
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIA DA GEOINFORMAÇÃO



ANÁLISE DO ERRO ALTIMÉTRICO DO MDE
ASTER-2 NA DECLIVIDADE

MARCONDES MARROQUIM SANTIAGO

Orientador: Prof. Dr. José Luiz Portugal

Dissertação de Mestrado

Recife

2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIA DA GEOINFORMAÇÃO

Marcondes Marroquim Santiago

Análise do Erro Altimétrico do MDE ASTER- 2 na Declividade

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, área de concentração: SIG e Cartografia, como requisito parcial do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. José Luiz Portugal

Recife
2013

Catalogação na fonte

Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

S235a Santiago, Marcondes Marroquim.
Análise do erro altimétrico do MDE ASTER-2 na declividade /
Marcondes Marroquim Santiago. - Recife: O Autor, 2013.
xi, 81 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. José Luiz Portugal.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologia da
Geoinformação, 2013.
Inclui Referências e Anexo.

1. Cartografia. 2. Modelo digital de elevação. 3. ASTER-2. 4.
Simulação de Monte Carlo. 5. Incerteza. 6. Precisão. I. Portugal, José Luiz.
(Orientador). II. Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.) BCTG/2013-323

Dedicatória:

“Dedico este trabalho ao meu filho Marvin, a minha mãe Terezinha e a minha vó Silvina Vieira (in memória)”.

Agradecimentos:

DEUS, o criador.

A todos os meus familiares, em especial ao meu filho: Marvin e minha mãe: Terezinha.

A minha namorada Maraiza Carla pela paciência e companheirismo nas horas mais difíceis da elaboração da dissertação.

Aos meus amigos do mestrado: Ana Itamara, Jaidson Nandir, Betânia Queiroz, Anderson Marcolino, Jonnas e demais amigos que auxiliaram direta e indiretamente na pesquisa.

Ao meu orientador José Luiz Portugal pela excelente orientação, companheirismo e pela contribuição profissional, na qual foi essencial para o meu sucesso profissional.

As professoras Ana Lucia Candeias e Lucillene Antunes e demais docentes do programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação que contribuíram, através de sugestões, críticas e correções, na construção da dissertação.

Aos servidores administrativos do departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE, em especial a Judite e Elisabeth Galdino.

Por fim agradeço a CAPES pelo apoio financeiro.

SUMÁRIO

RESUMO.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	ix
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE SIGLAS	xi
1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Objetivo Geral	13
1.2 Objetivos Específicos	13
1.3 Breve Histórico	14
1.4 Estrutura da Dissertação	17
2. BREVE HISTÓRICO	18
2.1 Sistema ASTER.....	18
2.2 Imagens Estereoscópicas e Aquisição do MDE do ASTER.....	20
2.2.1 Precisão Vertical do MDE do ASTER.....	24
2.3 Variáveis Morfométricas em MDE: enfoque na declividade.....	28
2.3.1 Cálculo de Declividade em MDE.....	30
2.3.2 Métodos de Estratificação de Declividade	35
2.4 Indicador Estatístico: Coeficiente de Variação	41
3. METODOLOGIA.....	43
3.1 Área de Estudo	43
3.2 Recursos Tecnológicos	46
3.3 Procedimentos Metodológicos.....	46
3.3.1 Aquisição do MDE e Sistema de Referência.....	46
3.3.2 Fluxograma dos procedimentos metodológicos.....	47
3.3.3 Dicionário de dados do fluxograma metodológico	48

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 Precisão da declividade	51
4.2 Estratificação da declividade.....	61
5. CONCLUSÃO	69
REFERÊNCIAS.....	72
ANEXO:	80

RESUMO

Santiago, M. M. **A Influência da Incerteza altimétrica do MDE ASTER-2 na declividade.** Recife, 2013. Dissertação de Mestrado – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) do ASTER-2 é um modelo obtido a partir de imagens estereoscópicas orbitais que recobre uma área de extensão global, entre as latitudes 83°N e 83°S. O *United States Geological Survey* (UGSS) e o *Earth Remote Sensing Data Analysis Center* (ERSDAC) desenvolveram estudos sobre a precisão desse modelo, com base no Erro Médio (EM) e no Desvio Padrão (σ) deste erro, chegando a valores diferentes. A declividade é um produto derivado do MDE, obtida por operações de vizinhança sobre ele. Levando-se em consideração a incerteza do MDE ASTER-2, essa pesquisa teve por objetivo analisar e mensurar o efeito da mesma sobre a variável declividade, a partir dos indicadores da USGS e da ERSDAC. Para atender esse objetivo, foi empregado o Método de Simulação Monte Carlo de forma a gerar grades de incertezas altimétricas que deram origem a grades de declividade. Essas grades foram averiguadas em relação ao Coeficiente de Variação (CV), destacando-se as seguintes conclusões: (i) as áreas planas são mais difíceis de serem identificadas pelo MDE ASTER-2; (ii) em função do modelo matemático empregado pelo CV, seu valor tende a aumentar exponencialmente a medida que a média das declividades tende a zero e isso acontece em regiões planas; (iii) o menor valor de declividade que pode ser identificado pelo ASTER-2 é 13.89% com um nível de confiança de 0,05%. Também foi analisada a estratificação da declividade proposta pela EMBRAPA/IBGE, INCRA e Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE). Esses órgãos empregam diferentes pontos de corte para as classes e por isso diferentes realidades foram detectadas. Os mapas se mostraram uma excelente forma de interpretar essas realidades.

Palavras-Chave: Modelo Digital de Elevação, ASTER-2, Simulação de Monte Carlo, Incerteza e Precisão.

ABSTRACT

Santiago, M. M. **The influence of the ASTER DEM-2 uncertainty in slope.** Recife, 2013. Master's thesis - Center for Technology and Earth Sciences, Federal University of Pernambuco.

The Digital Elevation Model (DEM) ASTER-2 is a model obtained from orbital stereoscopic images covering an area of global extent, between latitudes 83 ° N and 83 ° S. The United States Geological Survey (UGSS) and Earth Remote Sensing Data Analysis Center (ERSDAC) developed studies on the accuracy of this model, based on the Average Error (ME) and standard deviation (σ) of this error, reaching different values. The slope is derived from the MDE, obtained by neighborhood operations on it. Taking in account the uncertainty of the ASTER DEM-2, this research aimed to analyze and measure its effect on the variable slope, from the indicators of the USGS and ERSDAC. To meet this goal, was employed the method of Monte Carlo simulation to generate uncertainty's altimetric grids originated originated slope grids. These slope grids were investigated in relation to the coefficient of variation (CV), highlighting the following conclusions: (i) the flat areas are more difficult to be identified by ASTER DEM-2, (ii) on the basis of the mathematical model employed by CV , its value tends to increases exponentially as the average slope tends to zero and this happens in flat regions, (iii) the lowest slope which can be identified by ASTER-2 is 13.89% and 0.05%. Was also analyzed slope stratification proposed by EMBRAPA / IBGE, INCRA and Ecological Economic Zoning (ZEE). These agencies employ different cutoffs for classes and therefore different realities were detected. The maps were an excellent way to interpret these realities.

Keywords: Digital Elevation Model, ASTER-2, Monte Carlo Simulation, Uncertainty, Accuracy

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Aquisição do MDE do ASTER a partir de pares estereoscópica.....	21
Figura 02 - Sobreposição de imagens estereoscópicas do ASTER.....	22
Figura 03 - Aquisição de dados topográficos com imagens estereoscópicas do ASTER.....	23
Figura 04 - Histograma do erro estatístico da precisão vertical do MDE do ASTER-2..	26
Figura 05 - Distribuição dos pixels numa janela móvel de 3x3	30
Figura 06 - Mapa de localização da área de estudo.....	43
Figura 07 - Mapa de Unidade Geoambiental da área de estudo.....	45
Figura 08 - Fluxograma metodológico. Fonte: Autor, 2013.....	47
Figura 09 - Histograma da declividade média, parâmetros da USGS.....	52
Figura 10 - Histograma da declividade média, parâmetros da ERSDAC.	52
Figura 11 – Box Plot da distribuição de declividade média	53
Figura 12 - Histograma do CV, USGS.....	55
Figura 13 - Histograma do CV, ERSDAC.....	56
Figura 14 - Diagrama de dispersão: CV e declividade média, grade USGS.....	58
Figura 15 - Diagrama de dispersão: CV e declividade média, grade ERSDAC.....	58
Figura 16 - Distribuição espacial: grade μ e CV. Grade da USGS e ERSDAC.....	60
Figura 17 – Distribuição espacial da tipologia do relevo entre as grades de declividade.	66
Figura 18 - Histograma de incerteza de declividade USGS.....	67
Figura 19 - Histograma de incerteza de declividade ERSDAC	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Características gerais do satélite TERRA EOS-AM.....	18
Tabela 02 - Resoluções dos Subistemas do ASTER: VNIR, SWIR e TIR.	19
Tabela 03 – Parâmetros de validação do MDE pela UGSG EUA.....	25
Tabela 04 - Erros verticais por classe de uso da terra, segundo estudos da USGS EUA.	26
Tabela 05 - Resultados de validação do MDE pela ERSDAC.....	27
Tabela 06 - Erros verticais por classe de uso da terra, estudo da ERSDAC do Japão.	28
Tabela 07 - Diferentes proposições de classes de declividade.....	36
Tabela 08 – Classes de declividade proposto por: EMBRAPA/IBGE.....	37
Tabela 09 – Classes de declividade proposto por: INCRA	38
Tabela 10 – Classes de declividade do ZEE com os respectivos valores de escala Vulnerabilidade	40
Tabela 11 - Parâmetros estatísticos das amostras da declividade média.....	53
Tabela 12 - Valores quantitativos obtidos pelo método: EMBRAPA\ IBGE.	62
Tabela 13 - Valores quantitativos obtidos pelo método: INCRA.	62
Tabela 14 - Valores quantitativos obtidos pelo método: ZEE.	62
Tabela 15 – Indicadores estatísticos de incerteza de declividade	68

LISTA DE SIGLAS

ASTER	<i>Advanced Spacebone Thermal Emission and Reflection Radiometer</i>
CV	Coeficiente de Variação
DEM	<i>Digital Elevation Model</i>
EM	Erro Médio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ERSDAC	<i>Earth remote Sensing Data Analysis Center</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INPE	Instituto Nacional de Pesquisa Espacial
GSI	<i>Geographical Survey Institute</i>
MDE	Modelos Digitais de Elevação
MMC	Método de Monte Carlo
RADAM	Radar na Amazônia
RMSE	<i>Root Mean Square Error</i>
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SRTM	<i>Shuttle Radar Topographic Mission</i>
UTB	Unidades Territoriais Básicas
UTM	<i>Universal Transversa de Mercator</i>
ZEE	Zoneamento Ecológico Econômico
USGS	<i>United States Geological Survey</i>

<i>EOS</i>	<i>Earth Observation System</i>
<i>UG</i>	Unidades Geoambientais
σ	Desvio Padrão
μ	Média
<i>d</i>	Derivadas Parciais

1. INTRODUÇÃO

Os Modelos Digitais de Elevação (MDE), do inglês: *Digital Elevation Model*, são informações tridimensionais da superfície terrestre, que podem ser visualizadas pela hipsometria, pelo relevo sombreado, por pontos cotados, por curvas de níveis e pela visão em perspectiva.

