



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**



**AVALIAÇÃO DA ALTIMETRIA OBTIDA POR MDE GERADO A  
PARTIR DE IMAGENS DE RADARSAT 1 EM ÁREA DE RELEVO  
MISTO NO ENTORNO DA BAÍA DE GUANABARA**

Elizabeth Maria Feitosa da Rocha

**Rio de Janeiro  
2007**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**AVALIAÇÃO DA ALTIMETRIA OBTIDA POR MDE GERADO A  
PARTIR DE IMAGENS DE RADARSAT 1 EM ÁREA DE RELEVO  
MISTO NO ENTORNO DA BAÍA DE GUANABARA**

**ELIZABETH MARIA FEITOSA DA ROCHA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA  
MESTRADO**

**ORIENTADOR  
PROF. DR. CARLA BERNADETE MADUREIRA CRUZ**

**Rio de Janeiro  
2007**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**AVALIAÇÃO DA ALTIMETRIA OBTIDA POR MDE GERADO A  
PARTIR DE IMAGENS DE RADARSAT 1 EM ÁREA DE RELEVO  
MISTO NO ENTORNO DA BAÍA DE GUANABARA**

**ELIZABETH MARIA FEITOSA DA ROCHA**

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-graduação em Geografia a Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Mestre em Geografia (M.Sc).

Aprovada por:

Profª Dra \_\_\_\_\_ - Orientador  
Carla Bernadete Madureira Cruz  
Dep Geografia/ UFRJ

Prof Dr \_\_\_\_\_ - Avaliador Interno  
Manoel do Couto Fernandes  
Depto. Geografia/ UFRJ

Prof Dr \_\_\_\_\_ - Avaliador Externo  
José Carlos Sícoli Seoane  
Depto. Geologia/UFRJ

## FICHA CATALOGRÁFICA

Rocha, Elizabeth Maria Feitosa da

**AVALIAÇÃO DA ALTIMETRIA OBTIDA POR MDE GERADO A PARTIR DE  
IMAGENS DE RADARSAT 1 EM ÁREA DE RELEVO MISTO NO ENTORNO DA  
BAÍA DE GUANABARA**

[Rio de Janeiro], 2007

xviii.115.p (IGEO/ UFRJ, M.Sc., GEOGRAFIA, 2007)

Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, IGEO

1. Geoprocessamento
2. Cartografia
3. MDE
4. Declividade Real
5. Dissertação

“O importante é termos capacidade de sacrificar aquilo que somos para ser aquilo que  
podemos ser.”  
*Charles Dubois*

## AGRADECIMENTO ESPECIAL

Como meu Pai me amou, assim também eu vos amei. Permanecei no meu amor. Se guardardes os meus mandamentos, permanecereis no meu amor, assim como eu guardei os mandamentos do meu Pai e permaneço no seu amor.

E eu vos disse isto, para que a minha alegria esteja em vós e a vossa alegria seja plena. Este é o meu mandamento: amai-vos uns aos outros, assim como eu vos amei.

Ninguém tem amor maior do que aquele que dá sua vida pelos amigos. Vós sois meus amigos, se fizerdes o que eu vos mando. Já não vos chamo servos, pois o servo não sabe o que faz o seu senhor. Eu vos chamo amigos, porque vos dei a conhecer tudo o que ouvi de meu Pai.

Não fostes vós que me escolhestes, mas fui eu que vos escolhi e vos designei para irdes e para que produzais fruto e o vosso fruto permaneça. O que então pedirdes ao Pai em meu nome, ele vo-lo concederá. Isto é o que vos ordeno: amai-vos uns aos outros.

A Deus (pelo amor)  
A Nossa Senhora das Graças (pela intercessão)  
A Santo Antônio (pela intercessão)

## AGRADECIMENTOS

Nesse momento tão especial, algumas pessoas representam muito pra mim. Dentre elas posso considerar como meus principais pilares minha família. Quero agradecer aos meus pais que me criaram com amor e logo me ensinaram a lutar pela realização dos meus sonhos. Dessa forma quero dedicar esse trabalho ao meu pai Sivirino Leite da Rocha, a minha mãe Josefa de Araújo Feitosa da Rocha e ao meu futuro marido Clovis Araújo de Souza, este que em muitos momentos foi a minha paz e o meu refúgio.

Quero agradecer às minhas irmãs e cunhados: Elaine e Deysi, Marco e Marco, e a minha sobrinha pelo apoio, sobretudo, na digitação desse trabalho. Quero agradecer ainda aos meus sogros Marcy e Hélio de Souza pela paciência e pelo carinho em muitos dias no computador de sua casa, invadindo sua privacidade para poder desenvolver essa pesquisa.

Com relação aos meus colegas de pesquisa quero dedicar um abraço especial ao DUARTE que faço questão de colocar em caixa alta pela importância que teve nessa pesquisa. Ele foi muito mais do que um amigo, muito mais do que um colega de pesquisa, foi quase um pai me dando suporte em inúmeros momentos de dificuldade. Quero agradecer sem demoras a minha orientadora Carla Bernadete por tudo que fez por mim todos esses anos e me permitiu ser o que sou hoje. Obrigado por ter me acolhido no laboratório ESPAÇO e por todos os ensinamentos e carinhos (esse trabalho não seria possível sem você!). Quero agradecer aos meus amigos: Isabela (que corajosamente enfrentou o desafio de trabalhar com sensoriamento remoto por radar ao meu lado!), a Roberta, Otto, Claudinha (minha eterna orientadora), Vini, Louyse, André, Zé, Léo, Sandra, Dani, Faber (meu futuro padrinho de casamento!), Menezes, *Maneuzinho*, Vânia, Fabi e Jandira, Cristina (alô) e todos aqueles que por algum momento me ajudaram a prosseguir nessa caminhada. Quero dedicar um agradecimento especial ao Rafa pelo apoio e o crédito que me foram dedicados; à Aline Coelho pelas dicas com o RADAR e a todos os pesquisadores que de alguma forma puderam me ajudar na compreensão dessa ferramenta tão difícil e importante para os estudos da Geografia. Quero agradecer aos meus colegas do CENTRAN pelo apoio e torcida especialmente ao Saul e a Vanessa e principalmente ao Coronel Dias pelo carinho. Finalmente não poderia deixar de agradecer às mais lindas cadelinhas do mundo CRIS, MOA (e o BIDU claro!) pelas brincadeiras que me deram ânimo para seguir adiante.

# DEDICATÓRIA

A Minha Família  
Ao meu eterno amor (Clóvis)



## RESUMO

É bem conhecido que os dados dos radares são adequados para aplicações voltadas à caracterização do relevo no país. A utilização desses sensores por diversos grupos de pesquisa em todo o país tem trazido grandes esperanças para dirimir as lacunas na cartografia nacional uma vez que áreas no Norte e Nordeste do Brasil. Essas áreas apresentam grandes dificuldades para produção de informações cartográficas, em função da intensa e constante cobertura de nuvens. Dessa forma, as informações provenientes de sensores radar podem complementar determinadas informações, entre elas, as informações sobre tipo de declividade e aspecto relacionados ao relevo.

O objetivo dessa dissertação é estudar e descrever a aplicação de imagens de radar enfatizando a qualidade das informações planialtimétricas a partir de MDE's gerados de imagens RADARSAT-1 no entorno da Baía de Guanabara no Estado do Rio de Janeiro. Esse estudo relata um experimento usando um par estereoscópico (F2 e F5) para a geração de mapas declividade e a investigação da precisão planialtimétrica dos mesmos. O estudo foi desenvolvido baseado em imagens estéreo do sensor RADARSAT-1 (*Fine 2 e Fine 5*) buscando atender à Cartografia nacional e também à Geografia.

O modelo matemático utilizado para a extração do MDE foi baseado no modelo específico para as cenas RADARSAT disponível no software OESE (*OrthoEngine Satellite Edition, PCI Geomatics*) e utiliza informações específicas ao sensor como por exemplo as distâncias entre *slant range* e o terreno.

Os pontos de controle usados para ajuste e geração do modelo foram extraídos de cartas topográficas na escala de 1:10.000 provenientes da Fundação CIDE (Estado do Rio de Janeiro) e IPP (Instituto Pereira Passos/RJ). O estudo concluiu que a precisão planimétrica do mapa topográfico atende às exigências da escala 1:50.000 (classe B) e 1:100.000 (classe A) sugerida pelo Padrão de Exatidão Cartográfica brasileiro (PEC). Quanto a avaliação altimétrica direciona a utilização do produto para a escala 1:250.000 (classe A) ficando bem próxima da escala 1:100.000 (classe C).

## ABSTRACT

Radar images are usually adequate for application on the characterization of relief in the Brazil. The use of those sensors by diverse groups of research in all the country has brought hopes for diminishing the gaps in the national cartography in areas of the north and northeast of the Brazil. Those areas present big difficulties for production of cartographical information, in function of the intense and constant cloud cover. Thus, the information originating from radar sensors can complementary some information, between them, the slope or aspect related to relief.

The objective of that dissertation is examine and describe the application of the radar images jut the quality of the planialtimetric information from MDE generated from images RADARSAT-1 around to the Guanabara Bay in the State of the Rio de Janeiro. This study relates an experiment using one Radarsat fine estereopar (F2 e F5) for the generation of the slope maps, and the inquiry of the planialtimetric precision of the maps. The study was developed based in stereo images of the sensor RADARSAT-1 (*Fine 2 and Fine 5*) seeking to attend the National Cartography and consequently at the Geography.

The mathematical model utilized for the extraction of the MDE was based in the specific model for the scenes RADARSAT available in the software OESE (OrthoEngine Satellite Edition, PCI Geomatics) and use specific information to the sensor as by example the distances between slant range and the land.

The ground points used for settlement and generation of the model were extracted of the topographical maps in the scale of 1:10.000 originating from the Foundation CIDE (State of the Rio de Janeiro) and IPP (Pereira Passos Institute). The study concluded that the precision planimétrica of the topographical map attends to the demands of the scale 1:50.000 (class B) and 1:100.000 (class A) suggested by the Standard of Accuracy Cartográfica Brazilian (PEC - Padrão de Exatidão Cartográfica). The altimetric evaluation directs the utilization of the product for the scale 1:250.000 (class A) looked good near to the scale 1:100.000 (class C).

## LISTA DE SIGLAS

ASI	Agenzia Spaziale Italiana
CCRS	Canadá Centre for Remote Sensing
CEOS	Committee on Earth Observation Setellites
CE90	Erro Circular
CIDE	Centro de Informações e Dados do Rio de Janeiro
COCAR	Comissão de Cartografia
CONCAR	Conselho Nacional de Cartografia
CSA	Agência Aeroespacial Canadense
DEM	Digital Elevation Model
DLR	Agência Aeroespacial da Alemanha
DSG	Diretoria de Serviços Geográficos
EHF	Extremely High Frequency
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMQ	Erro Médio Quadrático
ESA	European Space Agency
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
GCP	Ground Control Point
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICP	Independent Check Points
IME	Instituto Militar de Engenharia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
InSAR	Interferometria Radar
IPP	Instituto Pereira Passos
JRC	Joint Research Centre, Ispra / Itália
LE90	Erro linear

MAPSAR	Multi - Application Purpose SAR
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital de Terreno
MNT	Modelo Numérico de Terreno
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NRL	Naval Research Laboratory
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica
PIPE	Programa de Inovação Tecnológica em Pequena Empresa
PMM	Plataforma Multi - Missão
RAR	Real Aperture Radar
RIT	Rede Irregular de Triângulos
RMS	Root Mean Square
RSI	Radarsar International Inc.
SAR	Synthetic Aperture Radar
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIR – C	Spaceborne Imaging Radar
SLAR	Side Looking Airbone Radar
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TIN	Triangular Irregular Network
TM	Thematic Mapper
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UHF	Ultra High Frequency

## SUMÁRIO

<b>I. INTRODUÇÃO</b>	1
1.1 Relevância da Pesquisa	2
1.2 Questionamentos da Pesquisa	3
1.3 Objetivos	5
1.3.1 Objetivo Geral	5
1.3.2 Objetivos Específicos	5
1.4 Estrutura do Trabalho	6
<b>II. ÁREA DE ESTUDO</b>	7
2.1 Delimitação e Aspectos Gerais	7
2.2 Características Específicas	8
2.2.1 Geologia e Geomorfologia	8
2.2.2 Hidrografia e Sub – bacias Hidrográficas	10
2.2.3 Clima e Vegetação	12
2.2.4 Ocupação Urbana	13
<b>III. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	15
3.1 Sensoriamento Remoto Ativo Princípios Básicos	16
3.1.1 Radar de Abertura Real (SLAR) e Radar de Abertura Sintética (SAR)	16
3.1.2 Geometria de Aquisição da Imagem de Radar	18
3.1.3 Características das Imagens de Radar	24
3.2 Metodologias para Geração de Modelos Digitais de Elevação	28
3.2.1 Modelagem de Terreno	28
3.2.2 Estereoscopia e Interferometria	31
3.2.3 Geração de MDE e as Pesquisas Relacionadas ao Tipo de Declividade e Uso do Solo	34
3.3 Principais Sensores Microondas	38
3.3.1 Missão Espacial SRTM	42
3.3.2 Sensor Radar Mapsar – Uma Parceria Brasil - Alemanha	43
3.4 O satélite Radarsat – 1 e Modelagem do Terreno	44
<b>IV. MATERIAIS E MÉTODOS</b>	47
4.1 Levantamento das Bases de Dados e Informações Básicas	48

4.2 Geração dos Modelos Digitais de Elevação a Partir das Cenas Radarsat 1 Modo Fine para a Área de Estudo	50
4.3 Procedimentos de Avaliação do MDE – RADARSAT 1	55
4.3.1 Análise do Padrão de Exatidão Cartográfica	55
4.3.2 Análise quanto à Declividade e Uso do Solo	64
<b>V. RESULTADOS E ANALISES</b>	65
5.1 Análises dos MDE - Radarsat 1	65
5.2 Análise dos Produtos de Acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) para Mapeamento Temático	78
5.3 Análise de Correlação MDE quanto à Declividade e Uso do Solo	83
<b>VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	90
<b>VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	93
<b>ANEXOS</b>	99

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Área de estudo	8
Figura 2: Hidrografia e curvas de níveis para a área de estudo	11
Figura 3: Funcionamento da antena SAR	18
Figura 4: Principais parâmetros dos sensores radar	19
Figura 5: Intervalo de microondas	20
Figura 6: Comprimento de onda	20
Figura 7: Ângulo de depressão, incidência e visada	21
Figura 8: Geometria de aquisição das imagens de radar	22
Figura 9: Geometria de aquisição das imagens de radar e ângulo de incidência	22
Figura 10: Fase e comprimento da onda	23
Figura 11: Característica de encurtamento na geração de imagens de radar	26
Figura 12: Característica de inversão de relevo na geração de imagens de radar	26
Figura 13: Característica de sombreamento de relevo na geração de imagens de radar	27
Figura 14: Representações computacionais para MDE	31
Figura 15: a) Os olhos estão convergindo para o polegar e a bandeirinha é vista como dupla imagem. B) Os olhos agora estão convergindo para a bandeirinha e o polegar é visto como Dupla imagem	32
Figura 16: Técnica interferométrica	33
Figura 17: Análise de imagens SAR RADARSAT 1 segundo tipos de relevo	36
Figura 18: Módulos de imageamento do RADARSAT-1	44
Figura 19: Órbita RADARSAT 1	46
Figura 20: Fluxograma metodológico	47

Figura 21: Modo de inserção de pontos de controle	53
Figura 22: Pontos notáveis da análise planimétrica	58
Figura 23: Detalhamento análise planimétrica	59
Figura 24: Dispersão espacial dos pontos cotados utilizados na análise altimétrica	60
Figura 25: Testes 1 e 2 – MDE`s com 26 e 11 pontos totais respectivamente	67
Figura 26: Testes 3 e 4 – MDE`s com 36 e 17 pontos totais respectivamente	67
Figura 27: Testes 5 e 6 – MDE`s com 36 e 41 pontos totais respectivamente	68
Figura 28: Testes 7, 8 e 9 – todos com 55 pontos totais e diferentes quantidades de pontos de verificação	69
Figura 29: Espacialização dos pontos de controle para análise do nível de detalhamento	71
Figura 30: MDE gerado com médio detalhamento	72
Figura 31: MDE gerado com alto detalhamento	73
Figura 32: MDE gerado com espaçamento de grade 12,5	74
Figura 33: MDE gerado com espaçamento de grade 25	74
Figura 34: Espacialização dos pontos de controle relativos ao MDE de referência	75
Figura 35: Imagens epipolares. (a) esquerda (b) direita. Falhas em destaque	76
Figura 36: MDE de referência	77
Figura 37: Dispersão pontos - planimetria e declividade segundo pontos estabelecidos pelo PEC	79
Figura 38: Gráfico de dispersão com destaque para o PEC relativo às cartas 1:100.000	82
Figura 39: Gráfico de dispersão para a escala 1:250.000 – diferença de elevação e declividade	83
Figura 40: Mapa de declividade gerado a partir do MDE de referência	84



Figura 41: Gráfico de dispersão para declividade e erro (diferenças de altitude).	86
Figura 42: Uso e cobertura do solo obtida pelas imagens LANDSAT 7 durante o desenvolvimento do projeto de Zoneamento Ambiental da Baía de Guanabara - 2002	87
Figura 43: Uso do solo - erro máximo e mínimo	88

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Diferenças gerais entre sensores óticos e radares	25
Tabela 2: Acurácias de DEMs do RADARSAT-1 de relevos planos, moderados e montanhosos	35
Tabela 3: Características gerais dos sensores radar	39
Tabela 5: Custo médio de imagens SAR	40
Tabela 6: Parâmetros do RADARSAT 1	47
Tabela 7: Características gerais das cenas RADARSAT 1.	49
Tabela 8: Parâmetros gerais das bases IPP/CIDE escala 1:10.000	49
Tabela 9: Parâmetros característicos às imagens Radarsat	51
Tabela 10: PEC planimétrico para escalas mais utilizadas	62
Tabela 11: PEC altimétrico para escalas mais utilizadas	62
Tabela 12: Classes de declividade	63
Tabela 13: Agrupamento de classes uso e cobertura do solo.	64
Tabela 14: Testes de 01 a 06 – geração de MDE`s RADARSAT 1	66
Tabela 15: Resultados estatísticos para os testes 07 ao 09	69
Tabela 16: Parâmetros referentes aos testes 10 e 11	70
Tabela 17: Análise de nível de detalhamento	72
Tabela 18: Análise de espaçamento de grade	73
Tabela 19: Parâmetros finais para geração de MDE de referência	76
Tabela 20: Resultados obtidos para a escala 1:50.000	78
Tabela 21: Resultados obtidos para a escala 1:100.000	78
Tabela 22: Resultados obtidos para a escala 1:250.000	79
Tabela 23: Análise planimétrica cena fine 5 referente ao CE90	80
Tabela 24: Análise altimétrica referente ao LE90	81
Tabela 25: Quantidade e percentual de pontos segundo intervalos de diferenças de altitude, separados segundo PEC 1:100.000	82
Tabela 26: Quantidade e percentual de pontos segundo intervalos de diferenças de altitude, separados segundo PEC 1:250.000	83
Tabela 27: Pontos cotados e tipos de declividade na área de estudo	85
Tabela 28: Uso do solo e valores de diferença altimétrica máxima e mínima	88

## I. INTRODUÇÃO

As imagens de radar têm se mostrado cada vez mais úteis na caracterização remota de aspectos físicos da superfície terrestre nos mais diversos ambientes. A capacidade de operação de imageadores ativos que operam na faixa de microondas, em particular os sensores denominados Sistemas de Abertura Sintética – SAR têm apresentado grandes perspectivas para a Cartografia em áreas com fortes atividades atmosféricas e brumas de fumaça. Esse destaque vai de encontro às limitações provenientes dos sensores óticos sob tais condições meteorológicas.

O Brasil começa a se destacar no uso dessa tecnologia, sendo pioneiras as pesquisas desenvolvidas pelo INPE nessa área e ainda o projeto RADAM (primeiro projeto nacional a trabalhar com imagens de radar). Com o aumento do conhecimento sobre essa ferramenta, novas técnicas têm surgido visando o processamento de imagens radar, geração de modelos digitais de elevação e extração de informações sobre interação com os alvos em superfície. A demanda por conhecimentos sobre as características do relevo e as aplicações desse conhecimento na realização de estudos sobre a dinâmica homem e natureza, tem impulsionado a Geografia a estar integrada com as geotecnologias buscando agregar informações e experiências que possam contribuir para a sua metodologia de pesquisa, sobretudo no que diz respeito ao mapeamento da superfície terrestre. Dessa forma, a apropriação de ferramentas alternativas que possam auxiliar no desenvolvimento da pesquisa geográfica é um grande desafio na atualidade. Nesse contexto, a utilização das geotecnologias já se consagra como uma importante ferramenta para pesquisa científica e elaboração de projetos.

Por outro lado, o uso de sensores multiespectrais, tais como o sistema LANDSAT *Thematic Mapper (TM)*, por meio da coleta de dados a partir regiões do visível ou infravermelho, do espectro eletromagnético, no mapeamento da superfície, já é bastante convencional. Esses sistemas têm se consolidado como importantes ferramentas de apoio à pesquisa geográfica, apresentando tecnologia madura e vantagens na interpretação e identificações de feições da superfície. Isso se explica tendo em vista o vasto conhecimento científico desenvolvido entre os especialistas das ciências da Terra, tendo como base décadas de experimentação e uso, sobretudo em pesquisa aplicada. Concomitantemente, o que se observa na atualidade é

um expressivo avanço do conhecimento sobre os recursos naturais baseado em pesquisas apoiadas em diferentes sistemas sensores, dentre eles os que operam na faixa de microondas, mais especificamente, os sensores radares. Para esses últimos tem-se uma importante justificativa pelo seu desempenho na captação de informações sobre alvos da superfície terrestre, mesmo em condições atmosféricas intensas.

A visão tridimensional da superfície propicia à pesquisa geográfica um panorama espacial de variáveis importantes como a distribuição de fluxos hídricos em bacias hidrográficas, o escoamento superficial em encostas, os processos erosivos, a favorabilidade à ocorrência de queimadas em função da declividade e aspecto, entre outras informações, que cada vez mais utilizam produtos oriundos de Modelos Digitais de Elevação (MDE) ou Modelos Digitais de Terreno (MDT), para interpretar a dinâmica dos recursos naturais.

Tradicionalmente as informações altimétricas são obtidas pelas cartas topográficas geradas por restituição aerofotogramétrica, sendo bastante recente sua obtenção a partir de sensores orbitais, sejam passivos ou ativos. Para a geração de modelos digitais de elevação várias técnicas são consideradas tradicionais, porém as principais metodologias utilizadas são: a estereoscopia e a interferometria. A primeira permite obter informações tridimensionais por meio da observação de um par de imagens obtidas de uma mesma área com ângulos de incidência diferentes. Na segunda, as imagens utilizadas para a representação tridimensional são registradas por duas antenas posicionadas em posições diferenciadas ou por uma mesma antena que registra a cena em tempos distintos. Dessa forma, para obter a informação altimétrica utiliza a diferença de fase entre as medidas de distância para pontos comuns do par de imagens utilizado.

É nesse contexto que o presente estudo propõe uma avaliação das potencialidades das imagens de radar para a pesquisa geográfica, enfatizando a análise dos MDE's obtidos por esses sensores para a geração de mapas derivados. A análise será embasada segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica definido pela CONCAR e contribuirá para avaliar a relação dos erros com aspectos fisiográficos do relevo como declividade, e o tipo de uso e cobertura do solo.

### **1.1 Relevância da Pesquisa**

O Território Nacional ainda apresenta muitas áreas com grande necessidade de representação espacial seja através de mapeamentos cartográficos em escalas de médio e

grande detalhe (1:100.000, 1:50.000), seja através de mapeamentos fisiográficos e temáticos, essenciais na integração de atributos espaciais utilizados em estudos ambientais, ou mesmo, socioeconômicos. A necessidade constante de atualização cartográfica ou mesmo a inexistência de mapeamentos em determinadas áreas do território nacional leva a uma constante busca por metodologias alternativas que superem o pouco investimento despendido pelo Governo Federal através autoridades responsáveis (DSG e IBGE) frente aos enormes custos necessários para a realização de mapeamentos cartográficos através do método aerofotogramétrico tradicional. Na tentativa de suprir essa dificuldade há a tendência cada vez maior dos especialistas, em testar o uso do sensoriamento remoto orbital como uma possível alternativa na disponibilização de mapeamentos cartográficos sistemáticos com qualidade, rapidez, menor tempo e custo financeiro ao usuário final. É comum a geração de MDE's a partir de sensores orbitais passivos como os sensores ASTER, SPOT-5 e IKONOS-2 e a posterior utilização desses modelos como fontes de dados para a disponibilização de mapas altimétricos, por exemplo.

Além da geração de mapas de base como cartas topográficas é essencial disponibilizar mapeamentos que permitam aos usuários nas mais diversas áreas de conhecimento diagnosticar a dinâmica do substrato físico sobre o qual se desenvolvem as atividades humanas. Dessa forma, a geração de mapas fisiográficos como mapas de declividade atesta a relevância do presente estudo. Além disso, o conhecimento sobre a declividade do terreno é de grande interesse para várias atividades humanas como: práticas de conservação do solo, capacidade de uso da terra, planejamento ambiental e manejo de bacias hidrográficas. Acompanhando esse contexto o presente estudo se propõe a investigar a utilização de MDE's gerados a partir de um sensor orbital ativo (RADARSAT 1) na geração de informações sobre aspectos fisiográficos do relevo detalhando as aplicações segundo a legislação cartográfica definida pela CONCAR. A geomorfologia como parte integrante da geografia apresenta-se como uma das grandes beneficiárias desse tipo de ferramenta, pois necessita constantemente realizar mapeamentos e diagnósticos sobre a dinâmica e processos atuantes no relevo. Cabe ressaltar que já é bastante comum a utilização de MDE's gerados a partir da missão espacial SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) no desenvolvimento de estudos e caracterização do relevo principalmente pelo aspecto da gratuidade e qualidade obtida por meio do método interferométrico para a geração dos

modelos tridimensionais. Ao mesmo tempo, cabe considerar que a utilização desses modelos não disponibiliza imagens para os pesquisadores, o que permite justificar a eventual análise dessas imagens como uma possível alternativa para o desenvolvimento dos objetivos propostos por essa dissertação.

A extração de feições planialtimétricas e temáticas sobre imagens ortorretificadas provenientes de sensores radar vem se consolidando em vários trabalhos e projetos de pesquisa em escala mundial. Apesar disso, poucos pesquisadores brasileiros têm se aventurado nessa linha de pesquisa em função, principalmente, da dificuldade em interpretar e processar esse tipo de imagem frente às suas características geométricas. Ciências como a Engenharia Cartográfica, Agronomia, Geologia, Engenharia de Petróleo e Engenharia de Meio Ambiente, entre outras, têm mostrado cada vez mais, interesse pelas vantagens advindas das imagens de radar em suas pesquisas. Esse trabalho pretende contribuir para os estudos e aplicações de imagens de radar na disponibilização de dados complementares relevantes para diversas áreas do conhecimento. Cabe a Geografia reconhecer a importância em avançar na apropriação de novas tecnologias para o desenvolvimento de seus estudos e validar o uso da tecnologia de sensores ativos no interior de suas pesquisas como ferramenta auxiliar.

## **1.2 Questionamentos da Pesquisa**

O desenvolvimento de modelos digitais de elevação e mapas derivados desses modelos já é realidade para as geociências. Sensores óticos como os citados anteriormente apresentam excelente capacidade de representação da superfície e definição de áreas com características homogêneas de relevo, declividade e aspecto. Entretanto, como já mencionado esses sensores não atendem às necessidades de áreas específicas com características ambientais e climáticas mais severas, como a região Norte e Nordeste do Brasil. Para extração de informações nessas áreas várias alternativas são propostas pelos especialistas para solução (ou minimização) dos problemas apresentados, como a utilização de imagens SAR aerotransportadas, planejamento de obtenção das cenas e junção de dois ou mais sensores com capacidade de identificação dos alvos diferenciada, entre outras. Cada uma dessas alternativas apresenta uma desvantagem que ora estaria ligada ao custo,

ora ao tempo demandado pela pesquisa, ora pela inexistência de imagens, etc. Dessa forma, surgiram alguns questionamentos que pautaram essa pesquisa, tais como:

- os modelos digitais de elevação gerados a partir de cenas de radar atendem a que escala cartográfica? Para que tipos de relevo?

- é possível extrair informações sobre características fisiográficas como declividade e hipsometria utilizando imagens de radar com relativa qualidade?

Com base nessas questões foram traçados os objetivos que se seguem para buscar as devidas repostas a esses questionamentos.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo Geral**

Avaliar a aplicabilidade das imagens de radar do sensor RADARSAT 1, para os estudos de cunho geográfico com ênfase na extração de informações do relevo e posterior geração de mapas fisiográficos do relevo, como declividade e hipsometria, oriundos de Modelos Digitais de Elevação (MDE's) em uma área com diferentes tipos de relevo, localizada no entorno da Baía de Guanabara.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

Como objetivos específicos dessa dissertação estão:

- a) Caracterizar o sensoriamento remoto por radar, enfocando o funcionamento, aquisição de imagens, e principais métodos de extração de informações do relevo.
- b) Analisar os Modelos Digitais de Elevação (MDE's) gerados a partir de imagens de radar (Radarsat 1) no entorno da Baía de Guanabara;
- c) Gerar mapa fisiográfico do relevo relativo a declividade e avaliar os erros provenientes do MDE das imagens de radar.
- d) Avaliar a precisão planialtimétrica dos MDE's provenientes das cenas radarsat segundo legislação cartográfica brasileira.

### **1.4 Estrutura do Trabalho**

O capítulo 1 apresentou a estrutura inicial do trabalho a partir de uma discussão introdutória sobre a importância do sensoriamento remoto orbital por radar como uma ferramenta alternativa para o estudo da Geografia. Nesse capítulo também são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos, bem como os questionamentos da pesquisa.

O capítulo 2 faz uma descrição a respeito da área de estudo enfocando suas características gerais e específicas tais como: geomorfologia, geologia, uso do solo, clima e vegetação.

O capítulo 3 resume as principais abordagens teóricas necessárias ao desenvolvimento do estudo. Esse capítulo aborda conceitos como Sensoriamento Remoto Ativo, Estereoscopia e Interferometria, Principais Sensores Microondas e ainda relata as principais características do satélite RADARSAT 1 e os mecanismos de obtenção de informações da superfície.

No capítulo 4 está descrita de forma sucinta toda a metodologia utilizada no desenvolvimento do estudo, bem como os materiais (softwares e imagens) utilizados na pesquisa. Esse capítulo descreve informações de inserção de pontos de controle, filtragem de cenas, geração de modelos e análises da precisão cartográfica segundo o PEC.

Os resultados do estudo são apresentados no capítulo 5 que detalha o desempenho do MDE quanto a planimetria e altimetria, e compara os resultados com o tipo de declividade e uso do solo.

Finalmente nos capítulos 6 e 7 são destacadas sugestões e considerações relevantes ao estudo e as referências bibliográficas.

### **III. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Em 1886, o físico alemão *Heinrich Hertz* conduziu o primeiro experimento envolvendo frequências de microondas, testando experimentalmente a teoria eletromagnética de Maxwell. Nesses testes, Hertz demonstrou que vários objetos, metálicos e não-metálicos,



podiam refletir radiação numa frequência de aproximadamente 200 MHz. A primeira demonstração de um radar como um detector de navios, entretanto, foi feita por *Hülsmeier* em 1903. Ainda que *Hüsmeyer* tivesse obtido, já em 1904, a patente por sua idéia, foi somente a partir de 1922 que ela veio a ser desenvolvida como uma ferramenta apropriada para a detecção de navios e aeronaves, por A. H. Taylor e outros pesquisadores no Laboratório de Pesquisas Marinhas dos Estados Unidos (NRL).

Estes sensores operam na faixa de microondas dividida cientificamente em bandas, designadas por letras. O termo "Radar" é derivado da expressão Inglesa "*Radio Detecting and Ranging*", que significa: detectar e medir distâncias através de ondas de rádio. Inicialmente os radares destinavam-se a fins militares e no decorrer da Segunda Guerra Mundial, a Inglaterra foi equipada com uma eficiente rede de radares. Posteriormente, na década de 50 foi desenvolvido o radar aerotransportado de visada lateral (SLAR – *Side Looking Airborne Radar*), que apresentava melhor resolução espacial em função das antenas serem maiores que as tradicionais e, por ficarem presas na lateral da aeronave. Finalmente, a partir da década de 60, os especialistas em geociências procuraram aplicar os princípios de Radar para fins de levantamento de recursos naturais. A grande vantagem do sensor Radar é que o mesmo atravessa a cobertura de nuvens. Pelo fato de ser um sensor ativo, não depende da luz solar e conseqüentemente pode ser usado à noite, o que diminui substancialmente o período de tempo do aerolevanteamento. Em suma pode-se, resumir suas vantagens conforme os itens abaixo (SILVA, 2002):

- a) um melhor realce da topografia ou maior sensibilidade às variações da morfologia;
- b) sensibilidade à rugosidade superficial do terreno e;
- c) sensibilidade às propriedades dielétricas dos materiais como, por exemplo, o conteúdo de umidade da superfície do solo.

O sensor radar difere-se dos sensores óticos em função dos dados gerados e pela maneira como gera esses dados. Enquanto os sensores óticos utilizam energia refletida da superfície terrestre com comprimentos de onda próximos da visão humana, (no interior de uma ou mais bandas de frequência, significando uma ou mais imagens da superfície), os sensores

radar utilizam a frequência de microondas, imperceptível ao olho humano, gerando um canal de dados e uma imagem em preto e branco que pode posteriormente ser associada com outros dados de radar ou fontes alternativas para gerar imagens coloridas. As imagens de radar se apresentam como fontes de informação complementar para os sensores que operam na faixa eletro-ótica do espectro eletromagnético, pois a natureza da informação obtida é diferenciada. Enquanto as imagens eletro-óticas resultam da interação entre a energia eletromagnética e as características físico-químicas dos alvos na superfície terrestre, as imagens de radar expressam as propriedades dielétricas e geométricas dos mesmos.

### **3.1 Sensoriamento Remoto Ativo Princípios Básicos**

O princípio de funcionamento é diferente dos sensores passivos uma vez que operam transmitindo pequenos pulsos de energia na faixa de microondas em direção ao terreno, registrando o tempo gasto para o sinal chegar ao objeto e retornar, bem como, a potência dos sinais, “ecos”, recebida dos objetos que se encontram no campo de visão do sensor (FREITAS, 1986, p.747). Os radares imageadores compreendem os sistemas de antena rotatória e os de visada lateral (*SLAR – Side Looking Airborne Radar*). A definição de SLAR encontra dois tipos de radar, o de abertura real (*RAR – Real Aperture Radar*) e o de abertura sintética (*SAR – Synthetic Aperture Radar*), sendo este último atualmente mais utilizado (DUTRA *et al* 2003). Essas classificações estão diretamente relacionadas ao tipo de antena que se encontra em uso durante o processo de obtenção das imagens.

