

As imagens do SAR multipolarimétrico R99B – SIPAM na caracterização de fácies e estruturas da Suíte Pedra Branca (maciços Mocambo e Pedra Branca, Nova Roma-GO)

Tati de Almeida ⁽¹⁾
Paulo Roberto Meneses⁽¹⁾
José Oswaldo de Araújo Filho⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidade de Brasília – UNB / IG
{tati_almeida, pmeneses, oswaldo@unb.br}

Abstract

This paper is a survey that aims to test the use of multipolarimetric radar for facies discrimination, carried out on the Pedra Branca Suite (Mocambo and Pedra Branca bodies) in Nova Roma region (GO). Image was collect using the R99B airplane-SIPAM Project - in mode QUAD L + X and with a high spatial resolution (3 meters). A homologous region for backscattering, structural characteristics and roughness features allows the individualization of two different facies in Mocambo and six facies in Pedra Branca Intrusion.

Palavras-chave: Radar multipolarimétrico, geologia, Suíte Pedra Branca, polarimetric radars, geology, Pedra Branca suite.

1. Introdução

Os sensores SAR multipolarimétricos embarcados nas três aeronaves R99-B que prestam serviços ao Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM), estão adquirindo dados para a comunidade científica desde meados de 2005 e, devido a este curto período de operação, são poucos os trabalhos sobre a utilização deste tipo de dado para mapeamento geológico e estrutural de áreas no Brasil.

Trabalhos de Lima (1995), Carvalho (1997), Paradella *et al.* (2000, 2005), demonstram o sucesso na utilização de dados dos radares RADAM Brasil, Radarsat, JERS-1, Shuttle, entre outros na exploração mineral e no mapeamento geológico-estrutural. No entanto, ainda são poucos os trabalhos que utilizam a multipolarimetria como principal ferramenta na diferenciação litológica e delimitação de estruturas.

Neste trabalho foi utilizado os dados do radar multipolarimétrico, banda L (SIPAM) com alta resolução espacial do aerolevanteamento da região do município de Nova Roma- GO (convênio UNB/ COMGAR), para a caracterização fáciesológica, litológica e deformacional nos granitóides Mocambo e Pedra Branca que fazem parte da Província estanífera do Estado de Goiás (Marini e Botelho 1986).

2. Aerolevanteamento Nova Roma

A região de Nova Roma (GO) está localizada a nordeste do estado de Goiás (Figura 1) e dista aproximadamente 400Km da cidade de Brasília.



Figura 1: Localização do aerolevanteamento Nova Roma (em vermelho tracejado).

Esta região é bastante atrativa ao estudo piloto do comportamento das imagens SAR/R99B, pois apresenta grande variedade de litotipos aflorantes (xistos carbonosos e gnaisses da Fm. Ticunzal, granitos peraluminosos da Suíte Aurumina, diorito Nova Roma, granitos da Suíte Pedra Branca, seqüências metassedimentares e metavulcânicas do Grupo Araí e metassedimentos do Grupo Bambuí) (Alvarenga *et al.*, no prelo). Além destes fatos, a topografia da região é bastante acidentada e os sistemas geomorfológicos presentes apresentam correlação direta com as variações litológicas aflorantes.

O aerolevanteamento Nova Roma foi estabelecido através do convênio UNB/ COMGAR, e as imagens foram adquiridas em dezembro de 2005, perfazendo três faixas de direção N-S no modo operacional QUADL+ X (04 polarizações na banda L e 01 polarização HH na banda X) com 3m de resolução espacial e ângulo de incidência variando de 40° a 70°, do near ao far range (figura 2). O pré-processamento dos dados brutos foi realizado pela

Unidade Aérea (2°/6° GAV) utilizando-se programa GSP- Ground SAR Processor. O pós-processamento (mosaicagem dos *frames*, correção de antena, rotação de faixa, mosaicagem de segmentos e filtragem) foi realizado no *software* ENVI®.

3. Granitos Pedra Branca e Mocambo

Os maciços Pedra Branca (MPB) e Mocambo (MM) são corpos em cúpulas que se destacam morfológicamente dos relevos arrasados da Suíte Aurumina (embasamento), figura 2.

