

## Mapeamento espectral para identificação de assinaturas espectrais de minerais de lítio em imagens ASTER (NE/MG)

Deborah Mendes <sup>1</sup>  
Mônica Mazzini Perrotta <sup>1</sup>  
Manoel Augusto Corrêa da Costa <sup>1</sup>  
Vinícius José de Castro Paes <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM  
Rua Costa, 55 – 01304-010 – São Paulo - SP, Brasil  
{deborah.mendes, monica.perrotta, manoel.costa, vinicius.paes}@cprm.gov.br

**Abstract.** Spectral mapping has been proceeded using ASTER sensor multispectral data for the CPRM Project: Evaluation of Lithium Potential in Brazil. The supervised spectral mapping considered only the metasediments exposed areas, where pegmatite-hosted lithium deposits are known. Training sites were delimited in imagery data by selecting pixels in mining stage areas. The data was processed by a classification wizard including Minimum Noise Fraction (MNF), Pixel Purity Index (PPI), Spectral Angle Mapper (SAM) and Mixture Tuned Matched Filtering (MTMF) methods. The results show that the sensor ASTER spectral and spatial features are able to identify significant spectral features for pegmatite intrusions spectral mapping. The intersection of the images resulting from the application of MTMF and SAM techniques generated results consistent with the spectral signatures of the targets taken from the image. On the other hand, the spectral modeling of the pegmatite intrusions using ASTER data showed the difficulty in the direct application of signatures obtained in the laboratory as reference for the spectral mapping, since, due to the low spatial resolution of the images, a significant mixture of materials is represented in a pixel, in addition to the low spectral resolution of the sensor which has only nine spectral bands, while the laboratory measurements have 2151 bands. Even so, it is possible to recognize spectral features characteristic of mineral phases present in the assemblies studied, such as the different types of clay minerals.

**Palavras-chave:** Spectral mapping, Lithium deposits, mineral exploration, mapeamento espectral, depósitos de lítio, exploração mineral.

### 1. Introdução

Este trabalho foi desenvolvido como parte do Projeto Avaliação do Potencial do Lítio no Brasil, executado pela Superintendência da CPRM de Belo Horizonte, o qual compreendeu um estudo detalhado de área com 17.750 km<sup>2</sup> no médio vale do rio Jequitinhonha, nordeste de Minas Gerais, parte da Província Pegmatítica Oriental do Brasil e principal região produtora e detentora das reservas de lítio (Figura 1).

Foram feitas análises espectrais no Laboratório de Sensoriamento Remoto Geológico (LABSERGEO), da divisão de Sensoriamento Remoto e Geofísica (DISEGE), Superintendência da CPRM de São Paulo, utilizando dados multiespectrais do sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*). Essas imagens possuem diversas aplicações geológicas, principalmente na caracterização de minerais de alteração hidrotermal associados a depósitos minerais (e.g., SOUZA FILHO *et al.*, 2003; CRÓSTA *et al.*, 2003; DUCART, 2004), além de mapeamento litológico (ROWAN & MARS, 2003).

Em ensaio de mapeamento de intrusões pegmatíticas relacionadas a depósitos de lítio na região do Vale do Jequitinhonha a partir de imagens ASTER, PERROTTA *et al.* (2005) comprovaram o potencial destes dados no rastreamento de novas ocorrências de corpos pegmatíticos mineralizados, utilizando-se técnicas de mapeamento espectral baseadas em *pixels* de referência, amostrados na própria imagem nos locais de lavras a céu aberto.

## 2. Metodologia de Trabalho

Utilizou-se nesta modelagem três cenas do sensor ASTER com data de passagem em 24 de agosto de 2004 (Figura 1), nas suas três bandas do visível e infravermelho próximo (VNIR), com resolução espacial de 15 m e seis bandas do infravermelho de ondas curtas (SWIR), com resolução espacial de 30 m. As bandas do infravermelho termal (TIR) não foram utilizadas nesta análise.

