



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

---

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**GERAÇÃO DE MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO A PARTIR DE  
PARES ESTEREOSCÓPICOS DE IMAGENS RADARSAT-1  
STANDARD: UMA ABORDAGEM PARA PLANÍCIES COSTEIRAS  
TROPICAIS DA AMAZÔNIA.**

---

**Dissertação apresentada por:  
EDSON ADJAIR DE SOUZA PEREIRA**

---

**BELÉM  
2007**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)  
Biblioteca Geól. Rdº Montenegro G. de Montalvão

---

Pereira, Edson Adjair de Souza

P436g      Geração de modelo digital de elevação a partir de pares estereoscópicos de imagens Radarsat-1 Standard: uma aplicação em Planície Costeira Tropicais da Amazônia / Edson Adjair de Souza Pereira; orientador, Pedro Walfir Martins e Souza Filho. – 2007

107 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2007.

1. Modelo Digital de Elevação (MDE). 2. Estereoscopia Standard Radarsat-1. 3. Região Amazônica Brasileira. I.Universidade Federal do Pará II. Souza Filho, Pedro Walfir Martins e, Orient. III. Título.

CDD 20º ed.:528.811

---



**Universidade Federal do Pará**  
**Instituto de Geociências**  
**Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica**

**GERAÇÃO DE MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO A  
PARTIR DE PARES ESTEREOSCÓPICOS DE IMAGENS  
RADARSAT-1 STANDARD: UMA ABORDAGEM PARA  
PLANÍCIES COSTEIRAS TROPICAIS DA AMAZÔNIA.**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR


**EDSON ADJAIR DE SOUZA PEREIRA**


Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em  
Ciências na Área de GEOLOGIA.

Data de Aprovação: **18/04/2007**

**Comitê de Dissertação:**

  
PEDRO WALFIR M. SOUZA FILHO (Orientador)

  
WALDIR RENATO PARADELLA

  
FERNANDO PELLON DE MIRANDA

Belém

Para Sheila, Mateus e Bárbara, que me apoiaram e confiaram na minha capacidade e à minha querida mãe, Maria Rufino de Souza Pereira, que me ensinou a viver (in memoriam).

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal do Pará – UFPA, pela oportunidade de estudos e utilização de suas instalações.

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica do Pará - CEFET-PA, pela minha liberação para realização do mestrado.

Ao Dr. Pedro Walfir Martins e Souza Filho, pelo conhecimento compartilhado, orientação e apoio na realização deste trabalho.

Ao Dr. Waldir Renato Paradella (INPE), pela concessão das imagens RADARSAT junto ao INPE e Canadian Space Agency.

Ao projeto PIATAM MAR e Projeto CT – Petro / CNPq – processo n° 502450 / 2003 – 7, pelo apoio técnico e financeiro.

A todos os colegas do LAIT, que direta ou indiretamente contribuíram para que este trabalho fosse realizado.

## RESUMO

A Geração de MED (Modelo Digital de Elevação) radargramétrico foi investigada para checar a viabilidade de produção de mapa altimétrico na escala de 1: 100.000 em uma área de relevo plano na Região Amazônica Brasileira, onde ainda não se encontram disponíveis informações cartográficas em nível de semi-detlhe. Dois tipos de MEDs radargramétricos (relativo e absoluto) foram gerados a partir de pares estereoscópicos RADARSAT-1 (S2 Asc / S1 Des, S6 Des / S1 Des e S7 Asc / S6 Des). Para o MDE absoluto foram gerados Modelos Digitais de Elevação com dois procedimentos diferentes: i) primeiro, com GCPs de uma imagem TM-Landsat ortorretificada e uma população de pontos de controle medidos em campo por DGPS (*Differential Global Positioning System*); e ii) segundo, a partir de GCPs das fontes Landsat ETM + na base Geocover para planimetria e SRTM para altimetria. O modelamento geométrico na extração dos MEDs foi baseada no “RADARSAT-1 Specific Mode” do software OESE (OrthoEngine Satellite Edition, PCI Geomatics), num cálculo que maximiza o coeficiente de correlação e leva em consideração distâncias “slant-range” entre o sensor/terreno. Para a validação da acurácia do MDE absoluto gerado foram usados 13 ICPs.

Na geração dos MDEs absolutos, apenas o par S2 Asc / S1 Des com pontos notáveis extraído das fontes Landsat ETM + para a planimetria e SRTM na altimetria mostrou-se mais efetivo no realce de profundidade. Não ocorrendo perda de visibilidade estereoscópica, em função dos valores intermediários de ângulo de interseção (47°) e principalmente, pela mais alta razão de paralaxe vertical (4.31) obtida dentre os pares avaliados.

Palavras-chaves: Modelo Digital de Elevação. Estereoscopia Standard RADARSAT-1. Região Amazônica Brasileira.

## ABSTRACT

The Generation of Digital Elevation Model (DEM) from Standard mode RADARSAT-1 stereo-images was investigated to check the viability of production of 1:100.000 scale altimetric map in areas with a low topographic relief in the Brazilian Amazon Region, that does not presents altimetry information at semi-detailed (1:100.000) map scale. Two types of radargrammetric DEMs, relative and absolute, were generated based on the Standard RADARSAT-1 stereo-pairs (S2 Asc / S1 Des, S6 Des / S1 Des e S7 Asc / S6 Des). To absolute model were generated DEM with two different procedures: i) the first, with GCPs (Groud Control Points) from TM-Landsat orthorectificated and DGPS (Differential Global positioning System) field information, and ii) second, with GCPs from the LANDSAT-7 ETM+ (geocover base) in the planimetry and SRTM products in altimetry. The geometric modeling for the DEM extractions was based on the " RADARSAT Specific" model from the OESE (OrthoEngine Satellite Edition, PCI Geomatics) software, an automated matching solution that takes into account slant range distances from sensor/terrain. It was used 13 ICPs (Independent Control Points) to validation the accuracy of the absolute DEM generated.

Among In MDEs' absolute only the pair S2 Asc / S1 Des with GCPs from the LANDSAT-7 ETM+ (geocover base) in the planimetry and SRTM products in altimetry showed more effective in the depth highlight. Not occurring loss of stereoscopic visibility, in function of the intersection angle intermediary values ( $47^\circ$ ) and mostly, by the higher reason of vertical parallax (4.31) obtained among the evaluated pairs.

Keywords: Digital elevation model. Stereoscopy RADARSAT-1. Brazilian Amazon region



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1.....	13
Figura 1.1 – Área de vazio cartográfico na planície costeira de Bragança - Pará.....	15
CAPÍTULO 2.....	16
Figura 2.1 – Mapa de localização da área de estudo, mostrando a Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia.....	16
Figura 2.2 – A) Mosaico de imagens Landsat-7 ETM+ (composição 4R5G3B) mostrando setores geomorfológicos 1 e 2 da CMMA, ao longo da costa nordeste do Estado do Pará. B) Mapa das áreas de manguezal extraído do mosaico Landsat-7.....	18
Figura 2.3. Mapa dos ambientes recentes da planície costeira de Bragança.....	19
Figura 2.4 – Precipitação na área de estudo.....	20
CAPÍTULO 3.....	21
Figura 3.1 – Possíveis combinações de imagens estereoscópicas de radar. ....	24
Figura 3.2 – Comparação de imagens brutas com imagens epipolares. ....	26
Figura 3.3 - Comparação entre imagens de radar nas projeções <i>Slant Range</i> (A) e <i>Ground Range</i> (B). ....	27
Figura 3.4 – Efeitos geométricos das imagens de radar.....	28
Figura 3.5 – Modos de aquisição, configuração de visada e ângulo de incidência das imagens RADARSAT-1. ....	31
Figura 3.6 – Posição das antenas primárias e secundárias da SRTM.....	34
Figura 3.7 – Geometria de aquisição dos dados SRTM.....	35
CAPÍTULO 4.....	39
Figura 4.1 - Imagem RADARSAT-1 (S1 Des) bruta.....	40
Figura 4.2 – Imagem RADARSAT-1 (S2 Asc) bruta.....	41
Figura 4.3 - Imagem RADARSAT-1(S6 Des) bruta.....	42
Figura 4.4 - Imagem RADARSAT-1 (S7 Asc) bruta.....	43
Figura 4.5 - Imagem no sistema Geocover ETM+ Landsat 7, composição colorida 3R2G1B.....	45
Figura 4.6 – Imagem do MDE SRTM usada na modelagem do MDE absoluto. ....	46
Figura 4.7 – RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo).....	47
Figura 4.8 – Modelo Geoidal (MAPGEO).....	48
Figura 4.9 - cena TM-Landsat ortorretificada.....	50
Figura 4.10 - Altitudes Ortométrica e Elipsoidal.....	52
Figura 4.11 – MAPGEO2004.....	53
Figura 4.12 - Levantamentos de pontos DGPS em interseção de estradas.....	54
Figura 4.13 – ICPs selecionados para medir a acurácia do mapa altimétrico.....	61
CAPÍTULO 5.....	62
Figura 5.1 – Imagens Epipolares S6 Des / S1Des (A / B), S2 Asc / S1 Des (C / D), S7 Asc / S6 Des (E / F).....	63
Figura 5.2 - MDE relativo gerado a partir do par S6 Des/S1 Des (Zona UTM 23, Meridiano Central= 45°). ....	64
Figura 5.3 – Área de sobreposição entre as imagens S6 Des/S1 Des. ....	65
Figura 5.4 - MDE relativo gerado a partir do par S2 Asc/S1 Des (Zona UTM 23, Meridiano Central= 45°). ....	66
Figura 5.5 – Área de sobreposição entre as imagens (S2 Asc/S1Des). ....	66
Figura 5.6 - MDE relativo gerado a partir do par S7 Asc/S6 Des (Zona UTM 23, Meridiano Central= 45°). ....	67
Figura 5.7 – Área de sobreposição entre as imagens (S7 Asc / S6 Des). ....	67
Figura 5.8 – Imagem RADARSAT-1 S1 com pontos de controle.....	68
Figura 5.9 – Imagem RADARSAT-1 S2 com pontos de controle.....	70
Figura 5.10 – Imagem RADARSAT-1 S6 com pontos de controle.....	71
Figura 5.11 – Imagem RADARSAT-1 S7 com pontos de controle.....	73
Figura 5.12 – Imagens Epipolares S6 Des / S1 Des (G / H), S2 Asc / S1Des (I / J), S7 Asc / S6 Des (L / M).....	75
Figura 5.13 - MDE absoluto gerado a partir do par S2 Asc / S1 Des com uso da população de GCPs medidos em campo.....	76
Figura 5.14 - MDE absoluto gerado a partir do par S6 Des / S1 Des. ....	77
Figura 5.15 - MDE absoluto gerado a partir do par (S7 Asc / S6 Des). ....	78
Figura 5.16 – Imagem RADARSAT-1 S1 com pontos de controle.....	79
Figura 5.17 – Imagem RADARSAT-1 S2 com pontos de controle.....	81
Figura 5.18 – Imagem RADARSAT-1 S6 com pontos de controle.....	83
Figura 5.19 – Imagem RADARSAT-1 S7 com pontos de controle.....	85
Figura 5.20 – Imagens Epipolares S6 Des / S1 Des (H / I), S2 Asc / S1 Des (J / L), S7 Asc / S6 Des (M / N).....	87

Figura 5.21 - MDE absoluto gerado a partir do par S6 Des / S1 Des. ....	88
Figura 5.22 - MDE absoluto gerado a partir do par (S7 Asc / S6 Des). ....	89
Figura 5.23 - MDE absoluto gerado a partir do par S2 Asc / S1 Des com pontos notáveis extraído das fontes Landsat ETM + para a planimetria e SRTM para altimetria.....	90
Figura 5.24 MDE Absoluto gerado (S2 Asc/S1 Des), com correção de ruídos, imperfeições, aplicação de máscara..	91
Figura 5.25 – posicionamento do MDE nas coordenadas do projeto. ....	92
Figura 5.26 Estéreo–par S2 Asc (A) e S1 Des (B).....	93
Figura 5.27 - Curvas de nível geradas a partir do MDE S2Asc / S1Des com equidistância de 50 m.....	96
Figura 5.28 – MDE Absoluto geocodificado (S2Asc / S1Des), com paleta de cores.....	98
Figura 5.29 – Mapa Altimétrico.....	99
Figura 5.30 – MDE Absoluto S2 Asc / S1 Des em 3D, visto de diferentes perspectivas.....	100

## LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 3.....	21
Tabela 3.1 – Características dos Modos de Imageamento do RADARSAT-1.....	30
Tabela 3.2 – Precisão de MDEs gerados com imagens RADARSAT-1.....	32
Tabela 3.3 – Disparidades Geométrica e Radiométrica de pares de imagens RADARSAR-1 em Estéreo.....	33
Tabela 3.4 – Valores do Padrão de Exatidão Cartográfica Plainimétrico e Altimétrico para as classes A, B e C.....	37
Tabela 3.5 – Tolerâncias Altimétricas dos Pontos de Verificação Considerados 1/3 do Erro Padrão.....	37
CAPÍTULO 4.....	39
Tabela 4.1 – Características das imagens RADARSAT-1 (S1, S2, S6, S7).....	39
Tabela 4.2 – Características das imagens LANDSAT-5 TM e LANDSAT-7 ETM+.....	44
Tabela 4.3 – Pontos de DGPS coletados em campo com Altitudes Ortométricas.....	51
Tabela 4.4 – Etapas para geração do MDE Relativo no Programa PCI Geomatica V 10.0 / 9.1.....	57
Tabela 4.5 – Etapas para geração do MDE Absoluto no Programa PCI Geomatica V 10.0 / 9.1.....	59
CAPÍTULO 5.....	62
Tabela 5.1 - Resíduos Planimétricos dos 20 pontos de controle utilizados na coleta dos GCPs da imagem S1, com uso da modelagem RADARSAT-1 Specific.....	69
Tabela 5.2 – Resíduos Planimétricos dos 20 pontos de controle utilizados na coleta dos GCPs da imagem S2, com uso da modelagem RADARSAT-1 Specific.....	70
Tabela 5.3 – Resíduos Planimétricos dos 20 pontos de controle utilizados na coleta dos GCPs da imagem S6, com uso da modelagem RADARSAT-1 Specific.....	72
Tabela 5.4 – Resíduos Planimétricos dos 20 pontos de controle utilizados na coleta dos GCPs da imagem S7, com uso da modelagem RADARSAT-1 Specific.....	73
Tabela 5.5 - Resíduos Planimétricos dos 20 pontos de controle utilizados na coleta dos GCPs da imagem S1, com uso da modelagem RADARSAT-1 Specific.....	80
Tabela 5.6 – Resíduos Planimétricos dos 20 pontos de controle utilizados na coleta dos GCPs da imagem S2, com uso da modelagem RADARSAT-1 Specific.....	82
Tabela 5.7 – Resíduos Planimétricos dos 20 pontos de controle utilizados na coleta dos GCPs da imagem S6, com uso da modelagem RADARSAT-1 Specific.....	84
Tabela 5.8 – Resíduos Planimétricos dos 20 pontos de controle utilizados na coleta dos GCPs da imagem S7, com uso da modelagem RADARSAT-1 Specific.....	86
A Tabela 5.9 apresenta os 28 ICPS para a verificação da escala de mapeamento.....	94
Tabela 5.10 - Elevações dos ICPS coletados na imagem e dos ICPS correspondentes medidos em campo por DGPS.....	95
Tabela 5.11 – Valores de VPR (Razão de Paralaxe Vertical) e Ângulo de Interseção dos MDEs absolutos S6 Des / S1Des, S2 Asc / S1 Des e S7 Asc / S6 Des.....	95
Tabela 5.12 - Resultado da geração de MDE RADARSAT-1 Standard Absoluto para Relevo Plano.....	96

## LISTA DE SIGLAS E ABREVEATURAS

**ASI** – Agenzia Spaziale Italiana

**CCRS** – Canada Centre for Remote Sensing

**CEOS** – Committee for Earth Observation Satellites

**CONCAR** – Comissão Nacional de Cartografia

**DEM** – Digital Elevation Model

**DSG** – Diretoria do Serviço Geográfico

**ERS** – Earth Resources Satellite

**ETM +** – Enhanced Thematic Mapper Plus

**GPS** – Global Positioning System

**IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**JERS** – Japanese Earth Resources Satellite

**MAPGEO 2004** – Mapa Geoidal do Brasil 2004

**NASA** – National Aeronautics and Space Administration

**NOAA** – National Oceanic and Atmospheric Administration

**PIXEL** – Picture X Element

**RBMC** – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo

**RADAR** – Radio Detection and Ranging

**SAD 69** – South America Datum 1969

**SAR** – Synthetic Aperture Radar

**SIR** – Shuttle Imaging Radar

**SRTM** – Shuttle Radar Topography Mission

**UFPA** – Universidade Federal do Pará

**UTM** – Universal Transversa de Mercator

**WGS** – World Geographic System

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	13
1 <b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
CAPÍTULO 2.....	16
2 <b>ÁREA DE ESTUDO</b> .....	16
2.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA.....	16
2.2 GEOLOGIA.....	16
2.3 GEOMORFOLOGIA COSTEIRA.....	17
2.4 CLIMA.....	19
CAPÍTULO 3.....	21
3 <b>GERAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO (MDE) A PARTIR DE IMAGENS DE RADAR DE ABERTURA SINTÉTICA</b> .....	21
3.1 MÉTODOS DE GERAÇÃO DE MDE.....	21
3.1.1 <b>Estereoscopia</b> .....	24
3.2 O USO DE IMAGENS RADARSAT-1 NA GERAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO (MDE).....	29
3.3 A MISSÃO SRTM – SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION.....	33
3.4 CONTROLE DE QUALIDADE DE PRODUTOS CARTOGRÁFICO.....	36
CAPÍTULO 4.....	39
4 <b>CONJUNTO DE DADOS UTILIZADOS E ABORDAGEM METODOLÓGICA</b> .....	39
4.1 DADOS DE SENSORES REMOTOS.....	39
4.1.1 <b>RADARSAT-1</b> .....	39
4.1.2 <b>Imagens Landsat-5 TM e Landsat-7 ETM +</b> .....	43
4.1.3 <b>Modelo digital de elevação SRTM</b> .....	45
4.2 MEDIDAS EM CAMPO COM DGPS.....	46
4.3. ABORDAGEM METODOLÓGICA PARA GERAÇÃO DOS MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO COM O RADARSAT-1.....	55
4.3.1 <b>Geração do Modelo Digital de Elevação Relativo</b> .....	57
4.3.2 <b>Geração do Modelo Digital de Elevação Absoluto</b> .....	58
4.3.3 <b>Seleção dos pontos de verificação da acurácia do MDE</b> .....	60
4.4 PRODUÇÃO DO MAPA ALTIMÉTRICO.....	61
CAPÍTULO 5.....	62
5 <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	62
5.1.1 <b>Geração de Modelo Digital de Elevação</b> .....	62
5.1.1.1 Imagens Epipolares RADARSAT-1.....	62
5.1.1.2 Geração e Geocodificação dos MDEs Relativos (S6Des / S1Des, S2Asc / S1Des, S7Asc / S6Des. ....	64
5.1.2 <b>Geração de Modelo Digital de Elevação Absoluto a partir de pares estereoscópicos de imagens RADARSAT-1 Standard</b> .....	68
5.1.2.1 Geração dos MDEs absolutos com uso da população de GCPs medidos em campo e da cena TM - Landsat ortorretificada.....	68
5.1.2.2 Geração dos MDEs absolutos com pontos notáveis extraído das fontes Landsat ETM + para a planimetria e SRTM para altimetria.....	78
CAPÍTULO 6.....	101
6 <b>CONCLUSÃO</b> .....	101
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	103

## CAPÍTULO 1

### 1 INTRODUÇÃO

Com o advento dos sistemas orbitais com sensores que operam no espectro das microondas, as aplicações cartográficas foram beneficiadas, sobretudo com uso dos dados obtidos por radares de abertura sintética SAR (*Synthetic Aperture Radar*).

O SAR é um dispositivo imageador em radiofrequência que fornece uma imagem bidimensional (*range, azimuth*) da realidade tridimensional. Esse imageamento é feito pela detecção da radiação retroespalhada quando o sensor ilumina a superfície, sob um campo bem definido de microondas ativas (PARADELLA et al., 2001).

A informação com atributo espacial é cada vez mais valiosa no monitoramento ambiental da Terra. O substrato fundamental para a informação geográfica é a carta topográfica. O MDE é um componente básico na produção de cartas topográficas e é uma importante fonte de dados em análise geoespacial e geração de orto-imagens. Segundo Paradella et al., 2005a, apenas 20% do território brasileiro possuem mapeamento topográfico na escala de 1: 50.000, 60% estão mapeados na escala de 1: 100.000 e em torno de 25% dispõem de cartografia na escala de 1:250.000 ou menor. Além disso, deve ser considerado que grande parte deste acervo está desatualizada ou vinculada a bases geodésicas antigas, não compatíveis com o Sistema Geodésico Brasileiro (SAD 69) para trabalhos cartográficos. O problema de desatualização também existe para grande parte das bases existentes em SAD 69 (*South American Datum 1969*), que é o Datum recomendado para o Sistema Geodésico Sul-americano, o qual adota para modelo geométrico da Terra o elipsóide de referência 1967. A disponibilidade de recursos para atualização cartográfica e levantamentos sistemáticos com sensores aerotransportados (ópticos ou radar) é muito limitada devido aos custos elevados, particularmente na Amazônia (PARADELLA et al. 2003a).

O advento de sistemas orbitais de radar (SIRs, ERS-1, JERS-1, ERS-2, RADARSAT-1, SRTM, ENVISAT, ALOS) tem fomentado o ímpeto para o desenvolvimento de aplicações cartográficas com dados SAR (*Synthetic Aperture Radar*). Um SAR permite derivar, do componente do sinal retroespalhado,

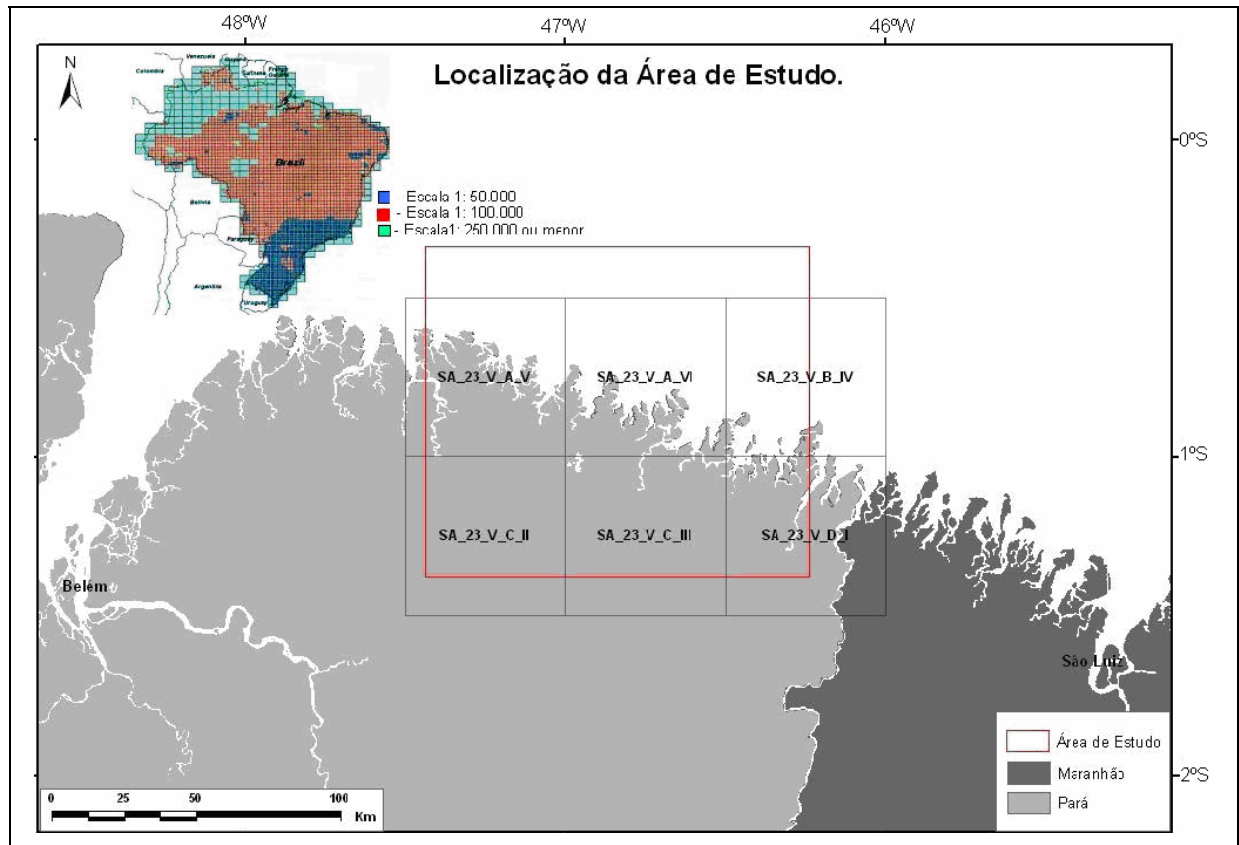
propriedades geométricas e elétricas do terreno, apresentando certas vantagens competitivas em relação ao sensor óptico, como: (a) o imageamento é viável sob condições atmosféricas adversas (nuvens, brumas, chuvas, fumaça); (b) a geometria de iluminação é controlada e independente da fonte solar (aquisição diurna e noturna, maior resolução temporal); a macro-topografia (variações decamétricas de declividade) e a micro-topografia (rugosidade superficial na escala do comprimento de onda do SAR) do terreno são realçadas; (d) o sinal retroespalhado é sensível às propriedades dielétricas dos alvos, controladas pela água ou umidade, (e) a penetrabilidade no alvo é possível em alguns casos (é o único sensor remoto que permite derivar informações dos alvos terrestres em condições distintas da superfície). Este tipo de sensor é fundamental para aplicações no trópico úmido (PARADELLA et al., 2003a).

Quatro métodos, que apresentam vantagens e desvantagens, têm sido usados na geração dos MDEs com SAR: clinométrico, estereoscópico ou radargramétrico, interferométrico e polarimétrico (TOUTIN; GRAY, 2000). Pela grande versatilidade do satélite RADARSAT-1, permitindo variações em azimute de visada, incidência, área imageada e resolução espacial, a estereoscopia surge como uma opção de grande potencial para cartografia. Na estereoscopia SAR, duas imagens da mesma área são adquiridas sob diferentes perspectivas através de variações de azimutes de visadas e/ou de ângulos de incidência, de modo a permitir a percepção tridimensional (3 D). Através da correlação entre as cenas, são obtidas paralaxes que permitem derivar a altimetria (PARADELLA et al., 2003a).

A Cartografia Nacional, na sua porção Amazônica, apresenta uma grande área sem mapeamento nas escalas 1: 50.000 e 1: 100.000. Isso pode ser explicado por diversos fatores, sendo os principais a falta de investimentos do Governo Federal nos órgãos responsáveis pelo mapeamento sistemático nacional (IBGE e DSG) e os custos elevados dos métodos tradicionais utilizados para produção cartográfica por aerofotogrametria, com logística complexa e onerosa para esta região do país.

Uma alternativa para suprir a necessidade de mapeamento nas escalas 1: 50.000 e 1: 100.000 é a utilização de dados de sensoriamento remoto orbitais, na faixa das microondas (PARADELLA et al., 2005b). As imagens adquiridas por esses sensores possibilitam a geração de Modelo Digital de Elevação (MDE), que podem ser utilizados como fonte de dados para a geração de mapas altimétricos.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a geração de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) a partir de pares estereoscópicos do RADARSAT-1, no modo Standard, para produção de mapa altimétrico na escala 1:100.000 em áreas de vazio cartográfico na zona costeira Amazônica, em especial a planície costeira de Bragança (**Figura 1.1**).



**Figura 1.1** – Área de vazio cartográfico na planície costeira de Bragança - Pará.  
Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2005).

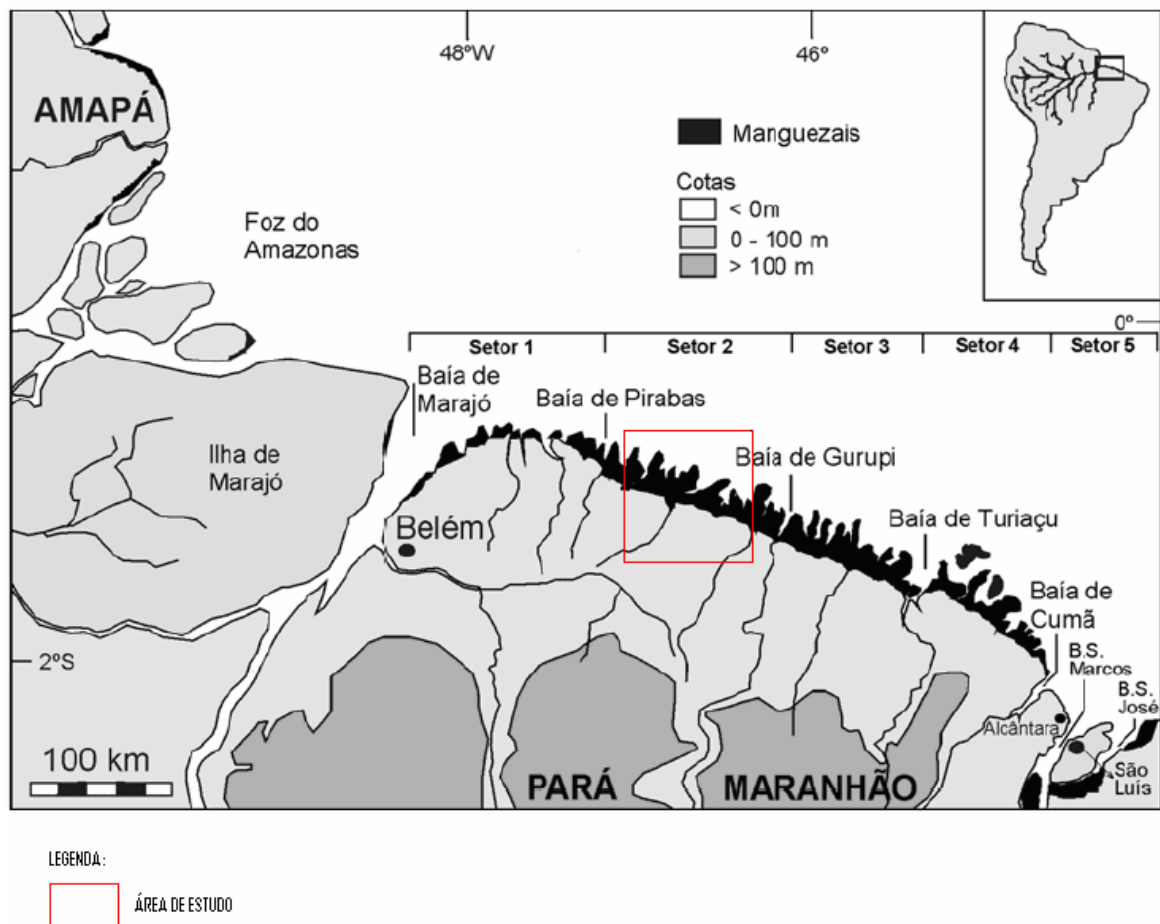


## CAPÍTULO 2

### 2 ÁREA DE ESTUDO

#### 2.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área de estudo situa-se na porção nordeste do estado do Pará e engloba os municípios de Capanema, Bonito, Quatipuru, Tracuateua, Bragança, Augusto Corrêa e Viseu, sendo delimitada pelas coordenadas geográficas  $0^{\circ}20'17''$  a  $1^{\circ}22'34''$  de latitude sul e  $46^{\circ}14'22''$  a  $47^{\circ}26'17''$  de longitude oeste (**Figura 2.1**).



**Figura 2.1** – Mapa de localização da área de estudo, mostrando a Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia.

Fonte: (SOUZA FILHO, 2005).

#### 2.2 GEOLOGIA

A área de estudo está inserida na da Bacia Costeira de Bragança-Viseu, de deposição Quaternária. Ela é controlada pela geometria e paleotopografia dessa

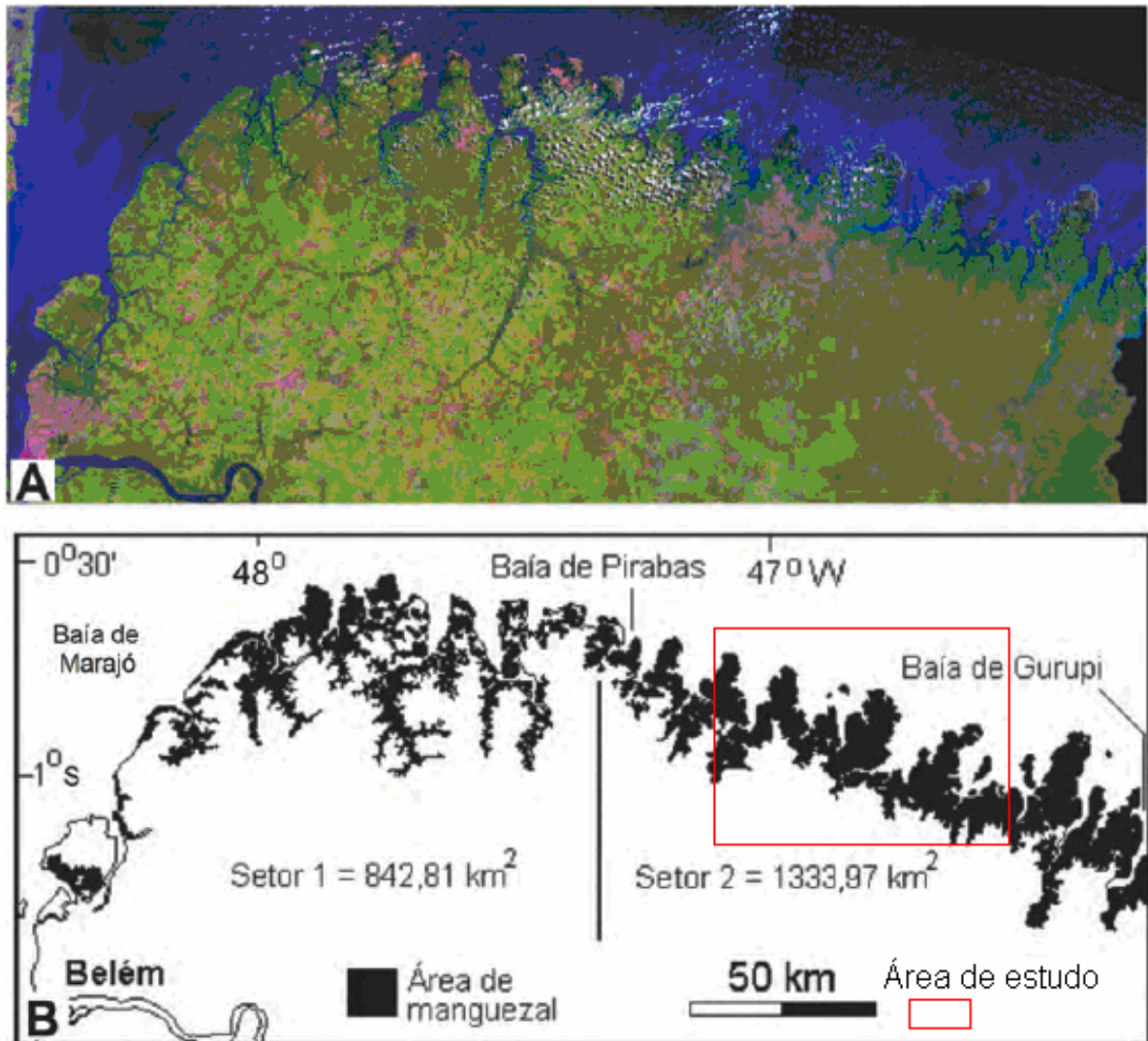
bacia e de terrenos do Pleistoceno que formam o planalto/tabuleiros costeiros sustentados por rochas das formações Pirabas e Barreiras, bem como por sedimentos pós-Barreiras (SOUZA FILHO 2000).

### 2.3 GEOMORFOLOGIA COSTEIRA

A área em estudo está situada no contexto da Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia (CMMA) (SOUZA FILHO, 2005). Esta região compreende a costa nordeste do Estado do Pará e noroeste do Estado do Maranhão (**Figura 2.2**). É caracterizada por um relevo baixo (0 a 80 m), ampla planície costeira (com até 70 km de largura) e extensa plataforma continental adjacente (~200 km de largura), apresentando-se extremamente irregular e endentada com uma costa de gradiente baixo. Os planos intermareais, incluindo um sistema de manguezais, são caracterizados por declives locais variando em torno de 1: 3000 (0.033%). Os pântanos constituem as áreas mais altas da planície costeira, com um relevo topográfico alcançando 3 m acima do nível médio das marés (COHEN et al., 2000).

No sítio investigado, situado entre as baías de Pirabas e Gurupi (**Figura 2.2**), o ecossistema de manguezal começa a ocorrer a partir do planalto costeiro, que recua em direção a sul para constituir falésias inativas. Os manguezais desenvolvidos em direção ao mar atingem atualmente uma largura de 30 km e os estuários estendem-se por 80 km em direção ao continente. Neste setor, os manguezais abrangem uma área de 1.333,97 km<sup>2</sup> (SOUZA FILHO, 2005).