Essas informações, aliadas as técnicas de geoprocessamento, tem permitido uma gama muito grande de análises tridimensionais do relevo, tendo-se como exemplo: o cálculo de volume, de corte e aterro, de modelagem hidrológica, de intervisibilidade entre outros.

Apesar de toda essa potencialidade, é importante salientar que os MDE estão sujeitos a erros e imprecisões que se propagam desde a aquisição até a confecção do produto final (SANT'ANA e FREITAS, 2005). Neste aspecto, percebe-se que os erros associados aos MDE são informações que devem ser levadas em consideração na análise do relevo.

O *ASTER Global Digital Elevation Model, version 2* (ASTERGDEM-2 ou MDE do ASTER-2) é um MDE disponibilizado para estudos de modelagem da superfície terrestre. Ele é obtido a partir de pares de imagens estereoscópicas orbitais e possui uma imprecisão vertical conhecida, que corresponde à incerteza altimétrica do modelo.

Sem duvida, essa imprecisão do MDE do ASTER tem influência na caracterização de variáveis derivadas desse modelo, sendo a declividade um exemplo típico de variável obtida do MDE.

Neste sentido, identifica-se que a aplicação da declividade na análise do relevo, sem levar em conta os erros do MDE do ASTER, pode estar comprometida.

Diante do exposto, formula-se a seguinte pergunta condutora: Qual a influência da imprecisão do MDE do ASTER-2 no cálculo da variável declividade?

Em função da pergunta condutora, definem-se os objetivos dessa dissertação.

1.1 Objetivo Geral

Analisar o erro altimétrico do Modelo digital do ASTER- 2 na variável declividade.

1.2 Objetivos Específicos

- Identificar indicadores de precisão do MDE ASTER-2;
- Mensurar o erro relativo da declividade oriunda do MDE ASTER-2;
- Avaliar a influência da incerteza altimétrica do MDE ASTER-2 na classificação da declividade e na tipologia do relevo;

1.3 Breve Histórico

A qualidade e fidelidade do Modelo Digital de Elevação (MDE) na modelagem da superfície terrestre são avaliadas por indicadores de precisão e acurácia.

Segundo GEMAEL (1994), a acurácia, também chamada de exatidão, corresponde aos efeitos aleatórios somados aos erros sistemáticos, enquanto que o termo precisão está vinculado apenas a efeitos aleatórios, ou seja, a dispersão das observações, normalmente indicada pela variância estimada, pelo desvio-padrão ou erro médio quadrático.

A medida que as técnicas e os equipamentos de obtenção de dados altimétricos tem evoluído, os indicadores de acurácia e precisão tem se tornado mais rigorosos.

O projeto Radar na Amazônia (RADAM), por exemplo, que posteriormente veio a se chamar projeto RADAMBRASIL, é um dos marcos relevantes de obtenção de dados altimétricos no Território Nacional.

Segundo ESCOBAR *et al.* (2005), este projeto foi criado com o intuito de coletar dados sobre os recursos naturais e a cartografia da Amazônia, bem como as áreas adjacentes da região Nordeste, na década 70. Posteriormente se estendeu por todo o País e marcou o início do programa Brasileiro de dinamização da pesquisa em território Nacional.

Naquela ocasião, foi considerado o maior levantamento mundial de cobertura realizado com radar aerotransportado (ESCOBAR *et al.*, 2005).

A coleta de dados do projeto RADAMBRASIL ocorreu por meio de um radar aerotransportado de visada lateral, *Sider Looking Airbone Radar* (SLAR). Segundo OLIVEIRA *et al.* (2011), este instrumento de coleta de dados foi utilizado por permitir o imageamento da superfície do terreno,

independente das influências do meio ambiente, por exemplo, a presença de nuvens.

Com o aprimoramento do sensoriamento remoto orbital, a aquisição de dados altimétricos passou a ser obtido por MDE oriundos de sensores orbitais, sendo uma nova fonte de informações de altimetria da superfície terrestre. Nesse sentido, destaca-se o MDE disponibilizado pela missão *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM), a partir do ano 2000.

A missão SRTM teve como principal objetivo gerar um MDE global a partir de um RADAR interferométrico. Esta missão imageou 80% da superfície terrestre gerando MDE para as regiões compreendidas entre os paralelos 60°N e 56° S (CHIEN, 2000). Vale destacar que os dados SRTM tem resolução espacial de 30x30m para os EUA e 90x90m para os demais países.

No Brasil diversas pesquisas foram desenvolvidas a partir dos MDE do SRTM. Por exemplo, BARROS *et al.*, (2004), sugerem o uso do MDE do SRTM para ortorretificar imagens de média resolução no Rio de Janeiro, SANTOS *et al.* (2006), avaliaram a qualidade vertical do MDE para a escala de 1:100.000 na região da Amazônia, SOUZA e LOCH (2008) propuseram avaliar o controle de qualidade do MDE por meio do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) na região de Santa Catarina.

Durante o ano de 2008, por meio do projeto TOPODATA, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE), houve um aprimoramento dos MDE derivados do SRTM para todo território Brasileiro. A resolução espacial original de 90x90m foi alterada para 30x30m. Essa nova configuração foi obtida por interpolação espacial, empregando-se o método de krigagem, VALERIANO e ROSSETI (2010).

A partir do MDE oriundo do TOPODATA foram obtidas informações sobre o relevo, que resultaram num banco de dados Geomorfométrico do Brasil (www.dsr.inpe.br/topodata).

Em meados de 2009 e posteriormente em 2011, novas informações de dados altimétricos passaram a ser obtidas por pares de imagens estereoscópicas orbitais, oriundas do sensor *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER).

ASTER é um instrumento óptico a bordo do satélite *TERRA Earth Observing System* (EOS-AM1) que obtém MDE, com resolução de 30x30m, por meio da combinação entre as bandas 3N e 3B. Este instrumento recobre uma área de extensão global, entre as latitudes 83°N e 83°S, e é considerado o levantamento topográfico mais completo da superfície terrestre, até o presente momento, TACHIKAWA *et al* (2011).

Para validação do MDE do ASTER a *United States Geological Survey* (USGS) dos EUA e a *Earth remote Sensing Data Analysis Center* (ERSDAC) do Japão realizaram estudos neste sentido. Ambos utilizaram pontos de referência no terreno para calcular a precisão do modelo, YOSHIKAWA *et al*. (2011).

Os resultados de validação do MDE do ASTER mostraram que nos estudos da USGS dos EUA o erro vertical baseado no *Root Mean Square Error* (RMSE) foi de 8.68m e o Erro Médio (EM) de -0.2m, com Desvio Padrão de 8.68m. Em relação a ERSDAC do Japão, o erro vertical apresentou o RMSE de 15.1m com EM de 7.4m e desvio padrão de 12.7m.

As informações obtidas por MDE, como o TOPODATA e o ASTER, podem ser processadas por modelos matemáticos de forma a gerar variáveis morfométricas da superfície. Essas variáveis correspondem às diversas formas de representação do relevo terrestre, tais como: declividade, orientação de vertentes, curvaturas do terreno, hipsometria, entre outros.

A declividade se baseia numa proporção de desníveis entre dois pontos e sua relação com as distâncias horizontais, VALERIANO e ALBUQUERQUE (2010). A orientação de vertentes corresponde ao

alinhamento do terreno em relação a uma direção de origem, pois é a medida do ângulo horizontal da direção do escoamento superficial, geralmente expressa em azimuth, BISPO *et al.* (2010). As curvaturas do terreno são definidas em curvatura vertical e horizontal, onde a curvatura vertical do terreno refere-se ao caráter convexo/côncavo deste quando analisado em perfil, MATOS (2001). A curvatura horizontal refere-se ao caráter divergente/convergente das linhas de fluxos em projeção horizontal, SCHMIDT *et al* (2003). Contudo, das variáveis morfométricas citadas acima somente a declividade fará parte desse estudo.

1.4 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação se encontra estruturada em seis capítulos, a saber:

- Capítulo 1- Introdução: contém de forma concisa a relevância e a problemática da pesquisa, os objetivos da pesquisa, sendo estes divididos em geral e específicos, bem como o estado da arte do assunto abordado.
- Capítulo 2 - Embasamento teórico: expõe à fundamentação científica da pesquisa. Subdividido em três Sub-Capítulos referente ao MDE do ASTER, obtenção da Declividade sobre MDE e o coeficiente de variação.
- Capítulo 3 - Metodologia: descreve os procedimentos e os recursos tecnológicos como também o método utilizado para elaborar a dissertação.
- Capítulo 4 - Resultados e Discussão: são apresentados os resultados da aplicação da Simulação da declividade e as discussões.
- Capítulo 5 - Conclusão: referente às considerações finais, sugestão e recomendação.
- Capítulo 6 - Referências: são listadas as referências necessárias à concretização da dissertação.

2. BREVE HISTÓRICO

No presente capítulo encontram-se os principais conceitos e temas associados à revisão e ao desenvolvimento da pesquisa. Nele são abordados o funcionamento do sistema ASTER, a elaboração do MDE, os algoritmos empregados no MDE para obter a variável declividade como também as diversas classificações aplicadas nos mapas temáticos de declividade.

2.1 Sistema ASTER

O *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER) é um instrumento óptico espacial a bordo do satélite TERRA EOS-AM1, lançado em órbita em 1999. Este instrumento capta energia eletromagnética da superfície terrestre entre as regiões do visível ao infravermelho termal do espectro eletromagnético. A Tabela 01 identifica as características gerais do satélite Terra EOS-AM1 e do sensor ASTER.

Tabela 01 - Características gerais do satélite TERRA EOS-AM

Características	Satélite TERRA EOS-AM1
Órbita	Órbita Quase Polar
Inclinação	98,2°
Altitude	705 km
Período Orbital	98.9 min
Cruzamento Equador	10:30 am
Sensores	SWIR, VNIR e TIR
S. Coordenadas	Geográfica
Massa	406 kg

Fonte: ASTER User's Guide Part III DEM Product (Ver. 4.0), 2005.

Segundo RODRIGUES *et al.* (2010), o ASTER é um resultado da parceria entre o *Ministry of Economy, Trade of Industry* (METI) do Japão e a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) como uma contribuição ao

projeto *Global Earth Observing System of Systems*(GEOSS) que visa gerar uma série de produtos de observação da Terra obtido por dados orbitais.

O ASTER possui três subsistemas de sensores óticos multiespectrais: *Visible Near Infrared (VNIR)*, *ShortWave Infrared (SWIR)* e *Thermal Infrared (TIR)*, cada um operando em resoluções espectrais e espaciais distintas, com um total de 14 bandas, conforme especificados na Tabela 02.

Tabela 02 - Resoluções dos Subsistemas do ASTER: VNIR, SWIR e TIR.