#### **3.1.1 Radar de Abertura Real (RAR) e Radar de Abertura Sintética (SAR)**

Deve-se considerar aqui a importância da resolução espacial que apresenta-se diferente dos sistemas óticos por operarem com visadas laterais. Dessa forma, a resolução espacial varia segundo dois aspectos: duração do pulso e ângulo de incidência. Assim pode-se constatar que haverá variações nos tamanhos das células correspondentes a diferentes alcances em razão da dependência do ângulo de incidência e, ainda, quanto menor a duração dos pulsos, melhor será a resolução espacial. Para que o sensor possa identificar alvos é necessário que estejam (em alcance inclinado) a uma distância maior que a metade do comprimento do pulso. Dessa forma segundo DUTRA *et al* (2003), em um radar de abertura real há a impossibilidade física de se aumentar à resolução em azimute, uma vez que isso dependeria

diretamente do tamanho da antena. A vantagem da antena SAR é a solução encontrada para essa questão. Nesse caso o objeto é “visto” pela antena entre os instantes **T1** (quando a antena começa a “enxergar” o objeto), e **T2** (quando a antena deixa de “enxergar” o objeto). O deslocamento da antena entre os instantes **T1** e **T2** (que corresponde à projeção da abertura física da antena no solo) é o comprimento efetivo da abertura sintética (figura 3). Em que:

$$L_s = V(T_2 - T_1)$$

V é a velocidade do portador e  $\Delta T$  é o tempo no qual o objeto permanece no interior do feixe. Mas  $\Delta T$  corresponde à projeção do feixe da antena no terreno/V, isto é:

$$\Delta T = \frac{\phi \cdot R}{V} = \frac{\lambda R}{LV}$$

Em que:

L - Comprimento real da antena

$\lambda$  - Comprimento de onda

$\phi$  - Ângulo de incidência

V - Velocidade do portador

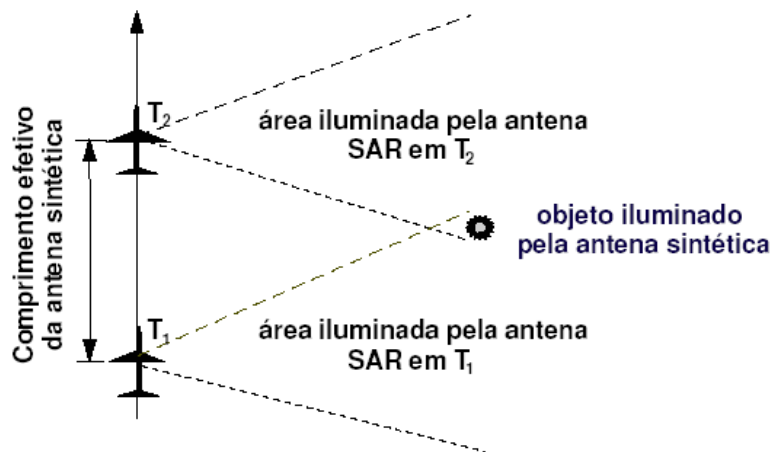
R - Distância entre radar e o alvo

Assim, temos:

$$L_s = \frac{V\lambda R}{VL} = \frac{\lambda R}{L}$$

$$r_a = \phi_s R = \frac{\lambda R}{2L_s} = \frac{\lambda R}{2\lambda R/L} = \frac{L}{2}$$

Em outras palavras, no caso da melhor performance a resolução azimutal SAR é metade do comprimento físico da antena.



**Figura 3: Funcionamento da antena SAR**  
 Fonte: Adaptado de SOARES (2004) - notas de aula

Assim, com o advento da antena sintética (SAR) foi possível diminuir a resolução em azimute sem usar antenas maiores, apenas aproveitando-se do fato de um determinado objeto ser imageado uma série de vezes para sintetizar uma antena de tamanho equivalente à distância percorrida pela plataforma entre o primeiro e último momento de visualização do objeto.

### 3.1.2 Geometria de Aquisição da Imagem Radar

Segundo SILVA (2002) os radares imageadores possuem geometria de visada lateral e registram os dados ao se deslocarem ao longo da sua trajetória. Desta forma, faixas contínuas da superfície são “iluminadas” paralela e unilateralmente à direção de movimento da plataforma e os sinais coletados são gravados para que as imagens sejam geradas. Para um melhor entendimento sobre o funcionamento dessas ferramentas cabe descrever alguns conceitos relevantes. A figura 4 apresenta uma síntese de parâmetros relevantes à geração de imagens de radar.

Parâmetros do Sistema	Parâmetros do Alvo
1. Comprimento de Onda ou Frequência	1. Rugosidade da Superfície
2. Polarização	2. Constante Dielétrica
3. Ângulo de Visada	3. Inclinação e Orientação
4. Direção de Visada	
5. Resolução Espacial	
<b>Interação Direta dos Parâmetros do Sistema e do Alvo</b>	
1. Rugosidade Superficial – definida em termos do comprimento de onda do sistema, da variação das irregularidades de altura da superfície e do ângulo de incidência.	
2. Ângulo de Visada – determina o Ângulo de Incidência	
3. Direção de Visada e Orientação do Alvo – influenciam na intensidade do sinal de retorno do radar.	

**Figura 4: Principais parâmetros dos sensores radar.**

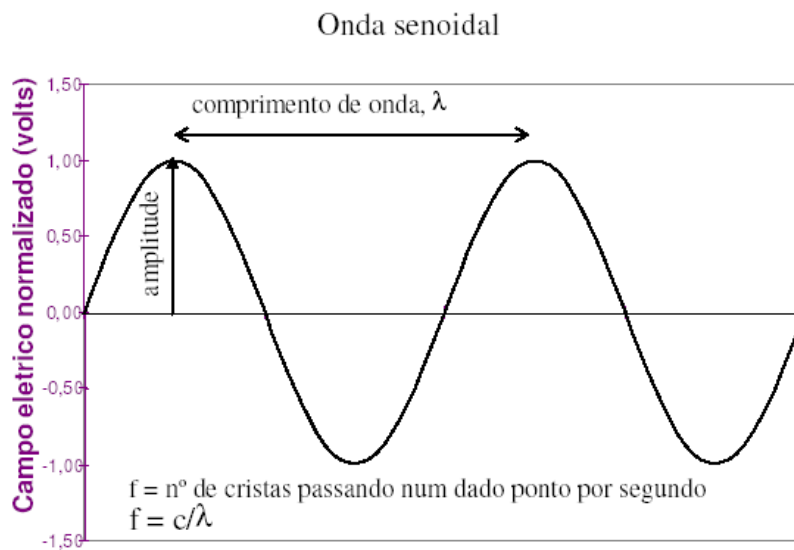
**Fonte: SILVA (2002).**

Os sensores radar trabalham no intervalo do espectro eletromagnético conhecido como microondas como pode ser visto na figura 5, e cobrem um intervalo aproximado entre 0,3 e 300 GHz, estabelecendo comprimentos de onda que vão de 1 mm até 1 m. Esse intervalo engloba duas importantes bandas: “*Ultra High Frequency*” (UHF – 300 a 3000 MHz) e “*Extremely High Frequency*” (EHF – 30 a 300 GHz).

Imagemento Por Radar	
BANDA	P   L   S   C   X   Ku   K   Ka
FREQ. (GHz)	0,3   1,0   2   3,0   4   8   10,0   12,5   18   26   30   40   100,0
$\lambda$ (cm)	100   30,0   10   3   1   0,3

**Figura 5: Intervalo de microondas.**  
**Fonte: VEIGA e ANDRADE (2005).**

Os radares que operam com comprimentos de onda superiores a 2 cm não são significativamente afetados pela camada de nuvens. Na figura 6 é possível visualizar a estrutura de uma onda senoidal e a relação amplitude e comprimento de onda.



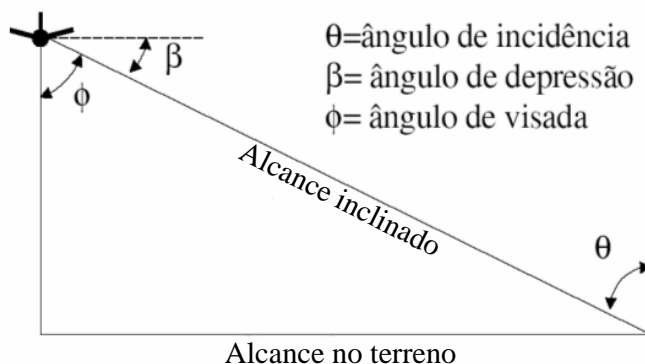
**Figura 6: Comprimento de onda**

A chuva torna-se um fator adverso em comprimentos de onda inferiores a 4 cm. Essas considerações são relevantes quando se deseja mapear áreas de condições pluviométricas intensas, sobretudo em regiões tropicais como a região Norte e litoral do Nordeste brasileiro.

Com relação aos parâmetros do sistema pode-se destacar o comprimento de onda ou freqüência, polarização, ângulo de visada, direção de visada e resolução espacial. O

primeiro, descrito anteriormente, é responsável pela capacidade dos sensores radar de trabalhar dia-e-noite e possuírem boa resposta diante de adversidades atmosféricas.

O ângulo de visada é um complemento do ângulo de depressão que por sua vez está fortemente relacionado com a rugosidade do objeto (figura 7).



**Figura 7: Ângulo de depressão, incidência e visada.**

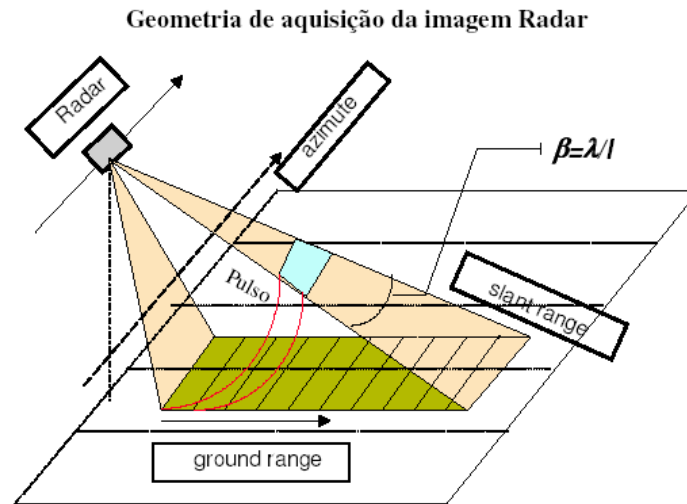
Fonte: SOARES (2004) - notas de aula

O ângulo de visada compreende o ângulo formado pela linha vertical da plataforma e o objeto imageado. A direção de visada é o sentido em que a plataforma imagea a superfície.

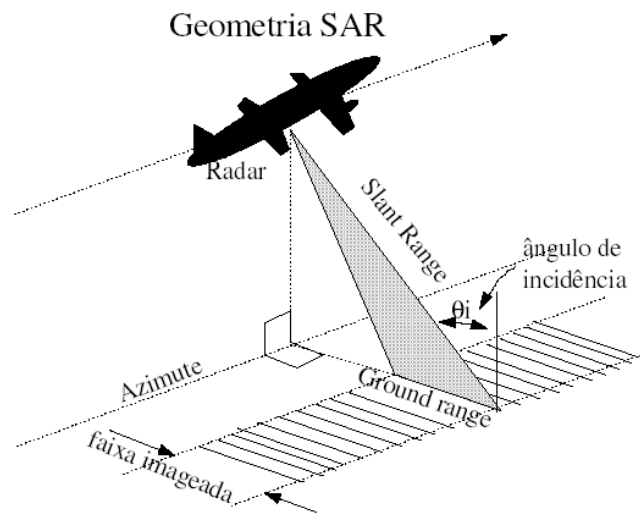
A resolução espacial por sua vez representa a distância mínima em que o sensor é capaz de distinguir dois alvos permitindo que os mesmos possam ser individualizados. A resolução espacial dos sistemas SAR é caracterizada por duas dimensões, paralela e perpendicular à direção de movimento da plataforma, conhecidas como resolução em Range (perpendicular ao movimento da plataforma) e resolução em Azimute (paralela ao movimento da plataforma). Segundo **SILVA** (2002) a resolução em *range* ou alcance é determinada pela largura do pulso transmitido pelo radar, medido como a metade da intensidade do pico de retroespalhamento do alvo. A resolução em *slant range* (alcance inclinado) representa a distância entre o início e o final do pulso, medida em um plano inclinado, que pode ser representada na forma de arcos circulares centralizados ao sensor. A resolução em *slant range* é constante em toda a faixa imageada (do *near range* ao *far range*). Quando projetada para o plano do terreno, esta resolução é chamada de *ground range* (alcance no terreno). A resolução em *ground range*, contudo, varia ao longo da faixa imageada em função do ângulo de incidência: é menor que a resolução em *slant range* para ângulos de

incidência menores (no *near range*) e próxima a esta para ângulos de incidência maiores (no *far range*).

Resolução em azimute de um SAR por sua vez é definida pela metade da dimensão da antena física do sensor e independe da distância em *range* (alcance) ou altitude do sensor. As figuras 8 e 9 detalham as resoluções dos sensores radar.



**Figura 8: Geometria de aquisição das imagens de radar**  
Fonte: Adaptado de SOARES (2004) - notas de aula

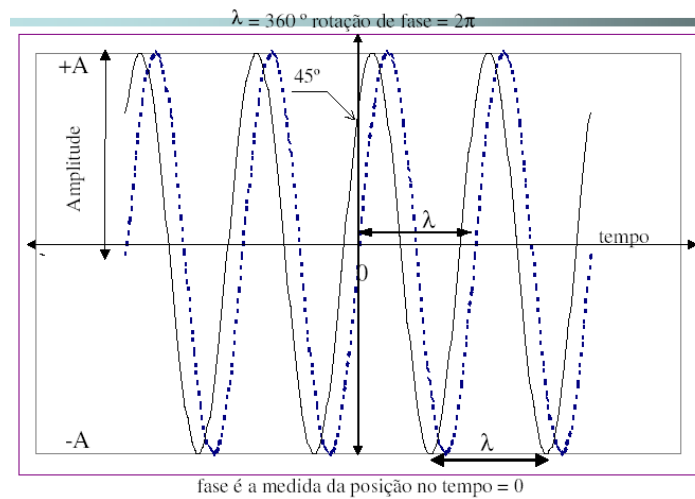


**Figura 9: Geometria de aquisição das imagens de radar e ângulo de incidência**  
Fonte: Adaptado de SOARES (2004) - notas de aula



Finalmente, a polarização traz informações a respeito da orientação dos campos elétrico e magnético de uma onda eletromagnética. Normalmente, se associa a polarização de uma onda eletromagnética à orientação de seu campo elétrico. Os radares podem ter diferentes configurações de polarização. As polarizações lineares HH, VV, HV e VH são as mais comuns, onde a primeira letra indica a polarização do pulso emitido (H – horizontal e V – vertical) e a segunda a polarização do pulso captado pelo sensor (eco). Para a compreensão da polarização é importante ressaltar que a fase e o comprimento de onda estão intimamente associados a esse fenômeno que pode ser horizontal ou vertical (figura 10).

### Fase e comprimento de onda



**Figura 10: Fase e comprimento de onda.**

Com relação aos parâmetros dos alvos é importante destacar a rugosidade dos alvos, a constante dielétrica e a orientação e inclinação dos mesmos. Segundo **SILVA** (2002) a rugosidade de um alvo não é uma propriedade intrínseca deste, mas depende das irregularidades de sua superfície em relação ao comprimento de onda ( $L$ ) e ao ângulo de incidência da radiação que o ilumina ( $\theta$ ). No caso em que as dimensões das irregularidades superficiais são comparáveis ao comprimento de onda do sinal do radar, tem-se a ocorrência do chamado espalhamento Rayleigh definido por:

$$\beta(\theta, \lambda) = \frac{2\pi^2}{H\lambda^4} [n(\lambda) - 1]^2 (1 + \cos^2 \theta)$$

Em que:

- comprimento de onda ( $\lambda$ )
- ângulo de incidência da radiação que o ilumina ( $\theta$ ).

Onde  $H$  é número de moléculas por unidade de volume e  $n(\lambda)$  é o índice de refração das moléculas. Dessa forma, uma superfície é considerada rugosa se sua estrutura possui dimensões que são comparáveis ao comprimento de onda do pulso. Portanto, deve ser considerado o comprimento de onda da radiação incidente, pois uma superfície com irregularidades de poucos centímetros pode ser rugosa na banda C ( $\lambda \sim 5.6$  cm) e lisa na banda P ( $\lambda \sim 75$  cm).

Segundo **SILVA** (2002) através do efeito de absorção e propagação das ondas eletromagnéticas, a constante dielétrica influencia fortemente na interação da radiação eletromagnética com a superfície do terreno. Na região das microondas, a maioria dos materiais naturais tem constante dielétrica entre 3 e 8 quando secos; a água tem a constante dielétrica em torno de 80. Assim, o sinal de retorno do radar é fortemente influenciado pela quantidade de água no solo ou vegetação. Muita umidade gera um alto valor para a constante dielétrica e conseqüentemente uma alta refletividade do radar gerando um alto sinal de retorno para a imagem. Dessa forma é possível concluir que a penetração do sinal na superfície é inversamente proporcional ao conteúdo de umidade.

Finalmente, a inclinação e orientação dos objetos afetam a resposta dos sinais de microondas nas imagens de radar uma vez que a característica do objeto define a interação do mesmo com o sinal do radar. Essa interação gera uma resposta característica para o sensor que por sua vez pode representar em alguns casos distorções na imagem gerada.

### **3.1.3 Características das Imagens de Radar**

Segundo **FREEMAN** (2005) uma imagem radar é construída digitalmente pela seqüência de uma quantidade de pontos ou *pixels* como os demais tipos de imagens de satélites. Cada *pixel* na imagem radar representa a intensidade da reflexão, o pulso de energia para a área correspondente no solo: áreas mais escuras são superfícies de retorno ou reflexão de fraca intensidade do sinal radar, ou seja, que uma proporção menor ou mínima da energia do pulso radar foi refletida pelo alvo de volta para a antena do instrumento radar; áreas mais brilhantes correspondem a alvos para os quais a reflexão de energia para a antena do

instrumento radar foi maior e mais intensa. A reflexão do sinal de radar para um alvo ou uma área de interesse num comprimento de onda específico varia bastante em função de uma quantidade de condições físicas: tamanho e geometria do alvo ou refletor, umidade do alvo, polarização do sinal emitido e ângulos de incidência do sinal emitido. Assim o conceito de liso ou rugoso tem relação direta com o comprimento de onda da radiação incidente sobre a superfície.

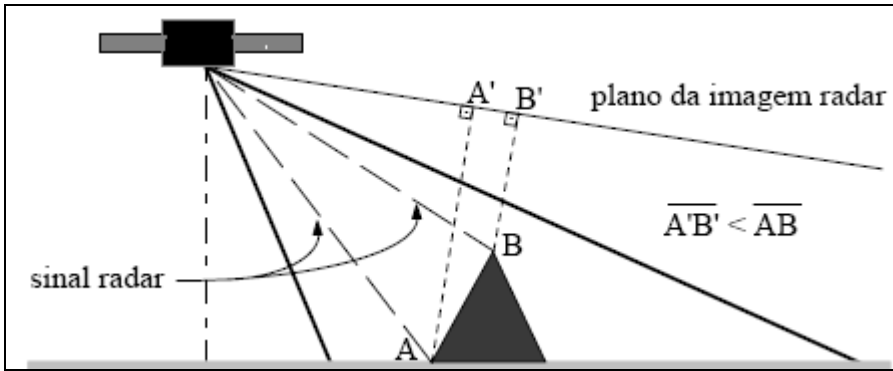
Para se interpretar uma imagem de radar deve-se tomar uma série de cuidados, pois esse tipo de imagem apresenta diferenças significativas em função dos diferentes sensores e respectivas propriedades físicas, se comparadas às imagens óticas (tabela 1).

**Tabela 1: Diferenças gerais entre sensores óticos e radares**

<b>Sensor Radar</b>	<b>Sensor Ótico</b>
"Enxerga" através das nuvens	Não enxerga através das nuvens
Iluminação / energia própria (ativo)	Iluminação / energia solar (passivo)
Microondas podem penetrar na camada de vegetação florestal ou solo.	Vê diferenças de cores do topo da vegetação florestal ou outra que esteja em cobertura do solo agrícola.

**Fonte: Adaptado de FREEMAN (2005).**

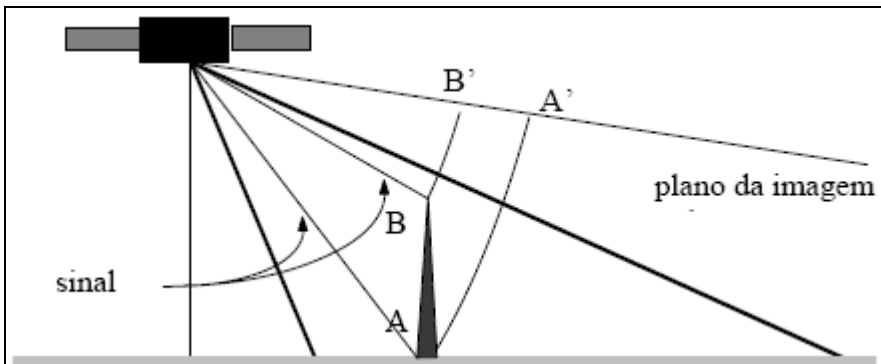
As imagens de radar apresentam diferenças quanto à geometria como, por exemplo, o encurtamento (*foreshortening*), inversão de relevo (*layover*) e sombreamento. Segundo **FERREIRA et al** (2003) o encurtamento ocorre em função de o sensor radar ser do tipo visada lateral, pois as frentes de onda chegam antes do que deveriam chegar aos topos dos objetos, acarretando deslocamento do topo das feições mais altas em direção a antena (figura 11).



**Figura 11: Característica de encurtamento na geração de imagens de radar.**

**Fonte:** Adaptado de VEIGA e ANDRADE (2005).

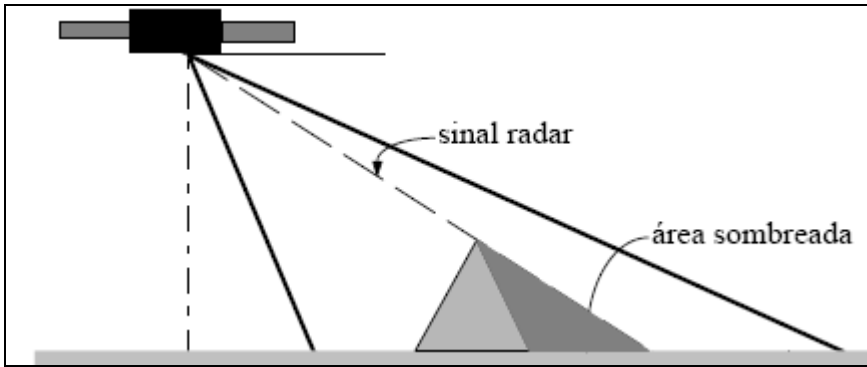
A inversão do relevo ocorre quando a inclinação do objeto imageado é maior que o ângulo de incidência. As frentes de onda chegam aos topos antes de suas bases gerando um efeito de achatamento das elevações nas imagens (figura 12).



**Figura 12: Característica de inversão de relevo na geração de imagens de radar.**

**Fonte:** Adaptado de VEIGA e ANDRADE (2005).

Finalmente o efeito de sobreamento (figura 13) apresenta-se devido à possibilidade de encostas elevadas e íngremes não conseguirem ser atingidas pelas microondas gerando um aspecto escuro na imagem ocasionando a perda de informações radiométricas sobre a imagem (FERREIRA *et al*, 2003).



**Figura 13:** Característica de sombreamento de relevo na geração de imagens de radar.

**Fonte:** Adaptado de VEIGA e ANDRADE (2005).

Além disso, cabe enfatizar a importância de se observar alguns parâmetros relativos à superfície, que dificultam a análise da imagem ao se extrair determinadas informações. Segundo **VEIGA** e **ANDRADE** (2005) os sensores radar normalmente utilizam ondas monocromáticas na iluminação de seus alvos. As ondas refletidas por dois alvos próximos um do outro são altamente coerentes, de tal forma que a interferência provocada pelas ondas refletidas faz com que a imagem gerada por este tipo de sensor possa, algumas vezes, causar cancelamento do sinal recebido desses dois alvos. Por esta razão as imagens radar apresentam aparência granulada ("*speckle*"). Alguns métodos foram desenvolvidos para reduzir sua influência na segmentação e classificação das imagens SAR, tais como o processamento de múltiplas visadas e a filtragem espacial. Esse último é comum ao processamento de imagens óticas, porém, são necessários algoritmos especiais para as imagens de radar, uma vez que as distribuições estatísticas das classes envolvidas são diferentes. A aplicação de filtros desenvolvidos especificamente para imagens radar apresenta-se como uma prática mais comum cujo objetivo principal é remover o espalhamento causado pelo "*speckle*" sem, contudo, remover o espalhamento natural ou textura da imagem. Devido à complexidade do problema, não há um modelo ótimo de filtragem, cabendo ao analista a escolha do método que ofereça os melhores resultados para a sua aplicação específica.

## 3.2 Metodologias para Geração de Modelos Digitais de Elevação

### 3.2.1 Modelagem da Superfície

O MDE é uma representação digital de uma seção da superfície, dada em sua maior parte por uma matriz de pixels com coordenadas planimétricas (x,y) e um valor de intensidade do pixel, correspondente à elevação.

A representação tridimensional das formas de relevo é um dos grandes desafios cartográficos, pois não estamos acostumados a ver o relevo verticalmente, por isso a representação do relevo foi o último procedimento desenvolvido pela Cartografia no final da década de 60 (RAISZ, 1969, p.97). Isso acaba se refletindo na ciência geográfica, pois ambas estão estritamente ligadas. É possível representar o relevo de forma qualitativa ou quantitativa. A primeira está centrada no aspecto artístico da representação visual podendo-se citar a representação por cores hipsométricas, hachuras e sombreamento. No caso da representação quantitativa seu emprego tem sido muito mais adotado em função do seu aspecto científico centrado na precisão, como exemplos as curvas de nível, pontos cotados, perfis e traços perspectivos. Nesse contexto vemos ainda algumas feições pontuais como pontos trigonométricos, referências de nível, pontos astronômicos, pontos barométricos e outras feições não pontuais como blocos diagramas, curvas de nível e ainda os Modelos Digitais de elevação (MDE).

FELGUEIRAS (1987) dá uma outra visão a modelagem do relevo. Ele conceitua um Modelo Numérico de Terreno (MNT) como uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre. Dados de relevo, informação geológicas, levantamentos de profundidades do mar ou de um rio, informações meteorológicas, dados geofísicos e geoquímicos são exemplos típicos de fenômenos representados por um MNT.

Não há um consenso definido entre os especialistas a respeito da conceituação e diferenciação entre os principais termos: MDE e MDT. Nesse caso o Modelo Digital do Terreno (MDT), pode ser entendido como a representação espacial do terreno que considera apenas a representação da superfície sem os elementos que estão sobre a mesma. Por outro lado, o termo MDE é comumente utilizado quando se leva em conta no processo de modelagem, todos os elementos presentes sobre a superfície topográfica como, por exemplo: edificações, florestas entre outros. Cada elemento ou “*pixel*” dessa eventual

matriz armazena a elevação média do terreno ou outra informação. Genericamente, ao se construir um MDE realiza-se a restituição das curvas de nível, pontos cotados e linhas de quebra no modelo tridimensional do espaço (cada ponto do espaço associa-se a um valor que pode ser uma altitude (cota) e/ou qualquer outra grandeza), obtendo-se uma Rede Irregular de Triângulos (RIT ou TIN na terminologia anglo-saxónica), com a descrição completa da modulação do terreno. Os MDE's geram informações espaciais de grande importância na análise de dados tridimensionais, modelando e analisando uma superfície. Dentre as funções atribuídas aos MDE's estão: geração de mapas de isolinhas, geração de mapas de isopletas, estimativa de volume em problemas de corte/aterro, geração de mapas de declividade, convexidade, concavidade e aspecto, superposição de MDE's com imagens de satélite, geração de ortofotos digitais, extração automática das formas do relevo a partir dos MDE's, geração de perfis. A Geografia faz uso, por exemplo, dos mapas de isolinhas em que a partir do MDE obtém-se um conjunto de linhas utilizadas para ilustrar e avaliar um conjunto de dados retratando a variação espacial do fenômeno. Os mapas de declividade, aspecto e hipsometria auxiliam na interpretação fisiográfica do terreno e são úteis em vários temas de cunho geográfico como o estudo de estimativa de erosão e escorregamento de encostas. A utilização de *Modelos Digitais de Elevação* (MDE) através de algoritmos de interpolação permite a obtenção de informações relativas a declividade, orientação de vertentes, hipsometria e formas do relevo através de modelos tridimensionais da terreno.

Especificamente podemos definir os modelos digitais por meio de um grande número de pontos plani-altimétricos que, normalmente, estão relacionados na forma de uma grade regular ou numa estrutura *Triangular Irregular Network* (TIN). Além dos atributos locais da feição, ela envolve um terceiro atributo denominado de variável z, a qual representa a variação da superfície registrada num plano cartesiano. Como exemplo mais comum pode-se citar a elevação, porém outros tipos de dados podem ter a mesma característica tais como, precipitação, temperatura, concentração de determinado elemento no solo, etc.

Segundo **FELGUEIRAS** (1997) citado por **FERNANDES** (2004) os dados MDE podem ter basicamente cinco representações computacionais:

**Pontos 3D:** São aqueles pontos com atributos espaciais em um plano  $xy$  e mais o valor do fenômeno estudado, representado no eixo  $z$ . Esse tipo de representação de dados é usado para levantamentos em campos pontuais e também para definirem-se pontos de máximos e de mínimos em cartas topográficas;

**Isolinhas:** São linhas formadas por um conjunto ordenado de pontos bidimensionais de um plano  $xy$ , definindo assim a geometria de tais linhas e mais um valor relacionado ao fenômeno estudado. Esse tipo de representação de dados é usado para a representação de curvas de nível (relevo), curvas isotermas (temperatura), curvas isóbaras (pressão), entre outras;

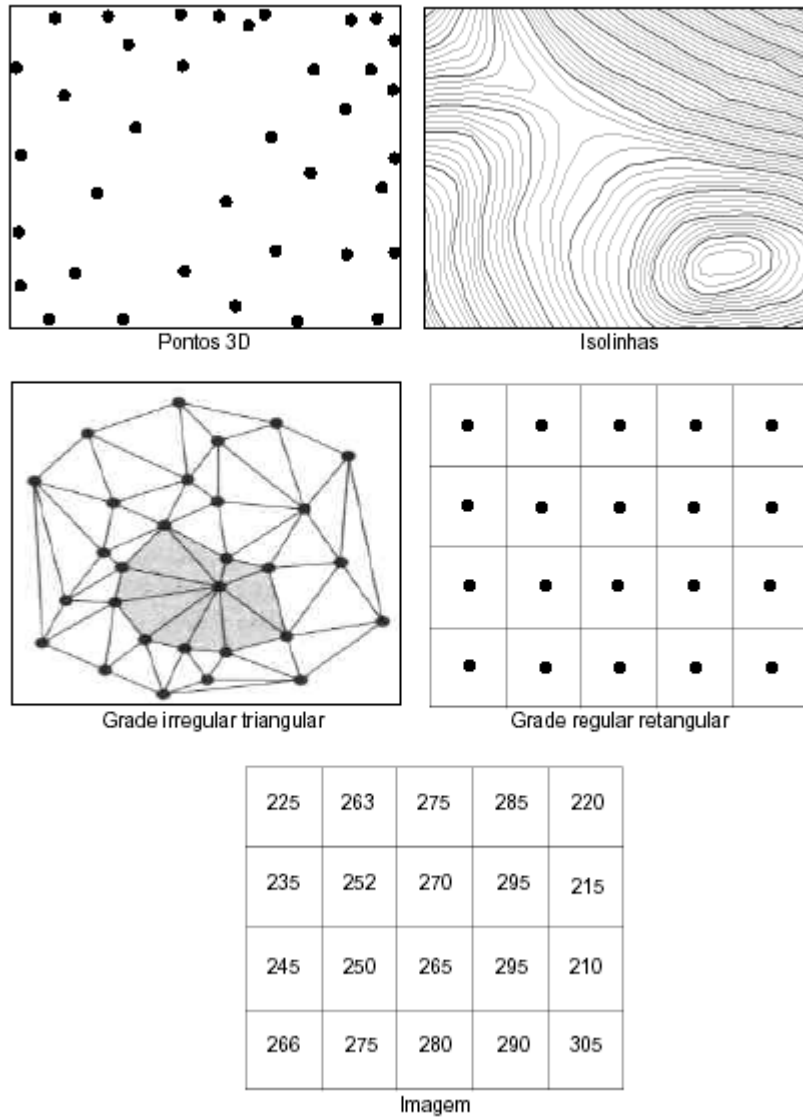
**Grades Irregulares Triangulares:** São estruturas poliédricas cujos elementos básicos são triângulos. Os vértices dos triângulos pertencem ao conjunto de amostras do modelo;

**Grades Regulares Retangulares:** São estruturas matriciais que contém pontos 3D regularmente espaçados no plano  $xy$ . Os atributos mais importantes desse tipo de grades são o número de linhas, colunas, resolução horizontal e vertical, e retângulo envolvente;

**Imagens:** Possui estrutura da grade regular onde, atribui-se um valor limitado que depende da resolução espectral usada para representar a imagem.

A figura 14 resume as representações apresentadas acima.





**Figura 14: Representações computacionais para MDE.**

**Fonte: FERNANDES (2004)**

### 3.2.2 Estereoscopia e Interferometria

Outro ponto importante sobre o sensoriamento remoto por radar diz respeito à forma de obtenção de informações tridimensionais e as técnicas mais usuais. Duas técnicas fundamentais são utilizadas para a geração de MDE's a partir de dados SAR. São elas: a estereoscopia e a interferometria. (TOUTIN e GRAY, 2000).

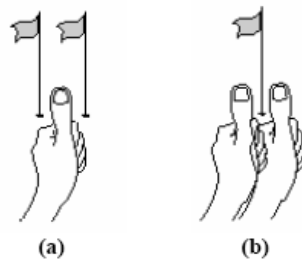
*“O método estereoscópico semelhante à fotogrametria (nesse caso diz-se radargramétrico), tornando necessário que as imagens sejam adquiridas do mesmo*

lado do alvo, uma vez que a paralaxe impossibilita um bom resultado em pares com lados opostos...” (FERREIRA et al, 2003, p.4).

“O método interferométrico que utiliza duas imagens da mesma área tomadas sob ângulos diferentes. Um processamento complexo subtrai os sinais, gerando um interferograma, ou seja, um mapa de interferências construtivas e destrutivas. Conhecendo-se a estrutura do sinal e os ângulos de incidência, pode-se extrair informação altimétrica dos interferogramas.” (FERREIRA et al, 2003, p.4).

Ambas as técnicas têm sido fortemente aplicadas em estudos de formas de relevo e para a avaliação de modelos de terreno voltados a geração de mapeamentos cartográficos. A estereoscopia ainda é a técnica mais utilizada pela sua semelhança com os processos tradicionais de extração de informação a partir de fotografias aéreas. A interferometria por sua vez, apresenta-se em fase de adaptação e conhecimento por ser considerada uma técnica mais recente e com grandes potenciais a serem descobertos.

A estereoscopia consiste em registrar duas vistas de uma cena, com a câmara nas posições correspondentes ao olho esquerdo e direito. É um processo mental que permite ao observador desenvolver a percepção da profundidade e no caso das imagens de radar a reconstrução de modelos tridimensionais do relevo. A figura 15 demonstra um exemplo do processo estereoscópico.



