

Identificação de Rochas Ultramáficas por Imagens Digitais TM - Landsat 5 no Escudo Sul-rio-grandense, RS

DEJANIRA LUDERITZ SALDANHA¹; MARIA DO CARMO LIMA E CUNHA¹
& JOSÉ CARUSO MORESCO DANNI²

1. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15001
CEP 91501-970- Porto Alegre - RS. dejanira.saldanha@ufrgs.br
2. Universidade de Brasília, CEP 70910-900, Brasília, DF

(Recebido em 12/07. Aceito para publicação em 07/08)

Abstract - Principal Components of Landsat TM images were used aiming to identify occurrences of ultramafic rocks in Rio Grande do Sul State, Brazil. Principal Component involving the pairs of bands TM1-TM5, TM4-TM2 and TM5-TM7 showed to be the best for the purposes of the study. Field surveys confirmed the results obtained by digital processing of the images.

Keywords - remote sensing, principal components, ultramafic rocks

INTRODUÇÃO

Os corpos de rochas ultramáficas que ocorrem na porção oeste do Escudo Sul-rio-grandense estão condicionados a estruturas lineares, tanto de direção NW (Lineamento de Ibaré), como falhas do sistema NE (e.g. ultramáficas da Formação Cerro do Ouro) e de suas extensões flexionadas para SW (e.g. Complexo Cerro Mantiqueira). Genericamente são constituídos por protólitos harzburgíticos, os quais sofreram processos metamórficos variados, destacando-se transformações em duas etapas de serpentinização, seguidas de processos metassomáticos e conversão para clorita-talco xistos, por vezes carbonatados.

Nas suas principais ocorrências, estas rochas constituem afloramentos em forma de blocos, apresentando uma cobertura edáfica pouco desenvolvida, com vegetação de baixa densidade, onde determinadas espécies de plantas como *Scoparia montevidensis* e *Adiantopsis cf.*

chlorophilla são endêmicas.

O reconhecimento e o mapeamento destas rochas no Rio Grande do Sul têm seus primeiros registros nos anos 60 (Goñi *et al.* 1961; 1962), quando foram descritas as ocorrências do Cerro Mantiqueira, do Arroio Cambaí e da Palma. A partir daí, diversos estudos têm sido realizados buscando esclarecer a origem e a evolução metamórfica destas rochas e sua significação geotectônica, tendo por base características petrológicas, geoquímicas e aquelas ligadas à estruturação das ocorrências (Fig.1).

Evidências reunidas por diversos autores como Goñi *et al.* (1961) e Chemale Jr. (2000), entre outros, ensejaram argumentos para a formulação de diferentes modelos evolutivos petrológicos e geotectônicos para essas rochas e, por extensão, para a evolução do Escudo Sul-rio-grandense. Assim, no início foram elas genericamente incluídas como partes de edifícios ofiolíticos (como peridotitos mantélicos ou como cumulos crustais),

posteriormente foram consideradas como integrantes de *greenstone belts* (sendo aventadas hipóteses de gênese vulcânica); por outro lado, algumas ocorrências integram intrusões diferenciadas, classificadas como estratiformes, e.g. Pedras Pretas, Mata Grande e Passo do Ivo (Rêgo, 1980; Bitencourt, 1983; Porcher *et al.*, 1992). A aquisição sistemática de novos dados sobre a distribuição

espacial destas ocorrências, a partir de metodologias não convencionais, a exemplo do tratamento de imagens multiespectrais de satélites, se afigura como uma valiosa ferramenta de pesquisa aplicada às rochas ultramáficas, além de prover novas informações (arranjos, distribuição, formas, dimensões) que possam subsidiar a formulação de modelos geotectônicos regionais.

