

O tempo gasto para a elaboração desta base de dados desde a fase de escanização até a edição dos quatro mapas fundidos foi de aproximadamente 5 meses, em decorrência das correções de hipsometria e altimetria existentes nas cartas obtidas.

Uma vez sanada as dificuldades inerentes à vetorização, os arquivos digitais na forma matricial (vetor x,y), deverão ser concatenados e convertidos para o formato raster (pixel). O produto final será a criação de um modelo digital de terreno (MDT) onde serão determinadas as bacias anômalas em elementos menores, considerados traçadores na prospecção geoquímica.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FERGUNSON, C.W - 1993 - *Conversion In: Profiting from a Geographic Information System*. Edited H.Castle III (editor), chapter 15, pp.275-296, GIS World Books
- QUINTANILHA, J.A - 1995 - *Entrada e conversão de dados: Processo de Construção de Bases Digitais de Dados Espaciais*, In: III Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, Anais, pp 24-34
- FILHO, H.A.G - 1994 - *Metodologias para Intercambio de Dados entre Programas de CAD, SGBD, PDI e SGI em Projetos de Exploração Mineral* - Dissertação de Mestrado, Unicamp - Instituto de Geociências, 135p.

## AVALIAÇÃO DE IMAGEM RADAR (SAR) ERS-1 NO MAPEAMENTO GEOLÓGICO DA REGIÃO DO DUPLEX SALOBO-MIRIM, PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS

*Pedro Alberto Bignelli  
Waldir Renato Paradella  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE*

---

### INTRODUÇÃO

Os sensores imageadores radar têm demonstrado ser uma importante ferramenta na aquisição de informações na região Amazônica, devido sua capacidade de imagear por através das nuvens, (Silva et al. 1974; Paradella et al. 1993). Dentre as pesquisas com sensores microondas, a mais recente foi o Projeto SAREX, que tratou da simulação dos sistemas RADARSAT e ERS-2, através de um SAR aeroportado, com diversas geometrias de aquisição de dados sobre a Floresta Tropical

Úmida na Amazônia. Simultaneamente ao referido projeto em 1992, foram coletadas imagens do radar orbital europeu ERS-1. Escassas são as referências sobre este tipo de imageamento, podendo ser citado um estudo de Singhroy et al. 1993, no Canadá, o qual reporta bom desempenho da imagem do radar ERS-1 no mapeamento geológico.

Dentro deste contexto, o presente estudo tem como objetivo, avaliar o desempenho do sensor radar a bordo do ERS-1 quanto ao mapeamento geológico, de uma área da Província Mineral de Carajás denominada Salobo 3 Alfa e, com base nos resultados da fotointerpretação, contribuir para o conhecimento geológico da área alvo.

## CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

Este estudo focaliza uma área de 1.700 km<sup>2</sup> situada a sudeste do Pará e inserida entre as coordenadas geográficas 5°40 a 5°55 de latitude sul e 50°00 a 50°32 de longitude oeste.

### Contexto Geológico Regional

Ao norte da Serra de Carajás, Siqueira e Costa (1991), caracterizaram o Sistema Transcorrente Cinzento como sendo formado por vários feixes de cisalhamento sinistrais, constituindo uma fração da evolução do Cinturão Itacaiúnas, no final do Arqueano. Ao longo deste sistema reconhece-se duplex compressivos e distensivos, além de estruturas em rabo de cavalo, que experimentaram transtensão seguida de transpressão e deslocamentos transcorrentes durante a deformação.

O duplex distensivo Salobo-Mirim, (Siqueira, 1990), encontra-se na extremidade ~~oeste do Sistema Transcorrente Cinzento e~~ é composto por faixas e lentes de gnaisses e rochas supracrustais diversas, orientadas preferencialmente na direção WNW-ESE, com contatos definidos por meio de zonas de cisalhamento. Ao longo destas ZCs há registros de transformações mineralógicas em fácies anfibolito, ~~suportadas por assembléias de fácies xisto-verde.~~ O padrão de distribuição das unidades rochosas é decorrente da deformação não coaxial dominante, a qual impõe forte transposição e imbricação dos corpos geológicos.

