

ANÁLISE DE COEFICIENTES DE RETROESPALHAMENTO DE IMAGENS RADARSAT (BANDAS C) NA DISCRIMINAÇÃO DE UNIDADES GEOLÓGICAS DA REGIÃO DE BEZERRA-CABECEIRAS (GO)

JOSELISA MARIA CHAVES¹
EDSON EYJI SANO²

¹UEFS – Universidade Estadual de Feira de Santana, Área de Geociências, Depto. Ciências Exatas.
Grupo de Pesquisa Geociências e Gestão de Recursos Naturais.

Km 03, BR-116,

jose.lisa@uefs.br

² EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Cerrados

BR-020 km 18 Cx. Postal 09223

73301-970 Planaltina, DF

sano@cpac.embrapa.br

Abstract. Radar backscatter (σ^0) in active microwave remote sensing is quite important in radar data analysis since it corresponds to the reflected energy by ground targets. The σ^0 is influenced by physical and chemical properties of the ground, surface roughness, relief, water content, wavelength and incidence angle of the sensor. This study evaluated RADARSAT (S2 and S7 modes) backscatter coefficients acquired over different geological units in the Bezerra-Cabeceiras (GO) region. The study site is located near the boundary between the Sao Francisco Craton and eastern Goiás Massive (northeast of the Brasília belt) Statistical data of 195 representative σ^0 its were compared with field data. ANOVA and Wilcoxon test analysis presented good geological discrimination. One of the most important parameters influencing the discrimination of the lithologies was the incidence angle and the direction of azimuth of the SAR images.

Keywords: remote sensing, backscatter, SAR, geology.

1. Introdução

A intensidade da energia espalhada e medida por um sensor microondas encontra-se relacionada ao parâmetro conhecido como seção transversal de retroespalhamento do radar que representa a razão entre a energia recebida pelo sensor e a energia que o sensor receberia se a superfície espalhadora tivesse comportamento isotrópico (Elachi 1987). Para alvos maiores que a largura do feixe incidente, é necessário conhecer o comportamento do retroespalhamento em função de uma unidade de área, definindo-se então, um coeficiente de retroespalhamento (σ^0). Em imagens de radar, essa região é chamada de célula de resolução e representa, por meio de valores digitais, a intensidade da potência de retorno à antena.

Nas imagens de radar, o σ^0 é expresso em níveis de cinza de cada *pixel*. A intensidade do σ^0 é controlada por dois conjuntos de fatores: 1) características instrumentais do sistema do radar, definida pela frequência, polarização e ângulo de incidência; e 2) parâmetros do alvo, tais como a constante dielétrica, topografia e rugosidade da superfície imageada (Sabins 1983, Evans 1992).

Poucas pesquisas têm utilizado o σ^0 para caracterização de unidades geológicas, provavelmente pela dificuldade da obtenção desses dados e sua representatividade espacial. Uma das exceções é o trabalho de Mahmood et al. (1999) que utilizaram, com sucesso, os valores de retroespalhamento em imagens RADARSAT para a separação de fácies graníticas no nordeste do Marrocos. Nesse estudo, variações no retroespalhamento foram atribuídas aos diferentes tamanhos dos grãos e conteúdo de água dos fácies graníticos.

Dados de RADARSAT, banda C (modos standard S2 e S7), foram calibrados para adquirir valores de σ° para separar diferentes litotipos previamente mapeados na região de Bezerra-Cabeceiras (GO). Essa região representa uma porção importante da Faixa Brasília, constituída por três unidades sedimentares meso a neoproterozóicas: os Grupos Paranoá e Bambuí e a Formação Jequitaí (Guimarães 1997).

2. Área de estudo

A área de estudo localiza-se a nordeste do Distrito Federal, entre a vila de Bezerra e a cidade de Cabeceiras (GO), entre as coordenadas 15°29'5" e 15°40'29" de latitude sul e 47°00'26" e 47°08'44" de longitude W (**Figura 1**).