Subsistema	Banda	R. Espectral (μm)	R. Espacial (m)	Área Imageada (km)	R. Radiométrica (bits)
VNIR	1	0.52 - 0.60	15	60	8
	2	0.63 - 0.69			
	3N	0.78 - 0.86			
	3B	0.78 - 0.86			
	4	1.600 - 1.700			
	5	2.145 - 2.185			
SWIR	6	2.185 - 2.225	30	60	8
	7	2.235 - 2.285			
	8	2.295 - 2.365			
	9	2.360 - 2.430			
	10	8.125 - 8.475			
	11	8.475 - 8.825			
TIR	12	8.925 - 9.275	90	60	8
	13	10.25 - 10.95			
	14	10.95 - 11.65			

Fonte: ERSDA. ASTER User's Guide Part I Genera (Ver. 4.0), 2005a. As Bandas 3n e 3b referem-se a uma única banda.

O subsistema VNIR está inserido na região do visível ao infravermelho próximo, o SWIR ocorre em torno da região do infravermelho médio enquanto que o TIR opera na região do infravermelho termal, ERSDAC (2005b).

A energia eletromagnética captada pelos sensores do ASTER é transformada em 14 imagens da superfície terrestre, permitindo a obtenção destas em diferentes intervalos de comprimentos de onda eletromagnética.

Segundo GARCÍA *et al* (2012), o instrumento ASTER fornece dois grupos de produtos: os dados de Nível L1 e os produtos de Alto-Nível, sendo que no primeiro grupo há dois tipos de dados de Nível L1: L1A e L1B.

De acordo com WAGNER (2004), os dados L1A são definidos como dados instrumentais não processados. Neste nível os coeficientes radiométricos, os coeficientes geométricos e outros dados auxiliares não são aplicados na imagem mantendo os valores originais. O produto ASTER L1B é derivado dos dados L1A, cujos coeficientes geométricos e radiométricos são aplicados. Os produtos de Alto-Nível são resultado de processamento nas imagens de Níveis L1A e L1B, podendo ser adquiridos direto do banco de imagens do EOS.

2.2 Imagens Estereoscópicas e Aquisição do MDE do ASTER

Dentre os produtos obtidos pelas imagens ASTER têm-se o *Global Digital Elevation Model (GDEM)*, que constitui num MDE confeccionado na forma de grade regular quadrada.

A confecção do MDE ocorre por meio de pares de imagens estereoscópicas na região do infravermelho próximo nas bandas 3N (nadir) e 3B (*backward*) gerados no subsistema de sensor: VNIR (0.78 – 0.86 μm), CAMARGO *et al.* (2009), FERREIRA *et al* (2011).

Segundo YAMAGUCHI *et al.*, (1998), no sistema ASTER o sensor VNIR é o único que proporciona uma visão estereoscópica, por ser constituído de dois sensores idênticos com diferentes visadas, conforme mostra a Figura 01.

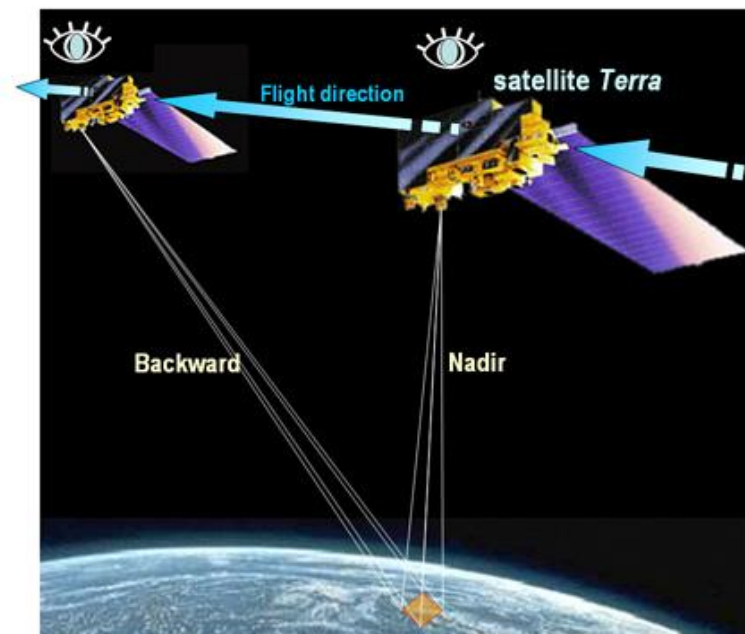


Figura 01 - Aquisição do MDE do ASTER a partir de pares estereoscópica.

Fonte: <http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E/3.html>, aquisição em 02/08/2012.

De acordo com Figura 01 a combinação entre as bandas 3N e a banda 3B adquiridas na mesma órbita e com diferentes visadas, permite a visualização estereoscópica das imagens (estereopar).

Cerca de 60 segundos de tempo é o intervalo entre o registro na banda Nadir e a banda *Backward* em uma mesma porção da superfície terrestre, formando uma cena da imagem ASTER que recobre uma área de 61.5km × 63km, OLIVEIRA e PARADELLA (2009).

O MDE do ASTER foi criado com o processamento e correlacionamento de 1.3 milhões de arquivos de cenas (imagens ópticas). Esses arquivos deram origem a um mosaico com 22.895 imagens, com dimensão de 1°x 1° cada (RODRIGUES *et al.* 2010). Estas imagens recobrem uma área de extensão global, entre as latitudes 83°N e 83°S.

Segundo LEE *et al.* (2008), uma relação constante de aproximadamente 0,6 entre a Base, que corresponde distância entre duas tomadas consecutivas da imagem e Altura, correspondente a distância do sensor ao alvo, é necessária para obtenção da terceira dimensão nas imagens estereoscópicas.

Essa relação é definida pela tangente de α , que corresponde ao ângulo entre o Nadir e a visada *Backward* em um ponto da superfície da Terra. Para tal obtenção o ângulo α , formado entre a visada nadir e o *backward* possui uma inclinação de 30.96° . Ao levar em conta a curvatura da superfície da Terra o ângulo α é projetado em 27.70° , conforme exemplificado na Figura 02.

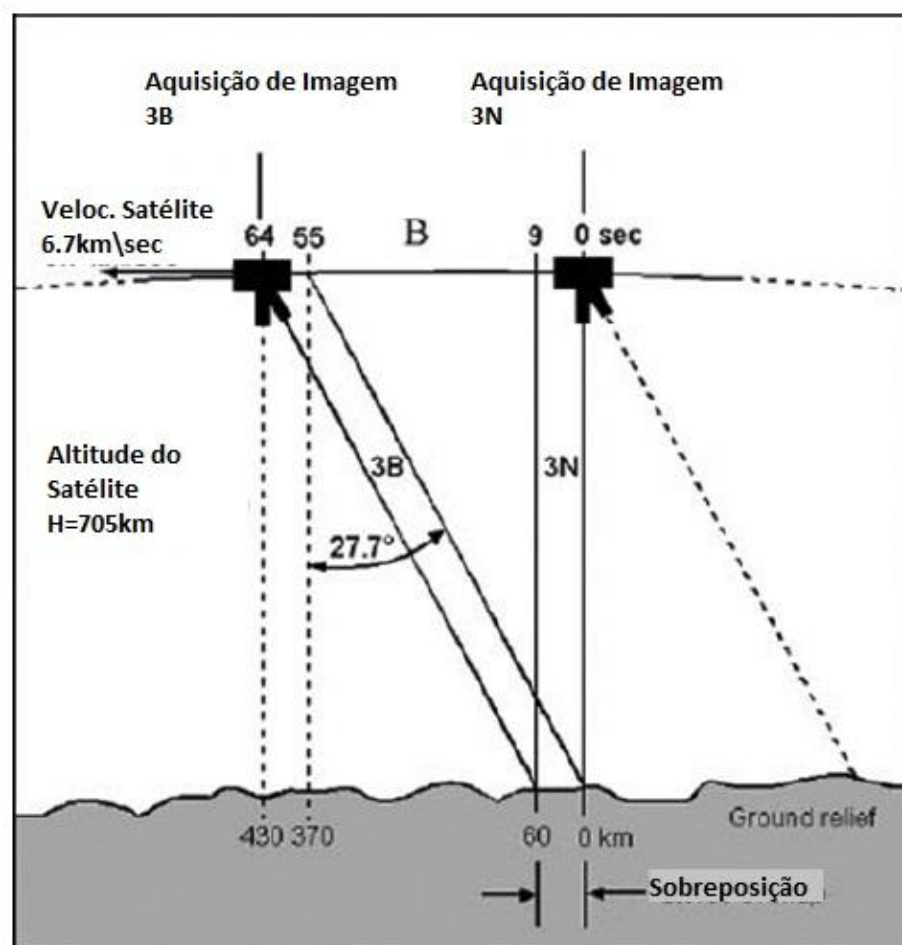


Figura 02 - Sobreposição de imagens estereoscópicas do ASTER.

Fonte Adaptada: OLIVEIRA, (2009).

Esta relação favorece a configuração estereoscópica de qualidade bem consistente, adequada para a geração de MDE por técnicas de correlação automatizadas (HIRANO *et al.* 2003, KAMP *et al.* 2003).

Para extrair dados altimétricos das imagens estereoscópicas do ASTER, são correlacionados pontos homólogos entre as imagens nas bandas Nadir e Backward, TOMAZONI *et al* (2011), conforme exemplifica a Figura 03.

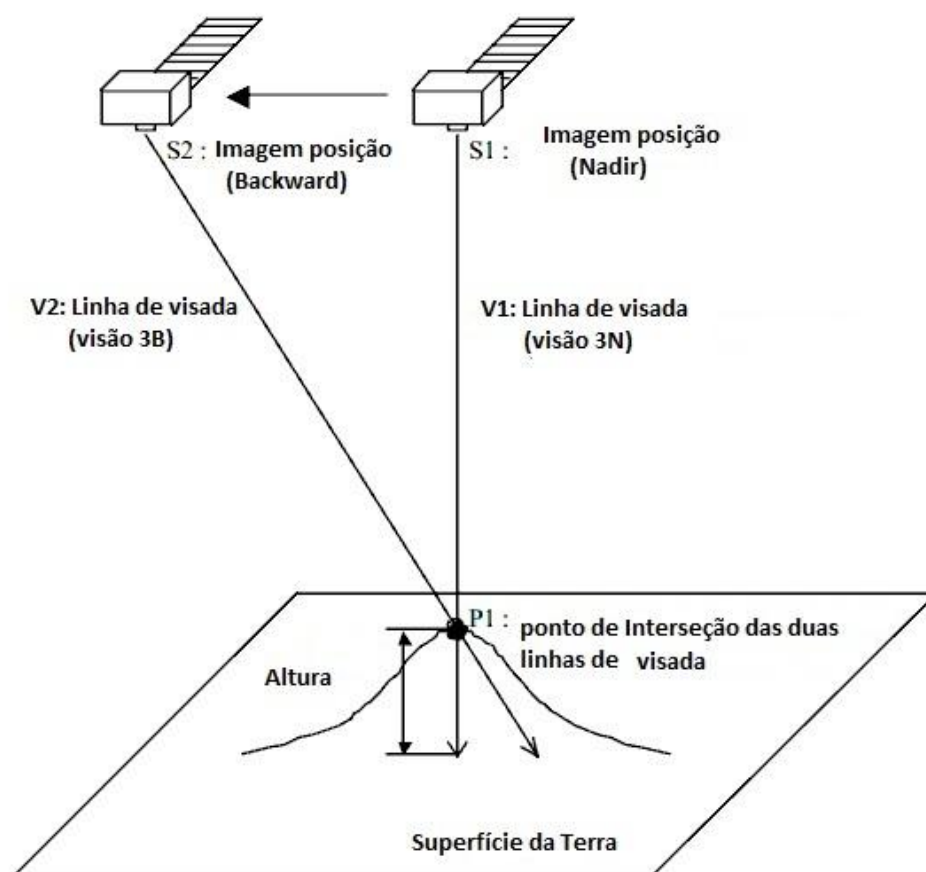


Figura 03 - Aquisição de dados topográficos com imagens estereoscópicas do ASTER.
Fonte: Adaptado de ASTER User's guide PartIII, DEM product, ERSDAC, 2005.

