

O uso de Imagens do Sensor Aster no Mapeamento de Unidades Vulcano-Sedimentares do Platô da Ramada, Vila Nova do Sul, RS

JUSSARA ALVES PINHEIRO SOMMER¹, EVANDRO FERNANDES DE LIMA²,
DEJANIRA LUDERITZ SALDANHA², CARLOS AUGUSTO SOMMER², RONALDO PIEROSAN¹

1. Curso de Pós-graduação em Geociências Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15001, CEP 91509-900, Porto Alegre, RS – Brasil. e-mail: japsommer@sinos.net
2. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15001, CEP 91509-900, Porto Alegre, RS - Brasil

(Recebido em 10/05. Aceito para publicação em 06/06)

Abstract- The remote sensing products which are generated by orbitals sensors of middle spatial and spectral resolution and the development of new technique of digital image processing has been a auxiliary tool in the basic geological surveys. In this work was utilized images obtained from the ASTER sensor (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) to identify the lithologies in the Ramada Plateau area, situated closed to Vila Nova do Sul town, in the southernmost Brazil, giving emphasis to the volcanic sequence of the plateau and the encase sedimentary rocks unit. The volcanic unit represent a important part of the Neoproterozoic alkaline magmatism in the Sul-rio-grandense Shield and is interpreted as one of the volcanic cycles of the post-collisional period of Brasiliano Cycle in the southern Brazil. The selective principal component analysis technique was used in the digital image processing, because it provided the best results enhancing the existent spectral differences of the studied lithologies. In this processing were utilized only two spectral bands to reduce the data dimensionality, permitting a better interpretation of them. The first generated image (PC1) concentrate the common information of the two bands (albedo and topographic shading), while PC2 image present the differential information of the scene, representing the spectral contrast of the two original bands. From this technique was generated a color composite image from the PC's2 images of the pair of bands 4-5 (R), 3-4 (G) and 8-9 (B). This image has shown the spectral differences between volcanic rocks of the Ramada Plateau and the sedimentary rocks of the Maricá Group and its individualization in two sub-units, mainly considering the concentration of rhyolitic dykes and sills in the north of the area. In this study was identify too in the southwestern portion of the Ramada Plateau, a dioritic intrusive body.

Keywords- remote sensing, geological mapping, volcanic rocks, principal components.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento nas últimas décadas de novos sistemas sensores, de programas de processamento de imagens digitais e de técnicas automáticas de análises espaciais (SIG's), permitiram uma melhor manipulação e análise de integração de dados obtidos nas diferentes áreas das geociências, estabelecendo desta forma um avanço na pesquisa geológica básica, especialmente nas ciências de mapeamento.

O aumento da eficácia do processamento, da precisão posicional de alvos, da melhoria das características operacionais e da uniformidade na qualidade da saída dos dados integrados por meio dos sistemas de informação são algumas das vantagens decorrentes da utilização de dados digitais, justificando a crescente adoção destas novas tecnologias em mapeamentos.

Os estudos que utilizam sensoriamento remoto são fundamentados na interação da radiação

eletromagnética (REM) com os objetos da superfície terrestre, sendo essencial o conhecimento do comportamento espectral da reflectância dos materiais, como os minerais constituintes dos diferentes tipos de rochas e dos solos subjacentes. Estes dados são importantes na análise e interpretação das imagens orbitais, na medida em que a área que corresponde ao elemento ou taxa de amostragem no terreno (*pixel*), é composta de diferentes objetos que interagem distintamente com a REM. A integração ponderada das diferentes intensidades de reflectância que ocorre na área do *pixel* gera um sinal que é registrado na imagem como um nível de brilho que se constitui no vetor da informação a ser interpretada.

Pesquisas visando o conhecimento das características espectrais diagnósticas dos diferentes tipos de minerais e rochas foram realizadas por Hunt e colaboradores na década de 70 (Hunt *et al.*, 1974; Hunt, 1977; Hunt, 1979; Hunt & Ashley, 1979) e no Brasil investigações desta natureza foram realizadas

por Galvão & Vitorello (1994), Galvão *et al.* (1995), Vitorello & Galvão (1996).

A identificação das características espectrais diagnósticas das rochas e solos em imagens multiespectrais agrega, em ambientes tropicais e temperados úmidos, as características espectrais da cobertura vegetal existente. Esta sobreposição de alvos com comportamentos espectrais diferentes exige a utilização de técnicas de realce no processamento das imagens visando diminuir a influência da cobertura vegetal (Fraser & Green, 1987) ou mesmo evidenciar as diferentes associações geobotânicas (Saldanha, 2003). Na investigação geológica a variação mineralógica e textural dos diferentes tipos de alterações superficiais, a presença de solos com diversos teores de matéria orgânica e umidade, as diferentes densidades da cobertura vegetal e as variações na topografia, são fatores que aumentam a complexidade da análise de imagens de sensoriamento remoto. Estas dificuldades são, em parte, minimizadas por técnicas de processamento de imagens multiespectrais que visam realçar/separar componentes superficiais aumentando, por exemplo, a possibilidade de individualizar áreas onde os solos são ricos em oxidados de ferro (Fraser, 1991) ou também separar áreas enriquecidas em material argiloso de outras que concentram material orgânico.

O uso das técnicas de processamento de imagens aplicadas ao mapeamento geológico, de solos e de recursos hídricos estão bastante difundidas (Paradella *et al.*, 1998; Mehl & Reimer, 1994; Lamb & Pendock, 1989) e são utilizadas tanto na escala de mapeamento regional, quanto de semidetalle (Abrams *et al.*, 1983; Davis *et al.*, 1987; Hoff, 1996; Saldanha, 2003).

Os estudos geológicos atuais buscam a integração de dados provenientes de diferentes técnicas associando a geoquímica, a geofísica, a cartografia digital e o sensoriamento remoto, possibilitando a geração de imagens e mapas temáticos para definir domínios geomorfológicos, unidades lito-estruturais e padrões de distribuição de elementos radiogênicos em superfície (Guimarães Filho, 1994; Paradella *et al.* 1996, 1998; Hoff, 2002; Fillipini *et al.*, 2001; Klein, 1998).

O satélite TERRA proporcionou um avanço nos sistemas sensores orbitais, possuindo a bordo cinco sensores, entre os quais o ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) que subdivide-se em três subsistemas: (i) VNIR (Visible Near InfraRed), com três bandas espectrais, duas na região do visível e uma no infravermelho próximo, com resolução espacial de 15m, além de uma banda com capacidade stereos-

cópica; (ii) SWIR (Short Wave InfraRed), com seis bandas no infravermelho de ondas curtas e resolução espacial de 30m; (iii) TIR (*Thermal InfraRed*), com cinco bandas no infravermelho termal e resolução espacial de 90m. Os dados do sensor ASTER registram a REM em ampla faixa do espectro refletido (λ de 0,52 μm até 2,430 μm) e termal (λ de 8,125 μm até 11,65 μm). Estas propriedades contribuem para a geração de produtos com boa resolução espacial e para a diferenciação de uma grande variedade de materiais superficiais, sendo, portanto, adequado para estudos geológicos (mapeamentos, identificação de depósitos minerais, monitoramento de vulcões), de solos, de vegetação, de ecossistemas dinâmicos, etc. (Azcurra *et al.*, 2003; Adleman *et al.*, 2004; Stevens *et al.*, 2004; Castro Godoy *et al.*, 2003).

Neste estudo utilizou-se imagens obtidas pelo sensor ASTER para a identificação das litologias da área do Platô da Ramada, região de Vila Nova do Sul (RS), com especial atenção às unidades vulcânicas do platô e sedimentares subjacentes. As imagens digitais geradas pela aplicação de processamentos foram comparados aos dados geológicos obtidos e pré-existent (mapeamentos, litoquímica e estudos petrográficos). A escolha da área justifica-se pela ampla exposição de rochas vulcânicas alcalinas predominantemente ácidas (Sommer, 2003; Sommer *et al.*, 2003; Sommer *et al.*, 2005 a), estratigraficamente referidas como Formação Acampamento Velho (Paim *et al.*, 2000). Esta unidade representa uma fração significativa do magmatismo alcalino neoproterozóico do Escudo Sul-rio-grandense, e marca um dos ciclos vulcânicos do período pós-colisional do Ciclo Brasileiro (Sommer *et al.* 2005 a, 2005 b).

ÁREA DE ESTUDO

Localização e vias de acesso

O Platô da Ramada localiza-se aproximadamente a 20 km ao sul da sede do município de Vila Nova do Sul, na porção centro-oeste do estado do Rio Grande do Sul (Fig. 1). A área do Platô é abrangida pelas cartas topográficas do SGE, escala de 1:50.000, denominadas Passo do Salsinho, Serra Santa Bárbara, Vila Nova, Arroio América, Rufino Farias e Lagoa da Meia Lua, sendo limitada aproximadamente pelos meridianos 53°45'W e 54°05'W e paralelos 30°25'S e 30°33'S.

O principal acesso a região, partindo-se de Porto Alegre, é feito pela BR-290 até o município

de Vila Nova do Sul. A partir deste ponto, segue-se por estrada secundária, em direção ao sul por cerca de 20 km, onde afloram as principais unidades do Platô da Ramada.

Aspectos geomorfológicos e da cobertura vegetal

O Platô da Ramada constitui uma feição geomorfológica de destaque na região, tendo cerca de 200 km², aproximadamente 24km (E-W) e 12km (N-S) e altitude máxima de 400m. As diferenças de nível variam de 80 a 120 m, em relação à área circundante. Nas porções sul e sudoeste apresenta-se fortemente escarpado, ao passo que nas demais áreas observa-se uma suavização das bordas. O relevo do platô mostra-se relativamente plano, com pequenas ondulações, truncadas por vales que originam a maioria das nascentes de rios da região.