Quanto à geologia, a área situa-se a oeste do Cráton São Francisco e a leste do Maciço de Goiás, na zona externa da Faixa Brasília (Fuck 1994). As unidades aflorantes mais antigas são os arcóseos e, subordinadamente, carbonatos pertencentes ao Grupo Paranoá. Essas unidades são recobertas, em discordância erosiva, por rochas da Formação Jequitaí, constituída por níveis delgados e descontínuos de diamictitos e por ritmitos, margas e arenitos. Sobre essa formação ou sobre as rochas do Grupo Paranoá, repousam as rochas pelíticas e carbonáticas do Grupo Bambuí onde os termos psamíticos encerram a seqüência (Guimarães 1997).

O clima dominante, segundo a classificação de Köppen, é tropical-quente-úmido (AW) com distribuições espacial e temporal de chuva altamente diversificadas, oscilando entre 750 e 2.000 mm/ano (Eiten 1994, Dias 1992). Cerca de 90% da precipitação ocorre entre os meses de outubro e março, caracterizando duas estações bem distintas: a chuvosa e a seca. Na estação seca, a umidade relativa é baixa (< 20% no mês de agosto), a evaporação é alta e a precipitação em alguns meses pode ser nula.

Segundo o mapeamento fitogeográfico, realizado por Silva e Assis (1982), utilizando imagens de radar e complementado por sobrevôos de baixa altitude, a região é caracterizada pela presença de savanas (Cerrado), com fitofisionomias variando de arbóreo denso a gramíneo-lenhoso.

Quanto a geomorfologia, na área de estudo aparece a unidade denominada de Serras de Unai e da Carreira Comprida, definida por Mauro et al. (1982). No entanto, Chaves (2002) mapeou cinco compartimentos morfoestruturais, distribuídos segundo as variações de altitude, declividade, padrão de drenagem e geologia.

3. Experimento

3.1. Dados de Sensoriamento Remoto

Nesse estudo, foram analisadas duas imagens RADARSAT (Banda C = 5,7 cm), modo standard obtidas nas órbitas descendente e ascendente, com ângulos de incidência de 27 e 47 graus, respectivamente. A imagem S2D foi adquirida em 13 de janeiro de 1999 e a imagem S7A, em 23 de maio de 2000. Ambas imagens possuem um tamanho de *pixel* de 12,5 x 12,5 metros e resolução espacial de 25 metros.

3.2. Processamento das imagens

Para o cálculo do σ° nas imagens RADARSAT, inicialmente foram extraídas as informações de atitude, efemeridade e geometria de visada dos arquivos digitais. Esse cálculo de σ° a partir dos níveis de cinza representa uma calibração radiométrica absoluta de uma imagem SAR. Esses coeficientes possibilitam a compreensão dos processos de retroespalhamento dos alvos e, conseqüentemente, a comparação entre imagens de datas e passagens distintas. A **Figura 2** sintetiza as etapas do cálculo do σ° . Para mais detalhes, consultar Amaral e Shimabukuro (1997) e Shepherd (1998). Esse processamento foi realizado no programa PCI

(Versão 6.3), que após a leitura da imagem orbital e do ângulo de incidência, possibilita a geração de uma imagem calibrada de σ° em dados de potência.

As imagens convertidas para o retroespalhamento foram corrigidas geometricamente, utilizando a projeção Universal Transversa de Mercator e datum SAD-69. A imagem RADARSAT S2 foi registrada com 18 pontos de controle, obtendo-se um erro médio quadrático de 9,10 m, enquanto na imagem RADARSAT S7, o registro foi feito com 25 pontos de controle, resultando num erro médio quadrático de 6,53 m. Convém ressaltar que ambos os erros apresentaram valores inferiores a um *pixel*. Vale salientar que os valores de σ° obtidos na imagem corrigida e sem correção geométrica não apresentaram diferenças significativas.

