

**Mapeamento de lagoas naturais em ambiente florestal de platôs lateríticos – um roteiro metodológico aplicado à FLONA Carajás – Estado do Pará.**

Hermani de Moraes Vieira <sup>1</sup>

Aline Siriani Bastos <sup>2</sup>

Fernanda Ledo <sup>3</sup>

Aline Lopes Coelho <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Empresa de Pesquisa Energética – EPE/SMA  
Avenida Rio Branco, 1, 11º andar - 20090-003 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
hermani.vieira@epe.gov.br

<sup>2</sup> Companhia Vale do Rio Doce – CVRD/DIAT  
Avenida Graça Aranha, 26 - 20030-900 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
aline.bastos@cvr.com.br

<sup>3</sup> Threetek Soluções em Geomática  
Rua México, 41, 17º andar - 20031-144 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
fernanda@threetek.com.br

<sup>4</sup> Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE/DGC  
Avenida Brasil, 15671, 21041-051 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
aline.lopes@ibge.gov.br

**Abstract.** This paper describes the steps for mapping natural lagoons features in forested environment plateaus in the region of the Carajás National Forest, State of Pará. The whole study was executed in two stages: one using a radar mosaic coverage in the dry season (sep/2005 to nov/2005) and other coverage in the wet season (apr/2006 to may/2006). For such, different techniques of image processing in active and passive products of remote sensing have been applied and integrated with the thematic maps, through the use of Geographical Information Systems. With the conclusion of the project, this report considers it to be a model of computational processes that can be applied to similar regions in Brazil.

**Palavras-chave:** remote sensing, image processing, thematic mapping, sensoriamento remoto, processamento de imagens, mapeamento temático, RADARSAT, radar.

## 1. Definição e programação das imagens

Diferentemente dos sensores óticos, o Radarsat-1 não depende das condições meteorológicas e de iluminação para obter suas imagens. Com isso, regiões como florestas tropicais, áreas montanhosas e outras áreas constantemente cobertas por nuvens podem ser mapeadas regularmente usando-se este sensor. Contudo, quando se pretende extrair informações de uma imagem de radar, é necessário considerar que a mesma possui dois tipos de propriedades: as características do alvo e do instrumento sensor. Os alvos influem diretamente no sinal transmitido através de suas propriedades geométricas e dielétricas: umidade do solo, rugosidade do terreno, relevo, estrutura da vegetação e quantidade de água presente nas folhas verdes. As características instrumentais do sistema incluem frequência ou comprimento de onda, polarização, ângulo de incidência e direção de visada. Dependendo das configurações possíveis, a capacidade de discriminação de um determinado alvo na imagem pode ser melhor ou pior. Através de mais de 50 combinações de modos de operação (beam mode), ângulos de incidência (beam position) e níveis de processamento de imagem, o Radarsat-1 possibilita gerar produtos para diversas aplicações.

Em função do aspecto sazonal dos corpos d'água da região, este estudo foi estruturado em duas etapas para a aquisição das imagens. A primeira cobertura corresponde ao final do período de seca (Abril a Outubro) e a segunda ao final do período de cheia (Novembro a Março).

Tabela 1 – Calendário de aquisição das imagens Radarsat-1

No. da Cena / Estação	Data da Imagem	Modo de Operação	Ângulo de Incidência	Coordenada Central
1. Período de seca	18/setembro/2005	F3N	41.1-43.7	6°05' S / 50°41' W
2. Período de seca	25/setembro/2005	F1N	36.4-39.6	6°20' S / 50°21' W
3. Período de seca	25/setembro/2005	F1N	36.4-39.6	5°59' S / 50°26' W
4. Período de seca	05/novembro/2005	F4F	43.8-46.1	6°09' S / 50°03' W
1. Período de cheia	16/maio/2006	F3N	41.1-43.7	6°07' S / 50°40' W
2. Período de cheia	05/abril/2006	F1N	36.4-39.6	6°21' S / 50°24' W
3. Período de cheia	05/abril/2006	F1N	36.4-39.6	6°00' S / 50°29' W
4. Período de cheia	22/abril/2006	F4F	43.8-46.1	6°11' S / 50°06' W