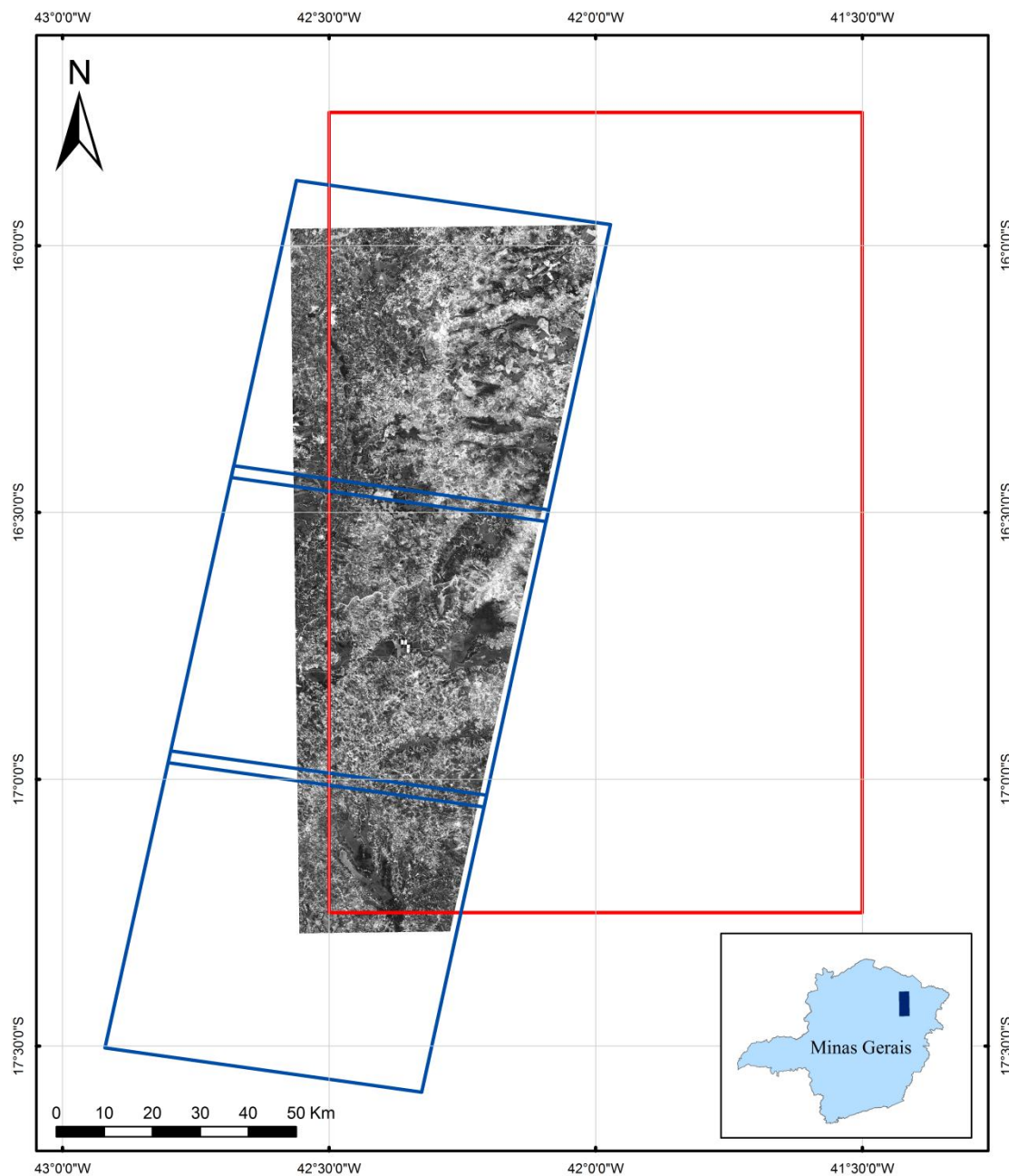


Figura 1. Localização da área do projeto com indicação das imagens utilizadas neste estudo e recorte da imagem na área de interesse. Coordenadas geográficas em UTM, datum WGS84, zona 23 S.

As técnicas de mapeamento espectral foram aplicadas ao mosaico ASTER, que engloba parte da porção oeste da área do projeto. A resolução espacial assumida foi de 15 m, de forma que as bandas do SWIR foram reamostradas para esta resolução. Nesta área ocorrem doze pontos cadastrados como depósitos e ocorrências minerais associados aos pegmatitos

mineralizados (Figura 2). Estes estão sempre hospedados em metassedimentos, de forma que foi utilizada uma máscara descartando-se as demais unidades litológicas.