A cobertura vegetal é rasteira (gramíneas em tufos), por vezes apresentando um segundo estrato composto por vassourais com alturas aproximadas de 1m e densidade variável, conforme os diferentes níveis de alteração intempérica do substrato rochoso. É comum também a presença de cultivos de milho e soja. A vegetação arbórea mais densa normalmente está associada às drenagens caracterizando uma mata galeria em encostas de maior declividade.

Geologia Regional e do Platô da Ramada

A unidade geológica de embasamento mais antiga da região do Platô da Ramada é representada pelo Complexo Bossoroca/Palmas (Fig.1) pertencente ao Supercomplexo Vacacaí de Chemale Jr. (2000). É constituído por vários complexos de rochas vulcano-sedimentares deformadas e metamorfisadas em fácies xisto-verde a anfibolito inferior, com idades em torno de 753 Ma. O Supergrupo Cambai, com idade de 704 ± 13 Ma (Babinski *et al.*, 1996), é constituído por uma seqüência ortometamórfica (gnaiesses tonalíticos, metatonalitos, metadioritos e metatrandjemitos foliados) e por uma seqüência parametamórfica (constituída por gnaiesses, quartzitos e mármore). A Suíte Intrusiva Lagoa da Meia Lua, subunidade mais jovem do Supergrupo Cambai, (UFRGS 1996;1997), agrupa tonalitos, granodioritos e trandjemitos, por vezes deformados.

O Grupo Pontas do Salso (Fig.1) (UFRGS, 1996) reúne metavulcanoclásticas (Formação Monumento) e metandesitos (Formação Arroio da Palma). A unidade de Granitos Sin-transcorrentes

(Fig. 1) refere-se a corpos graníticos com diferentes graus de deformação, como os granitos Lageado, Camaquã-Pelado, Panorama e Santa Zélia. Estes possuem composições predominantemente monzograníticas a sienograníticas e texturalmente variam de equigranulares médio à grosso até termos porfiríticos. Os Granitos Pós-transcorrentes (Fig.1) caracterizam-se pela baixa taxa de deformação (UFRGS, 1996) observada nos granitos São Manuel e Santa Rita. São rochas de composição monzogranítica e textura variando de fanerítica fina a grossa.

O Grupo Maricá está representado por arenitos feldspáticos-quartzosos, arenitos conglomeráticos com matriz quartzo-feldspática, siltitos e ritmitos areno-pelíticos. Dados geocronológicos compilados de diversos autores e discutidos por Paim *et al.* (2000) sugerem uma idade em torno de 620 Ma e 592 Ma para a este grupo. Os termos areníticos afloram como lajeados em encostas e ao longo das drenagens e apresentam elevado grau de coesão, ao passo que os termos mais finos (ritmitos e siltitos) ocorrem em lajeados de relevo plano, na beira de drenagens e em ravinas na porção centro sul da área.

O Grupo Bom Jardim é representado por depósitos vulcânicos da Formação Hilário (590 Ma) localizados na base do Platô da Ramada e com maior expressão nas porções leste e sudeste do platô. Esta formação representa o primeiro ciclo vulcânico da Bacia do Camaquã onde termos efusivos são caracterizados por traquiandesitos basálticos a traquiandesitos ricos em fenocristais de plagioclásio e, subordinadamente, de piroxênio (augita), que marcam as texturas porfirítica a glomeroporfirítica. A fração vulcanoclástica da Formação Hilário ocorre sobreposta à fácies efusiva, sendo constituída por conglomerados vulcanogênicos, com fragmentos subarredondados a subangulosos de rochas andesíticas, envoltos por uma matriz arenosa.

Uma outra unidade vulcânica mais jovem referida como Formação Acampamento Velho (~ 550 Ma) constitui o Platô da Ramada. Este caracteriza-se predominantemente por depósitos de fluxo piroclástico, lavas e corpos hipabissais de composição ácida, seguidos de derrames e diques de composição básica. Dados de Sommer *et al.* (2003) permitiram organizar a seguinte estratigrafia da base para o topo (1) seqüência explosiva: depósitos de fluxo piroclástico, dispostos em camadas sub-horizontais, representados por brechas co-ignimbríticas, ignimbritos tipo lenticulito e ignimbritos ricos em cristais. Diques básicos de 1-3 m de espessura ocorrem cortando esta seqüência piroclástica, principalmente na porção sul do Platô, (2) seqüência efusiva: fluxo

de lavas riolíticas originados a partir de zonas de fraturas, apresentando desde termos coerentes, com diversos padrões texturais, maciços, foliados até autoclasticos. Nas porções de topo desta seqüência ocorrem depósitos de lavas básicas, de maneira restrita e localizados à NE do Platô.

Os depósitos de fluxo piroclástico são caracterizados em suas porções basais e proximais por brechas co-ignimbríticas que gradam lateralmente para ignimbritos lapilíticos ricos em litoclastos, púmices e cristaloclastos. Os ignimbritos são caracterizados pela presença de púmices, cristaloclastos de K-feldspatos e quartzo e pequena quantidade de litoclastos, envoltos por uma abundante matriz tufácea de composição vítrea. Destaca-se a presença da textura eutaxítica, principalmente nas fácies com maior grau de soldagem, o que dá na maioria dos ignimbritos um aspecto lenticular.

Os depósitos de lavas ácidas são representados, predominantemente, por riolitos relacionados a zonas de fraturas, onde exibem normalmente um padrão de foliação subvertical que grada lateralmente para autobrechas, lavas com foliação de fluxo subhorizontais e termos maciços. Em geral as rochas ácidas são caracterizadas por fenocristais de K-feldspatos, quartzo e subordinadamente plagioclásios, envoltos por uma matriz com micrólitos de quartzo e K-feldspatos. Restos de piroxênios e anfibólios sódico-cálcicos também são identificados em algumas destas rochas. As rochas ácidas ocorrem também como diques e *sills* que cortam principalmente as rochas do embasamento ao norte e ao sul do Platô da Ramada. Estes corpos apresentam espessuras em torno de 1-5 m, com orientação segundo NW-SE e NE-SW, sendo comum também corpos com dimensões variáveis e morfologia semelhantes a criptodomas, como o estudado na região do Santuário por Matos *et al.* (2002) para quem os termos subvulcânicos riolíticos apresentam, por vezes, dobras de fluxo magmático e foliação magmática representada por finas bandas com espessuras de 2mm até 5mm. Estas alternam porções afanítica e fanerítica fina, envolvendo fenocristais de K-feldspato, quartzo e anfibólios aciculares tardios.

As rochas básicas ocorrem como lavas e diques, apresentando composição mineralógica similar, porém com algumas diferenças texturais. Os corpos hipabissais apresentam uma textura fanerítica fina e são constituídos por plagioclásios, clinopiroxênio (augita), ilmenita e restos de olivina. As lavas são porfiríticas a glomeroporfiríticas, com abundância em fenocristais de plagioclásio e subordinadamente clinopiroxênios, envoltos por uma matriz

constituída por micrólitos e cristálitos de plagioclásio e piroxênio.

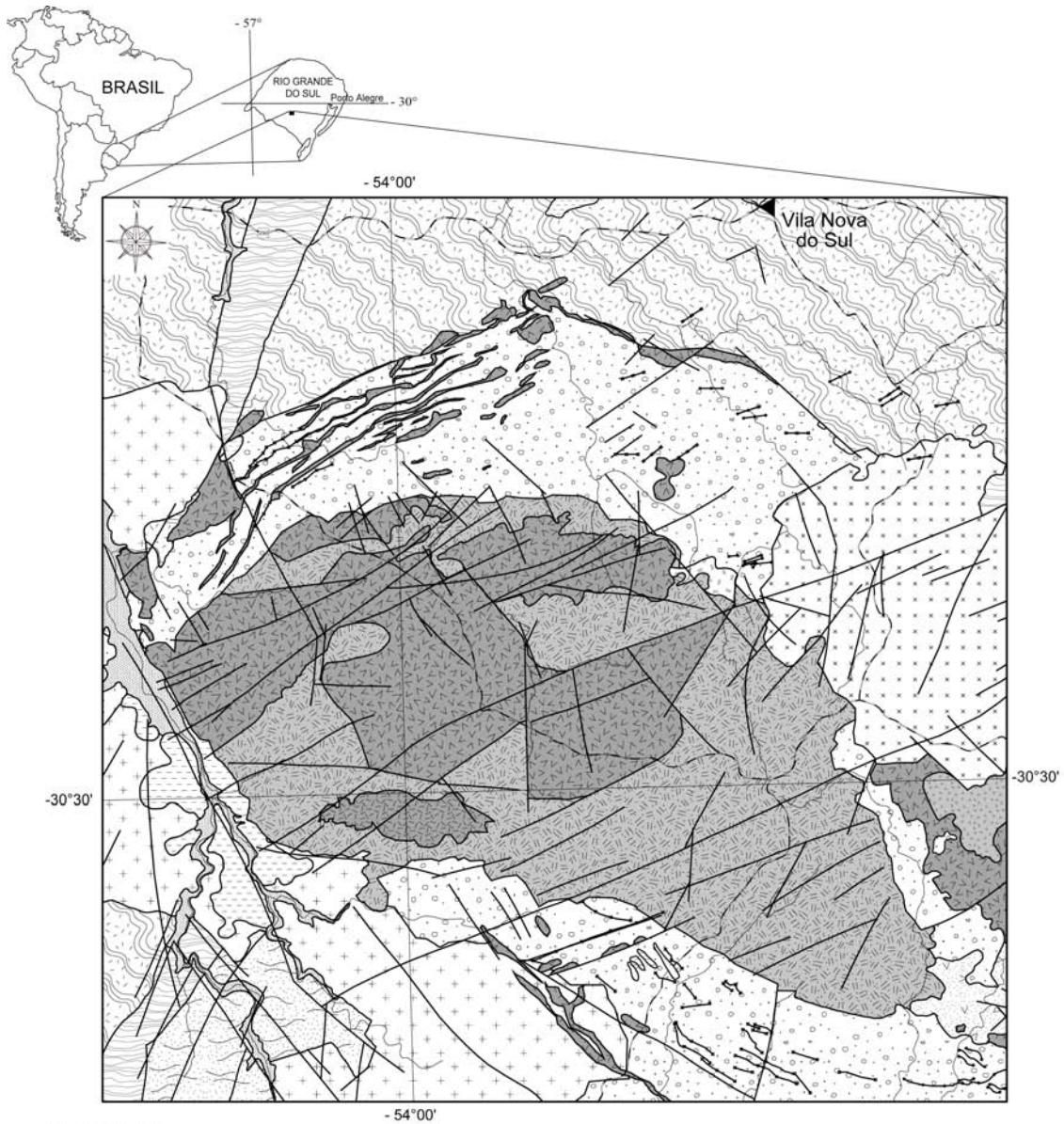
A Suíte Intrusiva Ramada (Fig. 1) é constituída principalmente por rochas sienograníticas e, subordinadamente, por termos monzograníticos, monzodioríticos e dioríticos, abrangendo o Granito Ramada, Granito Cerro da Cria e o Granito São Sepé (UFRGS 1997). O Granito Ramada é caracterizado por sieno a monzogranitos (Naime & Nardi, 1991), com anfibólios cálcicos e biotita, além da ocorrência restrita de dioritos. As rochas graníticas apresentam estrutura maciça e textura inequigranular fina a média, sendo comum a presença de margens resfriadas, caracterizadas por termos porfiríticos com matriz fina a afanítica. A fácies diorítica ocorre predominantemente na borda norte do corpo e é representada principalmente por quartzo-monzodioritos a dioritos, com máficos do tipo hornblenda e augita, com textura equigranular média a fina.