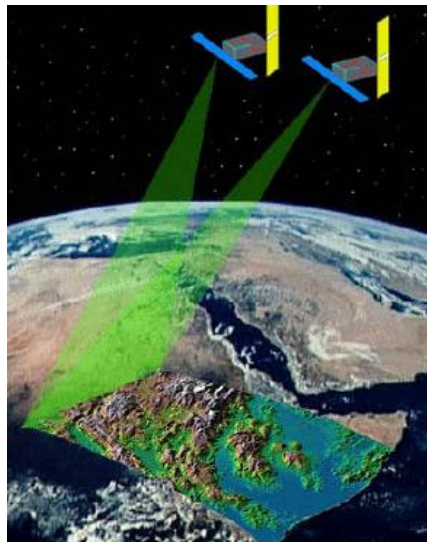
**Figura 15 : a) Os olhos estão convergindo para o polegar e a bandeirinha é vista como dupla imagem. b) Os olhos agora estão convergindo para a bandeirinha e o polegar é visto como dupla imagem.**

**Fonte: STEREOGRAPHICS (1997).**

É possível extrair modelos tridimensionais do relevo a partir de pares estereoscópicos do satélite Radarsat 1. A extração de MDE's a partir de imagens de radar é também conhecida como radargrametria e apresenta-se como um procedimento similar ao da fotogrametria convencional. Nesse caso duas cenas de uma mesma área são adquiridas sob diferentes

ângulos de incidência permitindo que pontos presentes numa mesma posição do terreno sejam modelados e utilizados para derivar a elevação do MDE.

Os sistemas radar apresentam a capacidade de registrar em simultâneo a fase e a intensidade, permitindo não só determinar algumas características dos objetos através da intensidade, como a distância entre o sensor e o objeto. O cálculo da diferença de fase, a partir de duas imagens obtidas com geometrias de aquisição diferentes, para um elemento sobre a superfície terrestre, permite a determinação automática da altitude. Esta técnica designa-se por interferometria e a sua utilização em imagens Radar de Abertura Sintética (SAR) toma a designação de Interferometria Radar (*InSAR*). O processo de interferometria ocorre quando um mesmo satélite adquire duas imagens defasadas de poucos dias (figura 16), ou ainda, quando dois satélites observam a mesma superfície terrestre, sendo essa última opção menos utilizada. O exemplo mais significativo do uso desse tipo de tecnologia é a Missão topográfica de Radar do *Shuttle* (*Shuttle Radar Topography Mission*) ocorrida em fevereiro de 2000 e que obteve informações de elevação global de grande parte da superfície terrestre, utilizando interferometria dita de “passagem única”, isto é pares de imagens adquiridas ao mesmo tempo usando duas antenas de radar fisicamente separadas para criar uma linha de referência fixa de 60 metros.



**Figura 16: Técnica interferométrica**

### 3.2.3 Geração de Modelos Digitais de Elevação e as pesquisas relacionadas ao tipo de declividade e uso do solo

A utilização de imagens de radar visando atender as demandas da Cartografia constitui uma busca constante. Os estudos relevantes podem ser encontrados em **COELHO** (2002) e **OLIVEIRA** (2005). **COELHO** (2002) analisou imagens Radarsat 1 modo fine para aplicação cartográfica segundo parâmetros estabelecidos pelo fornecedor das imagens, como tipo de resolução, filtragem, detalhamento do modelo, entre outros aspectos. Após os resultados obtidos foi possível concluir que as imagens obtiveram melhor desempenho segundo os seguintes parâmetros: espaçamento da grade 12.5 m, detalhamento médio e utilização do filtro *frost*.

**OLIVEIRA** (2005) analisou imagens de radar modo *Standart* e modo *fine* para verificação do PEC. Segundo o autor as informações altimétricas fornecidas pelo MDE's oriundos do RADARSAT-1 modos Fine e Standard atenderam apenas aos requerimentos do PEC para cartas 1:100.000 classe B e C, mas estes resultados foram afetados por uma pobre distribuição em área e pequena quantidade de GCPs<sup>1</sup> e ICPs<sup>2</sup>, respectivamente, disponíveis para a geração e avaliação da precisão dos DEMs. Em síntese, esse trabalho é fruto de uma parceria entre o INPE através da Divisão de Sensoriamento Remoto representado pelo Dr. W.R. Paradella, Diretoria de Serviços Geográficos do Exército DSG, com recursos da FAPESP e executado através do Programa de Inovação Tecnológica em Empresas (projeto PIPE - 99/06271-7) da Geoambiente. Essa pesquisa promoveu a ampliação dos conhecimentos sobre fundamentos de SAR, radargrametria e geração de MDE's.

Os estudos desenvolvidos por **FERREIRA et al** (2005) mostraram que as imagens demonstram um grande potencial de aplicabilidade voltada ao mapeamento na Região Amazônica. O desvio padrão das amostras utilizadas na análise é de 17,86 m possibilitando disponibilizar um produto cartográfico para a escala 1:100.000 em 25 metros. Segundo os autores em tese o erro adquirido situa-se próximo aos 40 metros, o que torna o produto

---

<sup>1</sup> GCP: Ground Control Point - Pontos de controle inseridos nas imagens RADARSAT modo Fine para a geração do MDE.

<sup>2</sup> ICP: Independent Check Points – Pontos de verificação que dão suporte a avaliação do produto.

cartográfico adquirido, em uma primeira instância, compatível com a escala 1:250.000. O estudo sugere um melhoramento na disposição dos pontos de controle e uma maior distribuição dos mesmos sobre a área de estudo.

Numa importante pesquisa internacional apresentada por **BALIK et al** (2000) o autor descreve os resultados obtidos para geração de MDE a partir de imagens Radarsat modo fine (f1 e f5) em uma região do Peru. Dentre as principais conclusões do estudo pode-se ressaltar:

- O processo de geração do modelo é extremamente dificultado pelas características presentes nas imagens SAR (tais como ruídos);
- as imagens SAR respondem de forma muito ruim em áreas de declividade elevada;
- as distorções geométricas podem causar grandes erros no momento da correlação das imagens.

As pesquisas pioneiras desenvolvidas por **TOUTIN** (1999) mostram os primeiros resultados de desempenho para imagens Radarsat. Segundo o autor as imagens SAR são sensíveis às variações de macro e micro topografia. DEM são dependentes de descritores de relevo, e acurácia em elevação é dependente da declividade e da geometria em estéreo utilizada. A tabela 2 e a figura 17 mostram os resultados obtidos após análises de pares estereoscópicos Radarsat 1.

**Tabela 2: Acurácias de MDE's do RADARSAT-1 de relevos planos, moderados e montanhosos**

Estéreo-par (mesmo lado)	Acurácia relevo plano-LE90	Acurácia relevo suave-LE90	Acurácia DEM inteiro-LE90	Acurácia relevo montanhoso-LE90
F2-F4 Descendente	24 metros	27 metros	33 metros	-
F5-F1 Ascendente	12 metros	36 metros	25 metros	-
S4-S7 Descendente	24 metros	46 metros	45 metros	-
F2-F4 Ascendente	-	-	-	45 metros
F1-F5 Descendente	-	-	-	45 metros

Fonte: TOUTIN (1999).

Pares estereoscópicos	Razão de Paralaxe Vertical	Tipo de Relevo	LE90 90% Confiança	Tendência	Valor Mínimo	Valor Máximo
F5-F1 Mesmo lado	0.31	Baixo	12 m	-13.3 m	-33.2 m	8.4 m
		Moderado	36 m	4.2 m	-39.6 m	95.0 m
		MDE inteiro	25 m	-1.1 m	-89.1 m	95.0 m
S7-H6 Mesmo lado	0.31	Baixo	44 m	-18.9 m	-89.4 m	57.5 m
		Moderado	58 m	-77.1 m	-153.4 m	-3.0 m
		MDE inteiro	85 m	-55.9 m	-270.0 m	142.1 m
S4-S7	0.39	Baixo	24 m	25.8 m	-16.1 m	58.6 m

**Figura 17: Análise de imagens SAR Radarsat 1 segundo tipos de relevo.**  
**Fonte: Adaptado de TOUTIN e GRAY (2000).**

O mapa de declividade é uma importante informação para análise dos MDE's obtidos por imagens SAR. Pode ser definido como um tipo de mapa temático elaborado a partir da análise das curvas de nível tendo como principal função representar de forma contínua a declividade do terreno. Em muitos casos, é a topografia do terreno, especialmente a declividade, o principal condicionador de sua capacidade de uso. Em função disto, através de manipulação numérica do MDE é comum obter-se esse tipo de informação sobre o relevo. Esse tipo de mapa tem sido considerado como um documento básico e primordial para ações de planejamento ambiental, além de significar uma considerável ferramenta em estudos de estrutura agrária, ou mesmo da própria geomorfologia. Um exemplo prático e comum é a determinação do escoamento superficial e sub-superficial em uma bacia fluvial condicionada à declividade do terreno. Dessa forma a declividade é responsável, em boa parte, pela velocidade de escoamento superficial nessas unidades ambientais, controlando o tempo de duração que a água das precipitações leva para atingir os canais fluviais. Vários estudos mostram a utilização de mapas de declividade confeccionados a partir de um MDE e um plano de informação de um Sistema de Informações Geográficas, voltados para

estudos de deslizamentos. Segundo **McCULLAGH** *et al* (1985) e **PIKE** (1988) é possível extrair informações do MDE que propiciem a produção de mapas de risco utilizados na previsão de deslizamentos.

Com relação a hipsometria há uma preocupação em estudar as interrelações existentes em determinada unidade espacial no tocante à sua distribuição em relação às cotas altimétricas, indicando a proporção ocupada em determinada área da superfície terrestre em relação às variações de altitude a partir de determinada linha de base. Dessa forma, os mapas hipsométricos são importantes ferramentas para os estudos geográficos, pois possibilitam estabelecer possíveis dinâmicas do relevo interferindo em tomadas de decisão por pesquisadores e órgãos públicos. Essa característica do relevo permite que se acompanhe o desenvolvimento de processos erosivos por meio da configuração de escoamentos superficiais em função da realidade topográfica apresentada. Também através da hipsometria é possível detectar o índice de dissecação do relevo.

De uma forma geral os modelos digitais são utilizados para se obter informações da superfície em estudo sem ter que trabalhar diretamente com a superfície real (**FELGUEIRAS**,1987). Segundo **MAIDMENT** e **DJOKIC** (2000) por meio de um MDE é possível obter-se ainda a rede de drenagem de uma região, desníveis, inclinações, comprimento de canais, geometria, direções de fluxo, e a delimitação das bacias hidrográficas, entre outros parâmetros.

Com relação ao uso do solo há na bibliografia vários exemplos relevantes e estudos que destacam as imagens SAR e seus benefícios. Segundo **PARADELLA** *et al* (2001) a interpretação baseada somente no radar apresenta algumas limitações uma vez que a informação mais evidente é a estrutural, enquanto que a discriminação de litologias nem sempre é tarefa simples. O parâmetro chave que controla a resposta de unidades litológicas no SAR é a expressão superficial (tonalidade, textura, contexto, etc.) dada pela topografia (variações de mergulho) e rugosidade superficial (variação na escala do comprimento de onda do SAR).

**GONÇALVES** e **SOUZA FILHO** (2005) pesquisaram o uso da tecnologia de sensoriamento remoto e SIG aliadas a informações de campo, mostrando uma combinação poderosa para a identificação e compartimentação da paisagem e conseqüente

hierarquização dos diferentes índices de sensibilidade ambiental a derramamento de óleo em ambientes costeiros amazônicos. O estudo destaca a atuação das imagens SAR, dada sua possibilidade de imageamento independente das condições atmosféricas, o que é especialmente importante nas regiões tropicais úmidas Amazônicas, onde a utilização de dados obtidos com sensores óticos sofre grandes restrições devido a grande cobertura de nuvens na região.

Segundo **SIMÕES** (1999) a pesquisa desenvolvida mostra que a complexidade de fatores que determinam a resposta do sinal de radar em áreas agrícolas, dificultam a utilização de dados de radares orbitais em agricultura. Embora a interpretação e compreensão dos dados sejam difíceis, a coleta e o acompanhamento dos principais fatores determinantes do coeficiente de retroespalhamento possibilitam a aplicação deste tipo de dado em estudos e levantamentos de áreas agrícolas.

**SILVA** (2002) por sua vez realiza uma pesquisa buscando avaliar a capacidade de interpretação das imagens SAR segundo diferentes parâmetros do sistema sensor e dos alvos para a extração das informações sobre uso do solo. Segundo a autora a análise dos resultados mostrou que, de uma forma geral, o tom e a textura foram elementos particularmente importantes nas imagens devido à associação destes com a rugosidade da superfície e a constante dielétrica, parâmetros dos alvos que influenciam diretamente no retroespalhamento do sinal do radar. Quanto aos parâmetros do sensor considerados, comprovou-se a influência destes na intensidade do sinal de retorno do radar e que os mesmos devem ser, necessariamente, levados em conta na interpretação de imagens. O azimute de visada, sobretudo, mostrou-se essencial na análise do efeito cardinal, onde se observou que o posicionamento dos alvos na direção perpendicular à iluminação do sensor favoreceu o realce das feições ou, do contrário, a atenuação destas.

### **3.3 Principais Sensores Microondas**

A verificação de um número cada vez maior missões espaciais com radares imageadores orbitais é comum no cenário mundial. Com o advento do ERS-1 em 1991 há um fornecimento contínuo de dados oriundos de sensores ativos. Segundo **PARADELLA** e **SILVA** (2005), o Brasil têm experiência reconhecida em aplicações com radares aerotransportados (Projeto Radam e RadamBrasil, Sarex, Intera, Pro radar, SIR – C/X – SAR) e busca consolidar experiências com sensores orbitais (JERS, Radarsat 1, ADRO,



Globesar). Novos projetos vêm sendo abraçados como o Radarsat 2 (teste com suas imagens para avaliação quanto a precisão planimétrica/altimétrica) e o Mapsar (em parceria com a DLR – Agência Aeroespacial da Alemanha, objetivando a viabilidade do lançamento), ambos com previsão para lançamento em 2008. Atualmente cresce o interesse pelos sensores radar tendo em vista o número de missões a serem lançadas e ainda as vantagens anteriormente descritas. A tabela 3 mostra uma síntese dos principais sistemas sensores de radar.

**Tabela 3: Características gerais dos sensores radar**

SATÉLITE	País	Lançamento	Agência/ Oper.	Previsão	Altitude	Inclinação	Ciclo
ALMAZ 1	Rússia	31.03.91	NPO Mashinost royenia	2 anos	275 km	72,7°	s.d.
ALOS	Japão	2007	NASDA	3-5 anos	692 km	98,16°	45 dias
AQUA	EUA	04.05.02	NASA	6 anos	705 km	98,2°	1 a 2 dias
ENVISAT	Países da ESA	01.03.02	ESA	5 anos	796 km	98,5°	35 dias
ERS-1	Países da ESA	17.07.91	ESA	2-3 anos	785 km	98,5°	3/ 35/ 176
ERS-2	Países da ESA	21.04.95	ESA	2-3 anos	785 km	98,5°	3/ 35/ 176
IRS-1A	Índia	17/03/88	ISRO	3 anos	617 km	97,87°	22 dias
IRS-1B	Índia	29.08.91	ISRO	7 anos	617 km	97,87°	22 dias
IRS-P2	Índia	15.10.94	ISRO	6 anos	817 km	98,68°	24 dias
IRS-P3	Índia	21.03.96	ISRO	1 ano	817 km	98,68°	5 dias
IRS-1D	Índia	29.09.97	ISRO	3 anos	817 km	98,68°	5 dias
IRS-P6 RESOURCE SAT	Índia	17.10.03	ISRO	s.d.	817 km	98,68°	5 dias
JERS	Japão	11.02.92	NASDA	2 anos	570 km	97,7°	44 dias
MAPSAR	Brasil/ Alemanha	2008	INPE/AA A	s.d	s.d	s.d	7 dias
RADARSAT -1	Canadá	04.11.95	CSA	5 anos	798 km	98,6°	24 dias
RADARSAT -2	Canadá	Previsto para 2008	CSA	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.
RESURS-01- 1	Rússia	1985	ScanEx	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.
RESURS-01- 2	Rússia	1988	ScanEx	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.
RESURS-01- 3	Rússia	04.11.94	IKI RAN	2 anos	691 km	98°	21 dias
RESURS-01-	Rússia	10.07.98	IKI RAN	s.d.	835 km	98°	s.d.

<b>4</b>							
<b>SIR-C</b>	EUA/Al ermanha Itália	09.04.94 30.09.94	NASA/ DARA/ ASI	3 semanas	215 km	57°	s.d.

Fonte: Adaptada de <http://www.embrapa.gov.br>, acesso em 17/04/2007.

Entre as dificuldades encontradas pelos especialistas para se trabalhar com este tipo de sensor (além das características particulares da sua geometria, que dificulta o tratamento visual e posterior processamento) está o desconhecimento sobre metodologias de tratamento das imagens e o custo da compra das mesmas e dos softwares necessários para o processamento digital. Segundo a tabela 5 é possível observar respectivamente, o valor médio de venda de imagens radar referente a julho de 2007 no Brasil.

**Tabela 5: Custo médio de imagens SAR**

Satélite (sensor)	Tamanho do Pixel (m)	Preço médio (reais) <sup>3</sup>
EnviSAT (ASAR)	12,5	4.800,00
ERS 2	12,5	4.800,00 até 12.000,00
ALOS (PALSAR)	10-100	200,00 - 500,00
Radarsat 1 (fine)	6.25	6.000,00

Fonte: Consultas telefônicas às empresas (Engesat, Intersat e Threetek)<sup>3</sup>

Apesar dessas dificuldades enfrentadas o interesse sobre esses sensores cresce entre os especialistas sobretudo com vistas a extração de informações do relevo. O primeiro grande trabalho desenvolvido com o uso de radares em âmbito nacional foi o projeto Radam. Segundo **GARCIA** (1985) até aproximadamente 1970 o Brasil contava apenas com fotografias aéreas, disponíveis em algumas poucas regiões. A partir daí até meados dos anos 80 houve um grande salto e avanço tecnológico apoiado em “*know how*” estrangeiro, que permitiu aos técnicos brasileiros uma maior absorção nesse mercado de trabalho. O projeto Radam realizado na América do Sul, em especial na Região Amazônica efetuou o levantamento de todo o território brasileiro, com a primeira fase em 1972 e posteriormente

<sup>3</sup> Consultas feitas informalmente por ligação telefônica. Os preços de algumas imagens variam de acordo com o tipo de processamento e o valor do dólar no dia da compra.

em 1976, na complementação do restante do Brasil (Projeto RADAM BRASIL). Segundo **ALLEVATO** (1979) o projeto Radambrasil, do Departamento Nacional de Produção Mineral, foi criado com objetivo principal de realizar o levantamento aerofotogramétrico de áreas do território brasileiro como também o mapeamento integrado dos recursos naturais com base nas imagens de radar e outros sensores.

Desde o final da década de 70 até o presente momento, uma série de Programas de Sistema Radar, foram executados ou estão em avançado estágio de desenvolvimento: SEAT; SIR-A; SIR-B; SIR-C (EUA); ERS-1 e ERS-2 (Europeu); JERS-1 e JERS-2 (Japão); ALMOZ (Rússia) e RADARSAT (Canadá). No Brasil há uma grande experiência com uso de radares aerotransportados como o programa SAREX e o experimento AIRSAR. Segundo **PARADELLA** (1993), o SAREX foi um programa de imageamento por radar em aeronave na banda C em algumas áreas da América do Sul, entre elas a Região de Carajás, Tucuruí e Tapajós, com objetivo de simular o RADARSAT previsto para lançamento, naquela época, em 1995 e também permitir uma comparação com os dados do ERS-1 (sensor orbital que operava desde 1992). O experimento AIRSAR estava inserido num programa maior da NASA, o SIR-C (*Shuttle Imaging Radar*) que visava imagear porções maiores do planeta. Além destes experimentos outros como o Sistema de Vigilância da Amazônia - SIVAM (cujo objetivo é gerar informações sobre as características dos solos e movimentos de superfície, dando apoio a atividades de cartografia, estudos de biomassa, uso da terra e vigilância) que utiliza sensores SAR aerotransportados, e mais recentemente o sistema de Proteção da Amazônia – SIPAM (cujo objetivo é levantar, tratar e integrar importantes informações sobre a Amazônia), podem constar como importantes experiências na utilização de imagens aerotransportadas de sensores radar no Brasil. O uso de sensores radar orbitais teve grande impulso a partir do lançamento dos satélites ERS-1 (1991), ERS-2 (1995), JERS (1992) e RADARSAT (1995) (**PALME et al**, 1996). O foco principal dos estudos estava voltado à análise das florestas tropicais e mapeamento de uso e cobertura do solo. Como exemplo pode-se citar o experimento TREES ERS-1, proposto pelo JRC (*Joint Research Centre, Ispra/Itália*) e ESA (*European Space Agency*), com objetivo de avaliar a utilização de dados ERS-1 SAR para estudar florestas tropicais em escala global visando o monitoramento operacional do desmatamento. Segundo **PALME et al**, (1996), uma das áreas testes encontrava-se justamente no estado do Acre no Brasil, cujo objetivo era testar

metodologias para o mapeamento diferencial de florestas e não-florestas e o monitoramento da floresta original, procurando definir diferentes usos do solo. Um outro importante momento ocorreu durante o lançamento do programa ADRO, lançado em fins de 1994 e concebido pela Agência Espacial Canadense (CSA), NASA e Radarsat International Inc. (RSI). Cerca de 500 propostas foram encaminhadas até Maio de 1995, envolvendo a avaliação do RADARSAT através de experimentos científicos, desenvolvimento de aplicações, desenvolvimento e demonstração de produtos especiais, no contexto de explorar as características inovadoras do SAR canadense em vários campos de aplicações ambientais. A proposta do INPE (instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) foi encaminhada e aprovada pela CSA em dezembro de 1995 e abordou temas voltados à aplicação na Amazônia tais como: geologia, uso da terra, áreas inundadas, planície de inundação, impacto ambiental em reservatórios, inventário de floresta tropical, desflorestamento, dinâmica de uso da terra e detecção de mudanças fenológicas em floresta tropical. Nesse caso a Cartografia não foi abordada (**PARADELLA et al**, 1996). Durante a realização do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto em Goiânia, em 2005, uma iniciativa semelhante ocorreu, porém envolvendo a avaliação de imagens para o futuro RADARSAT-2, igualmente através de experimentos científicos oriundos de simulações em aeronaves. Desta vez experimentos buscando avaliar o uso dessas imagens voltadas à cartografia foram apresentados e os órgãos responsáveis esperam aprovação de suas propostas pela Agência Espacial Canadense. Alguns desses resultados foram apresentados recentemente no XXIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto realizado em abril de 2007 em Florianópolis-SC.

### **3.3.1 Missão Espacial SRTM**

A SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) foi uma importante viagem do ônibus espacial *Endeavour* entre os dias 11 e 22 de fevereiro de 2000, realizada em conjunto pela NASA (National Aeronautics and Space Administration), Agência Espacial Alemã DLR (Deutschen Zentrum für Luft) e Agência Espacial Italiana ASI (Agenzia Spaziale Italiana), que gerou um MDE com cobertura global posteriormente disponibilizado modelos com resolução espacial de 90 por 90 metros, gratuitamente à comunidade científica para o desenvolvimento de pesquisas que necessitam de informações sobre a superfície

topográfica. Os dados provenientes do MDE gerado vêm sendo intensamente procurados em função de sua gratuidade e fácil acesso. Vários testes têm sido desenvolvidos para avaliar a qualidade desses produtos e sua aplicabilidade, uma das quais como uma interessante alternativa para ortorretificar imagens orbitais. Dentre as principais desvantagens do uso desse tipo de MDE está a não disponibilização das imagens de radar geradas pela missão, o que dificulta muitas vezes o estudo de determinados especialistas. Além disso, a resolução espacial disponibilizada para utilização pela comunidade científica é de cerca de 90 metros, sendo superada, por exemplo, pelas cenas RADARSAT 1 modo fine, que atingem uma resolução espacial de 6,25 metros. Finalmente cabe ressaltar que o modo de obtenção desse MDE global ocorreu pelo método conhecido como interferometria que é uma técnica considerada mais promissora do que a usual estereoscopia e será descrita mais adiante com maiores detalhes mostrando aos especialistas suas perspectivas e vantagens.

**BARROS** (2006) avaliou a altimetria desse sensor segundo a Legislação cartográfica vigente. Segundo suas conclusões essa ferramenta atenderia à cartografia oficial na escala oficial 1:100.000, classe A, enfatizando ainda sua aplicação para fins temáticos até a escala 1:50.000. Vários outros trabalhos foram desenvolvidos nos últimos anos procurando avaliar a qualidade do sensor, porém cabe ressaltar que o fato dessa ferramenta não disponibilizar imagens aos usuários (apenas MDE's) limita a sua aplicação, inviabilizando o uso para classificação de uso do solo e avaliação da qualidade planimétrica.

### **3.3.2 Sensor Radar Mapsar - Uma Parceria Brasil-Alemanha**

O contexto atual é bastante favorável ao desenvolvimento dessa tecnologia. Prova disso é o projeto MAPSAR (Multi-Application Purpose SAR) fruto da parceria entre o INPE e a Agência Aeroespacial da Alemanha (*DLR - Deutschen Zentrum für Luft*), para o desenvolvimento de um estudo preliminar de viabilidade de construção de um satélite, tendo como carga útil um radar imageador de abertura sintética ou SAR (*Synthetic Aperture Radar*). Segundo **PARADELLA** e **SILVA** (2005) A decisão de se iniciar um estudo preliminar de viabilidade (pré-fase A) do MAPSAR foi estabelecida em 2001, consolidando experiências específicas e complementares das duas instituições, sendo acordado que o INPE seria responsável pela plataforma e integração do satélite, cabendo à DLR a concepção da carga útil e análise de órbita. Este estudo preliminar foi finalizado em

dezembro de 2002, estando em curso a fase de viabilidade detalhada (Fase A), com término previsto para esse ano (2007). Se esta viabilidade for confirmada, o MAPSAR passa a ser uma das opções consistentes de missão que utilizaria a Plataforma Multi-Missão (PMM), um projeto em desenvolvimento no Programa Espacial Brasileiro. A PMM deverá operar como um módulo de satélites na classe de 500 kg, provendo meios/recursos à operação de um módulo de carga útil pesando até 280 kg em órbitas quasi-equatoriais e polares e altitudes entre 600 e 1200 km. Seu sistema de navegação (ACDH) é capaz de prover apontamento fino compatível com os requisitos de missões ópticas e radar.

### 3.4 O Satélite Radarsat – 1 -Características

O RADARSAT-1 é um satélite de observação da terra desenvolvido pelo Canadá compondo uma parceria de várias agências nacionais e internacionais com vistas a monitorar a mudança ambiental e os recursos naturais do planeta. Foi lançado em 04 novembro 1995, com vida útil prevista inicialmente de 5 anos, porém ainda encontra-se em plena atividade. Está equipado com um instrumento sintético poderoso do radar da abertura (SAR) que permite adquirir imagens do dia ou da noite da terra, em qualquer tempo e através de cobertura de nuvens ou fumaça. O sensor SAR trabalha com frequência única (banda C-5,6 cm) e polarização linear paralela horizontal HH. É possível adquirir imagens em diferentes resoluções podendo variar o ângulo de incidência de acordo com o objetivo do estudo proposto. Ver figura 18.

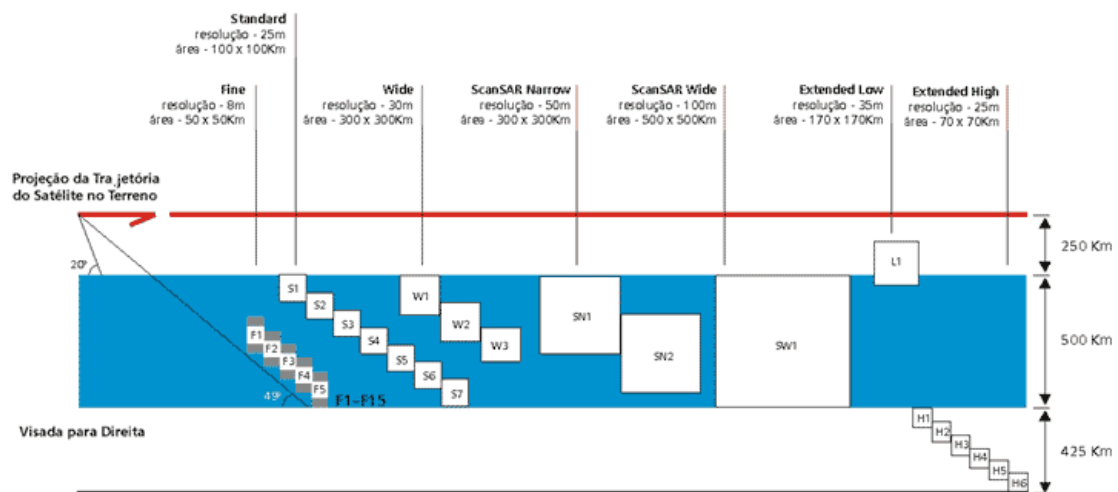


Figura 18: Módulos de imageamento do RADARSAT-1.

Fonte: [www.threetek.com.br](http://www.threetek.com.br), consulta em 08 de maio de 2007.

A recarga de energia pelo sistema se dá em função da sua órbita ser quase-polar e sol síncrona permitindo a exposição em tempo integral dos painéis solares à luz solar. Segundo **MARTINS** (2004, p.40), o tempo de revisita do RADARSAT-1 é de 24 dias, podendo chegar a 3 dias em baixas latitudes e 6 dias na região equatorial, dependendo do ângulo de visada. Sua altitude é de 798 km, com inclinação da órbita de 98,6 graus. O satélite circula a Terra 14 vezes ao dia e uma órbita completa dura 100,7 minutos. A aquisição de dados pode durar 28 minutos em cada órbita. O RADARSAT-1 pode adquirir imagens tanto na órbita ascendente, com visada para leste, quanto na órbita descendente, com visada para oeste (figura 19). Isto pode ser de grande utilidade em regiões que tenham feições com orientações preferenciais, como ocorre em áreas agrícolas, por exemplo, que podem ser suprimidas se o alinhamento é paralelo à direção de visada, além de outras utilidades. A passagem do satélite RADARSAT-1 sobre um mesmo ponto geográfico ocorre em dois horários diferentes durante o dia. Quando a passagem se dá na órbita descendente, o satélite cruza o Equador por volta das 6:00h da manhã (horário local) **MARTINS** (2004, p.40). Se a passagem for ascendente, o satélite cruza o Equador por volta das 6:00h da tarde (horário local). Os dados gerados e distribuídos para os usuários podem ser desde aqueles não processados de nível 0 (dado bruto) até imagens processadas e ortoretificadas. Ao todo, estão disponíveis sete níveis de processamento representados pelas siglas RAW, SLC, SGF, SGX, SSG, SPG e ORI. O tipo de dado a ser escolhido deve corresponder às necessidades do usuário. Os dados do RADARSAT-1 estão disponíveis no formato CEOS (*Committee on Earth Observation Satellites*), que corresponde a um formato próprio que contém cinco arquivos, sendo que um contém a imagem e os demais são referentes ao processamento da imagem (dados radiométricos, atitude, posição da plataforma, entre outros). Algumas informações básicas sobre os parâmetros do RADARSAT 1 podem ser vistas na tabela 6. Cabe ressaltar que o satélite RADARSAT-2 encontra-se em fase de preparação para lançamento pelo Canadá em continuidade ao programa RADARSAT-1, sendo esperado há muito tempo pela comunidade científica.



**Figura 19: Órbita RADARSAT 1**

Fonte: [www.engosat.com.br](http://www.engosat.com.br) consulta em 08 de maio de 2007.

**Tabela 6: Parâmetros do RADARSAT 1**

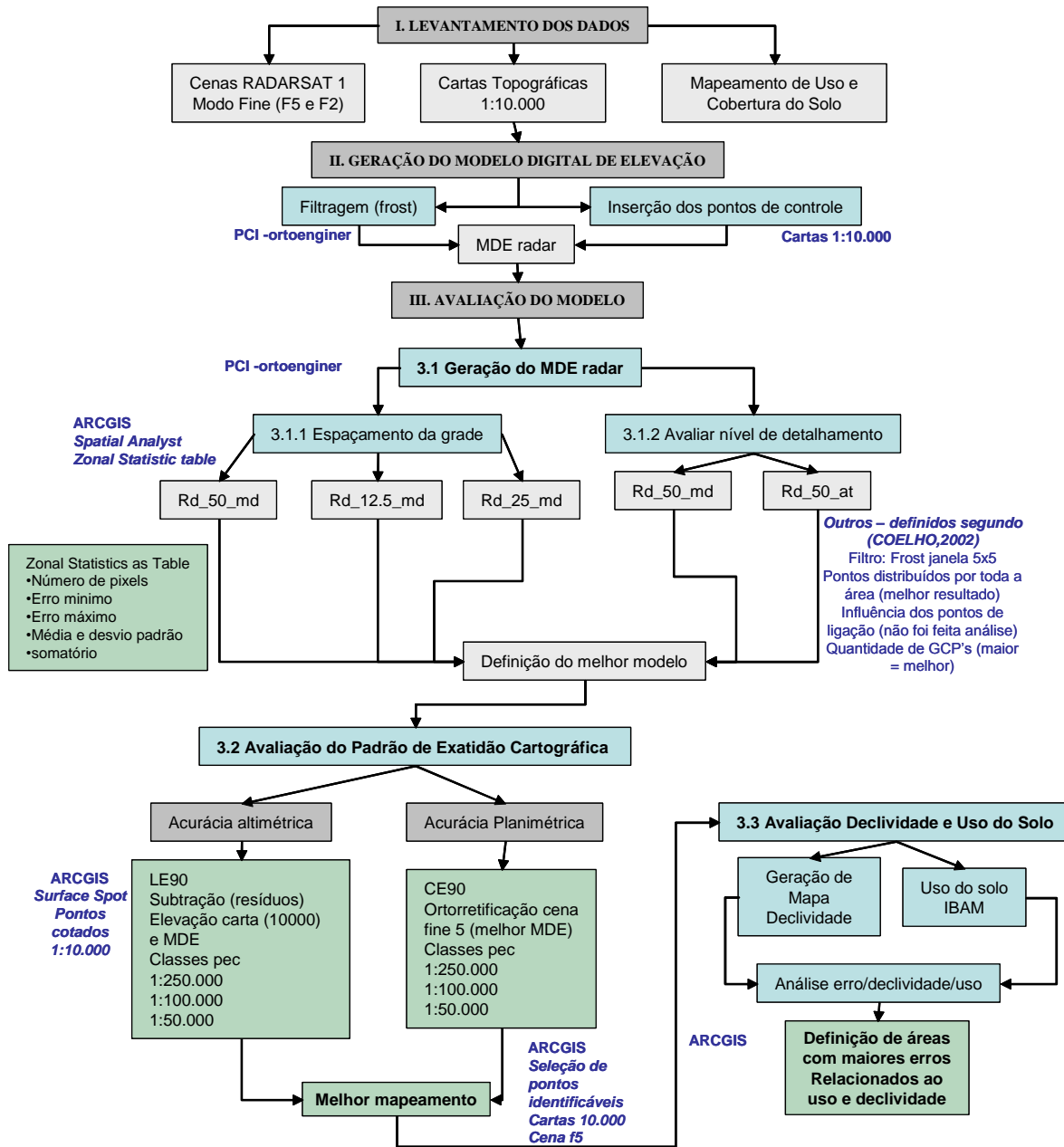
Parâmetros	Especificações
Frequência	5,3 GHz
Comprimento de onda	5,6 cm - banda C
Polarização	HH
Ângulo de incidência	10° a 60°
Resolução em range (produtos em <i>ground range</i> )	8 a 100 m
Resolução em azimute (produtos em <i>ground range</i> )	8 a 100 m
Resolução temporal	24 dias
Faixa de imageamento	50 a 500 km
Número de órbitas por dia	14
Altitude	798 km
Inclinação da plataforma	98, 6°
Órbita	Circular, quase-polar, sol síncrona
Tamanho da antena	15 x 1,5 m
Vida útil	5 anos

Fonte: MARTINS (2004).