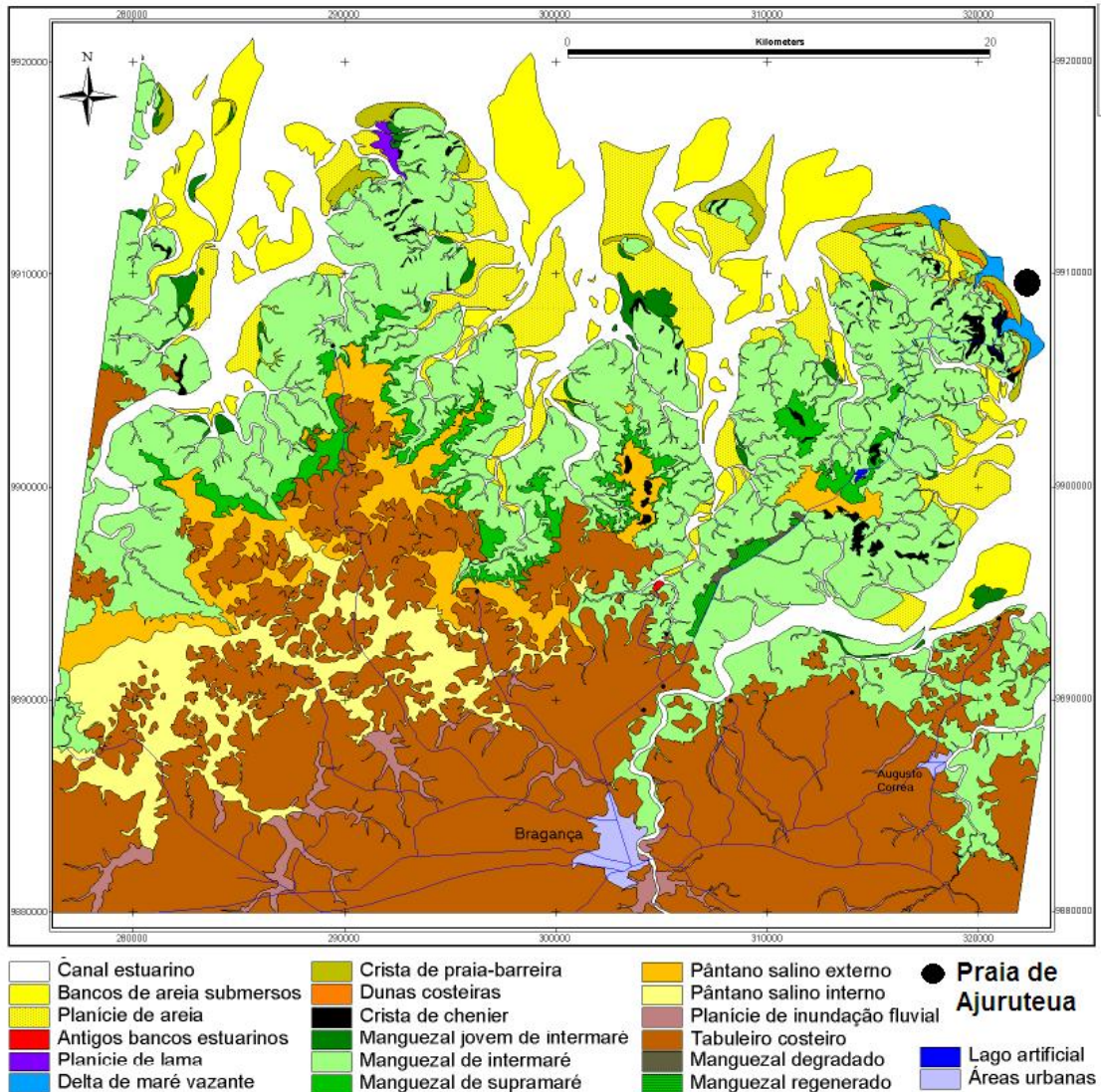
Regionalmente, a área está inserida em uma costa de ilha barreira transgressiva desenvolvida em condição de macromaré (SOUZA FILHO; MARTINS; COSTA, 2006). Souza Filho e El-Robrini (1996) compartimentaram a geomorfologia da Planície Costeira Bragantina em três domínios morfológicos: (1) planície aluvial, com canal fluvial, *levees* e planície de inundação; (2) planície estuarina, com um canal estuarino subdividido em funil estuarino, segmento reto, segmento meandrante e canal de curso superior, canal de maré e planície de inundação; (3) planície costeira, com os ambientes de pântanos salinos (interno e externo), planície de maré (manguezais de supramaré, manguezais de intermaré e planície arenosa com baixios de maré), *cheniers*, dunas costeiras e praias (**Figura 2.3**).



**Figura 2.2** – A) Mosaico de imagens Landsat-7 ETM+ (composição 4R5G3B) mostrando setores geomorfológicos 1 e 2 da CMMA, ao longo da costa nordeste do Estado do Pará. B) Mapa das áreas de manguezal extraído do mosaico Landsat-7

### **ETM+ em um SIG**

Fonte: (SOUZA FILHO, 2005).

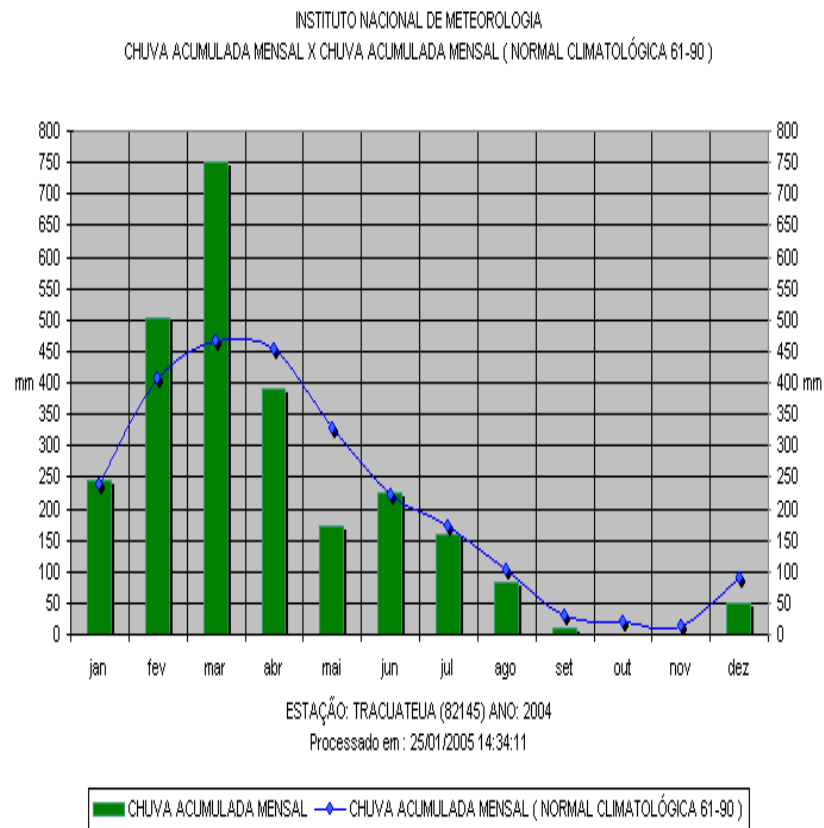


**Figura 2.3.** Mapa dos ambientes recentes da planície costeira de Bragança.  
Fonte: (SOUZA FILHO; PARADELLA, 2002).

## 2.4 CLIMA

O clima é marcado por uma estação chuvosa, que vai de dezembro a maio seguido de uma estação seca, que vai de junho a novembro (**Figura 2.4**) (MARTORANO et al. 1993). A média anual de chuva alcança 2.500 mm e o alcance relativo ao nível médio de maré é de 5 m em um ciclo semidiurno (DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO-DHN, 2000). Deste modo, grandes áreas das partes mais baixas são inundadas durante as marés de sizígia equinociais. De um lado, grandes correntes de maré de leste para oeste e ondas com 1,5 m de altura são responsáveis pela erosão do manguezal ao longo da costa, do estuário e baías, onde as linhas de árvores de mangues caídos marcam os locais erodidos. Por outro

lado, novas franjas de manguezais aparecem ao longo do mar devido à deposição de sedimentos argilosos (SOUZA FILHO; TOZZY; EL-ROBRINI, 2003).



**Figura 2.4** – Precipitação na área de estudo.

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia - Inmet (2004).

## CAPÍTULO 3

### 3 GERAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO (MDE) A PARTIR DE IMAGENS DE RADAR DE ABERTURA SINTÉTICA

#### 3.1 MÉTODOS DE GERAÇÃO DE MDE

O MDE é uma representação digital (numérica) do relevo no formato matricial. Trata-se de uma matriz de valores de elevação de pontos regularmente distribuídos no terreno.

O MDE é apresentado por Paradella et al. (2001) como uma representação digital de uma seção da superfície terrestre, através de uma matriz cujos *pixels* possuem coordenadas planimétricas ( $x$ ,  $y$ ) e valor de intensidade do ( $z$ ) correspondendo à elevação.

Um Modelo Digital de Elevação pode ser produzido a partir da interpolação de curvas de nível ou de pontos cotados digitalizados a partir de documentos cartográficos existentes como também a partir de imagens obtidas por sensores remotos, orbitais ou aerotransportados, operando nos espectros ópticos e das microondas.

A estereoscopia permite obter dados tridimensionais, através da observação de um par de imagens planas (pares estereoscópicos) obtidos de uma mesma cena com ângulos de incidência distintos (SANTOS; PARADELLA; VENEZIANI, 2003b).

Nas latitudes equatoriais, os azimutes de visada para órbitas descendentes e ascendentes do RADASAT-1 são  $282^\circ$  e  $78^\circ$ , respectivamente. A seleção do melhor estéreo-par é função de parâmetros como: ângulo de incidência do par, área de superposição das imagens, resolução espacial, dimensão da área investigada, elevação e declividade do terreno, acurácia altimétrica esperada do MDE e orientações de feições topográficas em relação aos azimutes de visadas (PARADELLA et al., 2003a).

A geração de MDE a partir de imagens de sensores remotos que atuam no espectro das microondas (em especial os radares imageadores), pode além do método da estereoscopia ser realizada a partir de outros como a clinometria, a interferometria e a polarimetria (TOUTIN; GRAY, 2000).

A clinometria é o método que utiliza a sombra e seus fenômenos na extração da informação da elevação de objetos de interesse. Em imagens na faixa das

microondas, as sombras são áreas não-imageadas. Através de cálculos trigonométricos e conhecendo-se a geometria do SAR, as alturas relativas de estruturas verticais podem ser determinadas (TOUTIN; GRAY, 2000).

A interferometria combina imagens SAR registradas por duas antenas localizadas em posições diferentes ou uma mesma antena registrando a cena em tempos distintos. Utilizando a diferença de fase entre medidas de *range* (distância) para pontos comuns em um par de imagens SAR, obtém-se a informação sobre a elevação do terreno (TOUTIN; GRAY, 2000).

Na polarimetria, os desenvolvimentos de aplicações com SAR envolvem medidas diretas de declividade e estimativas da elevação do terreno (TOUTIN; GRAY, 2000).

Nas imagens SAR, as estruturas verticais no terreno são deslocadas em direção ao sensor, enquanto que, nas imagens ópticas, o deslocamento sob visadas verticais ocorre radialmente do nadir para as bordas da cena. Ademais, as linhas de projeção que conectam pontos no terreno com pontos na imagem SAR, seguem círculos concêntricos em relação à localização da antena (LEBERL, 1998).

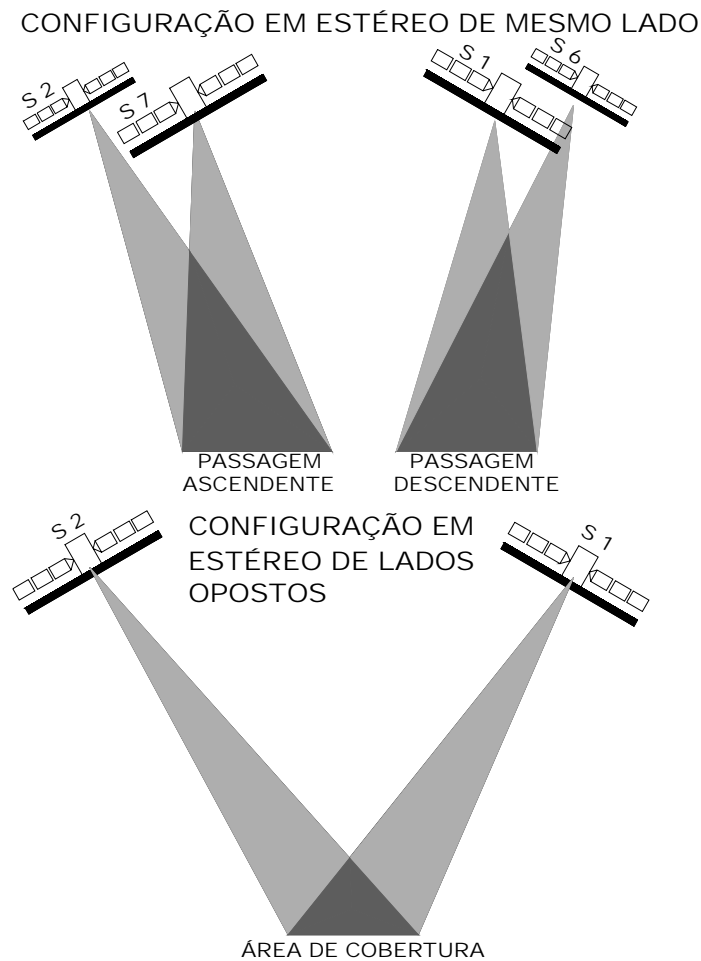
A estereoscopia orbital depende de dois indicadores fotogramétricos: (a) a paralaxe estereoscópica, que se relaciona com a aparente mudança da posição de objetos, quando vistos de diferentes posições, e (b) o ângulo de interseção estereoscópica, medido entre as linhas de visada do sensor em um determinado ponto no terreno, nas duas cenas do par (PARADELLA et al. 2003a). Considerando-se a experiência com a fotografia, uma boa geometria em estéreo é obtida quando o ângulo de interseção das imagens no par é o maior possível. Nesta situação, ocorre a maximização da paralaxe observada, a qual é usada para derivar a elevação do terreno. Toutin (1997) propõe a Razão de Paralaxe Vertical (*VPR-Vertical Parallax Ratio*), como critério adequado para a estimativa de melhor configuração em estéreo-par SAR. A VPR é definida como:  $VPR = p/h = [\cot_R - \cot_L]$ , onde,  $p$  é a paralaxe de elevação,  $h$  é elevação do alvo,  $\cot_R$  e  $\cot_L$  as cotangentes dos ângulos de visadas (*look angle*) das imagens no par (direita e esquerda). Desconsiderando a curvatura da Terra, o ângulo de visada é igual ao de incidência (no caso de relevo plano). Assim, quanto maior o VPR, melhor a percepção em 3D e maior o potencial em derivar a altimetria.

É importante enfatizar que a estereoscopia de mesmo sentido privilegia a correção radiométrica entre as imagens do estéreo-par, enquanto que a

estereoscopia de sentidos opostos leva a extremos de disparidades geométrica e radiométrica entre as imagens. Assim, em um par ideal, as imagens devem ser muito similares entre si, de modo que haja uma boa correlação radiométrica entre elas, resultando em uma boa visibilidade estereoscópica. Esse par, por outro lado, deve ser constituído por imagens com geometrias, as mais díspares possíveis, para que apresentem grandes paralaxes (FULLERTON; LEBERL; MARQUE, 1996; TOUTIN, 1996). A abordagem com dados ópticos modela erros na extração do MDE por meios de parâmetros geométricos e negligencia os aspectos radiométricos das cenas, que é a base para o processo de correlação automática na derivação da elevação na radargrametria. Isto explica porque grandes ângulos de interseção e elevada resolução espacial de imagens SAR nem sempre fornecem MDEs com elevada acurácia. Em vários experimentos, a acurácia altimétrica tende inclusive a comportar-se de modo oposto, especialmente para terrenos com topografia acidentada. Somente em casos extremos de relevos planos é que a acurácia obtida aproxima-se da expectativa teórica (TOUTIN, 1996; RAGGAM; ALMER, 1996). Em síntese, para qualquer tipo de relevo, é sempre necessário um compromisso entre aspectos de disparidades geométricas e radiométricas na escolha do melhor estéreo-par do MDE radargramétrico. Neste contexto, um conhecimento a priori de fundamentos do imageamento SAR e de sua estereoscopia são pré-requisitos para a geração bem sucedida do MDE.

Dois tipos de estereoscopia SAR são possíveis devido à geometria de observação lateral e ao azimute de visada: mesmo sentido e sentidos opostos (**Figura 3.1**). No primeiro caso, o terreno é iluminado sob mesmo azimute de visada nas duas cenas, ocorrendo apenas variações em incidência. Na estereoscopia de sentidos opostos, a mesma área é iluminada obliquamente em sentidos opostos (diferentes azimutes de iluminação). Neste caso, a variação dos ângulos de incidência nas cenas é extremamente ampla.





**Figura 3.1** – Possíveis combinações de imagens estereoscópicas de radar.

### 3.1.1 Estereoscopia

O início das aplicações de métodos estereoscópicos com sensores SAR foi realizado na década de 1960, levando ao desenvolvimento da radargrametria. A partir de 1980, melhorias nos sistemas sensores, mostraram a possibilidade da obtenção de estereoscopia com imagens SAR obtidas de órbitas de mesmo sentido ou sentidos opostos (LEBERL, 1998).

Há, na estereoscopia, dois importantes indicadores de *performance* que apresentam comportamentos dispare. A correlação radiométrica entre as cenas do par (qualidade ou conteúdo temático, como tom, textura, etc.) está diretamente relacionada à visibilidade estereoscópica, que determina a maior ou menor facilidade de percepção de profundidade, por outro lado, e a disparidade geométrica entre as cenas do par (diferentes perspectivas para a mesma cena) está diretamente relacionada à paralaxe, que determina o nível de detalhe na percepção de

profundidade. É desejável, portanto, que as cenas de um par estereoscópico tenham alta correlação radiométrica (boa visibilidade estereoscópica) e grande disparidade geométrica (maiores paralaxes). O radar imageador tem sua própria fonte de iluminação, o que significa que, quanto maiores as diferenças geométricas entre as cenas do par (obtidas pelas alterações da geometria de visada), maiores serão as diferenças radiométricas entre elas (SANTOS; PARADELLA; VENEZIANI, 2003a).

No caso de imagens em configuração estereoscópica de visadas opostas, a imagem descendente é visualizada do lado esquerdo enquanto a imagem ascendente é visualizada do lado direito (TOUTIN; VESTER, 1997). Por analogia com a fotogrametria, o critério utilizado para analisar a configuração em estéreo e seu potencial de precisão de elevação é o ângulo de interseção ( $\theta$ ) equivalente à razão Base/Altura (B/H) (TOUTIN, 1999).

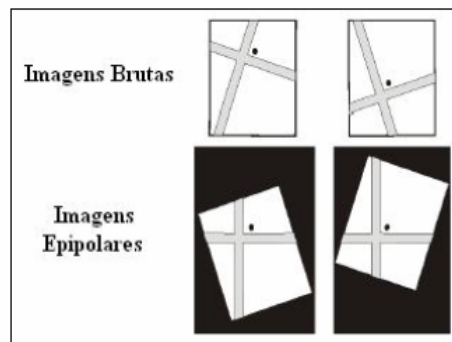
O excelente realce topográfico do relevo nas imagens orbitais resulta do imageamento sob visada lateral, com possibilidade de variação do ângulo de incidência e de azimutes de iluminação. As informações registradas em ambos os tipos de imagens são, portanto, distintas e complementares.

A estereoscopia de radar por, sua vez, utiliza-se de conceitos desenvolvidos a partir do entendimento da visão humana, para permitir que diferentes conjuntos de dados de sensoriamento remoto, representados por duas imagens planas, sejam analisados conjunta e tridimensionalmente. (SANTOS; PARADELLA; VENEZIANI, 2003a).

Na estereoscopia de radar orbital, a elevação é obtida a partir de medidas do deslocamento na posição de um ponto do terreno em um par estereoscópico de imagens de amplitude, tomadas sob geometrias de visadas distintas (órbitas diferentes). Na interferometria, a elevação é obtida de medidas de diferenças da fase do sinal retroespalhado em duas tomadas, tanto sob geometrias distintas, através de aquisições simultâneas com duas antenas (*single-pass*), como com uma antena em passagens defasadas de poucos dias, aproveitando o deslocamento de traçado para a repetição da mesma órbita (*repeat-pass*). Assim, a distância linear entre os dois pontos de observação (linha base) varia de centenas de quilômetros, na estereoscopia, para poucos metros (*single-pass*) até centenas de metros (*repeat-pass*), na interferometria. Também a diferença entre os ângulos de incidência das observações (ângulo de interseção) é muito maior na estereoscopia que na interferometria (TOUTIN; GRAY, 2000).

Imagens epipolares são pares estereoscópicos, reprojitados de tal forma que tenham as mesmas orientações, com as feições comuns alinhadas em um mesmo eixo. A utilização de imagens epipolares aumenta a velocidade do processo de correlação entre os produtos e reduz a possibilidade de erros na geração de MDEs (PCI GEOMATICS, 2005).

A **Figura 3.2** ilustra a comparação entre a geometria de um par de imagens antes e depois da geração produtos epipolares.

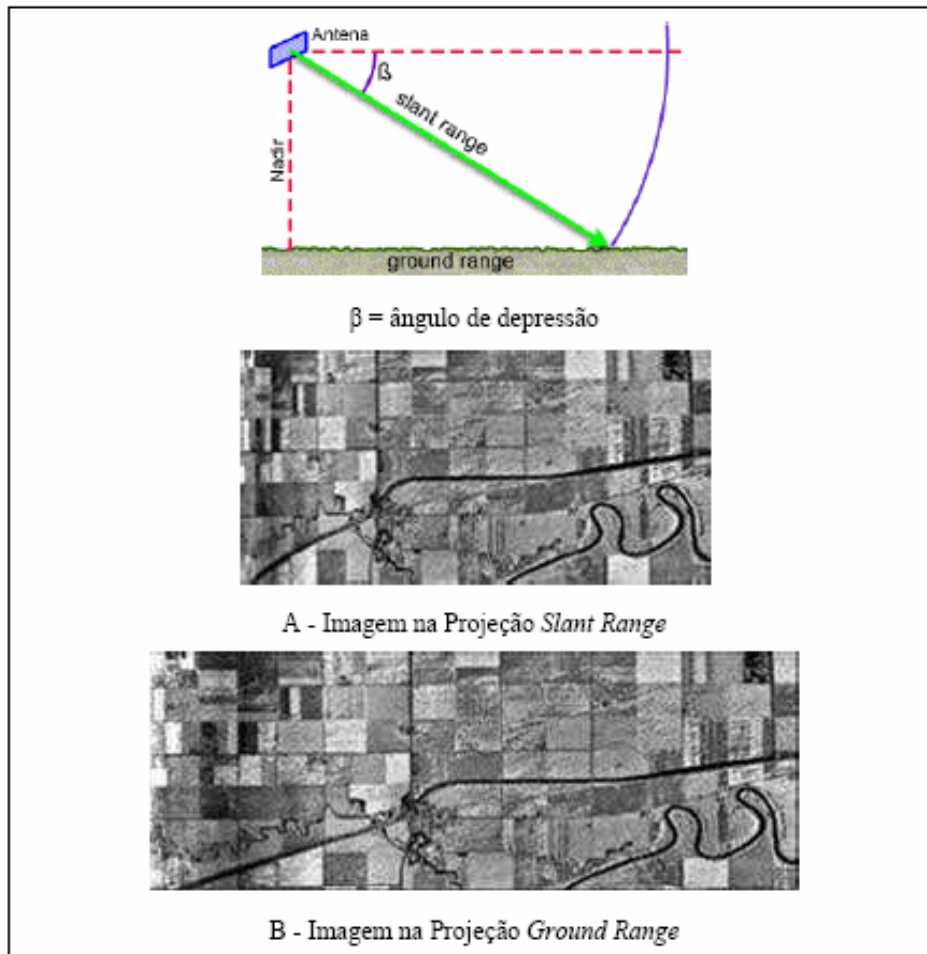


**Figura 3.2** – Comparação de imagens brutas com imagens epipolares.

Fonte – Adaptada de (PCI GEOMATICS, 2005).

Com relação à de aquisição das imagens, há aspectos na geometria de iluminação do radar que produzem efeitos de deslocamento do relevo diferentes daqueles observados nos sistemas ópticos, cuja importância é fundamental para o entendimento da estereoscopia de radar.

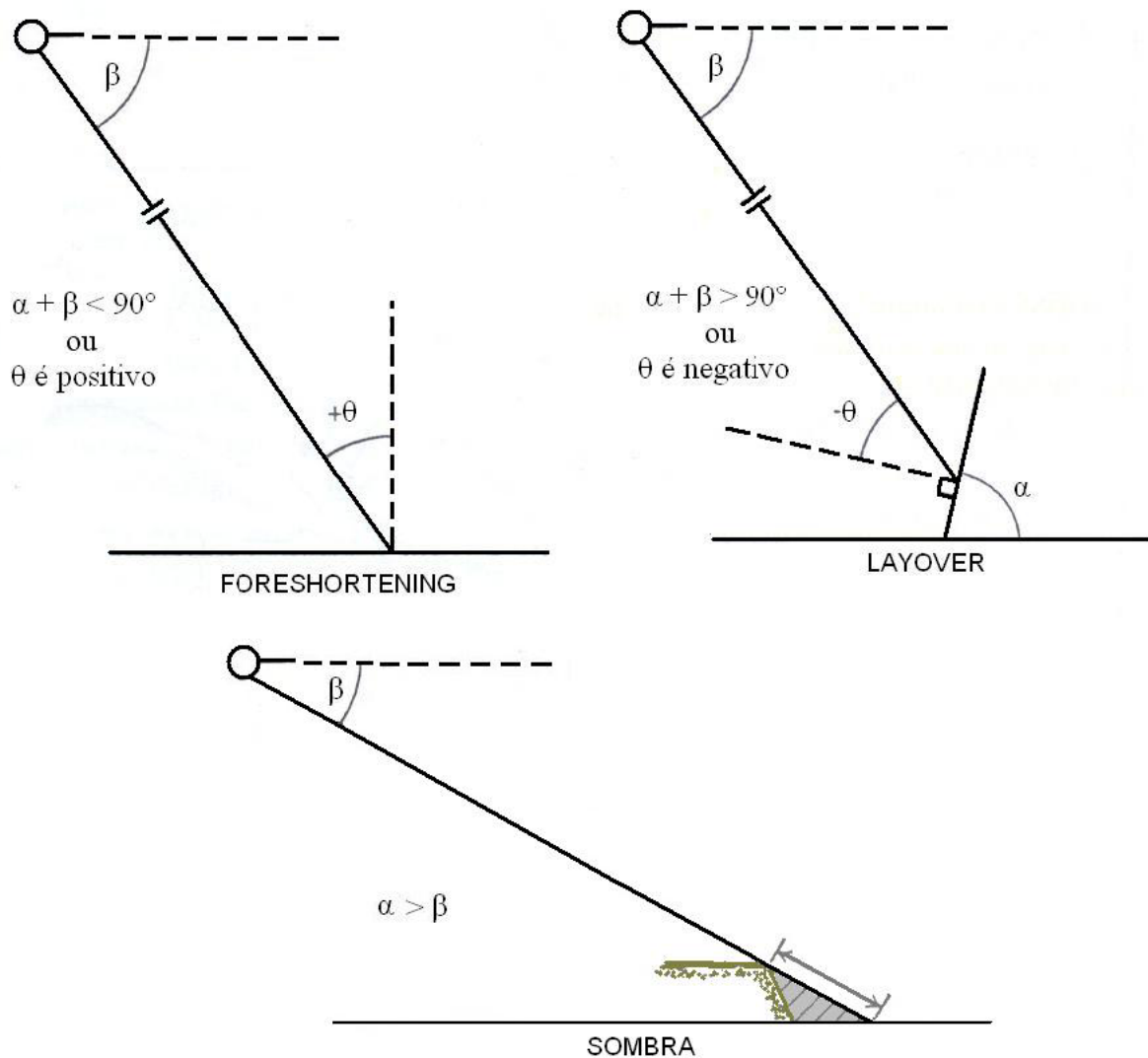
Paradella et al (2003a) relatam que, nas imagens SAR, as estruturas verticais no terreno são deslocadas em direção ao sensor, com as linhas de projeção que conectam pontos no terreno com pontos na imagem de radar, seguindo círculos concêntricos em relação à localização da antena. Nestes produtos SAR, os deslocamentos devido ao relevo são maiores na projeção *slant-range* (distância entre o sensor e o alvo no terreno) do que na projeção *ground-range* (distância entre a projeção da plataforma no terreno e o alvo). A **Figura 3.3** apresenta as projeções *slant-range* e *ground-range* com a comparação entre imagens nas duas projeções.



**Figura 3.3** - Comparação entre imagens de radar nas projeções *Slant Range* (A) e *Ground Range* (B).

Fonte – Adaptada de CCRS (2001).

Algumas distorções geométricas típicas no imageamento de radar são o *foreshortening* (encurtamento de rampa), *Layover* (inversão de relevo) e sombreamento (Leberl, 1998). A **Figura 3.4** apresenta as situações onde podem ocorrer tais distorções.



**Figura 3.4** – Efeitos geométricos das imagens de radar.  
 Fonte: Adaptada de Leberl (1998).

Os efeitos de relevo apresentados acima são de grande importância em uma imagem de radar e, conseqüentemente, na composição de pares estereoscópicos. Deve-se observar que, especialmente em terreno montanhoso, quanto menor for o ângulo de incidência da iluminação de radar (observação mais verticalizada), maiores serão os efeitos de *foreshortening* e *layover* (PARADELLA et al., 2003a).

Ângulos de incidência maiores minimizam esses efeitos, porém, aumentam as áreas com sombras de radar que representam perda de informação. Há ainda que se considerar o efeito da micro-topografia, como modulador do sinal retroespalhado. Neste sentido, maior será o efeito da rugosidade superficial no retroespalhamento do sinal de radar, quanto menor for o ângulo de incidência (PARADELLA et al., 2003a).

### 3.2 O USO DE IMAGENS RADARSAT-1 NA GERAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO (MDE)

O RADARSAT-1 é um sofisticado satélite de observação da Terra desenvolvido pelo Canadá, constituindo o primeiro sistema comercial na faixa de microondas com a capacidade de disponibilizar um grande volume de dados para todo o mundo. O satélite foi desenvolvido sob gerenciamento da Agência Espacial Canadense (*Canadian Space Agency – CSA*), em cooperação com a NASA/NOAA, províncias canadenses e empresas do setor privado do Canadá. Lançado em 1995, o RADARSAT-1 permite obter imagens de radar para fins comerciais ou científicos, nas disciplinas Agricultura, Cartografia, Geologia, Geografia, Floresta, Oceanografia, Monitoramento Costeiro e de Geleiras dentre outras. O RADARSAT-1 opera na faixa de microondas conhecida como banda C, com frequência de 5,3 GHz ou 5,6 cm de comprimento de onda, transmitindo e recebendo a energia com, ou polarização horizontal (HH). As variações no sinal de retorno (*backscatter*) capturadas pelo sensor são resultantes da mudança de rugosidade da superfície e de efeitos topográficos, assim como de propriedades físicas, tais como, conteúdo de umidade e constante dielétrica dos alvos (RADARSAT International, 1995).

O satélite circula a Terra a uma altitude 798 km, com uma inclinação de 98,6° sobre o plano do equador e órbita hélio-síncrona, com repetição a cada 24 dias. Seus dados são disponibilizados em seis modos de aquisição (*Fine, Standard, Wide, ScanSAR Narrow, ScanSAR Wide e Extended*).

O sensor tem a capacidade de adquirir imagens com ângulo de incidência variando, de 10° a 60°, com largura de faixa imageada variando de 50 a 500 km e resoluções nominais que vão de 8 a 100 metros, dependendo do modo de aquisição. Os dados podem ser utilizados pelos usuários em menos de 4 horas após a sua aquisição. As características dos modos de imageamento do satélite RADARSAT-1 são apresentados na **Tabela 3.1**.

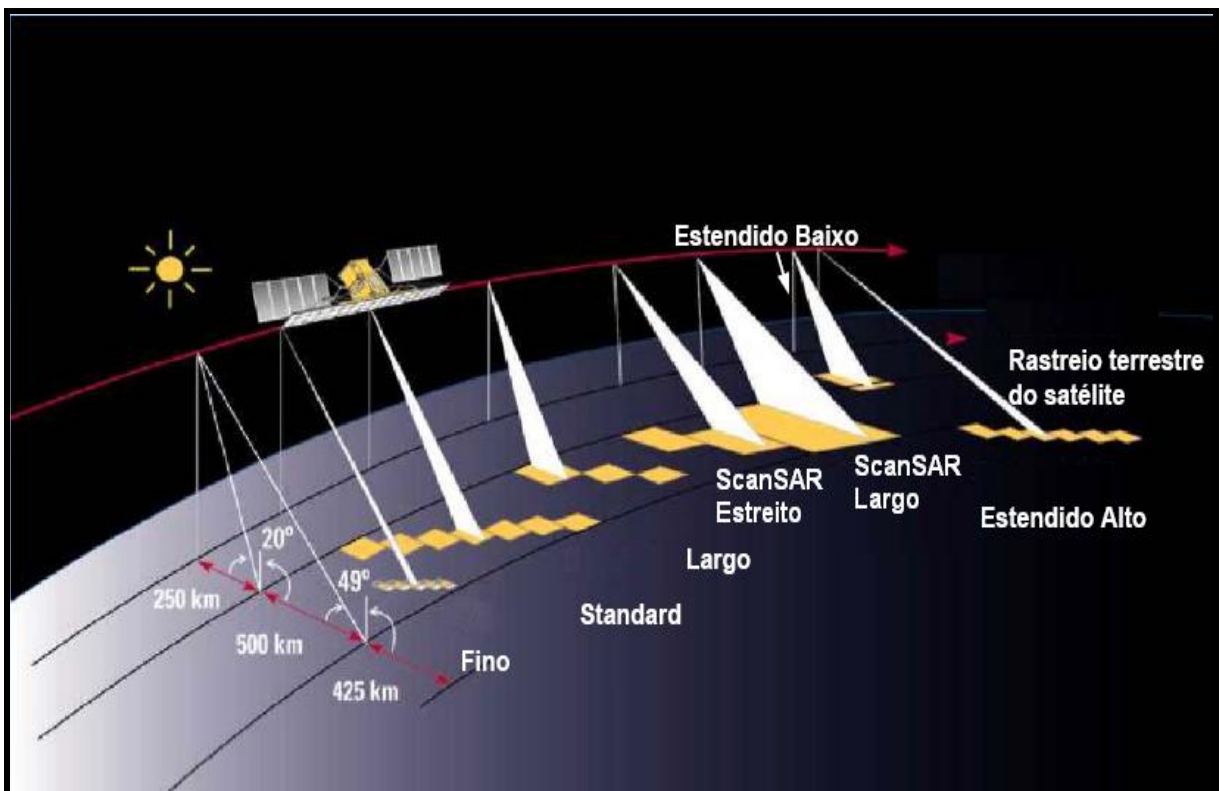
**Tabela 3.1** – Características dos Modos de Imageamento do RADARSAT-1.

Modo	Posição	Ângulo de Incidência	Resolução Nominal	Área Nominal
<i>Fine</i>	F1	36,4° - 40,3°	8 m	50 X 50 km
	F2	38,8° - 42,5°		
	F3	41,1° - 44,3°		
	F4	43,1° - 46,1°		
	F5	45° - 47,8°		
<i>Standard</i>	S1	20° - 27°	25 m	100 X 100 km
	S2	24° - 31°		
	S3	30° - 37°		
	S4	34° - 40°		
	S5	36° - 42°		
	S6	41° - 46°		
	S7	45° - 49°		
<i>Wide</i>	W1	20° - 31°	30 m	165 X 165 km
	W2	31° - 39°		150 X 150 km
	W3	39° - 45°		130 X 130 km
<i>ScanSAR Narrow</i>	SNA	20° - 40°	50 m	300 X 300 km
	SNB	31° - 46		
<i>ScanSAR Wide</i>	SWA	20° - 49°	100 m	500 X 500 km
	SWB	20° - 46°		450 X 450 km
<i>Extended High</i>	H1	49° - 52°	25 m	75 X 75 km
	H2	50° - 53°		
	H3	52° - 55°		
	H4	54° - 57°		
	H5	56° - 58°		
	H6	57° - 59°		
<i>Extended Low</i>	L1	10° - 23°	35 m	170 X 170 km

Fonte: Adaptada de RADARSAT International (1995).

As imagens do RADARSAT-1 são muito favoráveis para se trabalhar em estereoscopia, pois podem ser adquiridas de diferentes ângulos de incidência, modos, posições e com resoluções capazes de fornecer alto nível de detalhe da superfície da Terra (TOUTIN e VESTER, 1997). Assim como fotografias aéreas, os pares de imagens do RADARSAT-1 e de outros satélites são adquiridos em imagens seqüenciais, uma à esquerda e outra à direita, dependendo da posição da plataforma e do tempo em que foram adquiridas. Os pares de imagens do RADARSAT-1 dependem de dois fatores: (a) o modo de aquisição e (b) a órbita de passagem, ascendente ou descendente (ver **Figura 3.1**).