As unidades de cobertura na região do Platô da Ramada são representadas por rochas sedimentares gondwânicas, vinculadas principalmente aos Grupos Itararé e Guatá. A primeira ocorre principalmente na porção sul da área e se caracteriza por siltitos e argilitos de coloração branca a bege com laminação plano-paralela contínua e regular, gerando ritmitos. Subordinadamente ocorrem conglomerados mal selecionados, suportados pela matriz e com estrutura maciça. O Grupo Guatá ocorre no extremo norte da área e é representado por rochas da Formação Rio Bonito. Esta é caracterizada por uma seqüência de arenitos finos a médios, mal selecionados, com estrutura cruzada acanalada de pequeno porte e lentes conglomeráticas. Paralelamente ocorrem siltitos finos laminados, com estratificação plano-paralela milimétrica a centimétrica, com níveis mais escuros, carbonosos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho é a comparação de produtos de análise de imagens multiespectrais orbitais com dados geológicos básicos reunidos por Sommer (2003). Foi utilizado como base geológica um mapa, escala 1:50.000, considerado como a representação cartográfica da verdade terrestre, em que a distribuição espacial das associações de rochas e as principais estruturas tectônicas foram compiladas de trabalhos anteriores (UFRGS 1996; 1997 e 2001); Sommer (2003).

As atividades iniciais envolveram a escolha das imagens multiespectrais orbitais tendo em vista



LEGENDA

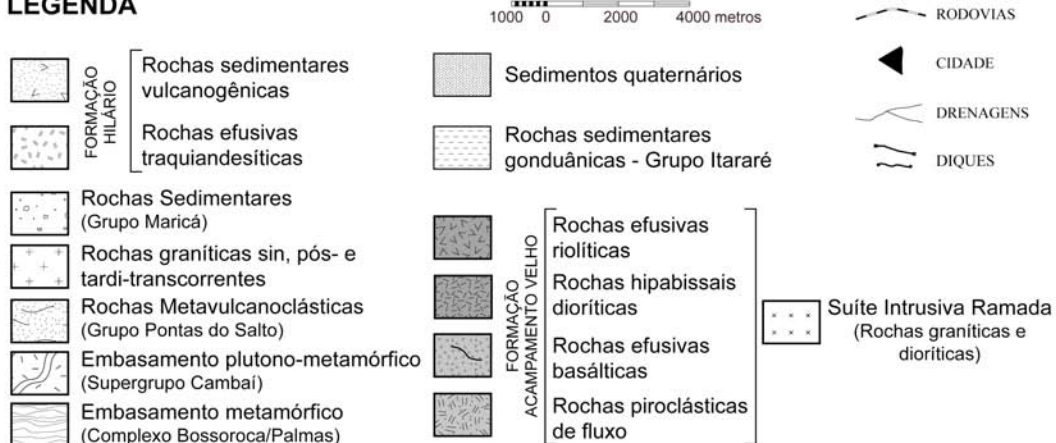


Figura 1 – Mapa geológico do Platô da Ramada (modificado de Sommer, 2003).

as diferentes características dos sensores disponíveis. Foram avaliadas as imagens do sensor TM (sistema LANDSAT 5), do sensor CCD (sistema CBERS 2) e do sensor ASTER (sistema TERRA). A opção pelo ASTER fundamenta-se na sua melhor resolução espectral, com nove bandas na faixa óptica do espectro e melhor posicionadas para diferenciar as diversas unidades geológicas que ocorrem na área de estudo.

O processamento da imagem digital foi realizado no programa ENVI 4.0, redimensionando-se as três bandas VNIR/ASTER de resolução espacial de 15 m para 30m, para permitir a análise conjunta das nove bandas do espectro óptico. Foram executados e avaliados diversos processamentos de realce, tais como o aumento de contraste espectral por meio de diferentes funções de transferência, composições coloridas, operações aritméticas, tendo-se obtido como melhor resultado a aplicação da técnica Transformada de Karhunen-Loeve, também chamada Análise por Componentes Principais (ACP). Esse cálculo consiste em uma transformação matemática envolvendo combinações lineares das imagens originais, obtendo-se novas imagens que não possuem correlação entre si (CP's). O conjunto de imagens geradas será igual ao número de bandas espectrais utilizadas na transformação. Neste processamento, as imagens CP's podem ser representadas matematicamente por autovalores que representam o comprimento dos eixos das CP's, ou seja, a sua variância, e os autovetores que representam e definem as direções dos eixos das CP's e a contribuição de cada banda original para cada imagem CP (Crósta, 1992).

A análise por componentes principais seletiva de Chavez & Kwarteng (1989) e a técnica *pairwise principal components* de Lamb & Pendock (1989) utilizam somente duas bandas espectrais altamente correlacionadas ou não. Optou-se pela aplicação deste método nas imagens selecionadas fazendo-se necessária a escolha de alvos representativos das diferenças litológicas. Esses pontos foram posicionados na imagem e seus valores radiométricos registrados em todas as bandas espectrais consideradas. Gerou-se um gráfico a partir dos valores dos DN's (*Digital Numbers*) dos três grupos de amostras – riolitos, ignimbritos e arenitos do Grupo Maricá – sendo a análise das curvas espectrais (DN) centrada na variação dos ângulos de declividade das retas entre os grupos de amostras. As diferenças entre as declividades indicam quais bandas a serem selecionadas para a geração das principais componentes. O gráfico demonstra uma acentuada variação nos ângulos das retas de valores

de DN's dos riolitos nas bandas 1 e 2, bandas 2 e 3 e bandas 4 e 5 (Fig. 2a). Nas amostras de ignimbritos (Fig. 2b) ocorre uma maior diferença entre os ângulos das retas entre as bandas 2 e 3, 3 e 4, 4 e 5 e uma variação entre as bandas 8 e 9. Nas amostras do Grupo Maricá as maiores variações nos ângulos ocorrem entre as bandas 1 e 2, 2 e 3, 4 e 5 (Fig.2c).

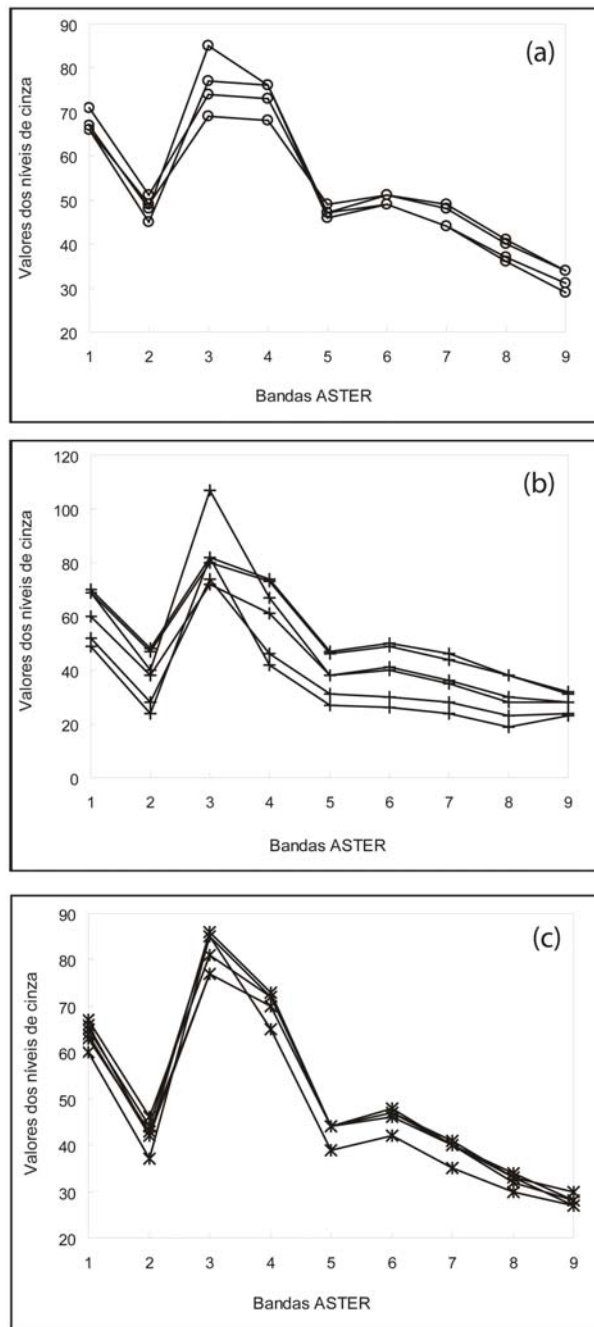


Figura 2 – Gráfico com os valores DN (Digital Numbers) obtidos da imagem ASTER para alvos relacionados aos riolitos (a), ignimbritos (b) e rochas sedimentares do Grupo Maricá (c).

