

Mapeamento mineral de solos tropicais em áreas degradadas por meio de imagens ASTER

Adelsom Soares Filho¹
Juliano Alves de Senna¹
Carlos Roberto de Souza Filho¹

¹ Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP/IG
Caixa Postal 6152 - 13083-970 - Campinas - SP, Brasil
(adelsomfilho, jsenna, beto,) @ige.unicamp.br

Abstract. Desertification processes have often been described in the southwest of Piauí, state of Brazil. The area with intense rocks and sediments exposure is localized around Gilbués and includes the cities of Barreiras do Piauí, Corrente, São Gonçalo do Gurguéia, Gilbués and Monte Alegre do Piauí and Riacho Frio. This region, recognized as one of four “Desertification Centers” from Brazil, has a strong environment and subsistence economy impairment due to the intensity of land degradation. Exposed surfaces match to sanded group rocks, corresponding to the beginning of the Cretaceous Age of Bacia do São Francisco, and represent pelites (mudstones and siltstones) and psalmists (sandstones) rich in clayminerals and ferruginous constituents. Below this rock formation is the Group Urucuia of the end of Cretaceous age, whose transition is marked groundwater zone. As multispectral remote sensing based on ASTER has successfully mapped the occurrence of clay minerals, in this study we opted to use the bands and/or ranges: from visible (visible - VIS) (0. 0.52 to 0., 69 μm), NIR (near Infrared - NIR) (0. 0.78 to 0., 86 μm) and short wave infrared (Short wave infrared - SWIR) (1., 3 to 2 μm ., 5 μm), discriminately. The aims of this study are: to map minerals exposed on exposed land area included in the Desertification Center of Gilbués and analyze the correlation of minerals mapped with data previously collected in the field and laboratory. We used the Ratio Bands operation and main Components Analysis to characterize the differences between spectral behaviors of different minerals, allowing them to discriminate on ASTER images. As a result it was identified in soils, in study area, minerals such as hematite, goethite, kaolinite and montmorillonite, whose spatial distribution has a clear relation with relief, pedogenesis, erosion processes.

Key-words: remote sensing, image processing, geology, soils, desertification, sensoriamento remoto, processamento de imagens, geologia, solos, desertificação.

1. Introdução

Processos de desertificação têm sido descritos na região de Gilbués (PI), englobando os municípios de Barreiras do Piauí, Corrente, São Gonçalo do Gurguéia, Gilbués, Monte Alegre do Piauí e Riacho Frio, no sudoeste do estado do Piauí (figura 1). Esta região apresenta um forte comprometimento da economia e do meio ambiente devido à intensidade da degradação do solo, e constitui um dos quatro “Núcleos de Desertificação” do Brasil (Sales, 1997).

Diversos estudos tratam da temática da erosão integrando técnicas de sensoriamento remoto (SR) e Sistemas de Informações Geográficas (SIG) a modelos de predição da erosão. Dentre estes destacam-se o estudo feito por Yuksel *et al.* (2008) que utilizaram as imagens ASTER para determinar os riscos de erosão elevada em áreas de mananciais da Turquia, obtendo resultados precisos sobre as condições ambientais do local.

A utilização do sensoriamento remoto multiespectral neste tipo de estudo baseia-se, em grande parte, na região do espectro eletromagnético (EEM) com a maior cobertura de bandas nos sensores atuais (e.g. ASTER), mais especificamente abrangendo a faixa do visível (visible - VIS) (0.,52-0.,69 μm), infravermelho próximo (Near Infrared - NIR) (0.,78-0.,86 μm) até o infravermelho de ondas curtas (Short Wave Infrared - SWIR) (1.,3 μm a 2.,5 μm).

De maneira geral, estudos sobre a degradação de terras, baseados nessas faixas espectrais (VIS-NIR-SWIR), são capazes de estimar a perda de vegetação através dos níveis de albedo

dissociado de matéria orgânica, proporcionando a identificação de alterações no tamanho e distribuição das manchas de solo exposto (Robinove *et al.*, 1981).