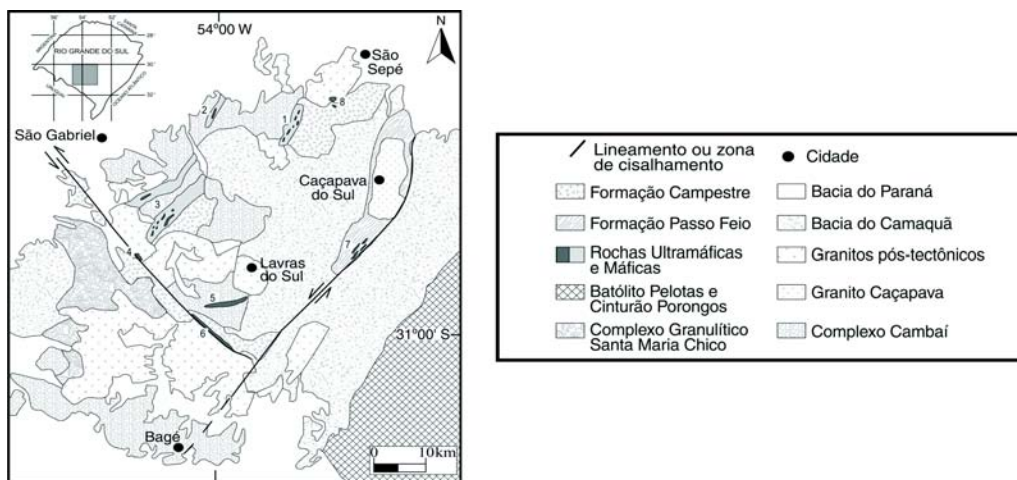


Figura 1 - Contexto geológico regional (Bloco São Gabriel) das unidades máficas ultramáficas. 1- Complexo Bossoroca; 2-Complexo Cambaizinho; 3- Complexo Palma; 4-Complexo Ibaré; 5- Maciço Máfico-Ultramáfico Cerro da Mantiqueira; 6- Complexo Marmeleiro; 7- Complexo Passo Feio; 8-Complexo Máfico-Ultramáfico Pedras Pretas e Santa Catarina (Mod. de Chemale Jr. 2000).

A aplicação de tecnologias do sensoriamento remoto para a discriminação litológica das ocorrências de rochas ultramáficas constitui um método muito útil e prático, visto que possibilita a análise de amplas áreas ao mesmo tempo em que permite um detalhamento geológico compatível com as dimensões usuais destas ocorrências (resolução espacial superior a poucas dezenas de metros).

Não há registros de processamentos de imagens multiespectrais orbitais visando a detecção e a identificação de rochas ultramáficas no Escudo Sul-rio-grandense, assim como também ainda não foi avaliada a possibilidade de identificação de novas ocorrências por meio da análise dos padrões do comportamento espectral desses litotipos. Estudos anteriores sobre análise multiespectral de imagens realizados no Escudo Sul-rio-grandense foram aplicados para realçar o condicionamento de estruturas controladoras de mineralizações (Offield *et al.* 1977; Ohara, 1982) e o mapeamento espectral de outras litologias (Ribeiro de Almeida *et al.*, 1997).

A identificação de rochas ultramáficas por

análise visual em imagens Landsat TM não processadas é dificultada pela qualidade da resolução espacial das imagens, pelas sutilezas espectrais destas rochas e por vezes, pelo pequeno porte das ocorrências. Neste estudo, foram empregadas técnicas de processamento de imagens, em que parâmetros geológicos, geomorfológicos e geobotânicos, inter relacionados com os dados espectrais, foram determinantes no sucesso da estratégia adotada.

Dentro desse contexto, o presente estudo objetivou identificar áreas de ocorrência de rochas ultramáficas no Escudo Sul-rio-grandense (ESRG), tendo por base a análise das características espectrais de solos autóctones associados a tais rochas com uso de imagens multiespectrais submetidas a diferentes técnicas de processamento digital. Além disso, procurou-se averiguar a veracidade dos resultados obtidos, confrontando-os com dados de campo, em particular os relacionados à identificação de novas ocorrências.

MATERIAL E MÉTODOS

Para o processamento das imagens digitais foram utilizadas cenas adquiridas pelo sensor Thematic Mapper -TM, Landsat 5, nas seis bandas do espectro óptico refletido. A partir de vários métodos de realce de imagens foram selecionadas as bandas espectrais (ou combinações destas) mais adequadas à discriminação dos alvos visados. Levantamentos sobre a melhor época de aquisição da imagem também foram feitos, visto que fatores ambientais são determinantes para a discriminação proposta, em especial os que se referem à cobertura vegetal, cuja variação é condicionada pelas oscilações climáticas ao longo do ano, além das variações da posição solar (ângulo azimutal e de elevação solar) (Vitorello & Almeida Filho 1984).