A **Figura 3.5** ilustra os modos de aquisição do RADARSAR-1, configuração da visada e ângulo de incidência.



**Figura 3.5** – Modos de aquisição, configuração de visada e ângulo de incidência das imagens RADARSAT-1.

Fonte: adaptada de RADARSAT Internacional (1995).

Para analisar MDEs gerados a partir de imagens RADARSAT-1, Toutin (1998) gerou tais produtos a partir de nove pares de imagens, de mesmo lado e lados opostos, na região de Sherbrooke, Canadá. Reporta ainda que, ao selecionar os GCPs com recursos de visualização estereoscópica (estéreo GCPs), houve uma melhora de 20 a 40% na precisão dos modelos, em comparação com a definição monoscópica dos GCPs.

Com os resultados alcançados, Toutin (1998) conclui que os estéreo-pares com disparidades geométricas equivalentes, ou seja, valores de VPR próximos geraram os melhores resultados (F5 / F1 contra S7 / H6, S1 / S4 contra S2 / S7.). Para imagens com disparidades radiométricas equivalentes, a melhor geometria resulta nos melhores resultados (S1 / S4 contra S4 / S7, S1 / S7 contra S2 / S7, etc.).

$$VPR = [\cot R - \cot L] \quad (3.1)$$

Onde:

R = Ângulo de visada da imagem no par (lado direito);

L = Ângulo de visada da imagem no par (lado esquerdo).



Na **Tabela 3.2**, são apresentados os resultados dos MDEs gerados com valores de LE90 (Erro Linear com 90% de nível de confiança), Razão de Paralaxe Vertical (VPR), *Bias* (média), Erro Máximo.

**Tabela 3.2** – Precisão de MDEs gerados com imagens RADARSAT-1.

Estéreo Par	VPR	Relevo	LE90	<i>Bias</i> (média).	Erro Máximo
F5/F1 (mesmo lado)	0,37	Plano	12 m	-3,3 m	33,2 m
		Moderado	36 m	4,2 m	95 m
		MDE inteiro	25 m	-1,1 m	95 m
S7/H6 (mesmo lado)	0,31	Plano	44 m	-8,9 m	89,4 m
		Moderado	58 m	-7,1 m	153,4 m
		MDE inteiro	85 m	-5,9 m	270 m
S4/S7 (mesmo lado)	0,39	Plano	24 m	25,8 m	58,6 m
		Moderado	46 m	-6,5 m	81,2 m
		MDE inteiro	45 m	-1,3 m	150,3 m
S4/H3 (mesmo lado)	0,59	Plano	23 m	11,7 m	101,7 m
		Moderado	59 m	-18 m	116,6 m
		MDE inteiro	54 m	-1,9 m	161,8 m
S1/S4 (mesmo lado)	0,97	Plano	15 m	-7,1 m	40,2 m
		Moderado	29 m	10,9 m	66,6 m
		MDE inteiro	23 m	-1,9 m	82 m
S2/S7 (mesmo lado)	0,99	Plano	16 m	-9,3 m	44,2 m
		Moderado	43 m	-2 m	64,7 m
		MDE inteiro	39 m	-3,9 m	148,7 m
S1/S7 (mesmo lado)	1,37	Plano	11 m	-3,7 m	25,3 m
		Moderado	27 m	6,6 m	65,6 m
		MDE inteiro	14 m	-5 m	71,3 m
F4/F5 (lados opostos)	1,97	Plano	16 m	-15 m	108,6 m
		Moderado	107 m	-7,4 m	199 m
		MDE inteiro	34 m	-11,8 m	199 m
F4/F5 (lados opostos com filtro)	1,97	Plano	21 m	-17,4 m	312,7 m
		Moderado	77 m	-2,2 m	132,8 m
		MDE inteiro	47 m	-14,3 m	289,5 m

Fonte: Adaptada de TOUTIN (1999)

Para o cálculo dos valores da Razão de Paralaxe Vertical, Toutin usou a equação 3.1, que de acordo com o primeiro caso na tabela acima em que a cotangente do ângulo de incidência de  $F5=45^\circ$  e a cotangente do ângulo de incidência de  $F1=36,4^\circ$ , resulta no valor de  $VPR=0,37$ . Para o cálculo do LE90, ele utilizou a equação 3.3 e multiplicou o resultado obtido por 1,6449 ( $PEC=1,6449 \times EP=RMS$ ).

Considerando que o relevo é um parâmetro importante na precisão final de um MDE, Toutin (1999) conclui que deve existir um compromisso entre as disparidades geométrica e radiométrica na seleção de estéreo-pares do RADARSAT-1 para a geração de MDEs. A relação entre disparidade geométrica e radiométrica é mostrada na **Tabela 3.3**.

**Tabela 3.3** – Disparidades Geométrica e Radiométrica de pares de imagens RADARSAR-1 em Estéreo.

Declividade do Terreno	Terreno Plano 0 a 10°	Terreno Colinoso 10 a 30°	Terreno Montanhoso 30 a 50°
Disparidade Radiométrica	Pequena	Média	Grande
Disparidade Geométrica	Grande	Média	Pequena
Alternativas para escolha de par de imagens	Lados Opostos.	Mesmo Lado com ângulo de Interseção grande ou Lados Opostos.	Mesmo Lado com ângulo de Interseção Pequeno.
Configuração RADARSAT-1 em estéreo	S1(desc.)/S1(asc.) F1(desc.)/F1(asc.)	S1(desc.)/S1(asc.) F1(desc.)/F1(asc.) ou S7(desc.)/S7(asc.)	S1/S4(desc. ou asc.) F2/F5(desc. ou asc.) S4/S7(desc. ou asc.) F1/F4(desc. ou asc.)

FONTE: Adaptada de TOUTIN (1999)

Toutin (1999) considera que o *speckle* dificulta a restituição de pontos de controle (GCPs), mas não degrada a precisão de MDEs, porque os métodos de correlação ou a “visão estereoscópica humana” se comportam como um filtro.

### 3.3 A MISSÃO SRTM – SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION

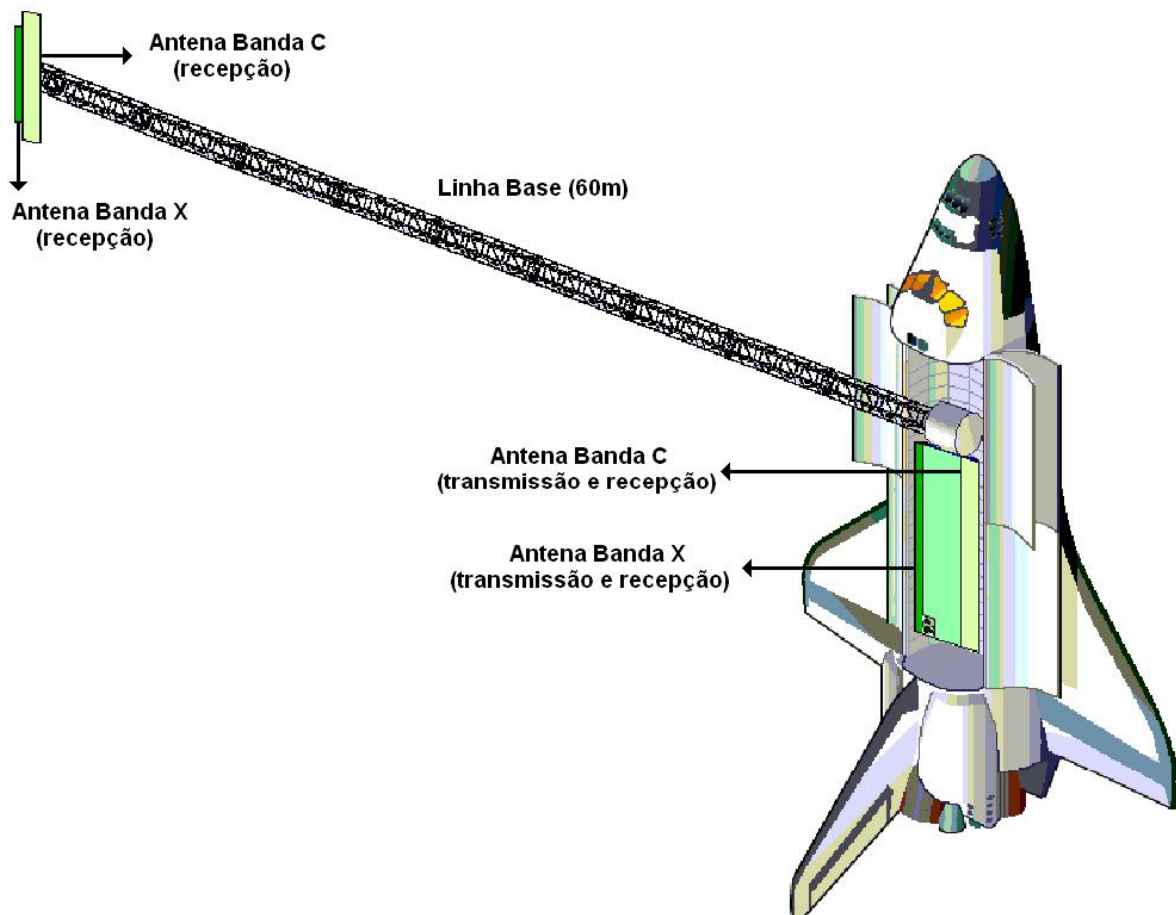
O ônibus espacial *Endeavour*, veículo espacial utilizado para a missão, foi lançado no dia 11 de fevereiro de 2000 para uma órbita de 233 km de altitude e com inclinação de 57°. Durante a missão, foram completadas 176 órbitas e 159 delas utilizadas para geração de modelos digitais de elevação (Rabus et al., 2003).

Entre os dias 11 e 22 de fevereiro de 2000, a SRTM coletou dados através de um SAR Interferométrico (InSAR), para a região da Terra entre as latitudes 60° N e 56° S (KOCK; HEIPKE; LOHMANN, 2002; RABUS et al., 2002). Sete horas após o lançamento, o mastro da linha base (**Figura 3.7**) foi desdobrado com sucesso e 90 minutos mais tarde os primeiros dados eram gravados. Imediatamente após a gravação, os dados foram enviados para a estação terrestre e foram analisados por

cientistas do JPL e DLR. Logo depois o primeiro MDE da banda X foi gerado (RABUS et al., 2003).

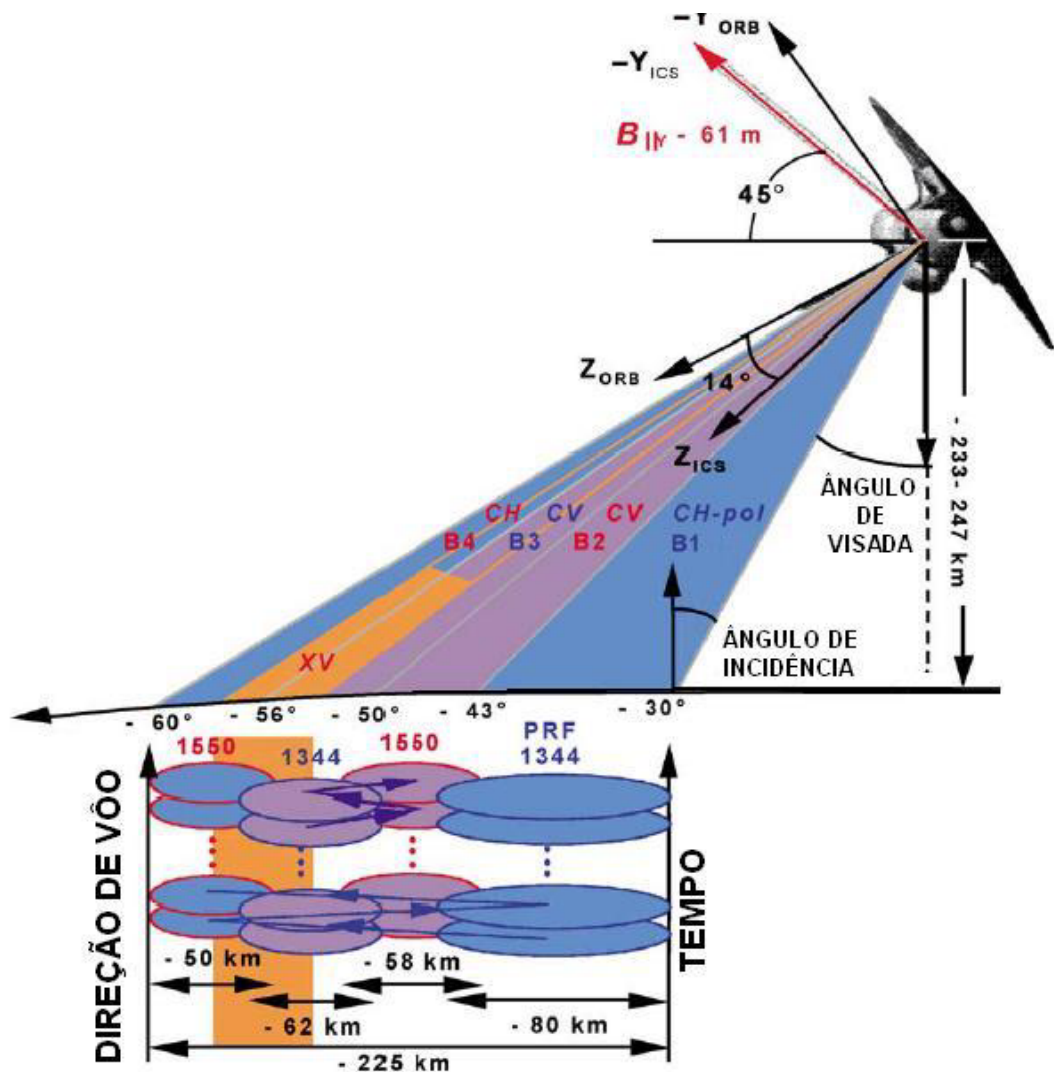
A missão produziu um MDE de cobertura global com resolução de 1 e 3 arco-segundos (RABUS, 2003). Duas antenas foram utilizadas: SIR-C (Estados Unidos) e X-SAR (Alemanha/Itália). O sistema empregou os comprimentos de onda ( $\lambda$ ) de 6,0 cm para a banda C e 3,1 cm para a banda X (KOCK et al., 2002).

As antenas principais, posicionadas dentro do módulo de carga do ônibus espacial *Endeavour*, transmitiram e receberam o pulso de energia. As antenas secundárias (**Figura 3.6**), posicionadas a 60 metros da espaçonave por meio de um mastro, funcionaram apenas como receptor do pulso de energia (KOCK; HEIPKE; LOHMANN, 2002).



**Figura 3.6** – Posição das antenas primárias e secundárias da SRTM.  
Fonte: Adaptada de (RABUS et al 2003).

A geometria de aquisição dos dados é ilustrada na **Figura 3.7**. Mais detalhes podem ser vistos em Rabus et al (2003).



**Figura 3.7** – Geometria de aquisição dos dados SRTM.  
Fonte: Adaptada de Rabus et al. (2003).

Kock; Heipke e Lohmann (2002) comparam um conjunto de dados de elevação da SRTM banda X (ITED-2) com dados de referência de uma área situada ao sul de Hannover (Alemanha). A área teste correspondeu a  $2.500 \text{ km}^2$  e a máxima diferença em elevação observada foi de  $450 \text{ m}$ .

Foram calculadas as diferenças entre um MDE de referência com um MDE SRTM ITED-2 apenas em área sem vegetação e construções. Como resultado, verificou-se um erro médio de  $2,6 \text{ metros}$  e desvio padrão de  $3,3 \text{ m}$ .

### 3.4 CONTROLE DE QUALIDADE DE PRODUTOS CARTOGRÁFICOS

Os Artigos 8º e 9º, do Decreto N.º.817, que classificam uma carta quanto à exatidão e tipos respectivamente, são transcritos a seguir:

*Art. 8º As cartas quanto à sua exatidão devem obedecer ao Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC, segundo o critério abaixo indicado:*

- 1. Noventa por cento dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica – Planimétrico estabelecido.*
- 2. Noventa por cento dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação de curvas de nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica – Altimétrico estabelecido.*

*§ 1º Padrão de Exatidão Cartográfica é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão de trabalhos cartográficos.*

*§ 2º A probabilidade de 90% corresponde a 1, 6449 vezes o Erro Padrão – PEC = 1, 6449 EP.*

*§ O Erro-Padrão Isolado num trabalho cartográfico, não ultrapassa 60,8% do Padrão de Exatidão Cartográfica.*

*§ 4º Para efeito das presentes instruções, consideram-se equivalentes às expressões Erro-Padrão, Desvio-Padrão e Erro-Médio-Quadrático.*

*Art. 9 As Cartas, segundo sua exatidão, são classificadas nas classes A, B e C, segundo os critérios seguintes:*

*a – Classe A*

- 1. Padrão de Exatidão Cartográfico – Planimétrico: 0,5 mm na escala da carta, sendo de 0,3 mm na escala da carta do Erro-Padrão correspondente.*
- 2. Padrão de Exatidão Cartográfica – Altimétrico: metade da eqüidistância entre as curvas de nível, sendo de um terço desta eqüidistância o Erro-Padrão correspondente.*

*b – Classe B*

- 1. Padrão de Exatidão Cartográfica – Planimétrico: 0,8 mm na escala da carta, sendo de 0,5 mm na escala da carta o Erro-Padrão correspondente.*
- 2. Padrão de Exatidão Cartográfica – Altimétrico: três quintos da eqüidistância entre as curvas de nível, sendo de dois quintos o Erro-Padrão correspondente.*

*c – Classe C*

1. *Padrão de Exatidão Cartográfica – Planimétrico: 1 mm na escala da carta, sendo de 0,6 mm na escala da carta o Erro-Padrão correspondente.*
2. *Padrão de Exatidão Cartográfica – Altimétrico: três quantos da equidistância entre as curvas de nível, sendo de metade desta equidistância o Erro-Padrão correspondente.*

Na Tabela 3.4 estão os valores do Padrão de Exatidão Cartográfica Planimétrico e Altimétrico para as classes A, B e C.

**Tabela 3.4** – Valores do Padrão de Exatidão Cartográfica Plainimétrico e Altimétrico para as classes A, B e C.

Classe da Carta	Planimetria		Altimetria	
	PEC	EP	PEC	EP
A	0,5 mm na escala da carta	0,3 mm na escala da carta	1/2 equidistância	1/3 equidistância
B	0,8 mm na escala da carta	0,5 mm na escala da carta	3/5 equidistância	2/5 equidistância
C	1 mm na escala da carta	0,6 mm na escala da carta	3/4 equidistância	½ equidistância

Fonte: Adaptado de (CONCAR IBGE, 1984).

As tolerâncias que devem ser consideradas para as escalas de mapeamento 1: 50.000, 1:100.000 e 1:250.000, considerando como 1/3 do Erro Padrão o valor máximo do erro do ponto de verificação obtido em levantamento de campo, encontram-se na **Tabela 3.5**.

**Tabela 3.5** – Tolerâncias Altimétricas dos Pontos de Verificação Considerados 1/3 do Erro Padrão.

Tabela 3.5 - Tolerâncias Altimétricas dos Pontos de Verificação Considerados 1/3 do Erro Padrão.

Escala	Equidistância das Curvas	1/3 do EP para Classe A	1/3 do EP para Classe B	1/3 do EP para Classe C
1: 50.000	20	2,22 m	2,67 m	3,33 m
1: 100.000	50	5,56 m	6,67 m	8,33 m
1: 250.000	100	11,11 m	13,33 m	16,67 m

Fonte: Adaptado de (CONCAR IBGE, 1984).

Como índice de precisão, utiliza-se o desvio padrão (média de dispersão), ou, na terminologia do geodesta, o Erro Quadrático Médio (Gemael, 1994).

A equação que permite calcular o RMSE é apresentada a seguir:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\sum (Z_i - Z_t)^2 / n} \quad (3.2)$$

Onde:

$Z_i$  = elevação de um ponto do MDE

$Z_t$  = elevação do ponto levantado em campo

$n$  = números de pontos testados.

A quantidade mínima de pontos de verificação, para o cálculo do RMSE, é de vinte e oito pontos. Destes, vinte pontos devem estar localizados na porção central, ou interior, e oito pontos nas bordas do MDE (USGS, 1998).

Como índice de precisão altimétrica a comunidade cartográfica usa critério de erro linear como intervalo probabilístico de confiança para estimativa de acurácia altimétrica (TOUTIN, 1997). A designação LE90 é usada para quantificar o erro em elevação do MDE versus medidas reais em elevação (elevação verdadeira).

No cálculo do LE90, as seguintes relações são usadas:

$$LE90 = 1,6449 \times RMS$$

$$RMS = \sqrt{(Z_F - Z_{DGPS})^2 / N - 1} \quad (3.3)$$

Onde:

$Z_F$  = elevação dos ICPs na imagem;  $Z_{DGPS}$  = elevações dos ICPs correspondentes medidos em campo por DGPS;  $N$  = número de ICPs considerados.

## CAPÍTULO 4

### 4 CONJUNTO DE DADOS UTILIZADOS E ABORDAGEM METODOLÓGICA

#### 4.1 DADOS DE SENSORES REMOTOS

##### 4.1.1 RADARSAT-1

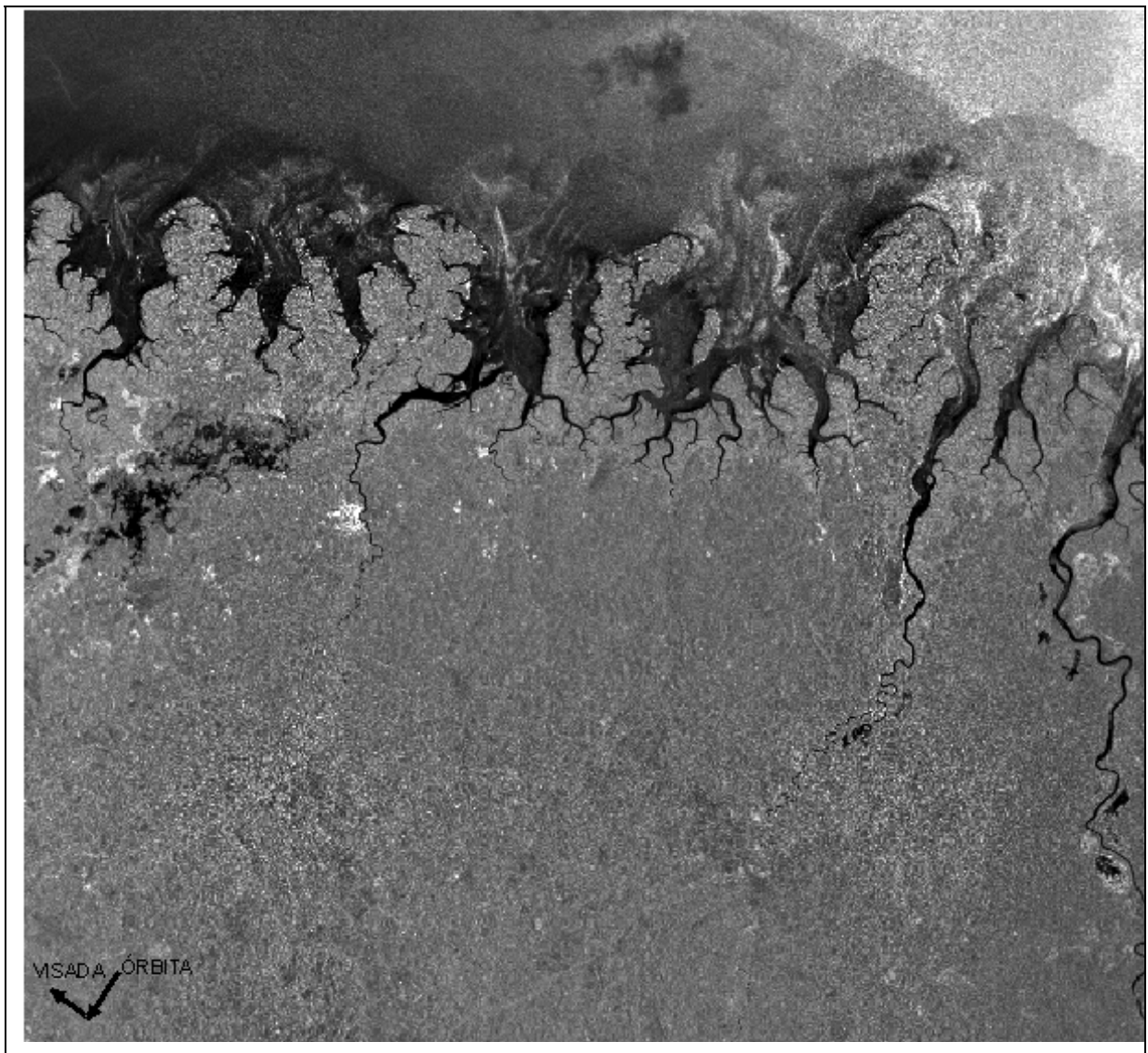
As características das imagens utilizadas neste trabalho estão descritas na tabela abaixo.

**Tabela 4.1** – Características das imagens RADARSAT-1 (S1, S2, S6, S7).

Imagem	Data de Aquisição	Órbita	Ângulo de Incidência (grau)	Faixa Imageada (km)	Resolução espacial (range x azimute) (m)	Espaçamento de Pixel (m)	Condição de Maré
Standard 1	19 /05/2003	Des	20° - 27°	100 x 100	26 x 27	12.5 x 12.5	Baixa
Standard 2	09 /05/2003	Asc	24° - 31°	100 x 100	22 x 27	12.5 x 12.5	Alta
Standard 6	16 /05/2003	Des	41° - 46°	100 x 100	22.1 x 27	12.5 x 12.5	Vazante
Standard 7	19 /05/2003	Asc	45° - 49°	100 x 100	21.7 x 27	12.5 x 12.5	Vazante

As imagens RADARSAT-1 S1, S2, S6, S7 brutas são apresentadas nas **Figuras 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4.**

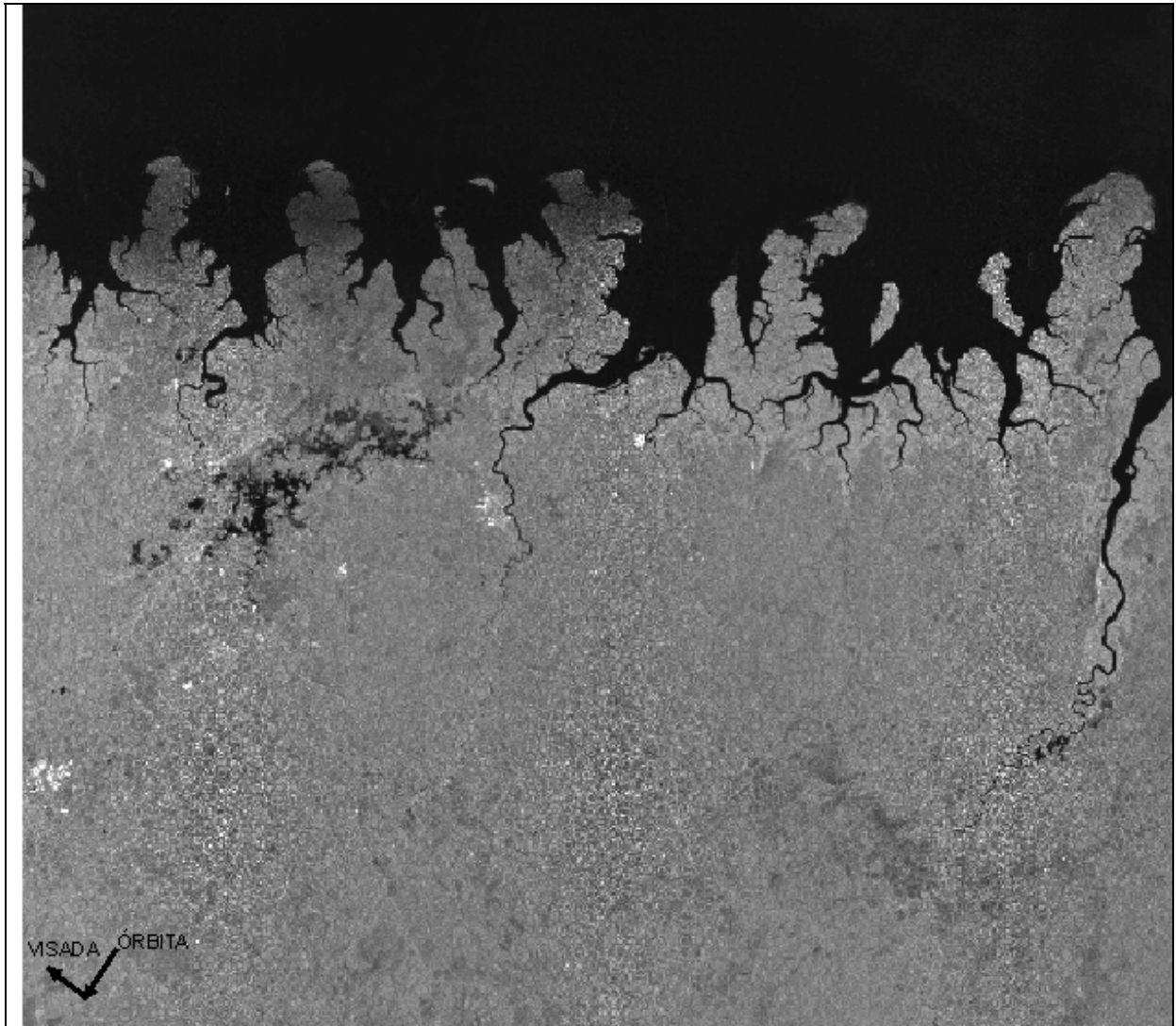




**Figura 4.1** - Imagem RADARSAT-1 (S1 Des) bruta  
Fonte: Agência Espacial Canadense, 2003.



**Figura 4.2** – Imagem RADARSAT-1 (S2 Asc) bruta.  
Fonte: Agência Espacial Canadense, 2003.



**Figura 4.3** - Imagem RADARSAT-1(S6 Des) bruta

Fonte: Agência Espacial Canadense, 2003.



**Figura 4.4** - Imagem RADARSAT-1 (S7 Asc) bruta  
Fonte: Agência Espacial Canadense, 2003.

#### 4.1.2 Imagens Landsat-5 TM e Landsat-7 ETM +

A série LANDSAT foi iniciada no final da década de 60, a partir de um projeto desenvolvido pela Agência Espacial Americana dedicado exclusivamente à observação dos recursos naturais terrestres. O primeiro satélite da série começou a operar em 1972 e a última atualização ocorreu em 1999 com o lançamento do LANDSAT-7. Atualmente o único satélite em operação é o LANDSAT-5, que leva a bordo o sensor TM e contribui para o mapeamento temático da superfície terrestre. O LANDSAT-7 iniciou suas atividades em abril de 1999 e encerrou em 2003,

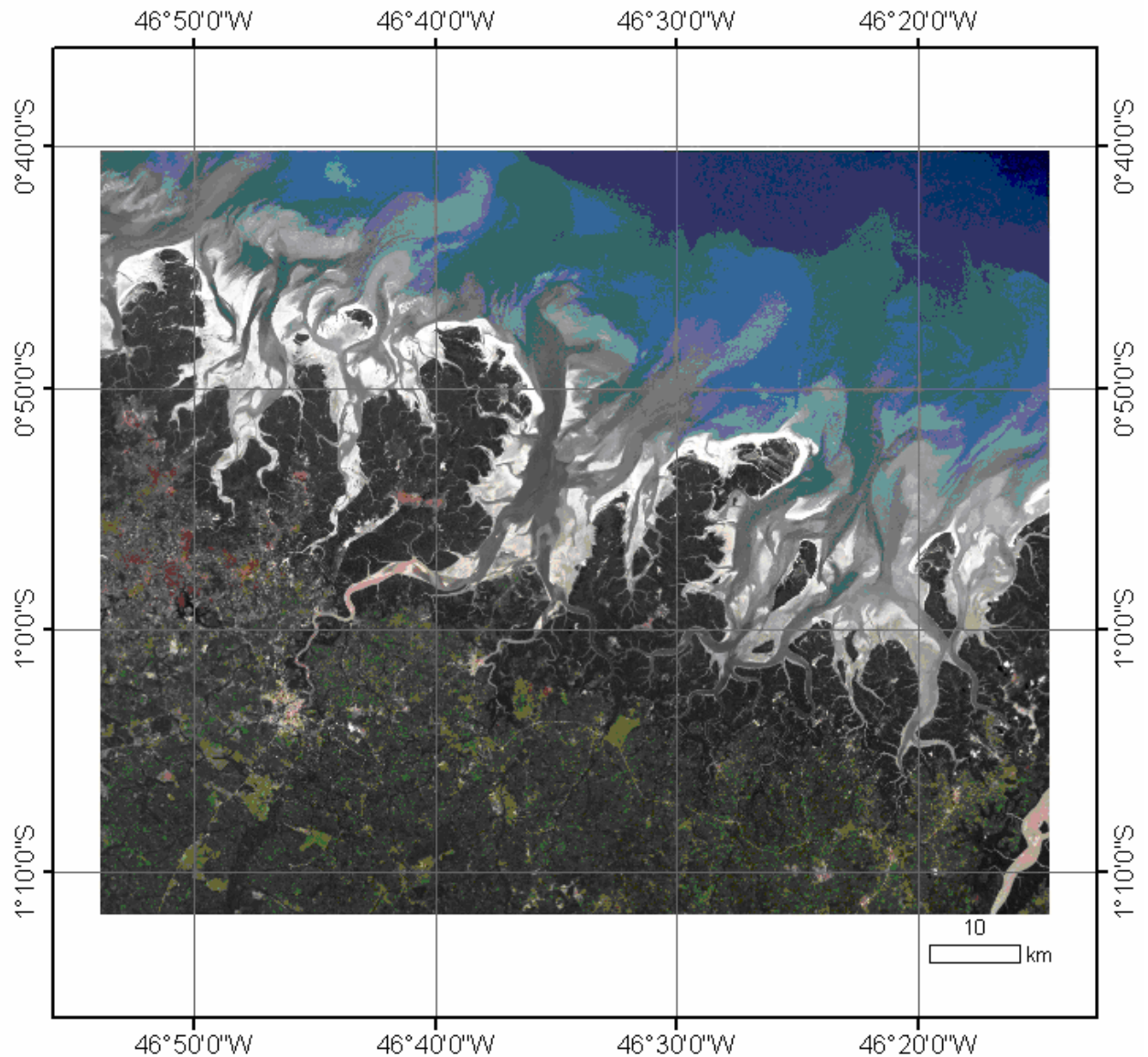
utilizando o sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*). Este instrumento foi capaz de ampliar as possibilidades de uso dos produtos LANDSAT, porque manteve a alta resolução espectral (característica importante desse sistema) e conseguiu ampliar a resolução espacial da banda 6 (Infravermelho Termal) para 60 metros além de inserir a banda pancromática e permitir a geração de composições coloridas com 15 metros de resolução. A antena de recepção do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) localizada em Cuiabá, capta desde os anos 70 imagens de todo território nacional, o que representa um enorme e único acervo de dados sobre nosso país.

As características das imagens LANDSAT TM e ETM+ utilizadas no presente trabalho estão descritas na tabela abaixo.

**Tabela 4.2 – Características das imagens LANDSAT-5 TM e LANDSAT-7 ETM+.**

Satélite	LANDSAT 5	LANDSAT 7
Lançamento	1/3/1984	15/4/1999
Situação Atual	em atividade	Inativo (2003)
Órbita	Polar, Circular e. Heliossíncrona	Polar, Circular e heliossíncrona.
Altitude	705 km	705 km
Inclinação	98,20°	98,3°
Tempo de Duração da Órbita	98,20 min	98,9 min
Horário de Passagem	09h45min AM	10h00min AM
Período de Revisita	16 dias	16 dias
Instrumentos Sensores	MSS e TM	ETM+
Resolução	30m X 30m	30m X 30m

Fonte: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005.