As imagens georreferenciadas, foram sobrepostas ao mapa geológico para extrair valores digitais provenientes de 15 amostras de cada unidade litológica presentes na área: Cobertura Cenozóica, Formação Três Marias, Formação Serra da Saudade, Formação Lagoa do Jacaré, Formação Serra de Santa Helena, Formação Sete Lagoas, Ritmito Superior, Arcóseo e Formação Jequitaiá. A unidade geológica de Cobertura Cenozóica foi subdividida de acordo com o uso da terra em: água, vegetação nativa e uso agrícola. Para as unidades Três Marias e Serra da Saudade, foram levadas em consideração, sua distribuição espacial em áreas aflorantes de superfície da camada e com corte longitudinal da camada, representada pela zona de escarpa. Assim, para cada imagem, considerou-se o total de 195 amostras representativas dos 13 ambientes analisados (**Figuras 3**).

3.3. Análise estatística

A análise estatística inicial constou de cálculos dos parâmetros estatísticos das 195 amostras referentes aos 13 ambientes analisados para cada imagem. Foram realizados o teste de ANOVA e o teste não paramétrico de Wilcoxon. Esse último é extremamente interessante, pois pode indicar que as amostras analisadas são provenientes de populações diferentes (Siegel 1975). O programa usado para esses testes foi o SAS (SAS 1990).

4. Resultados e discussão

Na **Tabela 1**, observam-se os valores médios dos coeficientes de retroespalhamento obtidos para as duas imagens de SAR analisadas. A imagem RADARSAT S7 apresentou os menores valores de σ° , enquanto a imagem RADARSAT S2 registrou os maiores valores de σ° . Esse fato pode ser explicado quando se observa a relação entre σ° e o ângulo de incidência. Quanto menor for ângulo de incidência, a exemplo da imagem RADARSAT S2 ($\theta \sim 27,5^\circ$), maior será o retroespalhamento, considerando um terreno plano ou pouco ondulado (Trevett 1986, Henderson e Lewis 1998).

Outro parâmetro que explica a distribuição dos valores de σ° é o comprimento de onda utilizado pelo sistema radar (Ulaby *et al.* 1982). As imagens RADARSAT, cujo comprimento de onda é de aproximadamente 5,7 cm, apresentaram valores semelhantes entre as diferenças dos valores médios extremos (RADARSAT S2 = 8,93 e RADARSAT S7 = 8,04).

Quanto aos parâmetros do alvo, nota-se grande influência do macrorrelevo, principalmente, quando se analisa o comportamento do σ° em relação ao litotipo Nível Arcoseano que aflora em uma área bem delimitada por uma elevação topográfica, em forma de crista, alongada e alinhada na direção NW-SE (**Figura 3**). Os valores de σ° , para esse litotipo, são os mais altos.

O retroespalhamento volumétrico também influencia os valores de σ° , provocando o aparecimento de áreas mais claras (σ° relativamente altos). Esse fato pode ser observado nas áreas com vegetação mais expressiva, a exemplo das unidades com carbonatos, tais como a

Formação Sete Lagoas, Lagoa do Jacaré, além da unidade do Arcóseo onde a vegetação característica é de Cerradão e Cerrado sentido restrito (Ribeiro e Walter 1998).

Os resultados da análise estatística, usando o teste ANOVA, apesar de não ser recomendado para os tipos de dados, que se aproximam mais de dados não-paramétricos, foi possível separar alguns grupos litológicos. Para a imagem RADARSAT S2 foram separados 6 grupos compostos por: (i) Arcóseo; (ii) Fm Sete Lagoas, Fm. Lagoa do Jacaré e Cobertura (Agrícola); (iii) Cobertura (Reserva), Ritmito Superior, Fm. Jequitaí e Fm Serra da Saudade superfície; (iv) Fm Três Marias superfície e Fm. Serra da Saudade escarpa; (v) Fm Três Marias escarpa, e (vi) Água. Os dados da imagem Radarsat S7 o número de discriminações de litotipos foi maior, constituindo 8 grupos: (i) Arcóseo; (ii) Fm Jequitaí; (iii) Fm Sete Lagoas e Lagoa do Jacaré; (iv) Ritmito Superior, Fm Serra de Santa Helena e Fm Serra da Saudade escarpa; (v) Cobertura (Agrícola); (vi) Fm três Marias escarpa, Fm Três Marias superfície e Cobertura (Reserva); (vii) Fm Serra da saudade superfície e (viii) Água.