A esse procedimento soma-se a detecção de óxidos e hidróxidos de ferro, identificados na região do VNIR (0,4-1,3µm), responsáveis por diferentes tonalidades do solo, podendo estar associados às argilas, e constituindo-se em indicadores de seu empobrecimento e erodibilidade (Latz *et al.*, 1984; Wessman, 1991).

Baseado na problemática em questão, o presente trabalho tem por objetivo: (i) caracterizar, por técnicas de sensoriamento remoto, os alvos de ocorrências dos minerais de superfície associados ao Núcleo de Desertificação de Gilbués, e (ii) analisar a correlação dos minerais mapeados com dados previamente levantados em campo e laboratório.

2. Localização da área

A área enfocada neste estudo (Figura 1) compreende parte do Núcleo de Desertificação de Gilbués (PI), localizado entre as coordenadas 9,71°S/45,64°W e 10,27°S/45°W, totalizando uma área de aproximadamente 3.122 km², inserida nos municípios de Barreiras do Piauí, Corrente, São Gonçalo do Gurguéia, Gilbués, Monte Alegre do Piauí e Riacho Frio, no sudoeste do estado do Piauí.

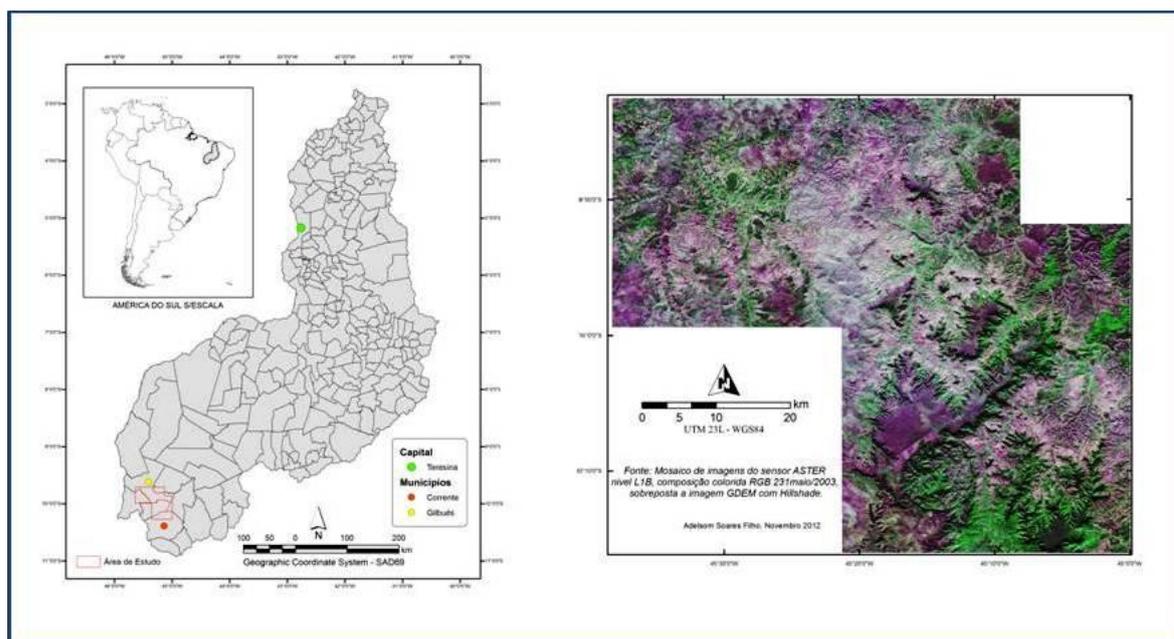


Figura 1: Núcleo de Desertificação de Gilbués (PI), foco dessa pesquisa.

3. Características geológicas e fisiográficas

Do ponto de vista geológico, esta região corresponde aos domínios da Bacia São Franciscana, depositada sobre os sedimentos da Bacia do Paranaíba. São majoritariamente pelitos e psamitos com abundante contribuição ferruginosa, depositados no Cenozóico. Estratigraficamente ocorre o Grupo Areado na base e o Grupo Urucuia no topo (Figura 2).