Com a finalidade de destacar essas diferenças fez-se uma média entre os grupos de amostras reduzindo o número de dados (Fig. 3). Observou-se que as diferenças dos ângulos de inclinação das retas dos DN's

que caracterizam os riolitos e os ignimbritos ocorrem nas bandas 3 e 4. Nas bandas 4 e 5, a diferença espectral entre os ignimbritos e os arenitos do Grupo Maricá é mais acentuada enquanto nas bandas 8 e 9 ocorre uma pequena variação entre as declividades das retas que representam as amostras dos três grupos. A partir desta análise selecionou-se os pares de bandas espectrais capazes de discriminar essas litologias.

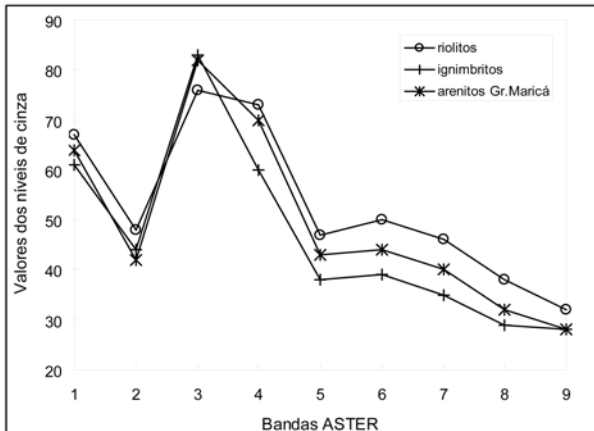


Figura 3 – Gráfico com os valores médios dos níveis de cinza obtidos da imagem ASTER para alvos relacionados aos riolitos, ignimbritos e rochas sedimentares do Grupo Maricá.

Na geração das Componentes Principais Seletivas (CP's), selecionou-se os pares das bandas 3-4 ($\lambda = 0,78\mu\text{m} - 0,86\mu\text{m}$ e $\lambda = 1,60\mu\text{m} - 1,70\mu\text{m}$), bandas 4-5 ($\lambda = 1,60\mu\text{m} - 1,70\mu\text{m}$ e $\lambda = 2,145\mu\text{m} - 2,185\mu\text{m}$) e bandas 8-9 ($\lambda = 2,295\mu\text{m} - 2,365\mu\text{m}$ e $\lambda = 2,360\mu\text{m} - 2,430\mu\text{m}$). Utilizou-se apenas as imagens CP's 2, que representam o contraste espectral entre o par de bandas envolvidas, tendo em vista que a CP1 concentra a informação comum às duas bandas. A tabela 1 mostra os autovetores e autovalores das bandas relativo a cada CP. Para uma melhor compreensão dos mesmos, seus valores foram transformados em porcentagens. Na imagem CP2 das bandas 4-5 ocorre uma contribuição positiva da banda 4 ($\lambda = 1,60\mu\text{m} - 1,70\mu\text{m}$) e negativa da banda 5 ($\lambda = 2,145\mu\text{m} - 2,185\mu\text{m}$) que corresponde ao realce de áreas de maior exposição de argilo-minerais (elevada reflectância em $\lambda = 1,60\mu\text{m} - 1,70\mu\text{m}$ e banda de absorção em $\lambda = 2,145\mu\text{m} - 2,185\mu\text{m}$). Já a CP2 das bandas 3-4, representa o contraste entre o infravermelho próximo (banda 3) e o infravermelho de ondas curtas (banda 4) indicando o realce da vegetação que está representada pelos *pixels* claros. Na imagem CP2 do par das bandas 8-9 a contribuição positiva da banda 9 e negativa da

banda 8 realçam a vegetação arbórea em níveis de cinza claro, bem como as áreas com cobertura de gramíneas mais densa, indicando variações dos níveis de alteração do substrato rochoso. Áreas mais escuras indicam menor densidade de vegetação e conseqüente nível rochoso mais superficial.

A partir das imagens componentes principais das CP's 2 gerou-se a composição colorida 4-5 (*Red*), 3-4 (*Green*) e 8-9 (*Blue*). Através da manipulação dos histogramas, utilizando-se a função de transferência Gaussiana nas três imagens, obteve-se um realce de contraste das litologias. Este processamento determina, segundo Crósta (1999), um melhor balanceamento de cores nas composições coloridas RGB.

Tabela 1 – Valores dos autovetores e autovalores dos pares das bandas 4-5, 3-4 e 8-9.

| Banda | CP1 | | CP2 | |
|-------|--------------------------|---------|-----------------------|----------------|
| | Autovalor 1128.569353 | | Autovalor 3.982337 | |
| 4 | Autovetor | % | Autovetor | % |
| | - 0.848785 | - 61,62 | 0.528739 | 38,38 |
| 5 | - 0.528739 | - 38,38 | - 0.848785 | - 61,62 |

| Banda | CP1 | | CP2 | |
|-------|--------------------------|----------------|------------------------|----------------|
| | Autovalor 1944.521447 | | Autovalor 103.29007 | |
| 3 | Autovetor | % | Autovetor | % |
| | - 0.783523 | - 55,77 | 0.621362 | - 44,23 |
| 4 | - 0.621362 | 44,23 | - 0.783523 | - 55,77 |

| Banda | CP1 | | CP2 | |
|-------|-------------------------|--------------|-----------------------|----------------|
| | Autovalor 329.756824 | | Autovalor 2.764627 | |
| 8 | Autovetor | % | Autovetor | % |
| | 0.762705 | 54,11 | - 0.646747 | - 45,89 |
| 9 | 0.646747 | 45,89 | 0.762705 | 54,11 |

INTERPRETAÇÃO DAS IMAGENS E RESULTADOS OBTIDOS

Imagens acromáticas

Na imagem acromática CP2 das bandas 4 ($\lambda = 1,60 \mu\text{m} - 1,70 \mu\text{m}$) e 5 ($\lambda = 2,145 \mu\text{m} - 2,185 \mu\text{m}$) os *pixels* em tons de cinza-médio representam a vegetação (Fig. 4 - a). Pequenas “manchas” de *pixels* negros, com DN's muito baixos, concentrados nas porções sudoeste, nordeste e noroeste do Platô da Ramada, representam solos expostos ou áreas sem cobertura vegetal significativa (Fig. 4 - b). Esta imagem revela um forte contraste entre as rochas vulcânicas do Platô da Ramada (cinza-escuro)

(Fig. 4 - c) com as unidades sedimentares do Grupo Maricá, ao norte e ao sul do platô, representadas por *pixels* cinza-claros (Fig. 4 - d).

Ao norte do platô na porção N-NW do Grupo Maricá, a presença de diques é destacada por tons de cinza mais escuro com uma orientação NE-SW (Fig. 4 - e). Este dado é confirmado por trabalhos de campo que identificaram um “enxame” de diques e sills de rocha riolítica, com dimensões métricas variáveis e distância entre os corpos de aproximadamente 200 à 250m. Nesta área, a cobertura vegetal é mais rala e esparsa sobre o substrato rochoso, tornando-se arbustiva nas encostas mais acentuadas.

O elevado brilho da imagem identificado ao sul do platô deve-se a presença de um corpo diorítico que indica a presença de material argiloso proveniente da alteração intempélica (Fig. 4-f).

Na imagem CP2 das bandas 3 ($\lambda = 0,78\mu\text{m} - 0,86\mu\text{m}$) e 4 ($\lambda = 1,60\mu\text{m} - 1,70\mu\text{m}$) a vegetação é representada por *pixels* claros (DN's com valores altos), (Fig. 5-a) indicando uma maior reflectância no infravermelho próximo (b3) e absorção pela água foliar no infravermelho de ondas curtas (b4). Nesta

imagem os solos estão representados por *pixels* cinza médio predominantemente (Fig. 5-b). À sudoeste do platô esta imagem expõe uma área com diferenciação textural gerada pela alternância de *pixels* claros e escuros, formando um padrão “xadrez” (Fig. 5-c). Por meio de estudos de campo pôde-se associar este padrão à morfologia do terreno e à cobertura vegetal devido ao desgaste diferencial do substrato rochoso. Os *pixels* cinza-claros estão associados às áreas baixas, com presença de vegetação rasteira densa (principalmente gramíneas), concentração de umidade e maior espessura de solo. As áreas mais elevadas, com cobertura vegetal rasteira esparsa e maior exposição do substrato rochoso, correspondem na imagem aos *pixels* cinza-escuros.

