Avaliação Espectrorradiométrica de Amostras de Áreas de Alteração Hidrotermal em Granitóides Estaníferos de Goiás

ICARO VITORELLO*/INPE, RAIMUNDO ALMEIDA FILHO/INPE, LÊNIO S. GALVÃO/INPE/USP

ABSTRACT

We have carried out high resolution reflectance spectroradiometric measurements in the visible and near-infrared, on hydrothermally altered materials from the Serra dos Mendes, a granitoid of the Tin Province of Goiás. Spectra from greisens and albitites were compared with measurements on soils developed over biotite-granites. Results indicate that the spectra from greisens are distinguished from the others by considering the slopes in the red-blue portion, and in the near-infrared beyond the 2300 nm wavelengths. The former are related to the presence of a greater amount of iron oxides in soils derived from biotite granites, especially the lateritic soils. The latter are due to hydroxyl minerals present in the hydrothermally altered materials. These results are useful in the selection of processing techniques of orbital imagery to enhance hydrothermally altered areas.

INTRODUÇÃO

A ocorrência de fácies albitizadas/greisenizadas mineralizadas com cassiterita em granitóides da Província Estanífera de Goiás tem sido alvo de pesquisa por métodos geológicos tradicionais por diversos pesquisadores (e.g. Marini e Botelho, 1986, e referências contidas no trabalho). Por outro lado, a discriminação dessas áreas mineralizadas por sensoriamento remoto tem também merecido atenção. Almeida Filho (1984) demonstrou que imagens orbitais permitem a discriminação de áreas de fácies greisenizadas e albitizadas, no granitóide Serra da Pedra Branca. Esta discriminação por sensoriamento remoto é possível desde que haja contraste espectral. No caso do granitóide da Serra da Pedra Branca, o contraste ocorre pela existência de variações na densidade de cobertura vegetal entre áreas hidrotermalmente alteradas e não alteradas. Nas áreas de ocorrência de rochas greisenizadas/albitizadas encontram-se litossolos rasos, de coloração clara com pavimento de seixos de quartzo. Nessas locais a cobertura vegetal é composta predominantemente por gramíneas e arbustos adaptados às fracas condições de nutrientes e acidez dos solos. No restante do granitóide a cobertura vegetal é constituída pela vegetação do cerrado. Nessas condições de contraste geobotânico, a abordagem recomendada para a discriminação das áreas alteradas por imagens orbitais é a técnica de divisões de canais não correlacionados em relação à

resposta da vegetação. Almeida Filho (1984) utilizou a divisão de canais MSS 7 (infravermelho próximo) pelo MSS 5 (visível) de uma imagem Landsat obtida no período de chuvas.

Entretanto, em outros corpos granitóides da Província de Goiás ocorrem áreas recobertas por solos lateríticos que também inibem o pleno desenvolvimento do cerrado. Consequentemente, o procedimento de divisões de canais, como utilizado anteriormente na Serra da Pedra Branca, não consegue discriminar áreas de alteração hidrotermal de áreas com solos lateríticos (Almeida Filho e Vitorello, 1993), visto que ambos mostram densidades de cobertura de vegetação semelhantes.

Neste trabalho pretendemos verificar a possibilidade de abordagens alternativas para este problema, a partir da avaliação de dados espectrorradiométricos de amostras coletadas nas áreas greisenizadas/albitizadas, e em solos e coberturas lateríticas desenvolvidos sobre biotita-granitos.

METODOLOGIA, RESULTADOS E DISCUSSÕES

Amostras da parte superficial dos solos foram coletadas no granitóide Serra dos Mendes. Foram selecionadas quatro amostras em áreas de ocorrência de fácies albitizadas/greisenizadas, três em solos desenvolvidos sobre o biotita-granito e duas em solos lateríticos também originados de biotita-granitos. A composição química destas amostras é mostrada na Tabela 1. Comparando-se os valores de solos sobre biotita-granitos com aqueles de áreas de alteração hidrotermal, observam-se nestes últimos empobrecimentos nos teores de óxidos de ferro, titânio e manganês. Este resultado encontra-se em concordância com dados de Marini e Botelho (1986), que também obtiveram valores mais elevados de óxidos de ferro e titânio em amostras de biotita-granito do que em granito albitizado e greisenizado. Por outro lado, solos lateríticos mostram enriquecimentos em ferro, titânio e manganês e empobrecimentos em alumínio e sílica, em relação aos solos derivados da alteração do biotita-granito.