Estes granitos, atualmente foram englobados na Suíte Pedra Branca proposta por Botelho *et al.* (2006), para designar os granitos ou parte deles conhecidos anteriormente como granitos estaníferos de Goiás (Marini & Botelho 1986), granitos tipo A g1 e g2 (Botelho *et al.* 1992) e Suíte Paranã (Lacerda Filho *et al.* 1998). Ocorrem dois grupos de granitos quimicamente distintos na Suíte Pedra Branca (*e.g.* Pimentel *et al.* 1991, Teixeira 1992, Botelho e Moura 1992), denominados por Botelho *et al.* (2006) de PP4γ4pb1 e o PP4γ4pb2. Ambos incluídos na suíte de idade estateriana entre 1.74- 1.77 Ga.

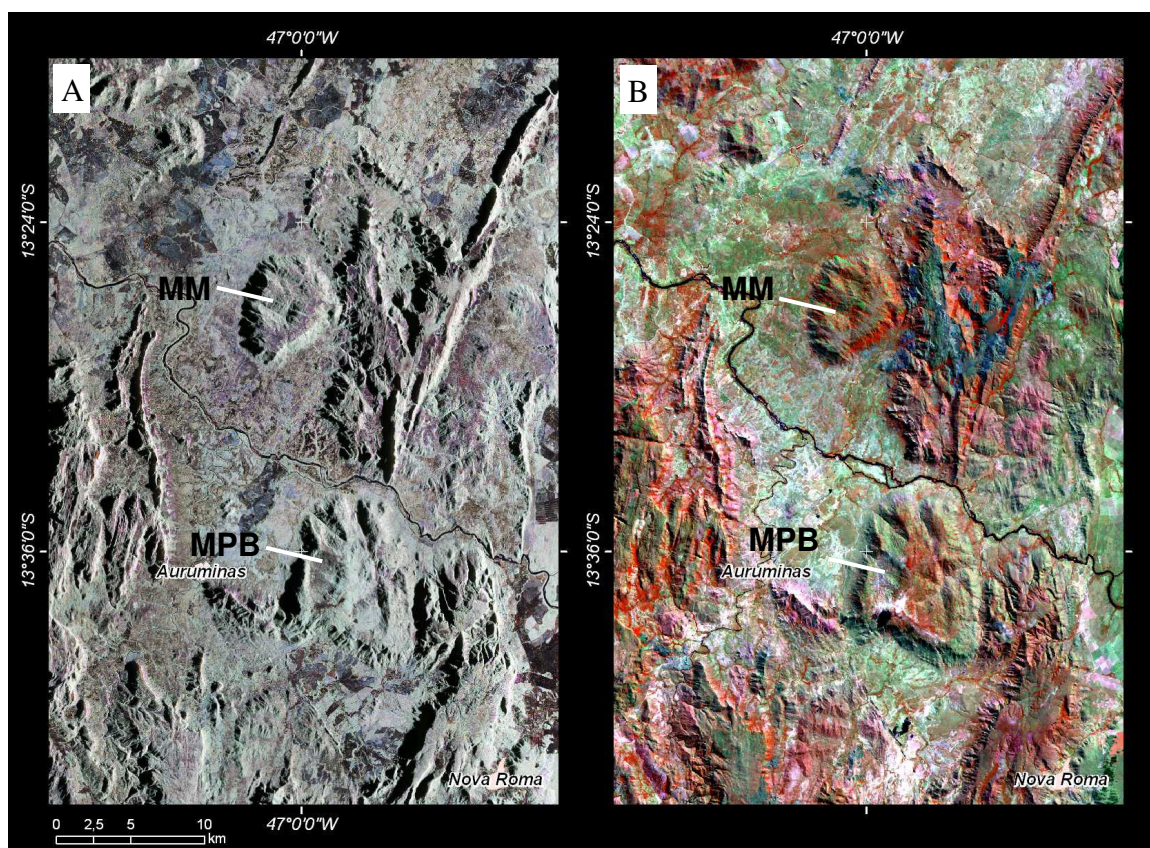


Figura 2: (A) Imagem SAR HH/VH/VV dos três segmentos segmentos mosaicados do aerolevantamento Nova Roma demonstrando o posicionamentos e a geomorfologia dos maciços Mocambo (MM) e Pedra Branca (MPB) (B) Imagem Landsat 4/5/3 da mesma área com a distribuição da cobertura vegetal

Os granitos PP4γ4pb1 são predominante no contexto da Suíte Pedra Branca e constituem grande parte dos maciços em questão. Possuem composição de biotita granito com texturas rapakivíticas e granofíricas. Os granitos PP4γ4pb2 são associados aos processos mineralizadores que deram origem aos depósitos de estanho nesta suíte; são representados por leucogranitos com mica litinífera.