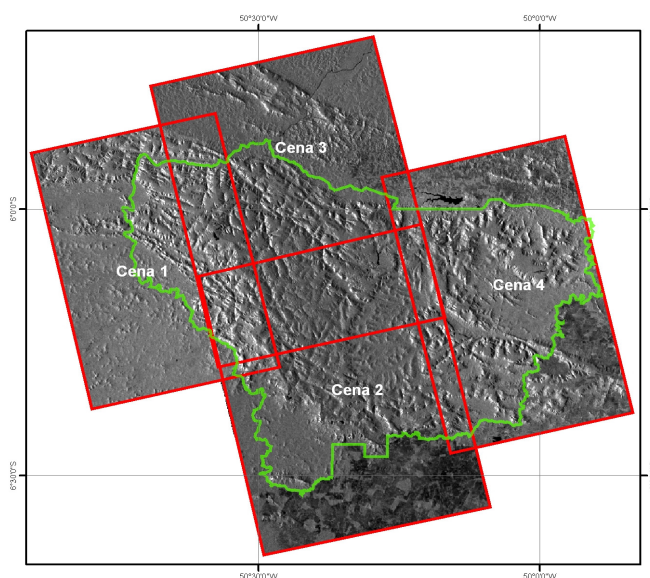


Figura 1 – Localização das cenas Radarsat-1

## **2. Escolha dos dados auxiliares para a ortorretificação das imagens Radarsat-1**

Para a execução da ortorretificação e georreferenciamento das imagens Radarsat-1, do primeiro conjunto de imagens do período de seca, foram utilizados dois conjuntos de dados de domínio público que recobriam toda a área de estudo - Mosaico GeoCover e Modelo Digital de Elevação (MDE) SRTM. Para o segundo conjunto de imagens coletadas durante o período de cheia, foram utilizados o MDE do SRTM e o mosaico de imagens Radarsat-1 ortorretificadas do período de seca.

Mosaicos GeoCover são mosaicos compactados de imagens ortorretificadas Landsat ETM+ disponibilizados pela Agência Espacial Norte Americana – NASA.

A missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) é projeto conjunto das agências norte-americanas NASA e da NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) cujo objetivo foi mapear todo o planeta em 3D. A missão utilizou dois SAR banda-X configurados como um interferômetro de base, adquirindo duas imagens ao mesmo tempo. Estas imagens, após processadas utilizando a técnica de interferometria, deram origem a Modelos Digitais de Elevação. A missão foi realizada em 2000 e coletou dados de mais de 80% da superfície da Terra, para regiões entre 60° N e 56° S de latitude. Os MDEs SRTM são representados através de uma grade de pontos cujo espaçamento é de aproximadamente 90 metros e estão sendo utilizados para gerar mapas topográficos da superfície da Terra. Estes dados em seu formato final alcançam exatidão de 20 metros (erro circular em 90%) no posicionamento horizontal e de 16 metros (erro linear em 90%) na vertical. Os dados SRTM, em formato final, constituem um produto editado através do delineamento de corpos d'água (internos e linhas de costa), remoção de picos fictícios e preenchimento de pequenas falhas, e é distribuído com espaçamento de 30 metros para os Estados Unidos e seus territórios e com espaçamento de 90 metros para o restante do mundo, na faixa de latitude mencionada acima.

## **3. Processamento dos dados**

Através do software PCI Geomatica OrthoEngine foi possível importar as imagens originais em conjunto com as informações de órbita do satélite relativas ao momento da aquisição. Esta é a primeira fase do processamento de imagens Radarsat-1.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) da área da FLONA Carajás foi gerado a partir das informações do SRTM. Para suavizar o MDE e eliminar pequenas falhas do modelo, o MDE original foi convertido para uma malha de pontos, dentro do ambiente de ortorretificação do PCI Geomatica – OrthoEngine, e a partir desta malha foi gerado um novo MDE com espaçamento de 30 metros.