O coeficiente de correlação é o modelo utilizado para obter a equivalência entre os pontos nas imagens estereoscópicas, extraindo desta maneira o MDE das imagens ASTER (ERSDAC, 2007).

Diferentemente das imagens brutas de 15m (3N e 3B), cada célula do MDE do sistema ASTER possui uma dimensão de um segundo/arco (1"), ou seja, uma resolução espacial de aproximadamente 30m, compondo uma grade de 3601x3601 pixels.

O MDE do ASTER está referenciado ao DATUM WGS-84/ EGM96 e definido num sistema de coordenadas geodésicas. O modelo está disponível na extensão *Geographic Tagged Image File Format* (GEOTIFF) com resolução radiométrica de 8 bits, GUTH (2010).

De acordo com TACHIKAWA *et al* (2011b), o MDE elaborado pelo ASTER teve duas versões intituladas de ASTERGDEM-1 e ASTERGDEM-2. A primeira versão processou e elaborou os MDE entre 2000 e 2008, disponibilizando-os em julho de 2009. A sua segunda versão elaborou os MDE a partir de 2008, disponibilizando-os em outubro de 2011.

2.2.1 Precisão Vertical do MDE do ASTER

No que diz respeito à precisão vertical do MDE do ASTER, diversos autores tem conduzido pesquisas para investigar a precisão deste modelo.

Segundo WAGNER (2004), os estudos de precisão do ASTER podem ser divididos em dois grupos: os estudos de pré-lançamento que simularam a precisão esperada do MDE do ASTER através de outros MDE e os estudos com o próprio MDE disponibilizados pelo ASTER.

Nos estudos de pré-lançamento do ASTER, WELCH *et al.*, (1998) simularam a precisão do MDE das imagens estereoscópicas do Sensor SPOT. A validação da precisão foi realizada por comparação entre os 63 pontos de controle do MDE com o levantamento da (UGSS), onde o estudo indicou uma precisão vertical de 13m. Ressalto que nesse estudo não foi identificado

o indicador empregado para definir essa precisão. TOKUNAGA *et al* (1996) avaliaram as imagens estereoscópicas do sensor *Japan Earth Resources Satellite Optical Sensor* (JERS-1OPS) para simular imagens estereoscópicas do ASTER com o intuito de obter o MDE. A precisão deste MDE foi realizada utilizando pontos de controle derivados de mapas topográficos na escala de 1:25.000 o que resultou num Erro Médio Quadrático (RMSE) de 12m.

No que diz respeito aos estudos de precisão com o próprio MDE do ASTER, os EUA e o Japão foram referência em relação à precisão e acurácia do MDE do ASTER. Nos EUA o estudo de validação foi realizado pela USGS em parceria com a NASA, enquanto que no Japão estes estudos foram realizados pela ERSDAC em cooperação com a Universidade de Tóquio (TACHIKAWA *et al.* 2011a).

A abordagem de validação do produto adotado pelos dois países foi semelhante, pois ambos utilizaram pontos de referência para calcular as precisões do MDE do ASTER (YOSHIKAWA *et al.* 2011).

Nos estudos de validação dos EUA a precisão do MDE do ASTER, para ambas as versões, foi avaliada baseando-se em 18.207 pontos geodésicos (pontos de controle) distribuídos ao longo do território dos EUA.

A precisão vertical foi baseada nos indicadores: (RMSE), intervalo de confiança de 95% (IL95), erro médio (EM) e desvio padrão (σ), conforme mostra a Tabelas 3, a Figura 4 e o histograma dos erros para o ASTER2.

Tabela 03 – Parâmetros de validação do MDE pela UGSG EUA

USGS	MÍNIMO	MAXIMO	DESVIO PADRÃO	EM	IL95	RMSE
MDE DO ASTER VERSÃO 1	-127.74	105.41	8.58M	-3.69	-21.99 -- 14.61M	9.34M
MDE DO ASTER VERSÃO 2	-137.37	64.80	8.68M	-0.2	-17.2 -- 16.81M	8.68M

Fonte: Validation of the ASTER version 2 over the conterminous United States, GESCH, *et al* (2011).

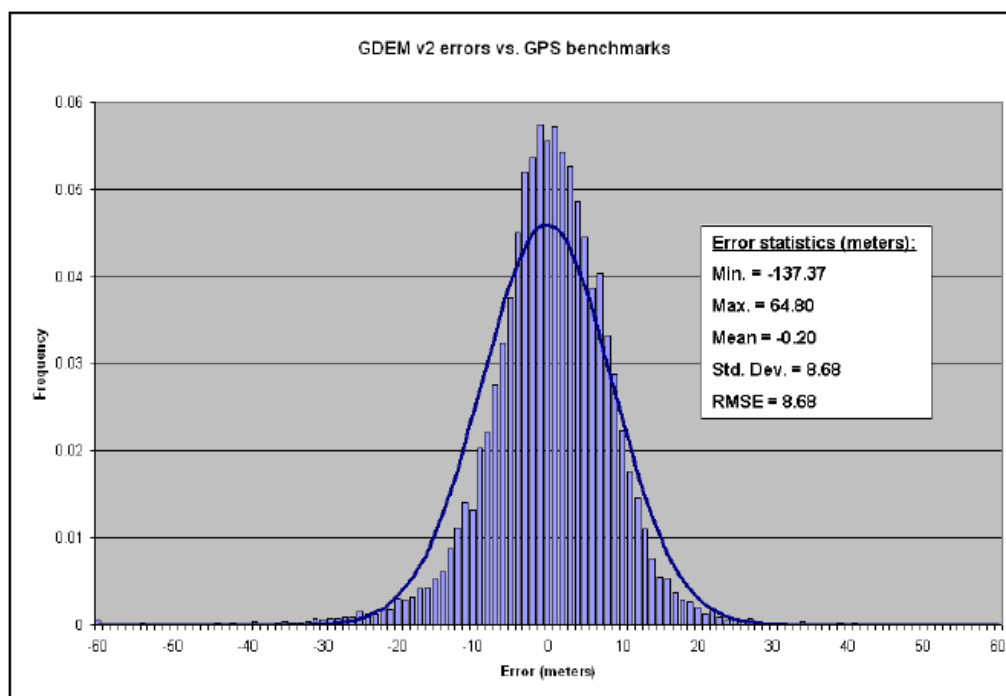


Figura 04 - Histograma do erro estatístico da precisão vertical do MDE do ASTER-2.
 FONTE: GESCH et al., (2011)

GESCH *et al.*, (2011), relacionaram a precisão vertical com base em determinados segmentados de classes de cobertura da Terra. Esses autores concluíram que o RMSE variou pouco entre as classes, mas o erro médio apresentou significativa alteração, conforme mostrado na Tabela 04.

Tabela 04 - Erros verticais por classe de uso da terra, segundo estudos da USGS EUA.

Tipo de Cobertura	RMSE	Erro Médio (EM)
Floresta	9.23m	3.10m
Áreas Urbanas	8.58m	-0.13m
Solo Exposto	8.94m	-0.95m
Total	8.68m	-0.20m

Fonte: Appendix B_Conus_GDEMv2 Validation Report, GESCH et al., (2011).

Convém relatar que, as imagens do ASTER são extraídas por meio da superfície refletida, assim, as elevações derivadas do MDE do ASTER representam a altura dessas superfícies.

Neste caso em áreas com vegetação densa ou com estruturas construídas, a elevação derivada do ASTER irá representar a elevação desses alvos em vez do nível do solo.

Em relação ao Território do Japão, o MDE do ASTER foi avaliado tendo como referência outro MDE, com resolução espacial de 10m de altura, produzido pela *Geographical Survey Institute (GSI)*. No estudo de validação foram selecionados 4 malhas do MDE da GSI localizadas no centro da ilha de Honshu, abrangendo elevações que variaram do nível do mar a picos superiores a 3.000 metros, em uma área de 2°x2°.

Para compatibilizar as resoluções espaciais do GSI com o ASTER, o segundo foi reamostrado de forma a apresentar uma grade com resolução espacial de 10m. O erro de elevação foi obtido tomando a diferença entre o MDE do ASTER e o MDE da GSI.

Segundo TACHIKAWA *et al.*, 2011b, os indicadores de validação foram baseados nos EM, Desvio padrão e RMSE, cujos valores são mostrados na Tabela 05.

Tabela 05 - Resultados de validação do MDE pela ERSDAC

Parâmetros	MDE do ASTER-1	MDE do ASTER-2
EM	-	7.4m
Desvio Padrão	-	12.7m
RMSE	-	15.1m

Fonte Adaptada: TACHIKAWA, 2011b.

O estudo da ERSDAC também analisou os resultados de validação do MDE por classes de cobertura/Tipologia da Terra, cujo resultado é exposto na Tabela 06.

Tabela 06 - Erros verticais por classe de uso da terra, estudo da ERSDAC do Japão.

Cobertura/Tipologia	RMSE	Erro Médio (EM)
Área Plana	6.06	-1.32
Área Montanhosa	8.57	-1.09
Floresta	5.85	8.68

Fonte: Adaptado de TACHIKAWA, 2011b.

Segundo TACHIKAWA (2011b), a diferença de erros de elevação entre os estudos da USGS e da ERSDAC é devido a uma série de fatores, tais como: as diferenças na definição de floresta em cada um dos esquemas de classificação, as diferenças de altitudes de referência e, sobretudo, aos métodos usados para comparação, pois nos EUA foram utilizados pontos de controle geodésicos enquanto no Japão utilizou-se os MDE do GSI.

Não obstante, independente da especificidade dos métodos empregados no EUA e Japão, o que se pode afirmar é que em ambos os estudos de validação houve uma melhoria, no que diz respeito à precisão vertical, entre a primeira e segunda versão do MDE do ASTER.

2.3 Variáveis Morfométricas em MDE: enfoque na declividade

Os MDE são ferramentas relevantes para representação tridimensional da superfície terrestre, sendo que por meio de métodos computacionais tem sido possível extrair dos MDE variáveis morfométricas do relevo.

As variáveis morfométricas ou geomorfométricas referem-se aos atributos ou formas do relevo adquiridas sob a abordagem numérica, a partir de grades de dados obtidas em intervalos regulares ou irregulares. (EVANS, 1972).

Ressalta-se que as formas do relevo adquiridas sobre os MDE também são comumente conceituadas como atributos do relevo, derivações morfométricas locais e atributos topográficos (FLORENZANO, 2008; VETTORAZZI *et al.*, 1987 e BERTOTTI 1997), nessa pesquisa as formas do relevo serão denominadas de variáveis morfométricas.