Para o realce de feições espectrais dos diferentes alvos que compõem a cena, foi utilizada a técnica de Componentes Principais (CP). Nessa técnica, a imagem CP1 reúne informações que são comuns a todas as bandas, permitindo que pequenas diferenças na variação de reflectância espectral dos alvos nas demais CP's sejam realçadas e, conseqüentemente, melhor interpretadas (Crósta, 1990).

A técnica de Componentes Principais envolve uma transformação linear baseada nos autovetores da matriz de covariância dos dados, de modo que em um novo sistema de coordenadas os dados são não correlacionados. A transformação CP resulta em um novo conjunto de eixos, rotacionado em relação ao conjunto de bandas originais. A dispersão dos dados (variância) ao longo de cada novo eixo CP é estimada pelos autovalores, associados aos autovetores correspondentes. Os autovalores podem, portanto, ser usados para estimar a quantidade de informação de cada uma das CP's. Chavez & Kwarteng (1989) com o método de Análise por Componentes Principais Seletiva, e Lamb & Pendock (1989) com o método *Pairwise Principal Components*, desenvolveram técnicas onde somente duas bandas são envolvidas na transformação. A CP1 concentra informação comum às duas bandas (albedo e sombreamento topográfico) e a CP2 contém informação que é única em cada uma das bandas. Os resultados obtidos, também chamados de falsa razão, mostram que a CP2 assemelha-se muito ao produto da razão das duas

bandas envolvidas nas operações. Vários são os parâmetros para a seleção dos subconjuntos das bandas originais, com base na matriz de correlação. Foram escolhidas bandas com baixa correlação para obtenção do contraste espectral de diversos tipos de cobertura (Chavez & Kwarteng, 1989).

Para individualizar alvos com reposta espectral semelhantes àqueles da área Cerro Mantiqueira, considerada área teste pelas suas características geológicas já conhecidas e com dimensões de 9km de comprimento por 500m de largura, foi utilizada a técnica de classificação por fatiamento ("*density slice*") nas bandas individuais CP's 2 que compõem a imagem composição colorida RGB. Essas CP's 2 equivalem ao melhor contraste das rochas ultramáficas com suas encaixantes. A classificação nas três diferentes bandas da composição colorida gerou três imagens binárias (com valor de pixel de 0 e 255). A imagem resultante da soma dessas três imagens binárias foi novamente fatiada para discriminar somente os pixels com valor zero. O conjunto desses pixels foi vetorizado e o arquivo vetorial foi sobreposto à imagem que lhe deu origem visando realçar os alvos, objeto deste estudo.

Para a inserção das áreas alvo no contexto geológico regional e, para a definição de uma metodologia própria que diferencie terrenos ultramáficos no ESRG por imageamento orbital, foi processada uma imagem abrangendo a parte oeste do Escudo Sul-rio-grandense. Essa imagem composta pelas cenas WRS 223/81 de 20.12.99 e WRS 222/81 de 06.01.2000, constitui-se em um mosaico elaborado a partir da técnica de Componentes Principais, envolvendo duas bandas espectrais, à semelhança do tratamento descrito acima.

RESULTADOS

O mapeamento regional das ocorrências ultramáficas descritas na bibliografia está representado na figura 1. A partir da disposição espacial destas ocorrências foram concebidos os atuais modelos geotectônicos do Escudo Sul-rio-grandense sobre o qual se pretende inserir novas ocorrências aqui identificadas por processamento das imagens TM Landsat 5, colaborando para reavaliações da evolução geotectônica do Escudo

sul-rio-grandense.