Determinações do Fator de Reflectância Bidirecional (FRB) espectral foram realizadas no intervalo de 400 a 2500 nm em um espectrorradiômetro de alta resolução (IRIS - Infrared Intelligent Spectroradiometer, da GER: Geophysical E. Research Corp.). Neste equipamento, as leituras são registradas em intervalos de 2 nm entre 300 e 1000 nm, e de 4 nm entre 1000 e 2500 nm. O alvo é uma placa de

referência com reflectância conhecida são iluminados simultaneamente e a energia refletida é registrada pelo sistema sensor. O FRB do alvo é calculado a partir da razão entre a energia refletida pelo alvo e pela placa padrão.

A Figura 1 mostra espectros representativos dos três tipos de amostras. Os espectros dos solos derivados de fácies albitizadas/greisenizadas apresentam albedo relativamente elevado e bandas de absorção no infravermelho próximo associadas principalmente à presença de argilas. Os espectros dos solos de biotita-granito e capeamento laterítico mostram o efeito de absorção de óxidos de ferro (Fe^{3+}) no visível e infravermelho próximo e presença sutil de argilas. As Figuras 2 e 3 mostram os espectros em maior detalhe, respectivamente nas faixas entre 400 e 1200 nm e entre 2000 e 2500 nm.

Uma análise qualitativa desses espectros mostra que os três tipos de solos são diferenciados pelos seguintes aspectos:

- solos em áreas greisenizadas-albitizadas: espectro de alto albedo (Fig. 1); maiores valores de reflectância na porção violeta-azul devido a baixos teores de óxidos de ferro (Fig. 2); bandas de absorção acentuadas no infravermelho próximo devido a água e hidroxilas (minerais de argila) (Fig. 3). A ocorrência de absorção dupla ao redor de 1400 nm e 2200 nm (2160 e 2210 nm na Fig. 3) e profunda absorção em 1920 nm provavelmente indica a presença de Halosita ou de uma mistura de caolinita e montmorilonita (Clark et al., 1990). A feição de absorção em 2390 nm pode estar relacionada à caolinita ou ser devida à muscovita ou illita.
- solos lateríticos: espectro de baixo albedo (Fig. 1); presença de forte feição de absorção centrada em 920 nm e na faixa de 400 a 550 nm (Fig. 2), possivelmente relacionada à predominância de goetita em limonitas (Sherman e Waite, 1985).
- solos derivados de biotita granitos: presença de absorção de óxidos de ferro (Fe^{3+}) em 920 nm e entre 400-550 nm (Fig. 2) e bandas de absorção pouco acentuadas no infravermelho próximo (Fig. 3), relacionadas à presença de minerais de argila e água. Estes resultados encontram-se em concordância com os dados das análises químicas da Tabela 1.

De um ponto de vista mais quantitativo, determinamos as profundidades das bandas de absorção e calculamos razões entre pontos do espectro. A Figura 4 mostra a distribuição espacial em termos de profundidades das bandas de absorção em 920 e 2210 nm. Este diagrama evidencia a diferenciação dos solos mineralizados dos não-mineralizados pela ausência ou fraca absorção ocasionada por óxidos de ferro, em

920 nm. Por outro lado, a forte presença de absorção de ferro é responsável pela diferenciação dos solos lateríticos, como pode ser observado no diagrama da Figura 5, que mostra as relações entre divisões de espectro 760/920 nm e 1650/920 nm.