A Geomorfologia predominante da área de estudo é de Chapadas tabulares/tabuliformes isoladas e cuestas, em vasta superfície de aplainamento, limitada por escarpas que podem atingir 700m. Insere-se na área dos Chapadões do Alto Médio Gurguéia e Chapadas do Extremo Sul Piauiense, constituem chapadas com altitudes decrescentes de sul para norte, variando entre 700 e 300 metros.

As áreas de maior altitude localizam-se na porção sul da área de estudo. São locais que ainda apresentam vegetação pouco degradada, correspondente ao alto das chapadas. As áreas mais afetadas pelos processos erosivos encontram-se em altitudes mais baixas, normalmente associadas a formação Areado.

Os solos, de acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (1999) são representados por Argissolos Vermelhos-amarelo e Neossolos, derivados principalmente da Formação Areado. Nas chapadas apresentam granulometria arenosa e em direção à base passam para a granulometria de silte, com intercalações de argila.

A drenagem é representada pelas bacias dos rios Uruçuí Vermelho e Gurguéia (integrantes da bacia hidrográfica do Rio Parnaíba), ocorrendo intermitência de contribuintes menores (Galvão, 1994).

Na perspectiva da variabilidade climática, o núcleo de desertificação localizado em Gilbués, difere dos demais núcleos do Nordeste como o de Irauçuba-CE, Seridó-RN e Cabrobó, por ser o único situado no bioma Cerrado, em clima subúmido seco, com índice pluviométrico de 1200mm anuais, os demais núcleos ocorrem no bioma Caatinga, em clima semi-árido com índices pluviométricos de 600 à 800mm anuais, Silva et al. (2010).

A área selecionada para este trabalho está inserida na faixa de transição entre o domínio dos cerrados do Brasil Central e o domínio do semiárido do Nordeste brasileiro. Como consequência, sua cobertura vegetal caracteriza-se por uma variação entre Cerrado e Caatinga, predominando, no entanto, espécies pertencentes ao Cerrado (DNPM, 1973).

O uso do solo, mesmo com o surgimento de novas atividades econômicas nos últimos tempos, continua ligado a atividade pecuária, principalmente associada ao sistema de produção de alimentos baseado nas roças (Sales, 2003).