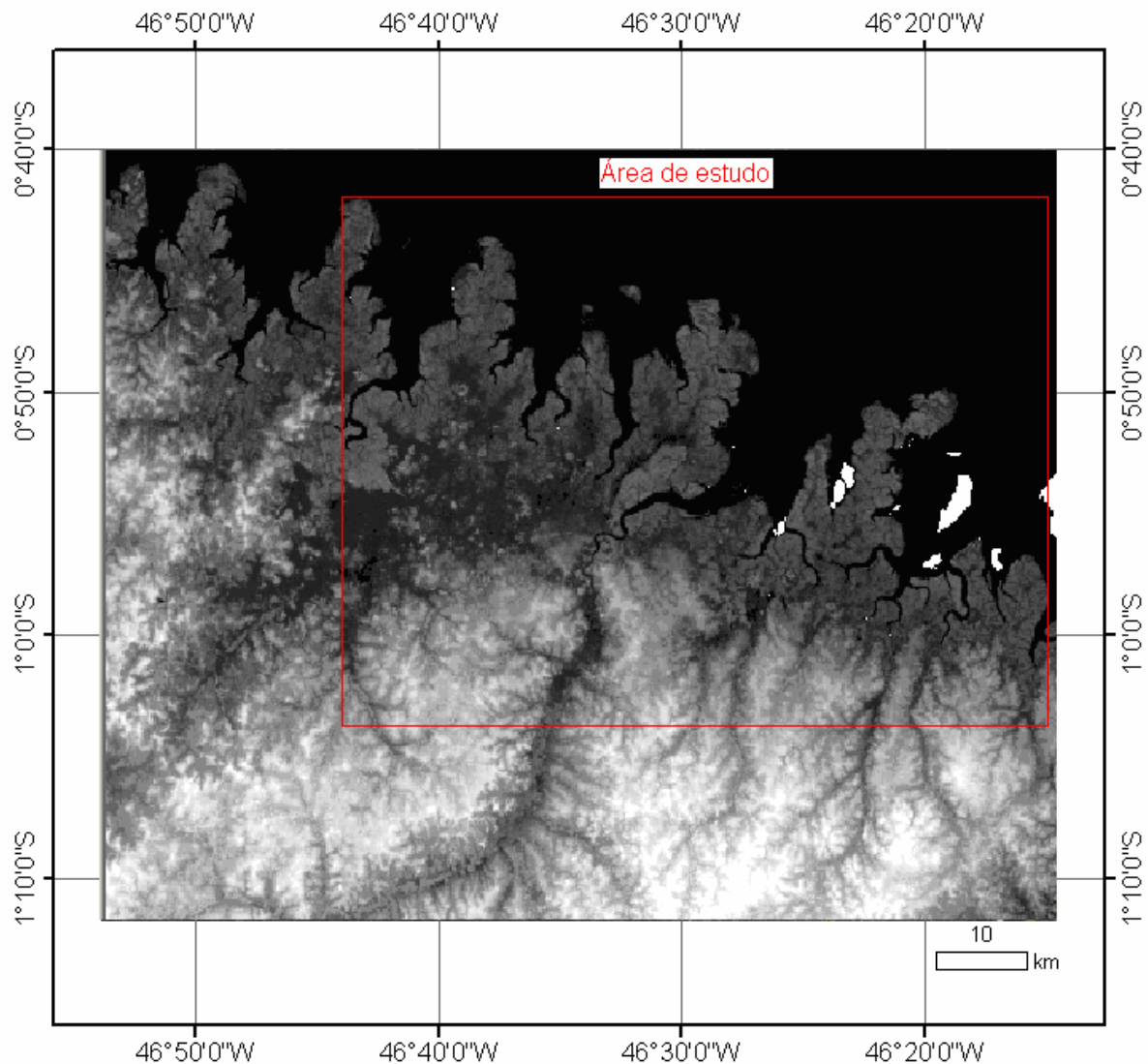
**Figura 4.5** - Imagem no sistema Geocover ETM+ Landsat 7, composição colorida 3R2G1B.

Fonte: Global Land Cover Facility, 2005

#### 4.1.3 Modelo digital de elevação SRTM

A missão SRTM gerou um MDE de cobertura global com resoluções de 1 e 3 arcos-segundos, com tamanho de pixel de 90 X 90 m (Rabus et. al, 2003). Duas antenas foram utilizadas: SIR-C (Estados Unidos) e X-SAR (Alemanha/Itália). O sistema emprega os comprimentos de onda ( $\lambda$ ) de 6,0 cm para a banda C e 3,1 cm para a banda X (KOCH; HEIPKE; LOHMANN, 2002).

A **Figura 4.6** mostra a imagem do MDE SRTM usada na modelagem do MDE absoluto.



**Figura 4.6** – Imagem do MDE SRTM usada na modelagem do MDE absoluto.

Fonte: Shuttle Radar Topography Mission, 2005

#### 4.2 MEDIDAS EM CAMPO COM DGPS

Dois receptores geodésicos de frequência dual, modelo Z-Xtreme, foram utilizados nas campanhas de medidas DGPS estáticas, realizadas em julho e agosto de 2005. A sistemática de campo das medidas estáticas constou do cálculo diferencial tomando-se como base a RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) do IBGE (**Figura 4.7**). Os dados de campo foram posteriormente processados no Laboratório de Análise de Imagens do Trópico Úmido (LAIT) do

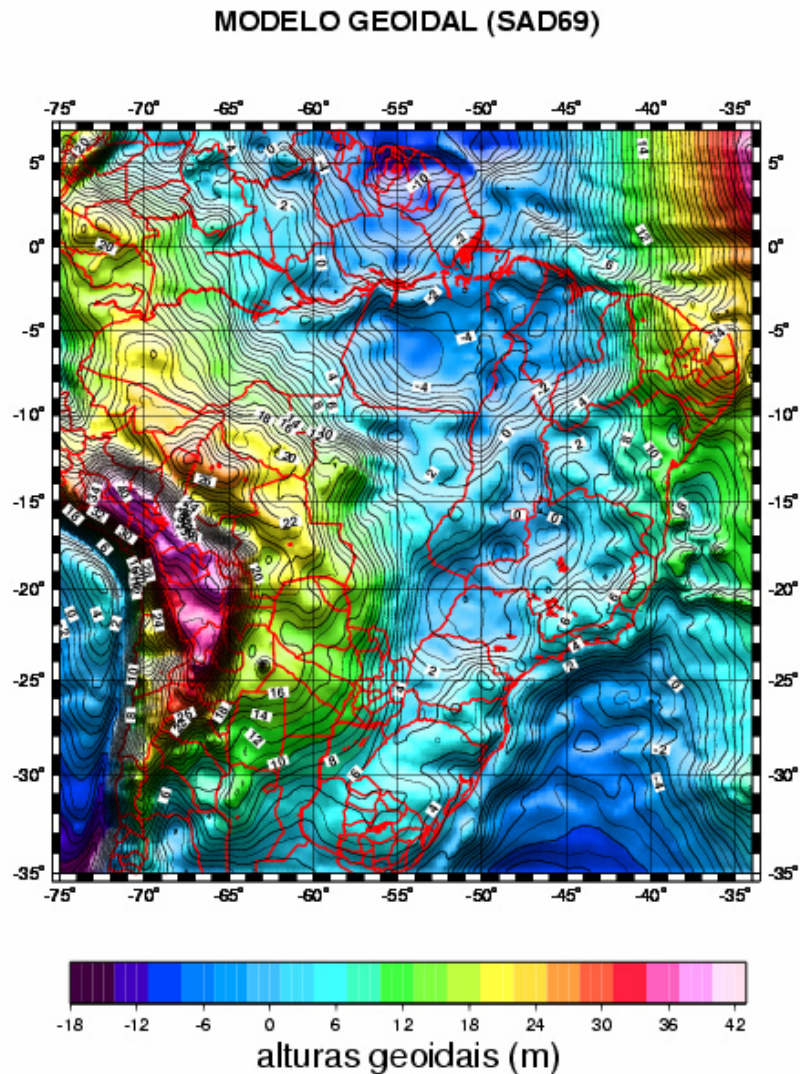
Centro de Geociências da UFPA. Para ajustar os pontos coletados em campo, foi usada a base da RBMC de Belém como referência. Os dados foram corrigidos para efeitos da troposfera e determinadas suas altitudes ortométricas utilizando nivelamento com DGPS (Z-Xtreme) associado com modelo geoidal (MAPGEO) (**Figura 4.8**), com coordenadas geográficas referenciadas ao SAD69.



**Figura 4.7** – RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo).

Fonte – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2005.





**Figura 4.8** – Modelo Geoidal (MAPGEO).

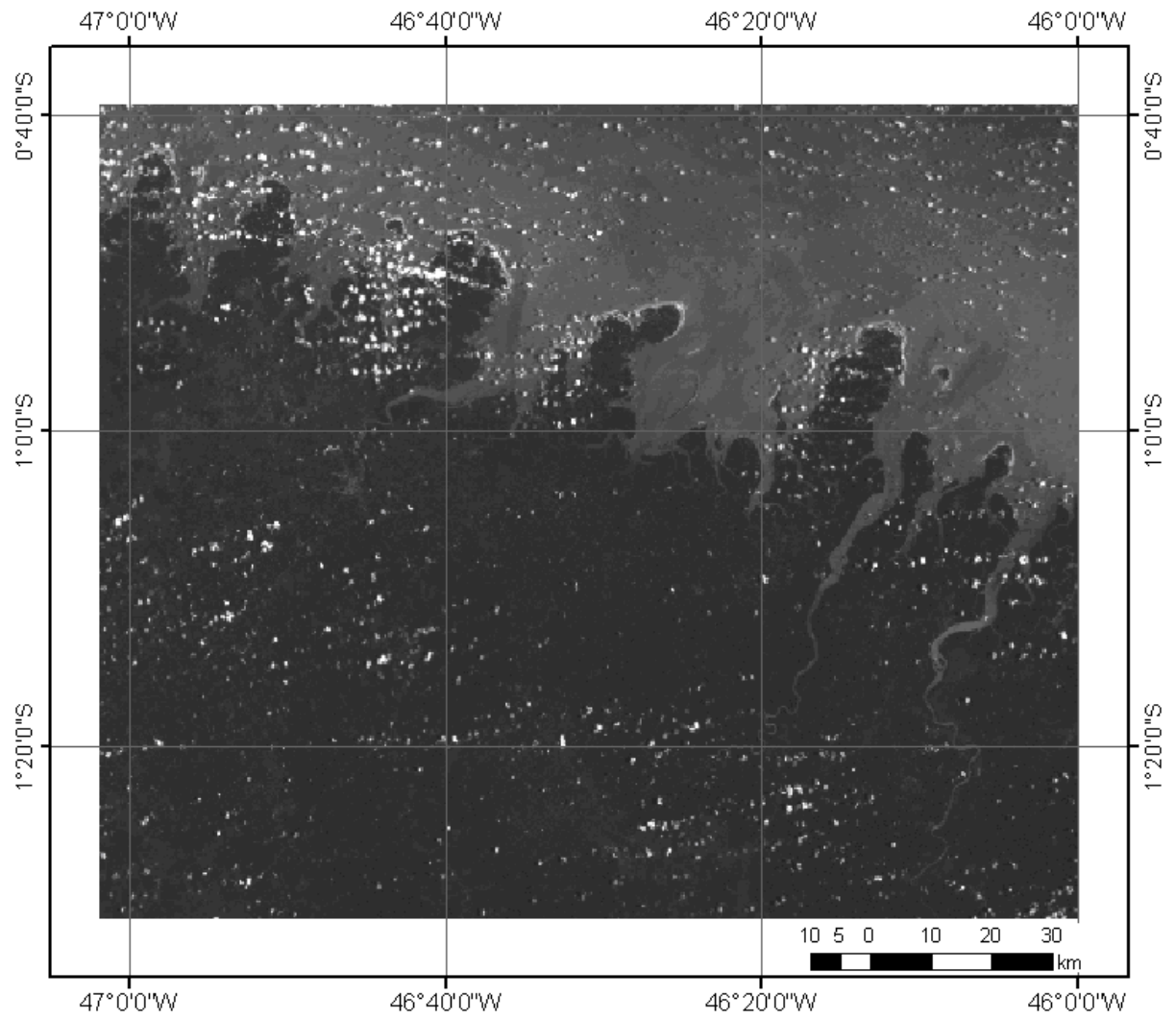
Fonte – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2005.

A escolha de pontos notáveis (pontos localizados nas imagens e no campo) não é tarefa fácil. Pontos bem localizados no terreno, nem sempre são claramente identificáveis nas imagens de radar, função da resolução espacial do sensor, das distorções geométricas da visada lateral SAR e do retroespalhamento do sinal, controlado por características geométricas e elétricas do alvo. Assim, na escolha dos pontos notáveis, além de premissas básicas (número razoável, distribuição em área, localização fora das bordas das imagens, evitando-se extrapolação em planimetria,

abrangência de variação altimétrica, etc.), devem ainda ser considerados aspectos de variação temporal. Os pontos mais estáveis são os preferenciais, tais como, as interseções de estradas, obras de engenharia, limites bem definidos de propriedades, campos agrícolas, etc. (PARADELLA et al., 2003a).

Considerando-se que as imagens Standard apresentam as dificuldades citadas anteriormente no que diz respeito a identificação dos pontos colhidos em campo com seus homólogos diretamente na imagem foram gerados Modelos Digitais de Elevação absolutos com dois procedimentos diferentes, sendo o primeiro baseado em Paradella et al., 2004, com GCPs a partir de uma imagem TM-Landsat ortorretificação e uma população de pontos de controle medidos em campo por DGPS e o segundo a partir de GCPs das fontes Landsat ETM + na base Geocover para planimetria e SRTM para altimetria. Para a validação da acurácia do MDE absoluto gerado foram usados 13 ICPs.

A cena TM-Landsat (**Figura 4.9**) foi ortorretificada com uma população de cinco pontos de controle medidos em campo no método estático e 27 da missão SRTM. Nos resíduos planimétricos, dos 32 pontos de controle utilizados na coleta dos GCPs, pode-se verificar que a média do resíduo total ficou em torno de 0.64 pixels (19.2 m), menor que a resolução espacial da imagem (30 m) e o erro médio quadrático 0,77 pixels (23.1 m), sendo 0,49 pixels (14.7 m) em X e 0,59 pixels (17.7 m) em Y, respectivamente. A cena foi utilizada na geração do MDE absoluto como input planimétrico para prover os GCPs adicionais aos medidos em campo e identificados diretamente nas imagens RADARSAT Standard.



**Figura 4.9** - cena TM-Landsat ortorretificada.  
Fonte: Global Land Cover Facility, 2005.

**Tabela 4.3** – Pontos de DGPS coletados em campo com Altitudes Ortométricas.

Pontos de DGPS	Latitude ( $\phi$ ) (S)	Longitude ( $\lambda$ ) (W)	Altitude Ortométrica H(m)
P01	1° 03' 42.72773"	46° 45' 17.55592"	6,90
P02	0°59' 11.33948"	46° 45' 01.32009"	8,81
P03	0°58' 09.02400"	46° 44' 16.15636"	6,34
P04	0°53' 28.88441"	46° 39' 22.82496"	5,76
P05	0°52' 28.90919"	46° 39' 00.78411"	5,13
P06	0°50' 45.20614"	46° 38' 53.32196"	5,13
P07	0°50' 25.53465"	46° 38' 23.93462"	4,43
P08	0°50' 37.56713"	46° 36' 44.48396"	6,05
P09	0°50' 41.84147"	46° 36' 49.02631 "	5,29
P10	0°51' 08.16776"	46° 36' 25.52006"	4,08
P11	0°51' 20.90783"	46° 36' 14.93063"	4,68
P12	0°49' 59.04044 "	46° 36' 08.85282 "	5,47
P13	0°49' 43'. 2944 "	46° 36' 15.83489 "	5,89
P14	0°49' 30.77243 "	46° 36' 23.70426 "	6,36
P15	0°49' 13.79101 "	46° 36' 38.67797 "	6,07
P16	0°49' 53.99271"	46° 36' 10.26941"	6,94
P17	0°49' 50.63982"	46°36'12.84589 "	6,74
P18	0°49' 41.42250"	46° 36' 16.31982"	5,57
P19	0°49' 37.24241"	46° 36' 18.36787"	5,89
P20	0°49' 35.48984"	46° 36' 20.95772"	6,14
P21	0°49' 32.99307"	46° 36' 22.05341"	6,92
P22	0°49' 31.79326"	46° 36' 22.87175"	6,74
P23	0°49' 28.36581"	46° 36' 25.48888"	4,93
P24	0°49' 25.11912"	46° 36' 28.79534"	6,09
P25	0°49' 21.47982"	46° 36' 31.30413"	4,51
P26	0°49' 20.14491"	46° 36' 34.90016"	6,03
P27	0°49' 29.53032"	46° 36' 24.59221"	6,91
P28	0°49' 20.14491"	46° 36' 34.90016"	6,03
P29	0°49' 19.14356"	46° 36' 36.01785"	4,52
P30	0°49' 17.90709"	46° 36' 36.91251"	4,49
P31	0°49' 17.02804"	46° 36' 38.56148"	6,18
P32	0°49' 57.85365"	46° 36' 09.28593"	6,20
P33	0°49' 56.46353"	46° 36' 09.43478"	5,41

A **Tabela 4.3** mostra a altitude ortométrica de cada ponto de DGPS coletado em campo e calculado pelo MAPGEO2004. Dos 33 pontos foram usados 5 como GCPs para ortorretificação de uma cena TM-Landsat e na geração do MDE absoluto e 28 como ICPs (Independent check points) para a checagem da escala do mapa e destes 13 para validação da acurácia do MDE absoluto gerado.

O método utilizado para determinação das altitudes ortométricas (H) foi o nivelamento por DGPS (**Figura 4.10**). A fórmula utilizada para calcular a Altitude Ortométrica é expressa por:

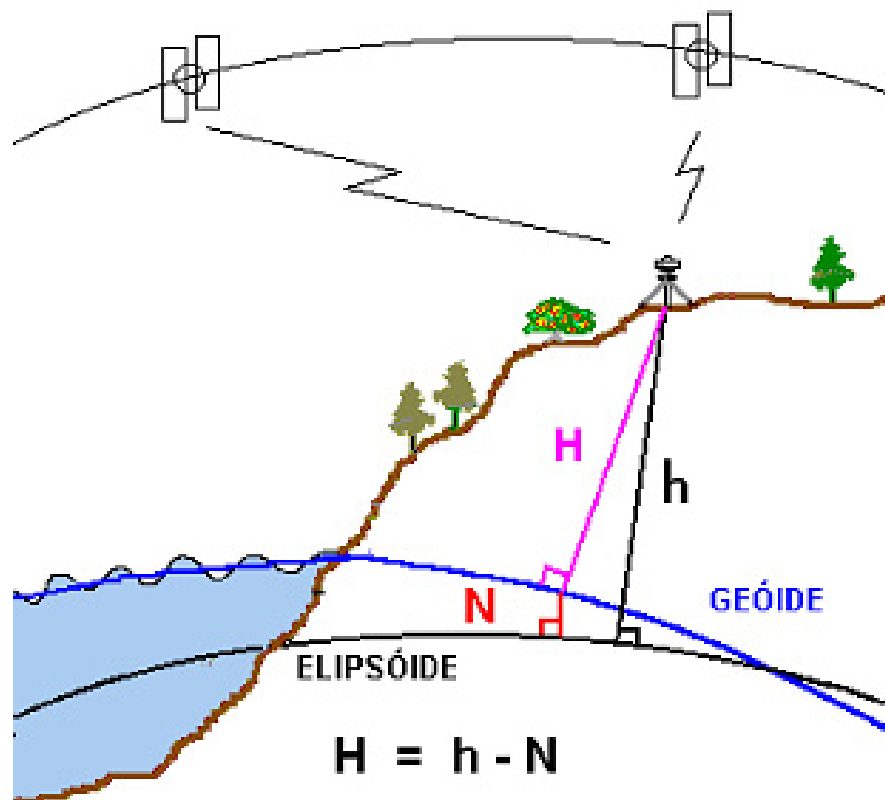
$$H = h - N, \text{ onde}$$

(4.1)

$H$  = Altitude Ortométrica;

$h$  = Altitude Elipsoidal;

$N$  = Ondulação Geoidal.



**Figura 4.10** - Altitudes Ortométrica e Elipsoidal.

Fonte – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2005.

A altura elipsoidal ou geométrica de cada ponto foi calculada através do DGPS, enquanto que a ondulação geoidal foi determinada a partir do MAPGEO2004 (Mapa Geoidal do Brasil, 2004).

Foi utilizada, como estação base de referência para o trabalho de campo, o nó da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) situado em Belém (PA). Assim, todos os pontos foram processados em função desta base.

Os processamentos dos dados de campo foram realizados no Laboratório de Análise de Imagens do Trópico Úmido (LAIT), sendo a listagem das coordenadas dos pontos estáticos apresentada na **Tabela 4.3**, contendo a identificação dos pontos, as coordenadas geográficas ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ), as alturas elipsoidais (h), ondulações geoidais (N) e as altitudes ortométricas (H), calculados pelo MAPGEO2004 (**Figura 4.11**).



**Figura 4.11** – MAPGEO2004.

Fonte – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2005.

A Figura 4.12 mostra a coleta de um ponto com DGPS geodésicos de dupla frequência de acurácia sub-centimétrica – ASHTECH – Modelo Z-Xtreme.



**Figura 4.12** - Levantamentos de pontos DGPS em interseção de estradas.

#### 4.3. ABORDAGEM METODOLÓGICA PARA GERAÇÃO DOS MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO COM O RADARSAT-1.

Neste capítulo, discutir-se-á a geração de MDE a partir da modelagem “RADARSAT-1 Específica”.

O modelo tem como vantagem a menor dependência de informações de campo (pontos de controle no terreno - GCPs), tanto em termos de quantidade como em distribuição em área, ao mesmo tempo em que procura preservar a acurácia altimétrica e o detalhamento na extração do MDE. O modelo usa informações do RADARSAT-1, contidas na estrutura de dados do formato CEOS (*Committee for Earth Observation Satellites*), para o cálculo da posição do sensor/plataforma e extrai distâncias em alcance (*slant range*) da antena ao terreno. Na geração do MDE, a altimetria é estimada através de soluções que satisfaçam a geometria definida pelas duas posições em estéreo do sensor, através de planos de equifreqüência Doppler e distâncias *slant range*, permitindo o cálculo da interseção em 3-D das duas imagens e a determinação das posições planialtimétricas (x, y, z) (Toutin, 1995). A adição de informações de GCPs, embora não necessária, refina o modelo e melhora a acurácia altimétrica final. Se nenhuma informação de GCPs é utilizada, o modelo em estéreo será baseado exclusivamente nas informações de efemérides do SAR, e o MDE gerado será relativo, isto é, não permitirá estimativa válida de erro em elevação. No caso de uso de GCPs, será obtido um MDE absoluto, com a estimativa real de acurácia em elevação (PARADELLA et al., 2003a; PARADELLA et al., 2005a).

A correlação de imagens é o processo central nesta modelagem radargramétrica. A correlação substitui a capacidade humana de identificar pontos homólogos no estéreo-par. Como resultado deste processo, são obtidas as coordenadas de pixels de pontos correspondentes (homólogos) no estéreo-par. As diferenças de localização entre as imagens são conhecidas como paralaxes, expressas em linhas e colunas. O processo de correlação é conduzido em imagens



pré-registradas (epipolares), de modo a reduzir o cálculo computacional. A informação de referência, isto é, uma matriz de pixels de uma imagem é movida sobre uma janela de pesquisa definida na outra imagem do par e os parâmetros estatísticos de correlação são calculados (RAGGAM; GUTJAHR 1998). Na modelagem, é usada a correlação de área normalizada, num cálculo que maximiza o coeficiente de correlação cruzada normalizado (SIMARD, PLOURDE; TOUTIN, 1996<sup>1</sup>, apud, PARADELLA et al, 2001). A partir desta etapa, a interseção em 3D é realizada, usando-se o modelo geométrico previamente computado para converter as coordenadas dos pixels das duas imagens, determinadas pela correlação do estéreo-par, para dados em três dimensões. As coordenadas cartográficas (x, y, z), na projeção definida pelo usuário, são determinadas para o ponto medido através de um processo de interseção de mínimos quadráticos. O resultado é uma grade irregular no sistema de projeção de mapas, a qual é transformada em um MDE regular (PARADELLA et al., 2005a).







---

<sup>1</sup> SIMARD, R.; PLOURDE, F.; TOUTIN. Digital elevation modelling with stereo SIR-B image data. In: Intern. Symp. Remote Sensing for Resources Development and Environmental Management, ISPRS, Commission VII, Enschede, The Netherlands, **Proceedings**, p: 161-166, 1996.

### 4.3.1 Geração do Modelo Digital de Elevação Relativo

As imagens RADARSAT-1 foram manipuladas no Laboratório de Análise de Imagens do Trópico Úmido (LAIT) da UFPA, utilizando o no Programa PCI Geomatica V10. 0 / 9.1. As etapas de processamento para produção do MDE relativo são ilustradas na **Tabela 4.4**.

**Tabela 4.4** – Etapas para geração do MDE Relativo no Programa PCI Geomatica V 10.0 / 9.1.

1 <sup>a</sup>		Criação de Projeto – Definição de Projeção e Datum. - Definição de espaçamento de Pixel.
2 <sup>a</sup>		Leitura de Dados – S1, S2, S6, S7. - Efemérides de Aquisição.
3 <sup>a</sup>		Geração de Epipolares – S2/S1, S6/S1, S7/S6. Observação: RADARSAT-1. As imagens com maior ângulo de incidência são usadas do lado esquerdo do par estereoscópico.
4 <sup>a</sup>		Extração do MDE – Definição de Valores Mínimos e Máximos de Elevação. - Definição da Resolução Desejada. - Definição de Detalhe do MDE. - Definição dos Valores de “Background” e “Failure”.
5 <sup>a</sup>		Edição do MDE – Correção de Ruídos e Imperfeições.
6 <sup>a</sup>		Geocodificação do MDE – Posicionamento do MDE nas coordenadas do Projeto.

As imagens foram importadas para um projeto do *software* PCI Geomática OrthoEngine, com as mesmas informações de sistema de projeção e datum.

Para geração das imagens epipolares, foi utilizada a modelagem *RADARSAT Specific* (PCI Geomatica V10. 0 / 9.1).

O processo de extração automática do MDE com o OESE (OrthoEngine Satellite Edition, PCI Geomatics) permite ao usuário especificar valores mínimos e máximos de elevação, com o objetivo de facilitar os cálculos de correlação e selecionar parâmetros que controlam a qualidade e a resolução final do MDE (espaçamento de pixel, nível de detalhe). Para pontos do MDE indicativos de ausência de valores de elevação (*holes, blunders*), um esquema de filtragem e

interpolação, que leva em conta os valores digitais próximos, foi aplicado na fase de pós-processamento.










A partir das imagens epipolares, foram gerados MDEs relativos com os seguintes parâmetros:

- Elevação mínima: 0 metro;
- Elevação máxima: 400 metros;
- Detalhe na geração do MDE: médio;
- Fator de amostragem: 2 (correspondente a 25 metros).

#### **4.3.2 Geração do Modelo Digital de Elevação Absoluto**

A **Tabela 4.5** mostra as etapas da produção do MDE absoluto no Programa PCI Geomatica V 10.0 / 9.1.

**Tabela 4.5 – Etapas para geração do MDE Absoluto no Programa PCI Geomatica V 10.0 / 9.1.**

1 <sup>a</sup>		Criação de Projeto - Definição de Projeção e Datum. - Definição de espaçamento de Pixel.
2 <sup>a</sup>		Leitura de Dados - S1, S2. - Efemérides de Aquisição.
3 <sup>a</sup>		Coleta de GCPs – Escolha de pontos notáveis na imagem - Análise de resíduos planimétricos
4 <sup>a</sup>		Geração de Epipolares – S2/S1. Observação: RADARSAT-1. As imagens com maior ângulo de incidência são usadas do lado esquerdo do par estereoscópico.
5 <sup>a</sup>		Extração do MDE - Definição de Valores Mínimos e Máximos de Elevação. - Definição da Resolução Desejada. - Definição de Detalhe do MDE. - Definição dos Valores de “Background” e “Failure”.
6 <sup>a</sup>		Edição do MDE - Correção de Ruídos e Imperfeições e aplicação de máscara.
7 <sup>a</sup>		Geocodificação do MDE - Posicionamento do MDE nas coordenadas do Projeto.
8 <sup>a</sup>		Estatística do MDE - Cálculo de acurácia de elevação com ICPs de campo.
9 <sup>a</sup>		Edição Final - Geração e Edição de Curvas de Nível.

Como foi dito anteriormente as imagens foram importadas para um projeto do software PCI Geomatica OrthoEngine, com as mesmas informações de sistema de projeção e datum.

Para geração das imagens epipolares, foi utilizada a modelagem *RADARSAT Specific*. O processo de extração automática do MDE com do software OESE, permite ao usuário especificar valores mínimos e máximos de elevação, com a finalidade de facilitar os cálculos de correlação e selecionar parâmetros que

controlam a qualidade e a resolução final do MDE (espaçamento de pixel, nível de detalhe). Para pontos do MDE indicativos de ausência de valores de elevação (*holes, blunders*), um esquema de filtragem e interpolação, que leva em conta os valores digitais próximos foi igualmente utilizado na fase de pós-processamento, foi também aplicada máscara sobre grandes corpos d'água, para corrigir os valores falhos de pixels ou incorretos de elevação.

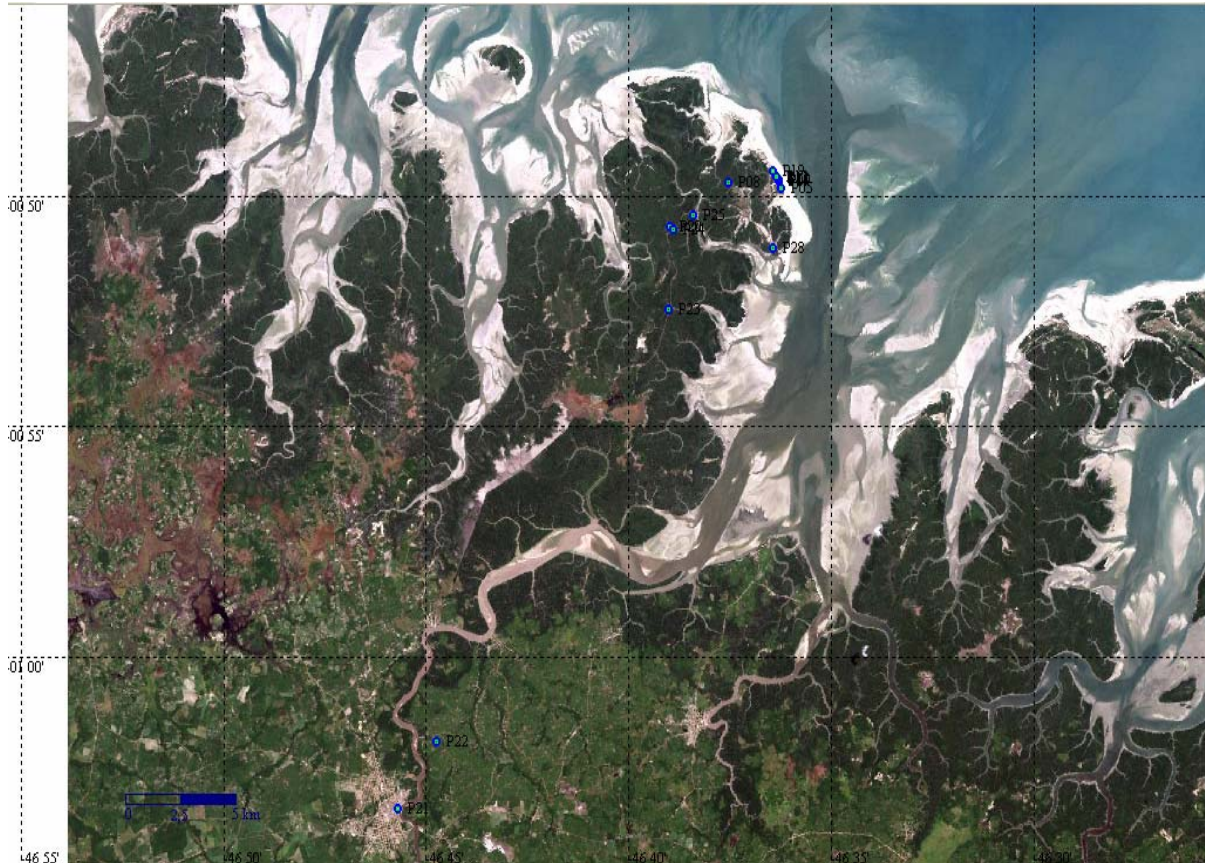
A partir das imagens epipolares, foram gerados MDEs absolutos com os seguintes parâmetros:

- Elevação mínima: 0 metro;
- Elevação máxima: 400 metros;
- Detalhe na geração do MDE: médio;
- Fator de amostragem: 2 (correspondente a 25 metros).

#### **4.3.3 Seleção dos pontos de verificação da acurácia do MDE**

Os pontos localizados em áreas sem informação no MDE gerado foram descartados. Assim, dos 33 pontos coletas em campo com DGPS foram selecionados 5 para serem usados com GCPs, 28 para serem usados como ICPs na escolha da escala do mapa e desses foram selecionados 13 ICPs para medir a acurácia do mapa altimétrico (**Figura 4.13**).

A **Figura 4.13** apresenta os 13 ICPs distribuídos espacialmente sobre uma imagem TM-Landsat usados na acurácia do mapa topográfico



**Figura 4.13** – ICPs selecionados para medir a acurácia do mapa altimétrico.  
Fonte: Global Land Cover Facility, 2005.

#### 4.4 PRODUÇÃO DO MAPA ALTIMÉTRICO

O Mapa altimétrico foi extraído do MDE absoluto S2 Asc / S1 Des GCPs com fontes Landsat ETM + na base Geocover para planimetria e SRTM para altimetria e sua acurácia altimétrica obedeceu ao padrão de exatidão cartográfica – PEC, que é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade e que define a exatidão de trabalhos cartográficos.

## CAPÍTULO 5

### 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

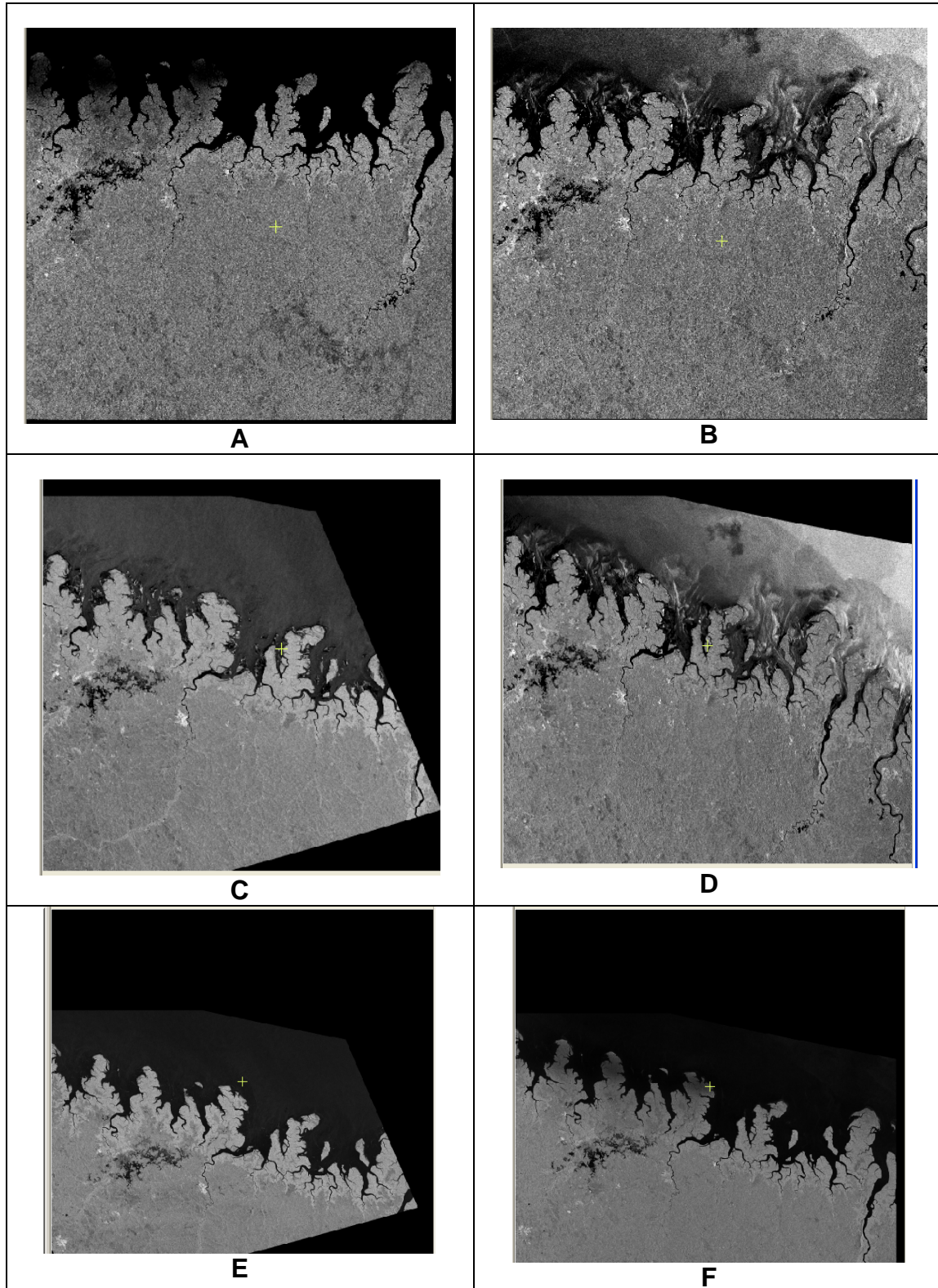
Neste capítulo, serão apresentados os principais resultados obtidos neste trabalho, abrangendo uma avaliação da efetividade da tecnologia na extração de MDEs a partir de pares estereoscópicos de imagens RADARSAT –1 Standard e consequentemente a produção de Mapa Altimétrico na escala de 1:100.000.