### **3.1 Ortorretificação das imagens Radarsat-1**

As imagens originais (não tratadas) possuem distorções geométricas causadas por fatores como: curvatura da Terra, geometria da visada, deslocamento devido ao relevo, deformações devido ao sensor, entre outras. Em função destas distorções é desaconselhável utilizar tais imagens com o intuito de extrair informações corretamente georreferenciadas. Nesse sentido, para que as imagens Radarsat-1 pudessem ser utilizadas para interpretação, foi necessário ortorretificá-las. Para executar a ortorretificação das imagens Radarsat-1, foram utilizados como bases os dados mencionados abaixo:

- a) Modelo Digital de Elevação SRTM.
- b) Pontos de controle no terreno extraídos dos mosaicos GeoCover Landsat ETM+ (período da seca) ou do mosaico ortorretificado de imagens Radarsat-1 (período de cheia).
- c) Informações de órbita do satélite relativas ao momento da aquisição da imagem.

Todo o procedimento de ortorretificação das imagens Radarsat-1 foi executado dentro de um único ambiente do PCI Geomatica, denominado OrthoEngine. Este módulo apresenta um fluxo de trabalho que guia o usuário passo a passo durante o processamento dos dados. Cada passo apresenta as tarefas relativas a cada estágio do trabalho. As etapas a seguir são os passos necessários para a ortorretificação do conjunto de imagens.

- 1) Configuração do Projeto – definição do modelo matemático (modelo específico para Radarsat) usado para a correção.
- 2) Definição do sistema de projeção (UTM 22 SAD69) das imagens após a ortorretificação.
- 3) Importação das imagens Radarsat-1 para o ambiente OrthoEngine.
- 4) Coleta de pontos de controle – os pontos de controle no terreno (GCP) são pontos estáveis e identificáveis na imagem (por exemplo, cruzamento de estradas, junção de rios, etc.) cujas posições nos sistemas de coordenadas da imagem e do terreno são conhecidas. As coordenadas de terreno dos pontos de controle foram adquiridas a partir do mosaico GeoCover de imagens Landsat ETM+ ou do mosaico ortorretificado de imagens Radarsat-1. Estas coordenadas dos pontos de controle foram utilizadas como dados de entrada para o modelo matemático usado para a ortorretificação.
- 5) Análise dos resíduos - foram analisados os resíduos dos pontos coletados. Os pontos que apresentaram resíduos muito altos foram editados ou descartados.
- 6) Ortorectificação das imagens - utilizando os pontos de controle coletados, as informações de órbita do satélite e o MDE gerado, as imagens Radarsat-1 foram ortorectificadas.
- 7) Após a ortorectificação de cada conjunto de 04 cenas, foram definidas as linhas de corte do mosaico nas regiões onde havia menor discrepância na área de sobreposição das imagens, a fim de tornar a emenda das imagens o mais discreta possível.

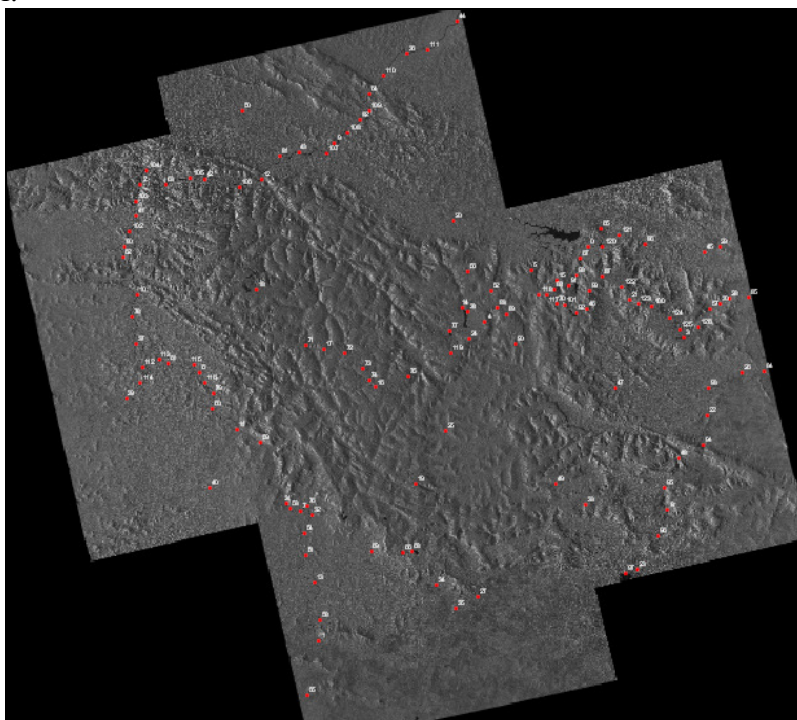


Figura 2 - Distribuição dos 127 GCPs coletados para a ortorectificação das imagens