A ascensão destes plútons graníticos deu-se cogeneticamente a instalação do *rift* Araí de idade aproximada de 1.77Ga (U-Pb) datados por Pimentel *et al.* (1991) em riolitos da base

do Grupo Araí. Idade TDM de 2,5 e 2.6 Ga em corpos graníticos associados a suíte Pedra branca e basaltos de unidades basais do Grupo Araí confirmam a associação de uma mesma fonte magmática para as rochas plutônicas e vulcânicas, ou seja, os magmas têm sua origem a partir de uma mesma câmara magmática.

Estudos em escala de semi-detulhe (1:50.000) foram realizados por trabalhos finais de graduação do curso de geologia da UNB nos anos de 2000 e 2005, quando foram tentativamente mapeados por análises petrográficas e químicas de rochas deiferenciacoes faciológicas.

4. Estruturação regional

A feição estrutural que configura a disposição de todas as unidades geológicas da área e em toda a extensão do *rift* Araí é a distribuição de faixas lineares em Y (camadas, foliações e plútons) nas direções NS com ramificações e/ ou inflexões para NE e NW, muito bem marcadas nas imagens de radar. A origem das junções em Y deve-se, como hipótese, a atuação dos esforços compressoriais dúctil/ rúptil E-W que gerou direções regionais de cisalhamento, e que também se deve as formas dômicas mais ou menos elípticas dos maciços graníticos. Estes maciços são plutons graníticos em parte isotrópicos a fracamente foliados cortados por zonas de cisalhamento locais e sistemas de fraturas NE e NW.

Junto aos maciços à foliação cisalhante aparenta acomodar-se aos limites ou podem mesmo representar mudanças na direção C cisalhante para R e de R para C, como demonstra o esquema da Figura 3.

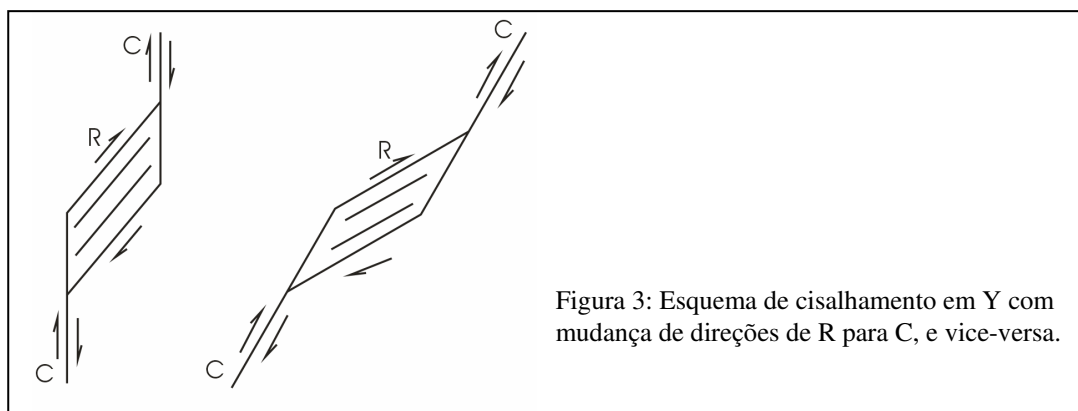


Figura 3: Esquema de cisalhamento em Y com mudança de direções de R para C, e vice-versa.

A foliação regional C é preferencialmente subvertical, muitas vezes conjugada em forma anastomosada com a foliação S.

5. Filtragem das imagens SAR

O sistema SAR de imageamento é coerente e o sinal retroespalhado exibe um tipo de ruído inerente denominado *speckle*. O efeito deste tipo de ruído causa um aspecto granuloso às imagens, muito semelhante a uma textura de “sal e pimenta”. Este problema é mais intenso em imagem com alta resolução espacial, o que dificulta a interpretação visual.

Devido a este fator, os *subset's* SAR dos maciços Mocambo e Pedra Branca foram submetidos à filtragem para a supressão deste tipo de ruído. Foram testados os filtros *Lee* (Lee 1980), *Lee Enhanced* (Lopes 1990), *Frost* (Zhenghao 1994) e *Frost Enhanced* (Lopes 1990) com janelas 3x3 e 5x5.