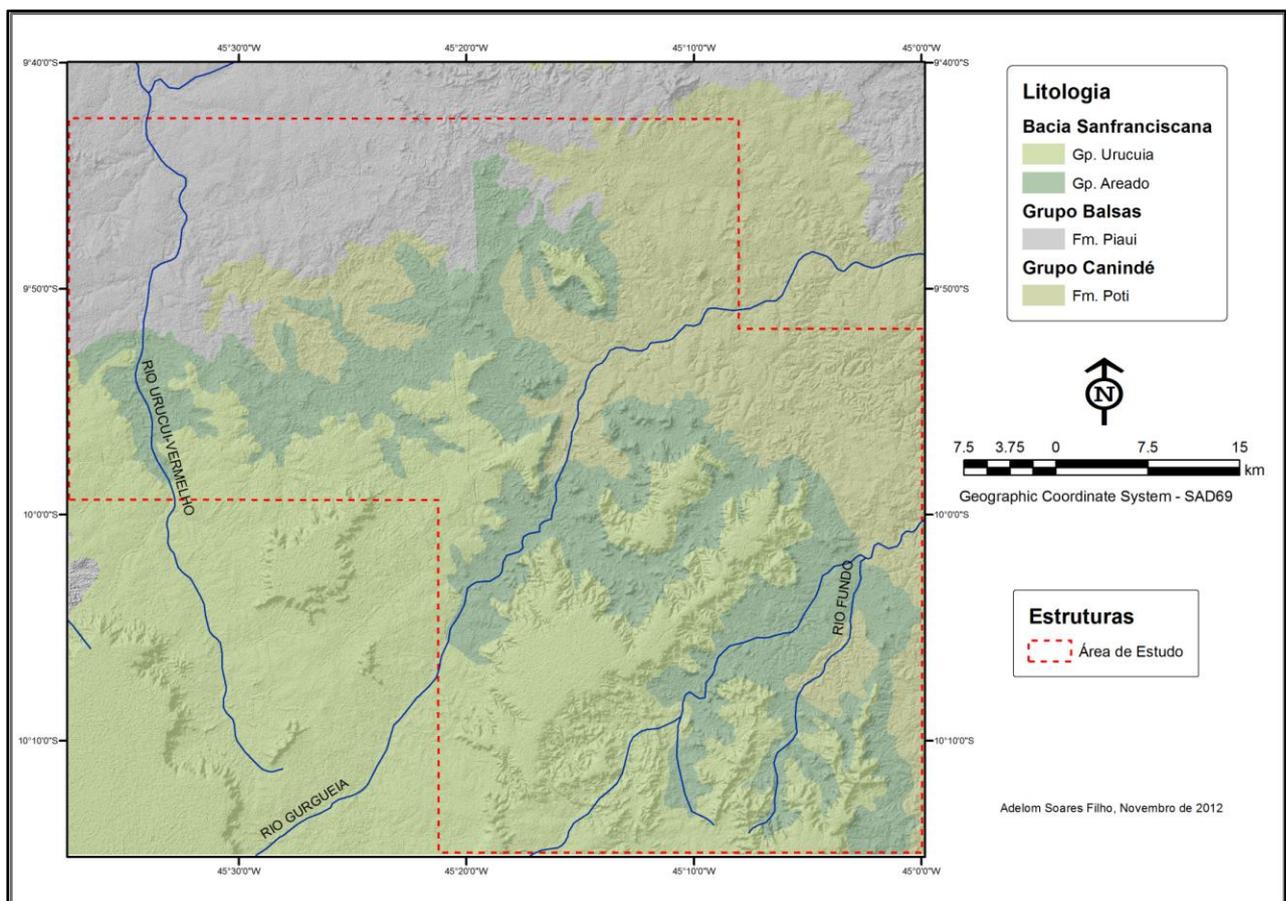


Figura 2: Mapa Geológico – Ministério de Minas e Energia, Serviço Geológico do Brasil CPRM (2004) – Rio São Francisco, Folha SC.23.

4. Materiais e métodos

Para o desenvolvimento da pesquisa, foi necessária a utilização de diversos materiais e dados temáticos de arquivos digitais georeferenciados.

Para este trabalho foram utilizadas as cartas topográficas da Folha Topográfica Curupã (SC.23-V-D-V), Folha Topográfica Gilbués (SC.23-V-D-VI), do Ministério do Exército - Divisão de Serviço Geográfico (1976) ambas na escala 1:100.000, e Folha Topográfica Corrente (SC.23-Y-B-III), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (1981) também na escala 1:100.000.

O mapa Geológico foi adquirido no site do serviço Geológico do Brasil (CPRM), em formato vetorial, padrão shapefile.

Foram utilizadas nove bandas do sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), nos intervalos do espectro eletromagnético do VIS (0.52 – 0.69 μm), NIR (0.78 – 0.86 μm) e SWIR (1.60 – 2.43 μm). As imagens ASTER (L1B) foram adquiridas em 29/05/2002 e 06/08/2003.

Os dados do Global Digital Elevation Model (GDEM)/ASTER foram adquiridas do site ASTER GDEM, disponível no link: <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/search.jsp>.

A referência para o processamento digital das imagens foram as curvas de reflectância espectral das leituras realizadas no espectrorradiômetro portátil *FieldSpec Full Resolution* da *Analytical Spectral Device*, da *Analytical Spectro Devices (ASD)*.

4.1 Pré-processamento

O pré-processamento compreendeu: (i) a fusão das bandas do SWIR com as bandas do VNIR para a resolução espacial comum de 15 metros; (ii) a compensação atmosférica da cena para minimizar o efeito de espalhamento e absorção de gases atmosféricos. Para essa compensação e conversão dos dados para reflectância foi utilizado o modelo MODTRAN (Moderate Resolution Atmospheric Radiance and Transmittance Model), no software ACORN (Atmospheric Correction Now). O propósito dessa última rotina é viabilizar a comparação dos espectros de reflectância dos *pixels* com espectros de minerais de reflectância (medidos no campo ou extraídos de bibliotecas espectrais) e sua possível identificação na cena (e.g. Souza Filho et al 2003). (iii) Seleção e recorte da área escolhida para desenvolvimento da pesquisa.