A imagem recortada foi submetida à compensação atmosférica por meio do aplicativo FLAASH do software ENVI 5.2<sup>®</sup>, que aplica o modelo de transferência radioativa MODTRAN-4 para transformação dos dados em unidades de reflectância aparente. Este algoritmo utiliza parâmetros atmosféricos que refletem as condições ambientais locais e da data de passagem do sensor, obtidos por meio dos dados do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), a bordo da mesma plataforma que o sensor ASTER, o satélite TERRA.

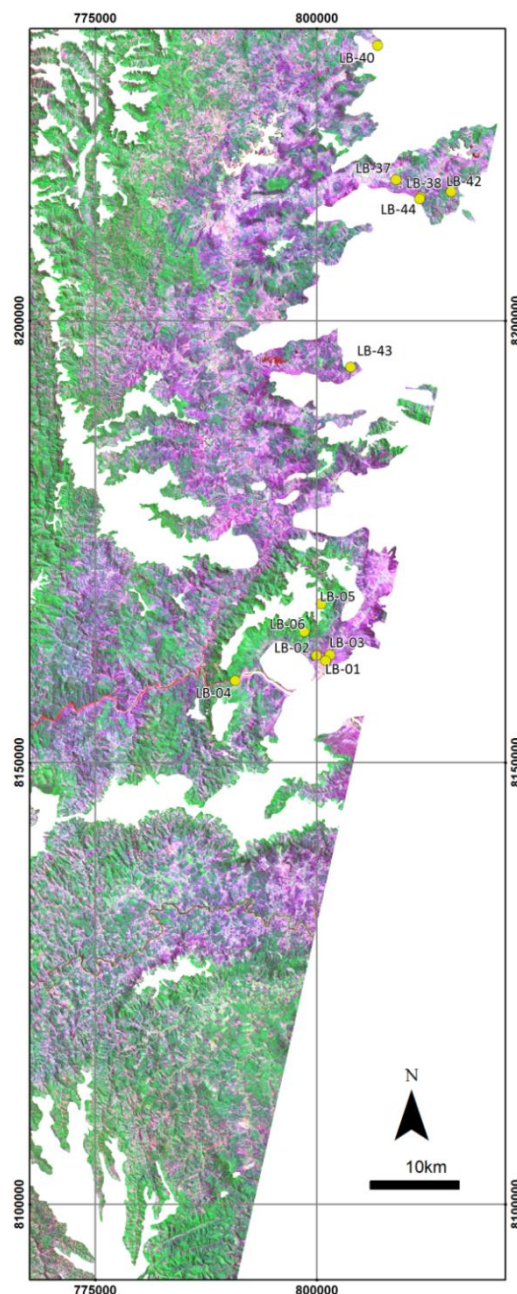


Figura 2. Recorte do mosaico das Cenas ASTER na composição RGB432 com máscara definida para eliminação das unidades litológicas que não metassedimentos e localização dos pontos de campo correspondentes a ocorrências e depósitos de lítio cadastrados no projeto. Coordenadas geográficas em UTM, datum WGS84, zona 23 S.

Numa primeira abordagem considerou-se a possibilidade de se utilizar como referência na classificação os espectros obtidos em laboratório a partir das amostras de solo coletados nos pontos de cadastro de pegmatitos mineralizados. Os pontos escolhidos foram LB-002, LB-004 e LB-037, por se tratar de amostras de solo. Os espectros de laboratório foram reamostrados para a resolução espectral da imagem ASTER e confrontados com os espectros dos *pixels* correspondentes na imagem (Figura 3). A localização dos pontos pode ser visualizada na figura 2.

Apesar de conter a principal feição de absorção em aproximadamente 2,2  $\mu\text{m}$ , diagnóstica dos argilominerais identificados em laboratório, os espectros da imagem contém discrepâncias significativas com relação às assinaturas minerais, devido tanto às diferenças inerentes à aquisição dos dados orbitais quanto à resolução espacial do pixel, representando a média de todos os materiais nele presentes. Assim, optou-se pela utilização da amostragem dos pixels de referência diretamente na imagem.