### 3.2 Interpretação das feições de lagoas nas imagens Radarsat-1

A interpretação de imagens de radar exige conhecimento técnico específico. A determinação de corpos d'água representa uma das melhores aplicações das imagens de radar. A sensibilidade do radar em relação à água proporciona ainda estudos referentes à umidade dos solos e áreas inundadas. Por meio de aquisições sistemáticas de imagens, é possível monitorar o alagamento de terrenos em áreas continentais e a evolução de feições costeiras típicas.

Atendendo ao objetivo do presente trabalho, os sistemas lacustres e suas lagoas foram individualmente mapeados (atendendo às restrições espaciais e espectrais da imagem Fine do Radarsat-1) e tabulados, de forma a dar subsídio à criação de modelos para trabalhos futuros de detalhamento dos alvos. Para a extração das feições de corpos d'água foram aplicados os seguintes passos:

1 – Limiarização – esta técnica consiste em separar as regiões de uma imagem quando esta apresenta duas classes (o fundo e o objeto). Neste caso, utilizamos o algoritmo THR, do PCI Geomatica, para determinar as áreas com resposta similares à água. O THR cria um segmento de bitmap a partir de uma imagem. Para a determinação do segmento de bitmap, o analista fornece um limiar de valor numérico (DN) presente na imagem. No caso da imagem Radarsat-1, com resolução radiométrica de 16-bit, este limiar foi estipulado no DN = 2000. A definição do limiar é feita de forma especulativa, observando na imagem os valores relacionados às feições de interesse.

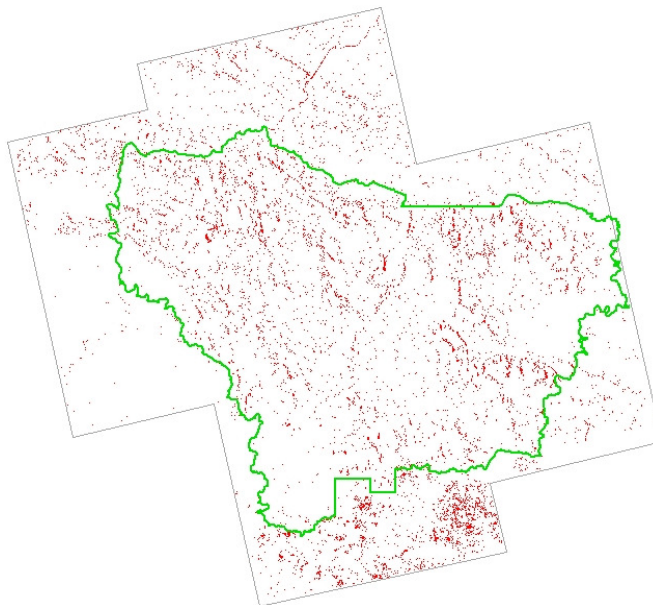


Figura 3 – Resultado da aplicação do algoritmo de limiarização

A execução da limiarização permite uma análise rápida das possíveis áreas com resposta similar a da feição de interesse. Esta análise orienta a interpretação visual que é executada para cada feição.

2 - Geração dos mapas hipsométrico e de declividade da área de estudo – a confecção destes mapas com relevo sombreado auxilia na interpretação das feições, podendo eliminar possíveis polígonos interpretados naquelas regiões onde certamente as feições não poderiam estar acontecendo. Usando as opções de transparência de camadas no aplicativo, é possível montar um mapa com o relevo sombreado sobreposto pela informação de elevação e vertentes. Esta montagem é utilizada para a conferência de lagoas em sítios improváveis.