A forma geral deste duplex assemelha-se a uma estrutura elíptica assimétrica, definida por uma ZC transcorrente sinistral e por uma ZC normal oblíqua curvilínea, que converge para a zona de transcorrência. Internamente, a estrutura é composta por ZCs normais secundárias, orientadas na direção NW-SE. As ZCs são caracterizadas internamente por uma foliação milonítica penetrativa que se assemelha à foliação de transposição ou bandamento composicional. Essa geometria é localmen-

te modificada por ZCs secundárias dextrais e sinistrais, com direções NNE-SSW e NW-SE, respectivamente.

Os principais conjuntos petrográficos que compõem o duplex Salobo estão descritos por Farias e Meyer, 1982; Siqueira, 1990; Lindenmayer, 1991, sendo apresentados sucintamente na sequência:

**Complexo Xingu:** As rochas desta Unidade têm ampla distribuição na área estudada, ocupando as regiões a norte e a sul das faixas de rochas supracrustais. Ocupam áreas morfologicamente arrasadas, e são compostas por gnaisses granodioríticos, graníticos, dioríticos e tonalíticos migmatizados, metassedimentos e anfibólitos. Estas rochas são bandadas, com arranjos texturais granoblásticos e granolepidoblásticos dominantes, gradando nas faixas de deformação para feições protomiloníticas a miloníticas. As associações minerais mais comuns indicam estabilidade em condições de fácies anfibólito.

**Grupo Salobo:** As rochas supracrustais são representadas por xistos (biotíticos), formações ferríferas bandadas, anfibólio xistos, gnaisses anfibolíticos, quartzita e clorita-quartzo xistos.

Morfologicamente os clorita-quartzo xistos, formações ferríferas bandadas e os xistos (biotíticos) apresentam-se com relevo movimentado formando serras alinhadas, em função do controle estrutural.

Os anfibólio xistos e gnaisses anfibolíticos são alterados, assumindo os níveis topográficos mais baixos ou preservados em meia encosta, quando protegidos por unidades mais resistentes à ação intempérica.

Finalmente, os pacotes quartzíticos destacam-se nas faixas protomiloníticas e miloníticas, organizando serras alinhadas, com escarpas íngremes em função da forte inclinação das estruturas.

Ocorrem ainda, intrusivas ácidas correlatas ao Granito Central Carajás e intrusivas básicas em forma de diques direcionados a SW-NE.

#### **CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA SENSOR ERS-1**

O satélite SAR ERS-1, têm como principais características: 1- comprimento de onda de 5,6 cm (Banda C); 2-resolução espacial a 7 "looks" de 25X25 m; 3-faixa de recobrimento de 100X100 Km; 4-ângulo de incidência médio de 23°; 5-direção de visada N78°E e 6-polarização VV.

A despeito das limitações causadas pela geometria de aquisição, especialmente o ângulo de incidência de 23°, Ford (1980), foi tomada em 24/4/92 uma imagem da região de Salobo obtida pelo ERS-1 em sua órbita descendente. Este produto foi processado nos laboratórios do INPE.

## DISCUSSÃO

Com base na extração, análise e interpretação dos elementos fotográficos (lineamentos de relevo e drenagem), do mapa-imagem ilustrado pela Figura 1; foi gerada a discussão sobre o desempenho do radar do ERS-1 dentro dos objetivos propostos.

