figura 7 é apresentado o resultado do mapeamento mineralógico e o zoneamento do pegmatito do Alto do Giz. Observa-se nessa figura o predomínio de muscovita na zonas de contato dos pegmatitos com o muscovita quartzito da Fm. Equador e, na porção noroeste, maior concentração de áreas onde a caulinita é dominante. No centro do pegmatito, o branco denota a presença conjunta dos três minerais. Também são observados na Figura 7 pixels isolados de um ou de outro mineral, em tons de verde ou vermelho, próximos a outras frentes de garimpo ao sul e ao norte do Alto do Giz. A resolução espacial de 30 metros do sensor não possibilita discriminar melhor esses corpos de menores dimensões.

4. Conclusões

O processamento da cena Hyperion possibilitou o mapeamento dos pegmatitos do Alto do Giz, Vicentinho e Alto do Giz I por meio da identificação de caulinitas e micas brancas. Também foram indicadas áreas onde afloram os quartzitos encaixantes regionais.

Outros minerais identificados em campo, por meio de espectroscopia de reflectância, incluem turmalinas, cloritas e lepidolitas, os quais aparecem em concentrações variáveis e zonas específicas no contato ou no interior dos corpos pegmatíticos e não foram mapeados com os dados Hyperion. Nesse sentido, a utilização de sensores hiperespectrais de mais alta resolução espacial, operando a partir de aeronaves, podem contribuir para o zoneamento interno de pegmatitos. Com esse tipo de sensor também é possível imagear áreas maiores e de interesse geológico e metalogenético específicos.

Os resultados alcançados devem-se aos métodos e técnicas de correção e processamento aplicadas, que possibilitaram minimizar o impacto dos ruídos da cena, bem como da existência de pequenas áreas de exposição de rochas. Isto mostra que imagens de épocas mais secas, com maior exposição do substrato rochoso, serão fundamentais para a obtenção de mapas mineralógicos de melhor qualidade na região.

A validação dos resultados foi feita a partir da comparação com dados geológicos e medidas de espectroscopia de reflectância de laboratório e campo.

O uso do sensoriamento remoto hiperespectral no mapeamento mineralógico de pegmatitos apresentou resultados positivos e com importantes implicações para o mapeamento geológico, assim como para a avaliação do potencial metalogenético e econômico da PPB.

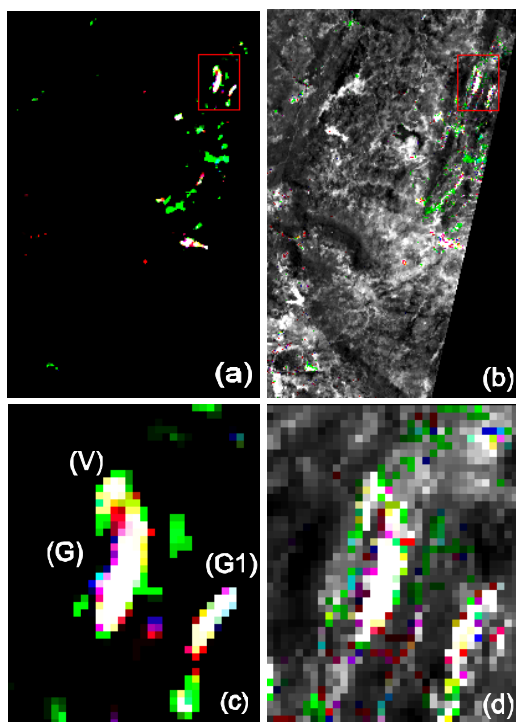


Figura 7 - Composição colorida (a) com Caulinita R - Muscovita G e Paragonita B mostrando os resultados da classificação hiperespectral e ao lado (b) essa mesma composição colorida fusionada com a banda 559 nm mostrando a paisagem subjacente à classificação. Ampliação da composição colorida, mostrando (c) o Alto do Giz (G), o Vicentinho (V) e Alto do Giz I (G1). Ao lado (d) a imagem fusão com a banda 559 nm.

Agradecimentos

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo suporte financeiro através do processo FAPESP n° 05/05138-4; à Universidade Federal do Rio Grande do Norte pelo suporte para realização do programa de doutorado; à Universidade Estadual de Campinas pelo apoio e disponibilização de logística para os estudos.

Referências Bibliográficas

Almeida, F. F. M. de., Hasui, Y., Brito Neves, B. B., Fuck, R. Províncias Estruturais Brasileiras. In: Simpósio de Geologia do Nordeste (SGN), VIII., 1977, Campina Grande, **Anais**. p. 363-391.