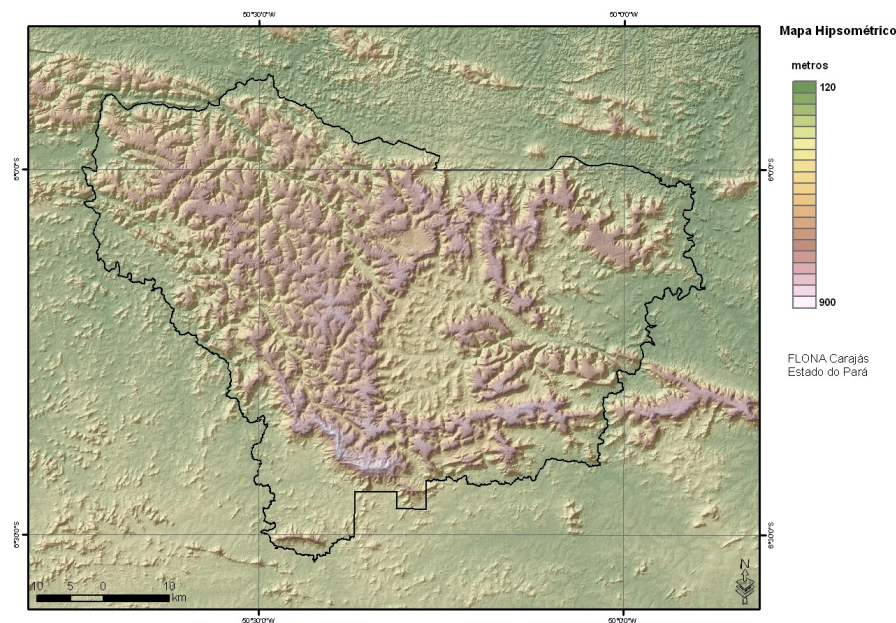


Figura 4 – Mapa Hipsométrico da FLONA Carajás - combinação de classes de elevação e relevo sombreado.

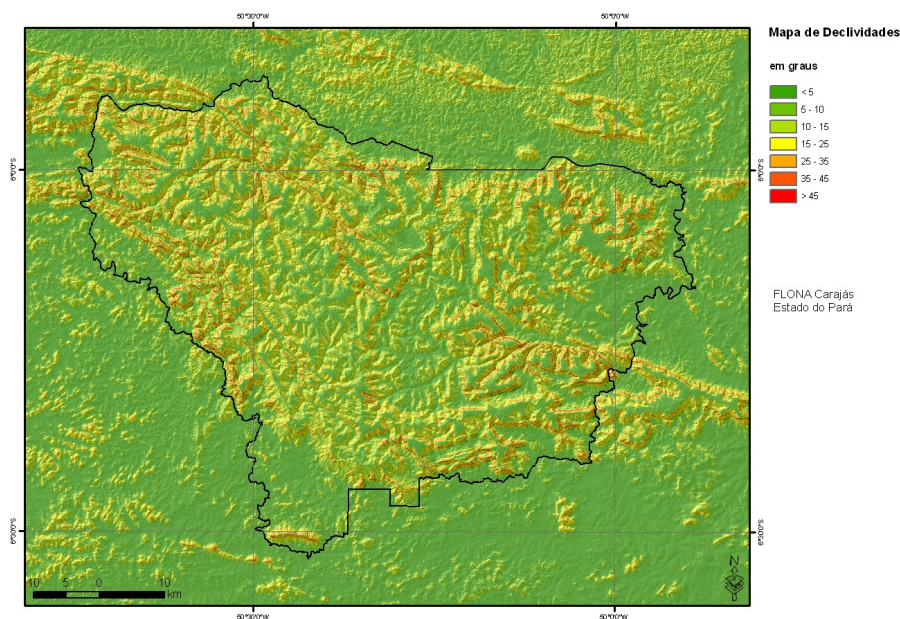


Figura 5 – Mapa de Declividades da FLONA Carajás – combinação de classes de declividade e relevo sombreado.

3 - Filtragem das imagens Radarsat-1 - Imagens de radar normalmente apresentam um ruído conhecido como *speckle*. O *speckle* acontece porque os “ecos” de radar refletidos por alvos individuais num mesmo *pixel* somam-se aleatoriamente quando estão em fase ou reduzem o sinal de retorno destrutivamente quando estão fora de fase. A imagem resultante apresenta uma aparência granulada tornando a interpretação difícil.