Na imagem CP2 das bandas 8 ($\lambda = 2,29\mu\text{m} - 2,36\mu\text{m}$) e 9 ($\lambda = 2,36\mu\text{m} - 2,43\mu\text{m}$) os *pixels* de cor cinza-claros, ou DN's elevados, representam a vegetação com alta reflectância da REM, delimitando basicamente os cursos d'água (Fig. 6-a). Os solos expostos ou com um tapete ralo de gramíneas estão representados por *pixels* de cor cinza médios (Fig. 6-b), não permitindo a diferenciação entre as

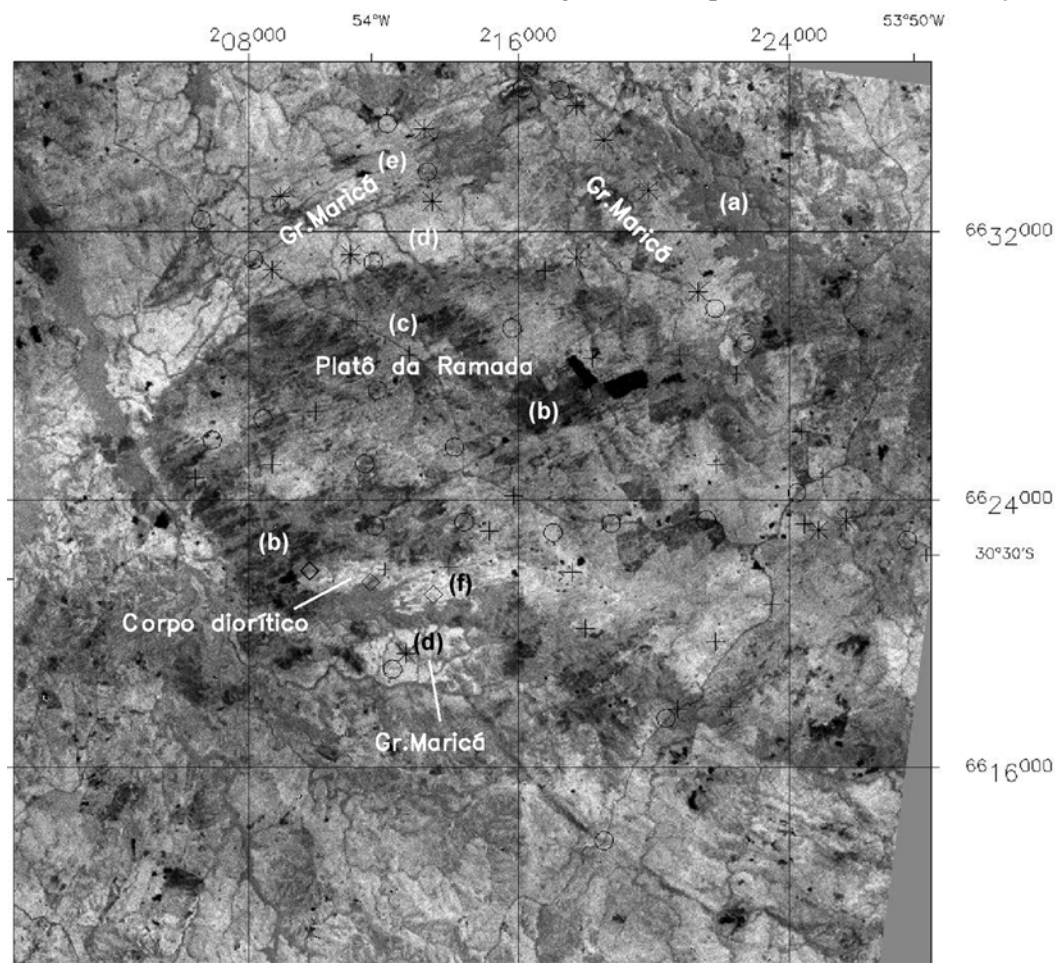


Figura 4 - Imagem acromática CP2, bandas 4-5, do Platô da Ramada com pontos de amostragem representativos de diferentes tipos de rochas. Símbolos: cruz → ignimbritos; círculo → riolitos; asterisco → arenitos do Grupo Maricá; losango → rochas dioríticas.

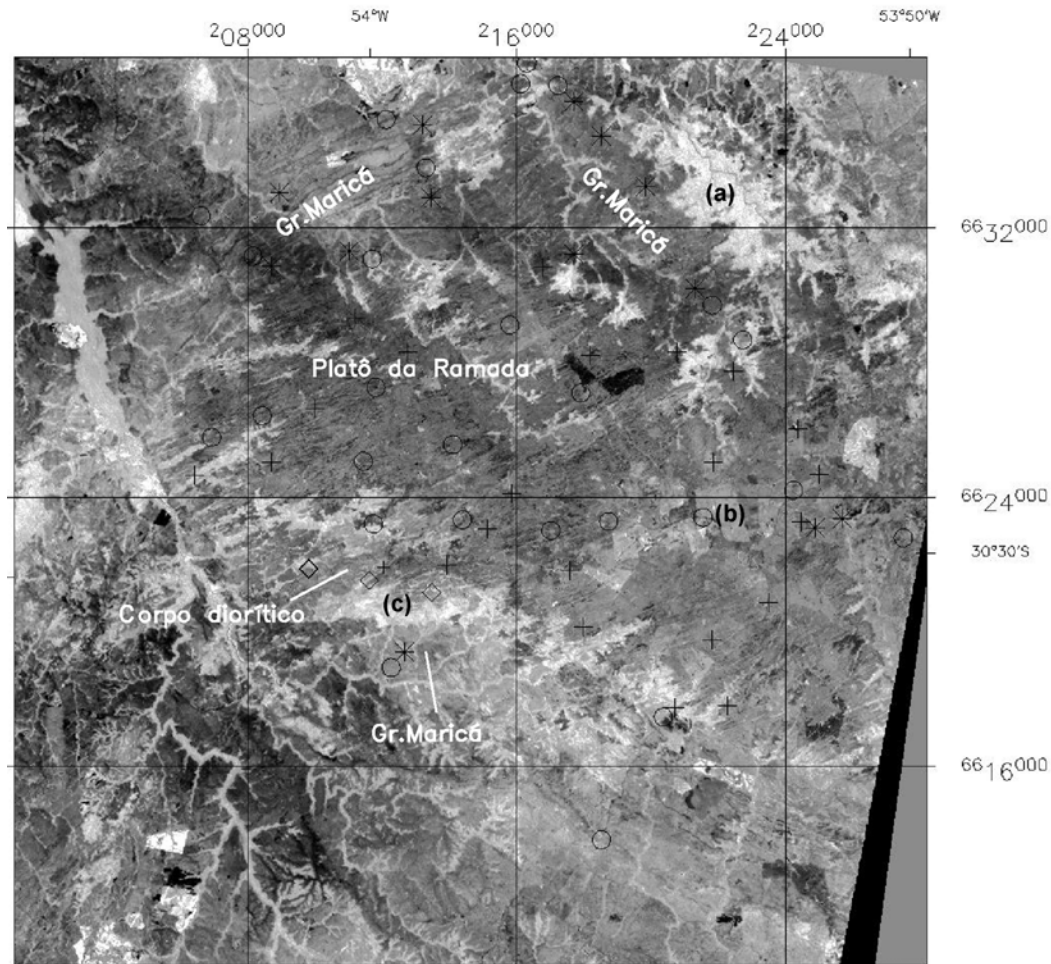


Figura 5 - Imagem acromática CP2, bandas 3-4, do Platô da Ramada com pontos de amostragem representativos de diferentes tipos de rochas. Símbolos: cruz → ignimbritos; círculo → riolitos; asterisco → arenitos do Grupo Maricá; losango → rochas dioríticas.

respostas espectrais das diferentes litologias.

Imagem composição colorida

No presente trabalho foi gerada uma composição colorida, a partir do triplete das imagens CP's 2 dos pares de bandas 4-5; 3-4 e 8-9 associadas as cores vermelho (R), verde (G) e azul (B), respectivamente. A vantagem do uso desta técnica fundamenta-se na maior capacidade humana de diferenciar cores do que níveis de cinza (Crósta, 1992).

A composição colorida permitiu a diferenciação espectral na área de ocorrência do Grupo Maricá, com a individualização de dois domínios realçados pelas cores salmão e vermelho, os quais não foram evidenciados nas imagens acromáticas. O domínio de cor vermelha, observado na porção próxima ao limite norte do Platô da Ramada (Fig. 7 - c), realça as rochas sedimentares areno-pelíticas deste grupo e esse contraste está associado a presença de

argilominerais nos arcóseos. A cor salmão caracteriza o domínio mais ao norte (Fig. 7 - b), onde associam-se às unidades areno-pelíticas, uma grande quantidade de corpos intrusivos de pequenas dimensões (diques e sills riolíticos) orientados principalmente segundo SW-NE. A cor salmão observada nesta imagem representa, portanto, a mistura de informação espectral dos dois tipos de rochas. Outros fatores, como transformações texturais (diminuição do tamanho de grão) e químicas (percolação de fluidos quentes enriquecidos em sílica) das unidades sedimentares afetadas pelas intrusões riolíticas, podem também explicar ou contribuir nesta diferença de cores observadas no Grupo Maricá (Fig. 7).