No processamento de imagens quando se reduz indiscriminadamente a alta frequência há perda de resolução da imagem, pois as altas frequências estão associadas aos detalhes finos (alta resolução) da imagem. Os filtros de janela 5x5 testados resultaram em grande perda da

qualidade espacial da imagem por diminuir em demasia as características de borda da imagem.

Seguindo a metodologia de desempenho de filtros redutores de *speckle* de Sant'Anna & Masacarenhas (1996), optou-se pela utilização da filtragem Lee Enhanced janela 3x3 para ambas as imagens.

6. Interpretação

6.1 Maciço Pedra Branca

O maciço Pedra Branca possui formato elíptico com dezesseis quilômetros na extensão E-W e vinte e dois quilômetros na direção N-S. Três importantes lineamentos truncam o maciço em toda a sua dimensão (Figura 4). O primeiro, mais evidente na porção sudoeste do maciço, apresenta um *offset* devido a um rejeito por falhamento que secciona medianamente o granito na direção N55E. A imagem SAR sugere que este falhamento possui uma componente direcional de caráter sinistral. O segundo, melhor observado na porção NW, apresenta direção N45W e também trunca o maciço em toda a sua extensão. O terceiro e último lineamento tem direção N-S e está evidenciado no centro do maciço. As relações de cruzamento destes três alinhamentos sugerem que o de direção NS e o N55E “cortam” o de direção N45W, fato este que necessita ser comprovado em campo.

A estatística das polarizações (valores mínimos, máximos, média, desvio padrão e correlação) desta cena está expressa na tabela 1.

Há alta correlação entre as polarizações cruzadas HV e VH e conseqüentemente as imagens apresentam pouca diferenciação. Estas polarizações apresentam um alto retroespalhamento na área de ocorrência do maciço Pedra Branca, provavelmente relacionada em parte ao espalhamento volumétrico da vegetação e da inclinação e direção das vertentes frontalizadas a direção de iluminação. Identificam-se áreas dentro do maciço onde o sinal de retorno é menor (porção sudoeste do granito); tais áreas estão relacionadas com o afloramento de fácies do granito onde a presença de vegetação é escassa.

Tabela 1: Estatística das bandas HH, HV, VH e VV e matriz de correlação entre as bandas no subset do maciço Pedra Branca.

Bandas	HH	HV	VH	VV
Valor Mínimo	4	30	28	36
Valor Máximo	9442	2511	2505	7908
Média	1218.41464	630.55152	632.45998	1139.25417
Desvio Padrão	626.078109	313.48999	314.94955	554.883879

Correlação	HH	HV	VH	VV
HH	1.00000	0.90701	0.90711	0.90001
HV		1.00000	0.99948	0.90581
VH			1.00000	0.90603
VV				1.00000

As polarizações paralelas HH e VV apresentam menor correlação; nas regiões de baixo retroespalhamento para as polarizações cruzadas (áreas mais escuras no extremo sul da imagem) são observadas regiões desmatadas. Dentro destas regiões, áreas que apresentam uma vegetação com estrutura predominantemente vertical (p.ex. gramíneas), apresenta retroespalhamento maior para a polarização VV quando comparada a HH (na Figura 4 estas áreas estão em tons azulados). O retroespalhamento também é maior nesta polarização no curso do rio Paranã que atravessa a imagem no extremo nordeste. A polarização HH identifica feições lineares locais na porção NW do maciço com direções próximas a N-S.

A interpretação das imagens multipolarimétricas (Figura 4) permitiu delimitar as áreas de diferentes faciologias que podem ser correlacionadas as determinadas pelas análises petrográficas e químicas obtidas no mapeamento geológico realizados pela UNB 2005. Estas faciologias corresponderiam as litotipos graníticos: A- Fluorita biotita sienogranito rosa , B – Leucogranito rosa a branco equigranular a porfirítico, esverdeado quando greissenizado , C-

Biotita sienogranito de borda, D- Biotita sienogranito rosa, localmente leucogranito, equigranular a porfirítico com matriz grossa a muito grossa , E- Biotita sienogranito rosa a cinza, porfirítico com matriz de granulação grossa a muito grossa.