#### 5.1 GERAÇÃO DE MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO A PARTIR DE PARES ESTEREOSCÓPICOS DE IMAGENS RADARSAT-1 STANDARD

##### 5.1.1 Geração de Modelo Digital de Elevação

###### 5.1.1.1 Imagens Epipolares RADARSAT-1

O resultado obtido com o processamento utilizado na geração das Imagens Epipolares RADARSAT-1 S6 Des / S1Des, S2 Asc / S1 Des, S7 Asc / S6 Des é mostrado na **Figura 5.1**.



**Figura 5.1** – Imagens Epipolares S6 Des / S1Des (A / B), S2 Asc / S1 Des (C / D), S7 Asc / S6 Des (E / F).

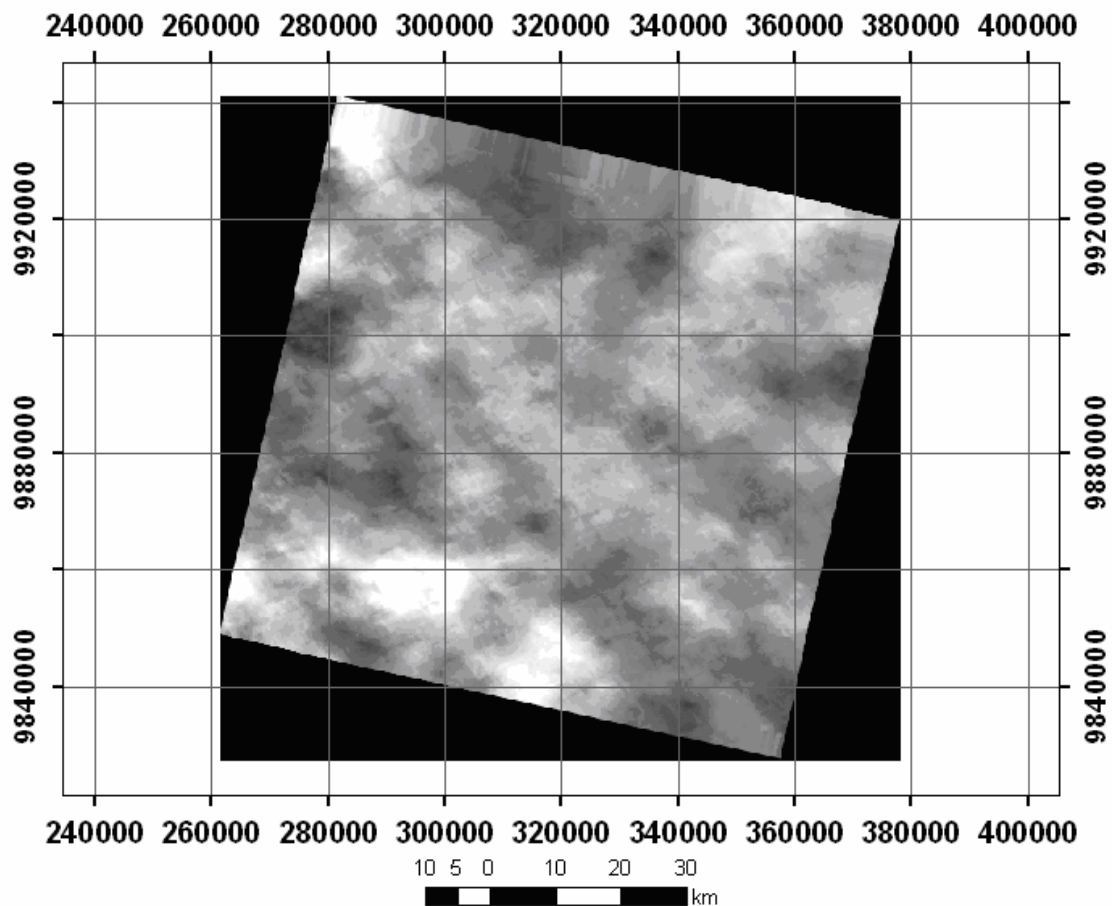
A correlação de imagens é o processo central nesta modelagem radargramétrica, pois substitui a capacidade humana de identificar pontos homólogos no estéreo-par. As imagens da **Figura 5.1** mostram-se devidamente alinhadas, onde os pares



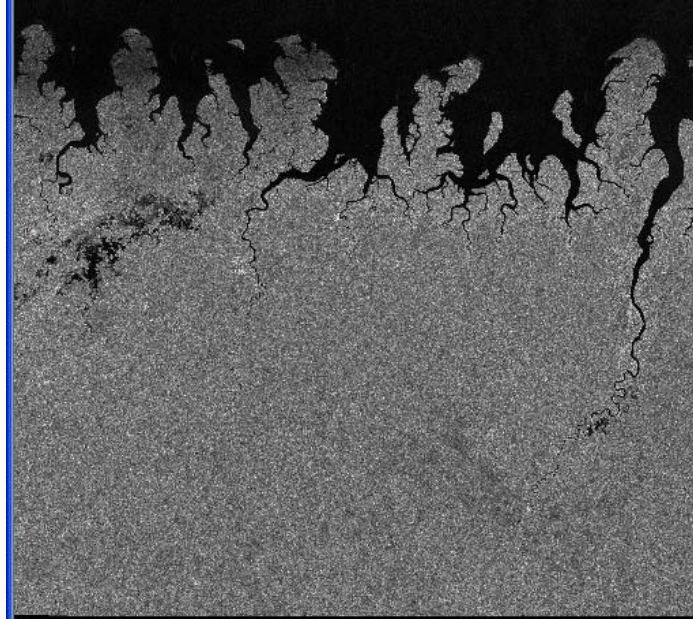
S6/S1, S2/S1 e S7/S6 ilustram o resultado da correlação das imagens brutas em imagens pré-registradas (epipolares), para visualização em estereoscopia.

#### 5.1.1.2 Geração e Geocodificação dos MDEs Relativos (S6Des / S1Des, S2Asc / S1Des, S7Asc / S6Des).

O resultado da geração e geocodificação dos MDEs (S6 Des / S1 Des, S2 Asc / S1 Des e S7 Asc / S6 Des com suas respectivas áreas de sobreposição é ilustrado nas figuras **Figura 5.2**, **Figura 5.3**, **Figura 5.4**, **Figura 5.5**, **Figura 5.6** e **Figura 5.7**.

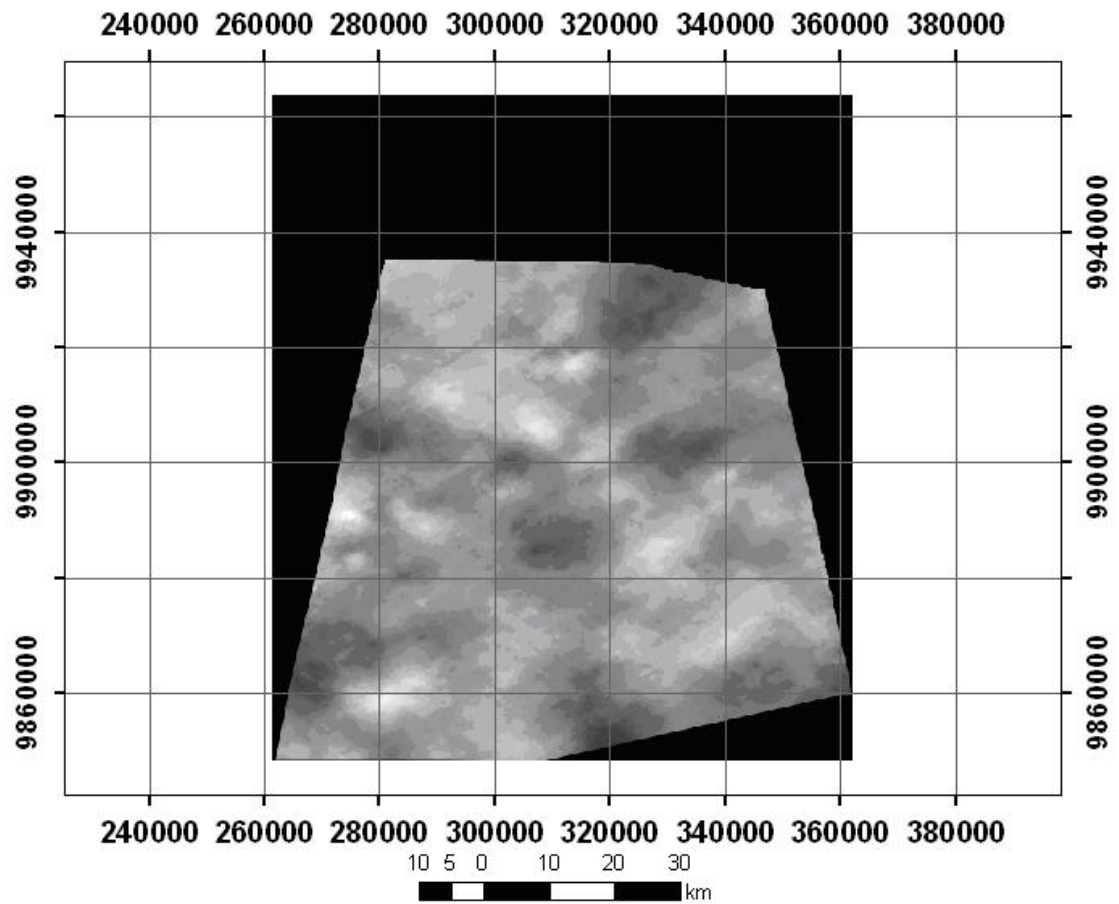


**Figura 5.2** - MDE relativo gerado a partir do par S6 Des/S1 Des (Zona UTM 23, Meridiano Central= 45°).

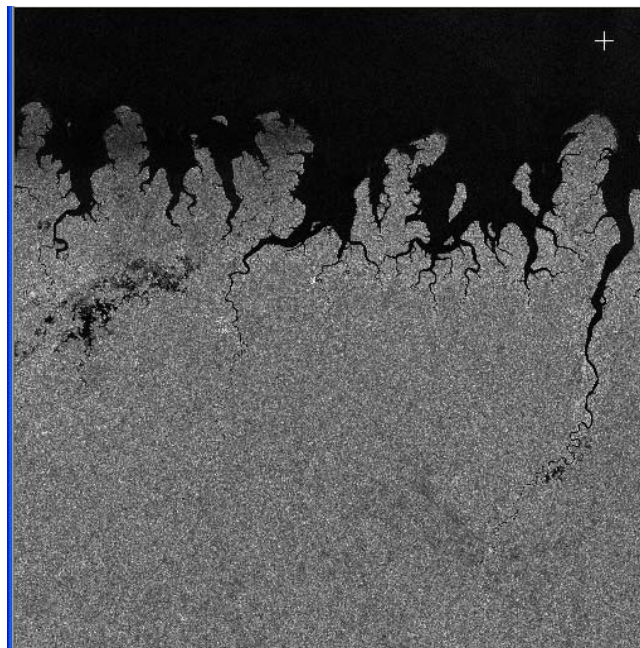


**Figura 5.3** – Área de sobreposição entre as imagens S6 Des/S1 Des.

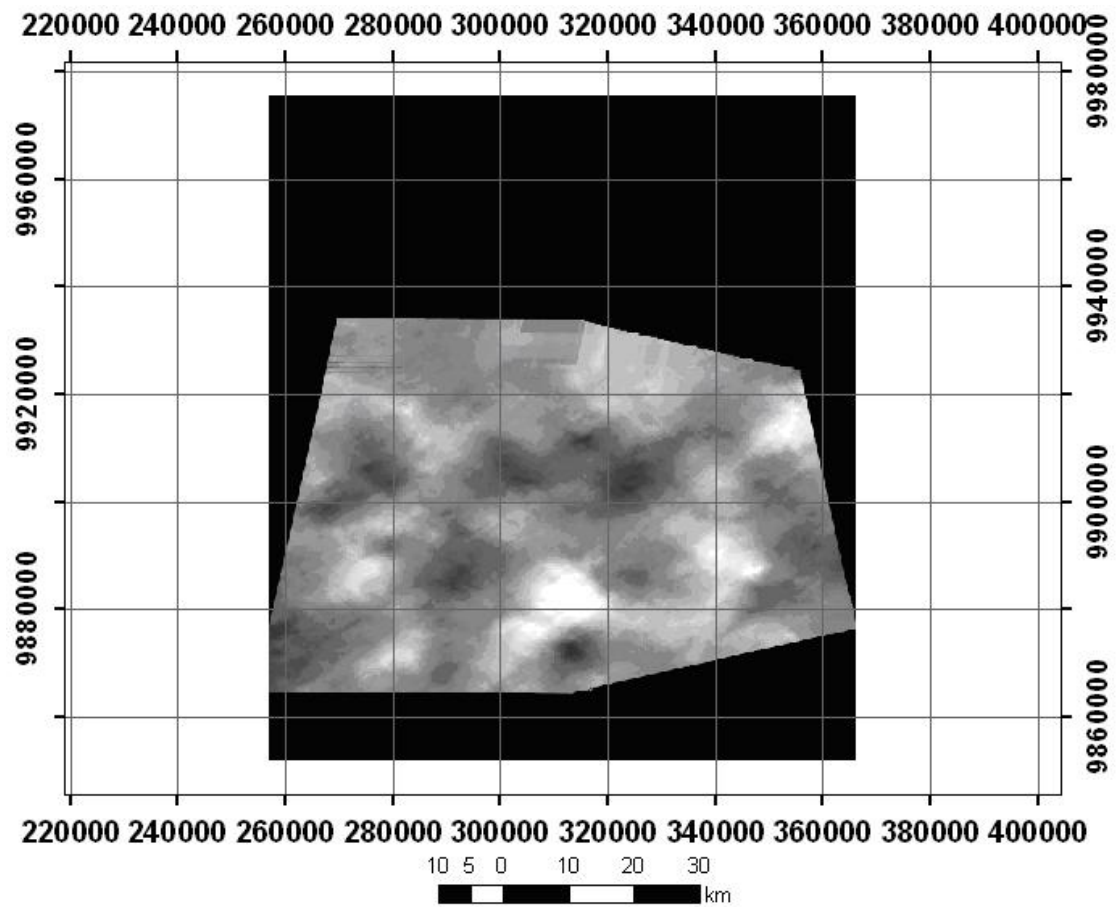
O par estereoscópico S6/S1 foi obtido a partir de duas imagens com órbitas descendentes. Este apresentou, em toda a área analisada, ótimas condições de visibilidade estereoscópica, em razão da alta correlação radiométrica dada pela semelhança devido ao conteúdo temático (mesmo sensor, modo de operação e sentido das órbitas), bem como pelas perspectivas de iluminação muito próximas nas duas cenas. Estas perspectivas de iluminação próximas, por outro lado, determinaram paralaxes modestas para o par. Assim mesmo, em uma área de relevo plano, o MDE relativo S6/S1 foi gerado.



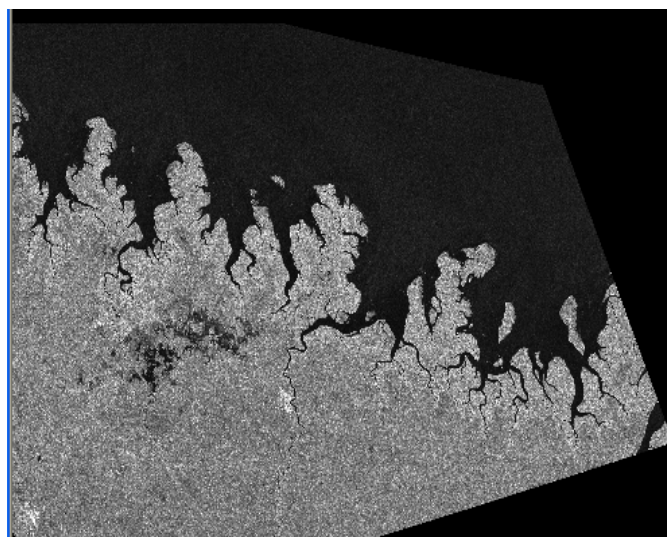
**Figura 5.4** - MDE relativo gerado a partir do par S2 Asc/S1 Des (Zona UTM 23, Meridiano Central= 45°).



**Figura 5.5** – Área de sobreposição entre as imagens (S2 Asc/S1Des).



**Figura 5.6** - MDE relativo gerado a partir do par S7 Asc/S6 Des (Zona UTM 23, Meridiano Central= 45°).



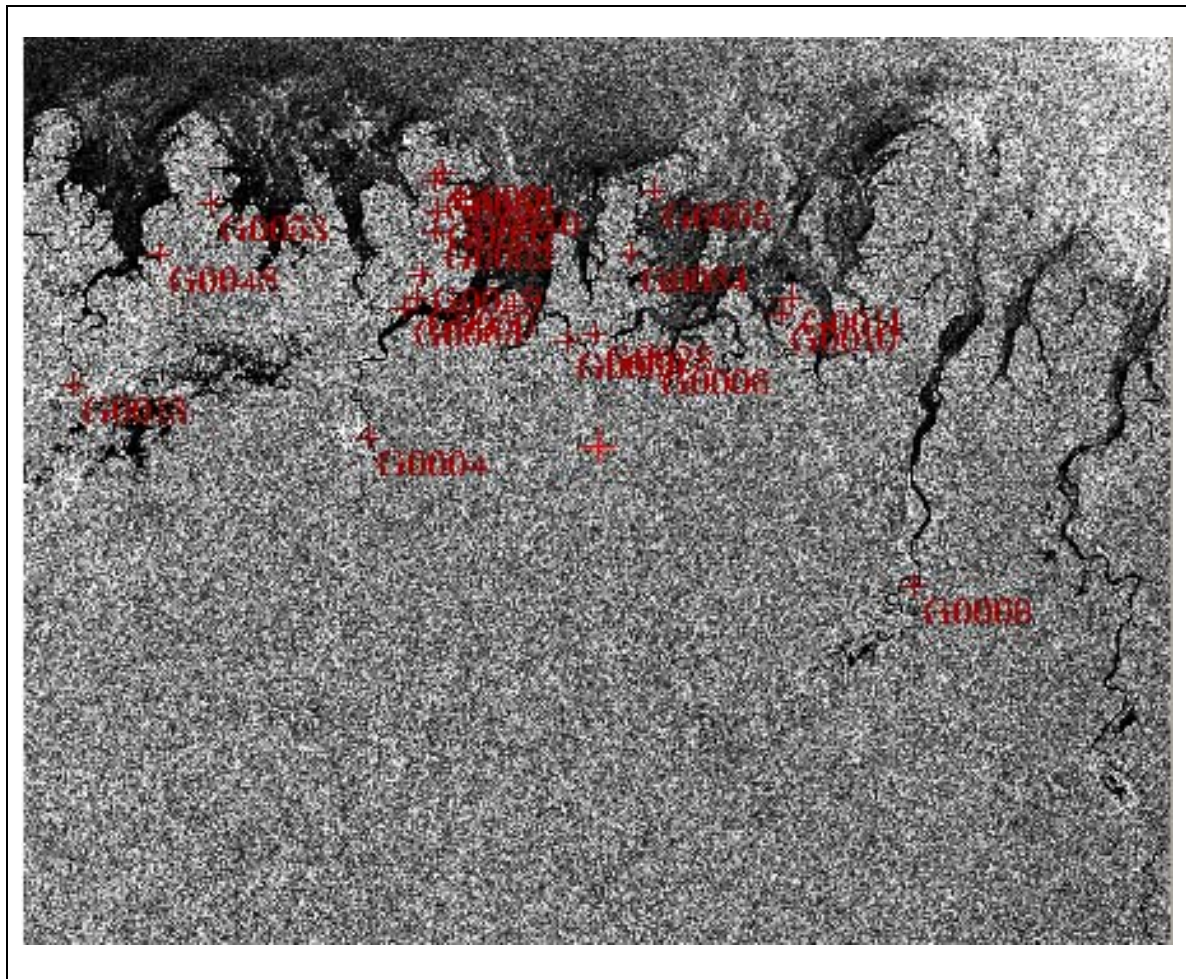
**Figura 5.7** – Área de sobreposição entre as imagens (S7 Asc / S6 Des).

Os pares estereoscópicos S2/S1 e S7/S6 apresentaram, em toda a área analisada, ótimas condições de visibilidade estereoscópica, visto que são imagens obtidas em lados opostos, onde as iluminações diferentes são muito pronunciadas.

### 5.1.2 Geração de Modelo Digital de Elevação Absoluto a partir de pares estereoscópicos de imagens RADARSAT-1 Standard

5.1.2.1 Geração dos MDEs absolutos com uso da população de GCPs medidos em campo e da cena TM - Landsat ortoretificada.

A aquisição de pontos de controle sobre as imagens RADARSAT-1, S1 Des, S2 Asc, S6 Desc, S7 Asc é ilustrada nas **Figuras 5.8, 5.9, 5.10 e 5.11** e os resíduos planimétricos nas **Tabelas 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4**.



**Figura 5.8** – Imagem RADARSAT-1 S1 com pontos de controle.

**Tabela 5.1** - Resíduos Planimétricos dos 20 pontos de controle utilizados na coleta dos GCPs da imagem S1, com uso da modelagem RADARSAT-1 Specific.

RMS: 0,95 Pixel (11,88 m)    XRMS: 0,82 Pixel (10,25 m)    YRMS: 0,48 Pixel (6m)

Ponto de controle	Resíduo parcial	Resíduo X	Resíduo Y	Tipo	Imagem X	imagem Y	Longitude X	Latitude Y	Alt. Z
G0002	1.85	1.85	-0.07	GCP	3336.7	2304.7	9'00.78"W	0d52'28.91"S	5.13
G0001	1.41	1.38	-0.28	GCP	3361.0	1989.8	8'23.93"W	0d50'25.53"S	4.44
G0049	1.31	-1.10	0.63	GCP	3303.0	2051.5	8'53.32"W	0d50'45.21"S	8.0
G0005	1.27	-1.27	0.06	GCP	3165.6	3008.8	1'10.90"W	0d56'53.75"S	5.13
G0050	1.27	1.13	-0.48	GCP	2780.3	4124.0	5'17.56"W	D03'42.73"S	10
G0004	0.23	-0.40	0.88	GCP	3518.0	2212.0	7'42.46"W	0d52'07.90"S	6.90
G0040	0.96	-0.77	-0.52	GCP	4882.0	2652.3	9'21.25"W	0d57'01.89"S	11
G0034	0.93	-0.81	-0.42	GCP	2664.0	4646.0	6'47.81"W	D 07'04.35"S	9
G0055	0.91	-0.21	0.12	GCP	9169.0	7427.0	7'55.15"W	D 34'58.96"S	11
G0010	0.88	-0.17	-0.09	GCP	1283.7	2123.7	2'14.53"W	D 48'19.03"S	12
G0006	0.67	0.11	-0.14	GCP	7045.1	5528.3	9'14.40"W	D 19'17.97"S	0
G0013	0.60	-0.14	-0.10	GCP	1500.6	2241.7	0'59.42"W	0d49'24.93"S	13
G0065	0.59	0.09	-0.13	GCP	6576.0	5807.6	2'43.61"W	D 20'28.01"S	12
G0003	0.48	0.06	-0.14	GCP	1131.2	2621.8	3'58.21"W	0d51'24.28"S	5.76
G0053	0.42	-0.11	-0.10	GCP	1285.8	2268.9	2'26.51"W	0d49'17.10"S	11
G0048	0.40	-0.08	-0.12	GCP	1423.9	2377.4	1'41.35"W	0d50'12.39"S	9
G0011	0.37	0.09	-0.08	GCP	6025.6	6461.9	7'16.41"W	D 23'59.99"S	9
G0028	0.24	0.07	-0.08	GCP	6223.3	6392.9	5'52.54"W	D 23'49.85"S	0
G0050	0.21	0.02	0.08	GCP	5845.6	7380.1	9'43.38"W	D 29'49.29"S	5
G0009	0.10	0.06	0.02	GCP	8937.0	4166.0	4'47.14"W	D 13'01.94"S	27

Na **Tabela 5.1**, pode-se verificar que a média do resíduo total igual a 0,75 pixel (9,38 m), é menor que a metade da resolução nominal das imagens Standard (25 m), com um erro médio quadrático de 0,95 pixel (11,88 m), sendo 0,82 pixel (10,25 m) em X e 0,48 pixel (6 m) em Y, respectivamente.

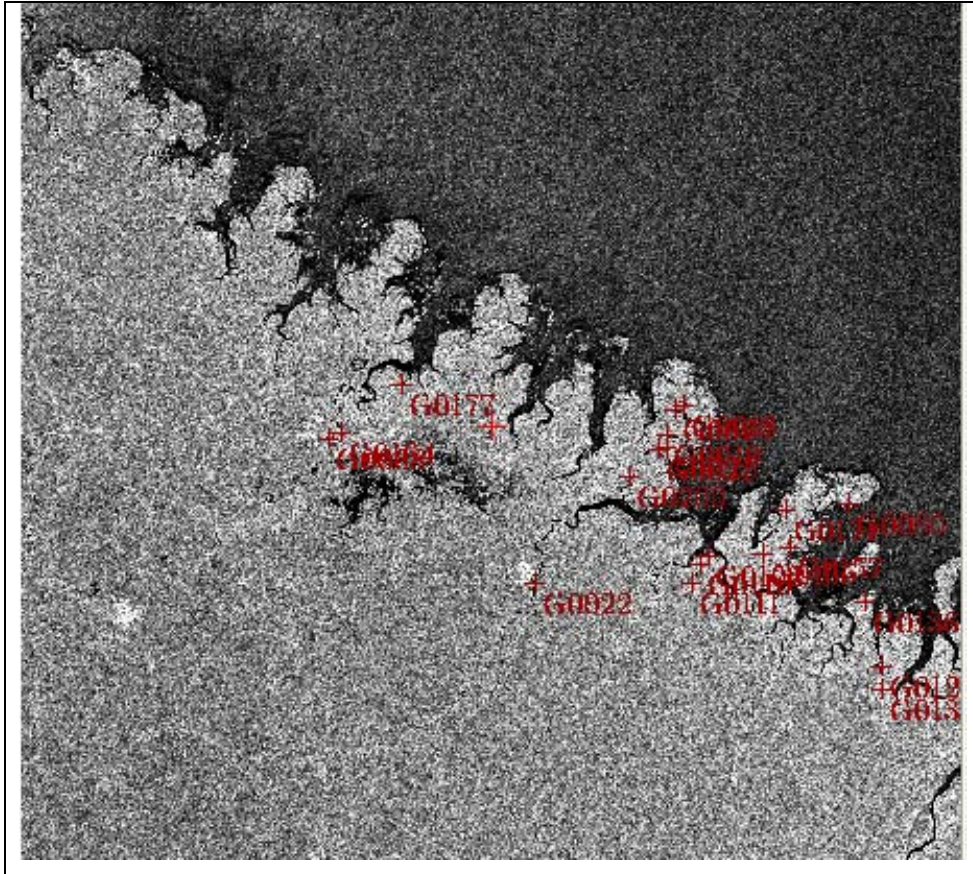
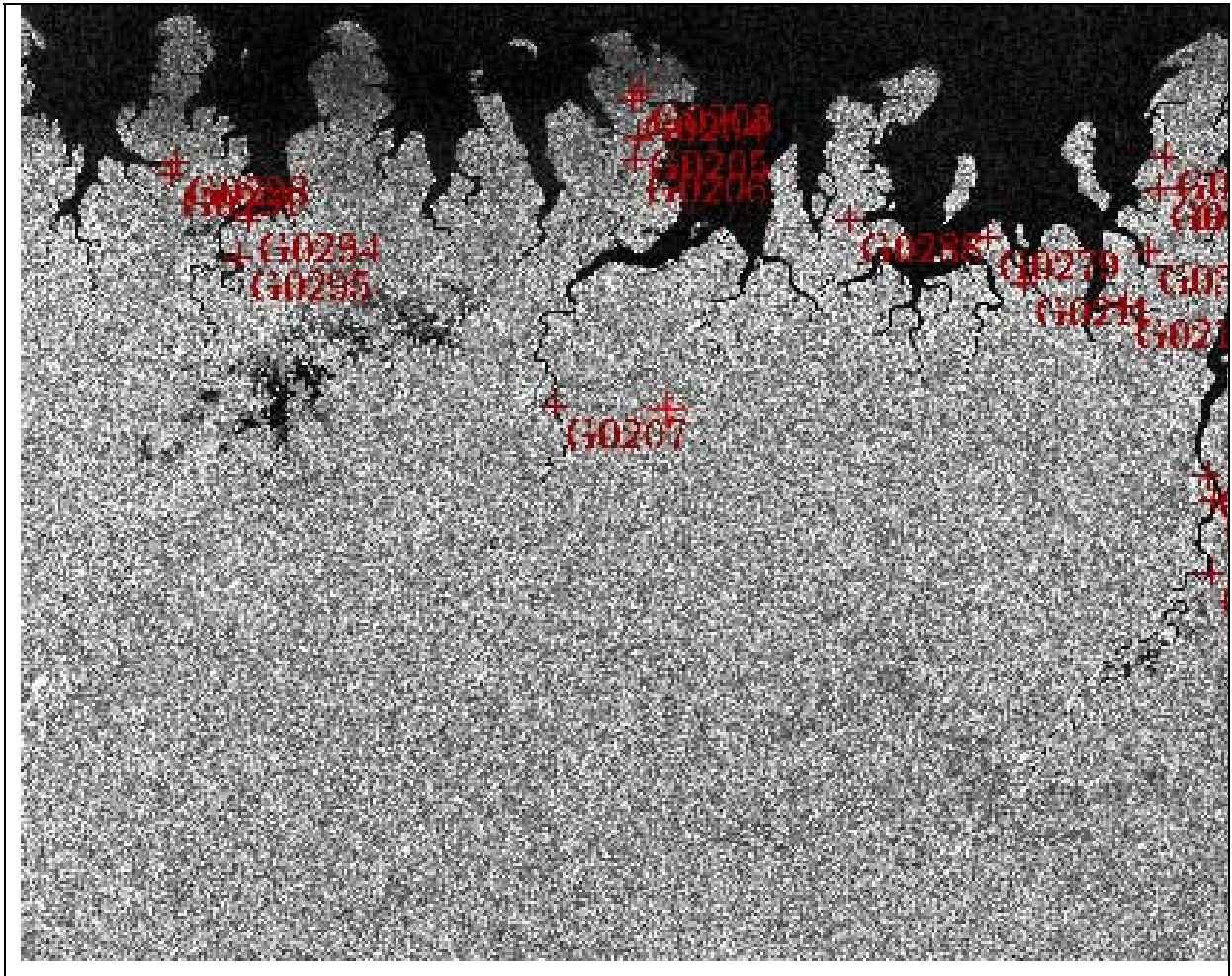


Figura 5.9 – Imagem RADARSAT-1 S2 com pontos de controle.

Tabela 5.2 – Resíduos Planimétricos dos 20 pontos de controle utilizados na coleta dos GCPs da imagem S2, com uso da modelagem RADARSAT-1 Specific.

RMS: 0,99 Pixel (m)		XRMS: 0,74 Pixel (9,25m)		YRMS: 0,66 (8,25m)					
Ponto de controle	Resíduo parcial	Resíduo X	Resíduo Y	Tipo	Imagem X	Imagem Y	Longitude X	Latitude Y	Alt. Z
G0020	2.16	0.87	0.00	GCP	8473.0	8445.0	8°04.93"W	0d16'27.36"S	5.13
G0021	2.12	0.71	-0.05	GCP	6364.5	4955.6	8°20.91"W	0d50'26.58"S	5.76
G0019	1.96	-0.29	0.02	GCP	6075.9	4255.5	9°55.84"W	0d52'11.28"S	5.13
G0011	0.94	0.27	-0.02	GCP	4066.5	3684.6	3°58.21"W	0d51'24.28"S	10
G0010	0.92	-0.24	0.01	GCP	4660.9	3284,5	0°40.98"W	0d47'52.31"S	6
G0002	0.82	-0.22	0.01	GCP	6116.8	4462.3	9°20.82"W	0d53'29.62"S	17
G0015	0.81	0.21	0.01	GCP	7835.5	6072.2	5°40.56"W	0d53'29.62"S	10
G0022	0.72	0.21	0.01	GCP	2961.0	4651.0	9°52.12"W	0d59'30.90"S	6.90
G0080	0.66	0.21	-0.01	GCP	3231.0	3241.5	0°07.79"W	0d49'43.82"S	16
G0136	0.64	0.16	0.01	GCP	6107.8	4685.6	9°04.23"W	0d54'59.02"S	10
G0171	0.60	0.13	0.01	GCP	7956.0	4974.0	6°32.18"W	0d54'11.10"S	11
G0129	0.53	0.12	-0.01	GCP	4614.7	6165.2	6°47.81"W	d 07'04.35"S	13
G0155	0.44	0.11	0.01	GCP	4574.2	3453.5	0°59.42"W	0d49'06.96"S	9
G0157	0.39	-0.10	0.01	GCP	5868.8	4737.8	0°33.63"W	0d55'40.96"S	8
G0018	0.32	0.09	0.01	GCP	44119.5	3297.6	2°14.53"W	0d55'40.96"S	4.44
G0164	0.28	0.09	-0.01	GCP	5244.3	5211.9	3°58.23"W	0d59'45.65"S	17
G0177	0.25	0.08	0.00	GCP	4563.9	3496.6	0°59.42"W	0d49'24.93"S	11
G0200	0.22	0.04	0.00	GCP	7828.4	4922.9	7°26.55"W	0d54'01.88"S	5
G0068	0.09	-0.03	-0.00	GCP	4436.6	3587.4	1°41.35"W	0d50'12.39"S	14
G0132	0.07	-0.00	0.00	GCP	4357.9	3430.2	2°26.51"W	0d49'17.10"S	14

Na **Tabela 5.2** pode-se verificar que a média do resíduo total igual a 0,75 pixel (9,34 m), é menor que a metade da resolução nominal das imagens Standard (25 m), com um erro médio quadrático de 0,99 pixel (12,38 m), sendo 0,74 pixel (9,25 m) em X e 0,66 pixel (8,25 m) em Y, respectivamente.



**Figura 5.10** – Imagem RADARSAT-1 S6 com pontos de controle.



**Tabela 5.3** – Resíduos Planimétricos dos 20 pontos de controle utilizados na coleta dos GCPs da imagem S6, com uso da modelagem RADARSAT-1 Specific.

RMS: 0,96 Pixel (12 m)    XRMS: 0,65 Pixel (8,12 m)    YRMS: 0,71 Pixel (8,88 m)

Ponto de controle	Resíduo parcial	Resíduo X	Resíduo Y	Tipo	Imagem X	imagem Y	Longitude X	Latitude Y	Alt. Z
G0218	1.53	-0.97	0.96	GCP	4212.2	1642.2	8°20.91"W	0d50'26.68"S	10
G0204	1.34	0.22	1.33	GCP	4146.5	1705	8°53.32"W	0d50'45.21"S	5.13
G0293	1.33	0.33	0.00	GCP	6882.3	6114.7	7°16.41"W	d23'59.99"S	8
G0294	1.29	-0.44	0.02	GCP	7979.0	4734.0	8°04.93"W	d16'27.36"S	11
G0291	1.21	-0.38	0.53	GCP	1030.0	2232.0	0°07.79"W	0d49'43.82"S	10
G0288	1.11	0.38	-0.00	GCP	7900.7	5180.3	9°14.40"W	d16'27.36"S	8
G0302	1.07	0.28	0.53	GCP	4254.0	2316.0	9°04.23"W	0d54'59.02"S	11
G0279	1.05	-0.37	-0.00	GCP	7432.0	5459.8	2°43.61"W	d20'28.01"S	13
G0205	1.04	-0.76	-0.71	GCP	4185	1959.0	9°00.78"W	0d52'28.91"S	5.13
G0282	1.01	-0.32	0.00	GCP	3517.7	4299.3	6°47.81"W	d07'04.35"S	10
G0268	0.91	0.29	-0.36	GCP	4164.9	2112.1	9°20.82"W	0d53'29.62"S	25
G0203	0.77	0.01	-0.77	GCP	4207.0	1644.5	6°23.93"W	0d50'25.53"S	4.44
G0285	0.63	0.45	-0.20	GCP	4059.7	2464.3	0°33.63"W	0d55'40.96"S	8
G0206	0.52	0.18	0.49	GCP	4163.0	2113.0	9°22.82"W	0d53'28.88"S	5.76
G0211	0.48	-0.30	-0.00	GCP	7079.4	6045.6	5°52.54"W	d23'49.85"S	10
G0207	0.47	0.34	-0.32	GCP	3632.5	3776.5	5°26.55"W	d03'42.73"S	6.90
G0269	0.38	-0.18	-0.10	GCP	6041.0	1805.0	6°32.18"W	0d54'11.10"S	1
G0295	0.37	-0.18	0.00	GCP	1912.0	2557.0	4°48.90"W	0d53'10.27"S	0
G0284	0.29	-0.17	0.00	GCP	2129.1	1779.1	2°14.53"W	0d48'19.03"S	9
G0209	0.05	0.09	-0.01	GCP	5244.3	5211.9	3°58.23"W	0d59'45.65"S	21

Na **Tabela 5.3**, pode-se verificar que a média do resíduo total igual a 0,84 pixels (10,5 m), é menor que a metade da resolução nominal das imagens Standard (25 m), com um erro médio quadrático de 0,96 pixel (12. m), sendo 0,65 pixel (8,12 m) em X e 0,71 pixel (8,88 m) em Y, respectivamente.