Segundo GILES e FRANKLIN (1998), as variáveis morfométricas podem dar suporte à classificação dos elementos do meio físico, sendo relevantes em estudos de simulações e de modelagem sistemática da paisagem. Dentre essas variáveis destaca-se a declividade, que corresponde à inclinação do relevo.

Devido à sua estreita associação com processos de transporte gravitacional (escoamento, erosão e deslizamento), a declividade do terreno é uma variável básica para a segmentação de áreas em praticamente todos os procedimentos de planejamento territorial (VALERIANO, 2008). Neste sentido, os métodos de avaliação de terras ou planejamento baseados em modelagem numérica ou em decisões lógicas, lidam de alguma forma, com a variável declividade.

Segundo FELGUEIRA e CAMARA (2004), o cálculo de declividade de uma superfície $Z=f(x, y)$ é efetuado a partir de derivadas parciais nas direções x e y , conforme exemplificado na Equação 01.

$$D = \arctan \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2} \quad \text{Eq.1}$$

Onde:

D é a declividade

$\frac{\partial z}{\partial x}$ é a derivada parcial na direção X

$\frac{\partial z}{\partial y}$ é a derivada parcial na direção Y

2.3.1 Cálculo de Declividade em MDE

Através de técnicas computacionais, a aquisição da variável declividade tem sido obtida por funções e algoritmos matemáticos sobre os modelos digitais de elevação.

Segundo EASTMAN (1995), estas técnicas permitem uma série de opções para o cálculo da declividade, podendo-se inclusive estabelecer uma formulação de cálculo próprio, elaborado pelo usuário.

O uso de operações de vizinhança é a base para o cálculo da declividade, como também de outras variáveis do relevo, em MDE. Essas operações de vizinhança são definidas a partir de máscaras ou janelas móveis, que se deslocam sobre toda a grade, VALERIANO (2010) MORETTI *et al* (1989).

A cada posição da janela móvel, a declividade é calculada para a célula ou *pixel* central, levando-se em consideração a vizinhança desse pixel. A dimensão da janela é definida com base em linhas x colunas, conforme exemplifica a Figura 05.

Z_1	Z_2	Z_3
Z_4	Z_5	Z_6
Z_7	Z_8	Z_9

Figura 05 - Distribuição dos pixels numa janela móvel de 3x3.
Fonte adaptada: CAMARA *et al.* (2001).

A Figura 5 exemplifica uma janela com dimensão 3x3, tendo como célula central a correspondente Z_5 . Convém ressaltar que essa janela deverá sempre ter um número ímpar de linhas e colunas, de forma a garantir a existência de uma célula central.

Diversos algoritmos matemáticos são empregados nas operações de vizinhança para extrair do MDE a variável declividade. Os métodos apresentados estão relacionados com a Figura 05 e exigem a determinação das derivadas parciais: $\frac{\partial z}{\partial x}$ e $\frac{\partial z}{\partial y}$ para serem aplicadas à Equação (01).

BURROUGH (1986), identifica que as derivadas parciais de uma janela 3x3 são obtidos de acordo com as equações (2) e (3), onde ∂x e ∂y correspondem as dimensões do pixel nas direções x e y respectivamente.

$$\left[\frac{\partial z}{\partial x} \right] = \frac{[(Z_3 + 2*Z_6 + Z_9) - (Z_1 + 2*Z_4 + Z_7)]}{8} * \partial x \quad \text{Eq.2}$$

$$\left[\frac{\partial z}{\partial y} \right] = \frac{[(Z_3 + 2*Z_2 + Z_1) - (Z_9 + 2*Z_8 + Z_7)]}{8} * \partial y \quad \text{Eq.3}$$

Nas equações 2 e 3, geometricamente para obter a declividade, o cálculo das derivadas parciais x e y, seguem uma linha anterior e posterior ao pixel central, como também uma coluna a direita e a esquerda desse mesmo pixel.

MORETTI *et al.* (1989), identifica que as derivadas parciais de uma janela quadrada 3x3 são obtidas de acordo com as equações 4 e 5, onde r corresponde a dimensão do pixel na direção x e y.

$$\text{Eixo cardinal: } \frac{\partial z}{\partial x} = \frac{Z_2 + Z_8}{2r} \quad \frac{\partial z}{\partial y} = \frac{Z_6 + Z_4}{2r} \quad \text{Eq.4}$$

$$\text{Eixo diagonal: } \frac{\partial z}{\partial x} = \frac{Z_3 + Z_7}{\sqrt{2}r} \quad \frac{\partial z}{\partial y} = \frac{Z_1 + Z_9}{\sqrt{2}r} \quad \text{Eq.5}$$

As equações 4 e 5, são calculadas em função dos desníveis altimétricos que podem ser obtidos através dos eixos cardinais ou em cruz (direção N-S, E-W) e diagonais ou em xis (NE-SW, NW-SE) sobre a janela móvel.

Ainda segundo MORETTI *et al.*, (1989), as equações 4 e 5 utilizam as médias dos desníveis altimétricos, em ambos os eixos. Não obstante uma alternativa empregada é adotar o desnível Máximo ao invés da média. VALERIANO (2002), identifica que esta alternativa pode trazer ganhos de exatidão pelo fato da declividade de um ponto ser medida no sentido e direção de sua máxima intensidade.

VALERIANO (2010), identifica também que as derivadas parciais são obtidas através do ajuste de uma superfície de tendência de grau 1 aplicada a janela móvel. Esse ajuste é determinado por um sistema de equações superabundantes, conforme Equação 6.

$$\begin{aligned} Z_1 &= A_0 + A_1X_1 + A_2Y_1 \\ Z_2 &= A_0 + A_1X_2 + A_2Y_2 \\ Z_3 &= A_0 + A_1X_3 + A_2Y_3 \\ &\vdots \\ &\vdots \\ &\vdots \\ Z_9 &= A_0 + A_1X_9 + A_2Y_9 \end{aligned} \quad \text{Eq.6}$$

Onde:

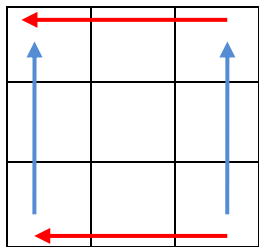


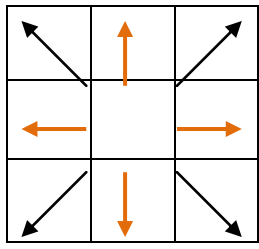


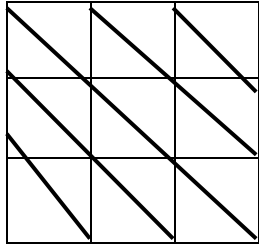
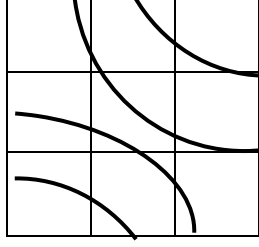
Z_1, \dots, Z_9 são as altitudes das células da janela móvel 3x3

Convém ressaltar que os valores de $X_1 \dots X_9$ e $Y_1 \dots Y_9$ correspondem às coordenadas centrais de cada célula e que as incógnitas: A_0, A_1, A_2 correspondem aos coeficientes do plano inclinado. Desse modo, o coeficiente A_1 identifica a derivada parcial $\frac{\partial z}{\partial x}$ enquanto que o coeficiente A_2 identifica a derivada parcial $\frac{\partial z}{\partial y}$.

Segundo VALERIANO e ROSSETI (2010), a principal vantagem da superfície de tendência é retratar o segmento de superfície com um modelo independente da estrutura das células da janela móvel, todavia como possíveis desvantagens, listam-se o caráter estatístico da superfície ajustada.

Neste sentido, percebe-se que conhecer as especificações de cada algoritmo aplicado ao MDE pode direcionar a escolha do método mais adequado na obtenção da declividade, sobretudo no que diz respeito à precisão e a qualidade. No Quadro 01 encontra-se uma analogia entre os algoritmos e o cálculo de declividade sobre os MDE.

Quadro 01 – Síntese dos algoritmos aplicados à janela móvel 3x3 para o cálculo de declividade.

Algoritmo	Janela móvel (3x3)	Descrição
Derivadas Parciais		 Derivadas na direção X  Derivadas na direção Y
Vetores Ortogonais		 Derivadas no eixo Cardinal  Derivadas no eixo Diagonal
Superfícies de Ajuste		Superfície de Tendência de 1º ordem (plano inclinado)
		Superfície de Tendência de 2º ordem

Fonte adaptada: Valeriano e ROSSETI (2010) e Zani (2009).

Outro parâmetro relacionado à precisão na obtenção da declividade diz respeito a resolução espacial do MDE.

Nos estudos de CAVALLI e VALERIANO (2000) encontra-se uma metodologia proposta para diminuir a suavização da declividade causada pela variação no tamanho dos pixels dos MDE. Os resultados desta metodologia mostraram que a declividade mostrou-se muito sensível à variação de tamanho do pixel, apresentando maior suavização quando a resolução espacial é menor, além disso, a diminuição do tamanho das células melhorou o resultado bi e tridimensional.

2.3.2 Métodos de Estratificação de Declividade

Como visto na secção 2.3.1, para obter informações sobre a declividade é necessário aplicar algoritmos sobre os MDE. Não obstante, tão importante quanto obter a declividade é necessário arranja-las de uma maneira que seja fácil interpreta-la em um mapa temático.

Atualmente, mesmo que o cálculo da declividade em função dos MDE seja feita automaticamente com as ferramentas computacionais, há necessidade de conhecer os critérios de estratificação, pois isto pode conduzir a métodos de classificação mais eficazes para determinados estudos.

NOGUEIRA (2009), identifica que os critérios de estratificação devem levar em consideração tanto o número de classes quanto seus intervalos.

Para VALERIANO (2002), a definição das classes de declividade atende a um aspecto bem amplo no que diz respeito à sua utilização na representação cartográfica.

Conforme o IBGE (2009), a existência de diferentes propostas de classificação de declividade revela o interesse em critérios que sejam capazes de orientar o uso adequado do relevo, possibilitando, por exemplo, a identificação de áreas suscetíveis aos processos erosivos e a movimentos de massa.

Ao longo do tempo diversos autores propuseram número de classes e intervalos de estratificação diferentes na construção de mapas temáticos de declividade, conforme mostra a Tabela 07.

Tabela 07 - Diferentes proposições de classes de declividade

Cazbat (1968) (%)	Chianini e Donzeli (1973) (%)	Agência Defesa EUA (1974) (%)	De Biasi (1977) (%)
0-5	<12	0-3	<5
5-15	12-20	3-10	5-12
15-25	20-40	10-30	12-30
25-35	>40	30-45	30-47
35-45	-	45-100	>47
>45	-	>100	-

Fonte adaptada: NOGUEIRA e RUTH (2009).

Vale observar que no final da década de 80, foram propostos por DE BIASI e HECK (1989), definições das classes de declividade para serem utilizados na representação cartográfica. Essas declividades eram obtidas manualmente a partir de cartas topográficas.

No final da década de 90, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) em parceria com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) na tentativa de definir uma classificação sólida de declividade agrupou-a em seis classes em função das características do relevo, IBGE (1999), com mostra a Tabela 08. Observa-se que a fonte não especifica onde os intervalos de classes são abertos ou fechados.