4.2 Processamento digital de imagens (PDI)

Inicialmente, com o objetivo de neutralizar a influência da vegetação no processamento dos dados, foi gerada uma máscara com base numa imagem NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) da área de estudo.

4.2.1 Operações entre bandas

As operações entre bandas foram implementadas em cinco etapas: (i) razão entre bandas B2/B1 para a discriminação de superfícies ricas em ferro férrico (Fe^{3+}); (ii) razão e soma das bandas $(\text{B5}/\text{B3})+(\text{B1}/\text{B2})$, para realçar superfícies ricas em ferro ferroso (Fe^{2+}); (iii) razão entre bandas $(\text{B7})/(\text{B5})$, para obter a abundância de compostos com Al-OH e com maior ordem estrutural em terrenos expostos; (iv) soma e razão entre bandas $(\text{B5})+(\text{B7})/(\text{B8})$, para obter o realce de compostos com Al-OH+H₂O e baixa ordem estrutural;

4.2.2 Análise por Principal Componentes (PCA)

As quatro imagens das razões entre bandas foram submetidas a Análise por Principais Componentes (APC) objetivando o mapeamento de superfície ricas especificamente em (i) goethita; (ii) hematita; (iii) caulinita e; (iv) esmectitas.

Esses minerais foram escolhidos a partir da classificação espectral das amostras obtidas em campo, cuja leitura foi realizada em laboratório com equipamento *FieldSpec Full Resolution* da *Analytical Spectral Devices*.

Esta análise resultou em quatro novas imagens PCA, correspondentes ao número de imagens de entrada. A análise das bandas PCA para cada mineral foi realizada buscando-se identificar informações espectrais independentes, com base em análises estatísticas.

A partir disso, foi possível comparar a resposta da classificação com a assinatura espectral das amostras obtidas em campo, sempre que um ponto desta coleta coincidiu com a área mapeada pela PCA.

5. Resultados e discussão

As operações entre bandas realçaram os materiais de composição mais genérica satisfatoriamente, na sequência foram mapeados mais especificamente pelas PCAs.

Os resultados obtidos com a aplicação da transformação por principais componentes são exibidos na Figura 3.

Esses produtos foram comparados e integrados com dados das amostras de solo e rochas coletados em campo e suas assinaturas espectrais adquiridas em laboratório, cujos espectros de referência encontram-se plotados nos mapas das PCAs.

A partir da matriz de autovetores resultante da aplicação da análise por principais componentes selecionou-se as bandas onde cada mineral apresentou maior absorção ou maior reflectância espectral. Com base nessas informações, selecionou-se a banda PC1 para mapear esmectita; a PC2 para hematita; a PC3 para goethita; e PC4 para caulinita.

A análise visual das PCs, com o suporte aos dados de campo, demonstrou que foi possível mapear as principais feições minerais em superfície exposta.

Na Figura 3, a imagem (d) de abundância de esmectitas (montomotilonita) mostra sua ocorrência principalmente na região norte da área, considerada mais degradada, com solos expostos e relevo mais plano.

Na imagem (b) da hematita, ficou nítida a sua abundância em áreas de encostas, vertentes e próximo a vales de drenagens intermitentes. Aparentemente, a concentração desse mineral está relacionada a locais que possuem relevo mais íngreme e dissecado.

A imagem (a) da goetita indica uma espacialização diferenciada desse mineral, concentrado principalmente nos leitos secos de drenagens e nos terrenos mais desgastados pela erosão. São áreas localizadas em altitudes menores e normalmente de relevo plano e dissecado. Da mesma forma que as esmectitas ocorrem nas áreas de acentuado processos erosivos.

A caulinita, na imagem (c) por sua vez, é abundante na região central e norte da área. Sua presença tem forte correlação com as maiores altitudes e relevo mais dissecado. A caulinita foi muito bem mapeada nos taludes e talus das escarpas, bem como nas vertentes dos vales.

A composição colorida das PCs 123 e 531 em RGB da Figura 3(e, f) corresponde a um recorte de área de estudo, onde foram identificados a concentração individual dos minerais de interesse, bem como situações de misturas entre mais de um mineral.