Para o teste não-paramétrico, o mais indicado para esses tipos de amostras, foi realizado o teste de Wilcoxon. Na imagem RADARSAT S7, distinguiram-se cinco grupos, formados por: (i) Arcóseo, com valores médios mais altos de σ° ; (ii) materiais sedimentares detríticos, Formações Três Marias (escarpa e superfície) e Serra da Saudade superfície e Cobertura Cenozóica; (iii) Formações Serra da Saudade escarpa e Serra de Santa Helena; (iv) Unidades carbonáticas, Formações Sete Lagoas e Lagoa do Jacaré, além do Ritmito Superior e Formação Jequitaí; e (v) Água.

Na imagem RADARSAT S2 foram separados, também, cinco grupos, formados por: (i) Água; (ii) Cobertura (Reserva Ecológica e Áreas Agrícolas), Ritmito Superior e Formações Sete Lagoas e Lagoa do Jacaré; (iii) Formações Jequitaí e Serra da Saudade superfície; (iv) Formações Três Marias superfície, Serra de Santa Helena e Serra da Saudade escarpa; e (v) Três Marias escarpa e Arcóseo

Para ambas análises estatísticas realizadas nota-se que os dados podem ser observados de forma complementar em relação a algumas unidades mapeadas. Por exemplo, para a unidade Arcoseana e Jequitaí a imagem RADARSAT S7 apresenta uma maior discriminação desses litotipos. A unidade Cobertura Cenozóica é mais bem visualizada na imagem RADARSAT S2, não havendo separação por uso do solo. Em ambas nota-se que houve separação de litotipos com composição carbonática mais significativa, agrupando formações com essa composição.

Conclusões

A análise quantitativa, levando em conta os valores de σ° para o mapeamento geológico, mostrou ter bom potencial na discriminação de diferentes unidades litológicas na Região do Cerrado. Isso ocorre, principalmente, quando se trabalha com imagens com ângulos de incidência e órbitas diferentes. Um fato que chama atenção é que foram pesquisadas imagens de uma mesma época. Acredita-se que, trabalhando com épocas diferentes e com multisensores, será possível obter dados ainda mais refinados na separação de unidades litológicas.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Threetek por ceder provisoriamente o programa PCI, utilizado no processamento das imagens de SAR. Ao pesquisador Antônio Carlos Gomes da Embrapa Cerrados pelo auxílio na análise estatística.