Tabela 08 – Classes de declividade proposto por: EMBRAPA/IBGE

Declividade (%)	Características do Relevo
0-3	Plano
3-8	Suave Ondulado
8-20	Ondulado
20-45	Forte Ondulado
45-75	Montanhoso
>75	Escarpado

Fonte: Manual técnico de Geomorfologia, IBGE (2009).

Na Tabela 08, a classificação de declividade do IBGE e EMBRAPA foi baseada nos estudos de TRICART (1977), a partir da classificação dos ambientes em categorias ecodinâmicas. A EMBRAPA (2006), identifica que as distinções de relevo são empregadas para prover informação sobre praticabilidade de emprego de equipamentos agrícolas, sobretudo os mecanizados, e facilitar inferências sobre suscetibilidade dos solos à erosão.

Até os dias atuais, esta classificação proposta pela Embrapa e IBGE é o método de referência na classificação de declividade para o território Nacional.

Na análise da situação de imóveis vistoriados pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma-Agrária (INCRA) a classificação do relevo tem peso significativo. Segundo a Norma de Execução INCRA (2006) a classificação do relevo define as classes de capacidade de uso das terras, pois apresenta estreita relação com aspectos ligados ao uso e manejo agrícolas, conforme especificado na tabela 09. Observa-se também que a fonte não define se os intervalos de classe são fechados ou abertos

Tabela 09 – Classes de declividade proposto por: INCRA

Declividade (%)	Característica do relevo
0-2	Plano
2-5	Suave Ondulado
5-10	Moderadamente Ondulado
10-15	Ondulado
15-45	Forte Ondulado
45-70	Montanhoso
>70	Escarpado

Fonte adaptada: LEPSCH (1983).

A classificação do relevo do INCRA, adaptada de LEPSCH (1983), esta enquadrada dentro de determinados intervalos de declividade, os quais definem as classes. Segundo a norma as classes de declividade possuem limites rígidos, cuja adoção é recomendada para os casos em que não se dispõe de dados de erosividade e erodibilidade.

Por outro lado, certos limites de classes de declividade são utilizados na gestão territorial nos mais variados usos e ocupações do solo. Fato este representado pelos parâmetros e definições de Área de Preservação Permanente (APP) através da Resolução do CONAMA nº 303 de março de 2002 e por meio do Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE), proposto por CREPANI *et al.*, (2001).

Sobre a resolução CONAMA nº303/2002, algumas classes de declividade são baseadas para definição e limite de APP, conforme descrito nos Artigos 1,2 e 3º desta resolução e resumidos no Quadro 02:

Art. 1º *Constitui objeto da presente Resolução o estabelecimento de parâmetros, definições e limites referentes às Áreas de Preservação Permanente.*

Art. 2º Para os efeitos desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

IV - morro: (...) encostas com declividade superior a trinta por cento (aproximadamente dezessete graus) na linha de maior declividade;

XI - tabuleiro ou chapada: paisagem de topografia plana, com declividade média inferior a dez por cento, aproximadamente seis graus (...);

XII - escarpa: rampa de terrenos com inclinação igual ou superior a quarenta e cinco graus, estando limitada no topo pela ruptura positiva de declividade (linha de escarpa) e no sopé por ruptura negativa de declividade...

Art. 3º Constitui Área de Proteção Permanente a área situada:

VII - em encosta ou parte desta, com declividade superior a cem por cento ou quarenta e cinco graus na linha de maior declive;

Quadro 02 - Quadro resumo da definição de APP.

Resolução CONAMA nº303\2002	Limites de APP	Declividade (%) ou (º)
	Morro	>30% ou 17º
	Tabuleiro ou chapada	<10% ou 10º
	Escarpa	= > 100% ou 45º
	Encosta ou parte desta	>100%

Fonte adaptada de: Resolução CONAMA nº 303, (2002).

Em relação ao ZEE, este consiste numa metodologia para elaboração de mapas de vulnerabilidade natural à perda do solo visando uma análise sistêmica da paisagem, desenvolvida com base nos conceitos de Ecodinâmica de Tricart.

De acordo com CREPANI *et al.* (2001), esta metodologia foi desenvolvida com base na interpretação de dados temáticos preexistentes tais como: mapas geológicos, geomorfológicos, pedológicos, climático, de cobertura vegetal e uso da terra na qual serviram de base na elaboração do mapa de Unidades Territoriais Básicas (UTB) composto de unidades de paisagem natural e polígonos de intervenção antrópica.

No ZEE foi feita uma classificação do grau de vulnerabilidade de cada UTB com atribuição de valores entre 1 e 3, para cada unidade de paisagem. Segundo TRICART (1992) a unidade territorial é baseada nos processos de morfogênese e pedogênese, na qual predomina a morfogênese quando prevalecem os processos erosivos, modificadores das formas de relevo, e quando predomina a pedogênese prevalecem os processos formadores de solos.

No que diz respeito a Geomorfologia, esta oferece informações relativas à Morfometria para a caracterização da estabilidade das unidades de paisagem natural, tais como: amplitude de relevo e declividade entre outros.

Para a declividade foram estabelecidas as escalas de vulnerabilidade com valores de 1 para pequenos ângulos de inclinação de encostas e 3 com valores de maior declive, conforme mostra a Tabela 10.

Tabela 10 – Classes de declividade do ZEE com os respectivos valores de escala Vulnerabilidade

Declividade (%)	Classes Morfométricas	Valores de Vulnerabilidade (°)
<2	Muito baixa	1
2-6	Baixa	1.5
6-20	Média	2
20-50	Alta	2.5
>50	Muito alta	3

Fonte adaptada de: Crepani *et al.*, (2001).

Dessa maneira, entende-se que nas unidades de paisagem natural que apresentam valores altos de amplitude de declividade, prevalecem os processos de morfogênese, enquanto que em situações de baixos valores prevalecem os processos de pedogênese.

2.4 Indicador Estatístico: Coeficiente de Variação

Através de medidas estatísticas de dispersão tem sido possível mensurar a precisão e a qualidade de dados experimentais advindos de métodos computacionais, (RESENDE e DUARTE, 2007).

O Coeficiente de Variação (CV) é uma medida de dispersão empregada para estimar a precisão de experimentos, sendo que este indicador estatístico é definido como a relação do desvio-padrão (σ) e a média (μ), (GOMES, 1991), de acordo com a Equação 7.

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} * 100 \quad \text{Eq.7}$$

Onde:

CV é o Coeficiente de Variação (em %)

σ é o Desvio padrão

μ é a média aritmética

Segundo AMARAL *et al.* (1997), o CV é útil para comparação do grau de concentração em torno da média de uma série de medições. CARGNELUTTI e STORCK, (2007), afirmam que o CV constituiu-se numa estimativa do erro experimental em relação à média das medições. Para KALIL (1977) e GARCIA (1989), a principal qualidade do CV é a capacidade de comparar resultados de diferentes trabalhos e que envolvem a mesma variável, permitindo quantificar a precisão das pesquisas.

Na simulação de modelagem numérica com dados oriundos de MDE, o CV pode ser empregado para quantificar a precisão das simulações. Autores como: BURROUGH e MCDONNELL (1998) sugerem o CV para avaliar a influência da imprecisão do MDE.

3. METODOLOGIA

3.1 Área de Estudo

A área de estudo é uma amostra do MDE do ASTER-2, com dimensão de, aproximadamente, 95km². Esta amostra é composta de 323x323 pixels e esta localizada no estado de Pernambuco, região Nordeste do Brasil, entre as coordenadas geodésicas: LAT (-8° 15' 31") e (-8° 10' 17"), LONG (-36° 12' 42") e (-36° 06' 26").

A amostra está inserida entre os municípios de Caruaru, Brejo da Madre de Deus, São Caetano e Tacaimbó, todos situados na Mesorregião do Agreste Pernambucano e Microrregião do Vale do Ipojuca, como mostra a Figura 06.

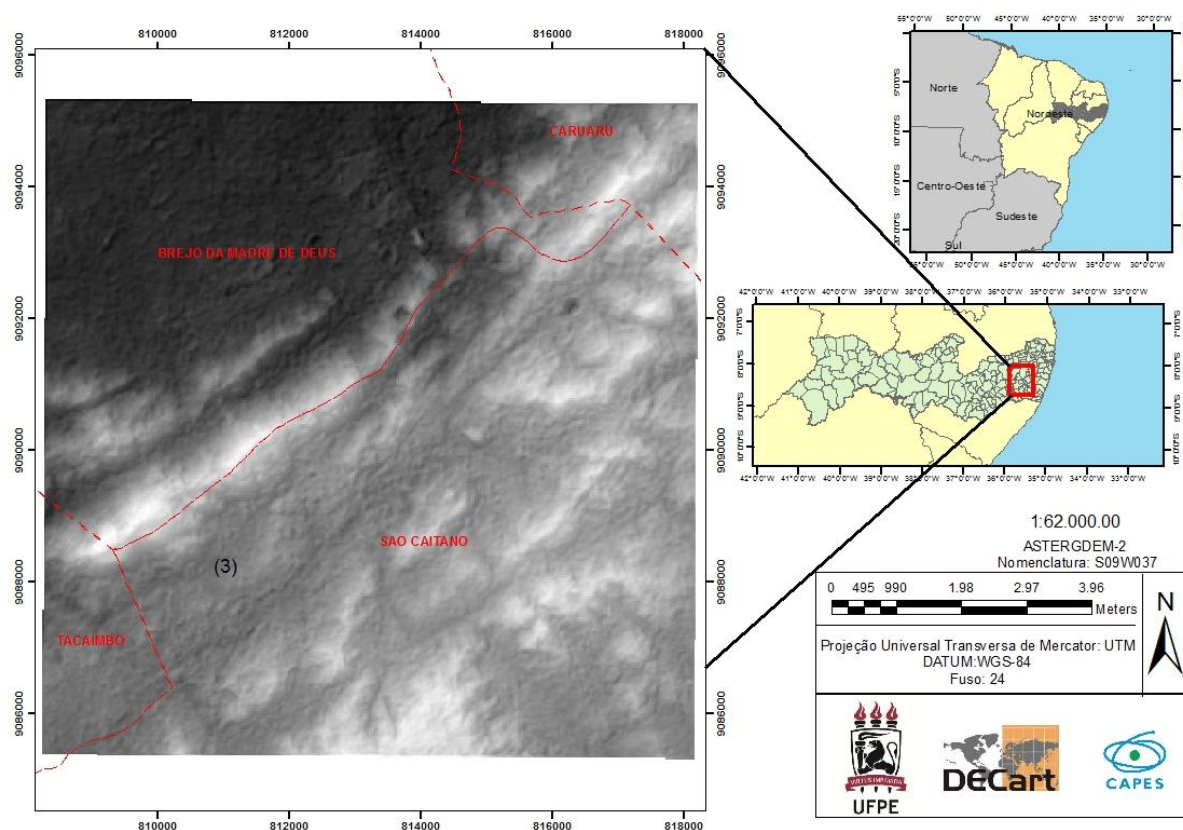


Figura 06 - Mapa de localização da área de estudo.

Fonte: Autor, 2013

Em relação à altimetria, a área de estudo tem uma variação de 439m à 979m, e possui características geomorfológicas da Encosta Setentrional do Planalto da Borborema e Pediplano Central.