#### IV. MATERIAIS E MÉTODOS



Para o desenvolvimento do estudo foram realizadas atividades de levantamento de bases georreferenciadas, geração de Modelos Digitais de Elevação e análises de correlação com a declividade e uso do solo. O fluxograma observado na figura 20 resume todas as etapas da metodologia que serão descritas adiante.



**Figura 20: Fluxograma metodológico**

Sistematicamente podemos estipular como procedimentos padrões as seguintes fases da pesquisa:

4.1 - Levantamento e edição das bases de dados básicas.

4.2 - Geração dos Modelos Digitais de Elevação a Partir das Cenas RADARSAT 1 Modo Fine para a Área de Estudo

4.3 Procedimentos de Avaliação do MDE - RADARSAT 1

4.3.1 Avaliação quanto ao espaçamento da Grade

4.3.2 Avaliação quanto ao nível de detalhamento

4.3.3 Avaliação do Padrão de Exatidão Cartográfica

4.3.4 Avaliação declividade e uso do solo

#### **4.1 Levantamento das bases de dados e informações básicas**

Para a execução dessa pesquisa foram utilizados os seguintes dados:

- Par estereoscópico RADARSAT modo *fine*, cenas f2 e f5;
- Mapeamento digital na escala de 1:10.000 do IPP (Instituto Pereira Passos), IphanRIO e Fundação CIDE;
- Mapeamento de uso e cobertura do solo (oriundo de imagens LANDSAT 7 (2000)- Projeto de Zoneamento Ambiental da Baía de Guanabara)

As tabelas 7 e 8 apresentam respectivamente as características do par Estereoscópico RADARSAT 1 e das bases cartográficas 1:10.000, utilizadas no estudo.

O mapeamento digital, inclusive de uso e cobertura, foram fornecidos pelos laboratórios GeoCart e ESPAÇO, do Departamento de Geografia, da UFRJ, e como já mencionado, as imagens RADARSAT modo *fine* foram disponibilizadas pela empresa Threetek Soluções em Geomática/RJ.

**Tabela 7: Características gerais das cenas RADARSAT.**

Identificador da cena	M0203053	C0020046
Modo de operação	Fine 5 near	Fine 2 near
Data de aquisição	23/1/2000	9/2/2000
Data de processamento	3/2/2000	16/5/2001
Nível de processamento	Path Image	Path Image
Direção de órbita	Descendente	Descendente
Variação do ângulo de incidência	45,6° a 47,3°	41,8° a 39,6°
Tamanho aproximado da área imageada	38Km x 58Km	44Km x 58Km
Resolução espacial de alcance	7,1m	7,9m
Resolução espacial de Azimute	8,4m	8,4m
número de bits/pixel	16 bits	16 bits
Tamanho aproximado do arquivo	128 mb	128 mb
espaçamento do pixel na imagem	6,25m x 6,25m	6,25m x 6,25m

Fonte: Adaptado de COELHO, 2002.

**Tabela 8: Parâmetros gerais das bases IPP/CIDE escala 1:10.000**

<b>Características</b>	<b>Temas</b>
Escala do mapeamento	1:10.000
Eqüidistância das curvas de nível	5m
Ano do vôo	1999
Ano da edição das cartas	2000
Projeção	UTM, MC45°W, Datum SAD69

Fonte: Adaptado de COELHO, 2002.

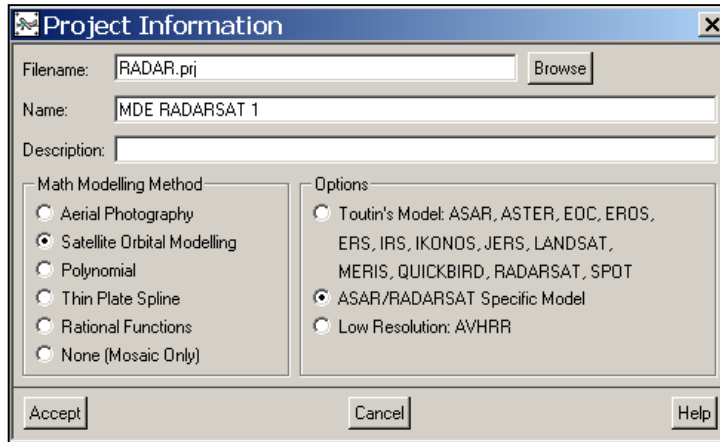
Foram utilizados os softwares PCI Geomatics versão 10.0 e o *ArcGIS* 9.0. A escolha dos softwares baseou-se em experiências obtidas em outras versões e no sucesso e desempenho alcançado em estudos preliminares. Todos os arquivos apresentam o formato final *Shapefile* (.shp) do *software ArcGIS 9.0* em objetos equivalentes a ponto, linha ou polígono.

#### **4.2 Geração dos Modelos Digitais de Elevação a Partir das Cenas RADARSAT 1**

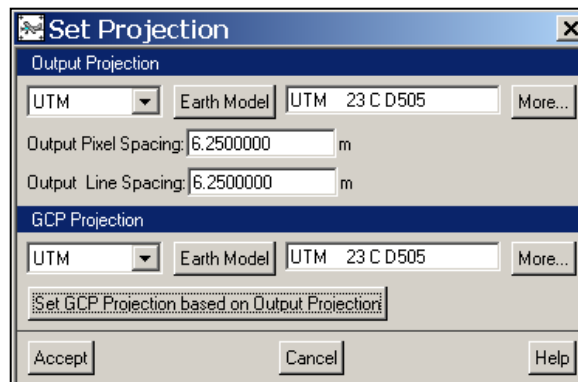
##### **Modo Fine para a Área de Estudo**

A geração do MDE segue a estrutura proposta por **COELHO** (2002) utilizando o software PCI Geomatics 9.1, módulo Orthoengine. Essa fase corresponde as seguintes etapas:

a. Configuração do projeto



b. Definição do Sistema de Projeção (UTM SAD 69)

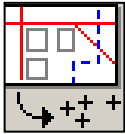


c. Importação das imagens



d. Filtragem

e. Coleta dos pontos de controle



- f. Análise dos resíduos de ajustamento
- g. Transformação das imagens para a geometria epipolar



- h. Geração do MDE por correlação de imagens



O modelo específico para imagens de radar utilizado durante a configuração do projeto foi adotado visando avaliar os resultados alcançados pelas cenas a partir de parâmetros específicos para imagens RADARSAT. Esse tipo de modelo traz especificações dentro do programa *orthoengine* para cada sensor, que procura compensar as deformidades existentes durante a geração das imagens tais como geometria do sensor, órbita do satélite, variações de altitude, mudanças na forma da Terra e rotação da Terra. Há vários modelos no sistema adequados a cada tipo sensor (ASTER, IKONOS, LANDSAT, MERIS), que calcula a posição e orientação do sensor no tempo quando a imagem foi gerada e melhora a qualidade do processamento. A tabela abaixo mostra os principais parâmetros descritos anteriormente e as características equivalentes.

**Tabela 9: Parâmetros característicos às imagens RADARSAT**

Parâmetros	Características
plataforma	Posição, velocidade e orientação
sensor	Orientação, tempo e visada
Terra	Geóide, elipsóide, relevo
Projeção cartográfica	Elipsóide e coordenadas cartográficas

Fonte: Guia de ajuda do PCI *orthoengine* 10.

O modelo específico (modo *specific*) utiliza parâmetros adicionais (dados de órbita do satélite RADARSAT) permitindo diminuir o número de pontos de controle durante a geração do modelo ao contrário do modo genérico. Esses parâmetros extras mantêm altos os níveis de exatidão relativos à posição dos pontos durante a geração do modelo o que torna desnecessários a utilização de pontos de ligação uma vez que cada cena é calculada usando apenas os pontos de controle dessa cena. Possui uma dependência menor de informações de campo (GCPs), tanto em termos de quantidade quanto em distribuição em área, ao mesmo tempo em que procura preservar a acurácia altimétrica e o detalhamento na extração do DEM (**PARADELLA et al**, 2001)

Segundo **OLIVEIRA** (2005) há uma outra modelagem utilizada chamada “modelagem genérica ou modelagem *Toutin*. Essa modelagem foi desenvolvida pelo Dr. Thierry Toutin cientista do Centro Canadense de Sensoriamento Remoto (*Canada Centre for Remote Sensing – CCRS*) e reflete a realidade física da geometria de aquisição da imagem, permitindo corrigir as distorções da imagem referentes à plataforma, sensor, Terra e projeção cartográfica (**TOUTIN**, 1999).

A modelagem é baseada na coleta de GCPs de boa qualidade, com uma precisão, para imagens da faixa do visível, na ordem de 1/3 do tamanho do pixel e para imagens SAR em torno de 1 elemento de resolução cada pixel (**TOUTIN**, 1999). No caso da modelagem RADARSAT *Specific*, sua concepção busca aproveitar ao máximo as informações do posicionamento do satélite e do sensor na plataforma.

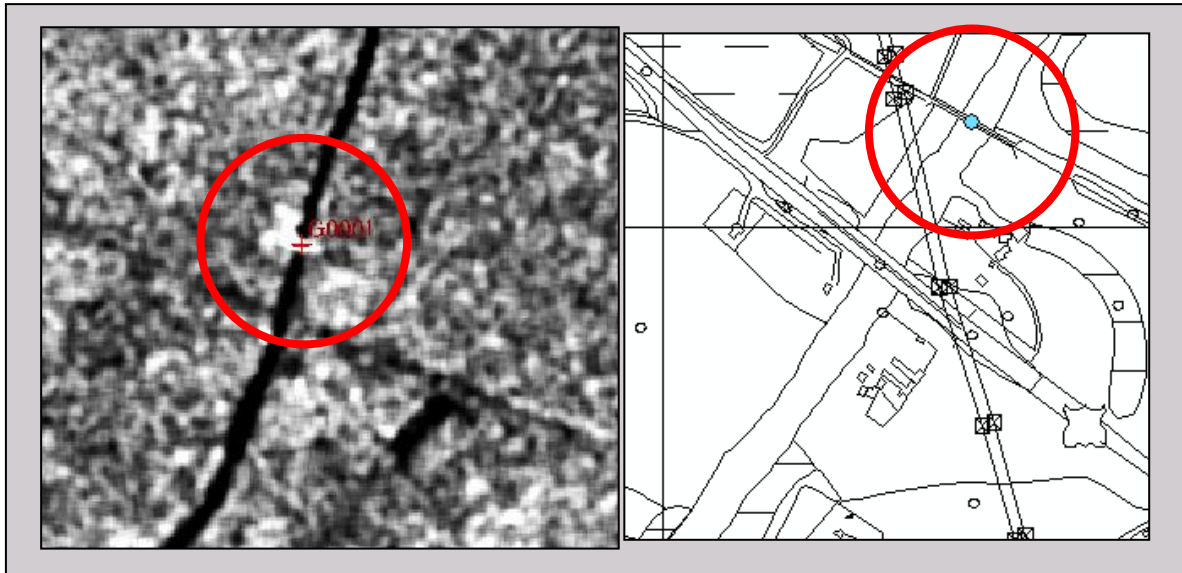
O sistema de *projeção Universal Transversa de Mercator* foi adotado na configuração do projeto, Meridiano Central 45°W, hemisfério sul e datum SAD-69. A escolha se baseou no fato dos pontos de controle se encontrarem na mesma projeção.

Após a criação do projeto as imagens foram importadas e convertidas para o formato PCIDSK (formato do PCI) sendo compostas por um grupo de arquivos (DAT\_01.001, TRA\_01.001, LEA\_01.001, NUL\_VDF.001, VDF\_DAT.001), o primeiro representativo dos dados da imagem e os demais com informações auxiliares sobre a imagem. Esse processo é extremamente importante uma vez que o sistema precisa reconhecer as informações relativas às efemérides de cada cena. Segundo **MARQUES et al** (2003), essas informações representam os parâmetros do sistema de imageamento que são transmitidos junto com os dados de imagem para dentro do software. São elementos que descrevem a

órbita do satélite e possibilitam corrigir o tempo dos relógios dos satélites permitindo calcular as posições (coordenadas) do mesmo.

Após a inserção das cenas foi feita a filtragem das mesmas para diminuir o ruído característico nas imagens de radar. A opção pelo tipo de filtro depende da aplicação desejada. Segundo **SANTANNA** (1994) os filtros não específicos para redução de *speckle*, como média e mediana apresentam redução significativa do desvio padrão, levando a uma perda grande de informação (degradação da resolução). Por outro lado, os filtros de *Lee*, *Kuan* e *Frost* preservam o valor médio da imagem, sendo que o filtro *frost* apresenta uma preservação melhor da textura e uma perda menor de informação. Não foram realizados testes para avaliar qual seria o melhor filtro a ser utilizado na área uma vez que estudos anteriores comprovaram o melhor desempenho apresentado pelo filtro *frost*. Esses resultados podem ser consultados em **COELHO** (2002) e **OLIVEIRA** (2005).

Posteriormente foram selecionados pontos de controle a partir de cartas topográficas na escala de 1:10.000 provenientes da Fundação CIDE (Centro de Informações e Dados do Estado do Rio de Janeiro) e IPP (Instituto Pereira Passos) conforme figura 21. Os pontos foram distribuídos em feições conhecidas nas cartas e nas imagens procurando-se alcançar a melhor distribuição possível para a área, apesar do modelo exigir um número mínimo de 7 (sete) pontos de controle. A figura 21 mostra um exemplo de ponto de controle coletado na carta e sua posição na cena *fine 2*.



**Figura 21: Modo de inserção de pontos de controle**

Durante a inserção dos pontos de controle foi observado o resíduos de ajustamento procurando manter o RMS (*Root Mean Square* ou Erro médio Quadrático) abaixo de 2 pixels. Esse erro representa o rigor posicional dos vários objetos da imagem similar aos padrões existentes para o vetor de referência (carta topográfica), e aparece na janela de inserção dos pontos no módulo do *Orthoengine* do *PCI Geomatics 9.0*. Essa é a fase mais difícil de todo o processo e requer muita atenção e cuidado do especialista para inserir o ponto no local mais próximo da realidade possível. Nessa fase procurou-se utilizar pontos com posições visíveis nas imagens tais como cruzamentos de rodovias e cursos de rios, contornos de objetos, e pontos com elevação. Procurou-se restringir a escolha dos pontos em matrizes de 3 x 3 pixels visando manter o erro baixo e com isso melhorar a qualidade do modelo a ser gerado.

Após a inserção dos pontos de controle nas cenas, foi realizada a correspondência entre imagens segundo geometria epipolar. Essa correspondência é essencialmente uma geometria de intersecção entre dois planos de imagem que busca derivar informações no espaço tridimensional a partir de duas cenas em estéreo. Isso significa resumidamente que é fixado um ponto na imagem da esquerda e é extraída uma janela em volta deste ponto.



Dependendo da altitude do ponto no terreno, teremos várias posições possíveis para o ponto na imagem da direita. Esses pontos definem a linha epipolar. A janela correspondente na imagem da direita deverá ser procurada ao longo desta linha epipolar. O ponto conjugado é encontrado através da determinação da maior correlação entre as “janelas” da esquerda e da direita. Uma vez obtidas as imagens epipolares estão preenchidos todos os pré-requisitos para a extração automática do modelo e chega-se a última fase do processo: a geração do MDE por correlação de imagens.

Durante a revisão bibliográfica foram definidos os principais parâmetros que apresentassem necessidade de avaliação durante a geração dos modelos digitais de elevação. A partir das análises e conclusões obtidas em trabalhos acadêmicos principalmente em **COELHO** (2002), foram definidos como pontos importantes para análise:

- a. Melhor espaçamento de grade do MDE (8 *pixels* – 50 metros, 4 *pixels* – 25 metros, 2 *pixels* (12.5 metros).
- b. Nível de detalhamento do modelo (médio e alto).

Para outros aspectos como tipo de filtro (descrito anteriormente), distribuição dos pontos sobre a área, número de pontos, edição e interpolação dos erros foram adotadas sugestões de estudos anteriores encontradas na bibliografia já mencionada.

Vários testes foram feitos procurando sempre melhorar o RMS e a qualidade visual dos modelos gerados. Cada um dos testes será descrito no próximo capítulo e apresenta entre outras informações os parâmetros utilizados especificamente para cada um, como número de pontos, distribuição e RMS do par estereoscópico. Para a definição do melhor modelo foram calculados os erros máximo e mínimo, desvio padrão e média para toda a grade dos modelos. Esse procedimento foi realizado no software ArcGIS 9.0 através da função *Spatial Analyst Tools - Zonal - Zonal Statistics as Table*. Essa função permite calcular os parâmetros anteriormente descritos e gerar uma tabela com informações para cada modelo. Essas tabelas encontram-se em anexo.

Após a definição do melhor modelo segundo os parâmetros descritos anteriormente foi realizada a avaliação do mesmo segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC e erros obtidos segundo tipo de declividade e uso do solo.

## 4.3 Procedimentos de Avaliação do MDE - RADARSAT 1

### 4.3.1 Análise do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC)

O padrão de exatidão cartográfica – PEC é o indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão dos trabalhos cartográficos em escala nacional. A probabilidade de 90% corresponde a 1,6449 vezes o erro padrão. O padrão de exatidão deve ser obedecido por todo documento cartográfico a partir dos seguintes critérios:

Esses parâmetros foram descritos e definidos por meio do Decreto N° 89.817 de 20 de junho de 1984 que estabelece instruções reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional conforme trechos abaixo (anexo 1):

*“Art.8º As cartas quanto à sua exatidão devem obedecer ao Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC, segundo os critérios abaixo indicados:*

*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 -  $PEC = 1,6449 EP$ . §3º O Erro-Padrão isolado num trabalho cartográfico, não ultrapassará 60,8% do Padrão de Exatidão Cartográfica.*

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

*Seção 2 Classes de Cartas*

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

*a- Classe A*

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

*c- Classe C*

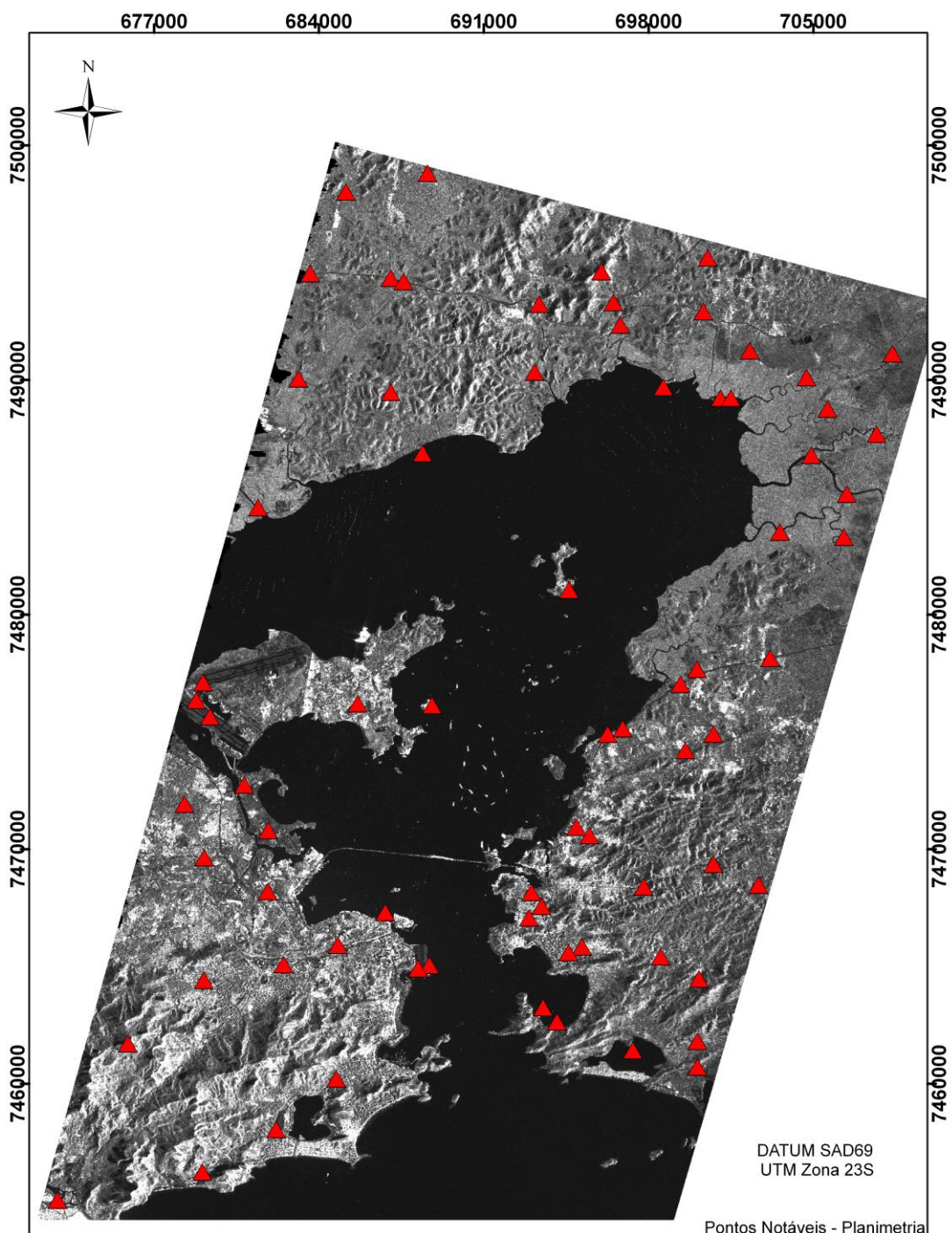
- 1. Padrão de Exatidão Cartográfica - Planimétrico: 1,0 mm na escala da carta, sendo de 0,6 mm na escala da carta o Erro-Padrão correspondente.*
- 2. Padrão de Exatidão Cartográfica - Altimétrico: três quartos da equidistância entre as curvas-de-nível, sendo de metade desta equidistância o Erro-Padrão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

Dessa forma foram avaliadas a acurácia planimétrica tendo como referência as cartas topográficas 1:10.000 e especificamente para a avaliação da acurácia altimétrica foram utilizados pontos cotados provenientes das mesmas cartas.

No caso da avaliação planimétrica utilizou-se o MDE RADARSAT com melhor resultado para ortorretificar a cena fine 5 e posteriormente identificar pontos notáveis na imagem e nas cartas topográficas 1:10.000 tais como cruzamento de ruas e rios, ou mesmo piers. Esse procedimento foi executado no módulo *Ortoengine* do PCI. Segundo **PARADELA et al** (2005) a cena fine 5 apresenta um melhor contraste das feições indicativas dos processos antrópicos permitindo uma melhor seleção dos pontos para análise. Para a análise da planimetria foram selecionados 73 pontos sendo 5 destes pontos com elevação acima de 90

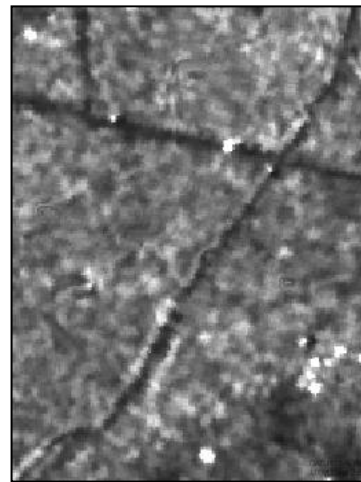
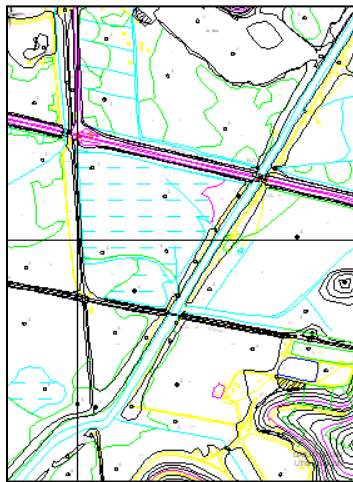
metros. O número mínimo de pontos em elevação se justifica pela dificuldade em selecionar pontos em áreas de relevo acidentado.

A figura 22 apresenta a disposição espacial dos pontos utilizados na verificação da precisão acurácia planimétrica.



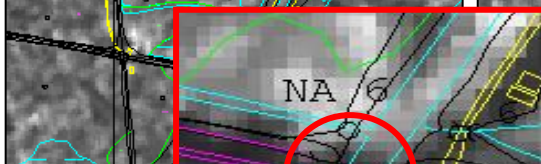
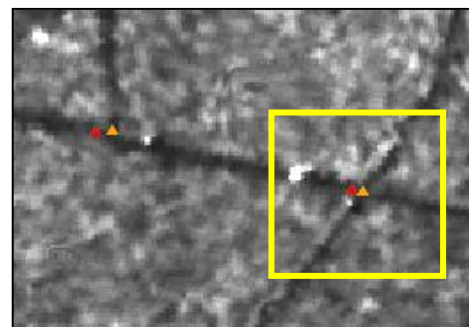
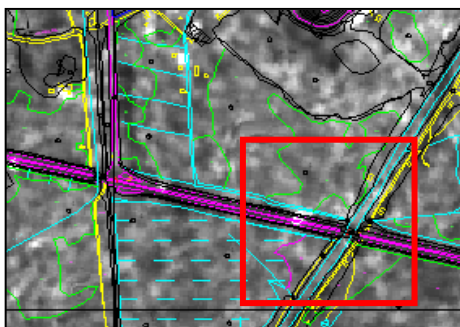
**Figura 22: Pontos notáveis da análise planimétrica**

Em detalhe um exemplo de um ponto próximo ao município de Duque de Caxias pode ser observado na figura 23. A letra (a) mostra um trecho da carta topográfica utilizada na extração dos pontos de controle. A letra (b) representa a mesma área, na imagem fine 5 após a ortorretificação. As letras (c) e (d) mostram o detalhamento dos pontos inseridos no cruzamento escolhido para cálculo do erro planimétrico do MDE gerado.



(a.) trecho da carta topográfica com feições notáveis na carta

(b.) cena fine 5 (orto) com algumas das feições notáveis na carta

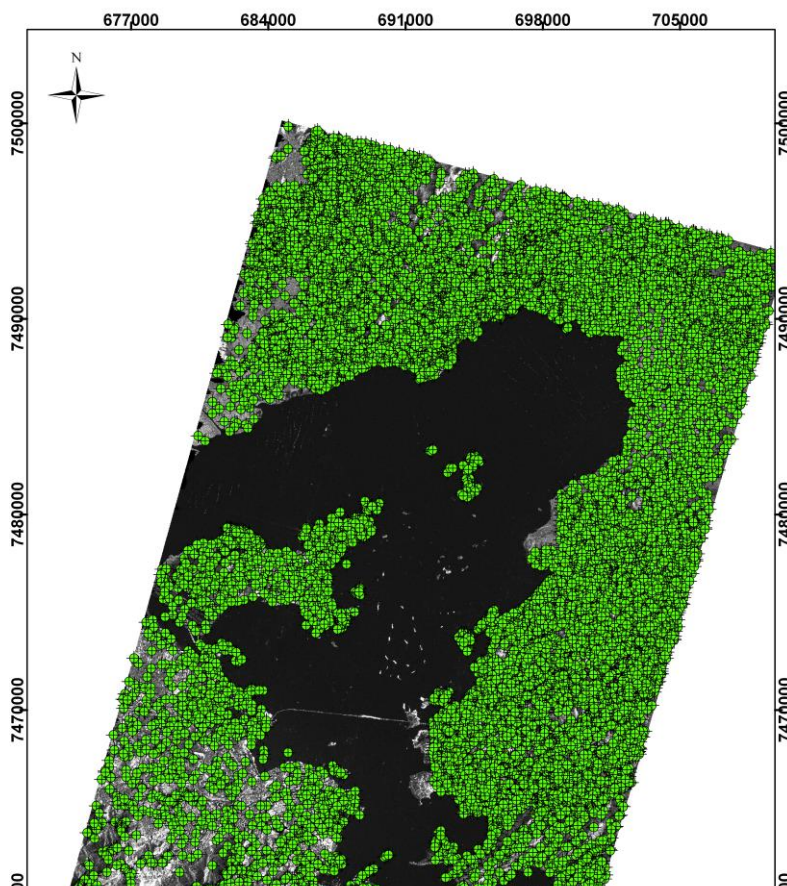


(c.) detalhe - seleção do ponto na carta

(d.) detalhe – seleção do ponto na imagem

**Figura 23: Detalhamento análise planimétrica**

O procedimento para verificação altimétrica foi realizado no software ArcGIS 9.0 através da função *surface spot* no módulo *Spatial Analyst*. Essa função realiza uma intersecção entre a matriz do modelo (MDE RADARSAT) e a malha de pontos cotados das cartas de referência, extraído para a tabela de atributos a informações referentes a elevação do modelo no *pixel* em que está inserido o ponto cotado. Foram utilizados 10883 pontos cotados para toda a área de estudo e, buscando tornar os resultados mais próximos da realidade possível, foram excluídos os pontos que se encontravam espacialmente em áreas de falha do modelo a próximo das bordas do mesmo. Da mesma forma a figura 24 apresenta a disposição dos pontos cotados utilizados na verificação altimétrica pela área de estudo.



**Figura 24: Dispersão espacial dos pontos cotados utilizados na análise altimétrica**

Para a seleção dos pontos notáveis na imagem procurou-se estabelecer uma grade máxima de 3x3 pixels para a marcação dos pontos tendo em vista que a colocação dos pontos em locais errados poderia comprometer sensivelmente o resultado.

Seguindo a determinação do PEC foram calculados os intervalos probabilísticos de confiança para a planimetria e altimetria. As designações CE90 e LE90 são conhecidas por toda a comunidade internacional e utilizadas em procedimentos de estimativas de acurácia altimétrica e planimétrica. O termo CE90 consiste numa média de erros combinados em latitude e longitude referentes à planimetria do produto (sem relação com a acurácia vertical) e representa um raio circular (metros) englobando 90 % dos erros da planimetria no produto analisado em relação às posições reais no terreno. O mesmo pode ser visto em relação ao LE90. Nesse caso o procedimento visa quantificar o erro em elevação obtido pelo MDE comparando-o com as medidas reais presentes nas cartas topográficas representadas pelos pontos cotados.

No cálculo do CE90 os seguintes parâmetros foram usados conforme adaptação de **PARADELLA e SILVA (2005)**:

$$\text{CE90} = 2,15 \times \text{Erro Médio Quadrático (EMQ)}$$

onde:

$$EMQ = \sqrt{\frac{\sum (X_{radar} - X_{carta})^2 + \sum (Y_{radar} - Y_{carta})^2}{N - 1}}$$

Nesse caso:  $X_{carta}$  e  $Y_{carta}$  são medidas das coordenadas extraídas das cartas topográficas 1:10000 e  $X_{radar}$  e  $Y_{radar}$  representam as coordenadas extraídas da cena *fine 5* já ortorretificada. N representa o número total de pontos considerados na análise.

Para a determinação do LE90 os seguintes parâmetros foram usados:

$$LE90 = 1,6449 \times \text{Erro Médio Quadrático (EMQ)}$$

onde:

$$EMQ = \sqrt{\frac{\sum (Z_{radar} - Z_{carta})^2}{N - 1}}$$

onde:  $Z_{carta}$  é a elevação dos pontos cotados das cartas 1:10 000 e  $Z_{radar}$  representa a elevação do MDE RADARSAT. O “N” representa o número total de pontos considerados na análise.

Além da determinação dos erros linear e circular dos produtos gerados foi calculada a precisão para determinação das classes segundo definição do Seção 2 Art.9º do decreto 89.817 de 20 de junho de 1984, que trata da definição das Classes de Cartas. Os parâmetros utilizados na definição da escala cartográfica de classe do produto com relação à planimetria foram utilizados os parâmetros descritos no decreto acima e resumidos na tabela abaixo:

**Tabela 10: PEC planimétrico para escalas mais utilizadas**

ESCALA	CLASSE A (metros)	CLASSE B (metros)	CLASSE C (metros)
1:50 000	25	40	50
1:100 000	50	80	100



1:250.000	125	200	250
-----------	-----	-----	-----

Para a determinação das classes do PEC altimétrico as classes precisam atender os parâmetros presentes na tabela 11 abaixo:

**Tabela 11: PEC altimétrico para escalas mais utilizadas**

ESCALA	Equidistância curvas de nível	CLASSE A $\frac{1}{2}$ (metros)	CLASSE B $\frac{3}{5}$ (metros)	CLASSE C $\frac{3}{4}$ (metros)
1:50 000	20	10	12	15
1:100 000	50	25	30	37,5
1:250.000	100	50	60	75

Após a definição dos resíduos gerados para o conjunto de pontos (na avaliação planimétrica e posteriormente altimétrica) foi possível quantificar o número de pontos com erros em cada classe (A, B ou C) e determinara a melhor aplicação para o produto.

#### 4.3.2 Análise quanto à declividade e uso do solo

Além da análise referente à qualidade cartográfica do MDE procurou-se identificar possíveis correlações entre os erros gerados pelo modelo e o tipo de declividade, bem como o tipo de uso dado ao solo. Essas análises permitiram avaliar se havia alguma relação entre os pontos com altos valores de erro, o tipo de declividade do terreno e ainda, o uso e cobertura do solo, buscando identificar algum padrão entre essas variáveis.

Para a realização da análise referente à declividade do terreno foi gerado um mapa a partir do MDE RADARSAT no software *ArcGIS 9.0* por meio da função *Spatial Analyst - Surface - Slope* em graus conforme as classes abaixo:

**Tabela 12: Classes de declividade**

Declividade (°)	Tipo de relevo
0-3 °	Plano
3-8°	Suave Ondulado
8-20°	Ondulado

20-45°	Forte Ondulado
>45°	Escarpado ou Montanhoso

Após a geração do mapa de declividade foi realizado o procedimento de extração das informações a partir do *Surface Spot* repetindo a metodologia utilizada para análise do PEC. Com todas as informações presentes na tabela de atributos (referentes à elevação do ponto, erro altimétrico e tipo de declividade) foi possível traçar um panorama de correlação entre o MDE e o tipo de declividade.