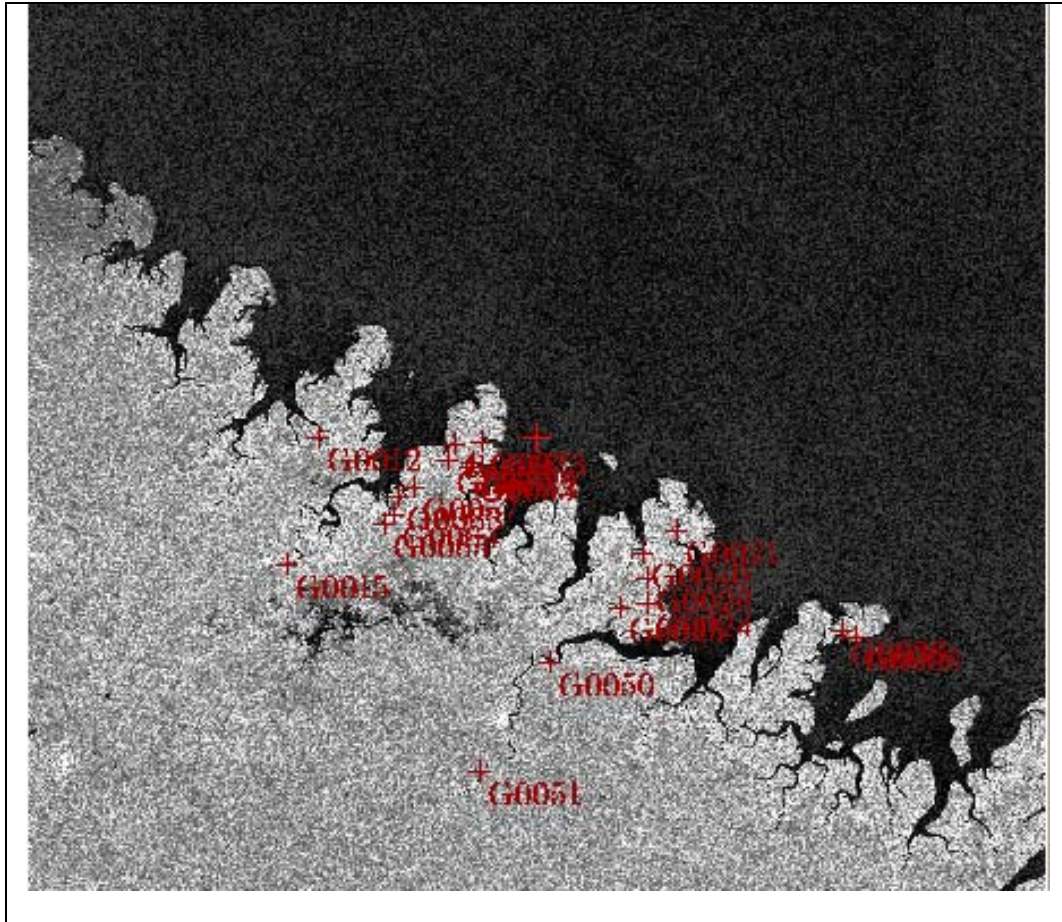


Figura 5.11 – Imagem RADARSAT-1 S7 com pontos de controle.

Tabela 5.4 – Resíduos Planimétricos dos 20 pontos de controle utilizados na coleta dos GCPs da imagem S7, com uso da modelagem RADARSAT-1 Specific.

(continua)

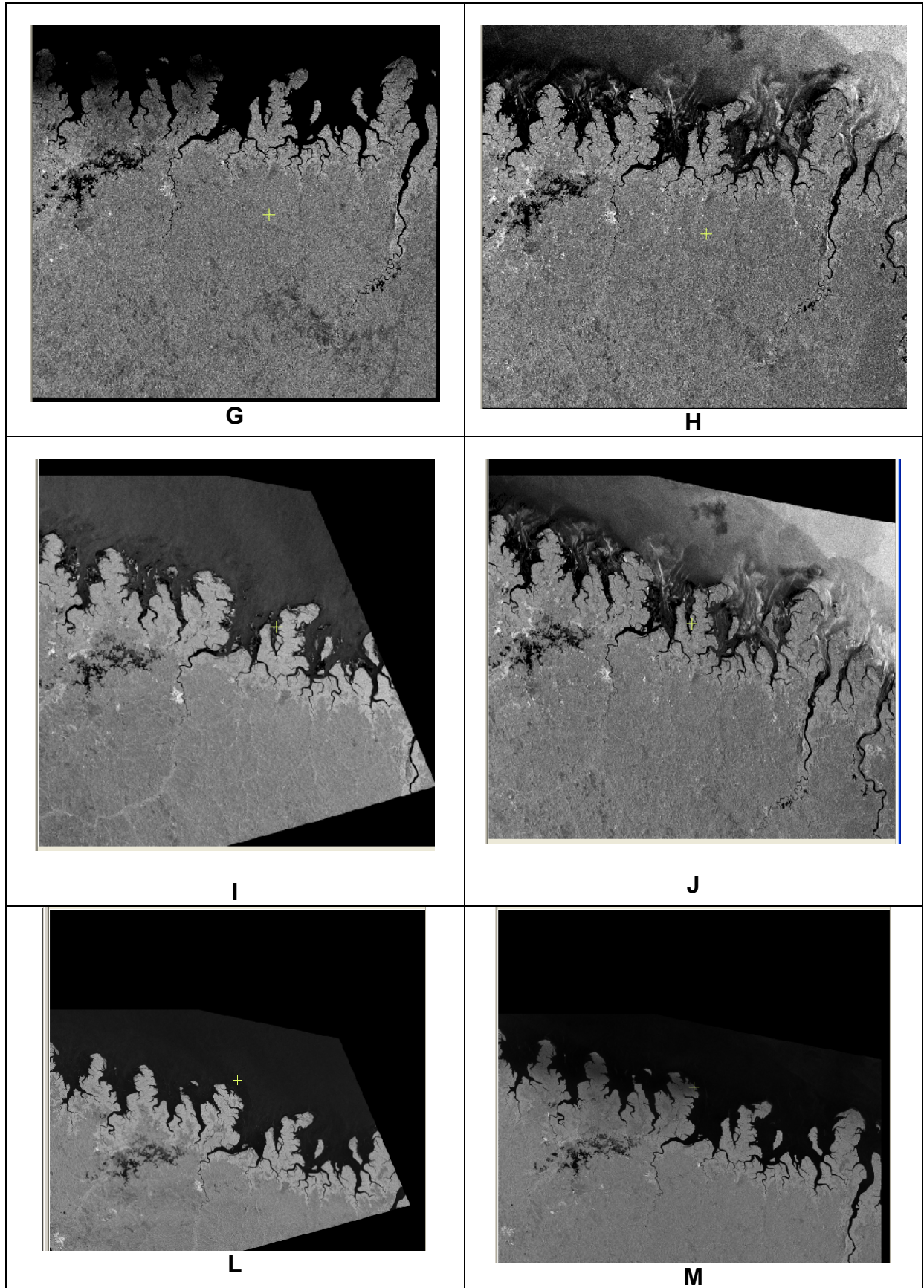
RMS: 0,47 Pixel (5,88m)    XRMS: 0,40 Pixel (5 m)    YRMS: 0,24 Pixel (3 m)									
Ponto de controle	Resíduo parcial	Resíduo X	Resíduo Y	Tipo	Imagem X	imagem Y	Longitude X	Latitude Y	Alt. Z
G0222	1.53	0.08	1.52	GCP	5448.1	5292.8	9°22.82"W	0d53'28.88"S	5.76
G0241	1.51	-1.41	0.08	GCP	5692.8	4889.5	8°20.91"W	0d50'26.68"S	5
G0265	1.41	0.29	-0.07	GCP	2284.0	5483.0	9°52.12"W	0d59'30.90"S	11
G0220	1.36	-1.35	-0.07	GCP	5606.2	4920.2	8°53.32"W	0d50'45.21"S	5.13
G0247	1.34	0.00	-0.00	GCP	4585.3	6041.1	3°58.23"W	0d59'45.65"S	12
G0221	1.30	1.10	0.69	GCP	5531.7	5162.6	9°00.78"W	0d52'28.91"S	5.13
G0242	1.04	0.00	0.01	GCP	5205.3	5568.0	0°33.63"W	0d55'40.96"S	12
G0231	1.02	0.01	0.00	GCP	7280.0	5814.0	6°32.18"W	0d54'11.10"S	6
G0235	0.93	-0.00	-0.00	GCP	3217.7	4739.3	4°48.90"W	0d53'10.27"S	8
G0227	0.91	-0.00	-0.00	GCP	7153.6	5762.1	7°26.55"W	0d54'01.88"S	10
G0258	0.83	0.00	0.00	GCP	3262.7	4591.9	4°44.30"W	0d52'07.60"S	9

(conclusão)

RMS: 0,47 Pixel (5,88m) XRMS: 0,40 Pixel (5 m) YRMS: 0,24 Pixel (3 m)									
Ponto de controle	Resíduo parcial	Resíduo X	Resíduo Y	Tipo	Imagem X	imagem Y	Longitude X	Latitude Y	Alt. Z
G0219	0.79	0.00	-0.00	GCP	3397.4	4513.4	3°58.21"W	0d51'24.28"S	9
G0246	0.74	0.07	0.00	GCP	2558.0	4071.0	0°07.79"W	0d49'43.82"S	6
G0259	0.47	-0.00	0.00	GCP	3962.2	6995.9	6°47.81"W	d07'04.35"S	6
G0225	0.43	-0.00	0.00	GCP	3137.3	4827.6	5°12.87"W	0d53'52.66"S	14
G0233	0.26	-0.00	0.00	GCP	3990.6	4113.6	0°40.98"W	0d47'52.31"S	9
G0223	0.22	0.17	0.15	GCP	4261.0	6574.3	5°17.56"W	d03'42.73"S	6.90
G0238	0.15	-0.00	0.00	GCP	3688.5	4259.1	2°26.51"W	0d49'17.10"S	10
G0264	0.14	0.00	-0.00	GCP	3894.8	4325.4	0°59.42"W	0d49'24.93"S	13
G0239	0.07	-0.00	0.00	GCP	5407.2	5086.7	9°55.84"W	0d52'11.28"S	7

Na **Tabela 5.4**, pode-se verificar que a média do resíduo total igual a 0,39 pixel (4,88 m), é bem menor que a metade da resolução nominal das imagens Standard (25metros), com um erro médio quadrático de 0,40 Pixel (5 m), sendo 0,40 pixel (5 m) em X e 0,24 pixel (3 m) em Y, respectivamente.

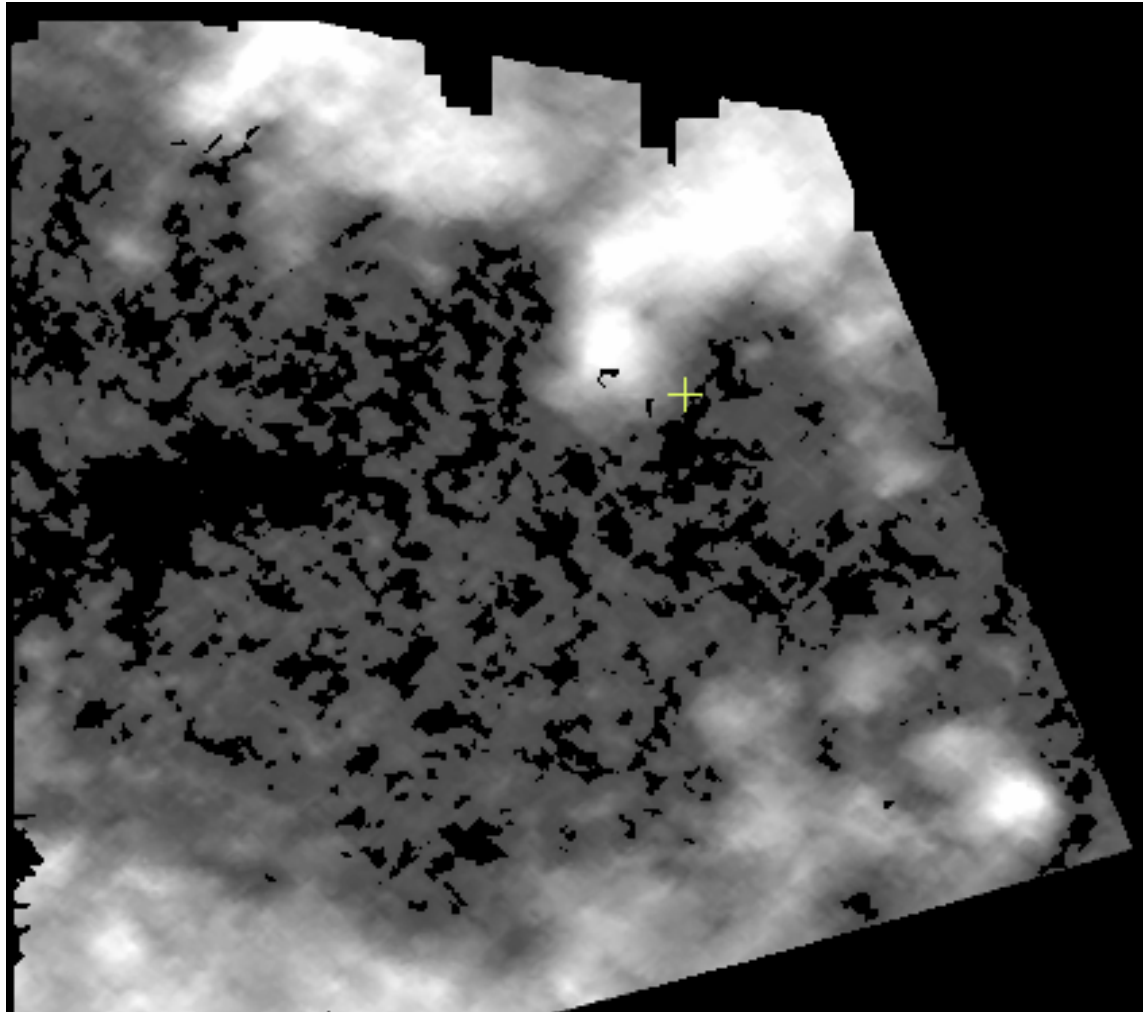
O resultado das Imagens Epipolares RADARSAT-1 S6 Des / S1Des, S2 Asc / S1 Des, S7 Asc / S6 Des é mostrado na **Figura 5.12**.



**Figura 5.12** – Imagens Epipolares S6 Des / S1 Des (G / H), S2 Asc / S1Des (I / J), S7 Asc / S6 Des (L / M).

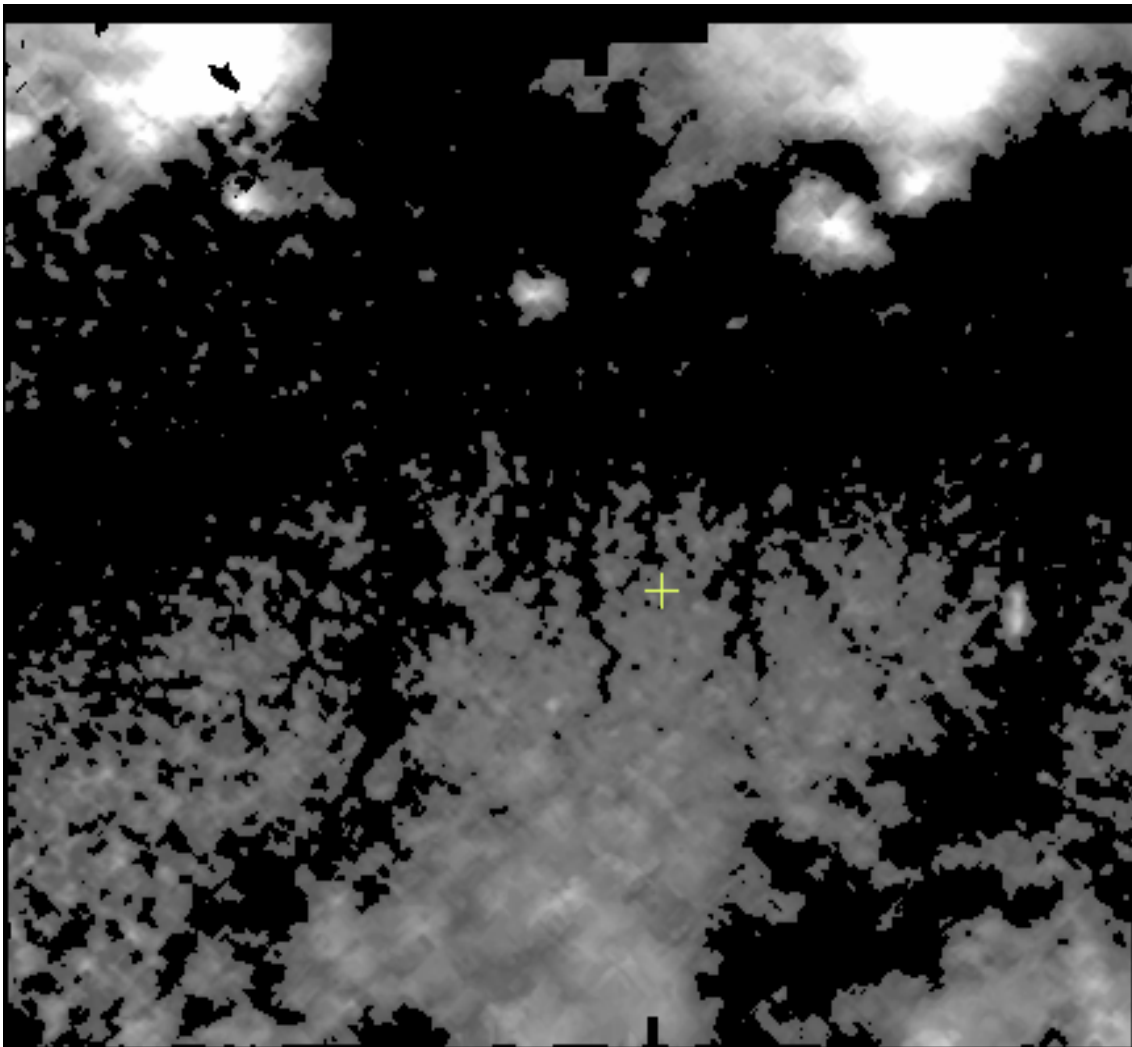
A extração dos MDEs S2 Asc / S1 Des, S6 Des / S1 Des e S7 Asc / S1 Des com uso da população de GCPs medidos em campo e da cena TM - Landsat ortorretificada. é mostrada nas **Figura 5.13, 5.14 e 5.15**.

O par estereoscópico S2 Asc / S1 Des apresentou baixa correlação entre as imagens em grande parte da área analisada, apesar das perspectivas de iluminações diferentes determinaram grandes paralaxes (VPR= 4,31). A visualização em estereoscopia não foi suficiente para a Geração do MDE absoluto com uso da população de GCPs medidos em campo.



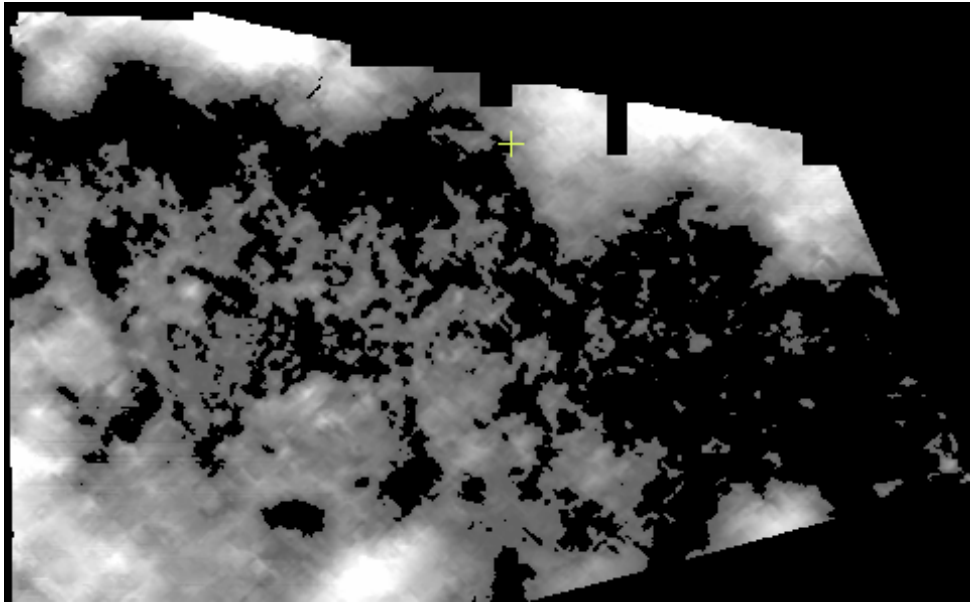
**Figura 5.13** - MDE absoluto gerado a partir do par S2 Asc / S1 Des com uso da população de GCPs medidos em campo.

O MDE S6 /S1 gerado foi obtido a partir de duas imagens com órbitas descendentes. Este apresentou baixa correlação entre as imagens em quase toda a área analisada. Estas perspectivas de iluminação próximas determinaram paralaxes modestas ( $VPR= 0,48$ ) que aliado com a pequena correlação dificultou a visibilidade estereoscópica para geração do MDE absoluto.



**Figura 5.14** - MDE absoluto gerado a partir do par S6 Des / S1 Des.

O par estereoscópico S7 Asc / S6 Des apresentou baixa correlação na região central do MDE, porém, na parte superior e inferior apresentou uma boa correlação mostrando que para as características da área em estudo os pares de lados opostos ( $VPR= 1,99$ ) expressaram melhores condições de visibilidade estereoscópica.



**Figura 5.15** - MDE absoluto gerado a partir do par (S7 Asc / S6 Des).

Devido às grandes falhas apresentadas nos MDEs absolutos S2 Asc / S1 Des, S6 Des / S1 Des e S7 Asc / S1 Des, não foram realizadas as correções de ruídos, imperfeições, aplicação de máscara.

5.1.2.2 Geração dos MDEs absolutos com pontos notáveis extraído das fontes Landsat ETM + para a planimetria e SRTM para altimetria.

A aquisição de pontos de controle sobre as imagens RADARSAT-1 Standard 1, Standard 2, Standard 6 e Standard 7 extraído das fontes Landsat ETM + para a planimetria e SRTM para altimetria é ilustrada nas **Figuras 5.16, 5.17, 5.18, 5.19** e os resíduos planimétricos nas **Tabelas 5.5, 5.6, 5.7, 5.8**.

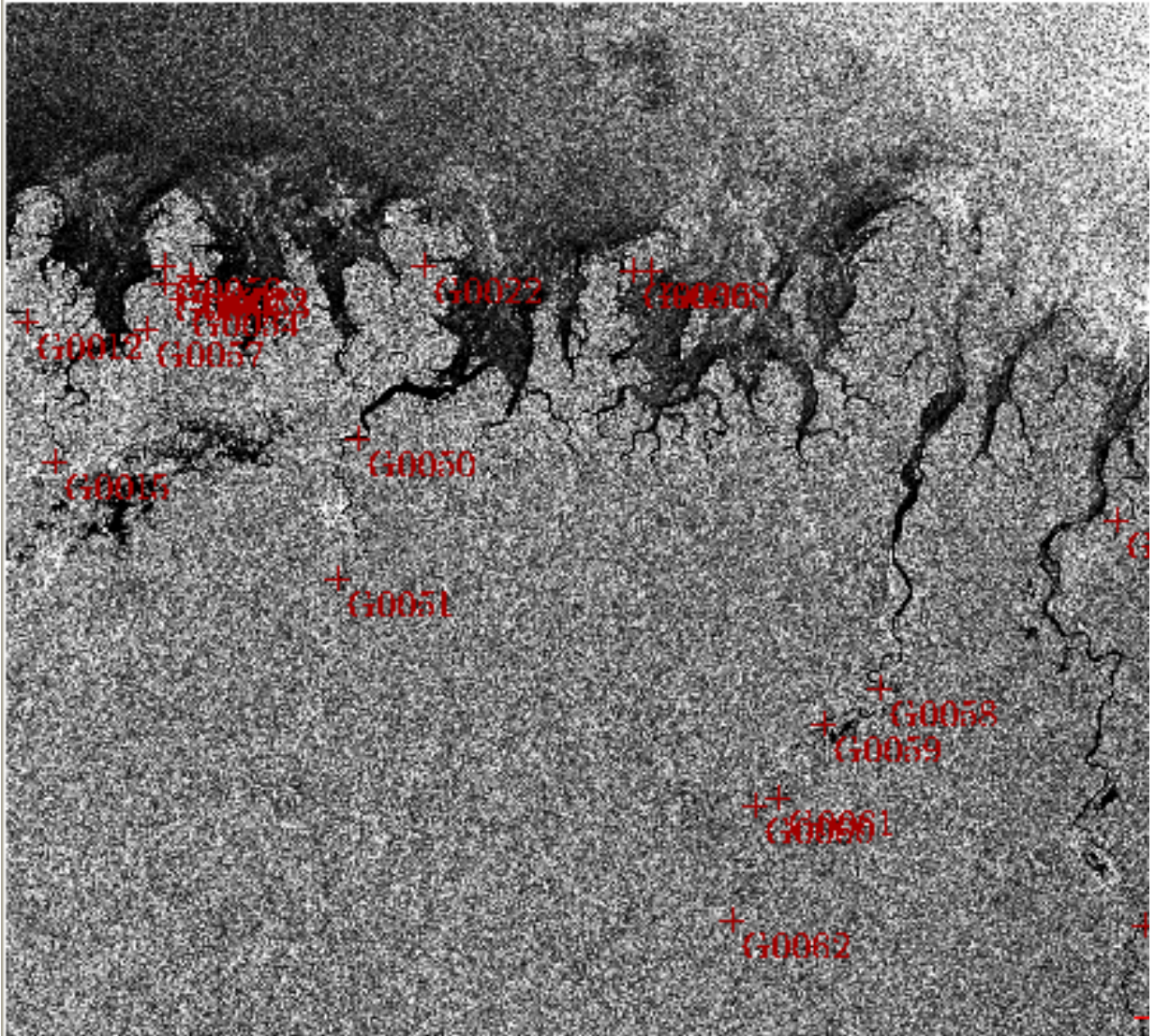


Figura 5.16 – Imagem RADARSAT-1 S1 com pontos de controle.

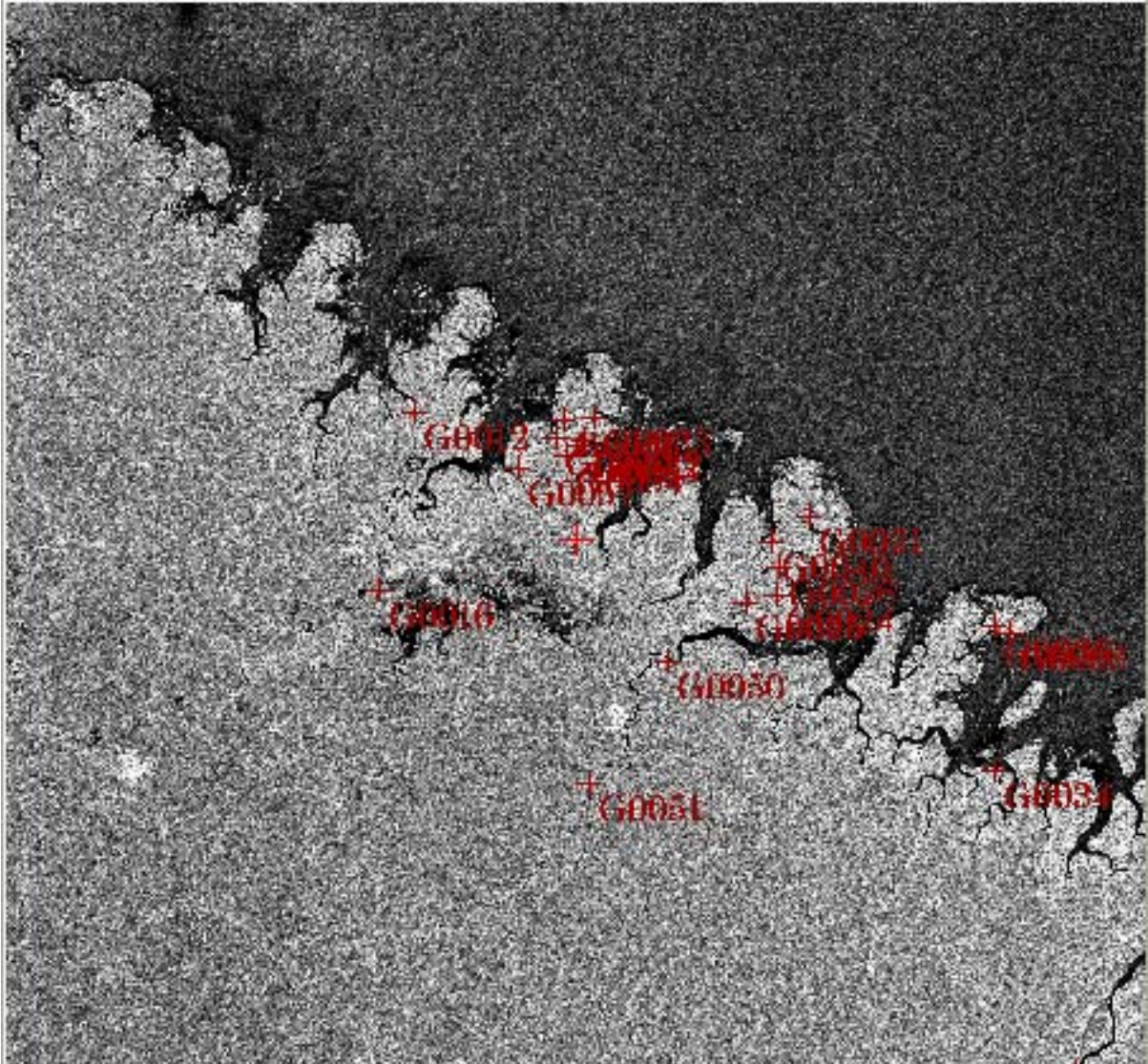


**Tabela 5.5** - Resíduos Planimétricos dos 20 pontos de controle utilizados na coleta dos GCPs da imagem S1, com uso da modelagem RADARSAT-1 Specific.

RMS: 0,37 Pixel (4,62 m) XRMS: 0,25 Pixel (3,12 m) YRMS: 0,27 Pixel (3,34 m)

Ponto de controle	Resíduo parcial	Resíduo X	Resíduo Y	Tipo	Imagem X	Imagem Y	Longitude X	Latitude Y	Alt Z
G0050	0.78	-0.53	0.57	GCP	2847.0	3504.0	3°58.23"W	0d59'45.65"S	12
G0032	0.73	0.59	-0.43	GCP	1490.0	2199.0	0°59.42"W	0d49'06.96"S	9
G0012	0.69	0.38	0.58	GCP	183.0	2576.0	0°07.79"W	0d49'43.82"S	11
G0015	0.46	-0.36	-0.28	GCP	398.0	3705.0	0°20.69"W	0d57'32.01"S	14
G0008	0.40	-0.14	-0.38	GCP	5193.0	2151.0	6°32.18"W	0d54'11.10"S	10
G0022	0.36	-0.13	0.34	GCP	3369.0	2126.0	8°31.51"W	0d51'21.98"S	10
G0036	0.34	0.15	0.31	GCP	5058.0	2157.0	7°26.55"W	0d54'01.88"S	16
G0051	0.24	0.24	0.03	GCP	2664.0	4646.0	6°47.81"W	d 07'04.35"S	8
G0014	0.24	-0.21	0.12	GCP	9169.0	7427.0	7°55.15"W	d 34'58.96"S	9
G0056	0.19	-0.17	-0.09	GCP	1283.7	2123.7	2°14.53"W	d 48'19.03"S	9
G0058	0.18	0.11	-0.14	GCP	7045.1	5528.3	9°14.40"W	d 19'17.97"S	18
G0053	0.17	-0.14	-0.10	GCP	1500.6	2241.7	0°59.42"W	0d49'24.93"S	11
G0059	0.16	0.09	-0.13	GCP	6576.0	5807.6	2°43.61"W	d 20'28.01"S	17
G0057	0.15	0.06	-0.14	GCP	1131.2	2621.8	3°58.21"W	0d51'24.28"S	12
G0055	0.15	-0.11	-0.10	GCP	1285.8	2268.9	2°26.51"W	0d49'17.10"S	11
G0054	0.14	-0.08	-0.12	GCP	1423.9	2377.4	1°41.35"W	0d50'12.39"S	9
G0060	0.12	0.09	-0.08	GCP	6025.6	6461.9	7°16.41"W	d 23'59.99"S	16
G0061	0.11	0.07	-0.08	GCP	6223.3	6392.9	5°52.54"W	d 23'49.85"S	16
G0062	0.09	0.02	0.08	GCP	5845.6	7380.1	9°43.38"W	d 29'49.29"S	9
G0013	0.06	0.06	0.02	GCP	8937.0	4166.0	4°47.14"W	d 13'01.94"S	17

Na **Tabela 5.5**, pode-se verificar que a média do resíduo total igual a 0,28 pixel (3,6 m), é bem menor que a metade da resolução nominal das imagens Standard (25 m), com um erro médio quadrático de 0,37 pixel (4,62 m), sendo 0,25 (3,12 m) em X e 0,27 pixel (3,34 m) em Y, respectivamente.



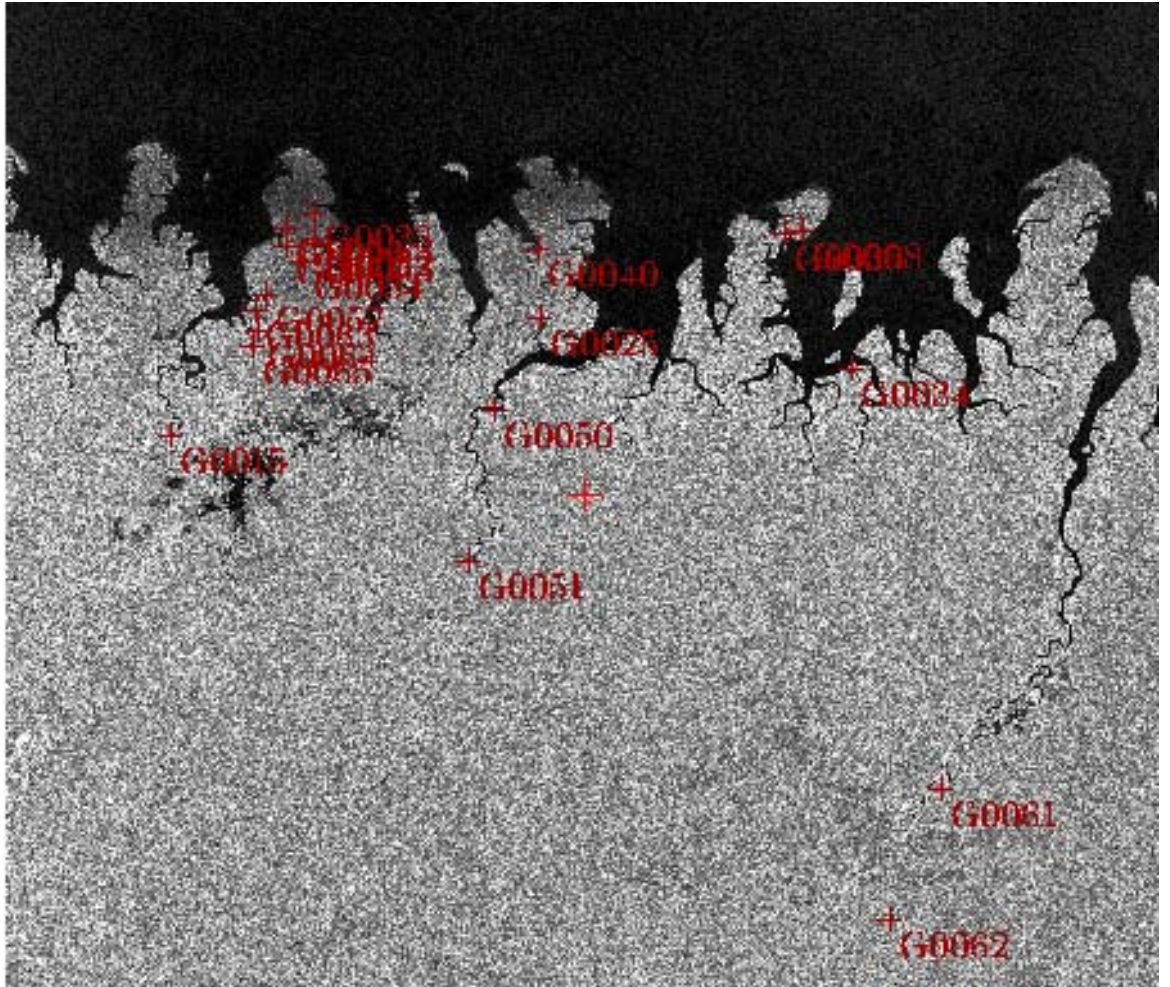
**Figura 5.17** – Imagem RADARSAT-1 S2 com pontos de controle.