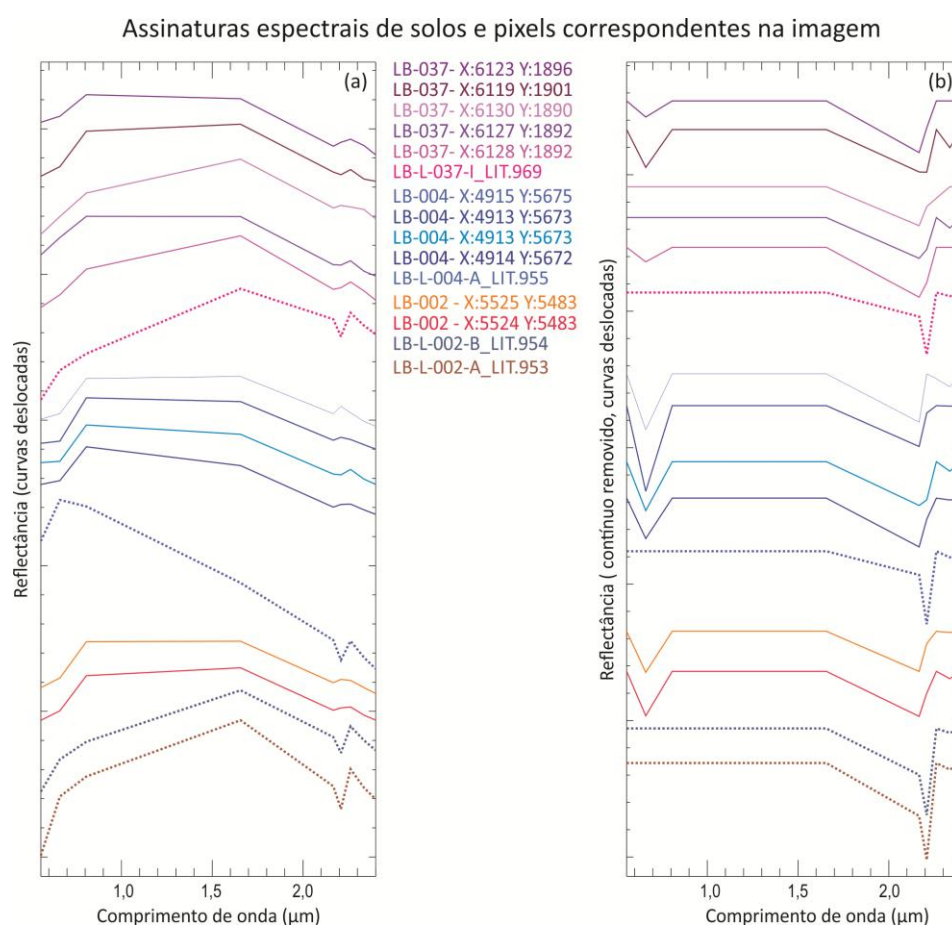


Figura 3. Assinaturas espectrais de solos medidas em laboratório reamostradas para a resolução espectral do sensor ASTER (curvas pontilhadas) e assinaturas espectrais extraídas de pixels na imagem (curvas contínuas). LIT. + 3 caracteres numéricos, ao final do código da amostra, significa o número do espectro de laboratório. X ou Y: + 4 caracteres numéricos, ao final do código do ponto de cadastro no campo, significam o posicionamento em n° de colunas e n° linhas na imagem. (a) Curvas de reflectância; (b) Curvas de reflectância com contínuo removido.

Conhecendo-se doze ocorrências e depósitos estudados em campo, foram demarcados 111 pixels na imagem envolvendo áreas claramente reconhecidas como em estágio de lavra. Este procedimento levou em consideração a cor esbranquiçada associada à alta reflectância destas áreas, relacionadas aos próprios pegmatitos e suas alterações.