A composição colorida RGB que mais destacou as rochas ultramáficas foi gerada pelas imagens contraste obtidas pelas CP's 2 das bandas TM1 e TM5, TM4 e TM2, TM5 e TM7, utilizando-se a matriz de correlação ao invés da matriz de covariância para normalizar a variância das bandas (Fig. 2). Nesta figura a distinção das rochas ultramáficas é perceptível pelo contexto geológico circundante. O corpo ultramáfico é destacado pela cor vermelha, contornado pela cor azul com matiz ciano relacionada a solos expostos e rochas graníticas. É possível também perceber uma variação composicional no corpo ultramáfico, com zonas mais enriquecidas em ferro (em vermelho) e zonas mais enriquecidas em serpentina e talco (azul). A vetorização das áreas alvo, conforme descrito acima, foi sobreposta à composição colorida para destacar as rochas ultramáficas. Cabe salientar que algumas dessas áreas representam pixels falsos, decorrentes de ruídos do sensor, não sendo, portanto, indicativas da presença destas rochas.

Para confrontar o resultado do processamento da imagem com a verdade terrestre foram realizados levantamentos de campo a partir da seleção de coordenadas (da figura 2) de pontos com expressivo realce das rochas ultramáficas, além de comparação com mapeamentos geológicos (Fig. 3) efetuados na região de abrangência deste estudo.

Como resultado, analogias entre a exposição de rochas ultramáficas e o seu realce na imagem foram confirmadas, sendo inclusive discriminadas novas ocorrências ainda não descritas e constantes na literatura geológica. Em geral essas áreas acompanham a disposição espacial dos grandes lineamentos que compartimentam o Escudo Sul-rio-grandense.

Outra confirmação foi também estabelecida entre a distribuição e o controle tectônico de ocorrências ultramáficas e sua detecção pela análise multiespectral (Fig.3). Tais ocorrências, inseridas em uma área regionalmente conhecida como Arroio Marmeleiro, se destacam pela presença de diversos corpos de rochas ultramáficas alojados ao longo da falha que condicionou a colagem tectônica de uma seqüência vulcano-sedimentar com terrenos mais jovens (e.g. Grupo Maricá e corpos intrusivos tonalíticos). Ao longo de 8 Km da falha inversa (Fig. 3), observações de campo comprovam a existência de corpos lenticulares, com até 100 m de largura, de serpentinitos parcialmente cloritizados e esteatizados (talco + carbonatos). Provavelmente derivam de harzburgitos metamórficos, apresentando cristais reliquias de cromita aluminosa (em parte transformados para ferricromitas) e vestígios de texturas granoblásticas pseudomorfisadas pela serpentinização.

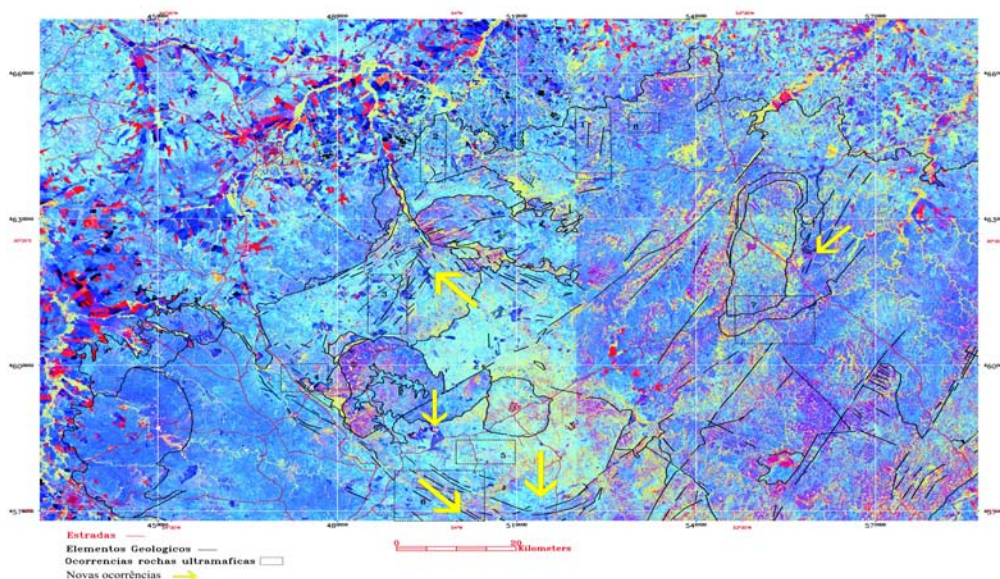


Figura 2 - Imagem CP2 (TM1-TM5), CP2 (TM4-TM2), CP2 (TM5-TM7) em RGB com sobreposição de áreas com resposta espectral semelhante a da área Cerro Mantiqueira, elementos geológicos e indicação das ocorrências conhecidas das rochas ultramáficas.