Referências bibliográficas

- Amaral, S. e Shimabukuro, Y.E. 1997. Sensoriamento Remoto por Radar (SAR): Pré-processamento de imagens RADARSAT ("Fine Mode") na região da Floresta Nacional do Tapajós. In: *Proceedings of the First latino-American Seminar on Radar Remote sensing - Image Processing Techniques*, Buenos Aires, Argentina, 1996. ESA, SP-407, march. 37- 42.
- Dias, B.F.S., 1992. Cerrados: uma caracterização. In: DIAS, B.F.S. (Ed.) *Alternativas de Desenvolvimento do cerrado: Manejo e Conservação dos Recursos Renováveis*. Brasília,. IBAMA e FUNATURA. P. 11-25.
- Eiten, G. 1994. Vegetação do Cerrado. In: NOVAES PINTO, M. (org.). *Cerrados: Caracterização, Ocupação e Perspectivas*. Editora da Universidade de Brasília, Brasília, , cap.1, p. 17-73.
- Elachi, C. 1987. Introduction to the physics and techniques of remote sensing. Pasadena, John Wiley Ed. 237 p.
- EMBRAPA. 1978. Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Distrito Federal, *Boletim Técnico*, nº 53, SNLCS, Rio de Janeiro. 455 p.
- Evans, D. L. 1992. Geological process studies using Synthetic Aperture Radar (SAR) data. *Episodes*, Vol. 15, nº 1, 21-31 pp.
- Fuck, R.A. A Faixa Brasília e a compartimentação tectônica na Província Tocantins. In: SBG, Simp. Geol. Centro-Oeste, 4, Brasília, 1994, *Anais*, 184-187.
- Guimarães, E.M. 1997. Estudos de Proviência e diagênese com ênfase na caracterização dos filossilicatos dos Grupos Paranoá e Bambuí, na região de Bezerra – Cabeceiras (GO). *Tese de Doutorado*. Instituto de Geociências/ UnB. Brasília, 270 p.
- Henderson, F.M. e Lewis, A.J. 1998. Principles & Applications of Imaging Radar: Manual of Remote sensing. Third editon, American Society for Photogrammetry and Remote sensing, , Volume 2. 656 pg.
- Krejci, L.C.; Fortunato, F.F. e Corrêa, P.R.S. 1982. *Pedologia: Levantamento Exploratório de Solos*. In: RADAMBRASIL., V. 29: 297-460.
- Mahmood, A., Parashar, S e Srivastava, S. 1999. RADARSAT data applications: radar backscatter of granitic fácies, the Zaer pluton, Morocco. *Journal of Geochemical Exploration* 66: 413-420.
- Ribeiro, J.F. e Walter, B.M.T. 1998. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: Sano, S.M. & Almeida, S.P. de. *Cerrado: ambiente e flora*. EMBRAPA/Cpac, Planaltina, DF. 1998. Cap. III, pags. 87-166.
- Sabins JR., F.F. 1983. Geologic Interpretation of Space Shuttle radar Images of Indonesia. *Am. Assoc. Petrol. Geol.*, v.67/11. November 1983. 2076-2099
- SAS. 1990. User's guide. Vol. 2. GLM-Varcomp. Version 6, Third Edition. 1290 p.
- Shepherd, N. 1998. Extraction of Beta Nought and Sigma Nought from RADARSAT CDPF Products. Altrix Systems. *Report n° AS97-5001*. 15 p.
- Siegel, S. 1975. *Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento*. Ed. McGraw-Hill, Inc.350 p.
- Silva, S.B.da e Assis, J.S. 1982. Vegetação: As regiões Fitoeológicas, sua Natureza e seus Recurso Econômicos. In Projeto RADAMBRASIL. Folha SD.23. Brasília. Rio de Janeiro. págs. 461- 528.
- Trevett, J.W. 1986. *Imaging radar for resources surveys: Remote Sensing Applications*. New York, NY, Chapman and Hall Ed., 1986, 313 p.
- Ulaby, F.T; Batlivala, P.B. e Dobson, M.C. 1978. Microwave Backscatter Dependence on Surface Roughness, Soil Moisture, and Soil texture: Part I – Bare Soil. *IEEE Transactions on Geoscience Electronics*, Vol. GE-16, nº 4, October, 286-295.

Ulaby, F.T; Bradley, G.A. e Dobson, M.C. 1979. Microwave Backscatter Dependence on Surface Roughness, Soil Moisture, and Soil texture: Part II – Vegetation-Covered Soil. *IEEE Transactions on Geoscience Electronics*, Vol. GE-17, nº 2, April, 33-41.

Ulaby, F.T; Kouyate, F.; Fung, A.K. & Sieber, A.J. 1982. A backscatter model for a randomly perturbed periodic surface. *IEEE Trans. Geosci. And Remote Sensing*. Vol.20 (4): 518-528.