**Tabela 5.6** – Resíduos Planimétricos dos 20 pontos de controle utilizados na coleta dos GCPs da imagem S2, com uso da modelagem RADARSAT-1 Specific.

RMS: 0,30 Pixel (3,75 m) XRMS: 0,30 Pixel (3,75 m) YRMS: 0,01 Pixel (0,12 m)

Ponto coletado	Resíduo Parcial	Resíduo X	Resíduo Y	Tipo	Imagem X	Imagem Y	Longitude X	Latitude Y	Alt Z
G0005	0.87	0.87	0.00	GCP	8473.0	8445.0	8°04.93"W	d16°27.36"S	18
G0021	0.71	0.71	-0.05	GCP	6364.5	4955.6	8°20.91"W	0d50°26.58"S	3
G0040	0.29	-0.29	0.02	GCP	6075.9	4255.5	9°55.84"W	0d52°11.28"S	9
G0057	0.27	0.27	-0.02	GCP	4066.5	3684.6	3°58.21"W	0d51°24.28"S	12
G0033	0.24	-0.24	0.01	GCP	4660.9	3284.5	0°40.98"W	0d47°52.31"S	7
G0026	0.22	-0.22	0.01	GCP	6116.8	4462.3	9°20.82"W	0d53°29.62"S	11
G0034	0.21	0.21	0.01	GCP	7835.5	6072.2	5°40.56"W	0d53°29.62"S	0
G0016	0.21	0.21	0.01	GCP	2961.0	4651.0	9°52.12"W	0d59°30.90"S	14
G0012	0.21	0.21	-0.01	GCP	3231.0	3241.5	0°07.79"W	0d49°43.82"S	11
G0024	0.16	0.16	0.01	GCP	6107.8	4685.6	9°04.23"W	0d54°59.02"S	9
G0008	0.13	0.13	0.01	GCP	7956.0	4974.0	6°32.18"W	0d54°11.10"S	10
G0051	0.12	0.12	-0.01	GCP	4614.7	6165.2	6°47.81"W	d 07°04.35"S	8
G0032	0.11	0.11	0.01	GCP	4574.2	3453.5	0°59.42"W	0d49°06.96"S	9
G0025	0.10	-0.10	0.01	GCP	5868.8	4737.8	0°33.63"W	0d55°40.96"S	10
G0056	0.09	0.09	0.01	GCP	44119.5	3297.6	2°14.53"W	0d55°40.96"S	9
G0050	0.09	0.09	-0.01	GCP	5244.3	5211.9	3°58.23"W	0d59°45.65"S	12
G0053	0.08	0.08	0.00	GCP	4563.9	3496.6	0°59.42"W	0d49°24.93"S	11
G0036	0.04	0.04	0.00	GCP	7828.4	4922.9	7°26.55"W	0d54°01.88"S	16
G0054	0.03	-0.03	-0.00	GCP	4436.6	3587.4	1°41.35"W	0d50°12.39"S	9
G0055	0.00	-0.00	0.00	GCP	4357.9	3430.2	2°26.51"W	0d49°17.10"S	11

Na **Tabela 5.6** pode-se verificar que a média do resíduo total igual a 0,21 pixel (2,62 m), é bem menor que a metade da resolução nominal das imagens Standard (25 m), com um erro médio quadrático de 0,30 pixel (3,75 m), sendo 0,30 pixel (3,75 m) em X e 0,01 pixel (0,12 m) em Y, respectivamente.



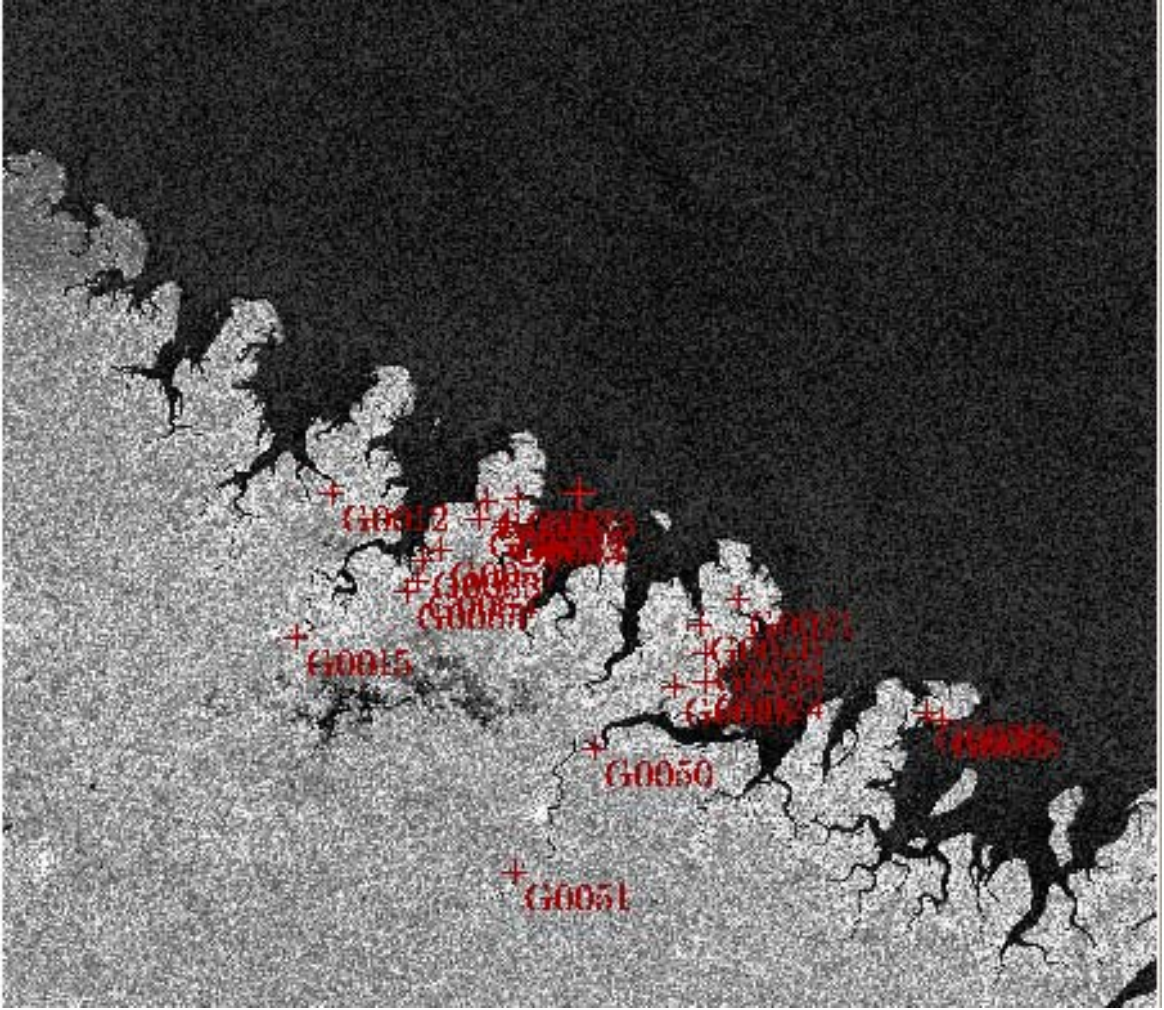
**Figura 5.18** – Imagem RADARSAT-1 S6 com pontos de controle.

**Tabela 5.7** – Resíduos Planimétricos dos 20 pontos de controle utilizados na coleta dos GCPs da imagem S6, com uso da modelagem RADARSAT-1 Specific.

RMS: 0,42 Pixel (5,25 m) XRMS: 0,40 Pixel (5 m) YRMS: 0,14 Pixel (1,75 m)

Ponto coletado	Resíduo parcial	Resíduo X	Resíduo Y	Tipo	Imagem X	Imagem Y	Longitude X	Latitude Y	Alt Z
G0015	0.97	-0.97	0.96	GCP	4212.2	1642.2	8°20.91"W	0d50'26.68"S	9
G0061	0.81	-0.81	-0.13	GCP	1247.5	3360.0	0°20.69"W	0d57'32.01"S	8
G0033	0.51	0.33	0.00	GCP	6882.3	6114.7	7°16.41"W	d23'59.99"S	10
G0008	0.45	-0.44	0.02	GCP	7979.0	4734.0	8°04.93"W	d16'27.36"S	11
G0056	0.41	-0.38	0.53	GCP	1030.0	2232.0	0°07.79"W	0d49'43.82"S	14
G0025	0.40	0.38	-0.00	GCP	7900.7	5180.3	9°14.40"W	d16'27.36"S	11
G0032	0.39	0.28	0.53	GCP	4254.0	2316.0	9°04.23"W	0d54'59.02"S	14
G0051	0.37	-0.37	-0.00	GCP	7432.0	5459.8	2°43.61"W	d20'28.01"S	11
G0063	0.34	-0.31	-0.55	GCP	2340.0	1666.3	0°40.98"W	0d47'52.31"S	14
G0055	0.34	-0.32	0.00	GCP	3517.7	4299.3	6°47.81"W	d07'04.35"S	11
G0064	0.32	0.29	-0.36	GCP	4164.9	2112.1	9°20.82"W	0d53'29.62"S	14
G0053	0.32	0.45	-0.42	GCP	2335.9	1854.2	0°59.42"W	0d49'06.96"S	11
G0054	0.26	0.45	-0.20	GCP	4059.7	2464.3	0°33.63"W	0d55'40.96"S	9
G0065	0.22	0.32	-0.02	GCP	6404.7	2843.4	5°40.56"W	d01'37.17"S	14
G0057	0.22	-0.30	-0.00	GCP	7079.4	6045.6	5°52.54"W	d23'49.85"S	12
G0036	0.20	0.06	-0.26	GCP	5905.3	1811.8	7°26.55"W	0d54'01.88"S	16
G0040	0.18	-0.18	-0.10	GCP	6041.0	1805.0	6°32.18"W	0d54'11.10"S	9
G0034	0.17	-0.18	0.00	GCP	1912.0	2557.0	4°48.90"W	0d53'10.27"S	0
G0062	0.09	-0.17	0.00	GCP	2129.1	1779.1	2°14.53"W	0d48'19.03"S	12
G0050	0.06	0.09	-0.01	GCP	5244.3	5211.9	3°58.23"W	0d59'45.65"S	14

Na **Tabela 5.7**, pode-se verificar que a média do resíduo total igual a 0,35 pixel (4,37 m), é bem menor que a metade da resolução nominal das imagens Standard (25 m), com um erro médio quadrático de 0,42 pixel (5,25 m), sendo 0,40 pixel (5 m) em X e 0,14 pixel (1,75 m) em Y, respectivamente.



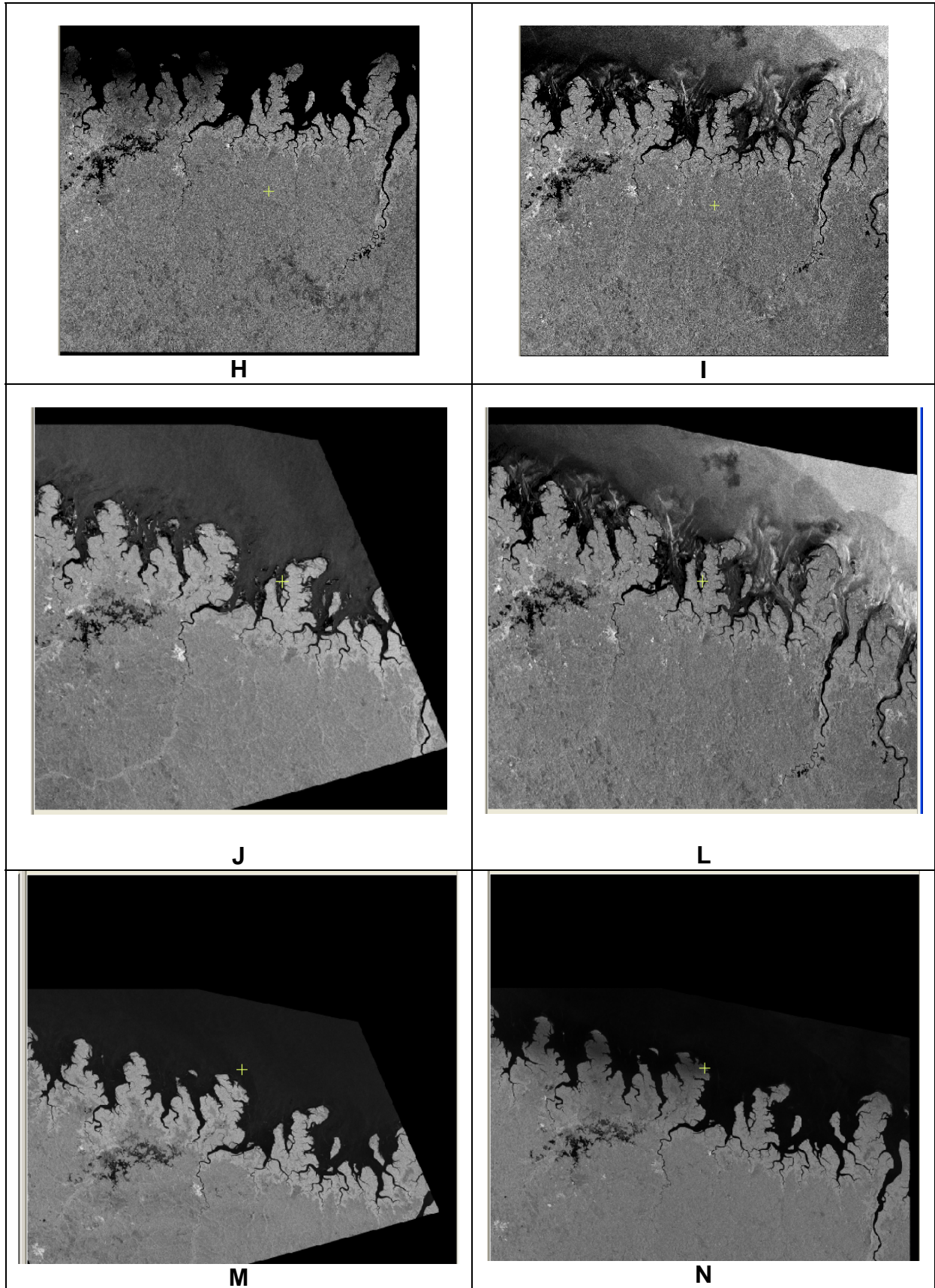
**Figura 5.19** – Imagem RADARSAT-1 S7 com pontos de controle.

**Tabela 5.8** – Resíduos Planimétricos dos 20 pontos de controle utilizados na coleta dos GCPs da imagem S7, com uso da modelagem RADARSAT-1 Specific.

		RMS: 0.47 Pixel (5, 88 m)		XRMS: 0.40 Pixel (5 m)		YRMS: 0.24 Pixel (3 m)			
Ponto de controle	Resíduo parcial	Resíduo X	Resíduo Y	Tipo	Imagem X	imagem Y	Longitude X	Latitude Y	Alt Z
G0015	1.28	1.79	-0.11	GCP	5637.0	5013.0	8°31.51"W	0d51'21.98"S	14
G0050	0.98	-1.41	0.08	GCP	5692.8	4889.5	8°20.91"W	0d50'26.68"S	12
G0021	0.74	0.29	-0.07	GCP	2284.0	5483.0	9°52.12"W	0d59'30.90"S	3
G0024	0.41	-0.35	0.06	GCP	2276.0	5184.0	0°20.69"W	0d57'32.01"S	9
G0040	0.40	0.00	-0.00	GCP	4585.3	6041.1	3°58.23"W	0d59'45.65"S	9
G0012	0.38	-0.40	0.03	GCP	5443.0	5517.0	9°04.23"W	0d54'59.02"S	11
G0025	0.30	0.00	0.01	GCP	5205.3	5568.0	0°33.63"W	0d55'40.96"S	10
G0064	0.29	0.01	0.00	GCP	7280.0	5814.0	6°32.18"W	0d54'11.10"S	14
G0008	0.26	-0.00	-0.00	GCP	3217.7	4739.3	4°48.90"W	0d53'10.27"S	10
G0026	0.25	-0.00	-0.00	GCP	7153.6	5762.1	7°26.55"W	0d54'01.88"S	11
G0036	0.24	0.00	0.00	GCP	3262.7	4591.9	4°44.30"W	0d52'07.60"S	16
G0063	0.23	0.00	-0.00	GCP	3397.4	4513.4	3°58.21"W	0d51'24.28"S	10
G0065	0.20	0.07	0.00	GCP	2558.0	4071.0	0°07.79"W	0d49'43.82"S	14
G0057	0.19	-0.00	0.00	GCP	3962.2	6995.9	6°47.81"W	d07'04.35"S	12
G0033	0.18	-0.00	0.00	GCP	3137.3	4827.6	5°12.87"W	0d53'52.66"S	7
G0053	0.13	-0.00	0.00	GCP	3990.6	4113.6	0°40.98"W	0d47'52.31"S	11
G0032	0.13	-0.00	0.00	GCP	5449.9	5293.5	9°20.82"W	0d53'29.62"S	9
G0051	0.07	-0.00	0.00	GCP	3688.5	4259.1	2°26.51"W	0d49'17.10"S	8
G0053	0.06	0.00	-0.00	GCP	3894.8	4325.4	0°59.42"W	0d49'24.93"S	11
G0036	0.05	-0.00	0.00	GCP	5407.2	5086.7	9°55.84"W	0d52'11.28"S	9

Na **Tabela 5.8**, pode-se verificar que a média do resíduo total igual a 0,39 pixel (4,88 m), é bem menor que a metade da resolução nominal das imagens Standard (25metros), com um erro médio quadrático de 0,47 Pixel (5,88 m), sendo 0,40 pixel (5 m) em X e 0,24 pixel (3 m) em Y, respectivamente.

O resultado das Imagens Epipolares RADARSAT-1 S6 Des / S1Des, S2 Asc / S1 Des, S7 Asc / S6 Des é mostrado na **Figura 5.20**.

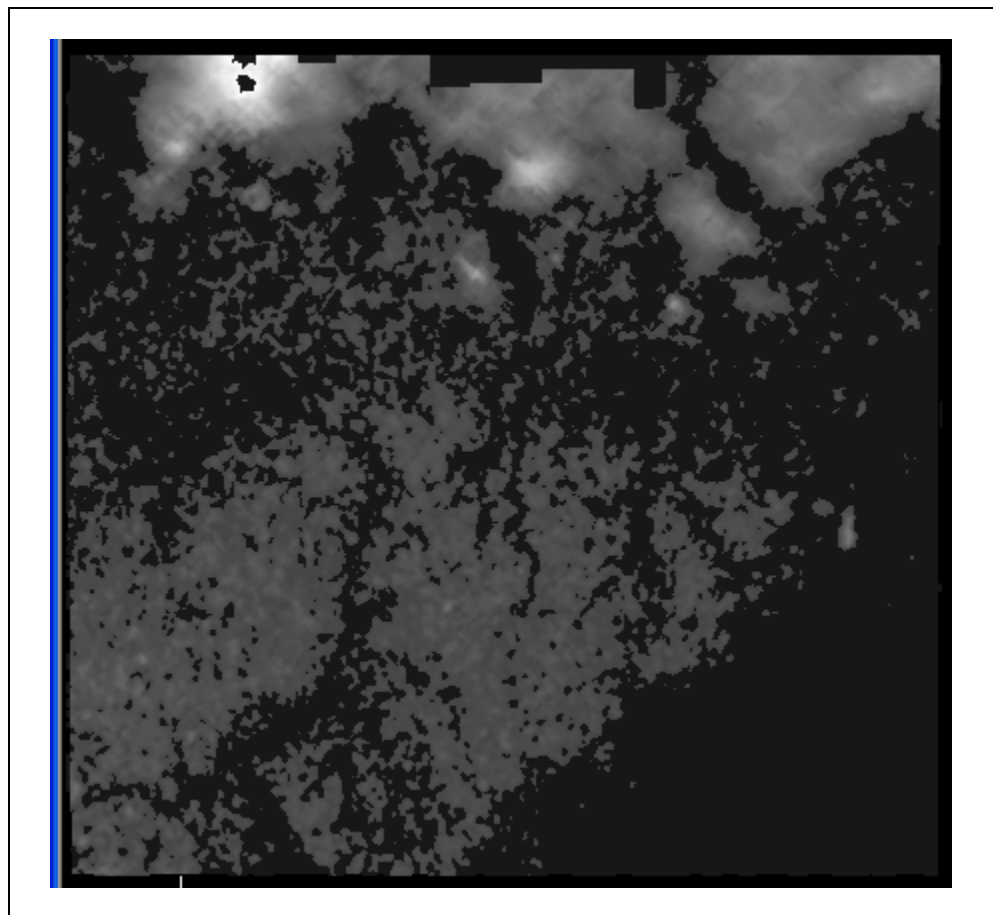


**Figura 5.20** – Imagens Epipolares S6 Des / S1 Des (H / I), S2 Asc / S1 Des (J / L), S7 Asc / S6 Des (M / N).



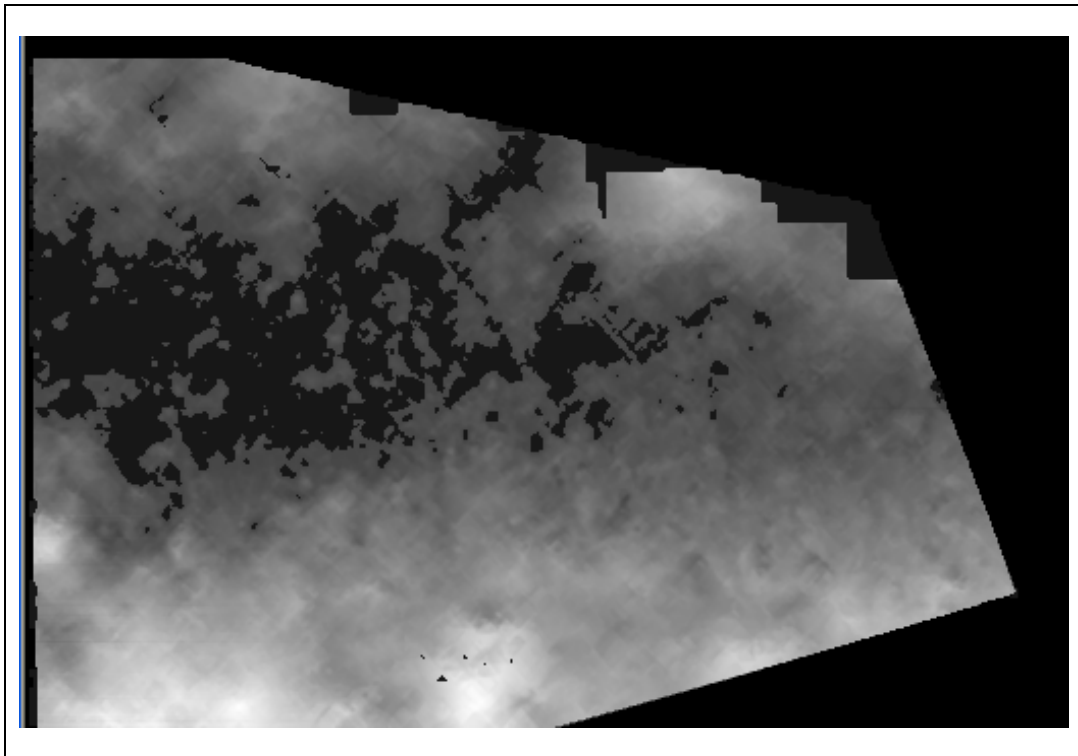
A extração dos MDEs (S6 Des / S1Des, S7 Asc/S6 Des e S2 Asc / S1 Des com pontos notáveis extraídos das fontes Landsat ETM + para a planimetria e SRTM para altimetria é mostrada nas **Figuras, 5.21, Figura 5.22, Figura 5.23**).

O MDE S6 /S1 gerado foi obtido a partir de duas imagens com órbitas descendentes. Este apresentou baixa correlação entre as imagens em quase toda a área analisada. Estas perspectivas de iluminação próximas determinaram paralaxes modestas (VPR= 0,48), o que, aliado com a pequena correlação, dificultou a visibilidade estereoscópica para geração do MDE absoluto.



**Figura 5.21** - MDE absoluto gerado a partir do par S6 Des / S1 Des.

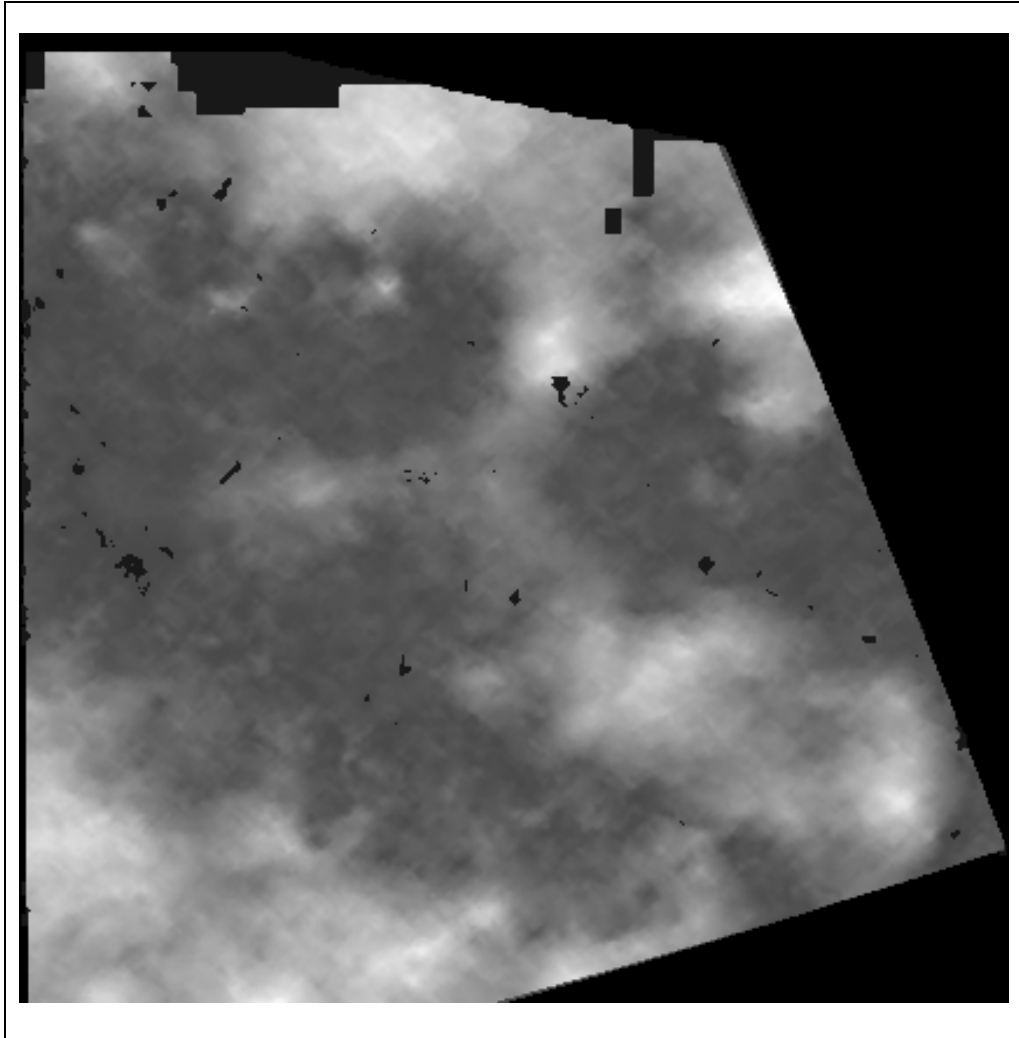
O par estereoscópico S7 Asc / S6 Des apresentou baixa correlação na região central do MDE, porém, na parte superior e inferior, mostrou uma boa correlação. Assim, para as características da área em estudo, os pares de lados opostos (VPR= 1,99) expressaram melhores condições de visibilidade estereoscópica.



**Figura 5.22** - MDE absoluto gerado a partir do par (S7 Asc / S6 Des).

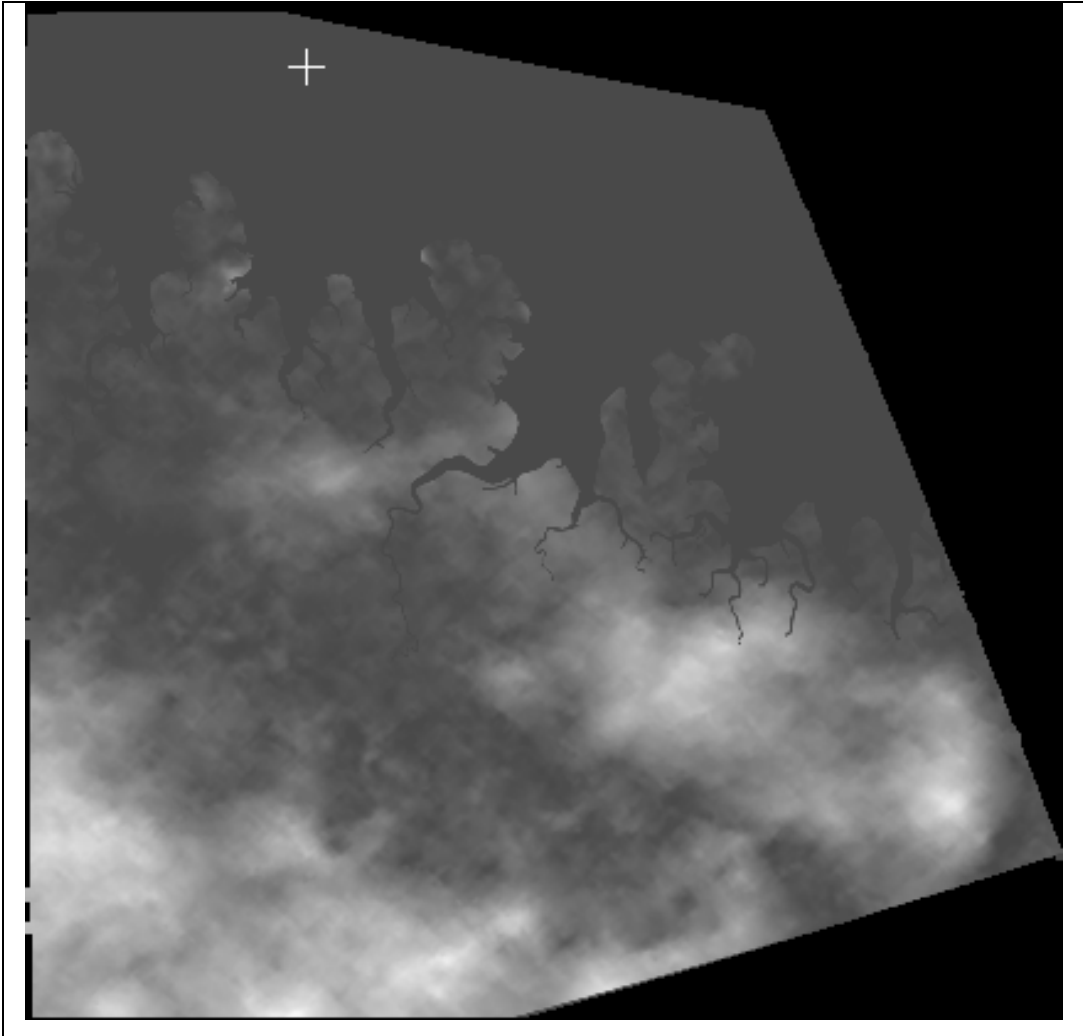
Devido às grandes restrições apresentadas nos MDEs S6 Des / S1 Des e S7Asc / S6 Des, não foram realizadas as correções de ruídos, imperfeições e aplicação de máscara para esse produto.

O par estereoscópico S2 Asc / S1 Des (**Figura 5.23**) apresentou ótima correlação entre as imagens em quase 100% da área analisada. Estas perspectivas de iluminações diferentes determinaram grandes paralaxes ( $VPR= 4,31$ ) o que facilitou a visualização em estereoscopia e a conseqüente geração do MDE absoluto.



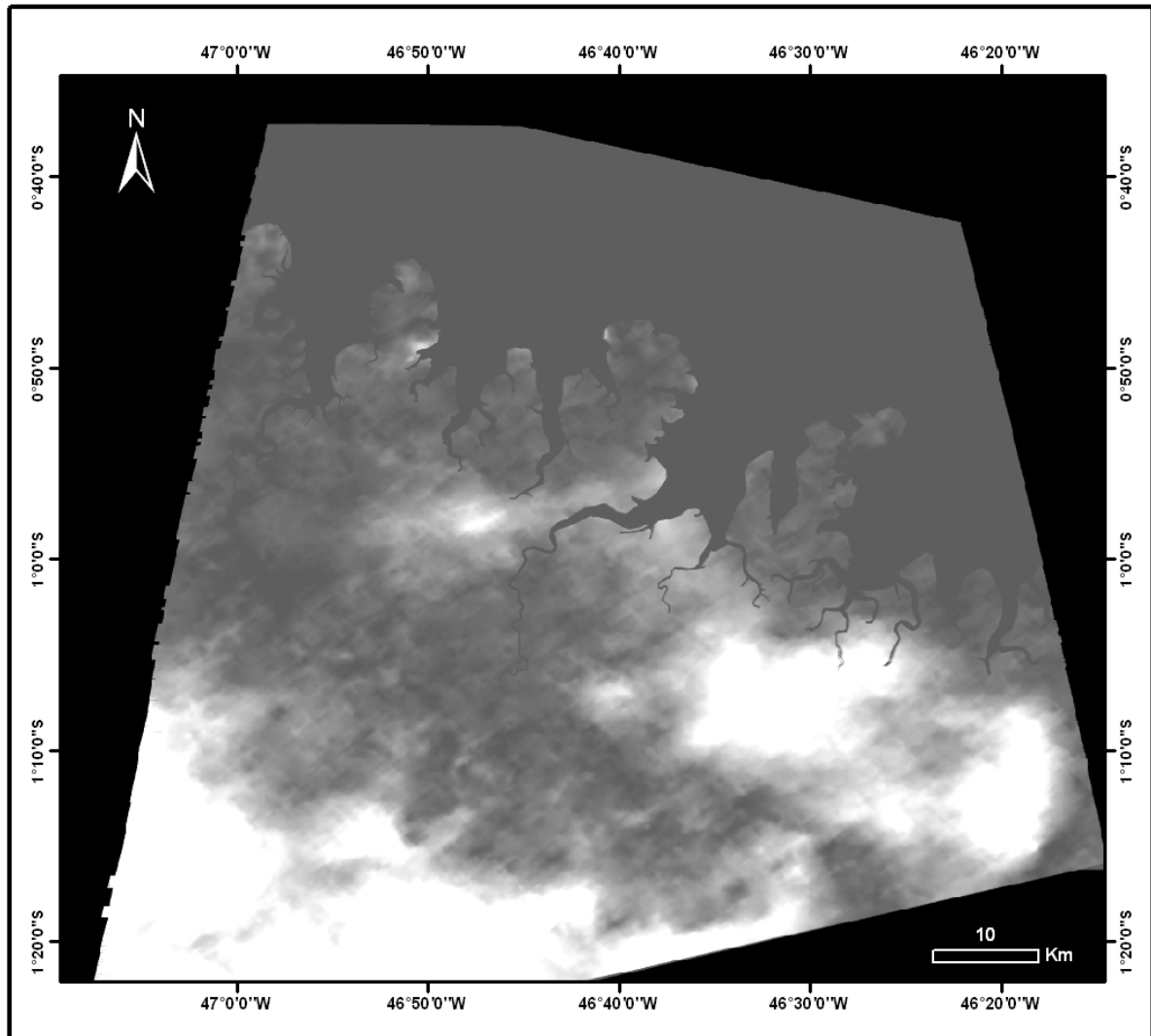
**Figura 5.23** - MDE absoluto gerado a partir do par S2 Asc / S1 Des com pontos notáveis extraído das fontes Landsat ETM + para a planimetria e SRTM para altimetria.

O resultado da geração do Modelo Digital de Elevação Absoluto S2 Asc / S1 Des com correção de ruídos, imperfeições, aplicação de máscara é mostrado na **Figura 5.24**.



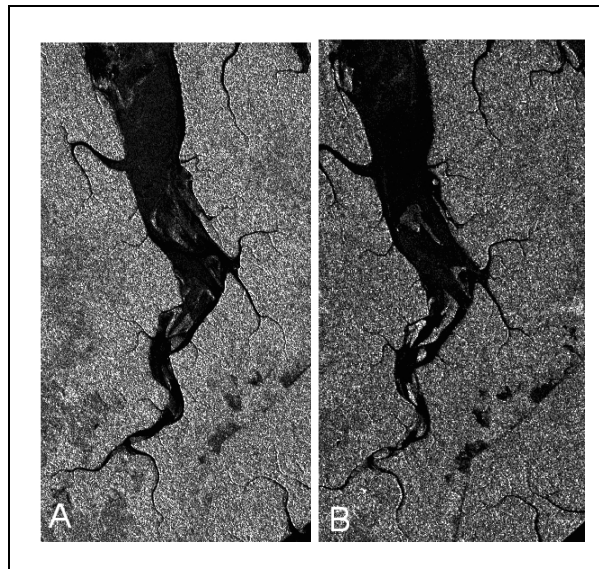
**Figura 5.24** MDE Absoluto gerado (S2 Asc/S1 Des), com correção de ruídos, imperfeições, aplicação de máscara.