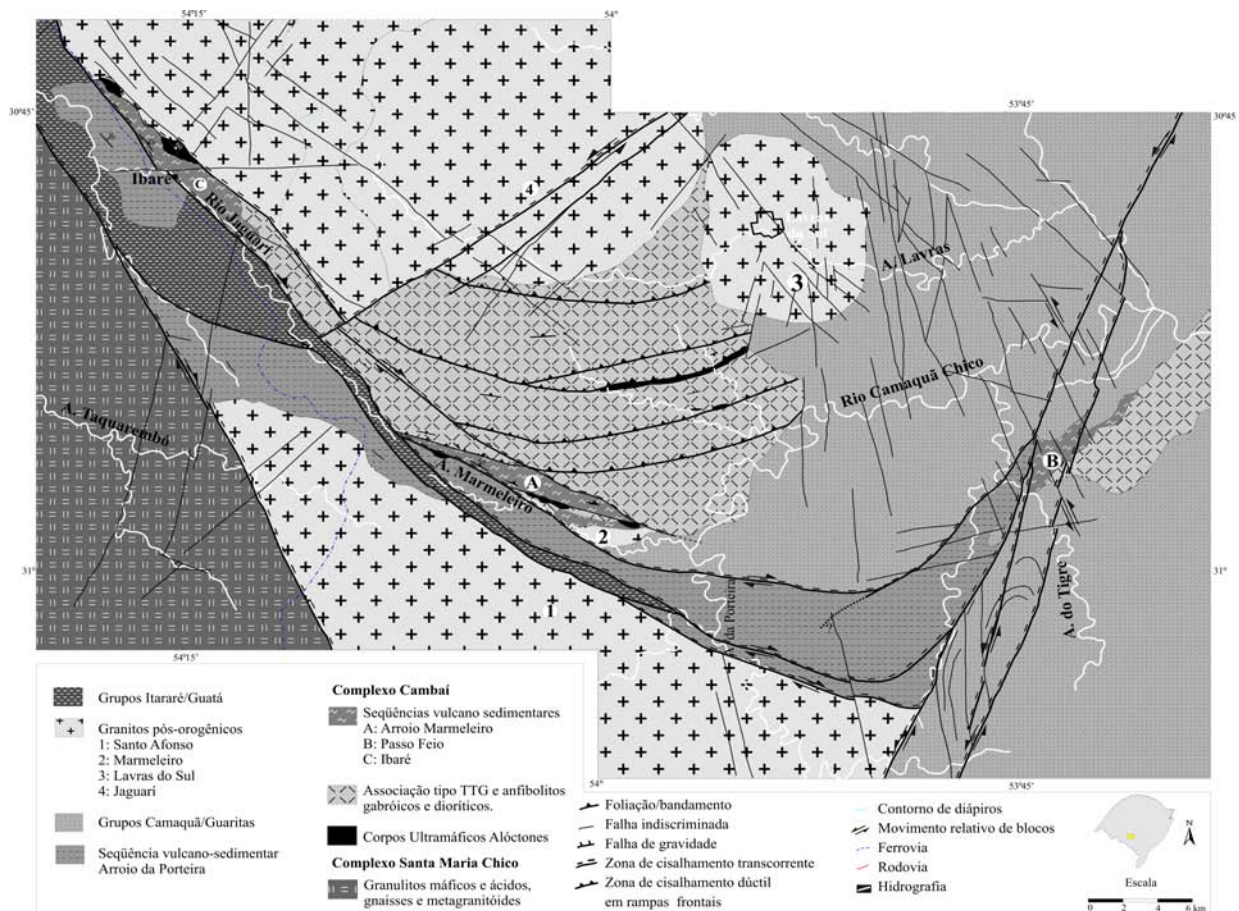


Figura 3 - Distribuição e controle tectônico das ocorrências ultramáficas na região do Complexo Marmeleiro.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho levam a conclusão de que as rochas ultramáficas no ESRG são perfeitamente discriminadas por imageamento orbital, tendo por base o comportamento espectral de seus sítios de ocorrência decorrente do somatório espectral dos solos, rochas e cobertura vegetal. Em campo, pode-se confirmar a relação existente entre a exposição destas rochas e o seu realce na imagem.

REFERÊNCIAS

Bitencourt, M.F.S. 1983. Metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS. Geologia e Relações com o corpo granítico. In: SIMPÓSIO SUL BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1, SBG, , Atas... Porto Alegre.

Chavez Jr., P.S. & Kwarteng, A.Y. 1989. Extracting

spectral contrast in Landsat Thematic Mapper image data using selective principal component analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 55 (3):339-348.

Chemale Jr., F. 2000. Evolução geológica do Escudo Sul-rio-grandense. In: M. Holz & L.F. De Ros (eds.) **Geologia do Rio Grande do Sul**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, CIGO, Porto Alegre, p.13-52.

Crósta, A.P. 1990. **Mapping of residual soils by remote sensing for mineral exploration in SW Minas Gerais State, Brazil**. 1990. 452p. Phd Thesis, Imperial College of Science, Technology and Medicine, University of London.

Goñi, J.C.; Goso, H.J. & Issler, R.S. 1961. **Notícia preliminar sobre a existência no Escudo Sul-rio-grandense de Maciços Ultrabásicos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 15, SBG, Florianópolis.

Goñi, J.C. Goso, H.J. & Issler, R.S. 1962. Estratigrafia e Geologia Econômica do Pré-cambriano e Eo-