Tabela 1 – Valores médios do coeficiente de retroespalhamento das unidades geológicas estudadas nas imagens de SAR analisadas

Dados			Imagens	
Unidades			RADARSAT S2	RADARSAT S7
Cobertura Tércio-Quaternária	Água		-12,43	-21,23
	Vegetação Nativa		-5,64	-13,93
	Uso Agrícola		-5,51	-13,66
Grupo Bambuú	Três Marias	Superfície	-6,43	-14,41
		Escarpa	-7,46	-13,80
	Serra da Saudade	Superfície	-6,27	-14,72
		Escarpa	-6,75	-11,61
	Lagoa do Jacaré		-5,51	-11,27
	Serra de Santa Helena		-6,29	-11,58
	Sete Lagoas		-5,30	-10,56
	Formação Jequitaí		-6,17	-10,30
Grupo Paranoá	Ritmito Superior		-5,67	-11,32
	Arcóseo		-3,50	-9,24

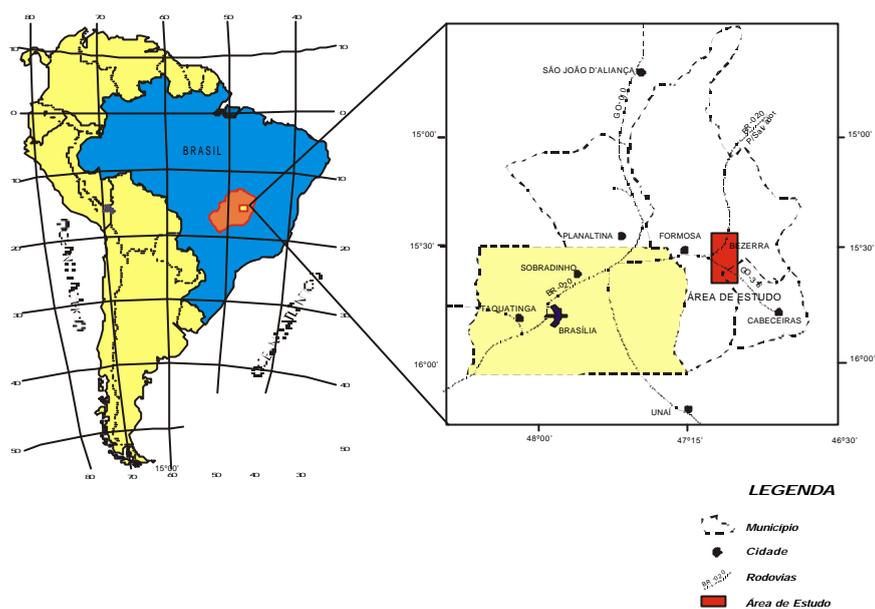


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.

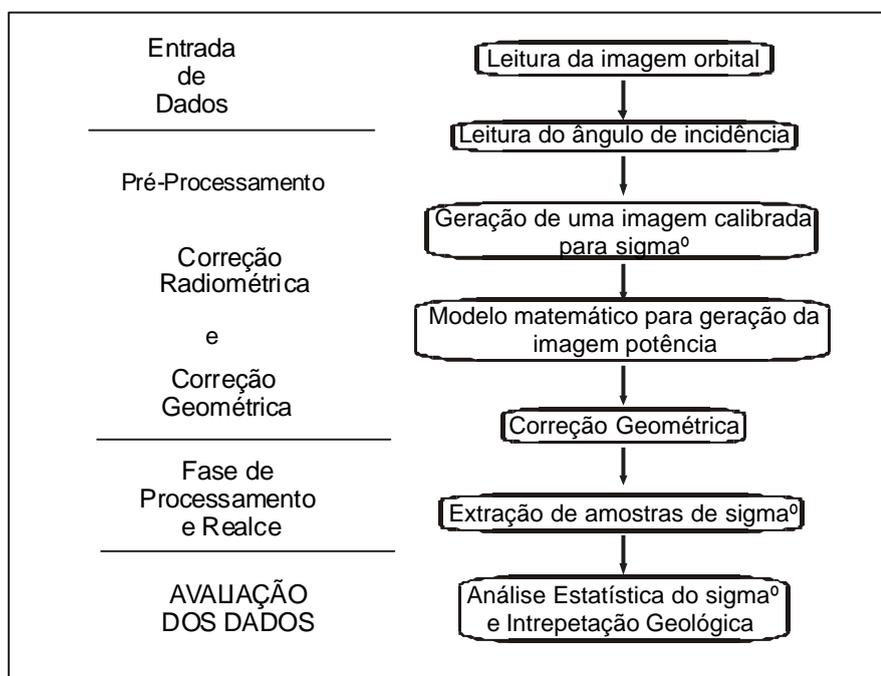


Figura 2 – Fluxograma das etapas do cálculo de σ^0 para imagens RADARSAT.