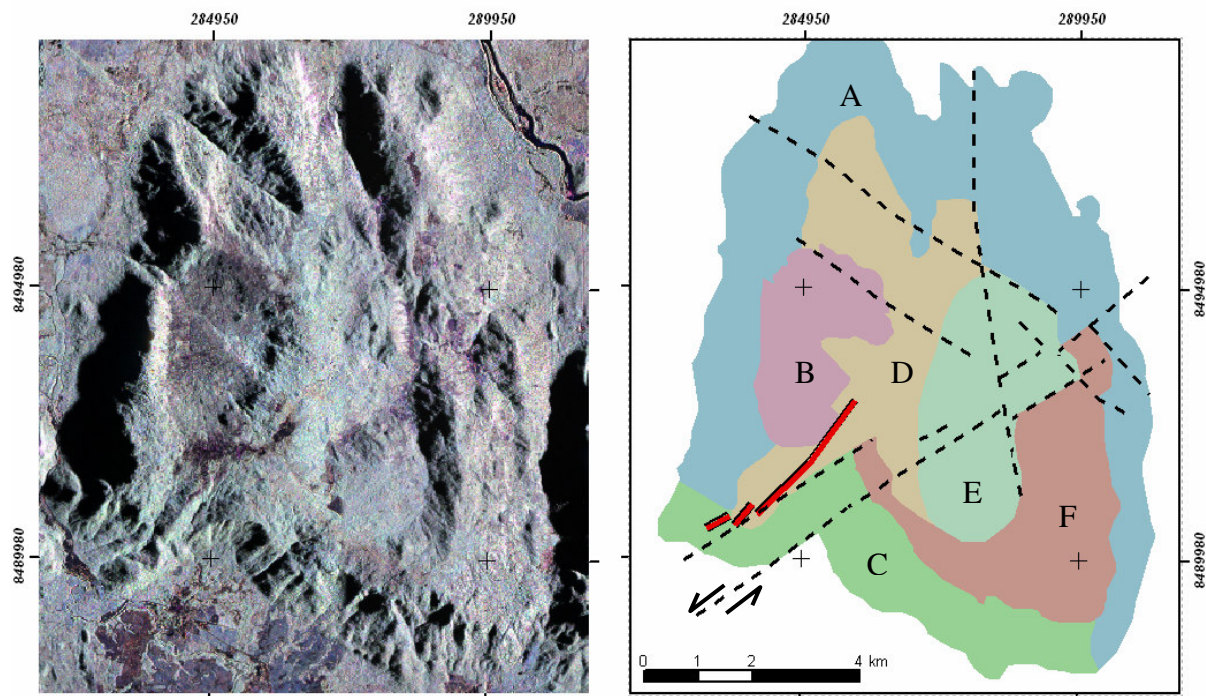


Figura 4: (1) Imagem SAR HH/VH/VV do maciço Pedra Branca. (2) Mapa das fácies graníticas(A à F) interpretadas da imagem SAR (em traçado vermelho mapeada pela UNB 2005 mineralizada em Sn).

A análise das quebras positivas e negativas de relevo e dos lineamentos estruturais da imagem RGB (Figura 4) possibilitou a separação de seis zonas homólogas texturais de relevo (ZH) controladas por três parâmetros: retroespalhamento, rugosidade e grau de estruturação (Tabela 2).

Tabela 2: Zonas homólogas na Figura 4 e suas características

	RETROESPALHAMENTO	RUGOSIDADE	GRAU DE ESTRUTURAÇÃO
ZH - A	Alto em todas as polarizações	Alta	Forte
ZH - B	Baixa nas polarizações cruzadas e médias nas paralelas	Baixa	Fraca
ZH - C	Média-baixo em todas as polarizações	Alta	Forte
ZH - D	Alta em todas as polarizações	Baixa	Forte
ZH - E	Média em todas as polarizações	Baixa	Média
ZH - F	Média -alta em todas as polarizações	Baixa	Fraca

6.2 Maciço Mocambo

O maciço Mocambo possui formato arredondado e dimensões menores do que o Granito Pedra Branca (diâmetro aproximado de 7Km). Devido à direção de voo o contato oeste do granito está encoberto pelo sombreamento do radar. Geologicamente, este maciço distingui-se do Pedra Branca por não ser estanífero e faciologicamente mais homogêneo.

Este maciço apresenta um grau de estruturação forte e de segunda ordem com fraturamentos rúpteis predominantes na direção N55W que truncam uma foliação de direção N15E (Figura 5). Um fraturamento bastante importante também ocorre no centro do corpo com esta mesma direção.