O mapeamento espectral foi processado com ajuda do assistente de classificação espectral do ENVI 5.2<sup>®</sup>. Neste aplicativo inicialmente é processada uma transformação MNF (*Minimum Noise Fraction*) do conjunto de nove bandas espectrais da imagem ASTER para segregação do ruído dos dados e determinação de sua dimensionalidade, produzindo-se um novo conjunto de nove bandas que, combinadas numa mistura linear, possam explicar toda a variação espectral da cena. O produto desta transformação é uma imagem cujos valores de DN correspondem ao PPI (*Pixel Purity Index*). O próximo passo é a procura de membros finais de referência (*pixels*) por meio da análise estatística da imagem MNF, admitindo-se como anômalos os valores acima de um percentil de 90%. Alguns *pixels* de referência foram determinados automaticamente, mas nenhum coincidiu com os depósitos amostrados em campo. Assim, foram selecionados os 16 *pixels* mais puros que contemplavam dez depósitos e ocorrências conhecidos (Figura 4). Uma análise das assinaturas espectrais destes pixels, tendo em vista as similaridades entre eles, a distribuição dos depósitos, e o conteúdo mineral representado, além do valor do índice de pureza, resultou na seleção de três assinaturas de referência para compor o mapeamento espectral.

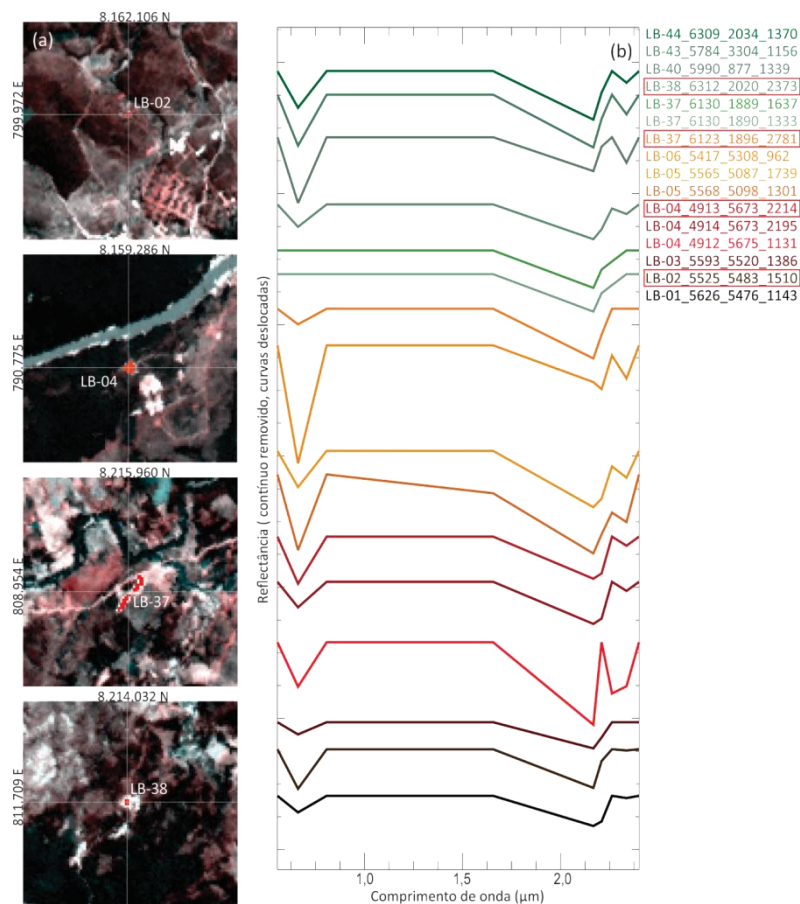


Figura 4. (a) Regiões de interesse demarcadas nas imagens a partir dos pontos de cadastro LB-002, LB-004, LB-037 e LB-038. *Pixels* destes pontos, exceto do ponto LB-002, foram utilizados como espectros de referência na modelagem. (b) Assinaturas espectrais selecionadas na análise do PPI. Curvas de reflectância com contínuo removido. Os pixels contornados por linha vermelha forneceram espectros de referência no mapeamento espectral. Coordenadas geográficas em UTM, datum WGS84, zona 23 S.

Dois métodos de classificação supervisionada foram empregados, o *Spectral Angle Mapper* (SAM) (KRUSE *et al.*, 1993) e o *Mixture-Tuned Matched Filtering* (MTMF) (BOARDMAN *et al.*, 1995).