A variação das cores azul e magenta que distribuem-se dentro do Platô demonstram a contribuição positiva das imagens CP's 2 dos pares das bandas 4-5 (R) e 8-9 (B), realçando os riolitos e ignimbritos (Fig. 7 - a). Espectralmente não é possível separar os riolitos dos ignimbritos. Estas litologias caracterizam-se por composição mineralógica e química muito semelhantes. Em ambas são

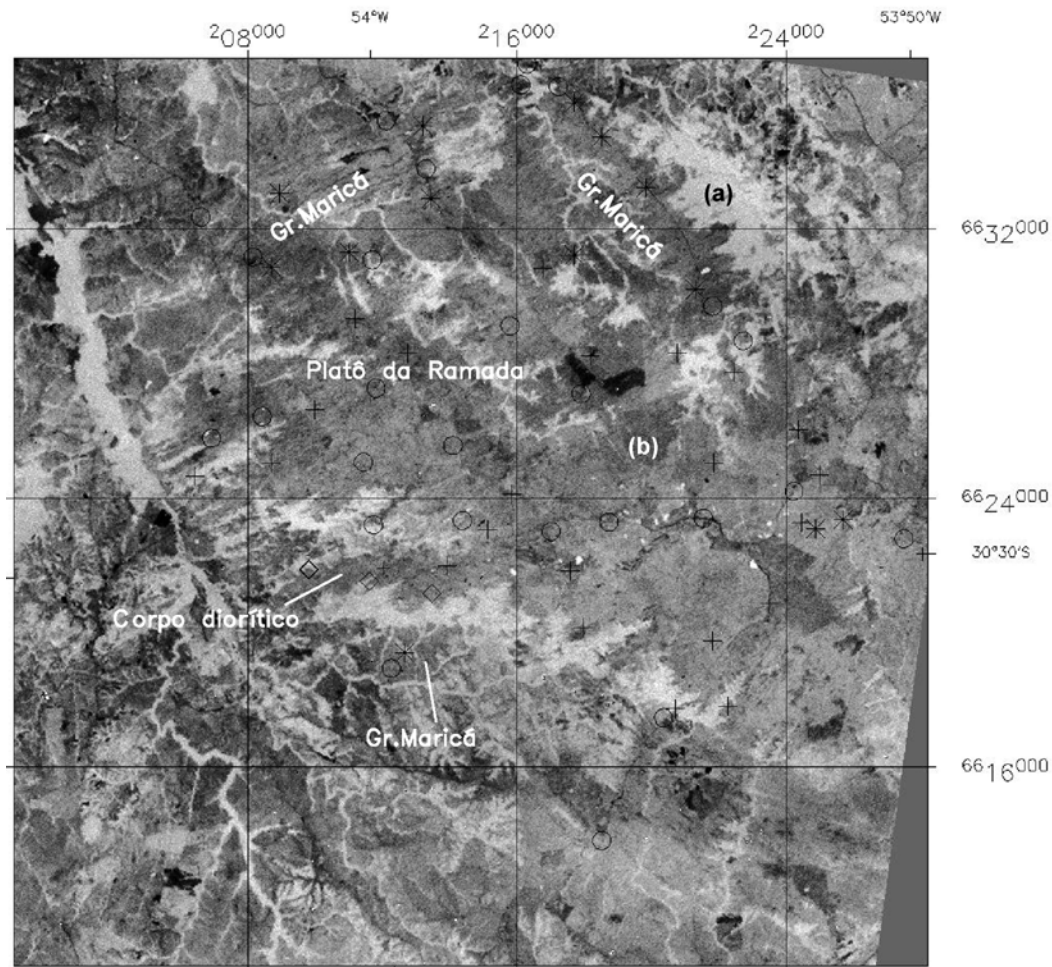


Figura 6 - Imagens acromáticas CP2, bandas 8-9, do Platô da Ramada com pontos de amostragem representativos de diferentes tipos de rochas. Símbolos: cruz → ignimbritos; círculo → riolitos; asterisco → arenitos do Grupo Maricá; losango → rochas dioríticas.

observados fenocristais de feldspato alcalino, raros plagioclásios, quartzo, minerais máficos e opacos envoltos por uma matriz félsica. O elevado grau de soldagem dos ignimbritos reproduz aspectos texturais muito semelhantes aos dos riolitos, sendo, nestes casos, definidos somente pelas diferenças microscópicas. No entanto, verificou-se que a distribuição espacial das amostras de lavas riolíticas estão preferencialmente associadas a alguns lineamentos destacados nas imagens analisadas (Fig. 7).

A vegetação é realçada na cor ciano, mostrando a contribuição das imagens CP's 2 dos pares das bandas 3-4 (verde) e 8-9 (azul). Esta vegetação delimita as áreas de drenagens no Platô, não interferindo na diferenciação das litologias.

A composição colorida das imagens CP's 2, dos pares das bandas 4-5, 3-4 e 8-9 (RGB) contribuiu para a identificação de um corpo máfico, não delimitado em trabalhos anteriores, de forma elíptica (3,5 km E-W x 1,5 km N-S), intrusivo nos ignimbritos à sudoeste do Platô da Ramada (Fig. 7-d). Esta área é destacada na imagem com a coloração

alaranjada demonstrando a contribuição das CP's 2 das bandas 4-5 (R) e 3-4 (G) e um padrão textural diferenciado das demais litologias. Estudos de campo e petrográficos (Matté *et al.*, 2005) definiram este corpo como um diorito, com bordas texturalmente mais finas e centro equigranular médio, constituído por plagioclásio + hornblenda + augita + apatita + minerais opacos.

Na investigação dos padrões de lineamentos utilizou-se processamentos de filtragem por convolução, que tem como característica realçar bordas em direções pré-determinadas. O melhor resultado alcançado foi na banda 4 ($\lambda = 1,60\mu\text{m} - 1,70\mu\text{m}$) infravermelho de ondas curtas, aplicando o filtro direcional (Araújo & Carvalho Jr., 1994; Hoff, 2002) visando destacar os lineamentos da área de estudo. A análise dessa imagem indica uma grande incidência de lineamentos nas direções NE-SW e NW-SE na área do Platô. Estas estruturas têm uma origem predominantemente tectônica, correspondendo a falhas normais e direcionais como, por exemplo, os dois grandes lineamentos de direção NE-SW que

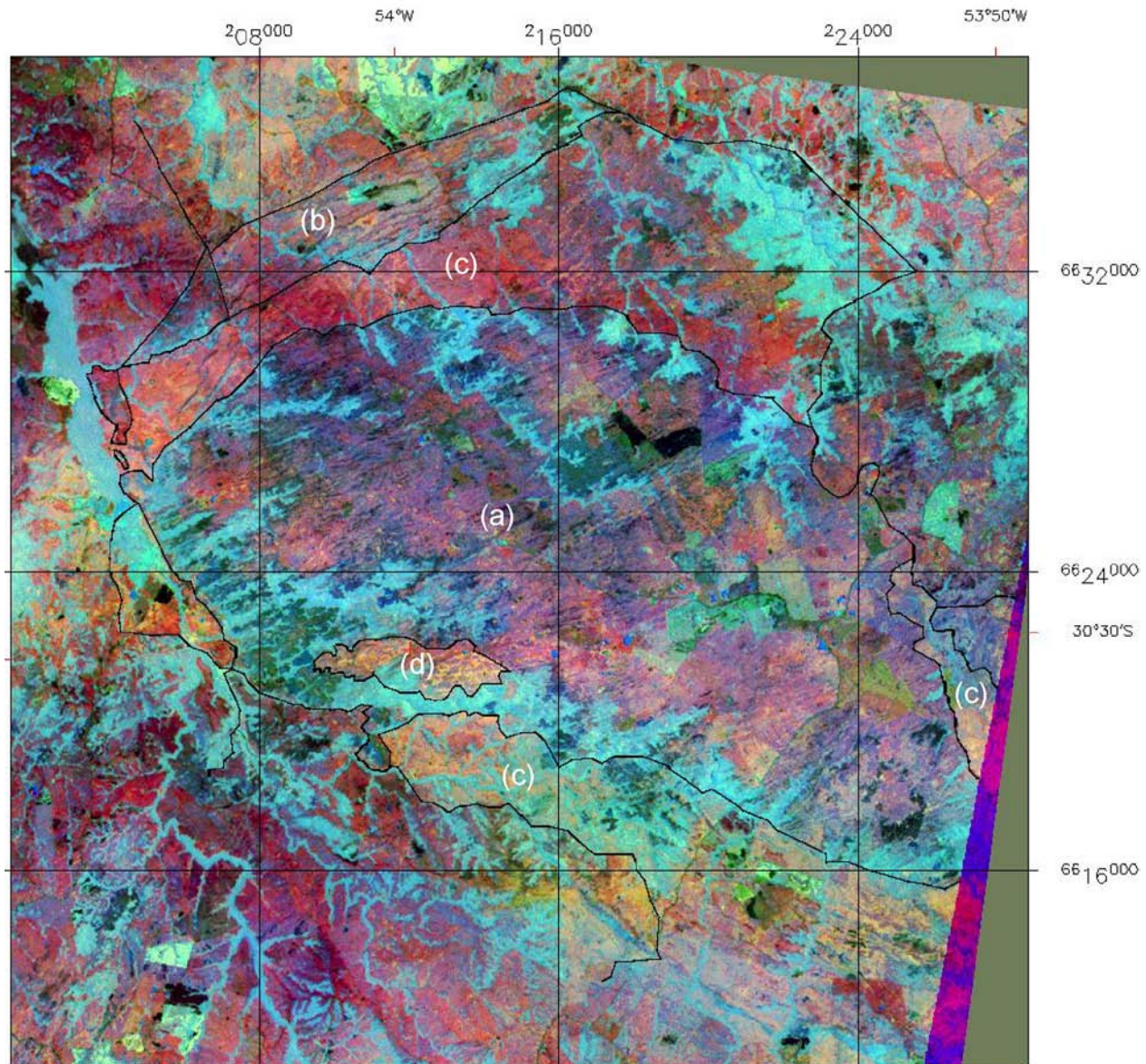


Figura 7 – Imagem colorida CP2 das bandas 4-5 (R), 3-4 (G) e 8-9 (B), com a separação dos principais domínios vulcano-sedimentares da região do Platô da Ramada. Legenda: (a) Platô da Ramada: ignimbritos e riolitos; (b) Grupo Maricá 1: rochas sedimentares cortadas por diques e sills de riolitos; (c) Grupo Maricá 2: rochas sedimentares não afetadas pelas intrusões sub-vulcânicas; (d) corpo diorítico.

cortam o Platô e o Granito Ramada. Conforme dados de campo, as rochas submetidas a estes falhamentos possuem grande densidade de fraturas, cujas direções são coincidentes com as observadas nas imagens. Este processamento foi também eficaz para realçar lineamentos que correspondem a maioria dos diques e sills riolíticos que cortam a porção norte do Grupo Maricá (NE – SW) e o embasamento ao sul do Platô (NW-SE) (Fig. 8).