O Pediplano central do planalto da Borborema constitui uma superfície de aplanamento que compreende um compartimento com altitudes que variam entre 500m e 600m, apresentando blocos serranos que atingem mais de 800m (IBGE, 2000). Esta característica do relevo limita-se ao norte com as encostas Setentrionais (Maciços Setentrionais); a leste e ao sul com as encostas orientais da Borborema e a oeste com o Pediplano do Baixo São Francisco.

A encosta setentrional constitui num alinhamento diferencial das encostas orientais da Borborema e trata-se de uma área totalmente dissecada e rampeada em direção ao litoral. Segundo CORRÊA *et al* (2010) as encostas setentrionais possuem altitudes que variam entre 200 e 500m, destacando-se na paisagem alguns blocos serranos com altitudes acima de 600m.

Em relação às Unidades Geoambientais (UG), a região de estudo é composta por: Pediplanos Arenosos, Pediplanos Arenosos/Argilosos, Serras e Serrotes, Superfícies Dissecadas e Várzeas e Terraços Aluviais, como mostra a Figura 07.

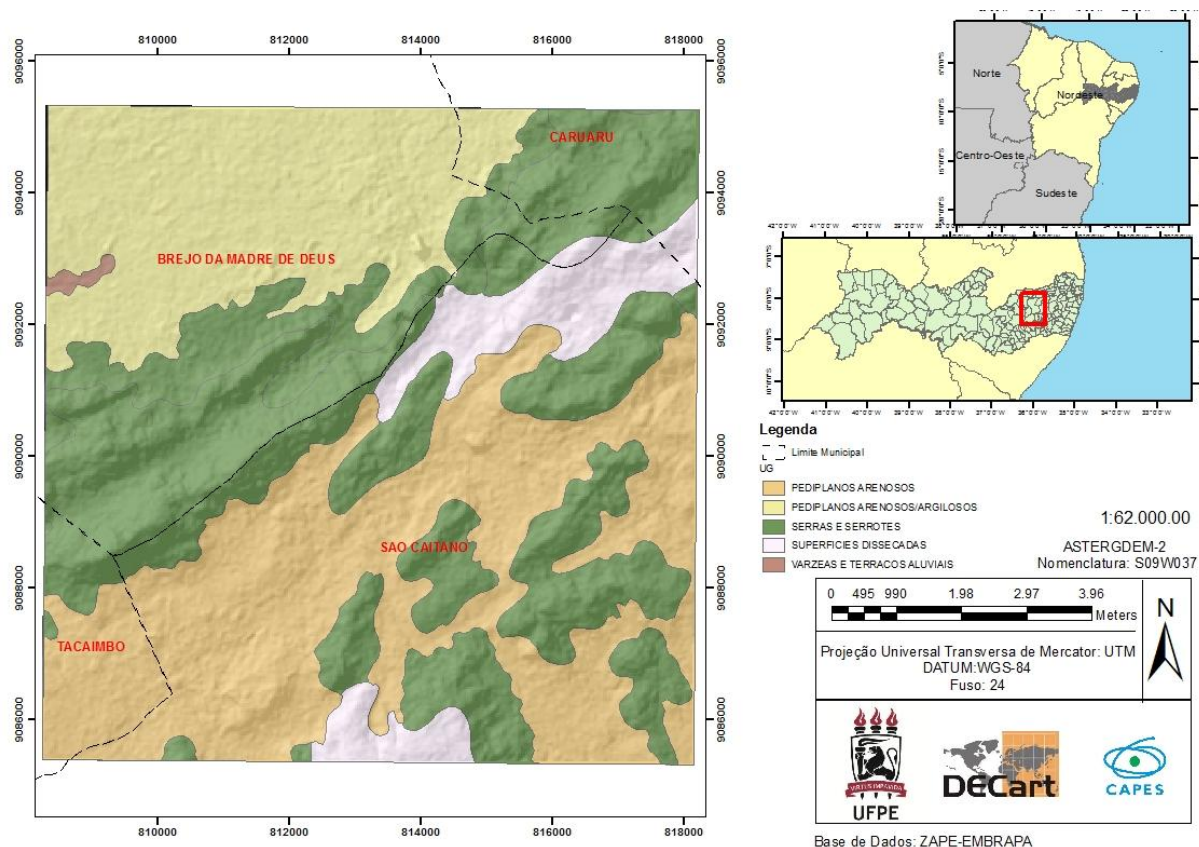


Figura 07 - Mapa de Unidade Geoambiental da área de estudo.

Fonte: Autor, 2013.

As unidades definidas como Unidades Geoambientais (UG) correspondem num arranjo de formas altimétrica, físicas e bióticas semelhantes em seus diversos tipos de modelados.

Segundo FILHO *et al.*, (2000) a UG é uma entidade espacializada, na qual o substrato (material de origem do solo), a vegetação natural, o modelado e a natureza e distribuição dos solos na paisagem, constituem um conjunto, cuja variabilidade é mínima.

As informações derivadas das UG foram obtidas de levantamentos de solos, mapeadas em escalas que variam de 1:100.000 a 1:400.000, para reconhecimentos dos estados do Nordeste.

3.2 Recursos Tecnológicos

Os materiais empregados na presente pesquisa foram:

1. *Software* ARCGIS versão 9.3, disponibilizado pelo Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE (DEcart).
2. *Software* Sistema de Processamento de Imagem Georreferenciada (*Spring*) versão 5.1.8.
3. *Software* Quantum GIS, versão 1.7.3.
4. Modelo digital de elevação ASTERGDEM, versão 2 de Nomenclatura: S09W037.
5. Planilha eletrônica do Excel.

3.3 Procedimentos Metodológicos

3.3.1 Aquisição do MDE e Sistema de Referência

O MDE do ASTER de Nomenclatura: S09W037 foi obtido gratuitamente no site <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/>. Esse modelo foi recortado por uma máscara vetorial do tipo polígono, com dimensões de aproximadamente 10x10 km, de forma a compor a área de estudo, na forma de grade.

O reticulado do MDE é definido, originalmente, em coordenadas geodésicas no sistema geodésico de referência: WGS-84. Para facilitar o cálculo da declividade, o reticulado original foi transformado para o da projeção *Universal Transversa de Mercator* (UTM), fuso 24, respeitando o mesmo sistema geodésico de referência.

A razão dessa transformação justifica-se devido à necessidade de empregar distâncias métricas para o cálculo de declividade em MDE.

3.3.2 Fluxograma dos procedimentos metodológicos

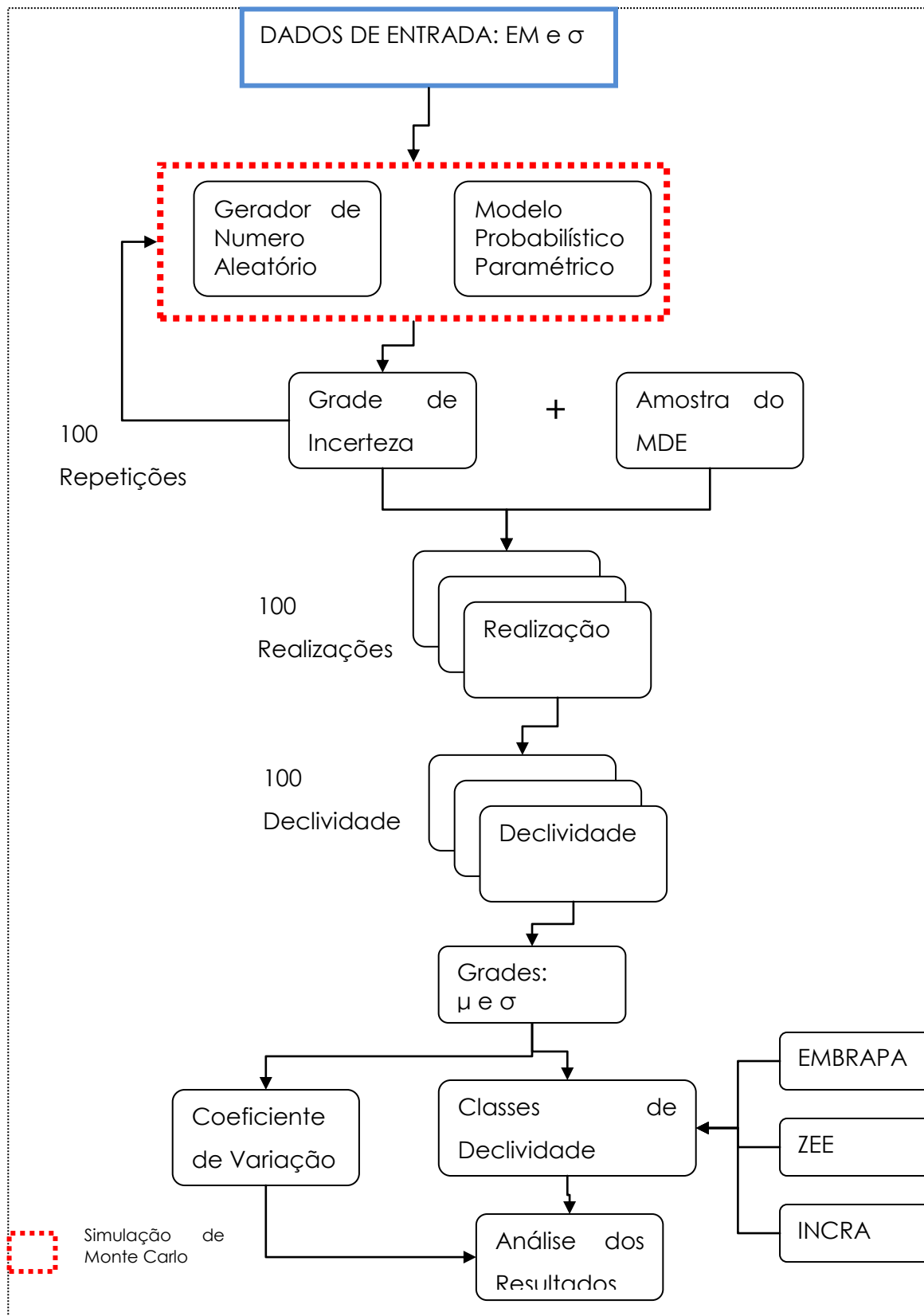


Figura 08 - Fluxograma metodológico. Fonte: Autor, 2013.

3.3.3 Dicionário de dados do fluxograma metodológico

- Dados de Entrada

Os dados de entrada para a simulação do erro altimétrico do ASTER-2 foram obtidos por meio do: EM e σ , obtidos nos estudos de validação do MDE do ASTER-2 pela USGS e pela ERSDAC, especificados no item 2.2.1.

- Gerador de Numero Aleatório/Modelo Probabilístico Paramétrico

Essa operação visa gerar uma grade de números aleatórios que tenham uma distribuição normal, segundo a média (EM) e desvio padrão (σ) especificado nos dados de entrada.

- Grade de Incerteza

Corresponde a uma superfície, com a mesma resolução espacial do ASTER-2, confeccionada pelo gerador de números aleatórios. Essa superfície corresponde as grades de incerteza possíveis de serem geradas pelos ASTER-2, de acordo com os dados de entrada. Em termos práticos, essa grade pode ser entendida como uma grade de erro altimétrico.