O algoritmo SAM compara o vetor de cada pixel da imagem com os vetores relativos aos espectros de referência, definidos no espaço de  $n$  (9) bandas, classificando-os em algum deles, ou em nenhum, conforme uma diferença angular máxima definida em radianos. No caso, foi utilizado como limiar o ângulo de 0,05 radianos.

O algoritmo MTMF encontra nos *pixels* da imagem os espectros de referência utilizando-se de uma aproximação de desmistura parcial, através de um filtro de coincidência que maximiza a resposta dos espectros de referência conhecidos, ao mesmo tempo em que tende a eliminar a contribuição de um *background* desconhecido. Produz, assim, um conjunto de bandas denominado *score*, que indica o quanto cada *pixel* coincide com cada um destes espectros, e um segundo grupo de bandas denominado *infeasibility* (inviabilidade), que define um valor associado à inviabilidade do *pixel* corresponder àquele mesmo espectro. Assim, quanto maior o *score* e menor a inviabilidade, mais próximo ao espectro de referência estará o *pixel* identificado na imagem.

### 3. Resultados e Discussão

O método SAM apresentou resultado coerente nas áreas amostradas, pois mapeou *pixels* semelhantes aos *pixels* de referência em outras zonas próximas a mineralizações. Entretanto, muitos *pixels* foram mapeados nos arredores das drenagens principais, em áreas cultivadas, e estradas pavimentadas ou não, provavelmente em função do carreamento de material de alteração das próprias intrusões pegmatíticas.

O resultado final da classificação pelo método MTMF foi obtido através da análise dos histogramas dos dois conjuntos de bandas produzidos e de gráficos bidimensionais entre os pares *score* e inviabilidade relativos a cada espectro de referência. Assim, definiram-se os limiares de corte para que os pixels mais coincidentes com os espectros de referência fossem localizados. O mapeamento produzido apresentou bom resultado, identificou pixels em depósitos conhecidos, mas não utilizados na análise, além de pixels em áreas não cadastradas no projeto. No entanto, devido a altos índices de inviabilidade calculados, o número de pixels mapeados foi considerado muito restrito.

Desta forma, para produção do mapa final de áreas potenciais para novas investigações, os pontos mapeados para cada espectro de referência pelos dois métodos foram combinados por meio de operações booleanas de adição e intersecção, expandindo-se as áreas mapeadas pelo método MTMF com base nos resultados do método SAM. Gerou-se assim um mapa de pontos potenciais para conter mineralizações semelhantes às amostradas (Figura 5).

Os pontos obtidos foram exportados para o ambiente ArcGIS onde dez áreas de interesse para investigações mais detalhadas foram delimitadas por análise visual na imagem ASTER, respeitando-se a continuidade física de concentrações significativas de pontos potenciais (Figura 6).

### 4. Considerações Finais

A modelagem espectral dos corpos pegmatíticos em dados do sensor multiespectral orbital ASTER mostrou, por um lado, a dificuldade na aplicação direta de assinaturas obtidas em laboratório como rastreadores destes corpos, já que, devido à baixa resolução espacial das imagens, uma significativa mistura de materiais ocorre representada num pixel, além da baixa resolução espectral do sensor que conta com apenas nove bandas espectrais, enquanto as medidas de laboratório têm 2151 bandas. Ainda assim é possível o reconhecimento de feições espectrais características de fases minerais presentes nas assembleias estudadas, tais como os diferentes tipos de argilominerais. Por outro lado, técnicas de classificação supervisionadas, comumente aplicadas a dados hiperespectrais, com amostragem de pixels correspondentes a corpos mineralizados diretamente na imagem e seleção dos três mais representativos como

referência, validadas pelo mapeamento de corpos conhecidos, permitiram a demarcação de áreas possíveis de conter novos corpos mineralizados.