Para análise do tipo de uso do solo utilizou-se o mapeamento realizado para o IBAM (imagem 2000, mapeamento 2002) pelos laboratórios de Sensoriamento Remoto ESPAÇO e Geocart no ano de 2002. Esse mapeamento foi desenvolvido através de imagens Landsat TM para atender um projeto de Zoneamento Ambiental para Gestão da Baía de Guanabara e delimitou áreas na bacia da Baía de Guanabara para as classes: urbano intenso, urbano médio, urbano rarefeito, grandes construções, floresta estacional, floresta ombrófila, vegetação secundária, reflorestamento, estepe arbórea, praia, mangue, mangue degradado, áreas agrícolas, encosta degradada, pastagem/campo, rios e lagos, restinga, várzea, áreas inundadas, solo exposto e afloramento rochoso. Dessa forma foram utilizadas as seguintes classes conforme tabela abaixo:

**Tabela 13: Agrupamento de classes uso e cobertura do solo.**

Classe Primária
urbano intenso
urbano médio
urbano rarefeito
grandes construções
floresta estacional
floresta ombrófila
vegetação secundária
reflorestamento
estepe arbórea
restinga
praia

mangue
mangue degradado
áreas agrícolas
encosta degradada
solo exposto
pastagem/campo
rios e lagos
várzea
áreas inundadas
afloramento rochoso

Após o agrupamento das classes foi possível realizar a análise espacial quanto ao tipo de uso do solo e traçar uma possível relação com os erros altimétricos.

## V. RESULTADOS E ANÁLISES

### 5.1 Análises dos MDE - RADARSAT 1 gerados

Para alcançar o melhor resultado na geração do MDE foram realizados alguns testes buscando-se avaliar a resposta dos mesmos quanto ao espaçamento da grade e o nível de detalhamento dos mesmos. Isso se justifica pelo fato de **COELHO** (2002) não possuir na época de sua pesquisa, toda a cobertura topográfica para a porção setentrional da Baía de Guanabara que permitisse a coleta de pontos de controle. Dessa forma, haveria a possibilidade de inserção de pontos de controle em toda a área de estudo e a posterior confirmação dos resultados obtidos pela autora.

Dessa forma, os testes numerados de 01 a 06 representam as primeiras tentativas de inserção de pontos de controle para geração de modelos digitais de elevação. Esses primeiros testes foram extremamente importantes tendo em vista a necessidade de se conhecer melhor as características das imagens no momento da inserção dos mesmos. Essa é a fase mais difícil de todo o processo, pois exige muita atenção e conhecimento do produto por parte do usuário. As imagens de radar, como descrito no capítulo que trata da revisão teórica, apresentam algumas peculiaridades e ruídos que podem dificultar e confundir o usuário com pouca experiência. Essas peculiaridades se refletem nas características das cenas e nas feições que ali se apresentam. Nesse caso a identificação dos pontos demanda tempo e paciência do intérprete e sua colocação é fundamental para a qualidade final do modelo. Diante dessas dificuldades esses testes preliminares foram fundamentais para estabelecer critérios que norteassem a inserção dos pontos de controle no decorrer do processo. Ao consultar alguns especialistas que trabalharam com imagens de radar foram comuns às queixas com relação a essas dificuldades de interpretação e visualização das feições nas imagens. Do mesmo modo, não é muito clara na bibliografia consultada qual seria a melhor forma para inserção desses pontos, que critério seguir ou ainda, qual a melhor maneira para inserir o ponto diminuindo ao máximo o erro quanto ao seu correto posicionamento espacial. Cada especialista acaba adotando um método particular para melhor inserir essas informações nas cenas e posterior geração do Modelo Digital de Elevação. Segundo **ABRAHÃO** e **CORREIA** (2005) o termo genérico “ponto de controle” aplica-se tanto para a atividade de correção geométrica de uma imagem orbital

como para a validação dessa correção. Quanto à sua obtenção, podem provir de: documento cartográfico (analógico e digital); imagem (orbital e aerofotografia, na modalidade analógica e digital); e por posicionamento pelo Sistema GPS (métodos isolado e diferencial). Naturalmente, a acurácia do produto final – imagem corrigida – dependerá dos tipos dos pontos de controle utilizados (e respectivos valores de acurácia) e do modelo de correção. Isso reforça a importância dessa fase na geração do produto final especialmente para as imagens de radar.

Para a realização desses primeiros testes procurou-se inserir os pontos de controle dentro de uma matriz de erro máxima de 3x3 pixels, principalmente quando a incerteza era muito elevada no que diz respeito ao correto posicionamento do ponto. Essa dificuldade foi aumentada principalmente para a coleta de pontos de controle em áreas de relevo montanhoso, o que justifica o número reduzido de pontos nessas áreas. Após a constatação dos melhores resultados obtidos com o melhoramento gradativo na inserção dos pontos de controle o MDE final foi gerado seguindo essa metodologia.

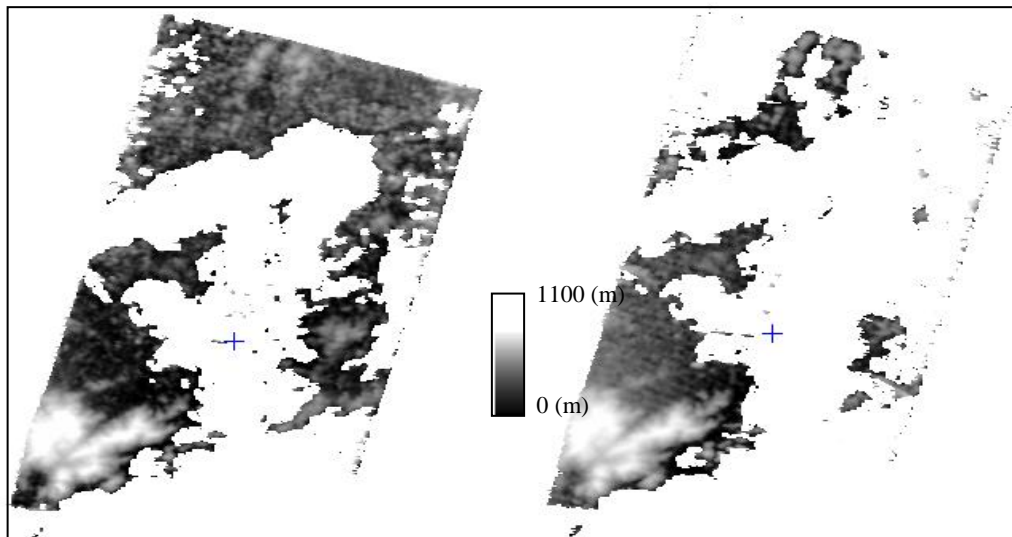
Cabe aqui ressaltar que esses primeiros testes possuem detalhamento médio e resolução da grade equivalente a 25 ou 50 metros. Em todos os testes foram utilizados os mesmos valores para a elevação do terreno (entre 0 e 1100 metros).

**Tabela 14: Testes de 01 a 06 – geração de MDE's RADARSAT 1**

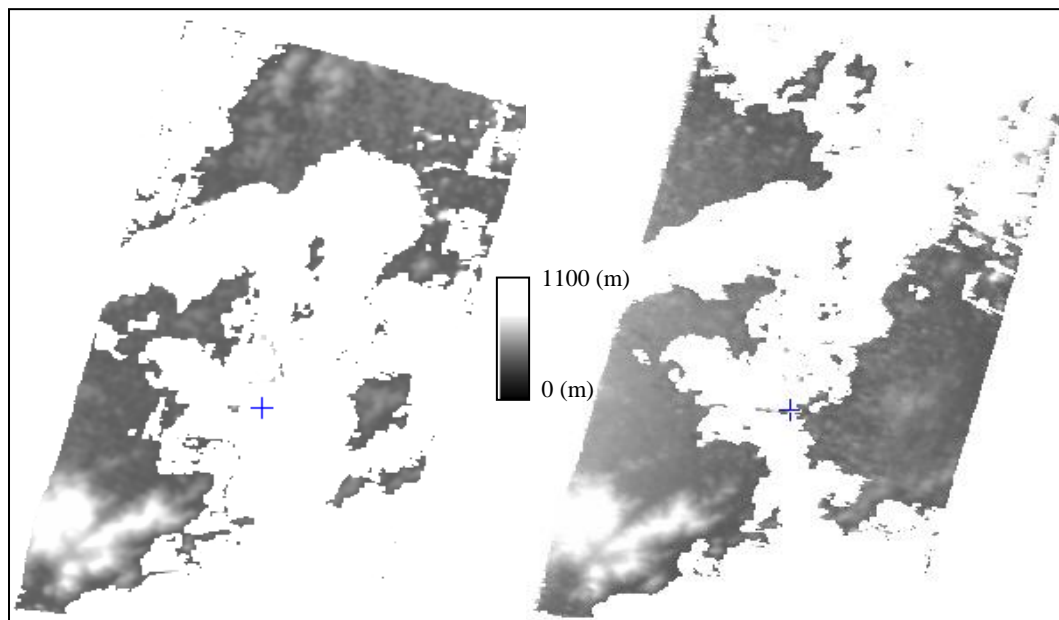
TESTE	PONTOS TOTAIS	PONTOS DE VERIFICAÇÃO	PONTOS DE CONTROLE	RMS (pixel) F2	RMS (pixel) F5	DETALHE	ELEVAÇÃO	RESOLUÇÃO
01	26	03	23	2.82	3.13	médio	0 -1.100 m	25
02	11	02	09	2.90	3.21	médio	0 -1.100 m	25
03	36	03	33	2.80	3.16	médio	0 -1.100 m	25
04	17	4	13	2.60	3.07	médio	0 -1.100 m	25
05	36	1	35	3.96	4.06	médio	0 -1.100 m	50
06	41	0	41	3.72	3.13	médio	0 -1.100 m	50

As figuras 25, 26 e 27 mostram as características dos modelos gerados pelos testes acima. Foram mudadas as localizações dos pontos de controle, bem como, a seleção dos pontos de verificação. Em todos os modelos o valor do Erro Médio Quadrático - EMQ ou *Root Mean Square* - RMS se manteve acima de 2 pixels. Vale lembrar que a recomendação encontrada

na bibliografia consultada orienta para que o valor do EMQ fique abaixo de 2 pixels o que equivaleria a um erro máximo de 12,5 metros para as cenas RADARSAT 1 modo fine.



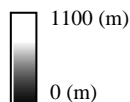
**Figura 25: Testes 1 e 2 – MDE's com 26 e 11 pontos totais respectivamente**



**Figura 26: Testes 3 e 4 – MDE's com 36 e 17 pontos totais respectivamente**

Deve-se considerar que as figuras apresentam áreas com falhas que não possuem informação sobre a elevação obtida, bem como, a altitude 0 para a Baía de Guanabara.





**Figura 27: Testes 5 e 6 - MDE`s com 36 e 41 pontos totais respectivamente**

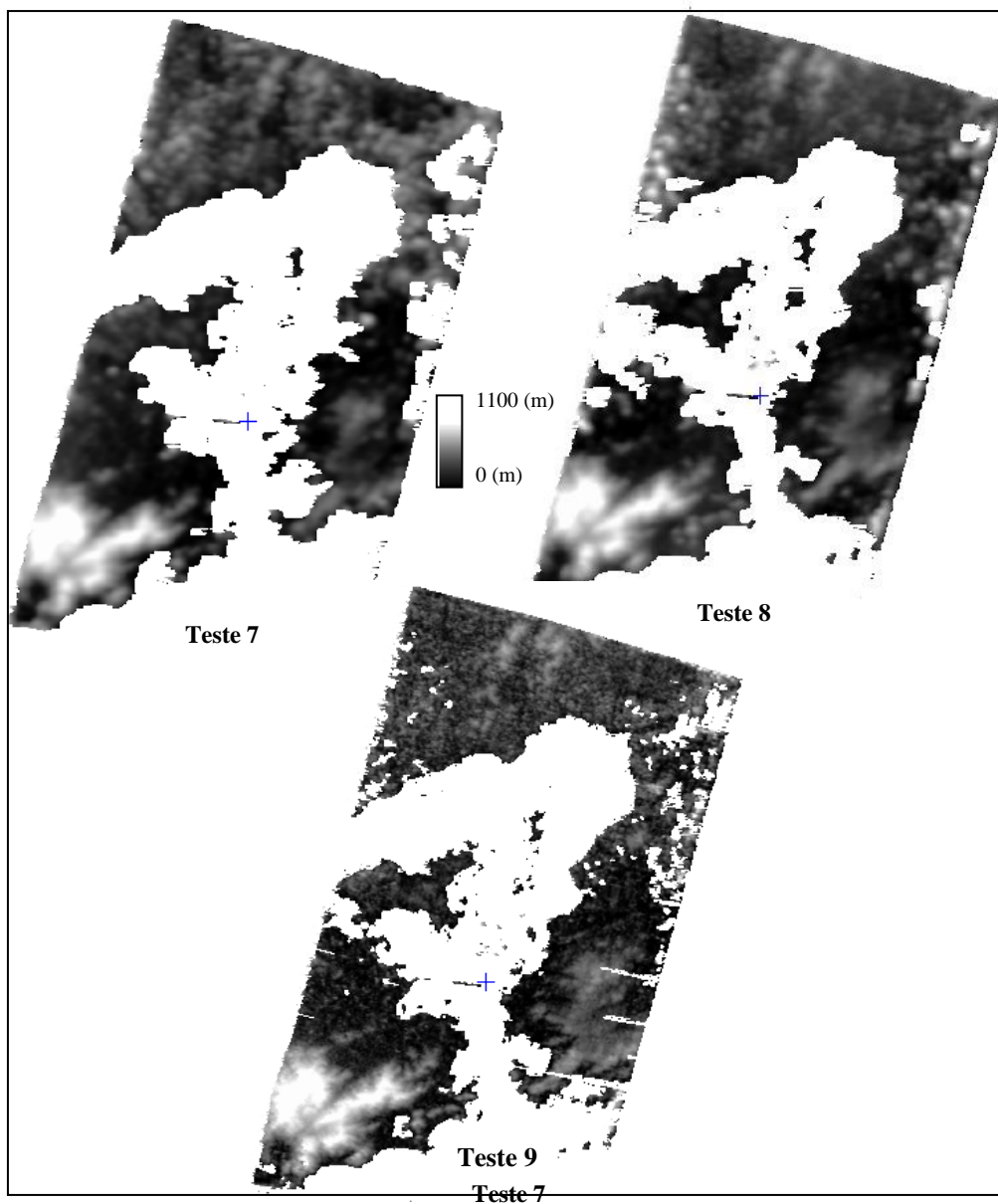
Em todos os modelos gerados as falhas apresentadas cobriam amplas áreas da superfície concentradas ora na porção norte da baía ou nas áreas de mangue, e ainda no município de Niterói, em consequência principalmente do mau posicionamento dos pontos de controle nessas áreas. Esses pontos apresentaram os piores erros durante o processo de seleção dos mesmos sobre as imagens. Esse mau posicionamento é fruto da dificuldade descrita anteriormente em se localizar as feições nessas áreas e inserir corretamente os pontos de controle em suas equivalentes posições no terreno. O ruído presente nas imagens dificultou intensamente esse processo o que ocasionou no início um produto com muitas áreas de falhas. Essa dificuldade é descrita por **SOUSA et al (2001)** ao relatar a enorme dificuldade em gerar um modelo estereoscópico a partir de cenas RADARSAT o que demandou para o autor, várias tentativas de ajuste das coordenadas dos pontos de controle para obter um modelo com a precisão requerida para o estudo.

A tabela 15 e a figura 28 mostram o segundo grupo de modelos gerados. Nesse caso após a melhoria no processo de inserção dos pontos de controle, procurou-se extrair os pontos que eventualmente estariam ocasionando erros na modelagem matemática do modelo em função do mau posicionamento. Por isso cabe ressaltar que os pontos utilizados em todos os testes são os mesmos e as mudanças realizadas referem-se apenas à colocação dos pontos

com maiores erros como pontos de verificação, diminuindo o valor do EMQ em ambas as imagens.

**Tabela 15: Resultados obtidos para os testes 07 ao 09**

TESTE	PONTOS TOTAIS	PONTOS DE VERIFICAÇÃO	PONTOS DE CONTROLE	RMS (pixel) F2	RMS (pixel) F5	DETALHE	ELEVAÇÃO	RESOLUÇÃO
07	55	0	55	3.49	3.11	médio	0 -1.100 m	50
08	55	22	33	1.92	2.12	médio	0 -1.100 m	50
09	55	18	37	1.26	1.33	médio	0 -1.100 m	12.5



**Figura 28: Testes 7, 8 e 9 – todos com 55 pontos totais e diferentes quantidades de pontos de verificação**



Os testes apresentados na figura 28 demonstram melhor resultado que os anteriores em função do melhor posicionamento dos pontos de controle e diminuição do RMS das imagens f2 e f5. Vale ressaltar que o teste 9 apresenta resolução da grade equivalente a 12,5 metros e por essa razão é possível perceber um melhor detalhamento de feições no modelo gerado. Nos três modelos acima é fácil perceber que as falhas encontram-se concentradas na porção leste da área de estudo. Essas falhas estão associadas ainda ao posicionamento dos pontos de controle e a necessidade de maior correlação entre as cenas durante a geração das imagens epipolares. Sobre isso vale enfatizar que durante o processo de correlação entre as imagens é fixado um ponto na imagem da esquerda e é extraída uma janela em volta deste ponto. Dependendo da altitude do ponto no terreno, teremos várias posições possíveis para o mesmo na imagem da direita. São esses pontos que definem a chamada linha epipolar. A janela correspondente na imagem da direita deverá ser procurada ao longo desta linha. O ponto conjugado é encontrado através da determinação da maior correlação entre as “janelas” da esquerda e da direita. Dessa forma constata-se que a correlação se traduz mais uma vez, na necessidade do melhor posicionamento possível do ponto na fase de inserção do mesmo nas cenas. Isso só capaz com a prática do especialista e o refinamento na interpretação e identificação visual das feições. Todos esses testes serviram para confirmar a necessidade de cuidados extremos no momento da inserção dos pontos de controle.

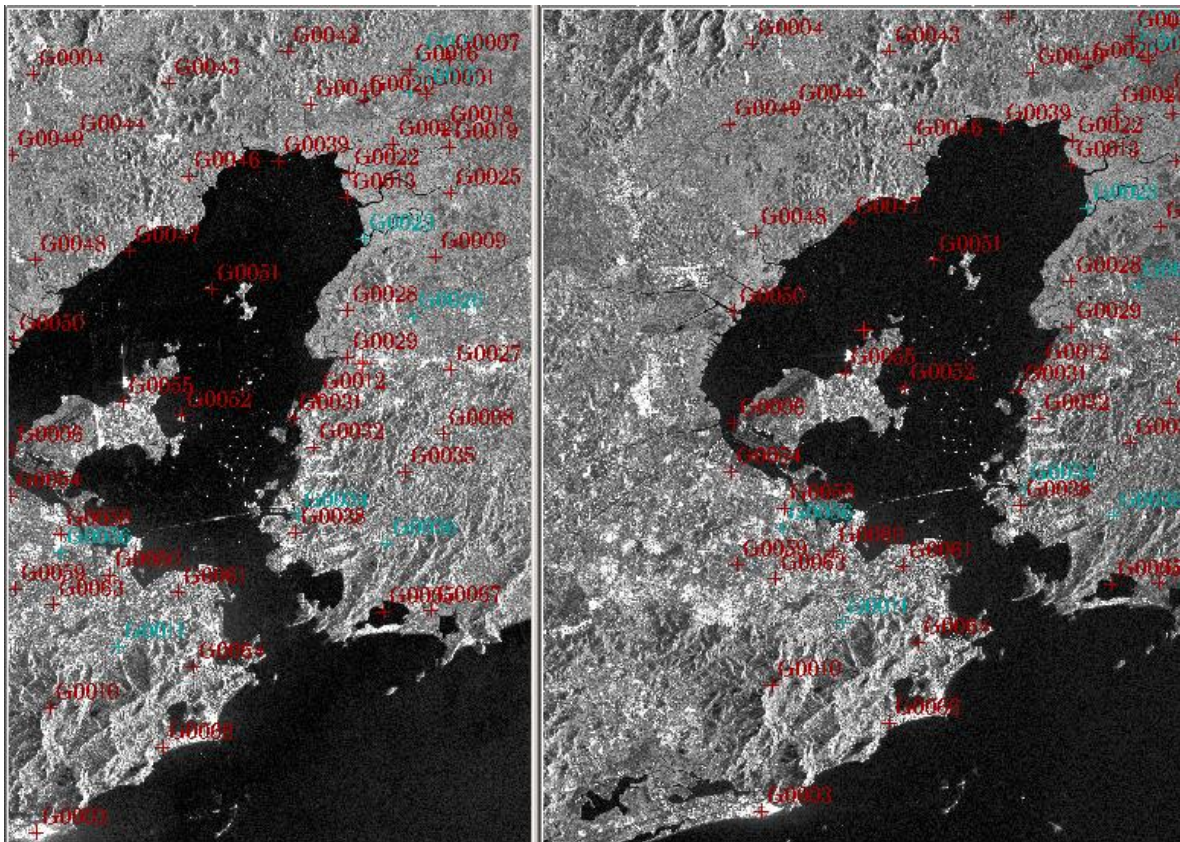
Após a realização desses primeiros testes para verificar a resposta dos modelos com relação à inserção dos pontos de controle, foram feitos novos testes para analisar o melhor resultado quanto ao nível de detalhamento do modelo. Assim, foram gerados dois Modelos Digitais de Elevação com detalhamento médio e alto buscando-se comparar o melhor resultado obtido entre os mesmos.

Em ambos os modelos foram utilizados os parâmetros observados na tabela 16.

**Tabela 16: Parâmetros referentes aos testes 10 e 11**

TESTE	PONTOS TOTAIS	PONTOS DE VERIFICAÇÃO	PONTOS DE CONTROLE	RMS F2	RMS F5	DETALHE	ELEVAÇÃO	RESOLUÇÃO
10	55	08	47	1,97	1,96	médio	0 -1.100 m	50
11	55	08	47	1,97	1,96	alto	0 -1.100 m	50

A figura 29 mostra o espaçamento dos pontos de controle utilizados para os testes acima.



**Figura 29: Especialização dos pontos de controle para análise do nível de detalhamento**

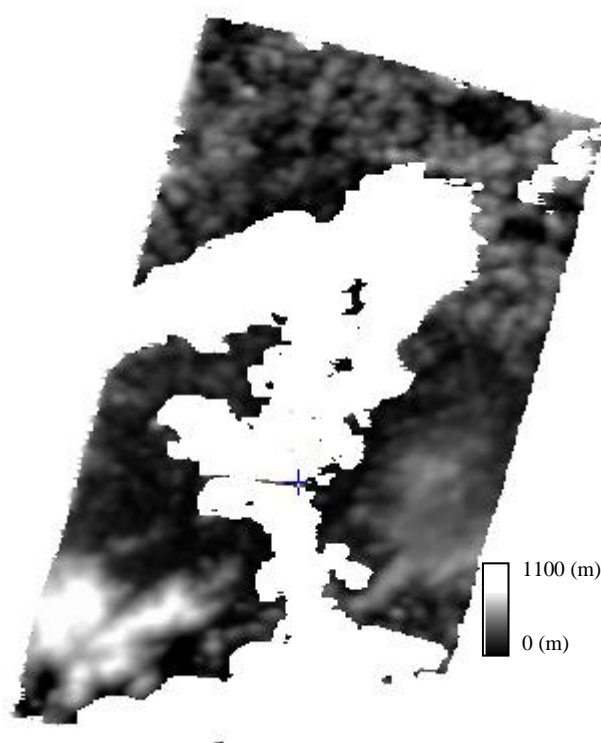
Após a geração dos MDE's foi realizada a análise estatística dos mesmos utilizando os pontos cotados provenientes das cartas 1:10.000 através da função *Surface Spot* no módulo *Spatial Analyst* do software *ArcGIS 9.0*. Essa função extrai a informação referente a elevação do modelo gerado para a tabela de atributos dos pontos e permite realizar o cálculo equivalente ao desvio padrão, média, valor máximo e valor mínimo para o arquivo raster gerado. Para saber os valores de erro foram subtraídos as informações sobre elevação dos MDE's menos os valores de referência dos pontos cotados 1:10.000.

Os resultados encontrados para ambos os modelos podem ser observados na tabela 17 abaixo.

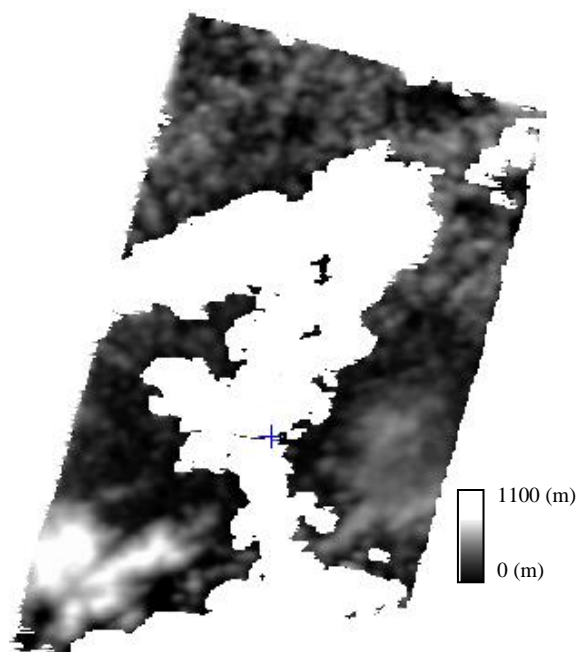
**Tabela 17: Análise de nível de detalhamento**

<b>MDE</b>	<b>Detalhamento</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Média</b>	<b>Erro máximo</b>	<b>Erro Mínimo</b>
Teste 10	Médio	47,6	38,3	183,2	-214,09
Teste 11	Alto	54,8	39,5	281,8	-313,1

Esses resultados confirmam as análises e conclusões obtidas por **COELHO** (2002) durante o procedimento de análise de espaçamento das grades pelos modelos gerados em sua pesquisa. O modelo gerado com detalhamento médio apesar de apresentar valores mais elevados do que os observados na literatura demonstra um melhor resultado com relação ao desvio padrão e a média ao ser comparado ao modelo gerado com detalhamento alto. Os modelos gerados podem ser observados nas figuras 30 e 31.



**Figura 30: MDE gerado com médio detalhamento**



**Figura 31: MDE gerado com alto detalhamento**

O teste seguinte procurou confirmar o melhor resultado obtido entre os modelos com relação ao espaçamento das grades. Dessa forma foram gerados três modelos com valores de grade 12.5, 25 e 50. Os cálculos estatísticos foram igualmente calculados por meio da função *Surface Spot* no módulo *Spatial Analyst* conforme análise anterior. Os resultados podem ser consultados na tabela 18. As figuras 32 e 33 mostram os modelos gerados para os espaçamentos de grade referentes a 25 e 12,5 metros. O modelo equivalente a 50 metros é o mesmo utilizado no teste de detalhamento.

**Tabela 18: Análise de espaçamento de grade**

<b>MDE</b>	<b>Grade</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Média</b>	<b>Erro máximo</b>	<b>Erro Mínimo</b>
Teste 12	12.5	42,06	27,9	279	-294
Teste 13	25	45,52	30,4	359	-434
Teste 14	50	53,0	41,3	399	-473

O modelo com espaçamento de 12.5 obteve melhor resultado em função do menor valor obtido para o desvio padrão e a média dos pontos. Esse resultado novamente confirma as conclusões obtidas por **COELHO** (2002).

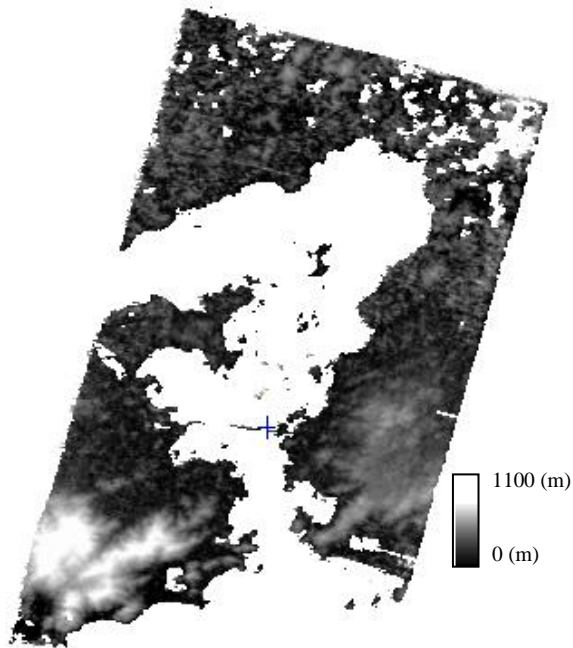


Figura 32: MDE gerado com espaçamento de grade 12,5

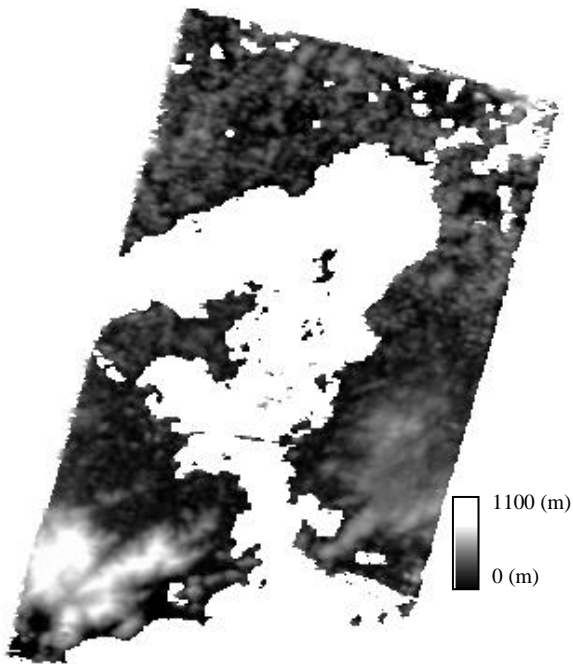


Figura 33: MDE gerado com espaçamento de grade 25

Após a confirmação do melhor modelo quanto ao tipo de detalhamento médio e espaçamento de grade 12.5 foi gerado um último MDE a partir da confirmação dos resultados anteriores, que servisse como referência para as análises planimétrica, altimétrica, declividade e uso do solo. Para a elaboração desse modelo foram feitos novos ajustes dos pontos de controle e o RMS se manteve bem abaixo de 2 pixels. A espacialização dos pontos de controle para geração do modelo pode ser observada na figura 34.

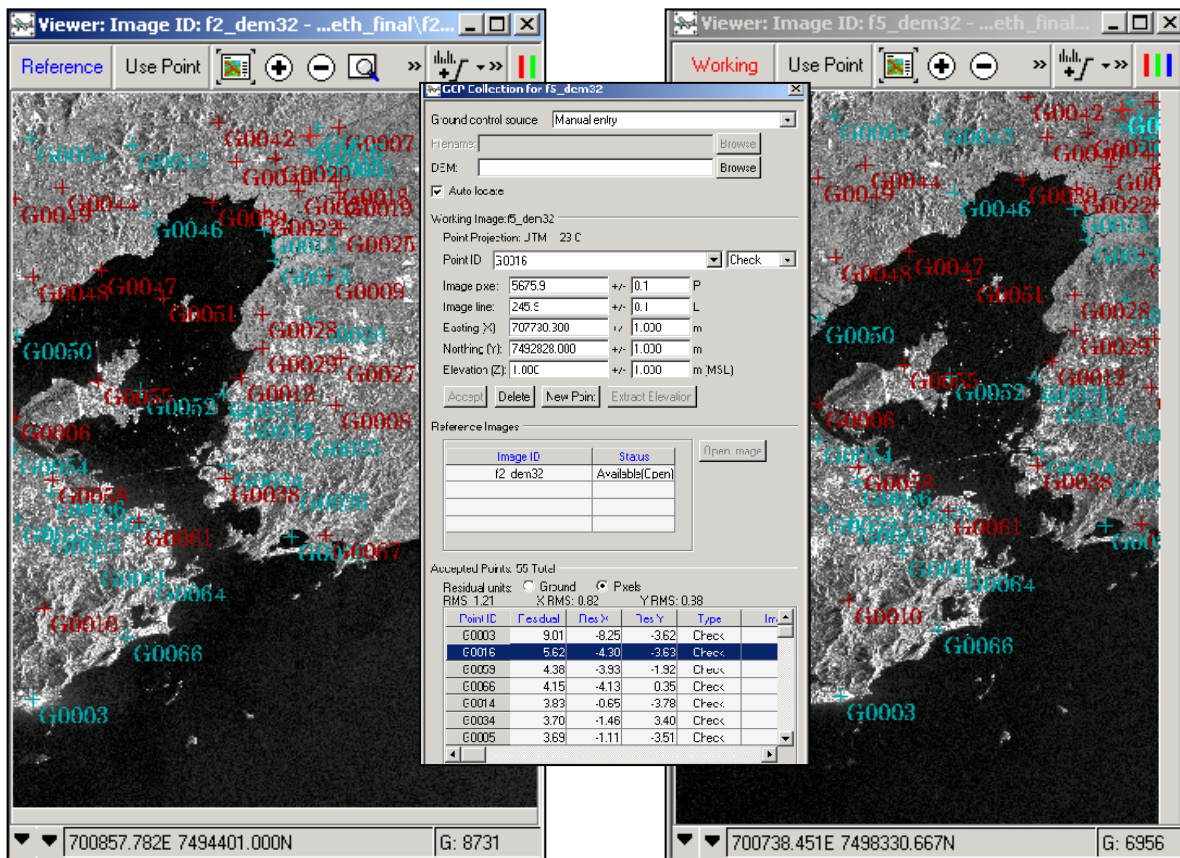


Figura 34: Espacialização dos pontos de controle relativos ao MDE de referência

Os parâmetros utilizados para a geração desse modelo podem ser observados na tabela 19. O RMS se manteve abaixo de 1.5 para ambas as cenas em função do aumento do número de pontos de verificação. O RMS equivalente a cada ponto de controle pode ser consultado no anexo 1.