O PCI Geomatica oferece vários filtros diferentes projetados para reduzir o *speckle* preservando bordas (altas frequências), e tornando os dados mais fáceis de interpretar. A filtragem altera os valores dos *pixels* com base nos valores de nível de cinza dos *pixels*

adjacentes. Uma imagem pode conter tanto informações de alta como de baixa frequência. A soma de ambas constitui a imagem original. Altas frequências descrevem rápidas mudanças de um *pixel* para o outro, como, por exemplo, redes de drenagem, estradas e contatos geológicos. Já baixas frequências descrevem mudanças graduais sobre um grande número de *pixels*, como massas d'água e cobertura vegetal. Há também filtros programáveis e filtros de média no pacote de análise de imagens que podem ser usados para filtrar dados de radar. Dados de radar gerados com apenas um *look* apresentam maiores diferenças se filtrados com diferentes tipos de filtros. Quanto maior o número de *looks*, menor será a variação entre as imagens filtradas. O PCI Geomatica possui uma série de filtros específicos para radar que podem ser executados em todo o arquivo ou apenas na porção do arquivo que se vê na tela do visualizador. Esta última opção auxilia na dinâmica da interpretação de feições em imagens de radar, conforme demonstra a **Figura 6**.

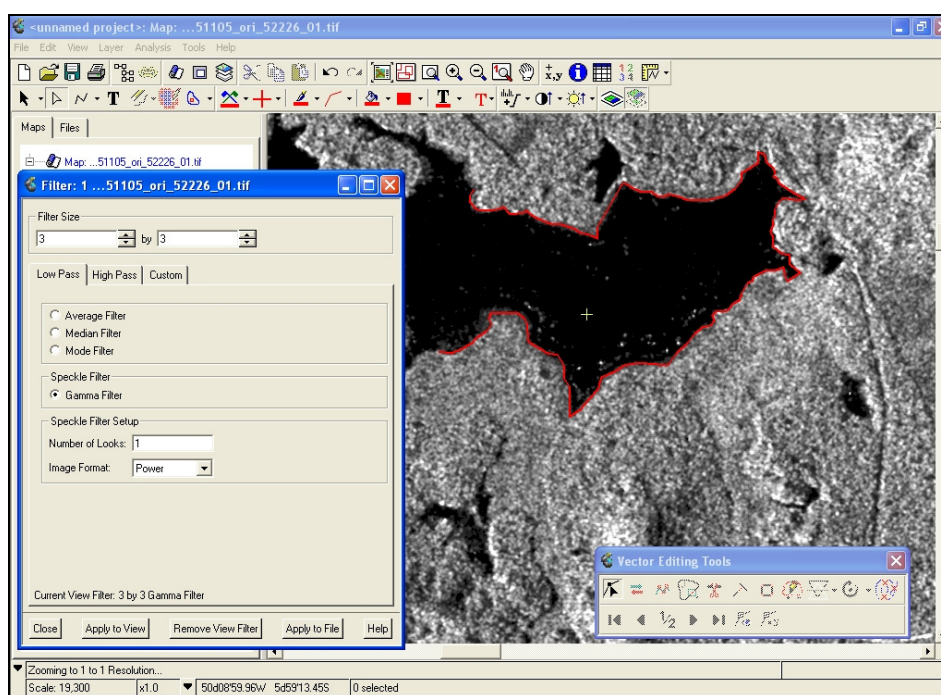


Figura 6 – Exemplo da aplicação de filtro específico (Gamma Filter) aos dados da tela para auxiliar na interpretação.

4 - Interpretação das feições de lagoas – O procedimento de interpretação visual de feições tem por objetivo mapear áreas da superfície terrestre que apresentem as mesmas características em imagens orbitais. Este procedimento começa geralmente pelas etapas de classificação e/ou limiarização das cenas a serem interpretadas e termina com a inspeção ou interpretação visual.

Foi utilizado neste estudo apenas a limiarização, isto porque a imagem utilizada é composta de uma única banda e o objetivo foi mapear um tipo de alvo somente – corpos d'água..