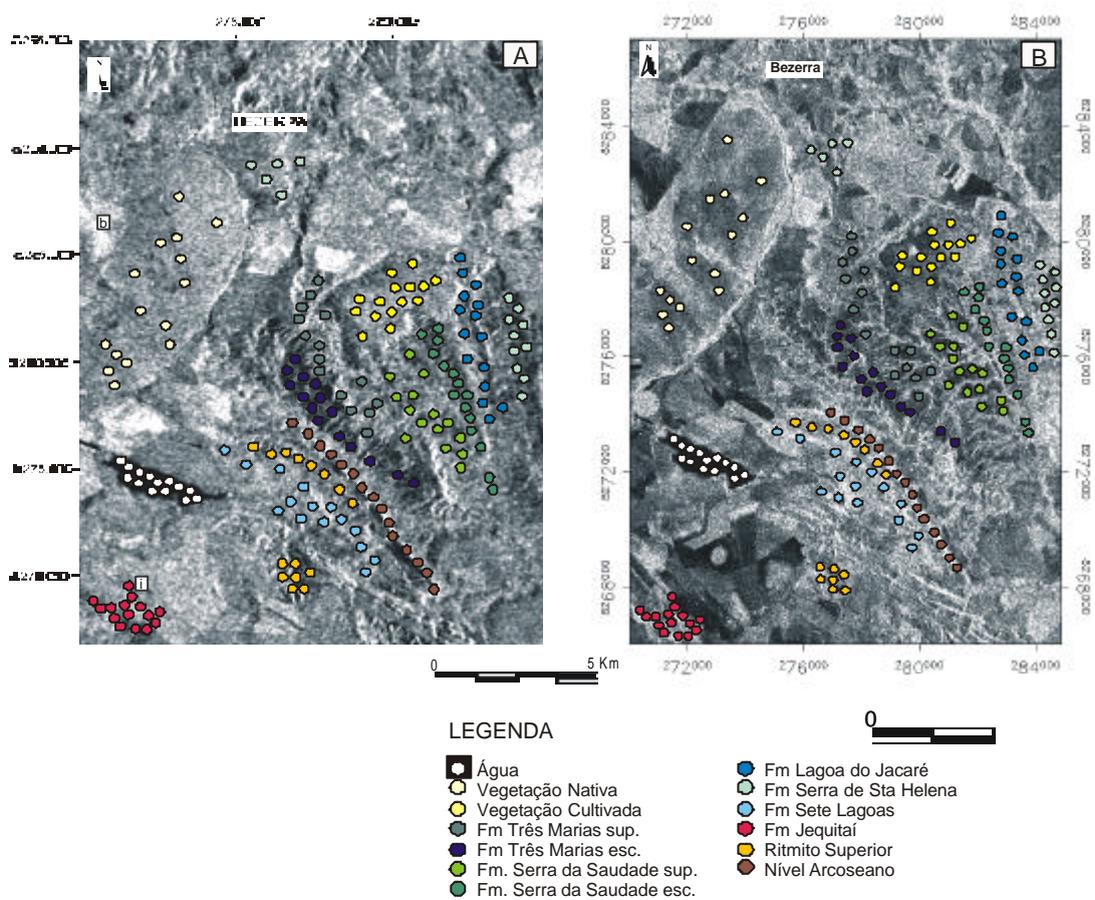


Figura 3 – Imagens RADARSAT S2 (A) e RADARSAT S7 (B) com amostras de ϕ° .