Outra constatação importante foi a identificação de lineamentos na área do Platô da Ramada, que em campo correspondem a corpos riolíticos com foliações subverticais e auto-brechações relacionadas a antigos condutos alimentadores da fração efusiva ácida. Este hipótese é coerente e coin-

cidente com as conclusões de Sommer *et al.* (2005 a), construídas a partir do estudo dos aspectos estruturais e texturais destas rochas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

O uso de imagens orbitais multiespectrais, quando integradas a outras técnicas de aquisição de dados (mapeamento geológico, petrografia, geoquímica) cria alternativas para melhor investigar-se a geologia básica de uma área.

Uma avaliação e interpretação dos dados da imagem do sensor ASTER no mapeamento da região do Platô da Ramada (Vila Nova do Sul, RS) permitiu discriminar as fácies vulcânicas dos corpos

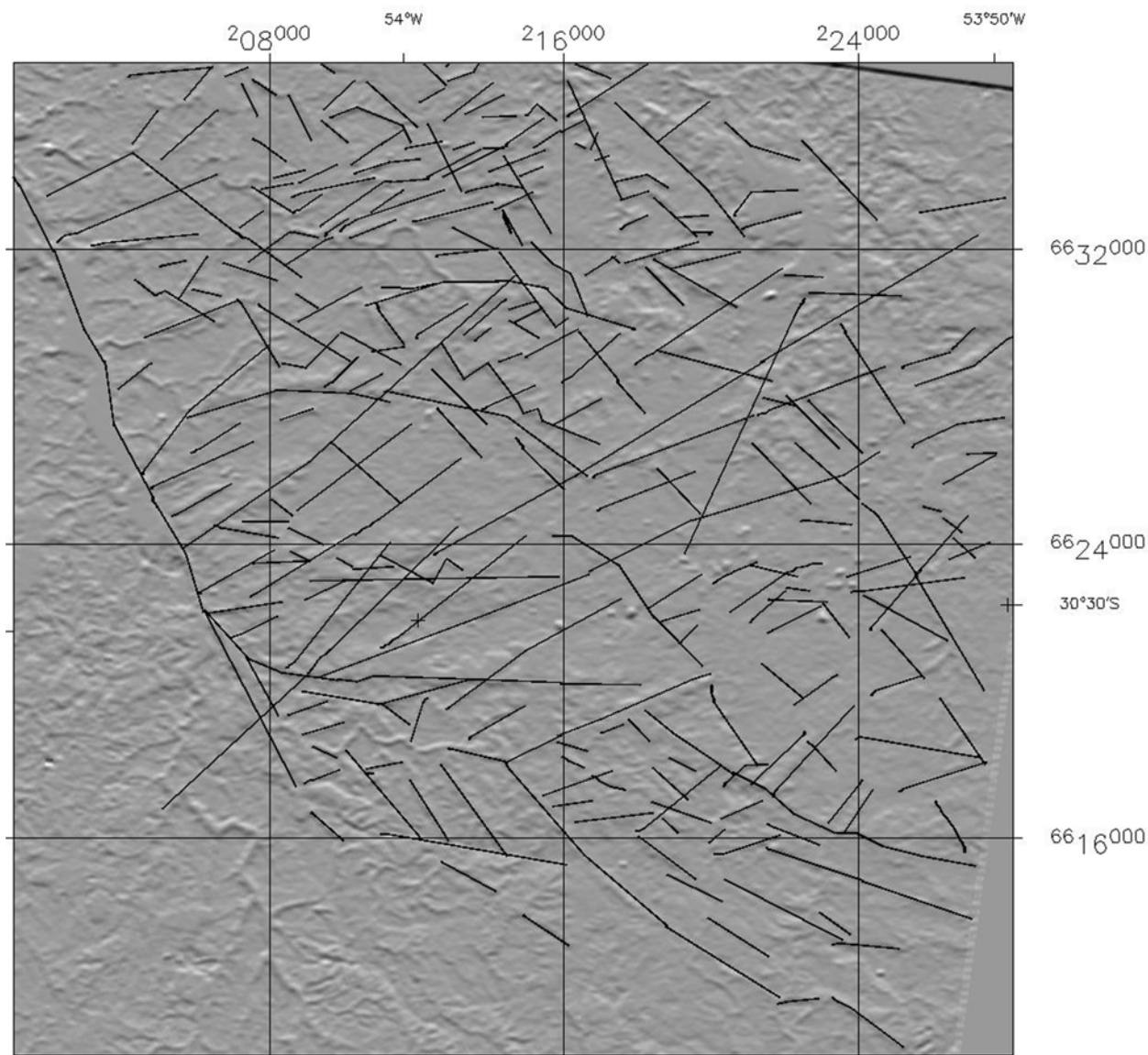


Figura 8 – Imagem ASTER da banda 4 com filtragem direcional sobreposta (Araújo e Carvalho Jr. 1994), evidenciando os principais lineamentos da região do platô da Ramada.

intrusivos e das rochas sedimentares do Grupo Maricá. A comparação dos produtos obtidos por processamento de imagens digitais com o mapa geológico original apontou algumas diferenças que permitiram a atualização deste. No processamento da imagem digital ASTER, a transformação das dimensões do *pixel* de 15m para 30m possibilitou a utilização das nove bandas do espectro refletivo, havendo com isso, maior efetividade na separação das litologias da área de estudo. O processamento, utilizando a técnica por Componentes Principais Seletivas, proporcionou os melhores resultados, realçando as diferenças espectrais existentes entre as litologias.

O uso de técnicas de sensoriamento remoto e processamentos da imagem do sensor ASTER, permitiu alcançar os seguintes resultados na região estudada:

- (a) diferenciação espectral entre as rochas vulcânicas do Platô da Ramada e rochas sedimentares do Grupo Maricá;
- (b) identificação de diques riolíticos, principalmente ao norte do Grupo Maricá, indicando uma maior abundância destes corpos, em comparação aos já registrados em trabalhos anteriores. Esta característica possibilita a individualização, no Grupo Maricá, de duas subunidades, levando-se em conta a densidade de intrusões identificadas;
- (c) identificação e individualização de um corpo diorítico na borda SW do Platô da Ramada originalmente referido como rocha riolítica;
- (d) identificação, a partir de aplicação de filtros direcionais, de um grande número de lineamentos com direções NE-SW e NW-SE.

Estes constituem fraturamentos e falhamentos locais e regionais, onde concentram-se diques associados à lavas riolíticas, podendo, desta forma, representar antigas zonas de alimentação da fração vulcânica;

- (e) não individualização, por meio do padrão espectral, dos riolitos e dos ignimbritos tendo em vista que as composições, tanto da mineralogia como da química destes depósitos são muito semelhantes. O elevado grau de soldagem dos depósitos piroclásticos reproduz padrões texturais muito semelhantes aos das lavas.

O uso de sensoriamento remoto orbital como técnica auxiliar mostrou-se eficaz no mapeamento geológico de litologias vulcânicas e sedimentares. Este fato abre uma nova perspectiva de reavaliação geológica das áreas vulcano-sedimentares do Rio Grande do Sul, especialmente das unidades neoproterozóicas da Bacia do Camaquã. O uso desta técnica nestes terrenos vulcânicos poderá permitir, a médio prazo, uma identificação de parâmetros diagnósticos das diferentes fácies vulcânicas. No presente trabalho essa definição foi prejudicada pela semelhança entre fatores diagnósticos decisivos como o composicional e textural, impedindo a separação entre as unidades particulada (piroclásticas) e não particulada (lavas). Espera-se, portanto, um refinamento dos resultados em áreas onde estes fatores sejam mais contrastantes, como por exemplo, Platô do Taquarém (SW do RS) e Serra de Santa Bárbara (centro oeste do RS).

Trabalhos posteriores no Platô da Ramada tentarão estabelecer as relações entre as estruturas, os diques e lavas riolíticas. A elevada concentração de corpos hipabissais pode estar vinculada a um regime vulcânico predominantemente fissural ou periférico a ambientes do tipo caldeira. Na porção interna do Platô a associação entre lavas, foliações sub-verticalizadas e lineamentos sugere que estas estruturas representam sistemas de alimentação de um vulcanismo subaéreo imposto na região de Vila Nova do Sul, ao final do neoproterozóico.

Agradecimentos- Ao CNPq e a CAPES pelo apoio financeiro e pela bolsa de mestrado do primeiro autor.