Entretanto, a melhor abordagem para diferenciar os materiais mineralizados dos não-mineralizados se faz através das divisões do espectro entre o vermelho e o azul (660/485 nm) e no infravermelho próximo, entre 2300/2500 nm, como evidenciado no diagrama da Figura 6. A razão 660/485 nm corresponde aproximadamente à razão TM3/TM1 do Landsat. Estes resultados foram confirmados por um amplo levantamento de medidas no campo, com um radiômetro de bandas (HHRR da Barringer). Devido ao fato de que os solos derivados de greisens apresentam reflectâncias mais altas entre 400 e 550 nm do que solos de biotita-granitos, como também razões 660/485 nm menos elevadas, Almeida Filho e Vitorello (1993) selecionaram as bandas TM1, TM2 e TM3 do Landsat (faixa do visível), para gerar uma composição colorida para destacar as áreas mineralizadas de greisens e albititos no granitóide Serra dos Mendes (GO). Nesta composição, os tons claros correspondem aos solos de cor clara, associados a zonas de hidrotermalismo. Problemas relacionados aos efeitos atmosféricos limitam o uso de razões entre bandas no vermelho e azul. Uma diferenciação baseada no contraste observado entre 2300/2500 nm, menos suscetível aos efeitos atmosféricos, não é possível no momento, pela inexistência de imagens nesta faixa espectral.

BIBLIOGRAFIA

Almeida Filho, R., 1984, Multiseasonal and geobotanical approach in remote detection of albitized-greisenized areas in the Serra da Pedra Branca granitic massif, Goiás State, Brazil, *Economic Geol.* 79(8):1914-1920.

Almeida Filho, R. e Vitorello, I., 1993, Uso combinado de imagens Landsat e fotografias aéreas na discriminação espectral de áreas de alteração hidrotermal: uma nova abordagem em pesquisa mineral, *Anais do VII Simpósio Bras. de Sens. Remoto*, Curitiba, maio, 1993.

Clark, R.N.; King, T.V.V.; Klejwa, M.; Swayze, G.A., 1990, High spectral resolution reflectance spectroscopy of minerals, *J. Geophys. Res.*, 95(B8):12653-12680.

Marini, O.J. e Botelho, N.F., 1986, A Província de Granitos Estaníferos de Goiás, *Rev. Bras. Geoc.*, 16(1):119-131.

Sherman, D.M. e Waite, T.D., 1985, Electronic spectra of Fe³⁺ oxides and oxide hydroxides in the near IR to near UV, Am. Mineral, 70:1262-1269.

Tabela 1. Composição dos óxidos dos três tipos de solos deste estudo, obtida pela digestão do material por H₂SO₄. Valores em percentagem.

	Óxido de ferro (total)	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	H ₂ O	Outros
Solos de Greisens	0.75 ± 0.2	4.83 ±1.5	8.83 ±2.5	0.05 ±0.001	0.01	5y7/1; 2.5y7/0; 10yr5/1; 10yr6/2
Solos Lateríticos	9.55	3.11	4.25	1.32	0.05	7.5yr5/6
Solos de Biotita-granitos	3.45 ±0.6	6.89 ±0.9	9.32 ±0.6	1.06 ±0.4	0.035 ±0.005	10yr6/4 10yr6/4 10yr7/6

Figura 1 - Espectros representativos de amostras de solos sobre áreas mineralizadas (curva a), sobre biotita-granitos (curva b) e capeamentos lateríticos (curva c). Os seis canais do TM/Landsat e as duas principais faixas de absorção atmosférica estão indicadas no diagrama.

Figura 2 - Realçamento das feições espectrais na faixa do visível e infravermelho próximo, na faixa de 400 à 1200 nm. Os solos de greisen estão em linha contínua, o laterito em linha tracejada e os solos sobre biotita-granitos em linha pontilhada.

Figura 3 - Realçamento das feições espectrais no infravermelho próximo, na faixa de 2000 a 2500 nm. A simbologia é idêntica à da Figura 2.

Figura 4 - Distribuição espacial da profundidade das bandas de absorção observadas em 2210 nm e 920 nm, para amostras de áreas mineralizadas (estrelas), solos sobre biotita-granitos (círculos cheios) e capeamentos lateríticos (círculos abertos). As setas indicam a tendência de cada grupo, em direção a maiores profundidades da banda.

Figura 5 - Ilustração do relacionamento entre as divisões espectrais que discriminam o capeamento laterítico (círculos abertos). A seta indica a direção a maiores profundidades da banda de absorção em 920 nm. A simbologia é a mesma da Figura 4.

Figura 6 - Diagrama que ilustra a discriminação de amostras de áreas mineralizadas (estrelas), tanto na porção vermelho-azul, quanto no infravermelho próximo. A simbologia é a mesma da Figura 4.