Angelim, L. A. A., Vasconcelos, A. M., Gomes, J. R. C., Wanderley, A. A., Forgiarini, L. L., Medeiros, M de F. Folha SB-24-Jaguaribe. In: Schobbenhaus, C., Gonçalves, J. H., Santos, J. O. S., Abram, M. B., Leão Neto, R., Matos, G. M. M., Vidotti, R. M., e Ramos, M. A. B. (eds.). Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, SIG. Programa Geologia do Brasil. CPRM, Brasília. CD-ROM. 2004.

Araújo, Mario Neto C. A, Silva F. C. A. da, Jardim de Sá E. F. Geocronologia Ar40/39Ar de ocorrências auríferas e de Be-Ta-Li do extremo nordeste da Província Borborema: reativação Cambriana seguida de mineralização Cambro-Ordoviciano de zonas de cisalhamento transcorrentes Neoproterozóicas. In: Simpósio de Geologia do Nordeste (SGN), 18., 2003, Fortaleza. **Anais**. p. 20-23.

Brando, V. E., Dekker, A. G. Satellite hyperspectral remote sensing for estimating estuarine and coastal water

quality. **IEEE - Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41, n. 6, p. 1378-1387, 2003.

Boardman, J. W. Post-ATREM polishing of AVIRIS apparent reflectance data using EFFORT: a lesson in accuracy versus precision. In: 7th Annual JPL Airborne Earth Science Workshop, **Summaries**. JPL Publication 97-21, v. 1, p. 53, 1998.

CSIRO. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. MMTG A-List Hyperspectral Data Processing Software. CSIRO, Division of Exploration and Mining, Sydney, Australia. 2002.

CSIRO. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. TSG Professional 5.0: Industry Standard Spectral Analysis Software for Geoscientists. CSIRO, Division of Exploration and Mining. Sydney, Australia, 2007.

Datt, B., McVicar, T. R., Van Niel, T. G., Jupp, D. L. B., Pearlman. Preprocessing EO-1 Hyperion hyperspectral data to support the application of agricultural indexes. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41, n. 6, p. 1246-1259, 2003.

Ducart, D. F. Alteração hidrotermal do prospecto aurífero Cerro La Mina, Los Menucos, Patagônia Argentina: geologia, sensoriamento remoto e isótopos estáveis. 2007. 174 p. (Unicamp 372/2007) Tese (Doutorado em Metalogênese) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2007.

Galvão L. S., Formaggio, A. R., Tisot, D. A. The influence of spectral resolution on discriminating Brazilian sugarcane varieties. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 4. p. 769-777, 2006

Green, A. A., Berman, M., Switzer, P., and Craig, M. D. 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, 1988.

Jardim de Sá, E. F. A Faixa Seridó (Província Borborema NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na Cadeia Brasileiro/Pan-Africana. 1994. 803 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília. 1994.

Johnston Jr., W. D. Os pegmatitos berilo-tantalíferos da Paraíba e Rio Grande do Norte, no Nordeste do Brasil. Rio de Janeiro, DNPM-DFPM, 85 p. (Boletim 72), 1945.

Mackin, S. SIMIS FeatureSearch 1.6, Build 1.6.0.3, 1998.

Kruse, F. A., A. B. Lefkoff, J. B. Boardman, K. B. Heidebrecht, A. T. Shapiro, P. J. Barloon, and A. F. H. Goetz. The Spectral Image Processing System (SIPS) - Interactive Visualization and Analysis of Imaging spectrometer Data. **Remote Sensing of the Environment**, v. 44, p. 145-163, 1993

Kruse, F. A., Boardman, J. W., Huntington, J. F. Comparison of airborne hyperspectral data and EO-1 Hyperion for mineral mapping. **IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41, n.6, p. 1388-1400, 2003.

Pontual S., Merry, N., Gamson, P. Epithermal alteration gold systems. Spectral analysis guides for mineral exploration. G-MEX, Version 1.0, AusSpec International Pty. Limited. v. 4, 1997. 56 p.

Scorza, E. P. Província Pegmatítica da Borborema (Nordeste do Brasil). MA-DNPM-DGM. Rio de Janeiro. Boletim 112, 1944. 58 p.

Silva, S. M. P., Crósta, A. P., Souza Filho, C. R. Sensores remotos orbitais no mapeamento lito-mineralógico e de zonas de alteração hidrotermal associadas a granitos pegmatóides e pegmatitos da Província Pegmatítica da Borborema Seridó. In: Congresso Brasileiro de Geologia, XLIII, 2006, **Anais**. Aracaju, ST17-P-727, p. 348.

Ungar, S. G., Pearlmann, J. S., Mendenhall, J. A., Euter, D. Overview of the Earth Observing One (EO-1) Mission. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, vol. 41, n. 6, p.1149-1159, 2003.

Van Schmus, W. R., Brito Neves, B. B., Hackspacher, P. C., Babinski, M. U/Pb and Sm/Nd geochronological studies of eastern Borborema Province, northeastern Brazil: initial conclusions. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 8, p 267-288, 1995.