REFERÊNCIAS

- Abrams, J.M.; Brown, D.; Lepley, L. & Sadowski, R. 1983. Remote sensing for porphyry copper deposits in southern Arizona. *Economic Geology*, **78**: 591-604.
- Adleman, J.N.; Larsen, J.F.; Ramsey, M.S.; McGimsey, R.G. & Neal, C.A. 2004. Analysis of composition and chronology of dome emplacement at Black Peak, UK utilizing ASTER remote sensing data and field-based studies. In: IAVCEI GENERAL ASSEMBLY, Pucon-Chile, 2004. **Abstracts...** Pucon, 1 CD-ROM.
- Araújo, A.H. & Carvalho Jr. 1994. Arquitetura e implementação computacional de filtros digitais multidirecionais para a aplicação na detecção de lineamentos estruturais e contatos geológicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, 1994, Balneário Camboriú. **Anais...** Camboriú, SBG, p.335-337.
- Azcurra, D.; Castro Godoy, S.; Kaku, M.; Kohno, I. & Marin, G. 2003. Procesamiento y productos ASTER del área de Sierra de Famatina, provincia de La Rioja, República Argentina. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, INPE, p.815-822.
- Babinski, M., Chemale Jr., F., Hartmann, L.A., Van Schumus W.R. & Silva, L.C. 1996. Juvenile accretion at 750-700 Ma in Southern Brazil. *Geology*, **24**: 439-442.
- Castro Godoy, S.; Urai, M.; Kaku, M. & Kohno, I. 2003. Utilización de datos Aster para el monitoreo de volcanes y la identificación de productos volcánicos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, INPE, p.465-473.
- 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-riograndense. In: Holz M. & De Ros L.F. (ed.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, CIGO/UFRGS, p. 13-52.
- Crósta, A.P. 1992. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas, IG/UNICAMP, 170p.
- Davis, P.A.; Berlin, G.L. & Chavez Jr, P.S. 1987. Discrimination of altered basaltic rocks in the southwestern United States by Analysis of Landsat Thematic Mapper data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **53**(1): 45-55.
- Filippini-Alba, J.M.; Crósta, A.P. & Oliveira, S.M.B. 2001. Interpretation of surface geochemical data and integration with geological maps and LANDSAT – TM images for mineral exploration from a portion the precambrian of Uruguay. *Revista Brasileira de Geociências*, **31**(2): 123-130.
- Fraser, S.J. & Green, A.A. 1987. A software defoliant for geological analysis of band ratios. *International Journal of Remote Sensing*, **8**(3): 525-532.
- Fraser, S.J. 1991. Discrimination and identification of ferric oxides using satellite Thematic Mapper data: A newman case study. *International Journal of Remote Sensing*, **12**: 635-641.
- Galvão, L.S. & Vitorello I. 1994. Spectral reflectance–lithostratigraphy of terrigenous rocks of the Parnaíba Basin, Brazil: chemical composition relationships. *Revista Brasileira de Geociências*, **24**(1): 22-31.
- Galvão, L.S.; Vitorello I. & Paradella, W.R. 1995. Spectroradiometric discrimination of laterites with principal Componentes Analysis and additive modeling. *Remote Sensing Environment*, **53**: 70-75.
- Guimarães Filho, H.A. 1994. **Metodologias para Intercâmbio de Dados entre Programas de CADD, SGBD, PDI e SGI em Projetos de Exploração Mineral**. Campinas. 118p. Dissertação de Mestrado. UNICAMP.
- Hoff, R. 1996. **Técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicadas ao mapeamento geológico e**

- geotécnico no município de Três Cachoeiras, litoral norte do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre. 132p. Mestrado em Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Hoff, R. 2002. **Integração de dados geológicos, de sensoriamento remoto, espectralradiométricos e geofísicos aplicada à prospecção de depósitos filoneanos de fluorita hidrotermal no sudeste de Santa Catarina.** Porto Alegre. V.1, 167p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Hunt, G.R. 1977. Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near infrared. **Geophysics**, **42**(3): 501-513.
- Hunt, G.R. 1979. Near infrared (1.3-2.4µm) spectra of alteration mineral – Potential for use in remote sensing. **Geophysics**, **44**(12): 1974-1986.
- Hunt, G.R. & Ashley, R.P. 1979. Spectra of Altered Rocks in the Visible and Near Infrared. **Economic Geology**, **74**: 1613-1629.
- Hunt, G.R.; Salisbury, J.W. & Lenhoff, C.J. 1974. Visible and near infrared spectra of minerals and rocks: IX . Basic and ultrabasic igneous rocks. **Modern Geology**, **5**: 15-22.
- Klein, M.A. 1998. **Integração de Imagens TM e aerogeofísicas para análise lito-estrutural de uma porção da zona de cisalhamento transcorrente dorsal de Canguçu, região de Quitéria – Várzea do Capivarita, RS.** Porto Alegre. 120p. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Lamb, A.D. & Pendock, N.E. 1989. Band prediction techniques for the mapping of hydrothermal alteration. In: SEVENTH THEMATIC CONFERENCE ON REMOTE SENSING FOR EXPLORATION GEOLOGY, Calgary, Canadá. **Proceedings...** v.2, p. 1317-1329.
- Matos, D.F.; Lima, E.F.; Sommer, C.A.; Nardi, L.V.S.; Liz, J.D.; Figueiredo, A.M.G.; Waichel, B.L. & Pierosan, R. 2002. Riolitos neoproterozóicos pós-colisionais na área do Santuário, sul do Brasil: litoquímica, química mineral e origem das heterogeneidades texturais. **Revista Brasileira de Geociências**, **32**(2) 255-266.
- Matté, V.; Sommer, C.A.; Liz, J.D.; Sommer, J.A.P.; Saldanha, D.L. & Lima, E.F. 2005. Petrologia de uma intrusão diorítica associada ao vulcanismo Acampamento Velho no Platô da Ramada, SW do Rio Grande do Sul – dados preliminares. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA – UFRGS, 17, 2005, Porto Alegre. **Resumos...**, Porto Alegre, PROPESQ, 1 CD-ROM.
- Mehl, H.; Reimer, W. 1994. Discrimination of ignimbritic rocks in southern Argentina using LANDSAT Thematic Mapper imagery. In: INTERNATIONAL SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, COMMISSION SYMPOSIUM ON RESOURCE AND ENVIRONMENTAL MONITORING, 7, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro, INPE, v. 30 (7 A): 442-446.
- Naime, R.H. & Nardi, L.V.S. 1991. O Granito da Ramada, porção oeste do Escudo Sul Rio Grandense: Geologia, Petrologia e Geoquímica. **Revista Brasileira de Geociências**, **21**(3): 266-274.
- Paim, P.S.G.; Chemale Jr., F. & Lopes R.C. 2000. A Bacia do Camaquã. In: Holz M. & De Ros L.F. (ed.). **Geologia do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, CIGO/UFRGS. p. 231-374.
- Paradella, W.R.; Pietsch, R.W.; Toutin, T.; Bignelli, P.A.; Veneziani, P. & Singhroy, V.H. 1996. Airborne and spaceborne SAR integration with TM-LANDSAT gamma ray spectrometry for geological mapping in a tropical rain forest environment. In: ELEVENTH THEMATIC CONFERENCE AND WORKSHOPS ON APPLIED GEOLOGIC REMOTE SENSING, 1996, Las Vegas. **Proceedings...** Las Vegas, p. I330 – I342.
- Paradella, W.R.; Santos A.R.; Dall’Agnol, R.; Pietsch, R.W. & Sant’Anna, M.V. 1998. A geological investigation based on airborne (SAREX) and spaceborne (RADARSAT-1) SAR integrated products in the Central Serra dos Carajás Granite area, Brazil. **Canadian Journal of Remote Sensing**, **24**(4): 376-392.
- Saldanha, D.L. 2003. **Características espectrais de unidades ultramáficas do sudoeste do Rio Grande do Sul: integração de dados orbitais, geobotânicos e geoquímicos.** Porto Alegre. 279p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Sommer, C.A. 2003. **O vulcanismo neoproterozóico do Platô da Ramada, Região de Vila Nova do Sul, RS.** Porto Alegre. 179p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Sommer, C.A.; Lima, E.F.; Nardi, L.V.S.; Liz, J.D. & Pierosan, R. 2003. Depósitos de fluxo piroclástico primários: caracterização e estudo de um caso no vulcanismo ácido neoproterozóico do Escudo Sul-Rio-grandense. **Pesquisas em Geociências**, **30**(1): 3-26.
- Sommer, C.A.; Lima, E.F.; Nardi, L.V.S.; Figueiredo, A.M.G. & Pierosan, R. 2005 a. Potassic and Low- and High-Ti Mildly Alkaline Volcanism in the Neoproterozoic Ramada Plateau, Southernmost Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, **18**(3): 237-254.
- Sommer, C.A.; Lima, E.F.; Nardi, L.V.S.; Liz, J.D. & Waichel, B.L. 2005 b. The Neoproterozoic Mildly Alkaline Bimodal Volcanism in Southern Brazil: Geological and Geochemical Aspects. **International Geology Review**, **47**(10): 1090-1110.
- Stevens, N.F.; Garbeil, H. & Mouginiis-Mark, P.J. 2004. NASA EOS terra ASTER: Volcanic topographic mapping and capability. **Remote Sensing of Environment**, **90**: 405-414.
- UFRGS. 1996. **Mapeamento Geológico 1:25.000 Projeto Lagoa da Meia Lua – Rufino Farias – Vila Nova – Faixa 4.** Porto Alegre. Trabalho de Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 140 p.
- UFRGS. 1997. **Mapeamento Geológico 1:25.000 Projeto Vila Nova – Faixa 5.** Porto Alegre. Trabalho de Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 268 p.
- UFRGS. 2001. **Mapeamento Geológico 1:25.000 Projeto Vila Nova - Rufino Farias.** Porto Alegre. Disciplina de Mapeamento Geológico, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Vitarello, I. & Galvão, L.S. 1996. Spectral properties of geologic materials in the 400-to 2,500nm range: Review for applications to mineral exploration and lithologic mapping. **Photo-Interpretation**, **2**: 77-96.