O posicionamento do MDE nas coordenadas do projeto é mostrado na **Figura 5.25**.



**Figura 5.25** – Posicionamento do MDE nas coordenadas do projeto.

O estéreo-par S2 Asc / S1Des (Figura 5.26) é apresentado para ser observado através de estereoscópio de bolso).



**Figura 5.26** Estéreo-par S2 Asc (A) e S1 Des (B).

Para o cálculo da acurácia do mapa altimétrico, os valores digitais de elevação do MDE foram convertidos da superfície elipsoidal (produto original do MDE) para superfície geoidal, através da subtração dos valores de ondulação geoidal obtidos para cada ponto medido pelo DGPS.

A **Tabela 5.9** apresenta os 28 ICPS para a verificação da escala de mapeamento.

Tabela 5.9 - 28 ICPS para a verificação da escala de mapeamento.

(ICPs) Pontos notáveis	Latitude ( $\phi$ ) (S)	Longitude ( $\lambda$ ) (W)	Elevação dos ICPS Medidos em Campo (Z <sub>DGPS</sub> )	Elevação dos ICPS na imagem (Z <sub>F</sub> )
P01	0°49' 57,69482"	46°36' 7,9604 "	5,41	1
P02	0°49' 56,40927"	46°36' 8,1175 "	5,52	0
P03	0° 49' 55,22402"	46°36' 8,7950 "	6,94	1
P04	0° 49'54,37760"	46°36'10,4660"	7,60	4
P05	0° 49' 51,87120"	46°36'11,3715"	6,74	4
P06	0°50 ' 46,43707"	46°38'51,8463"	5,13	0
P07	0°50 ' 38,79811"	46°36' 43,0093 "	6,05	7
P08	0° 49' 44,52960"	46°36'14,3442"	6,30	5
P09	0°49' 42,65391 "	46°36'14,8454 "	5,57	5
P10	0° 49'40,84245"	46°36'15,5532"	6,26	5
P11	0°49' 38,47385"	46°36' 16,8934 "	5,89	6
P12	0°49' 38,07114 "	46°36'18,9463 "	4,61	8
P13	0° 49'36,72129 "	46°36'19,4832 "	6,14	9
P14	0°49' 35,46294 "	46°36' 19,9053 "	4,67	9
P15	0°49' 34,22454 "	46°36'20,5789 "	6,92	10
P16	0°49' 33,02474 "	46°36' 21,3972 "	6,74	11
P17	0°49' 31,99547 "	46°36'22,2755 "	4,77	12
P18	0°49' 30,76182 "	46°36' 23,1177 "	6,91	12
P19	0°49'29,59732 "	46°36'24,0143 "	4,93	11
P20	0°49' 28,45983 "	46°36'25,02174"	5,46	11
P21	01°03'19,58852"	46°45'40,17610"	3,86	11
P22	01°03'52,50639"	46°45'49,54787"	26,99	20
P23	0° 52' 30,13934"	46°38'59,30841"	5,13	11
P24	0° 50' 46,43708 "	46° 38' 51,84633"	5,34	0
P25	0°50' 26,76574 "	46°38'22,45922"	4,44	7
P26	0° 50' 38,79811 "	46°36'43,009326"	6,05	19
P27	0° 50' 43,07242 "	46° 36' 47,55164"	5,29	22
P28	0°51' 09,39851"	46°36'24,04557"	4,08	9
SOMATÓRIA (Z <sub>DGPS</sub> ) e (Z <sub>F</sub> )			179.74	230

A **Tabela 5.9** apresentou um valor de RMSE de 9,49 em que 1/3 deste valor igual a 3,16 enquadra o mapa Altimétrico dentro da tolerância da escala de 1: 100.000 para Classe A (**Tabela 3.5**).

Para o cálculo da acurácia de elevação do mapa altimétrico foram selecionados 13 ICPS (**Tabela 5.10**) número baseado em Paradella et al., 2004.

**Tabela 5.10** - Elevações dos ICPS coletados na imagem e dos ICPS correspondentes medidos em campo por DGPS.

(ICPs) Pontos Notáveis	Latitude ( $\phi$ ) (S)	Longitude ( $\lambda$ ) (W)	Elevação dos ICPS Medidos em Campo (Z <sub>DGPS</sub> )	Elevação dos ICPS na imagem (Z <sub>F</sub> )
P05	0° 49' 51,87120"	46 ° 36 '11,37152"	6,74	4
P08	0° 49' 44,52960"	46°36 '14,344242"	6,30	5
P10	0 °49'40,84245"	46° 36'15,55327"	6,26	5
P11	0° 49 ' 38,47385"	46° 36' 16,89344 "	5,89	6
P13	0° 49 ' 36,72129 "	46° 36' 19,48327 "	6,14	9
P19	0°49' 29,59732 "	46°36' 24,01439"	4,93	11
P20	0° 49 ' 28,45983 "	46° 36' 25,02174 "	5,46	11
P21	01° 03 ' 19,58852"	46° 45'40,17610"	3,86	11
P22	01°03'52,50639"	46°45'49,54787"	26,99	20
P23	0° 52' 30,13934"	46° 38' 59,30841"	5,13	11
P24	0° 50' 46,43708 '	46° 38' 51,84633"	5,13	0
P25	0° 50' 26,76574 "	46° 38' 22,45922"	4,44	7
P28	0° 51' 09,39851"	46° 36' 24,04557"	4,08	9
SOMATÓRIA (Z <sub>DGPS</sub> ) e (Z <sub>F</sub> )			91,35	109

A **Tabela 5.10** mostra que para o Padrão de Exatidão Cartográfica – Altimétrico onde metade da equidistância entre as curvas de nível de 25 m, sendo um terço desta equidistância igual a 8,33 m que o Erro-Padrão correspondente de 5,09 m classifica o Mapa Altimétrico como Classe A para Altimetria. .

O resultado dos valores de VPR e Ângulo de Interseção dos MDEs absolutos S6 Des / S1Des, S2 Asc / S1 Des e S7 Asc / S6 Des é mostrado na **Tabela 5.11**.

**Tabela 5.11** – Valores de VPR (Razão de Paralaxe Vertical) e Ângulo de Interseção dos MDEs absolutos S6 Des / S1Des, S2 Asc / S1 Des e S7 Asc / S6 Des.

MDE	VPR	Ângulo de interseção
S6 Des / S1 Des	0,48	20°
S2 Asc / S1 Des	4,31	47°
S7Asc / S6 Des	1,99	87°

O resultado dos valores de RMS e LE90 da **Tabela 5.12** mostra que o LE90 que é usado para quantificar o erro em elevação do MDE versus medidas reais em elevação (elevação verdadeira) 90% dos pixels do MDE (S2 Asc / S1 Des)



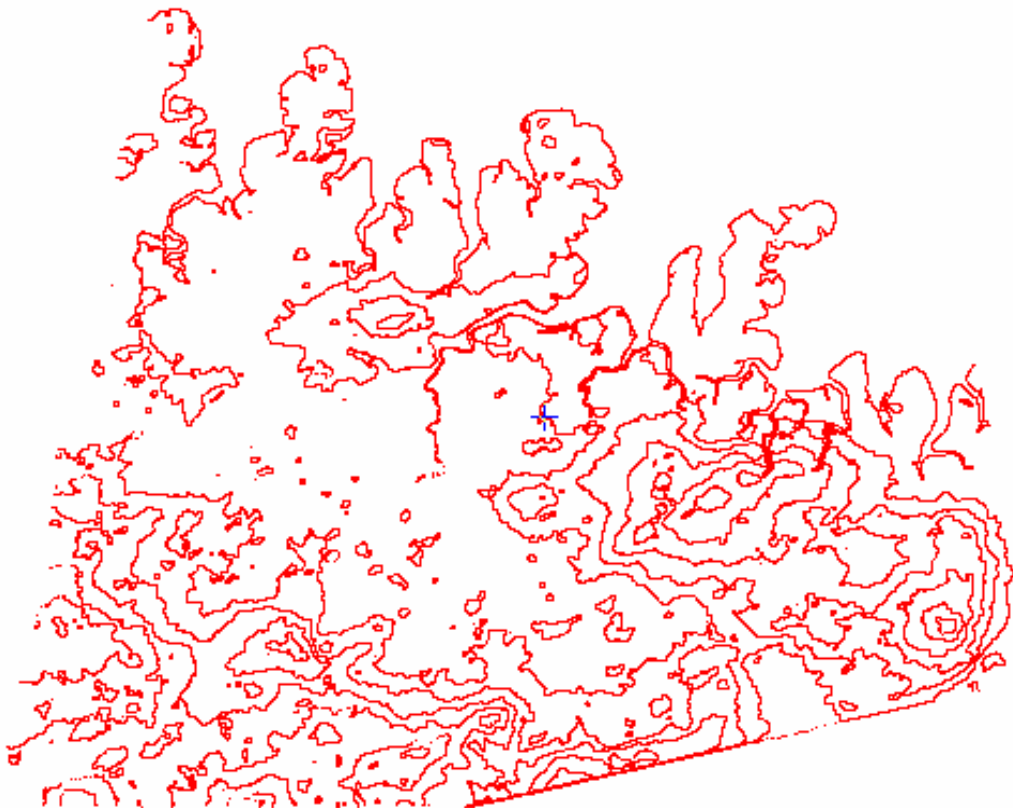
apresenta variações em elevação em relação à “elevação verdadeira” de 8,39 m ou menos.

**Tabela 5.12** - Resultado da geração de MDE RADARSAT-1 Standard Absoluto para Relevo Plano.

MDE	RMS	LE90
Absoluto	5.10	8.39m

O resultado da geração e edição das curvas de nível é mostrado na **Figura 5.27**.

Para geração das curvas de nível Foi utilizada a ferramenta *CONTOUR* do software PCI Geomatics.



**Figura 5.27** - Curvas de nível geradas a partir do MDE S2Asc / S1Des com equidistância de 50 m.

As geometrias apresentadas pelos pares estereoscópicos S6Des / S1Des, S2 Asc/S1Des e S7 Asc/S6 Des geraram ótimos MDEs relativos (**Figuras 5.2, 5.4 e 5.6**), mostrando que não houve influência dos ângulos de interseção nem dos

valores de VPR. Isto mostra que a modelagem RADARSAT-1 Specific Model, do software OESE, apresenta pouca dependência de pontos de controle distribuídos em área e elevação para geração dos MDEs.

A geometria apresentada pelo par estereoscópico absoluto (S6 Des / S1Des) com ângulo de interseção de 20°, valor de VPR igual a 0.48 com uso da população de GCPs medidos em campo e do SRTM, gerou um MDE com buracos em toda a área (**Figura 5.14**).

A geometria apresentada pelo par estereoscópico absoluto (S6Des / S1Des) com ângulo de interseção de 20°, valor de VPR igual a 0,48 com pontos notáveis extraído das fontes Landsat ETM + para a planimetria e SRTM para altimetria, gerou um MDE com buracos em toda a área (**Figura 5.21**).

O par absoluto S7Asc / S6 Des com a configuração geométrica formada pelo ângulo de interseção de 87°, VPR de 1.99 e com uso da população de GCPs medidos em campo e do SRTM, conseguiu gerar uma boa geometria, porém, o MDE ainda apresentou falha na região central da área gerada (**Figura 5.15**).

O par absoluto S7Asc / S6 Des com a configuração geométrica formada pelo ângulo de interseção de 87°, VPR de 1,99 e com pontos notáveis extraído das fontes Landsat ETM + para a planimetria e SRTM para altimetria, conseguiu gerar uma boa geometria, porém, o MDE ainda apresentou falha na região central da área gerada (**Figura 5.22**).

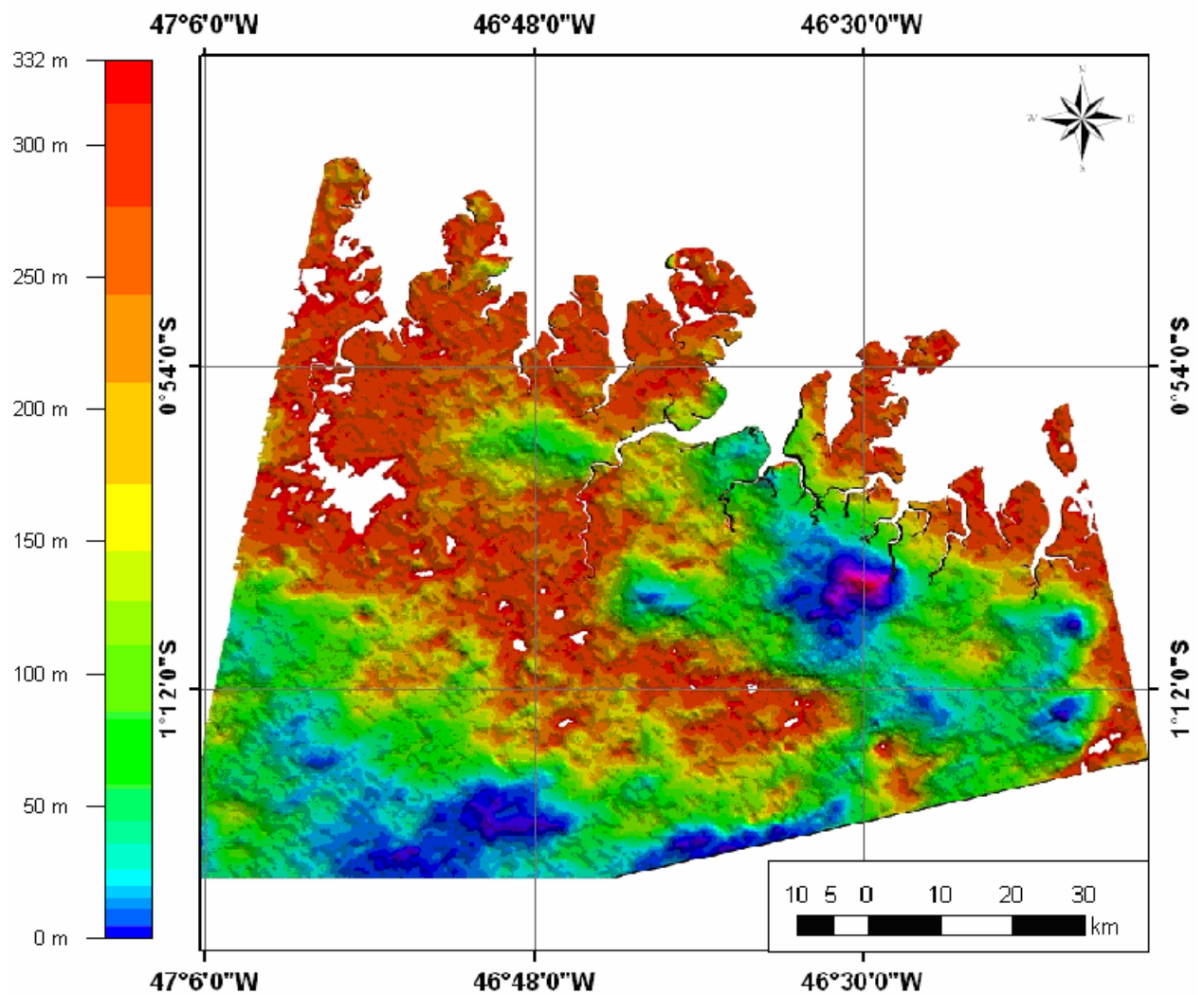
O par absoluto S2Asc / S1 Des com a configuração geométrica formada pelo ângulo de interseção de 47°, VPR de 4,31 e com uso da população de GCPs medidos em campo e do SRTM, não conseguiu gerar um MDE apresentando falhas na região central da área gerada (**Figura 5.13**).

A boa geometria para o par estereoscópico S2Asc / S1Des com pontos notáveis extraído das fontes Landsat ETM + para a planimetria e SRTM para altimetria foi obtida pelo grande ângulo de interseção formado de 47° e, principalmente, em função o valor de VPR igual a 4,31. Isto resultou no aumento do fator de exagero estereoscópico ou equivalentemente à paralaxe observada (grande disparidade geométrica), melhorando a percepção em 3D e conseqüentemente a derivação altimétrica para extração do MDE (**Figura 5.22**).

Apesar do não refinamento do modelo "RADARSAT-1 Specific" com pontos notáveis extraído das fontes Landsat ETM + para a planimetria e SRTM com as informações de precisão do terreno, devido à dificuldade de identificar os pontos homólogos

diretamente nas imagens, o resultado da acurácia altimétrica do MDE absoluto S2Asc / S1Des (RMS= 5.10 m) foi bastante satisfatória.

O resultado da geração e Geocodificação do MDE Absoluto S2Asc / S1Des com pontos notáveis extraído das fontes Landsat ETM + para a planimetria e SRTM é mostrado com paleta de cores na (Figura 5.28).



**Figura 5.28** – MDE Absoluto geocodificado (S2Asc / S1Des), com paleta de cores.

A partir do MDE absoluto S2Asc / S1Des com pontos notáveis extraído das fontes Landsat ETM + para a planimetria e SRTM foi gerado o mapa altimétrico (Figura 5.29).

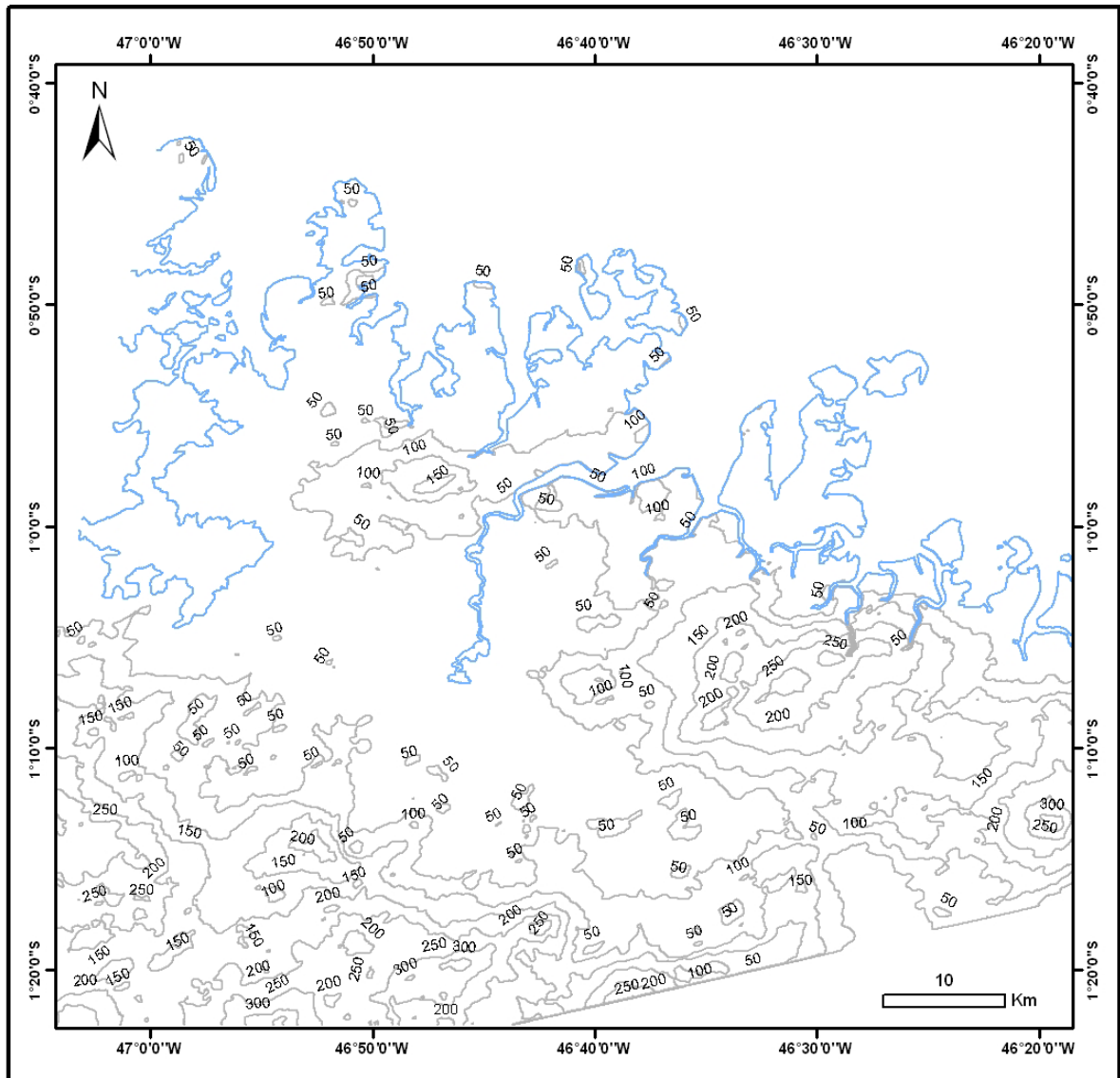
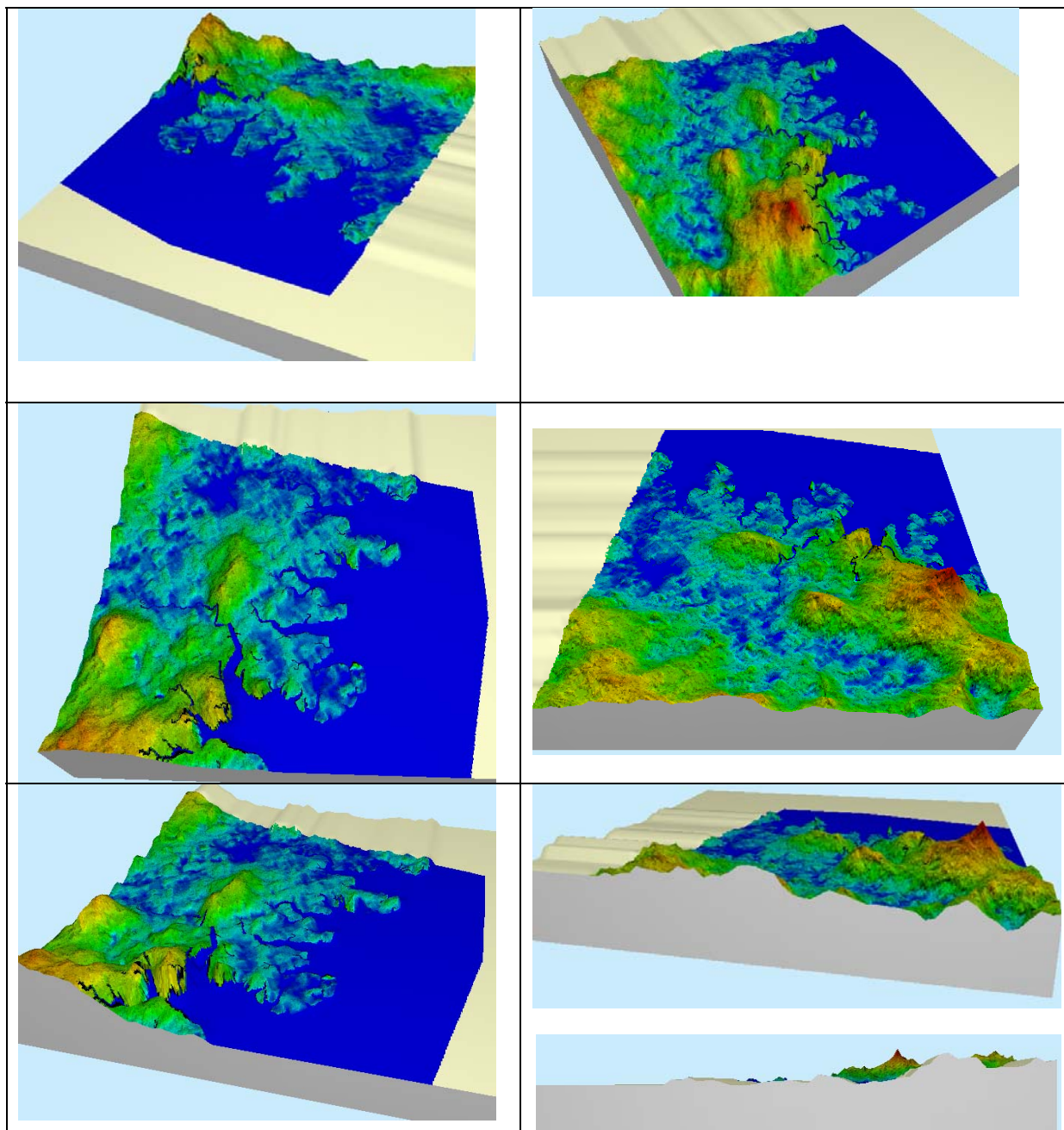


Figura 5.29 – Mapa Altimétrico.

O resultado da geração do MDE S2Asc / S1Des com pontos notáveis extraído das fontes Landsat ETM + para a planimetria e SRTM é apresentado em perspectiva em 3D na Figura 5.30.



**Figura 5.30** – MDE Absoluto S2 Asc / S1 Des em 3D, visto de diferentes perspectivas.

A **Figuras 5.30** mostra que o MDE S2Asc / S1Des em 3D representa adequadamente o relevo da área de estudo, onde verifica-se a topografia bem modelada.

## CAPÍTULO 6

### 6 CONCLUSÃO

A geração de MDEs a partir de imagens RADARSAT-1 no modo Standard, em área com relevo plano, é certamente uma tarefa desafiadora. Porém, a presente evidenciou a importância da estereoscopia de radar na geração de MDE absoluto com pontos notáveis extraído das fontes Landsat ETM + para a planimetria e SRTM para altimetria em de planícies costeiras tropicais que não apresentem mapas altimétricos na escala de 1:100.000 e com dificuldades na coleta de GCPs diretamente no campo e perfeitamente identificáveis sobre as imagens para geração de Mapa Altimétrico. Com relação aos pares estereoscópicos analisados, foi possível concluir que:

(1) – Na geração dos MDEs Relativo, os pares S2Asc / S1Des, S6Des/ S1Des e S7Asc / S6Des apresentaram boa correlação entre as imagens, apesar do modelo em estéreo ser baseado exclusivamente nas informações de efemérides do SAR desta forma não permitindo estimativa válida de erro em elevação;

(2) – Na geração dos MDEs absolutos, apenas o par S2 Asc / S1 Des com pontos notáveis extraído das fontes Landsat ETM + para a planimetria e SRTM mostrou-se mais efetivo no realce de profundidade, não ocorrendo perda de visibilidade estereoscópica, em função dos valores intermediários de ângulo de interseção ( $47^\circ$ ) e, principalmente, pela mais alta razão de paralaxe vertical (4,31) obtida dentre os pares avaliados.

As imagens RADARSAT-1 Standard demonstraram ser uma ótima alternativa, como dado de sensoriamento remoto, na produção de MDE absoluto para produção de mapa altimétrico na escala de 1:100.000 em áreas com vazios cartográficos e que apresentem dificuldades na identificação dos GCPs obtidos em campo em seus homólogos diretamente nas imagens a partir de pontos notáveis extraído das fontes Landsat ETM + para a planimetria e SRTM para altimetria.

O MDE, que no passado era extraído através da aerofotogrametria de maneira analógica, hoje é feito de forma digital por meio de imagens de radar com resoluções espaciais cada vez melhores. Cabe salientar que, com o advento do RADARSAT-2 em 2007, provendo imagens no modo Ultra-Fine (resolução espacial de 3 X 3 m), será possível usar um número bem maior de GCPs (*Ground Control*

*Points*) na geração dos MDEs (absoluto) pela facilidade de identificação na imagem dos pontos homólogos correspondentes em campo e o restante como ICPs para estimativa do erro médio quadrático da altimetria e planimetria dos MDEs absolutos.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA ESPACIAL CANADENSE Disponível em <<http://www.space.gc.ca/asc/eng/satellites/radarsat1/>> Acesso em 2003.

BRASIL. CONCAR IBGE. Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984. Normas Cartográficas. **Estabelece as instruções reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional.** Disponível em: <http://www.concar.ibge.gov.br/cca32.htm>.

COHEN M.C.L. et al. Analysis of mangrove inundation by GIS techniques. In: BARROS H. (Ed.), Sustainability of **estuaries and mangroves**: challenge and prospects. Recife: UFRPE/ISME, 2000 p. 1 – 10.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO - DHN. **Tábuas de marés para 2000**: Costa do Brasil e alguns portos estrangeiros. Rio de Janeiro: DHN, 2000, p. 9-11.

EMBRAPA Monitoramento por Satélite, 2005 <http://www.google.com.br/search?hl=pt-BR&q=EMBRAPA+SENSORIAMENTO+REMOTO&btnG=Pesquisa+Google&meta=> Acesso em 2005.

FULLERTON J.; LEBERL F.; MARQUE R. **Opposite-side SAR image processing for stereo viewing.** Photogram. Enginee. Rem. Sensing, 52: 1487-1498. 1986.

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações**: aplicações geodésicas. Curitiba: Ed. UFPR, 1994. 319p.

GLOBAL LAND COVER FACILITY. Disponível em <<http://glcf.umiacs.umd.edu/index.shtml>> Acesso em 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Altitudes Ortométrica e Elipsoidal.** Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/>> Acesso em maio de 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Modelo Geoidal** . Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/>> Acesso em maio de 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Rede Brasileira de Monitoramento.** Contínuo. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/>> Acesso em maio de 2005.



INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Vazio cartográfico**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/>> Acesso em maio de 2005.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Gráficos Climatológicos, 2004**. Disponível em: [http://www.inmet.gov.br/climatologia/combo\\_climatologia.html](http://www.inmet.gov.br/climatologia/combo_climatologia.html). Acesso em 25 de janeiro de 2005.

KOCH, A.; HEIPKE, C.; LOHMANN, P. Analysis of SRTM DTM – methodology and practical results. In: JOINT INTERNATIONAL SYMPOSIUM AND EXHIBITION ON GEOSPACIAL THEORY, PROCESSING, AND APPLICATION, 2002, Ottawa. **Proceedings...** Ottawa: ISPRS Commission IV, 2002. WG IV/6.

LEBERL, F. W. Radargrammetry. In: HENDERSON, F.; LEWIS, A. **Principles e applications of imaging radar**, manual of **remote sensing**. 3. ed. New York: John Wiley e Sons, Cap. 4, p. 183-269, 1998.

MARTORANO, L.G. et al. **Estudos climáticos do Estado do Pará**. Classificação climática (Koppen) deficiência hídrica (Thornthwhite, Mather). Belém: SUDAM / EMBRAPA, 1993 59p.

PARADELLA, W. R. et al. Geração de carta topográfica com stereo-pares Fine do RADARSAR-1 e dados ETM + LANDSAT 7 em ambiente de relevo montanhoso na região Amazônica (serra dos carajás- Pará). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 35, n.3, p. 323-332, 2005a.

PARADELLA, W. R. et al. A Geração de modelos digitais de elevação pela estereoscopia de radar: conhecimento atual e resultados com imagens RADARSAT-1 na Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Foz do Iguaçu, PR **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001.

PARADELLA, W. R. et al. Geração de modelos digitais de elevação através da radargrametria com imagens de satélite RADARSAT-1. Processo FAPESP-PIPE 1999/06271-7, Segundo relatório Científico da Fase II, 81p. São José dos Campos (SP), 2003b.

PARADELLA, W. R. et al. Operational Use of RADARSAT-1 fine stereoscopy integrated with Landsat-5 thematic mapper data for cartographic application in the Brazilian Amazon. **Canadian Journal of Remote Sensing**, n.31, p. 139-148, 2004.

PARADELLA, W. R. et al. Operational Use of RADARSAT-1 fine stereoscopy integrated with Landsat-5 thematic mapper data for cartographic application in the Brazilian Amazon. Canadian Journal of **Remote Sensing**, v.26 n.2, p. 82-90, 2005b.

PARADELLA, W. R. et al. Produção de carta topográfica através da estereoscopia de alta resolução RADARSAT-1 integrada com dados TM-LANDSAT 5: uma avaliação para terrenos planos na Floresta Nacional de Tapajós (PA). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33,n.2, p. 99-110, 2003a.

PCI GEOMATICS. **Geomatica**: user manual. PCI geomatics, Version 10.0, Canada, 2005: 318p.

RADARSAT International. **RADARSAT Illuminated**: your guide to products and services Richmond, British Columbia CA , 1995. 60 p.

RAGGAM H.; ALMER A. Assessment of the potential of JERS-1 for relief mapping using optical and SAR data. In: Intem. ARCHIEVES OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, **Proceeding**, Vol. 31, Part. B4, Commission IV, 1996. p; 671-676.

RAGGAM, H.; GUTJAHR, K. DEM Generation Using RADARSAT stereo data. In: ADRO FINAL SYMPOSIUM, 1998, Motreal, Canadá, **proceedings**. Motreal, Canadá, 1998. 1 CD+ROM.

RABUS, B. et al. The shuttle radar topography mission – a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. ISPRS **Jounal of Photogrammetry and Remote Sensing**. v. 57, p. 241-262, 2003.

SANTOS, A. R. et al. A estereoscopia com imagens RADARSAT-1: uma avaliação geológica na província mineral de Carajás. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 29, n.4, p. 627-632, 1999.

SANTOS, A. R.; PARADELLA, W. R.; VENEZIANI, P. Avaliação da estereoscopia SAR (STANDARD – RADARSAT-1) Híbrida (STANDARD – RADARSAT-1 e TM-LANDSAT-5) em mapeamento geológico na Província Mineral de Carajás. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n.2, p. 153-160, 2003a.

SANTOS, A. R. et al. Contribuição à Geologia de Carajás (Amazônia Brasileira) através da análise tridimensional de estéreo-pares de radar (S5D x S5D) e híbrido (S7D x TM4). **Anais** In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...**, Belo Horizonte INPE, 2003b. p. 921-928.

SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION. Disponível em <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>> Acesso em 2005.

SOUZA FILHO, P.W.M. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. **Revista Brasileira de Geociências**, v.23, n.4, p. 427-435, 2005.

SOUZA FILHO, P. W. M. Tectonic control on the coastal zone geomorphology of the northeastern Pará State. **Revista Brasileira de Geociências**, n.30, p.523-526 , 2000.

SOUZA FILHO, P.W.M.; EL-ROBRINI, M. Morfologia, processo de sedimentação e litofácies dos ambientes morfosedimentares da Planície Costeira Bragantina – Nordeste do Pará, Brasil. **Geonomos** n.4, p. 1-16, 1996.

SOUZA FILHO, P.W.M.; EL-ROBRINI, M. As variações do nível do mar e a estratigrafia de seqüências da Planície Costeira Bragantina – Nordeste do Pará, Brasil. **Bol Mus Par Emílio Goeldi**, Série Ciênc Terra n.10, p. 45-78, 1998.

SOUZA FILHO, P.W.M.; PARADELLA, W. R. Recognition of the main geobotanical features along Bragança mangrove coast (Brazilian Amazon Region) from Landsat TM and RADARSAT-1 data. **Wetlands Ecology and Management** n.10, p. 123-132, 2002.

SOUZA FILHO, P.W.M.; PARADELLA, W. R. Use of synthetic radar for recognition of coastal geomorphological features, land-use assessment and shoreline changes in Bragança coast, Pará, Northern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.75, n.3, p. 341-356, 2003.

SOUZA FILHO, P.W.M.; TOZZI, H.A.M.; EL-ROBRINI M. Geomorphology, land-use and environmental hazards in Ajuruteua macrotidal study beach, northeastern, Pará, Brazil. **Journal of Coastal Research**, Special Issue, n.35, p. 580-589, 2003.

SOUZA FILHO, P.W.M.; MARTIN, E.S.F; COSTA F.R. Using mangroves as a geological indicator of coastal changes in the Braganca macrotidal flat, Brazilian Amazon: A remote sensing data approach. **Ocean & Coastal Management**, n. 49, p. 462–475, 2006.

TOUTIN, T. Generation DEM from stereo images with a photogrammetric approach: examples with VIR and SAR data. **EARSeI J. Advances in Remote Sensing**, n.4, p. 110-117, 1995.

TOUTIN, T. Error tracking of radargrammetric DEM from RADARSAT images **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. v.37, n 5, p. 2227-2238, 1999.

TOUTIN, T. Évaluation de la géométrie des images RADARSAT: premiers résultats. In: GER' 97, Intern. Symp. Geomatics in the era of RADARSAT, Ottawa, Canada, **Proceedings**, 1997. 1 CD-ROM.

TOUTIN T. Opposite-side ERS-1 SAR stereo mapping over rolling topography. **IEEE Transac. Geosc. Remote Sensing**, n.34, p. 543-549, 1996.

TOUTIN, T. **Stereo RADARSAT for mapping applications**. In: ADRO FINAL SYMPOSIUM, Montreal, Canada, Proceeding, 1998. CD-ROM.

TOUTIN, T.; CHENG, P. DEM generation with ASTER stereo data. **Earth Observation Magazine (EOM)**, v. 10. n. 6, 2001.

TOUTIN, T.; GRAY, A. L. State-of-the-art of extraction of elevation data using satellite SAR data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 55, n. 1, p. 13-33, 2000.

TOUTIN, T.; VESTER, C. Understanding RADARSAT data in stereo. In: GER'97 INTERNATIONAL SYMPOSIUM: geomatics in the Era of RADARSAT, 1997, OttawaCanada. **Proceedings...** Ottawa: CCRS, 1997. 1 CD ROM.

U.S. Department of the Interior, UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. National Mapping Division. **Standards of digital elevation models**. Reston, VA, 1998.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)