Após a observação cuidadosa da limiarização, finalmente realizou-se uma interpretação visual dos alvos. Durante este procedimento foi observada a forma do relevo com sobreposição às imagens Radarsat-1 (**Figura 7**).

Como resultados da interpretação das lagoas foram produzidos dois conjuntos de polígonos: o primeiro contém aquelas feições que não causaram dúvida quanto a sua interpretação como lagoa e o segundo as feições duvidosas que necessitam de maior

informação ou investigação no campo para sua certificação. Dentre as feições confirmadas, a menor interpretada possui 1.081 m<sup>2</sup> e entre as incertas, 745 m<sup>2</sup>.

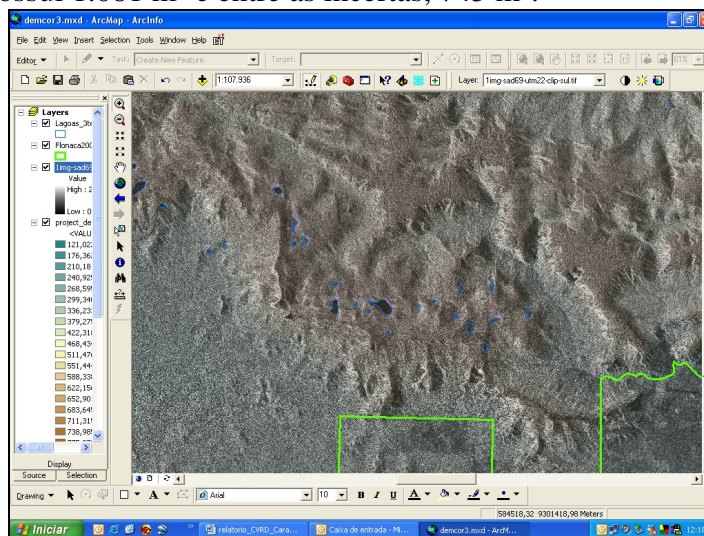


Figura 7 – Exemplo da avaliação das lagoas interpretadas, utilizando o MDE, as imagens de radar e o relevo sombreado.

#### 4. Considerações finais

Tabela 2 – Resumo das lagoas medidas através da interpretação de imagens Radarsat-1

Sensor	Resolução	Total de lagoas incertas		Total de lagoas mapeadas com certeza		Menor lagoa incerta mapeada		Menor lagoa mapeada com certeza	
		Seco	Úmido	Seco	Úmido	Seco	Úmido	Seco	Úmido
Radarsat	Fine 8m	59	176	160	148	2066 m <sup>2</sup>	745 m <sup>2</sup>	1081 m <sup>2</sup>	1448 m <sup>2</sup>

As imagens Radarsat-1 mostraram-se eficientes para a medição das lagoas, servindo como opção para monitoramento das lagoas durante período de chuvas, quando a cobertura persistente de nuvens impede a tomada de imagens óticas. O fato de um maior número de lagoas certas mapeadas no período seco é parcialmente explicado pelo fato de uma das cenas ter sido adquirida já na época de chuvas.

#### 5. Referências

CCRS – NRCAN, [CD-ROM]: **Treinamento em Sensoriamento Remoto por Radar**.

Coelho, A. L. **Geração de Modelos Digitais de Elevação a partir de Pares Estereoscópicos Radarsat**, Instituto Militar de Engenharia, 2002.

GEOMATICS INTERNATIONAL INC. [CD-ROM]: **Radar Distance Learning Program**. Ver. 1.1; Canadian Centre for Remote Sensing, Ottawa, 1998.

Leberl, F. **Radargrammetric Image Processing**. Artech House, Norwood, 1989.

Lillesand, T., Kiefer, R. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 3a. ed. New York: John Wiley & Sons, 1994.

Marinelli, L., Lauropo L., Poujade V. [CD-ROM]: **A Radargrammetry Software for Stereoscopic Radarsat Images**. Final version. ADRO CD-ROM. Vancouver: CSA, [1999].

Brito, J., Prado, W., Augusto, E. **Fotogrametria Digital. Notas de Aula**. Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro. 2000.

RADARSAT International [CD-ROM]: **RADARSAT Data Products Specifications**. Ver. 2. ADRO - Application Development and Research Opportunity. CSA: 1997.