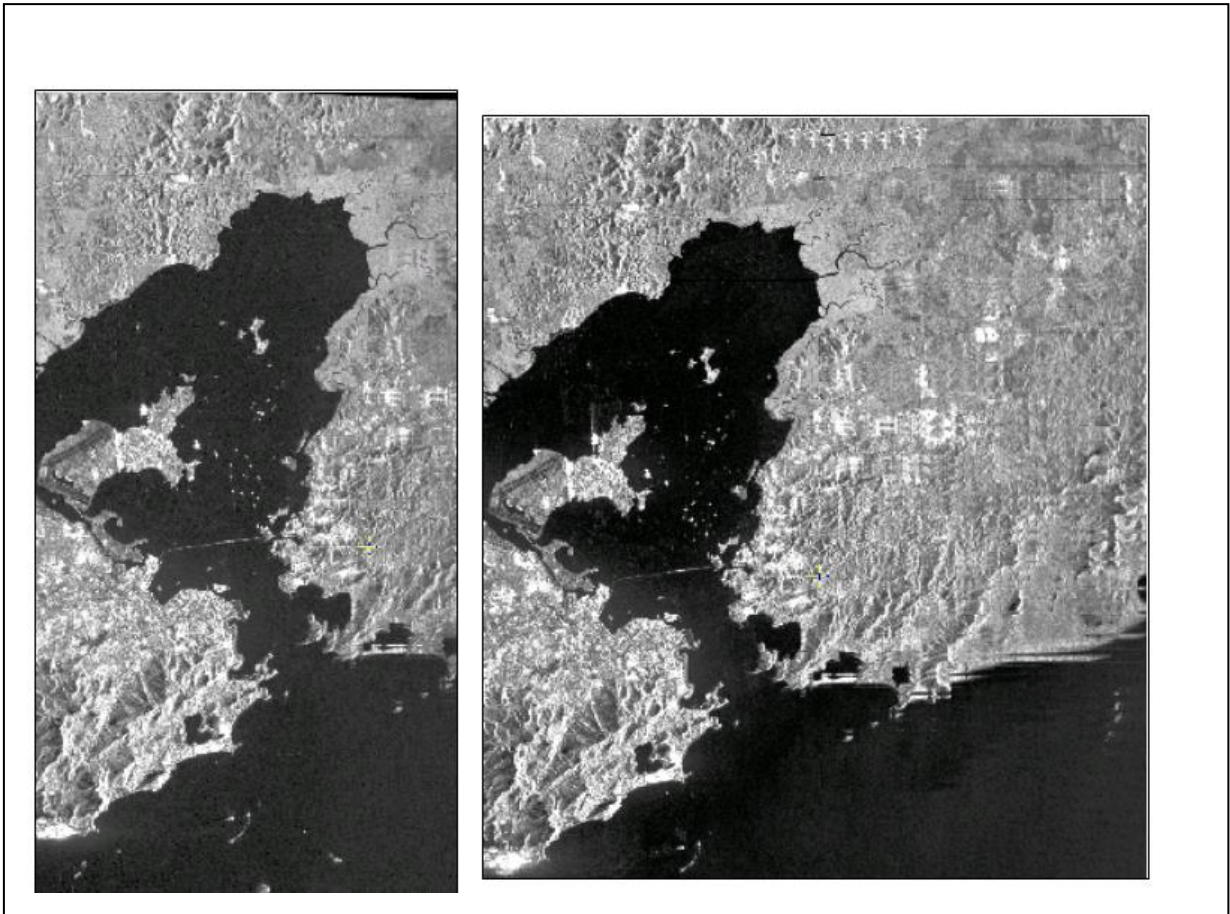
**Tabela 19: Parâmetros finais para geração de MDE de referência**

MDE	PONTOS TOTAIS	PONTOS DE VERIFICAÇÃO	PONTOS DE CONTROLE	RMS F2	RMS F5	DETALHE	ELEVAÇÃO	RESOLUÇÃO
Referência	55	27	28	0,80	1,21	médio	0 -1.100 m	12,5

As imagens epipolares geradas para o MDE de referência podem ser visualizadas através da figura 35. É possível perceber várias falhas geradas no momento da correlação das cenas conforme destaque apresentado nas cenas.

**(A)**

**(B)**



**Figura 35: Imagens epipolares. (A) esquerda (B) direita. Falhas em destaque.**

Essas falhas influenciam diretamente o MDE gerado conforme pode ser visto na figura 36. Apesar disso o MDE apresentou um melhor resultado do que os anteriores, sobretudo, por não apresentar áreas no terreno com falhas grosseiras e ainda por acompanhar as características de elevação do terreno, não gerando áreas com muitas discrepâncias no que diz respeito aos valores máximos e mínimos.



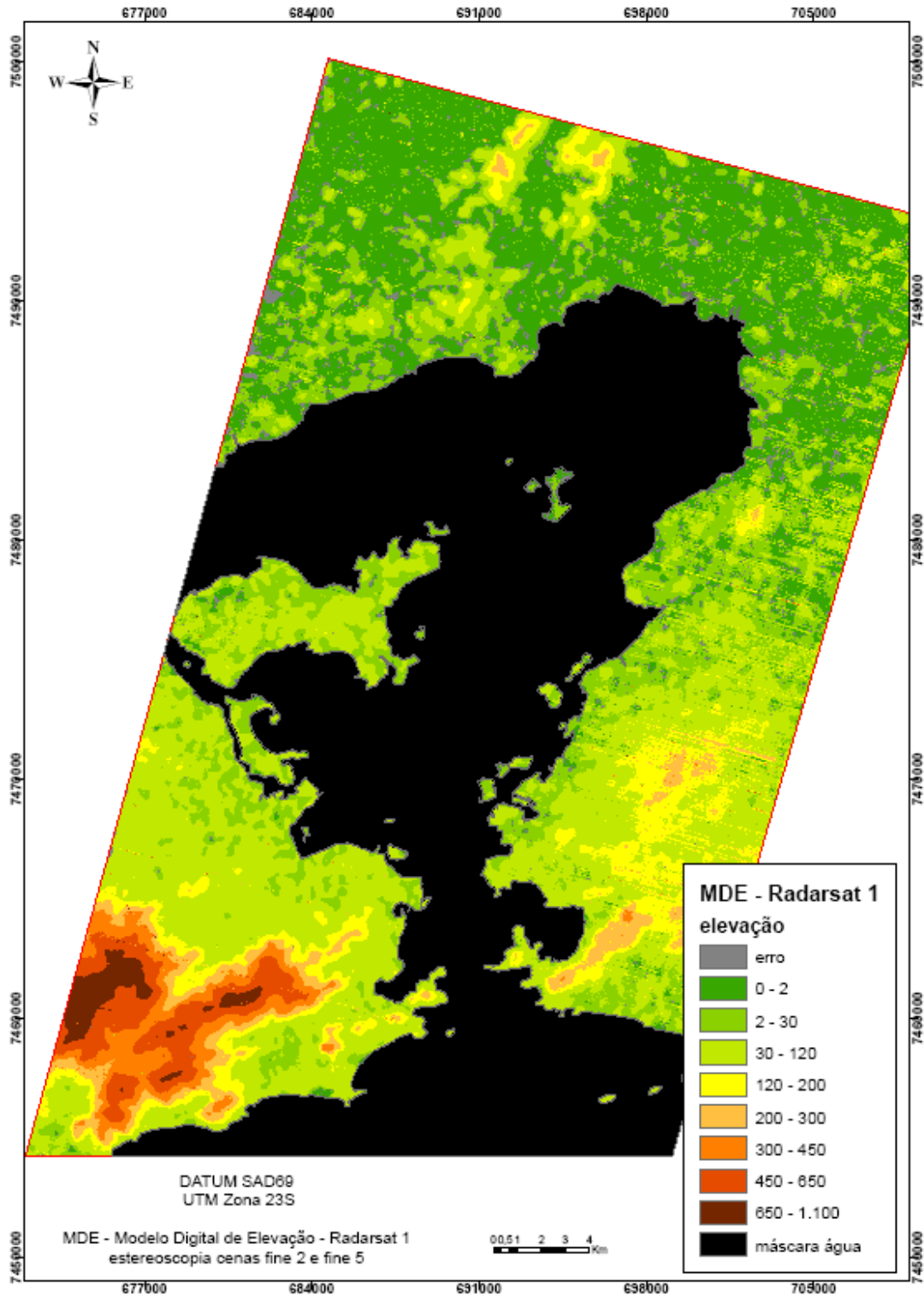


Figura 36: MDE de referência

O modelo mostra de forma bem aparente as feições de relevo mais importantes como o Maciço da Tijuca no município do Rio de Janeiro, o relevo com elevação média entre 0 e 300 metros em Niterói e as áreas planas na porção Norte da Baía, sobretudo as áreas de mangue. Cabe ressaltar que o MDE de referência gerado apresenta formas essenciais do terreno, tais como as montanhas e vales principais. No entanto, pequenos detalhes não são detectados, alguns deles devido à suavização utilizada para eliminar alguns picos presentes inicialmente.

## 5.2 Análise do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) para Mapeamento Temático

Procurando analisar a qualidade do modelo para a geração de cartas topográficas segundo a legislação cartográfica foram feitas análises para verificar a qualidade do MDE gerado no que tange a precisão cartográfica e à análise estatística de probabilidade LE90 e CE90.

Para cada escala cartográfica há um valor máximo para os erros obtidos pelo MDE gerado. Após a seleção dos pontos identificáveis na imagem ortorretificada e nas cartas topográficas utilizadas como referência, foram calculadas as diferenças entre os valores para as coordenadas planimétricas (X e Y) e quantificados os pontos com erros para cada classe segundo as escalas de interesse. Os resultados podem ser observados nas tabelas 20, 21 e 22 e na figura 37.

**Tabela 20: Resultados obtidos para a escala 1:50.000**

Intervalos(m)	Número de pontos	Percentual	Classes
0-25	51	68,93%	A
0-40	68	91,89%	B
0-50	71	95%	C

**Tabela 21: Resultados obtidos para a escala 1:100.000**

Intervalos(m)	Número de pontos	Percentual	Classes
0-50	71	95%	A
0-80	73	98%	B
0-100	73	98%	C

Tabela 22: Resultados obtidos para a escala 1:250.000

Intervalos(m)	Número de pontos	Percentual	Classes
0-125	74	100%	A
0-200	74	100%	B
0-250	74	100%	C

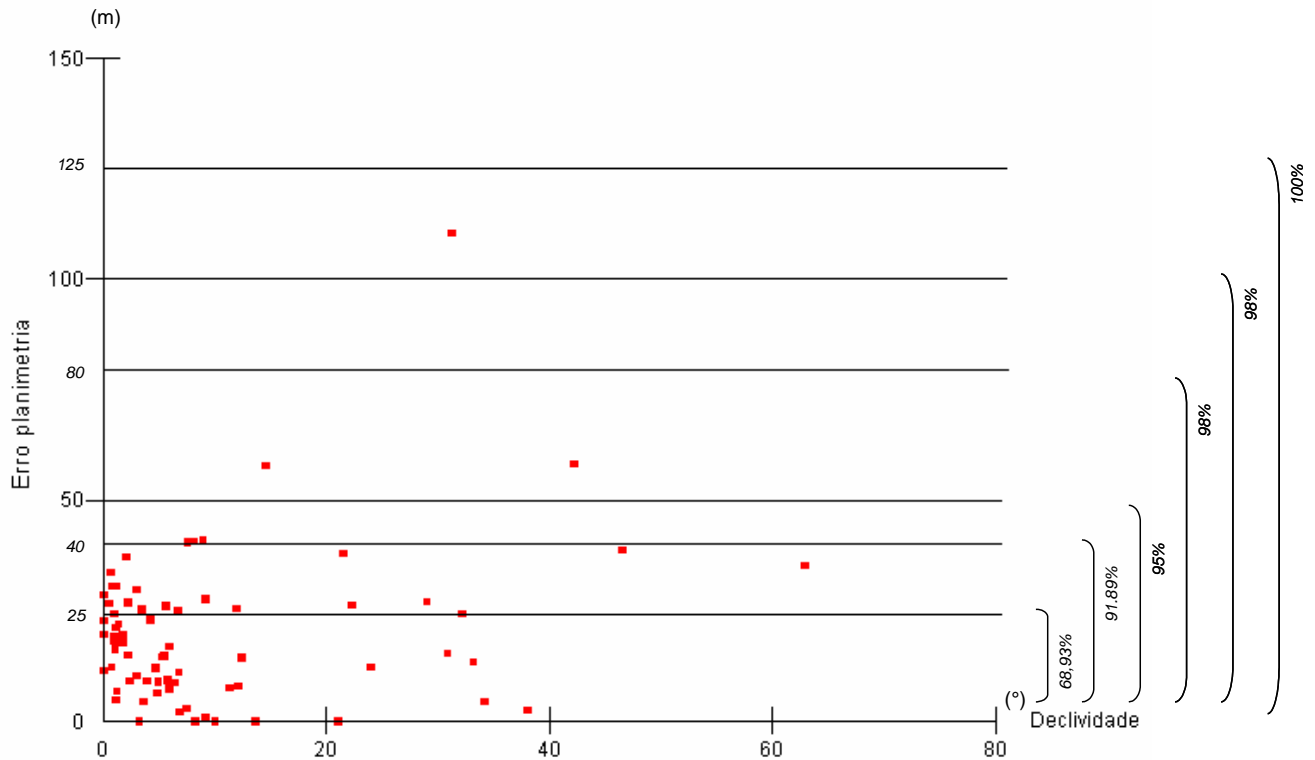


Figura 37: Dispersão pontos - planimetria e declividade segundo classes estabelecidas pelo PEC

Além da avaliação do número de pontos com erros segundo as classes referentes às escalas acima, calculou-se ainda o valor referente ao CE90. Chegou-se aos seguintes resultados:

$$EMQ = \sqrt{\frac{(\sum (X_{radar} - X_{carta})^2 + \sum (Y_{radar} - Y_{carta})^2)}{N - 1}}$$

$$EMQ = 26,01$$

$$CE90 = 2,15 \times \text{Erro Médio Quadrático (EMQ)}$$

$$CE90 = 2,15 \times 26,01$$

$$CE90 = 55,93$$

Na tabela 23 é possível observar o resultado obtido para a análise planimétrica da imagem RADARSAT modo *fine 5* após a ortorretificação com o MDE de referência, referente ao CE90.

**Tabela 23: Análise planimétrica cena fine 5 eferente ao CE90**

Pontos Notáveis	EMQ (m)	CE90 (m)
74	26.01	55,93

O resultado observado demonstra que o produto fica bem perto da classe B para a escala 1:50.000 tendo em vista que o EMQ obtido equivale a 26,01m e essa escala exige um erro máximo de 40 metros para 90% dos pontos. Além disso, a análise mostra que 68 dos 74 pontos (cerca de 91,89%) estão dentro dessa classe. Esse resultado, porém não expressa a realidade observada para toda a área, sobretudo aquelas com relevo montanhoso, uma vez que poucos pontos puderam ser coletados nessas áreas. Esse aspecto é justificado pela dificuldade em se identificar pontos nos terrenos montanhosos. Sendo assim esse resultado mostra que o MDE gerado a partir de imagens RADARSAT 1 modo fine apresenta boa qualidade para terrenos com baixas elevações podendo atender à classe B da escala 1:50.000. A bibliografia mostra que esses produtos geralmente atendem a classe A da escala 1:100.000. Acredita-se que com uma coleta específica de pontos para verificação em áreas com maiores altitudes pode indicar um atendimento do produto em consenso com a bibliografia. Ou seja, deve atender a classe A ou B da escala 1:100.000. Isso pode ser confirmado ainda pelo fato do ponto com maior elevação apresentar o maior erro no que tange ao conjunto de pontos utilizados.

Vale ressaltar mais uma vez que a qualidade dos erros na ortorretificação da cena *fine 5*, expressa através do EMQ (X e Y), é extremamente dependente da precisão obtida pela plotagem dos pontos de controle e conseqüentemente das características do MDE no

processo de correção geométrica da mesma. Isso confirma ainda que a seleção dos pontos realizada para a geração do MDE de referência alcançou um bom resultado.

Para análise da altimetria os mesmos procedimentos foram realizados. Utilizou-se os pontos cotados da área de entorno para realizar a diferença de altitude e posteriormente quantificar o número de pontos para cada classe. Os resultados podem ser observados nas tabelas 25 e 26 e nas figuras 38 e 39 que apresentam um detalhamento para cada escala cartográfica. Após o cálculo do LE90 chegou-se aos seguintes resultados:

$$EMQ = \sqrt{\frac{\sum (Z_{radar} - Z_{carta})^2}{N - 1}}$$

**EMQ = 30,68**

$$LE90 = 1,6449 \times \text{Erro Médio Quadrático (EMQ)}$$

$$LE90 = 30,68 \times 1,6449$$

**LE90 = 50,47**

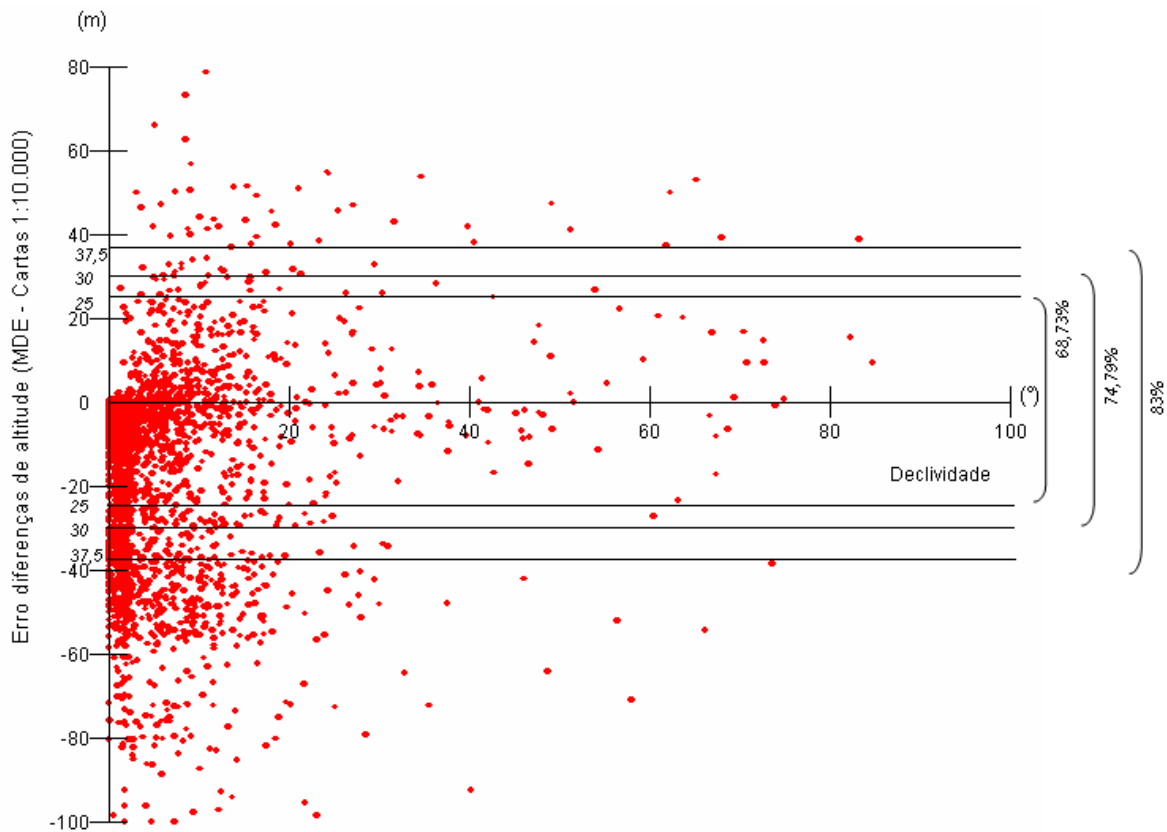
Na tabela 24 é possível observar o resultado obtido para a análise altimétrica do MDE final utilizado como referência os pontos cotados oriundos das cartas 1:10.000 no que se refere ao LE90.

**Tabela 24: Análise altimétrica referente ao LE90**

Pontos Notáveis	EMQ (m)	LE90 (m)
10883	30,68	50,47

O PEC estabelece com relação à altimetria que 90% dos pontos de controle não deverão apresentar erro superior ao PEC altimétrico estabelecido conforme equidistância das curvas para cada escala cartográfica. Baseado nesse parâmetro foi quantificado o número de pontos dentre os 10883 pontos cotados provenientes das cartas e utilizados como referência que atendem a essas especificações. As figuras 38 e 39 apresentam essas informações segundo parâmetros estabelecidos para as escalas 1:250.000 e 1:100.000. Os resultados obtidos para a escala 1:100.000 estão visíveis na tabela 25 e na figura 38.

Cabe ressaltar que objetivando uma melhor visualização do gráfico foram excluídos os pontos com erros acima de 100 metros. No entanto para o cálculo das porcentagens todos os pontos estão inseridos.



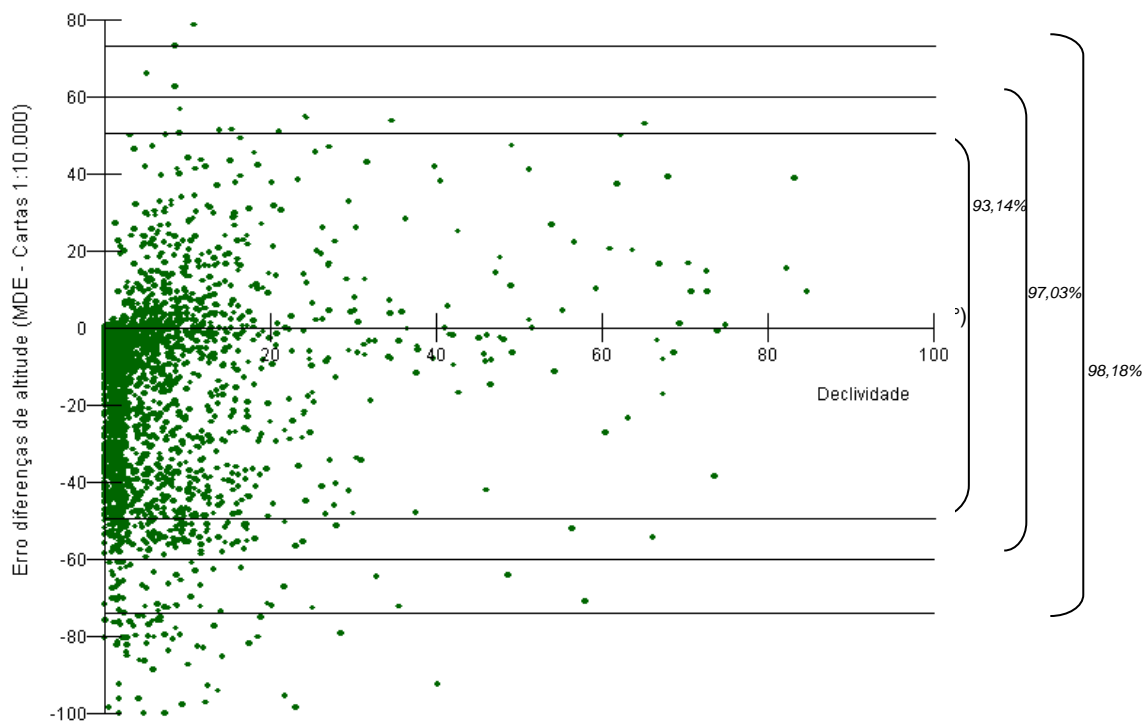
**Figura 38:** Gráfico de dispersão com destaque para o PEC relativo às cartas 1:100.000

**Tabela 25:** Quantidade e percentual de pontos segundo intervalos de diferenças de altitude, separados segundo PEC 1:100.000

Intervalos(m)	Número de pontos	Percentual	Classes
0-25	7480	68,73%	A
0-30	8140	74,79%	B
0-37.5	9033	83,00%	C

O modelo gerado se aproxima das especificações necessárias para atender a classe C da escala 1:100.000 no que diz respeito a altimetria, possuindo 83 % dos pontos com erros relativos a diferença altimétrica em até 37,5 metros.

A figura 39 e a tabela 26 mostram o resultado alcançado dessa vez tendo como referência a escala 1:250.000. Nesse caso o produto atende perfeitamente a classe A dessa escala. Esse resultado se aproxima muito dos resultados observados na bibliografia consultada, principalmente nas pesquisas realizadas por **PARADELLA et al** (2005).



**Figura 39:** Gráfico de dispersão para a escala 1:250.000 – diferença de elevação e declividade

**Tabela 26:** Quantidade e percentual de pontos segundo intervalos de diferenças de altitude, separados segundo PEC 1:250.000

Intervalos(m)	Número de pontos	Percentual	Classes
0-50	10137	93,14%	A
0-60	10560	97,03%	B

0-75	10685	98,18%	C
------	-------	--------	---

### 5.3 Análise de correlação do MDE quanto à declividade e uso do solo

Dando continuidade aos processos em desenvolvimento, foi então gerado o Mapa de Declividade a partir do MDE de referência no Software *ArcGIS* função *Slope* do Módulo *Spatial Analyst*. Os pontos cotados provenientes das cartas topográficas 1:10.000 foram utilizados para identificação do tipo de declividade respectiva a cada valor de altitude. Nesse procedimento realizou-se o processo de extração de informação para a tabela de atributos dos pontos por meio da função *Surface Spot* do *ArcGIS* 9.0, repetindo-se novamente os procedimentos realizados para análise planialtimética. O mapa gerado pode ser observado na figura 40.



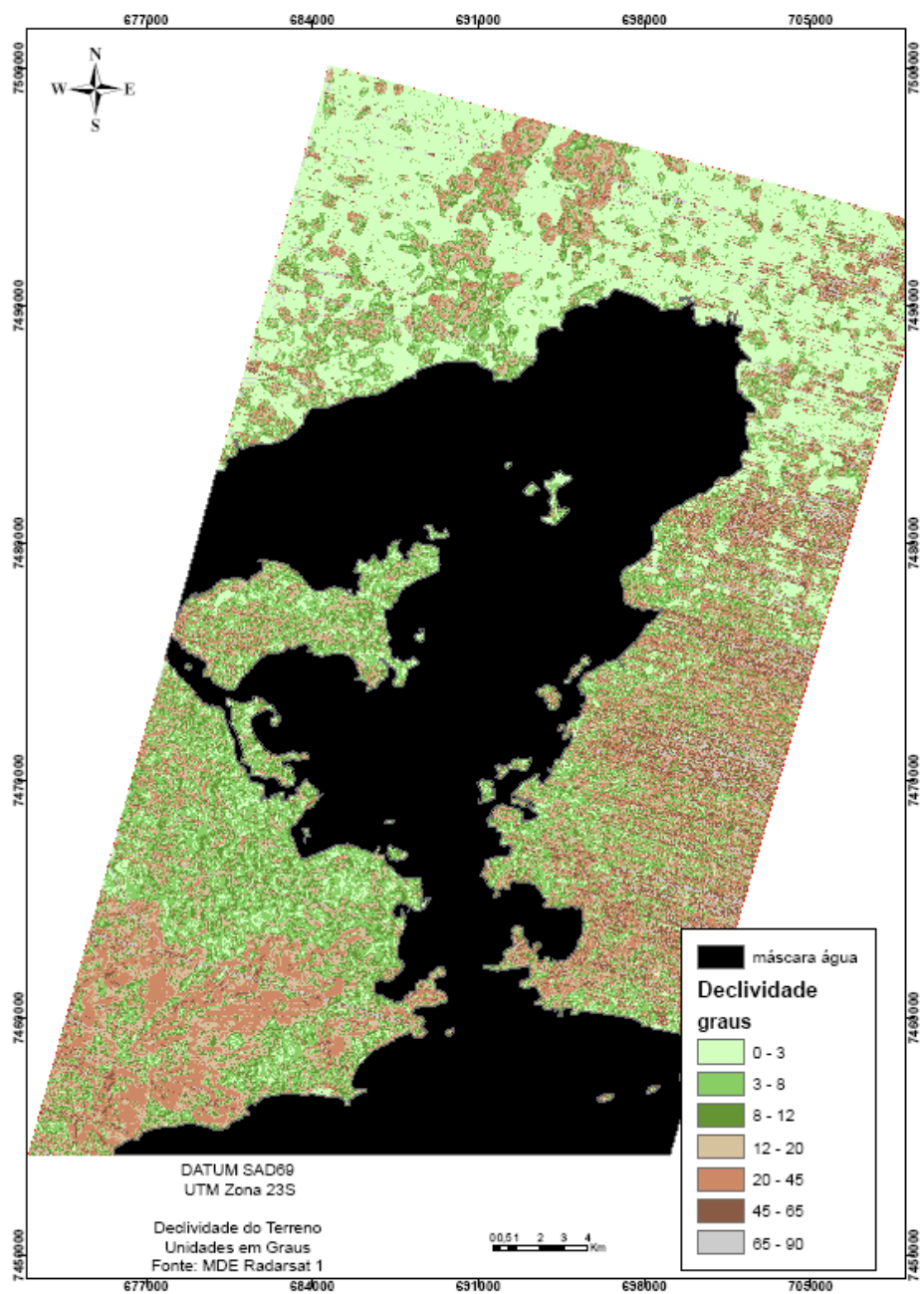


Figura 40: Mapa de declividade gerado a partir do MDE de referência

Observando-se o número total de pontos e os respectivos valores de declividade observa-se a seguinte relação conforme tabela 27.

Tabela 27: Pontos cotados e tipos de declividade na área de estudo

Declividade (°)	Número de pontos	Porcentagem	Tipo de Declividade
-----------------	------------------	-------------	---------------------

0-3	3915	35,98%	plano
3-8	2129	19,56%	suave ondulado
8-20	2618	24,05%	ondulado
20-45	1534	14,09%	forte ondulado
>45	687	6,31%	Escarpado ou montanhoso

As áreas com declividade acima de 20° (2221 pontos) consideradas como classes de terreno fortemente ondulado ou escarpadas, apresentaram 90% dos pontos com erro em torno de 45,68m após análise do LE90. Por outro lado as áreas com declividade abaixo de 25° (8662 pontos) apresentaram erro de 25,45m o que confirma a hipótese da ocorrência dos maiores erros associada às maiores declividades do terreno.

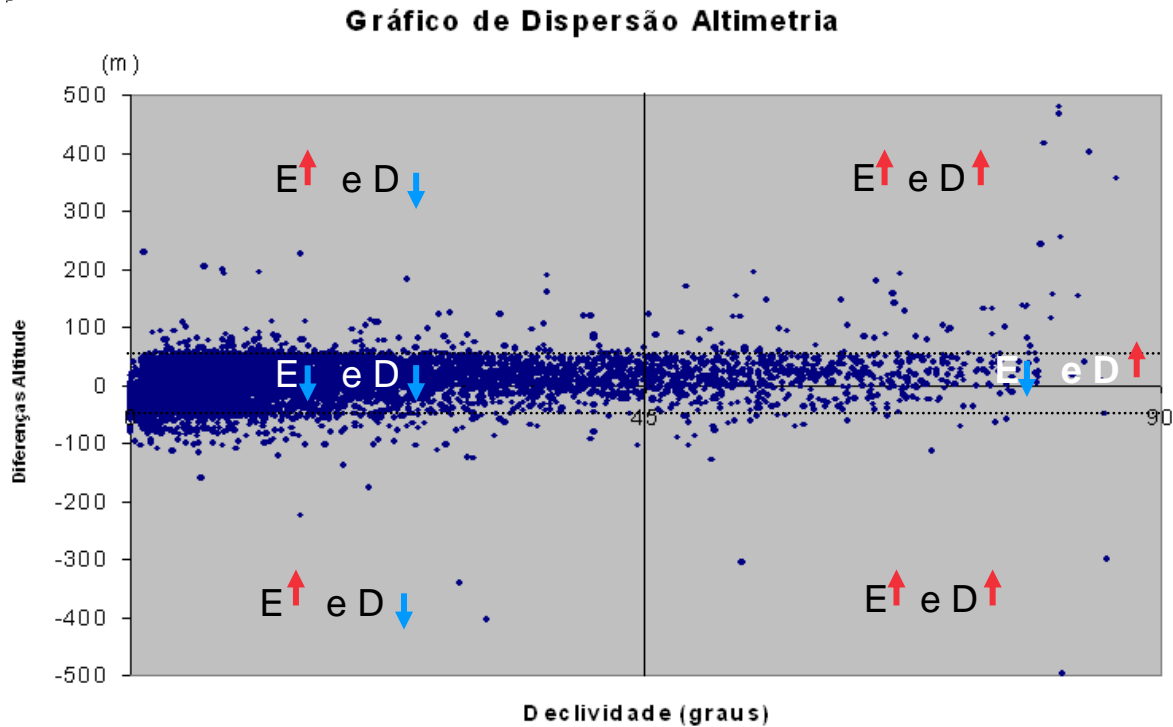
A maior concentração dos pontos cotados aparece em declividades de até 45° (figura 41) e, confirmando os resultados apresentados anteriormente os pontos com maiores erros estão destacados nas áreas com maior declividade, ou seja, acima de 45 graus. Onde:

E: Erro baixo (diferenças de altitude MDE RADARSAT e Cartas topográficas 1:10.000)

E: Erro alto (diferenças de altitude MDE RADARSAT e Cartas topográficas 1:10.000)

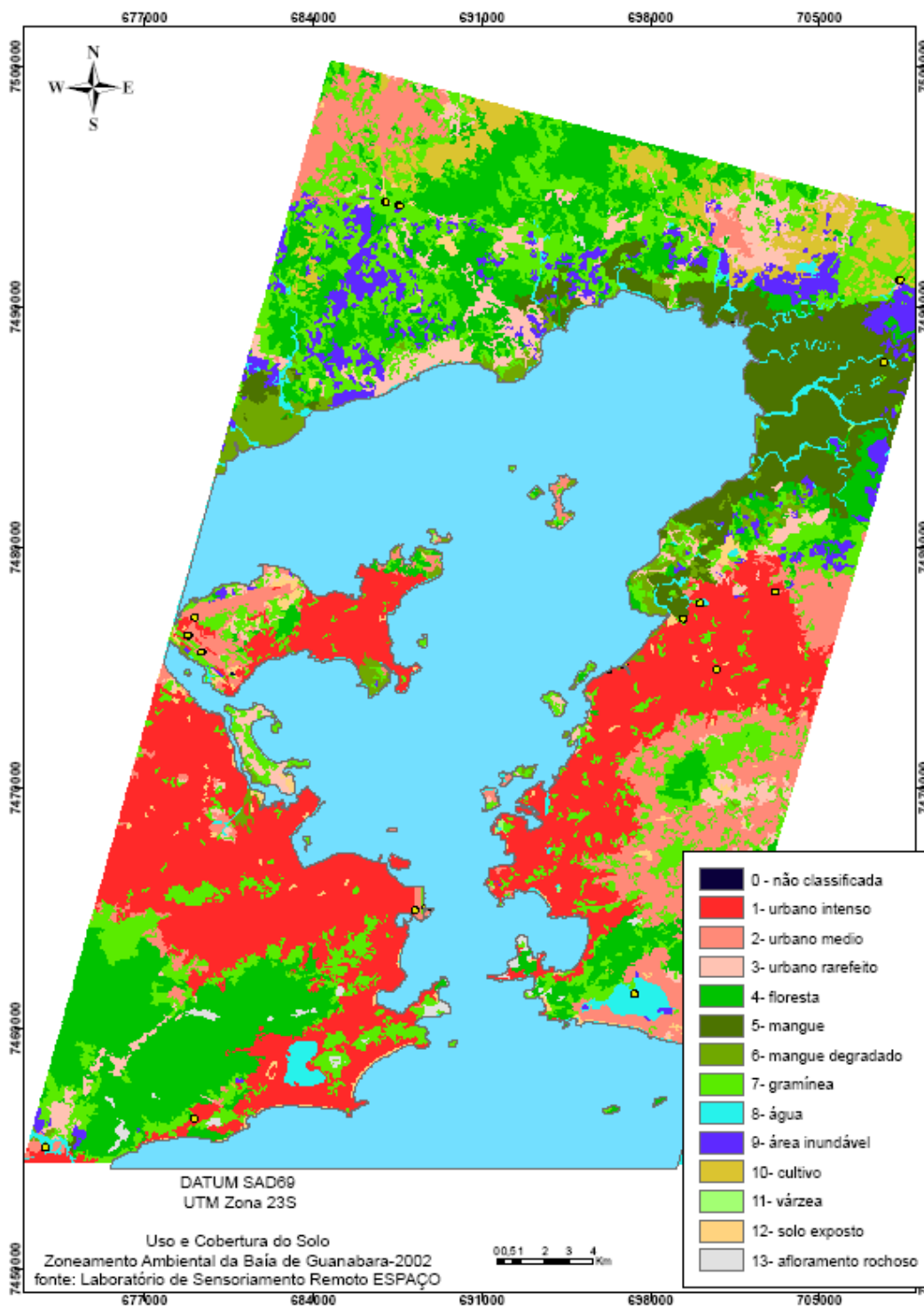
D: Declividade baixa

D: Declividade alta



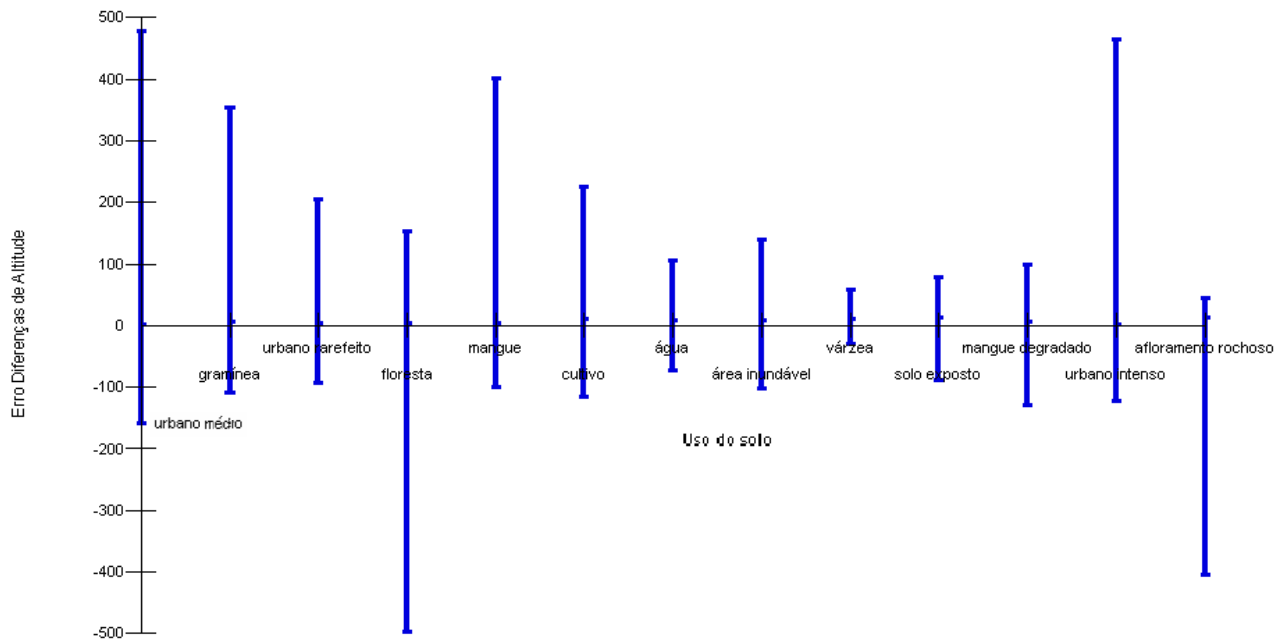
**Figura 41: Gráfico de Dispersão para declividade e Erro (diferenças de altitude).**

Com relação ao tipo de uso do solo a pesquisa procurou observar se haveria alguma correlação entre erros gerados para o modelo e o tipo de cobertura e atividade antrópica existente na área de estudo. O mapa utilizado nessa análise pode ser visto na figura 42. Ele demonstra claramente a presença marcante das áreas de intensa urbanização nos municípios de Niterói e Rio de Janeiro e ainda o mangue na porção nordeste do mapa. Foram extraídas para a tabela de atributos dos pontos cotados (em ambiente *ArcGIS* 9.0) as informações referentes ao uso e posteriormente, realizadas as análises estatísticas. Os resultados podem ser observados na figura 43 e na tabela 28.