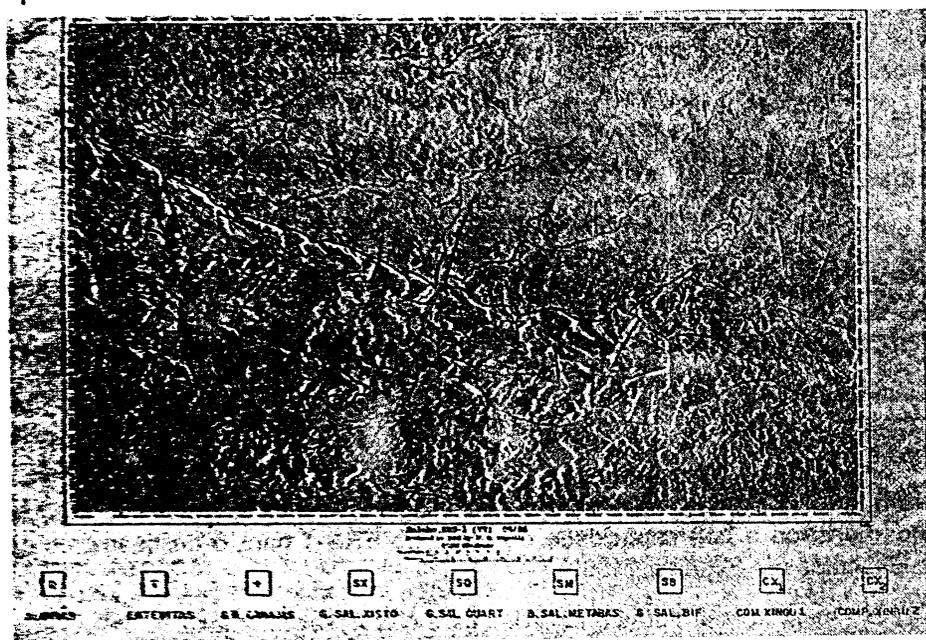


Figura 1 - Mapa Imagem ERS-1 da Área de Salobo

Como visto nas pesquisas desenvolvidas durante o Projeto BAREX, (Paradella et al. op. cit.; Bignelli, 1994; entre outros), os produtos de radares aeroportados, têm na alta resolução espacial (6m) um dos fatores que determinam a capacidade de detecção das feições do terreno. Sendo assim a resolução de 25m do ERS-1 limita a visualização de alguns detalhes na fase de fotoleitura.

Nas áreas de ocorrência do Complexo Xingu, onde o relevo é mais arrasado, pode-se distinguir duas situações: 1 - nas sub regiões de relevo movimentado, onde pode-se visualizar com clareza a rede de drenagem; e 2 - nas faixas mais planas do terreno, onde a ocorrência de "speckle" torna impraticável a fotoleitura.

Quanto à discriminação litológica, foram separadas no produto radar, 9 zonas homólogas, (Figura 1), que de certa forma são correlatas às unidades previamente mapeadas por DOCEGEO, (1988) e CPRM, (1991).

Uma contribuição ao conhecimento geológico da região, encontra-se na capacidade de discriminação de duas subunidades fisiograficamente distintas, nas áreas genericamente atribuídas ao Complexo Xingu.

Os caracteres texturais da Associação Xingu 1, são visualmente mais grosseiros e portanto devem ser interpretados como pertencentes a uma unidade mais resistente à erosão. Por outro lado, o aspecto homogêneo dos elementos texturais de relevo da Associação Xingu 2 levam à interpretação de uma área arrasada, sustentada por rochas metassedimentares e metavulcânicas, pouco resistentes à erosão.

Na região de ocorrência das rochas supracrustais do Grupo Salobo, foram diferenciadas 4 unidades, das quais se destaca a discriminação dos clorita-xistos dispostos sob forma de serras com platô achatado.

Foram também mapeadas estruturas circulares atribuídas à possíveis ocorrências de rochas intrusivas.

As coberturas lateríticas foram diferenciadas pelo formato irregular e isotropia, assim como pela tonalidade escura devido à alta densidade de cobertura vegetal.

Finalmente, a unidade Quaternária, associada às drenagens atuais, é caracterizada por terrenos planos, onde mais se visualiza o ruído "speckle". Isto torna problemática a discriminação desta unidade e a fração mais arrasada do embasamento.

No que se refere à tectônica, foi feita uma análise dos elementos estruturais, que demonstrou a boa capacidade do radar no ERS-1 para o delineamento das ZCs, descritas por Siqueira, (1990).

Destacam-se as estruturas orientadas para NW (foliação milonítica, falhas sinistrais e ZC curvilínea a norte do Duplex). Em segundo, encontram-se as feições para NE e NE-SW, e finalmente a direção EW, que representa a ZC retilínea, a qual tem pouquíssima expressão na imagem.