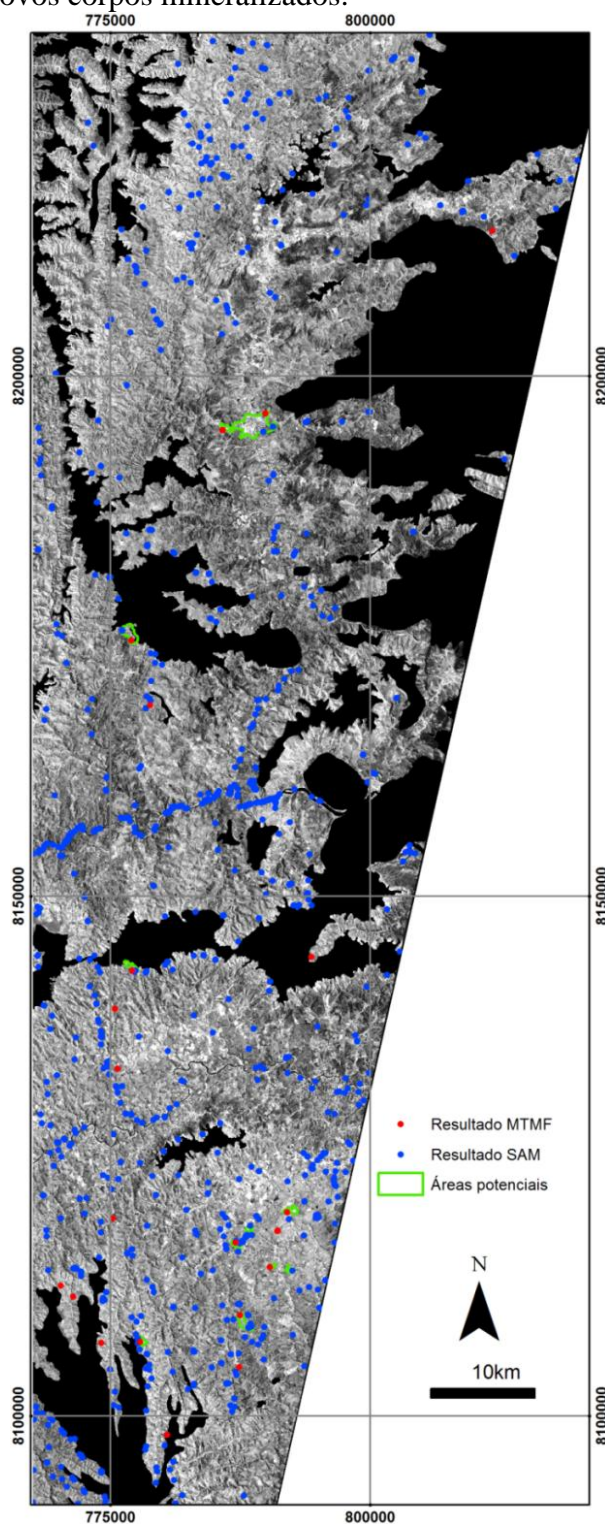


Figura 5. Distribuição de pontos mapeados pelos métodos de classificação espectral SAM e MTMF com base nos espectros de referência extraídos da imagem a partir dos pontos de cadastro LB-004, LB-037 e LB-038. Polígonos contornados em verde representam as áreas potenciais para conter mineralizações de lítio não cadastradas demarcadas como resultado da modelagem (em detalhe na figura 6). Coordenadas geográficas em UTM, *datum* WGS84, zona 23 S.