**Figura 42: Uso e cobertura do solo obtida pelas imagens Landsat 7 durante o desenvolvimento do projeto de Zoneamento Ambiental da Baía de Guanabara - 2002**

**Fonte: Laboratório de Sensoriamento Remoto ESPAÇO**



**Figura 43:** Uso do solo - erros máximo e mínimo para cada classe de uso do solo

**Tabela 28:** Uso do solo e valores de diferença altimétrica máxima e mínima

<b>Tipo de Uso</b>	<b>Erro máximo absoluto</b>	<b>Erro mínimo absoluto</b>	<b>EMQ</b>
Urbano intenso	465	-122	32,29
Urbano médio	479	-159	34,79
Urbano rarefeito	204	-93	24,20
Floresta	152	-496	34,96
Mangue	401	-99	23,63
Mangue degradado	98	-129	26,86
Gramínea	355	-108	27,7
Água	106	-72	24,2
Área inundável	139	-102	23,4
Cultivo	224	-114	27,48
Várzea	57	-30	22,07
Solo exposto	78	-88	25,20
Afloramento Rochoso	45	-404	127,07

Os erros com relação à diferença altimétrica para as classes de uso do solo apresentaram um valor máximo de aproximadamente 500 metros observáveis nas classes afloramento rochoso e urbano intenso. Dessa forma, os maiores erros absolutos aparecem nas classes

floresta, urbano intenso e urbano médio seguido da classe afloramento rochoso. Por outro lado, áreas de várzea, solo exposto e corpos d'água apresentaram os menores erros e conseqüentemente os melhores resultados. Com relação ao desvio padrão novamente as áreas alagadas (várzea) apresentaram o melhor resultado seguido ainda das áreas inundáveis e mangue. A classe afloramento rochoso apresentou um resultado bem distante dos valores médios observados pelas outras classes (127,07) o que pode ser explicado pelo fato da classe estar concentrada no alto do maciço da Tijuca e essa área apresentar os piores resultados em função das altitudes mais elevadas.

## VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho foram analisadas as potencialidades das imagens Radarsat por meio do software *OrthoEngine v10*, desenvolvido pela empresa canadense *PCI Geomatics* para a geração de MDE's por estereo-correlação automática de pares estereoscópicos de imagens e posteriormente traçado um panorama de correlação dos erros com relação a declividade, uso do solo e exigências para atendimento a legislação cartográfica. A área de estudo representa peculiaridades importantes, pois apresenta relevo misto (passando de áreas planas até relevo montanhoso com 1100 metros), bem como diferentes tipos de uso do solo.

Após vários testes para um par do modo fine obteve-se um MDE com boa representação das formas de relevo e LE90 de 50,47 metros, possibilitando a produção cartográfica à escala 1:250.000, classe A, chegando bem próximo da classe C para escala 1:100.000.

Este estudo permitiu evidenciar as potencialidades dos pares estereoscópicos Radarsat para suprir a falta de informação cartográfica e temática em zonas mal cartografadas em escalas 1:100.000 e inferiores, o que é muito importante, se pensarmos que há uma grande extensão territorial sem mapeamento no país.

Tratamento das imagens: a fase relativa ao pré-processamento das imagens se mostrou simples para realização e administração consolidando a utilização do software *PCI Ortoengine* como uma boa ferramenta para o tratamento dessas imagens e posterior geração de MDE's. Sugere-se que futuros trabalhos busquem avaliar o Software *Spring* para a geração de pré-processamento e geração do MDE. O INPE está constantemente realizando atualizações no *Spring* para que a comunidade científica possa aproveitar a sua vantagem de gratuidade e boa interface. Há um grupo de especialistas que estão dispostos a colaborar para dirimir possíveis dúvidas e atualmente já realizam alguns processos importantes com imagens de radar: mapeamento de uso do solo, georreferenciamento, e etc.

No que tange ao processo de geração dos modelos é fundamental aprimorar o processo de seleção dos pontos de controle em função deste influenciar diretamente o resultado obtido pelo MDE. Há uma enorme dificuldade no processo de seleção dos pontos de controle e cabe ao usuário aprimorar através da identificação de feições no terreno sua percepção sobre o correto posicionamento dos pontos. Para avaliar a qualidade planimétrica

do produto é importante selecionar pontos de análise nas áreas mais elevadas do terreno, o que permitiria uma visão em todas as classes de terreno, do mais plano ao mais escarpado. Além disso, cabe ressaltar a importância da coleta de pontos de controle durante a geração do MDE que é uma vertente importante para o modo genérico e que não deixa de ser uma questão relevante para o modelo específico.

A geração de um MDE para além da área de estudo utilizada em **COELHO** (2002) permitiu consolidar o trabalho desenvolvido pela autora, bem como, delimitar novas perspectivas tais como a avaliação do produto quanto ao erro planialtimétrico.

Com relação à análise do Padrão de Exatidão Cartográfica dos produtos seguiram-se as recomendações estabelecidas pela legislação cartográfica vigente. Embora essas diretrizes sejam constantemente questionadas e discutidas pelos mais variados especialistas (com relação à necessidade de atualização e esclarecimento das normas), todos os procedimentos adotados estão de acordo com as normas. Essas análises confirmaram os resultados obtidos pelos trabalhos anteriormente desenvolvidos em escala nacional ou internacional. Sobretudo as análises referentes à altimetria do produto sugerem sua aplicação voltada a escala cartográfica 1:100.000, enquanto que a análise planimétrica às escalas 1:50.000 ou 1:100.000. Nesse caso cabe ressaltar que poucos pontos em área de relevo montanhoso foram utilizados na análise o que nos direciona a aferir que os resultados obtidos como expressão de um relevo menos acidentado.

No que diz respeito aos parâmetros utilizados é importante enfatizar que foram considerados os resultados obtidos pelo especialista **COELHO** (2002), **OLIVEIRA** (2005) tais como: tipo de filtro, distribuição dos pontos, nível de detalhamento, resolução e espaçamento das grades e modelo matemático utilizado. Cabe destacar que esse último, apesar de **OLIVEIRA** (2005) destacar um melhor resultado para o MDE gerado a partir da modelagem *Toutin*, foi adotado para essa pesquisa o modelo específico Radarsat pelo questionamento acerca do desempenho do produto uma vez que **COELHO**(2002) desenvolveu seu estudo utilizando o modo *Toutin* (genérico). Infelizmente o trabalho não permite muita comparação entre os artigos mas é importante destacar que o modelo gerado pelo modo específico apresentou um número muito menor de falhas se comparado ao resultado obtido pelo modo genérico.



A interpretação dos dados segundo o tipo de declividade ressalta a discussão anterior. Os pontos cotados presentes nas áreas com relevo mais elevado e conseqüentemente maior declividade, apresentam os maiores valores de erro quando calculadas as diferenças entre os produtos. Sugere-se a coleta de mais pontos nessas áreas para uma análise com maior precisão.

Quanto à análise uso do solo é importante considerar as características peculiares do radar com, por exemplo, a sensibilidade às características dielétricas dos alvos o que afeta diretamente a qualidade visual das imagens. Sugere-se que em futuros trabalhos seja feita uma análise mais detalhada da resposta dada pelas imagens de radar no que diz respeito ao uso e cobertura do solo para a área de estudo, traçando uma correlação com o tipo de declividade e relevo da área.

A apropriação dessa ferramenta é um grande passo para os estudos de cunho geográfico, sobretudo pela possibilidade de geração de mapas derivados de qualidade compatível com escalas de médio a alto detalhe. A Geografia cada vez demanda conhecimento sobre aspectos específicos como, por exemplo, declividade, aspecto entre outras informações, que podem ser obtidas por fontes alternativas como as imagens de radar em complementação as tecnologias já consagradas tradicionais.

Com o advento de novos sensores radar, conhecer o mecanismo de funcionamento e os benefícios das imagens de radar tornou-se uma alternativa considerada relevante por vários órgãos que utilizam geotecnologias em suas pesquisas. Como exemplo importante cita-se o IBGE que hoje já possui vários especialistas estudando e desenvolvendo pesquisas com essas ferramentas (inclusive geógrafos), a EMBRAPA, o IME e o próprio Exército Brasileiro que já dispõem de especialistas em radargrametria na geração de mapeamentos a partir de imagens de radar. O desenvolvimento do satélite MAPSAR consolidando uma parceria entre Brasil e Alemanha demonstra a importância dessa ferramenta para os pesquisadores envolvidos com geociências no país.

## VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**ABRAHÃO, E. P; CORREIA, J. D.** (2005) Sistema de pontos de controle geométrico de imagens orbitais do IBGE, versão 1.0 In: *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3953-3960.

**AHUMADA, R.B.; RUDOLPH, A.G & MARTINEZ, V.M.** (1983) Circulation and fertility of waters in Concepcion Bay. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, n.16, p. 95-105. 1983

**ALCÂNTARA & WASHINGTON, D.C.** (1989) An analytical synoptic – dynamic study about the severe weather event over the city of Rio de Janeiro on Jan 2, 1987. In: *MAGOON, O. & NEVES, C. (Eds), Coastlines of Brasil.* New York, American Society of Civil Engineers,. 290 p. p. 195-204.

**ALLEVATO, S. R.** (1979) Memória central do projeto Radambrasil. *Revista Brasileira de Cartografia*, Rio de Janeiro, n. 25, p. 31-36.

**AMADOR, E.S.** (1997). Baía de Guanabara e ecossistemas periféricos: Homem e natureza. Reproarte Gráfica e Editora Ltda, Rio de Janeiro. 539p.

**ASMUS, H.E & FERRARI, A.L.** (1978) Hipóteses sobre causa do tectonismo cenozóico na região sudeste do Brasil. In: *Aspectos estruturais da margem continental leste e sudeste brasileira.* Série Projeto REMAC, Rio de Janeiro. v.4, p.75-88

**ATWATER, B.F.** (1979) Ancient processes at the site of Southern San Francisco Bay movement of the crust and changes in sea level. In: *T.J. CONOMOS (Ed). San Francisco Bay: The urbanized estuary.* San Francisco : American Association for the Advancement of Science, 493 p. p. 31-45

**BALIK, F.; ALKIS, A.; KURUCU, Y.; ALKIS, Z.** (2000) Validation of Radargrammetric DEM Generation From Radarsat Imagens in High Relief Areas in Edremit Region Turkey. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol 34 Part XXX.

**BARROS, R. S.** (2006) Avaliação de modelos digitais de elevação obtidos através de sensores orbitais. 200 p. (IGEO/ UFRJ, D.Sc., GEOGRAFIA)

**CDRJ** – Companhia Docas do Rio de Janeiro. *Relatório estatístico anual – 1992 (1993)*. CDRJ : Rio de Janeiro. 1 v.

**CIDE/CENTRO DE INFORMAÇÕES E DADOS DO RIO DE JANEIRO** (1998), Território / Rio de Janeiro.

**COELHO, A. L.** (2002) Geração de Modelos Digitais de Elevação a Partir de Pares Estereoscópicos Radarsat. Dissertação de Mestrado em Engenharia Cartográfica, IME – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro. 157p.

**DUTRA, L. V.; MURA, J.C.; FREITAS, C.C.; SANTOS, J.R.; ELMIRO, M.T.** (2003). Processamento de Imagens de Radar de Abertura Sintética – Princípios e Aplicações. *In.: Anais do IV Workshop em Tratamento de Imagens, NPDI/DCC/ICEx* – Belo Horizonte – MG, p.4-13.

**FEEMA** – Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente. (1990) Projeto de recuperação gradual do ecossistema da Baía de Guanabara: indicadores ambientais de degradação, obras e projetos de recuperação. Rio de Janeiro : FEEMA, 1990. 2 v., v. 1, 202p.

**FEEMA** (1998), Qualidade da água da Baía de Guanabara, 1990/1997. Programa de despoluição da Baía de Guanabara, programas ambientais complementares, Governo do estado do Rio de Janeiro, Secretária de estado de meio ambiente, Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente.

**FELGUEIRAS, C.A.**, (1987) Desenvolvimento de Um Sistema de Modelagem Digital de Terreno para Microcomputadores. Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada, Instituto de Pesquisas Espaciais, INPE, 243 p.

**FERNANDES, M. C.** (2004) Desenvolvimento de rotina de obtenção de observações em superfície real: uma aplicação em análises geoecológicas. Rio de Janeiro, 263 p. (IGEO/ UFRJ, D.Sc., GEOGRAFIA)

**FERREIRA, J. M. C.; FILHO, L.C. T. C.; ALCARES, R. P.; PACHECO, W. L. (2003)** Metodologia para Extração de Modelo Digital do Terreno para a Cartografia Sistemática Utilizando Pares Radarsat. Congresso Brasileiro de Cartografia, Belo Horizonte - MG, p.1-10.

**FERREIRA, J. M. C; ALVARES, R. P.; PACHECO, W. L. (2005)** Metodologia de Extração Automática de Modelo Digital do Terreno para Cartografia Sistemática Utilizando Pares Radarsat. XXI Congresso Brasileiro de Cartografia – Macaé - RJ.

**FREEMAN, T. J.P.L. (2005)** O que é uma Imagem de Radar? Tradução e Adaptação de Laurent Martin, ENGESAT. [www.engesat.com.br](http://www.engesat.com.br), Extraído em 14/07/2005.

**FREITAS, M. I. C. (1986)** Estágio Atual dos Sistemas de Sensoriamento Remoto de Aplicação Cartográfica. Simpósio Latino Americano de Sensoriamento Remoto – IV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – VI Reunião Plena no SELPER. Gramado, RS, p.10-15, volume 1.

**GARCIA, Gilberto J. (1985)** Perspectivas Atuais e Futuras do Sensoriamento Remoto na Geografia física. Boletim de Geografia Teorética, Rio Claro, v. 15, n.29-30, p.425-429.

**GONÇALVES, F. D.; SOUZA FILHO, P. W. M. (2005)** Integração Digital de Imagens Radarsat-1 e Landsat-7 para o Mapeamento dos Índices de Sensibilidade Ambiental a Derramamentos de Óleo na Baía de Guajará (Belém-PA). In: *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Goiânia, Brasil, INPE, p. 1789-1796.

**JICA – Japan International Cooperation Agency (1994).** The Study on Recuperation of the Guanabara Bay Ecosystem. Japan International Cooperation Agency & Kokusai Kogyo Co., Ltd., 8 v. vol.8: Data book. 158 p.

**KJERFVE, B. (1990)** Manual for Investigation of Hydrological Process in Mangroves Ecosystems. New Delhi : UNESCO / UNDP, 79 p.

**MAIDMENT, David; DJOKIC, Dean. (2000).** Hydrologic and Hydraulic Modeling Support with Geographic Information Systems. ESRI Press.

**MARTINS, S. P.** (2004) Classificação Textural de Imagens Radarsat-1 Para Discriminação de Alvos Agrícolas – Dissertação de Mestrado, São José dos Campos, SP: INPE,142p. – (INPE-12137-TDI/967).

**McCULLAGH, M.J.; CROSS, M. & TRIGG, A.D.** (1985) New Technology and Super-micros in Hazard Map Production. Survey and Mapping, 85, paper D4,16 pp.

**OLIVEIRA, L.P.H. e L. KRAU** (1976) Estudos Aplicados à Recuperação Biológica da Baía de Guanabara, Instituto Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

**OLIVEIRA, C. G.** (2005) Avaliação de Modelos Digitais de Elevação Gerados a Partir de Sensores Remotos Orbitais Óptico (ASTER) e Radar (RADARSAT-1, SRTM): um Estudo Para a Região da Serra dos Carajás (PA). São José dos Campos: INPE.

**PALME, U. W.; MURA, J.C.; NOVO, E.M.L.M.; SOARES, J. V.; KUX, H.J.H.** (1996) Sensoriamento Remoto por Radares. *Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Salvador, Brasil, 14-19 abril, INPE, p.247-329.

**PARADELA, W. R; CECARELLI, I. C. F; LUIZ, S; OLIVEIRA, C.G; OKIDA, R.** (2005) Geração de Carta Topográfica com estéreo-pares fine do RADARSAT-1 e Dados ETM+ LANDSAT 7 em Ambiente de Relevo Montanhoso na Região Amazônica (Serra dos Carajás, Pará). *In: Revista Brasileira de Geociências*, Volume 35, 323-332p.

**PARADELLA ,W. R.; SANTOS, A. R.; VENEZIANI, P.; MORAIS, M. C. O** (2001) Sinergismo de Imagens Standard Descendente do RADARSAT-1 e Thematic Mapper do LANDSAT-5 em Aplicação Geológica na Amazônia *In: X SBSR foz do iguaçu*, 315-322p.

**PARADELLA, W. R.** (1993) Radar em Aplicações Geológicas; Os Experimentos SAREX na Província Mineral dos Carajás (Pará) e Airsar no Vale do Rio Curaçá (Bahia). *Anais do VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Curitiba, PR, p. 282-288.

**PARADELLA, W. R; SILVA, M. M. Q.** (2005) Mapsar: um Radar Orbital para Aplicações na Amazônia. *Revista InfoGEO*, edição 36, ano 07, p.34-36.

**PIKE, R.J.**, (1988) Toward Geometric Signatures for Geographic Information Systems. In: *Proceedings of the International Symposium on GIS* .

**RAISZ, E.** (1969) Cartografia Geral. Ed. Científica, Rio de Janeiro, RJ. 414p.

**RIO DE JANEIRO** Meio Ambiente: Plano Diretor. Rio de Janeiro : Superintendência de Meio Ambiente, 1991. 38.

**RUELLAN, F.** (1944) A Evolução Geomorfológica da Baía de Guanabara e Regiões Vizinhas. *Revista Brasileira de Geografia*, v.6, n.4, p. 445-508.

**SANTANNA, S. J. S.** (1994) Avaliação do Desempenho de Filtros Redutores de Speckel em Imagens de Radar de Abertura Sintética. São José dos Campos. Dissertação de Mestrado.

**SILVA, W. S. B.** (2002) Uso de imagens Radarsat-1 para fins de Mapeamento de Uso da Terra e Cobertura do Solo em Ambiente Tropical Úmido Urbano: O Caso de Manaus, Estado do Amazonas /W.S.B.Silva. – São José dos Campos: INPE. 159p. – (INPE-10432-TDI/924).

**SIMÕES, M. S.** (1999) Análise de dados Multitemporais RADARSAT-1 para o Sensoriamento Remoto de Culturas Agrícolas / M. S. Simões- São José dos Campos: INPE, 147p. – (INPE-7299-TDI/711).

**SOARES, J. V.** (2004) Fundamentos de Radar. Notas de aula - Curso de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

**SOUSA, J. J.; GONÇALVES, J.A.; FERNANDES, M. J.**( 2001) Produção Automática de MDT'S a partir de Imagens SAR Estereoscópicas. In: ESIG. Porto – Portugal.

**STEREOGRAPHICS CORPORATION** (1997) Stereographics Developers' Handbook: Background on Creating Imagens for CrystalEyes and Simul Eyes. [http://www.stereographics.com/support/downloads\\_support/handbook.pdf](http://www.stereographics.com/support/downloads_support/handbook.pdf)., acesso em 20/06/2006, 15:00h.

**TOUTIN T. , A.L. GRAY** (2000), State-of-the-art of Extraction of Elevation Data Using Satellite SAR Data; ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing , Vol. 55, No 1, pp. 13-33.

**TOUTIN, T.** (1999). Error tracking of radargrammetric DEM from RADARSAT images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 37, No. 5, pp. 2227–2238.

**TREWARTHA, G.T.** (1968.) An introduction to climate. 4<sup>a</sup> ed. New York : McGraw-Hill, 408 p.

**VEIGA, R. Q.; ANDRADE, N. S. O.** (2005) Apostila de Imageamento por Radar. 90p

**ZEE, D. M. W.** (2000) Baía de Guanabara: Dossiê Sócio-Ambiental. *In: Seminário Internacional: Gestão Sustentável da Baía de Guanabara*, 2000, Rio de Janeiro. Seminário Internacional: Gestão Sustentável da Baía de Guanabara. Rio de Janeiro : Escola Brasileira de Administração Pública - FGV. p.1-55.

## VIII. ANEXOS

### 8.1 Informações sobre cena *Fine 5*

Project Report for radar  
-----

#### General project information

Filename : radar.prj  
Description :

#### Output mosaic

Mosaic File :  
Resolution : 6.250 6.250 m  
Georeferencing : UTM 23 C D505  
Upper Left : Not Defined  
Lower Right : Not Defined

Date Added : 05/30/2007  
Date Updated : 06/08/2007

Uncorrected File : D:\beth\_final\f5\_dem32.pix  
Channels : 1  
Size : 6162 P x 9330 L

Orthorectified File : D:\beth\f55555.pix  
Upper Left : 668343.750000 7500562.500000  
Lower Right : 710968.750000 7440500.000000  
Status : Ortho done

DEM File : D:\beth\dem.pix  
Channel : 1  
Background Elevation : Not Defined

Clip Area : Entire Image

Satellite Description :  
Scene ID : RSAT-1-SAR-SGF  
Satellite Sensor : SAR-1  
Sensor Number : 1  
Date Image Taken : 2000012308113577  
Sup Segment Exists : FALSE  
Field of View : 3.52662531961990e-006  
View Angle : -7.98680146702000e-001  
Number of Col Center : 3.08100000000000e+003  
Radial Speed : 5.42292153616240e+000  
Eccentricity : 9.41634063716650e-004  
Height : 8.62577130913700e+005  
Inclination : 1.72047405726970e+000  
Time Interval : 9.44102774637300e-004  
Number of Line Centers : 4.66500000000000e+003  
Long Center : -7.54008697798340e-001



Angular Speed : 1.03844849156630e-003  
 Asc Node Long : 5.61511204975380e-001  
 Arg Perigee : 1.58095235403880e+000  
 Lat Center : -3.99004588021710e-001  
 Earth Satellite Distance : 7.17567130847700e+006  
 Nominal Pitch : 0.00000000000000e+000  
 Time At Center : 2.94957780000000e+004  
 Satellite Arg : 3.57010274186280e+000  
 X Center : 3.08100000000000e+003  
 Y Center : 4.66500000000000e+003  
 Longitude Center Deg : -4.32015161000000e+001  
 Latitude Center Deg : -2.28612789000000e+001  
 UTM X Center : 6.84520481809710e+005  
 UTM Y Center : 7.47071113578070e+006  
 Pixel Resolution : 6.25000000000000e+000  
 Line Resolution : 6.25000000000000e+000  
 Corner Available : TRUE  
 Map Unit : UTM 23 C E012  
 X Upper Left : 1.00000000000000e+000  
 Y Upper Left : 1.00000000000000e+000  
 X Upper Right : 6.16200000000000e+003  
 Y Upper Right : 1.00000000000000e+000  
 X Lower Right : 6.16200000000000e+003  
 Y Lower Right : 9.33000000000000e+003  
 X Lower Left : 1.00000000000000e+000  
 Y Lower Left : 9.33000000000000e+003  
 UTM X Upper Left : 6.74137325479780e+005  
 UTM Y Upper Left : 7.50412410442400e+006  
 UTM X Upper Right : 7.11101375823620e+005  
 UTM Y Upper Right : 7.49331972286280e+006  
 UTM X Lower Right : 6.94894449285170e+005  
 UTM Y Lower Right : 7.43730536821590e+006  
 UTM X Lower Left : 6.57931038226290e+005  
 UTM Y Lower Left : 7.44813887709390e+006  
 Longitude Upper Left : -4.33064000000000e+001  
 Latitude Upper Left : -2.25606780000000e+001  
 Longitude Upper Right : -4.29456140000000e+001  
 Latitude Upper Right : -2.26540330000000e+001  
 Longitude Lower Right : -4.30962160000000e+001  
 Latitude Lower Right : -2.31617060000000e+001  
 Longitude Lower Left : -4.34582900000000e+001  
 Latitude Lower Left : -2.30678290000000e+001  
 Image Record Length : 12516  
 Number of Image Lines : 9330  
 Number of Bytes Per Pixel : 2  
 Number of Samples Per Line : 6162  
 Number of Prefix Bytes : 180  
 Number of Suffix Bytes : 0  
 Type : Radar

GCP ID	Status	Elev (m)	Image X (P)	Image Y (L)
G0001	Check	1.0000 +/- 1.0000	5838.0003 +/- 0.1000	478.9946 +/- 0.1000
G0014	Check	1.0000 +/- 1.0000	5786.0000 +/- 0.1000	142.0000 +/- 0.1000
G0003	Check	2.5000 +/- 1.0000	2098.7783 +/- 0.1000	7702.0423 +/- 0.1000
G0004	Check	15.0000 +/- 1.0000	2014.2940 +/- 0.1000	314.4120 +/- 0.1000

G0005	Check	1.0000 +/- 1.0000	5475.9989 +/- 0.1000	5525.9988 +/- 0.1000
G0006	Active	1.0000 +/- 1.0000	1833.9951 +/- 0.1000	3972.9987 +/- 0.1000
G0010	Active	810.0000 +/- 1.0000	2205.0000 +/- 0.1000	6485.2000 +/- 0.1000
G0008	Active	19.0000 +/- 1.0000	6041.0098 +/- 0.1000	3780.9526 +/- 0.1000
G0009	Active	0.0000 +/- 1.0000	5948.9679 +/- 0.1000	2069.6147 +/- 0.1000
G0011	Check	22.0000 +/- 1.0000	2886.0000 +/- 0.1000	5895.0000 +/- 0.1000
G0012	Active	1.0000 +/- 1.0000	4795.0434 +/- 0.1000	3444.0650 +/- 0.1000
G0013	Check	1.0000 +/- 1.0000	5084.0099 +/- 0.1000	1491.9782 +/- 0.1000
G0007	Active	0.0000 +/- 1.0000	6069.0641 +/- 0.1000	129.9920 +/- 0.1000
G0015	Check	1.0000 +/- 1.0000	5687.0000 +/- 0.1000	460.0313 +/- 0.1000
G0016	Check	1.0000 +/- 1.0000	5675.8750 +/- 0.1000	245.8750 +/- 0.1000
G0018	Active	0.0000 +/- 1.0000	6018.1740 +/- 0.1000	824.0690 +/- 0.1000
G0019	Active	0.0000 +/- 1.0000	6067.1727 +/- 0.1000	992.1224 +/- 0.1000
G0020	Active	1.0000 +/- 1.0000	5239.0000 +/- 0.1000	535.0000 +/- 0.1000
G0021	Active	0.0000 +/- 1.0000	5526.0000 +/- 0.1000	964.0000 +/- 0.1000
G0022	Active	0.5000 +/- 1.0000	5094.9249 +/- 0.1000	1257.0797 +/- 0.1000
G0023	Check	1.0000 +/- 1.0000	5249.5245 +/- 0.1000	1899.1215 +/- 0.1000
G0025	Active	0.0000 +/- 1.0000	6093.0313 +/- 0.1000	1445.9688 +/- 0.1000
G0026	Check	1.0000 +/- 1.0000	5724.9722 +/- 0.1000	2649.0074 +/- 0.1000
G0027	Active	15.0000 +/- 1.0000	6102.0098 +/- 0.1000	3159.9925 +/- 0.1000
G0028	Active	1.0000 +/- 1.0000	5083.9381 +/- 0.1000	2597.8941 +/- 0.1000
G0029	Active	1.0000 +/- 1.0000	5088.0091 +/- 0.1000	3045.9560 +/- 0.1000
G0031	Check	1.0000 +/- 1.0000	4578.0163 +/- 0.1000	3649.0137 +/- 0.1000
G0032	Check	3.0000 +/- 1.0000	4771.9861 +/- 0.1000	3927.8994 +/- 0.1000
G0034	Check	6.0000 +/- 1.0000	4637.2074 +/- 0.1000	4592.8425 +/- 0.1000
G0035	Check	55.0000 +/- 1.0000	5658.0419 +/- 0.1000	4160.9757 +/- 0.1000
G0036	Check	96.0000 +/- 1.0000	5495.0349 +/- 0.1000	4862.9514 +/- 0.1000
G0038	Active	2.0000 +/- 1.0000	4602.0694 +/- 0.1000	4760.6057 +/- 0.1000
G0039	Active	1.0000 +/- 1.0000	4408.9294 +/- 0.1000	1134.1310 +/- 0.1000
G0040	Active	2.0000 +/- 1.0000	4722.0625 +/- 0.1000	588.0000 +/- 0.1000
G0042	Active	2.0000 +/- 1.0000	4482.0364 +/- 0.1000	71.9809 +/- 0.1000
G0043	Check	30.0000 +/- 1.0000	3334.9354 +/- 0.1000	387.9800 +/- 0.1000
G0044	Active	2.0000 +/- 1.0000	2420.0859 +/- 0.1000	946.9106 +/- 0.1000
G0046	Check	0.5000 +/- 1.0000	3538.8116 +/- 0.1000	1287.9427 +/- 0.1000
G0047	Active	0.6000 +/- 1.0000	2959.9068 +/- 0.1000	2027.9638 +/- 0.1000
G0048	Active	1.0000 +/- 1.0000	2041.0119 +/- 0.1000	2127.9695 +/- 0.1000
G0049	Active	3.0000 +/- 1.0000	1803.7500 +/- 0.1000	1096.5000 +/- 0.1000
G0050	Check	0.5000 +/- 1.0000	1838.8750 +/- 0.1000	2900.0000 +/- 0.1000
G0051	Active	1.0000 +/- 1.0000	3765.0000 +/- 0.1000	2398.0000 +/- 0.1000
G0052	Check	1.0000 +/- 1.0000	3478.0625 +/- 0.1000	3626.0000 +/- 0.1000
G0054	Check	2.0000 +/- 1.0000	1816.0000 +/- 0.1000	4431.9375 +/- 0.1000
G0055	Active	1.0000 +/- 1.0000	2907.9095 +/- 0.1000	3490.9740 +/- 0.1000
G0056	Check	12.0000 +/- 1.0000	2314.0979 +/- 0.1000	4980.8426 +/- 0.1000
G0058	Active	2.0000 +/- 1.0000	2321.8942 +/- 0.1000	4795.9220 +/- 0.1000
G0059	Check	20.0000 +/- 1.0000	1870.7796 +/- 0.1000	5328.8971 +/- 0.1000
G0060	Check	6.0000 +/- 1.0000	2794.9023 +/- 0.1000	5196.1473 +/- 0.1000
G0061	Active	7.0000 +/- 1.0000	3467.9429 +/- 0.1000	5348.6547 +/- 0.1000
G0063	Check	6.0000 +/- 1.0000	2242.7569 +/- 0.1000	5469.9772 +/- 0.1000
G0064	Check	340.0000 +/- 1.0000	3616.6057 +/- 0.1000	6078.2983 +/- 0.1000
G0066	Check	3.0000 +/- 1.0000	3331.2415 +/- 0.1000	6864.1176 +/- 0.1000
G0067	Active	0.5000 +/- 1.0000	5931.8267 +/- 0.1000	5510.1812 +/- 0.1000

GCP ID	Georef	Georef X	Georef Y
--------	--------	----------	----------

G0001 UTM	23 C D505	708325.0156 +/- 1.0000	7491106.0937 +/- 1.0000
-----------	-----------	------------------------	-------------------------

G0014 UTM	23 C D505	708593.8000 +/- 1.0000	7493252.1000 +/- 1.0000
-----------	-----------	------------------------	-------------------------