- paleozóico Uruguaio e Sul-rio-grandense. UFRGS, Porto Alegre, **Avulso da Escola de Geologia**, 3: 1-106.
- Lamb, A.D. & Pendock, N.E. 1989. Band prediction techniques for the mapping of hydrothermal alteration. In: THEMATIC CONFERENCE ON REMOTE SENSING FOR EXPLORATION GEOLOGY, 7, 1989. Calgary, Canada. **Proceedings...** 2: 1317-1329.
- Offield, T.W.; Abbott, E.A.; Gillespie, A.R. & Loguercio, S.O. 1977. Structure mapping on enhanced Landsat images of Southern Brazil: Tectonic control of mineralization and speculations on metallogeny. **Geophysics**, 42(3): p.482-500.
- Ohara, T. 1982. Aplicação do programa realce pelas componentes principais na região das Minas do Camaquã – RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2, Brasília. **Anais...**, 1:39-45.
- Porcher, C.A.; Leite, S.R.; Ramgrab, G.E. & Camozzato, E. 1992. **Mapeamento Geológico da Folha Passo do Salsinho**. Projeto Levantamento Geológico Básico do Brasil. CPRM (inédito)
- Rêgo, I.T.S. 1980. **Complexo Básico-Ultrabásico de Pedras Pretas, RS. Aspectos petrológicos e Geoquímicos**. Porto Alegre, Dissertação de Mestrado em Geociências, 98p., Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Ribeiro de Almeida, T.I. & Crósta, A.P. 1997. Reflectance spectrometry of rocks from the Comstock Lode (Virginia City, Nevada, USA) and its comparison with X-Ray diffraction. **Boletim do IG-USP, Série Científica**, 28:85-100.
- Saldanha, D.L. 2003. **Características espectrais de unidades ultramáficas do sudoeste do Rio Grande do Sul: integração de dados orbitais, geobotânicos e geoquímicos**. 2003. 279p. Porto Alegre. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Vitarello, I. & Almeida Filho, R. 1984. Multiseasonal variables in digital image enhancements for geological applications. **INPE 3100 - PRE/499**, p.1-12.

Editor responsável pelo artigo: Laurindo A. Guasselli