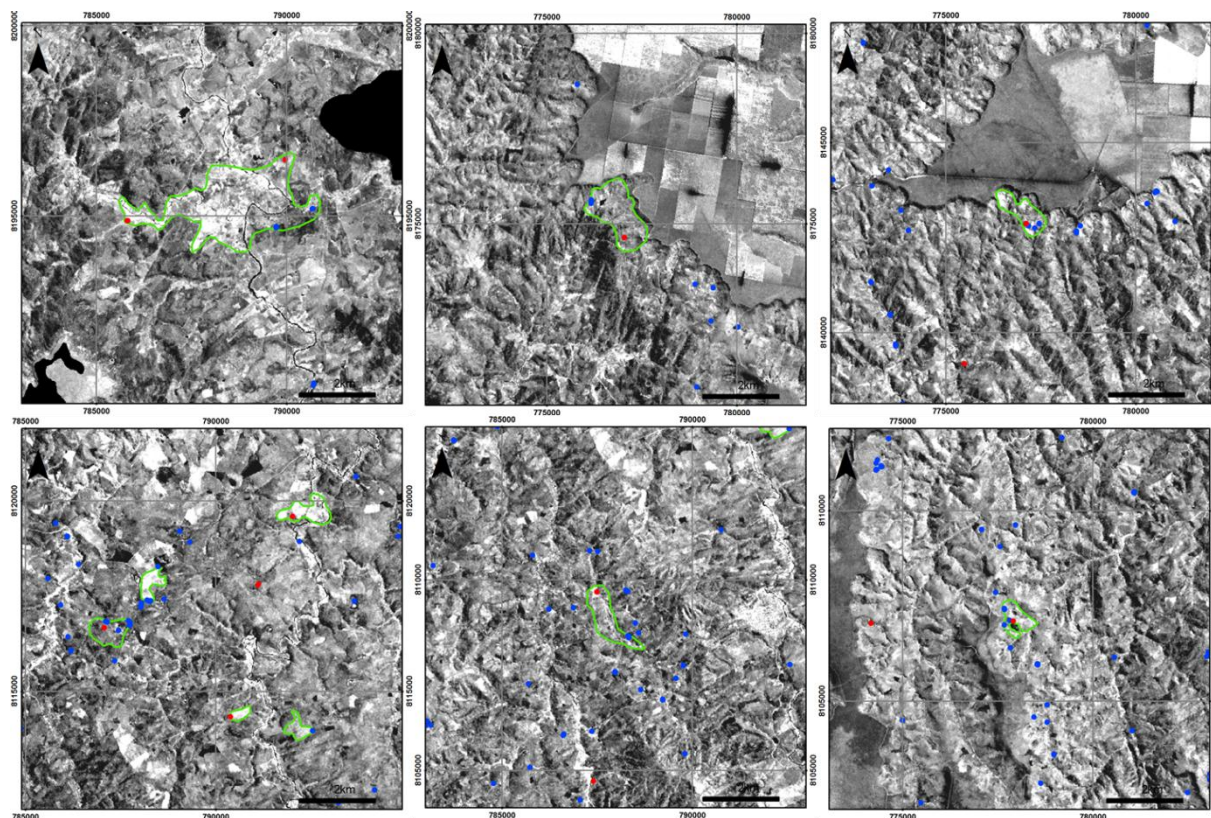


Figura 6. Detalhes das áreas potenciais para conter mineralizações de lítio não cadastradas demarcadas como resultado do mapeamento espectral. Distribuição de pontos mapeados pelos métodos de classificação SAM (pontos azuis) e MTFM (pontos vermelhos). Coordenadas geográficas em UTM, datum WGS84, zona 23 S.

### Referências Bibliográficas

Boardman, J. W.; Kruse, F. A.; Green, R. O. Mapping target signatures via partial unmixing of AVIRIS data. In: **Proc. JPL airborne earth sci. workshop**. 1995. p. 23-26.

Crósta, A.P.; Souza Filho, C.R.; Azevedo, F.; Brodie, C. Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, n. 21, p. 4233-4240, 2003.

Ducart, D.F. **Caracterização da alteração hidrotermal associada às ocorrências auríferas de Los Menucos, Argentina, por meio de técnicas de sensoriamento remoto e espectroscopia de reflectância**. Dissertação de mestrado. UNICAMP, 86 p, 2004.

Kruse, F. A. et al. The spectral image processing system (SIPS)—interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. **Remote sensing of environment**, v. 44, n. 2, p. 145-163, 1993.

Perrotta, M.M.; Souza Filho, C. R.; Leite, C.A.S. Mapeamento espectral de intrusões pegmatíticas relacionadas a mineralizações de lítio, gemas e minerais industriais na região do vale do Jequitinhonha (MG) a partir de imagens ASTER. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, 2005, **Anais...** Goiânia, INPE, p. 1855-1862.

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**, v. 84, n. 3, p. 350-366, 2003.

Souza Filho, C.R.; Tapia Calle, C.H.; Crósta, A.P.; Xavier, R.P. Infrared Spectroscopy and ASTER imagery Analysis of Hydrothermal alteration Zones at the Quellaveco Porphyry-Copper deposit, Southern Peru. In: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) 2003 Annual Conference. **Proceedings...**, p. 1-12. 2003.