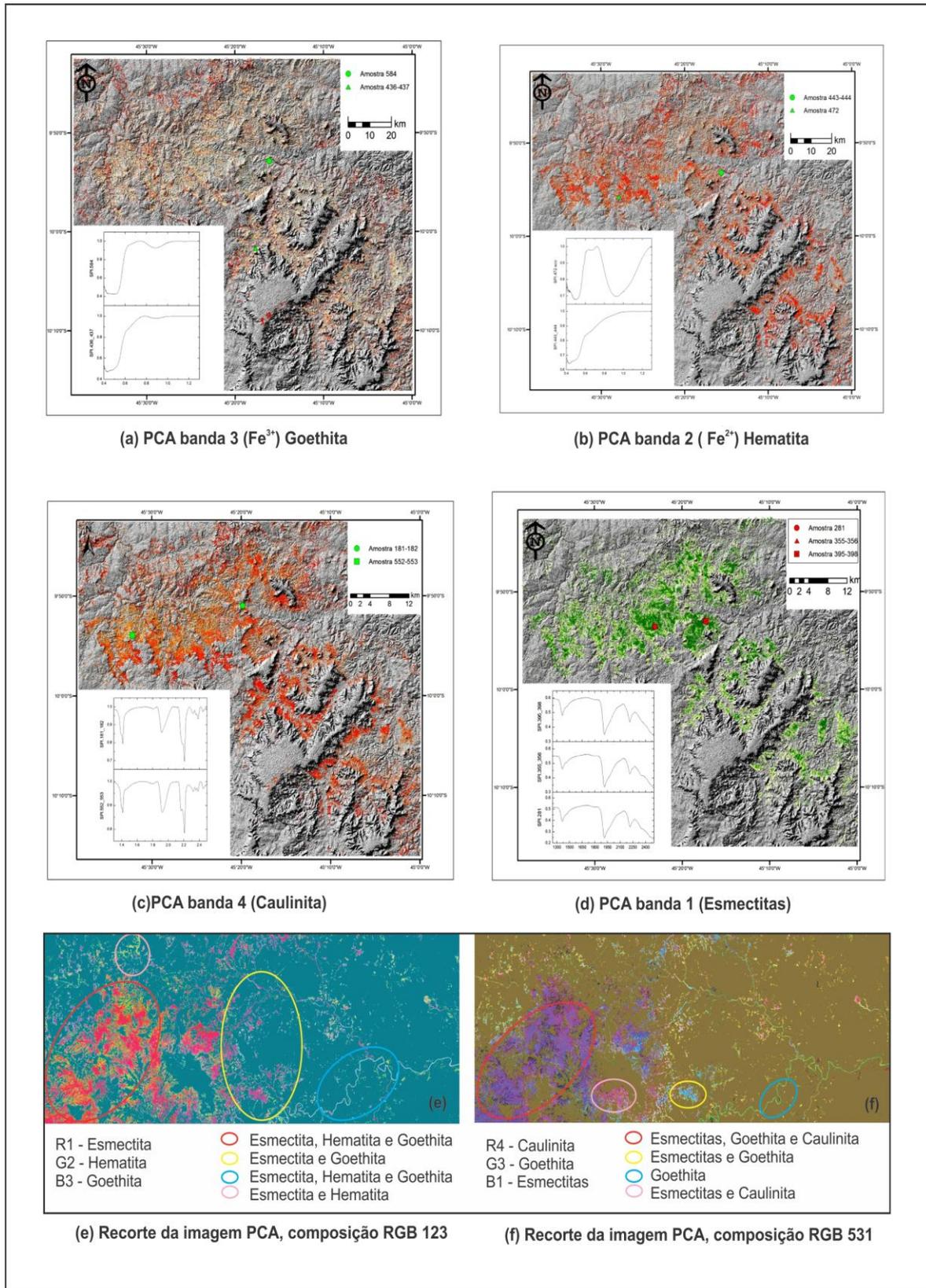


Figura 3: Mapas de minerais derivados a partir de razões de bandas e análise por principais componentes. O background em tons de cinza corresponde ao um modelo digital de elevação ASTER

6. Conclusões

Os resultados obtidos no mapeamento mineral na área de estudo com dados do sensor ASTER podem ser utilizados para gerar informação geológica, mineralógica e geomorfológica básica e de relevância para estudos de áreas em desertificação. Com uma técnica relativamente simples, e um conjunto de bandas reduzido, foi possível discriminar mapear a distribuição espacial de minerais como hematita, goetita, montmorilonita e caulinita expostos em superfície e sua relação com a fisiografia da área de estudo

Referências Bibliográficas

Bierwith P., 2002, Evaluation of ASTER satellite data for geological applications: Consultancy report to Geoscience Australia (unpublished).