G0003 UTM 23 C D505 673331.0292 +/- 1.0000 7454303.0501 +/- 1.0000  
 G0004 UTM 23 C D505 685653.0363 +/- 1.0000 7498802.4313 +/- 1.0000  
 G0005 UTM 23 C D505 697370.6919 +/- 1.0000 7461447.5536 +/- 1.0000  
 G0006 UTM 23 C D505 678230.9259 +/- 1.0000 7477158.0145 +/- 1.0000  
 G0010 UTM 23 C D505 675373.9983 +/- 1.0000 7461609.0318 +/- 1.0000  
 G0008 UTM 23 C D505 703768.8558 +/- 1.0000 7470925.8400 +/- 1.0000  
 G0009 UTM 23 C D505 706205.4497 +/- 1.0000 7481357.5040 +/- 1.0000  
 G0011 UTM 23 C D505 681203.0508 +/- 1.0000 7463771.0304 +/- 1.0000  
 G0012 UTM 23 C D505 696915.0113 +/- 1.0000 7475133.9913 +/- 1.0000  
 G0013 UTM 23 C D505 702049.9810 +/- 1.0000 7486358.0516 +/- 1.0000  
 G0007 UTM 23 C D505 710315.6800 +/- 1.0000 7492810.7200 +/- 1.0000  
 G0015 UTM 23 C D505 707448.8000 +/- 1.0000 7491483.0000 +/- 1.0000  
 G0016 UTM 23 C D505 707730.3000 +/- 1.0000 7492828.0000 +/- 1.0000  
 G0018 UTM 23 C D505 708789.1500 +/- 1.0000 7488719.4800 +/- 1.0000  
 G0019 UTM 23 C D505 708797.1000 +/- 1.0000 7487626.6700 +/- 1.0000  
 G0020 UTM 23 C D505 704623.2400 +/- 1.0000 7491833.5300 +/- 1.0000  
 G0021 UTM 23 C D505 705603.7000 +/- 1.0000 7488755.1700 +/- 1.0000  
 G0022 UTM 23 C D505 702503.8400 +/- 1.0000 7487748.9000 +/- 1.0000  
 G0023 UTM 23 C D505 702329.5000 +/- 1.0000 7483636.0300 +/- 1.0000  
 G0025 UTM 23 C D505 708155.8000 +/- 1.0000 7484849.5000 +/- 1.0000  
 G0026 UTM 23 C D505 703851.3000 +/- 1.0000 7478261.0000 +/- 1.0000  
 G0027 UTM 23 C D505 705219.3700 +/- 1.0000 7474559.0000 +/- 1.0000  
 G0028 UTM 23 C D505 700114.1000 +/- 1.0000 7479713.0000 +/- 1.0000  
 G0029 UTM 23 C D505 699358.4000 +/- 1.0000 7477013.0200 +/- 1.0000  
 G0031 UTM 23 C D505 695257.6900 +/- 1.0000 7474273.0000 +/- 1.0000  
 G0032 UTM 23 C D505 695934.9000 +/- 1.0000 7472283.3000 +/- 1.0000  
 G0034 UTM 23 C D505 693947.7000 +/- 1.0000 7468495.8000 +/- 1.0000  
 G0035 UTM 23 C D505 700791.5000 +/- 1.0000 7469334.1400 +/- 1.0000  
 G0036 UTM 23 C D505 698540.6000 +/- 1.0000 7465420.5000 +/- 1.0000  
 G0038 UTM 23 C D505 693456.5000 +/- 1.0000 7467565.1000 +/- 1.0000  
 G0039 UTM 23 C D505 698605.7000 +/- 1.0000 7489684.4000 +/- 1.0000  
 G0040 UTM 23 C D505 701432.2000 +/- 1.0000 7492425.0000 +/- 1.0000  
 G0042 UTM 23 C D505 700888.1000 +/- 1.0000 7495947.7000 +/- 1.0000  
 G0043 UTM 23 C D505 693443.0000 +/- 1.0000 7496054.5800 +/- 1.0000  
 G0044 UTM 23 C D505 686990.4000 +/- 1.0000 7494299.2000 +/- 1.0000  
 G0046 UTM 23 C D505 693105.3500 +/- 1.0000 7490281.7000 +/- 1.0000  
 G0047 UTM 23 C D505 688359.7500 +/- 1.0000 7486871.4900 +/- 1.0000  
 G0048 UTM 23 C D505 682662.4000 +/- 1.0000 7487868.9000 +/- 1.0000  
 G0049 UTM 23 C D505 683020.0000 +/- 1.0000 7494479.3300 +/- 1.0000  
 G0050 UTM 23 C D505 680118.4000 +/- 1.0000 7483586.9000 +/- 1.0000  
 G0051 UTM 23 C D505 692552.3000 +/- 1.0000 7483233.8000 +/- 1.0000  
 G0052 UTM 23 C D505 688680.8000 +/- 1.0000 7476350.9000 +/- 1.0000  
 G0054 UTM 23 C D505 677317.0000 +/- 1.0000 7474441.4000 +/- 1.0000  
 G0055 UTM 23 C D505 685504.3000 +/- 1.0000 7478174.8700 +/- 1.0000  
 G0056 UTM 23 C D505 679341.7000 +/- 1.0000 7470267.6000 +/- 1.0000  
 G0058 UTM 23 C D505 679725.8000 +/- 1.0000 7471362.3700 +/- 1.0000  
 G0059 UTM 23 C D505 676067.3000 +/- 1.0000 7468961.8000 +/- 1.0000  
 G0060 UTM 23 C D505 681862.7000 +/- 1.0000 7468137.5000 +/- 1.0000  
 G0061 UTM 23 C D505 685633.1400 +/- 1.0000 7466025.9000 +/- 1.0000  
 G0063 UTM 23 C D505 678081.0000 +/- 1.0000 7467452.2000 +/- 1.0000  
 G0064 UTM 23 C D505 684954.0000 +/- 1.0000 7461470.3000 +/- 1.0000  
 G0066 UTM 23 C D505 682181.9000 +/- 1.0000 7457153.4200 +/- 1.0000  
 G0067 UTM 23 C D505 700129.6000 +/- 1.0000 7460718.1000 +/- 1.0000

## 8.2 Informações sobre cena *Fine 2*

Project Report for radar

### General project information

Filename : radar.prj  
Description :

### Output mosaic

Mosaic File :  
Resolution : 6.250 6.250 m  
Georeferencing : UTM 23 C D505  
Upper Left : Not Defined  
Lower Right : Not Defined

Date Added : 05/30/2007  
Date Updated : 06/08/2007

Uncorrected File : D:\beth\_final\f2\_dem32.pix  
Channels : 1  
Size : 6899 P x 9444 L

Orthorectified File : of2\_dem32.pix  
Upper Left : 669525.000000 7500518.750000  
Lower Right : 711087.500000 7439893.750000  
Status : Ortho Stale

DEM File : D:\beth\dem.pix  
Channel : 1  
Background Elevation : Not Defined

Clip Area : Entire Image

Satellite Description :  
Scene ID : RSAT-1-SAR-SGF  
Satellite Sensor : SAR-1  
Sensor Number : 1  
Date Image Taken : 2000020908154703  
Sup Segment Exists : FALSE  
Field of View : 4.38291666986130e-006  
View Angle : -6.96264225662340e-001  
Number of Col Center : 3.44950000000000e+003  
Radial Speed : 5.45185813478960e+000  
Eccentricity : 9.34029190329670e-004  
Height : 8.39424506789930e+005  
Inclination : 1.72048903889450e+000  
Time Interval : 9.44087376825380e-004  
Number of Line Centers : 4.72200000000000e+003  
Long Center : -7.51714064561520e-001  
Angular Speed : 1.03846623298460e-003  
Asc Node Long : 8.53930566183590e-001  
Arg Perigee : 1.58579649975630e+000

Lat Center : -3.99328978407140e-001  
 Earth Satellite Distance : 7.17561922788460e+006  
 Nominal Pitch : 0.00000000000000e+000  
 Time At Center : 2.97470300000000e+004  
 Satellite Arg : 3.56534270820020e+000  
 X Center : 3.44950000000000e+003  
 Y Center : 4.72200000000000e+003  
 Longitude Center Deg : -4.30700433000000e+001  
 Latitude Center Deg : -2.28798651000000e+001  
 UTM X Center : 6.97985809708420e+005  
 UTM Y Center : 7.46848225037220e+006  
 Pixel Resolution : 6.25000000000000e+000  
 Line Resolution : 6.25000000000000e+000  
 Corner Available : TRUE  
 Map Unit : UTM 23 C E012  
 X Upper Left : 1.00000000000000e+000  
 Y Upper Left : 1.00000000000000e+000  
 X Upper Right : 6.89900000000000e+003  
 Y Upper Right : 1.00000000000000e+000  
 X Lower Right : 6.89900000000000e+003  
 Y Lower Right : 9.44400000000000e+003  
 X Lower Left : 1.00000000000000e+000  
 Y Lower Left : 9.44400000000000e+003  
 UTM X Upper Left : 6.85217205611720e+005  
 UTM Y Upper Left : 7.50280685608430e+006  
 UTM X Upper Right : 7.26692239491750e+005  
 UTM Y Upper Right : 7.49101262755040e+006  
 UTM X Lower Right : 7.10745213595050e+005  
 UTM Y Lower Right : 7.43416615449340e+006  
 UTM X Lower Left : 6.69263858809960e+005  
 UTM Y Lower Left : 7.44598884728990e+006  
 Longitude Upper Left : -4.31985260000000e+001  
 Latitude Upper Left : -2.25714010000000e+001  
 Longitude Upper Right : -4.27936380000000e+001  
 Latitude Upper Right : -2.26728430000000e+001  
 Longitude Lower Right : -4.29410220000000e+001  
 Latitude Lower Right : -2.31880980000000e+001  
 Longitude Lower Left : -4.33474570000000e+001  
 Latitude Lower Left : -2.30861250000000e+001  
 Image Record Length : 13990  
 Number of Image Lines : 9444  
 Number of Bytes Per Pixel : 2  
 Number of Samples Per Line : 6899  
 Number of Prefix Bytes : 180  
 Number of Suffix Bytes : 0  
 Type : Radar

GCP ID	Status	Elev (m)	Image X (P)	Image Y (L)
G0001	Check	1.0000 +/- 1.0000	4070.0060 +/- 0.1000	811.0006 +/- 0.1000
G0014	Check	1.0000 +/- 1.0000	4020.5275 +/- 0.1000	468.9829 +/- 0.1000
G0003	Check	2.5000 +/- 1.0000	270.0000 +/- 0.1000	8005.0625 +/- 0.1000
G0004	Check	15.0000 +/- 1.0000	249.9375 +/- 0.1000	616.0000 +/- 0.1000
G0005	Check	1.0000 +/- 1.0000	3665.9989 +/- 0.1000	5855.0000 +/- 0.1000
G0006	Active	1.0000 +/- 1.0000	37.0003 +/- 0.1000	4276.9995 +/- 0.1000
G0010	Active	810.0000 +/- 1.0000	413.0028 +/- 0.1000	6791.9778 +/- 0.1000

G0008	Active	19.0000 +/- 1.0000	4246.0489 +/- 0.1000	4117.0442 +/- 0.1000
G0009	Active	0.0000 +/- 1.0000	4166.0625 +/- 0.1000	2405.0000 +/- 0.1000
G0011	Check	22.0000 +/- 1.0000	1073.8838 +/- 0.1000	6206.0587 +/- 0.1000
G0012	Active	1.0000 +/- 1.0000	3002.9000 +/- 0.1000	3768.9000 +/- 0.1000
G0013	Check	1.0000 +/- 1.0000	3308.0516 +/- 0.1000	1817.0617 +/- 0.1000
G0007	Active	0.0000 +/- 1.0000	4305.1250 +/- 0.1000	462.0625 +/- 0.1000
G0015	Check	1.0000 +/- 1.0000	3919.0000 +/- 0.1000	788.7500 +/- 0.1000
G0016	Check	1.0000 +/- 1.0000	3909.0156 +/- 0.1000	575.0000 +/- 0.1000
G0018	Active	0.0000 +/- 1.0000	4247.6250 +/- 0.1000	1158.7500 +/- 0.1000
G0019	Active	0.0000 +/- 1.0000	4294.0625 +/- 0.1000	1326.0000 +/- 0.1000
G0020	Active	1.0000 +/- 1.0000	3470.9007 +/- 0.1000	862.0670 +/- 0.1000
G0021	Active	0.0000 +/- 1.0000	3753.7298 +/- 0.1000	1292.8176 +/- 0.1000
G0022	Active	0.5000 +/- 1.0000	3319.0011 +/- 0.1000	1584.0171 +/- 0.1000
G0023	Check	1.0000 +/- 1.0000	3468.0000 +/- 0.1000	2225.0000 +/- 0.1000
G0025	Active	0.0000 +/- 1.0000	4316.1250 +/- 0.1000	1781.0625 +/- 0.1000
G0026	Check	1.0000 +/- 1.0000	3937.8750 +/- 0.1000	2983.0000 +/- 0.1000
G0027	Active	15.0000 +/- 1.0000	4312.0000 +/- 0.1000	3494.0625 +/- 0.1000
G0028	Active	1.0000 +/- 1.0000	3298.9968 +/- 0.1000	2925.0165 +/- 0.1000
G0029	Active	1.0000 +/- 1.0000	3297.9937 +/- 0.1000	3373.9766 +/- 0.1000
G0032	Check	3.0000 +/- 1.0000	2974.9129 +/- 0.1000	4252.9152 +/- 0.1000
G0034	Check	6.0000 +/- 1.0000	2832.9831 +/- 0.1000	4919.9703 +/- 0.1000
G0035	Check	55.0000 +/- 1.0000	3860.9871 +/- 0.1000	4492.8543 +/- 0.1000
G0036	Check	96.0000 +/- 1.0000	3694.0040 +/- 0.1000	5195.0152 +/- 0.1000
G0038	Active	2.0000 +/- 1.0000	2797.9375 +/- 0.1000	5085.0625 +/- 0.1000
G0067	Active	0.5000 +/- 1.0000	4122.2500 +/- 0.1000	5844.2500 +/- 0.1000
G0039	Active	1.0000 +/- 1.0000	2635.0000 +/- 0.1000	1456.0000 +/- 0.1000
G0040	Active	2.0000 +/- 1.0000	2953.0408 +/- 0.1000	910.9279 +/- 0.1000
G0042	Active	2.0000 +/- 1.0000	2718.8750 +/- 0.1000	392.0625 +/- 0.1000
G0043	Check	30.0000 +/- 1.0000	1569.8278 +/- 0.1000	699.0554 +/- 0.1000
G0044	Active	2.0000 +/- 1.0000	648.0000 +/- 0.1000	1253.1250 +/- 0.1000
G0046	Check	0.5000 +/- 1.0000	1762.9375 +/- 0.1000	1603.9375 +/- 0.1000
G0047	Active	0.6000 +/- 1.0000	1177.9375 +/- 0.1000	2337.0625 +/- 0.1000
G0048	Active	1.0000 +/- 1.0000	258.0000 +/- 0.1000	2431.9375 +/- 0.1000
G0049	Active	3.0000 +/- 1.0000	31.1255 +/- 0.1000	1398.9705 +/- 0.1000
G0050	Check	0.5000 +/- 1.0000	48.9500 +/- 0.1000	3202.7734 +/- 0.1000
G0051	Active	1.0000 +/- 1.0000	1982.0342 +/- 0.1000	2714.8788 +/- 0.1000
G0052	Check	1.0000 +/- 1.0000	1684.0000 +/- 0.1000	3940.0000 +/- 0.1000
G0054	Check	2.0000 +/- 1.0000	15.0313 +/- 0.1000	4734.9962 +/- 0.1000
G0055	Active	1.0000 +/- 1.0000	1115.0457 +/- 0.1000	3801.9680 +/- 0.1000
G0056	Check	12.0000 +/- 1.0000	507.0481 +/- 0.1000	5283.6572 +/- 0.1000
G0058	Active	2.0000 +/- 1.0000	518.1103 +/- 0.1000	5102.4542 +/- 0.1000
G0059	Check	20.0000 +/- 1.0000	63.9649 +/- 0.1000	5633.9654 +/- 0.1000
G0060	Check	6.0000 +/- 1.0000	987.0790 +/- 0.1000	5504.9528 +/- 0.1000
G0061	Active	7.0000 +/- 1.0000	1660.2117 +/- 0.1000	5665.9395 +/- 0.1000
G0063	Check	6.0000 +/- 1.0000	436.0725 +/- 0.1000	5776.9642 +/- 0.1000
G0064	Check	340.0000 +/- 1.0000	1810.1502 +/- 0.1000	6390.1087 +/- 0.1000
G0066	Check	3.0000 +/- 1.0000	1513.2685 +/- 0.1000	7178.9282 +/- 0.1000
G0031	Check	1.0000 +/- 1.0000	2784.9375 +/- 0.1000	3972.0625 +/- 0.1000

GCP ID	Georef	Georef X	Georef Y
G0001	UTM	23 C D505 708325.0156 +/- 1.0000	7491106.0937 +/- 1.0000
G0014	UTM	23 C D505 708593.8000 +/- 1.0000	7493252.1000 +/- 1.0000
G0003	UTM	23 C D505 673331.0292 +/- 1.0000	7454303.0501 +/- 1.0000
G0004	UTM	23 C D505 685653.0363 +/- 1.0000	7498802.4313 +/- 1.0000
G0005	UTM	23 C D505 697370.6919 +/- 1.0000	7461447.5536 +/- 1.0000

G0006 UTM 23 C D505 678230.9259 +/- 1.0000 7477158.0145 +/- 1.0000  
 G0010 UTM 23 C D505 675373.9983 +/- 1.0000 7461609.0318 +/- 1.0000  
 G0008 UTM 23 C D505 703768.8558 +/- 1.0000 7470925.8400 +/- 1.0000  
 G0009 UTM 23 C D505 706205.4497 +/- 1.0000 7481357.5040 +/- 1.0000  
 G0011 UTM 23 C D505 681203.0508 +/- 1.0000 7463771.0304 +/- 1.0000  
 G0012 UTM 23 C D505 696915.0113 +/- 1.0000 7475133.9913 +/- 1.0000  
 G0013 UTM 23 C D505 702049.9810 +/- 1.0000 7486358.0516 +/- 1.0000  
 G0007 UTM 23 C D505 710315.6800 +/- 1.0000 7492810.7200 +/- 1.0000  
 G0015 UTM 23 C D505 707448.8000 +/- 1.0000 7491483.0000 +/- 1.0000  
 G0016 UTM 23 C D505 707730.3000 +/- 1.0000 7492828.0000 +/- 1.0000  
 G0018 UTM 23 C D505 708789.1500 +/- 1.0000 7488719.4800 +/- 1.0000  
 G0019 UTM 23 C D505 708797.1000 +/- 1.0000 7487626.6700 +/- 1.0000  
 G0020 UTM 23 C D505 704623.2400 +/- 1.0000 7491833.5300 +/- 1.0000  
 G0021 UTM 23 C D505 705603.7000 +/- 1.0000 7488755.1700 +/- 1.0000  
 G0022 UTM 23 C D505 702503.8400 +/- 1.0000 7487748.9000 +/- 1.0000  
 G0023 UTM 23 C D505 702329.5000 +/- 1.0000 7483636.0300 +/- 1.0000  
 G0025 UTM 23 C D505 708155.8000 +/- 1.0000 7484849.5000 +/- 1.0000  
 G0026 UTM 23 C D505 703851.3000 +/- 1.0000 7478261.0000 +/- 1.0000  
 G0027 UTM 23 C D505 705219.3700 +/- 1.0000 7474559.0000 +/- 1.0000  
 G0028 UTM 23 C D505 700114.1000 +/- 1.0000 7479713.0000 +/- 1.0000  
 G0029 UTM 23 C D505 699358.4000 +/- 1.0000 7477013.0200 +/- 1.0000  
 G0032 UTM 23 C D505 695934.9000 +/- 1.0000 7472283.3000 +/- 1.0000  
 G0034 UTM 23 C D505 693947.7000 +/- 1.0000 7468495.8000 +/- 1.0000  
 G0035 UTM 23 C D505 700791.5000 +/- 1.0000 7469334.1400 +/- 1.0000  
 G0036 UTM 23 C D505 698540.6000 +/- 1.0000 7465420.5000 +/- 1.0000  
 G0038 UTM 23 C D505 693456.5000 +/- 1.0000 7467565.1000 +/- 1.0000  
 G0067 UTM 23 C D505 700129.6000 +/- 1.0000 7460718.1000 +/- 1.0000  
 G0039 UTM 23 C D505 698605.7000 +/- 1.0000 7489684.4000 +/- 1.0000  
 G0040 UTM 23 C D505 701432.2000 +/- 1.0000 7492425.0000 +/- 1.0000  
 G0042 UTM 23 C D505 700888.1000 +/- 1.0000 7495947.7000 +/- 1.0000  
 G0043 UTM 23 C D505 693443.0000 +/- 1.0000 7496054.5800 +/- 1.0000  
 G0044 UTM 23 C D505 686990.4000 +/- 1.0000 7494299.2000 +/- 1.0000  
 G0046 UTM 23 C D505 693105.3500 +/- 1.0000 7490281.7000 +/- 1.0000  
 G0047 UTM 23 C D505 688359.7500 +/- 1.0000 7486871.4900 +/- 1.0000  
 G0048 UTM 23 C D505 682662.4000 +/- 1.0000 7487868.9000 +/- 1.0000  
 G0049 UTM 23 C D505 683020.0000 +/- 1.0000 7494479.3300 +/- 1.0000  
 G0050 UTM 23 C D505 680118.4000 +/- 1.0000 7483586.9000 +/- 1.0000  
 G0051 UTM 23 C D505 692552.3000 +/- 1.0000 7483233.8000 +/- 1.0000  
 G0052 UTM 23 C D505 688680.8000 +/- 1.0000 7476350.9000 +/- 1.0000  
 G0054 UTM 23 C D505 677317.0000 +/- 1.0000 7474441.4000 +/- 1.0000  
 G0055 UTM 23 C D505 685504.3000 +/- 1.0000 7478174.8700 +/- 1.0000  
 G0056 UTM 23 C D505 679341.7000 +/- 1.0000 7470267.6000 +/- 1.0000  
 G0058 UTM 23 C D505 679725.8000 +/- 1.0000 7471362.3700 +/- 1.0000  
 G0059 UTM 23 C D505 676067.3000 +/- 1.0000 7468961.8000 +/- 1.0000  
 G0060 UTM 23 C D505 681862.7000 +/- 1.0000 7468137.5000 +/- 1.0000  
 G0061 UTM 23 C D505 685633.1400 +/- 1.0000 7466025.9000 +/- 1.0000  
 G0063 UTM 23 C D505 678081.0000 +/- 1.0000 7467452.2000 +/- 1.0000  
 G0064 UTM 23 C D505 684954.0000 +/- 1.0000 7461470.3000 +/- 1.0000  
 G0066 UTM 23 C D505 682181.9000 +/- 1.0000 7457153.4200 +/- 1.0000  
 G0031 UTM 23 C D505 695257.6900 +/- 1.0000 7474273.0000 +/- 1.0000

### 8.1.3 Legislação consultada

*DECRETO Nº 89.817 DE 20 DE JUNHO DE 1984*

Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. O Presidente da República, usando da atribuição que lhe confere o artigo 81, item III, da Constituição e tendo em vista o disposto no artigo 2º, nos incisos 4 e 5 do artigo 5º e no artigo 18 do Decreto-lei nº 243, de 28 de fevereiro de 1967,

DECRETA: Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional

CAPÍTULO

I

Disposições Iniciais

Art.1º

Este Decreto estabelece as normas a serem observadas por todas as entidades públicas e privadas produtoras e usuárias de serviços cartográficos, de natureza cartográfica e atividades correlatas, sob a denominação de Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional.

Art.2º

As Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional se destinam a estabelecer procedimentos e padrões a serem obedecidos na elaboração e apresentação de normas da Cartografia Nacional, bem como padrões mínimos a serem adotados no desenvolvimento das atividades cartográficas.

Art.3º

As entidades responsáveis pelo estabelecimento de normas cartográficas, obedecidas as presentes Instruções, apresentarão suas normas à Comissão de Cartografia - COCAR para homologação e inclusão na Coletânea Brasileira de Normas Cartográficas.

Art.4º

As normas cartográficas, legalmente em vigor nesta data, serão homologadas como Normas Cartográficas Brasileiras, após apresentação à COCAR e devido registro.

Art.5º

Para efeito destas Instruções, define-se:

I- Em caráter geral:

1. Serviço Cartográfico ou de Natureza Cartográfica - é toda operação de representação da superfície terrestre ou parte dela, através de IMAGES, cartas, plantas e outras formas de expressão afins, tais como definidas no art.6º do DL 243/67 e seus parágrafos.



2. Atividade Correlata - toda ação, operação ou trabalho destinado a apoiar ou implementar um serviço cartográfico ou de natureza cartográfica, tal como mencionada no parágrafo único do art.2º do Decreto-Lei número 243167.

II- Quanto à finalidade:

1. Norma Cartográfica Brasileira - NCB-xx - denominação genérica atribuída a todo e qualquer documento normativo, homologado pela CONCAR, integrando a Coletânea Brasileira de Normas Cartográficas.

2. Norma Técnica para Cartas Gerais - NCB-Gx - documento normativo elaborado pelos órgãos previstos nos incisos 1 e 2 do 51º do artigo 15 do Decreto-Lei nº 243/67.

3. Norma Técnica para Cartas Náuticas - NCB-NM - documento normativo elaborado pelo órgão competente do Ministério da Marinha, na forma do art.15 do DL 243/67.

4. Norma Técnica para Cartas Aeronáuticas - NCB-AV - documento normativo elaborado pelo órgão competente do Ministério da Aeronáutica na forma do art.15 do DL 243/67.

5. Norma Técnica para Cartas Temáticas - NCB-Tx - documento normativo elaborado pelo órgão público federal interessado, conforme competência atribuída pelo art.15 do DL 243/67.

6. Norma Técnica para Cartas Especiais - NCB-Ex - documento normativo elaborado pelo órgão público federal interessado, conforme competência atribuída pelo art.15 do DL 243/67.

7. Norma Cartográfica Geral - NCB-Cx - documento normativo de caráter geral, não incluído na competência prevista no art.15 do DL 243/6 elaborado pela Comissão de Cartografia ou por integrante do Sistema Cartográfico Nacional, aprovado e homologado pela COCAR.

8. Prática Recomendada pela COCAR - PRC-XX - especificação, procedimento ou trabalho decorrente de pesquisa, sem força de norma porém considerado e homologado pela COCAR como útil e recomendável contendo citação obrigatória da autoria, incluída na Coletânea Brasileira de Normas Cartográficas.

III- Quanto à natureza:

1. Norma Cartográfica de Padronização - documento normativo destinado ao estabelecimento de condições a serem satisfeitas, uniformizando as características físicas, geométricas e geográficas dos componentes, parâmetros e documentos cartográficos.

2. Norma Cartográfica de Classificação - documento normativo destinado a designar, ordenar, distribuir ou subdividir conceitos ou objetos.
3. Norma Cartográfica de Terminologia - documento normativo destinado a definir, relacionar ou conceituar termos e expressões técnicas, visando o estabelecimento de uma linguagem uniforme.
4. Norma Cartográfica de Simbologia - documento normativo destinado a estabelecer símbolos e abreviaturas, para a representação gráfica de acidentes naturais e artificiais.
5. Norma Cartográfica de Especificação - documento normativo destinado a estabelecer condições exigíveis para execução, aceitação ou recebimento de trabalhos cartográficos, observados os padrões de precisão exigidos.
6. Norma Cartográfica de Procedimento - documento normativo destinado a estabelecer condições:
  - a) para execução de projetos, serviços e cálculos;
  - b) para emprego de instrumental, material e produtos decorrentes;
  - c) para elaboração de documentos cartográficos;
  - d) para segurança no uso de instrumental, instalações e execução de projetos e serviços.
7. Norma Cartográfica de Método de Ensaio ou Teste - documento normativo destinado a prescrever a maneira de verificar ou determinar características, condições ou requisitos exigidos de:
  - a) material ou produto, segundo sua especificação;
  - b) serviço cartográfico, obra, instalação, segundo o respectivo projeto;
  - c) método ou área de teste ou padronização, segundo suas finalidades e especificação.
8. Norma Geral - é a que, por sua natureza, abrange mais de um dos tipos anteriores.

#### Art.6º

As Normas Cartográficas que não se enquadrem nas disposições do art.15 do DL 243/67, serão estabelecidas pela Comissão de Cartografia - COCAR, por proposta apresentada em Plenário ou através da Secretaria-Executiva da COCAR.

#### Art.7º

As cartas em escalas superiores a 1/25.000 terão articulação, formato e sistema de projeção regulados por norma própria, nos termos do art.15 do DL 243/67.

Parágrafo único

Tratando-se de grandes áreas ou extensas regiões, as cartas de que trata o presente artigo terão tratamento sistemático, observadas as normas a respeito.

## CAPÍTULO

II

### Especificações Gerais

#### Seção 1 Classificação de uma Carta Quanto a Exatidão

##### 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 -  $PEC = 1,6449 EP$ .

§3º O Erro-Padrão isolado num trabalho cartográfico, não ultrapassará 60,8% do Padrão de Exatidão Cartográfica.

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

#### Seção 2 Classes de Cartas

##### Art.9º

As cartas, segundo sua exatidão, são classificadas nas Classes A, B e C, segundo os critérios seguintes:

##### a- Classe A

1. Padrão de Exatidão Cartográfica - Planimétrico: 0,5 mm, na escala da carta, sendo de 0,3 mm na escala da carta o Erro-Padrão correspondente.

2. Padrão de Exatidão Cartográfica - Altimétrico: metade da equidistância entre as curvas-de-nível, sendo de um terço desta equidistância 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 equidistância entre as curvas-de-nível, sendo de dois quintos o Erro-Padrão correspondente.

c- Classe C

1. Padrão de Exatidão Cartográfica - Planimétrico: 1,0 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 quartos da equidistância entre as curvas-de-nível, sendo de metade desta equidistância o Erro-Padrão correspondente.

Art.10

É obrigatória a indicação da Classe no rodapé da folha, ficando o produtor responsável pela fidelidade da classificação.

Parágrafo único

Os documentos cartográficos, não enquadrados nas classes especificadas no artigo anterior, devem conter no rodapé da folha a indicação obrigatória do Erro-Padrão verificado no processo de elaboração.

Art.11

Nenhuma folha de carta será produzida a partir da ampliação de qualquer documento cartográfico.

§1º Excepcionalmente, quando isso se tornar absolutamente necessário, tal fato deverá constar explicitamente em cláusula contratual no termo de compromisso,

§2º Uma carta nas condições deste artigo será sempre classificada com exatidão inferior à do original, devendo constar obrigatoriamente no rodapé a indicação "Carta ampliada a partir de (. .. documento cartográfico) em escala (... tal)".

§3º Não terá validade legal para fins de regularização fundiária ou de propriedade imóvel, a carta de que trata o "caput" do presente artigo.

CAPITULO

III

Elementos Obrigatórios de uma Carta

Art.12

A folha de uma carta deve ser identificada pelo índice de nomenclatura e número do mapa-índice da série respectiva, bem como por um título correspondente ao topônimo representativo do acidente geográfico mais importante da área.

#### Art.13

Cada carta deve apresentar, no rodapé ou campos marginais, uma legenda com símbolos e convenções cartográficas, de acordo com a norma respectiva.

#### Parágrafo único

O rodapé e campos marginais devem conter as informações prescritas nas normas relativas à carta em questão, apresentando, no mínimo, os elementos prescritos nestas Instruções.

#### Art.14

A escala numérica, bem como a escala gráfica da carta, devem ser apresentadas sempre acompanhadas de indicação da equidistância entre as curvas-de-nível e escala de declividade, de acordo com a norma respectiva.

#### Art.15

Os referenciais planimétrico e altimétrico do sistema de projeção utilizado devem ser citados, bem como as suas constantes, a convergência meridiana, a declinação magnética para o ano de edição e sua variação anual, de acordo com a norma respectiva.

#### Art.16

O relevo deve ser apresentado por curvas-de-nível, ou hachuras, ou pontos-cotados, ou em curvas-de-nível com pontos-cotados, segundo as normas relativas à carta em questão, admitindo-se, quando for o caso o relevo sombreado como elemento subsidiário.

#### Art.17

A quadriculação quilométrica ou sexagesimal, ou ambas, devem ser usadas, com apresentação das coordenadas geodésicas dos quatro cantos da folha, de acordo com a norma respectiva.

#### Art.18

O esquema de articulação das folhas adjacentes, bem como um diagrama da situação da folha no Estado, na região ou no país devem ser usados conforme a escala e de acordo com a norma respectiva.

#### Art.19

É obrigatória a citação do ano de edição, bem como das datas de tomada de fotografias, trabalhos de campo e restituição, ou compilação, citando-se os órgãos executores das diversas fases.

Parágrafo único

Nas cartas produzidas por compilação é obrigatória a citação da fonte e do órgão produtor dos documentos de natureza cartográfica, utilizados em sua elaboração.

Art.20

Nas unidades de medida, deve ser adotado o Sistema Internacional de Unidades - SI, nos termos da Legislação Metrológica Brasileira.

Parágrafo único

Em casos especiais e para atender compromissos intencionais, admite-se o uso de unidades de medida estrangeiras, devendo constar, neste caso, a unidade usada, em lugar bem visível e destacado na carta.

CAPÍTULO

IV

Do Sistema Geodésico Brasileiro

Art.21

Os referenciais planimétrico e altimétrico para a Cartografia Brasileira são aqueles que definem o Sistema Geodésico Brasileiro, conforme estabelecido nas "Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos - IBGE - 1983".

§1º Segundo aquelas normas, o referencial planimétrico coincide com o Sistema Geodésico Sul-americano de 1969 (SAD-69).

§2º O referencial altimétrico coincide com o nível médio do mar na baía de Imbituba, no litoral de Santa Catarina.

Art.22

A título precário, admite-se documentação cartográfica à base do antigo Sistema Geodésico Córrego Alegre.

CAPITULO

V

Especificações Gerais das Normas Cartográficas Brasileiras

Art.23

As entidades responsáveis pelo estabelecimento de normas cartográficas obedecerão, em sua apresentação, ao prescrito nestas Instruções Reguladoras.

#### Parágrafo único

As entidades que, em virtude de acordo internacional ou norma interna específica, devam usar forma e estilo próprios, poderão fazê-lo, obedecida a conceituação prevista nestas Instruções.

#### Art.24

Uma Norma Cartográfica Brasileira será constituída de Identificação, elementos preliminares, texto e informações complementares.

#### Art.25

A identificação deve abranger: título e tipo, conforme definido no art.5º; identificação da instituição que elabora a norma; ano de publicação, classificação e numeração.

#### Art.26

O título deve ser tão conciso quanto o permitam a clareza e distinção, observadas as diretrizes da Comissão de Cartografia - COCAR, estabelecidas através de Resolução.

#### Art.27

O texto deve conter as prescrições da norma, apresentando-se subdividido em capítulos, seções e eventualmente alíneas e sub-alíneas, e incluindo, quando necessário, figuras, tabelas, notas e anexos.

#### Parágrafo único

A Comissão de Cartografia - COCAR regulará, através de Resolução, a estrutura do texto das Normas Cartográficas Brasileiras, bem como sua capitulação e apresentação gráfica.

#### Art.28

A redação de normas tem estilo próprio, lingüisticamente correto, sem preocupações literárias e tanto quanto possível uniforme. A qualidade essencial é a clareza do texto, para evitar interpretações ambíguas.

#### Art.29

As unidades e a grafia de números e símbolos a serem utilizadas nas normas serão as previstas na Legislação Metrológica Brasileira.

#### Parágrafo único

As normas que, em virtude de acordo internacional, devam usar unidades estranhas à Legislação Metrológica Brasileira deverão fazê-las acompanhar, entre parênteses, das unidades legais brasileiras equivalentes.

## CAPITULO VI

### Disposições Finais

#### Art.30

O Sistema Cartográfico Nacional deverá adaptar-se, no prazo de um ano, aos padrões estabelecidos neste Decreto.

#### Art.31

No prazo de um ano, a contar da publicação do presente Decreto, as entidades responsáveis pela elaboração de normas cartográficas deverão remetê-las à Comissão de Cartografia - COCAR.

#### Parágrafo único

O prazo de que trata este artigo poderá ser prorrogado, mediante resolução da COCAR, para atender pedido fundamentado de entidade interessada.

#### Art.32

Este Decreto entra em vigor na data de sua publicação, revogadas as disposições em contrário.

Brasília, 20 de junho de 1984; 163º da Independência e 96º da República.

JOAO FIGUEIREDO e DELFIM NETTO

Publicada no D.O.U. de 22-06-84.