## CONCLUSÕES

O produto obtido pelo radar do ERS-1, na escala 1:100.000, mostrou boa correspondência às publicações prévias analisadas.

A fotointerpretação das imagens permitiu a separação de 9 unidades litológicas, deixando para as áreas de relevo mais elevado, as principais dúvidas, especialmente quanto à subdivisão estratigráfica do Gr.Salobo. Isto explica-se pelo efeito "layover" e ruído "speckle", atribuídos ao conjunto de parâmetros que caracteriza o recobrimento.

Os traços estruturais regionais foram bem definidos, exceção feita à direção N75-85°W correspondente à ZC retilínea posicionada a sul do Duplex Salobo Mi-

rim. Tal fato deve-se ao sub-paralelismo desta orientação estrutural em relação à direção de visada do sensor.

Os atributos gerais (estradas, desmatamentos etc.), tiveram sua interpretação prejudicada, pela baixa resolução espacial, efeito "layover" e, pela ocorrência de "speckle".

Para o futuro, os estudos apontam para a utilização integrada de dados multi-sensores para regiões de vasto recobrimento florestal como a área teste. Estes produtos integrados, se utilizariam das características multiespectrais dos sensores ópticos combinadas com a alta sensibilidade do radar, quanto a geometria do alvo, dando uma visão mais realística aos produtos de sensoriamento remoto.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- SIQUEIRA, J.B.1990. Organização lito-estrutural do Duplex Salobo-Mirim, Serra de Carajás. Belém, UFPA. 125p. (Publ. Interna).
- BIGNELLI, P.A.1994. Avaliação dos dados de radar (SAR) do Projeto SAREX'92 e ERS-1 em mapeamento geológico na região de Salobo, Província Mineral de Carajás. São José dos Campos, INPE 124p. (Publ. Interna).
- DOCEGEO 1988. Revisão lito-estratigráfica da Província Mineral de Carajás. In: Congr. Bras. Geol., 35. Belém, 1988. Anais, SBG, p. 11-54.
- CPRM.1991. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Serra dos Carajás, Folha SB. 22-Z-A, Pará. Brasília, NUTEC-CPRM, 70p.
- SIQUEIRA, J.B.; COSTA, J.B.S.1991. Evolução geológica do Duplex Salobo-Mirim. In: Simp.de Geol. Amazônia, 3. Belém, 1991 Anais, SBG, p.232-243.
- FARIAS, N.F.; MEYER, D.J.K. O depósito de Cu Salobo 3 Alfa, Carajás, Brasil. 1982. In: Symp. Amaz, 1. Caracas, 1982. Anais, DNP, p.529-537.
- SILVA, A.C.1974. Folha SB-22 Araguaia e Folha SC-22 Tocantins. Rio de Janeiro, DNP, 1974. (levantamento de recursos naturais, 4) 728 p.
- FORD, J.P.1980. Seasat orbital radar imagery for geologic mapping. Tennessee Kentucky Virginia. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 64 (12): 2064-2094.
- PARADELLA, W.R.; LIU, C.C.; VENEZIANI, P.; SANTOS, A.R.; BIGNELLI, P.A.; DIAS, R.R.; SINGHROY, V.H. 1993. First results from a SAR investigation (SAREX data) in the Carajás Mineral Province. In: Workshop SAREX'92, 1. Paris, 1993. *Proceedings*. Paris, ESA, p. 101-111.
- SINGHROY, V.H.; LOWMAN, P.D.; MORASSE, C.H. 1993. Preliminary analysis of ERS-1 SAR for structural and surficial mapping in the Sudbury Basin, Canadá. In: Them. Confer. Geol. Remote Sens., 19. Pasadena, 1993. *Proceedings*. Ann Arbor, MI, ERIM.
- LINDENMAYER, Z.G.; FYFE, W.S. 1991. Metamorfismo de alta temperatura e baixa pressão no depósito de Cu do Salobo: evidência de rift continental Arqueano. In: Amazon Geol. Symp., 3, 1991, Anais, p 36-48.