Brasil. Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAM. Parte das folhas SC. 23. Rio São Francisco e SC. 24. Aracaju.** Levantamentos de recursos naturais. Rio de Janeiro, V.1, 1973.

Galvão, A L. C. O. **Caracterização geoambiental em região submetida aos processos de desertificação - Gilbués-PI, um estudo de caso. Anais da Conferência Nacional da Desertificação**, Fortaleza, 1994. Brasília, Fundação Esquel Brasil. p.79-167, 1994.

Hewson, R. D., Cudahy, T. J., and Huntington, J. F., 2001, Geologic and alteration mapping at Mt Fitton, South Australia, using ASTER satellite-borne data: Proceedings of the IEEE 2001 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Sydney, N.S.W., 2001.

Hewson, R. D., Cudahy, T. J., Burt, A. C., Okada, K., and Mauger, A. J., 2004a, Assessment of ASTER imagery for geological mapping within the Broken Hill and Olary Domains: 12th Australasian Remote Sensing and Photogrammetric Conference Proceedings, Perth, W.A., 2004.

Hewson, R.D.; Cudahy, T. J.; Mizuhiko, S.; Ueda, K., & Mauger, A. J. (2005). Seamless geological map generation using ASTER in the Broken-Hill Curnamona province of Australia. *Remote Sensing of Environment*, 99: 159-172.

Latz, K., Weismiller, R. A.; Van Scoyoc, G. E.; Baumgardner, M. F. **Characteristic variation in spectral reflectance of selected Alfisols.** *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 48:1130-1134, 1984.

Robinove, C. J.; Chavez, P.S.; Gehring, D.; Holmgren, R. **Arid land monitoring using Landsat albedo difference images.** *Remote Sensing of Environment*, 11:133-156, 1981.

Rowan, L. C. & MARS, J. C. Lithologic mapping in the Mountain Pass, California area using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data. *Remote Sensing of Environment*, 84: 350-366, 2003.

Sales, M. C. L. Degradação Ambiental em Gilbués, Piauí. **Mercator: Revista de Geografia da UFC**, Fortaleza, v. 04, n. 02, p.115-124, 2003.

Sales, M. C. L. **Estudo da degradação ambiental em Gilbués – PI. Reavaliando o “Núcleo de Desertificação”**. 1997, 182f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 1997.

Silva, I. A. de S.; Silva J. C. B.; Silva, K. A.; Barros, J. R. Estudo da desertificação em Gilbués-Piauí: Caracterização física, variabilidade climática e impactos ambientais. In: I simpósio Regional de Geografia do Cerrado (SIREGEO), 2010, Barreiras BA. Disponível em: <http://www.geografia.icad.ufba.br/sirgeo/silvaivamauroailtondesouza.pdf>. Acesso em 25 de outubro de 2012.

Souza Filho, C. R., Tápia, C. H., Crósta, A. P.; Xavier, R. P. Infrared spectroscopy and ASTER imagery analysis of hidrothermal alteration zones at the Quellaveco Porphyry-Cooper Deposit, Southern Peru. In: Proceedings of the American Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), Annual Conference – “Technology: Converging at the Top of the World”, p. 1-12, 2003.

Wessman, C. **Remote sensing of soil processes.** Agric. Ecosys. Envir., 34:479-493, 1991.

Yuksel, A.; Gundogan, R.; Akay, A. E. **Using the Remote Sensing and GIS Technology for Erosion Risk Mapping of Kartalkaya Dam Watershed in Kahramanmaras, Turkey.** Sensors, Basel, v. 8, p. 4851-4865, 2008.