A estatística entre as polarizações da imagem do maciço Mocambo também demonstra uma alta correlação entre as polarizações cruzadas, maior que 99%, e correlações de 90% entre as polarizações paralelas e cruzadas (Tabela 3).

Tabela 3: Estatística das bandas HH, HV, VH e VV e matriz de correlação entre as bandas no subset do maciço Mocambo.

<i>Bandas</i>	<i>HH</i>	<i>HV</i>	<i>VH</i>	<i>VV</i>
<i>Valor Mínimo</i>	45	32	29	35
<i>Valor Máximo</i>	17840	2790	2790	17501
<i>Média</i>	1138.13357	572.76923	573.71447	1057.60857
<i>Desvio Padrão</i>	652.148399	313.08309	314.60870	572.028804

<i>Correlação</i>	<i>HH</i>	<i>HV</i>	<i>VH</i>	<i>VV</i>
<i>HH</i>	1.00000	0.90324	0.90334	0.90569
<i>HV</i>		1.00000	0.99965	0.89086
<i>VH</i>			1.00000	0.89117
<i>VV</i>				1.00000

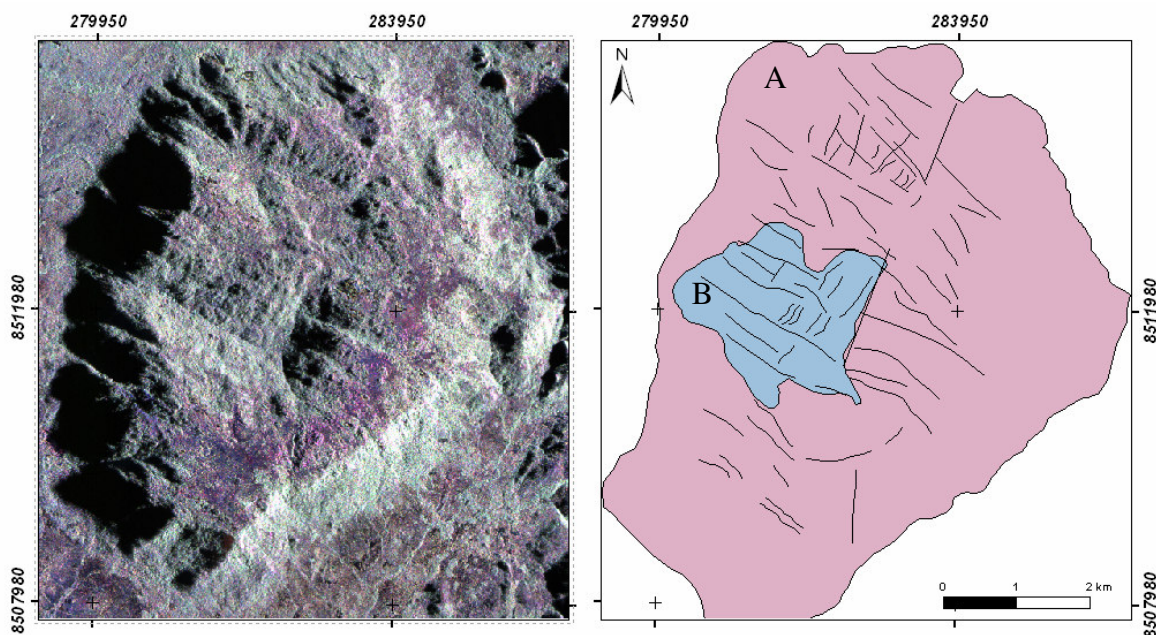


Figura 5: (1) Imagem SAR HH/VH/VV do maciço Mocambo. (2) Mapa das fácies graníticas(A e B) interpretadas da imagem SAR.

Tabela 4: Zonas homólogas e suas características

	<i>RETROESPALHAMENTO</i>	<i>RUGOSIDADE</i>	<i>GRAU DE ESTRUTURAÇÃO</i>
ZH - A	<i>Alto para as polarizações HH e VV</i>	<i>Média</i>	<i>Média</i>
ZH - B	<i>Constante para todas as polarizações</i>	<i>Alta</i>	<i>Forte</i>

Duas regiões com diferentes retroespalhamento podem ser claramente distinguíveis neste maciço. Uma primeira, predominante, apresenta alta resposta nas polarizações paralelas HH e VV (tons azulados e magenta na Figura 5) e outra com retroespalhamento constante em todas as polarizações, onde são melhor observados os lineamentos N55W.

A imagem, a interpretação e as características individuais de cada fácies encontram-se na Figura 5 e tabela 4.

5. Conclusões

Os dados do sensor SAR do SIPAM apresentaram muito boa relação sinal/ruído e, apesar do aerolevanteamento ser de alta resolução espacial (3m), a utilização de filtro Lee Enhanced janela 3x3 reduziu consideravelmente o ruído *speckle* sem a perda de resolução.

As imagens dos maciços Pedra Branca e Mocambo mostraram alta correlação entre o retroespalhamento nas polarizações, fato que reduziu o contraste de cores na composição multipolarimétrica. Devido a isto, a interpretação foi baseada nas variações texturais dos elementos de relevo. A alta resolução espacial da imagem de 3m possibilitou desta forma o mapeamento de diferentes faciologias, sobretudo no maciço Pedra Branca.

Nas imagens há realce para os lineamentos Y; as zonas de cisalhamento N55W e N45E sugerem formas de pares conjugados, no entanto, é necessário trabalhos de campo para a confirmação deste fato.

Apesar destes dois granitos pertencerem à mesma suíte (Suíte Pedra Branca) as características de retroespalhamento, rugosidade e grau de estruturação dos mesmos são bastante distintas. O maciço Mocambo apresenta estruturação predominantemente N55W e duas regiões com retroespalhamento distintas. Já o maciço Pedra Branca apresenta direção de estruturação ora para N40W e ora N55E, além disto, podem ser delimitadas seis zonas homólogas distintas através de diferentes tipos de retroespalhamento, rugosidade e grau de estruturação.

6. Bibliografia

Alvarenga, C.J.S. de; Dardenne, M.A.; Botelho, N.F.; Machado, M.A.; Lima, O.N.B.; Almeida, T.. Relatório Final das Folhas Monte Alegre, Cavalcante e Nova Roma. Programa Geologia do Brasil (PGB/LGB), Convenio UNB/FINATEC/CPRM 2006. **no prelo.**

Botelho, N.F.; Alvarenga, C.J.S. de; Dardenne, M.A.; Machado, M.A.; Almeida, T.. Carta Geológica escala 1:100.000, Folha SD.23-V-C-V Cavalcante. Programa Geologia do Brasil. Convenio UNB/FINATEC/CPRM 2006. **no prelo.**

Carvalho, A.S.. Integração **de imagens de radar/JERS-1, TM/Landsat e geofísicas para o mapeamento geológico da porção nordeste de Roraima, Brasil.** 1997. 250p. (UNB) Tese de doutorado- Universidade de Brasília, Brasília, 1997.

Latrubesse E.M., Carvalho, T.M., Stevaux J.C.. Mapa Geomorfológico do Estado de Goiás. Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração, **Relatório Final**, Goiânia, 2005, 85p.

Lee, Jong-Sen, "Digital Image Enhancement and Noise Filtering by Use of Local Statistics," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol PAMI-2, No.2, March 1980, pp. 165-168.

Lopes, A., R. Touzi, and E. Nezry, 1990. "Adaptive Speckle Filters and Scene Heterogeneity", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 28, No. 6, pp. 992-1000.

Paradella, W.R., Santos, A.R.dos, Veneziani P., Cunha, E.S.P. Radares Imageadores nas Geociências: Status e Perspectivas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12, 2005, Goiânia, **Anais...**, São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 1847-1854.

Paradella W.R. Santos A.R. Venezianni P. Sant'Anna M.V. Morais M.C. Geological Investigation Using RADARSAT-1 Images in the Tropical Rain Forest environment of Brasil. **Canadian Journal of Remote Sensing.** 26:2, 82-89, 2000.

Sant'Anna, S.J.S., Mascarenhas N.D.A. Comparação do desempenho de filtros redutores de "speckle". In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 8, 1996, Salvador, **Anais...**, São José dos Campos: INPE, 1996. Artigos, p.871-877.

Toutin T. & Rivard B. A new tool for depth perception of multi-source data, **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Vol. 61, No. 10, 1209-1211, 1995.

Zhenghao Shi and Ko B. Fung, "A Comparison of Digital Speckle Filters," Proceedings of IGARSS 94, August 8-12, 1994, pp. 2129-2133.