- Realização

A realização corresponde à grade de incerteza altimétrica somada a uma amostra do MDE. A amostra do MDE refere-se à área de estudo dessa dissertação. Cada grade de incerteza foi acrescentada a amostra do MDE do ASTER por meio de operações aritméticas de adição pixel a pixel, este procedimento corresponde às realizações.

O numero de 100 realizações foi definido para que se possam aplicar indicadores estatísticos de distribuição normal. TRIOLA (1998) relata que à medida que aumenta o numero de simulações, a distribuição das médias amostrais tende para uma distribuição normal. MOORE (2005) especifica que quando o numero de repetições for ≥ 30 , o resultado da simulação aleatória

tem uma distribuição normal, independente do modelo probabilístico adotado.

As realizações foram automatizadas a partir de iterações (*looping*) através da ferramenta de modelagem computacional: *Model Builder* do software *ArcGis*.

Lembrando que, o gerador de número aleatório foi simulado por meio do Método de Monte Carlo (MMC). EVANS e OLSON, (1998) identifica que a simulação pelo MMC consiste num experimento amostral cujo objetivo é estimar a distribuição de resultados possíveis de uma variável, com base em uma ou mais variáveis de entrada, que se comportam de forma probabilística. BATISTA (2008), afirma que a base da simulação pelo Método de Monte Carlo é o gerador de número aleatório, pois é a partir desse mecanismo onde são produzidas as quantidades de distribuições de probabilidade associada à variável aleatória.

A confecção e simulação da grade de erro altimétrico foi aplicada sobre duas situações: a primeira empregando os parâmetros da USGS dos EUA e a segunda os parâmetros da ERSDAC do Japão como dados de entrada.

- Declividade

A grade de declividade, em percentual (%), foi obtida de acordo com a Equação 1, utilizando operações de vizinhança, janela móvel 3x3. Estas operações foram efetuadas por derivadas parciais.

A declividade foi efetuada para cada realização, tanto para os parâmetros da USGS e da ERSDAC. No Anexo 01 encontra-se todo o procedimento de modelagem da declividade a partir do MMC.

- Grade μ e σ

A partir da obtenção das 100 grades de declividades, foram geradas duas grades. Estas duas grades corresponde à média e o desvio padrão das 100 declividades, calculadas pixel a pixel.

- Coeficiente de variação

Corresponde a uma grade que representa o coeficiente de variação, pixel a pixel, calculada de acordo com a Equação 7.

- Classes de declividade

Corresponde a estratificação das declividades segundo parâmetros definidos pela EMBRAPA/IBGE, ZEE e INCRA

- Análise dos resultados

A análise dos resultados é baseada no coeficiente de variação e nas classes de declividade, os quais serão tratados no próximo item.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da grade μ e σ da USGS e da ERSDAC, foi analisada a influência da incerteza altimétrica do MDE na declividade do terreno. Essa análise foi baseada em dois eixos de estudo: precisão e estratificação da declividade.

O parâmetro estatístico para analisar a precisão foi o CV e a análise da estratificação foi baseado nos intervalos definidos pela EMBRAPA, ZEE e INCRA.

4.1 Precisão da declividade

Sobre a precisão da declividade, deve-se considerar além dos parâmetros estatísticos, a tipologia do relevo da área de estudo. As Figuras 9 e 10 mostram as distribuições de frequências, a Tabela 11 indicadores estatísticos e a Figura 11 os *Box-plots* da grade de declividade média, oriunda das 100 simulações a partir dos dados de entrada da USGS e da ERSDAC.

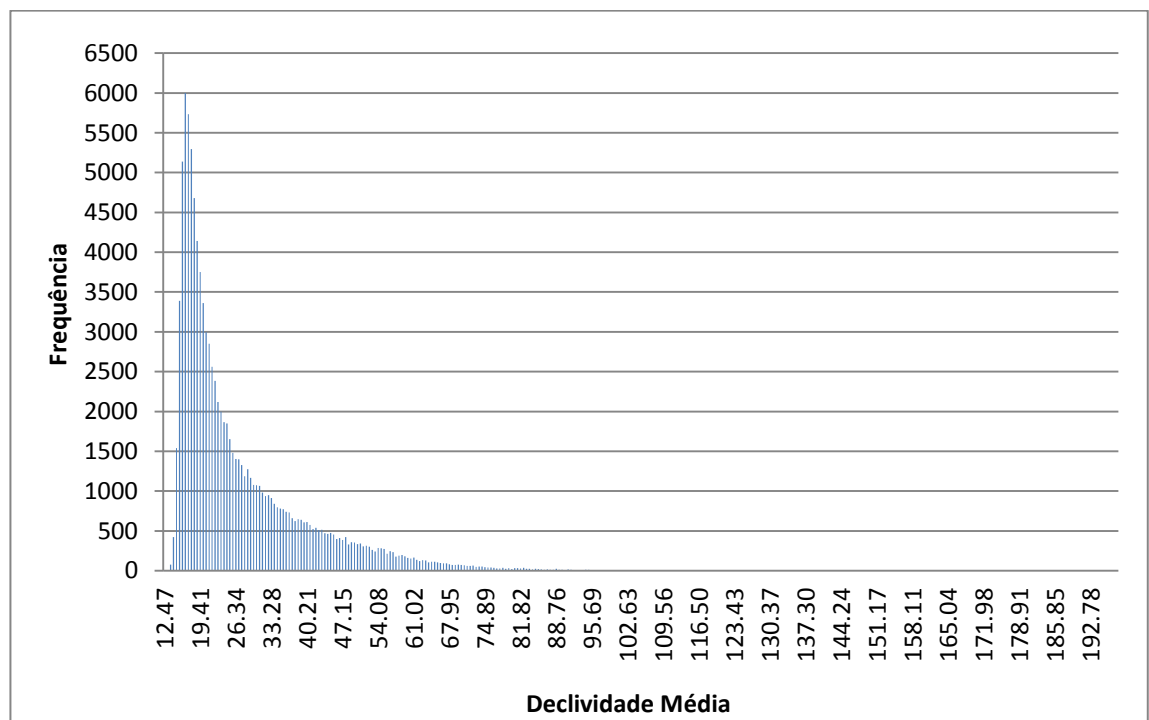


Figura 09 - Histograma da declividade média, parâmetros da USGS.
Fonte: Autor, 2013.

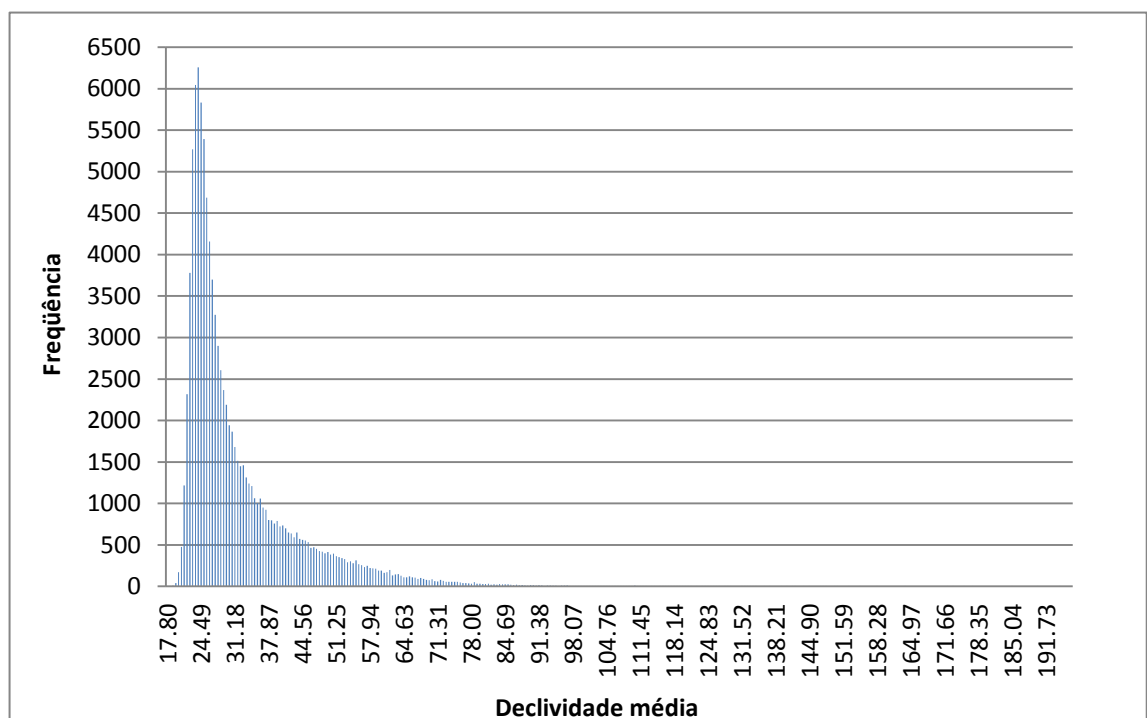


Figura 10 - Histograma da declividade média, parâmetros da ERSDAC.
Fonte: Autor, 2013.

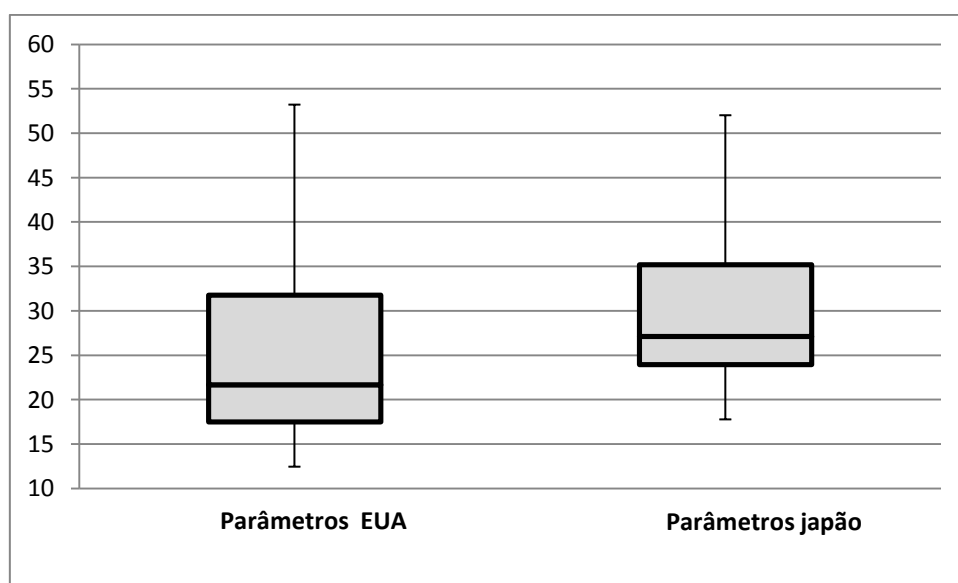
Observando-se as distribuições de frequências das figuras 9 e 10, observa-se que a topologia do relevo é formada, na sua maior parte, por áreas de pequena declividade. Esse fato está de acordo com a descrição da área de estudo que identifica regiões planas de maior dimensão (pediplanos), separadas pela encosta de menor dimensão. Isso também explica a não normalidade dos histogramas e a forma dos boxplots.

Tabela 11 - Parâmetros estatísticos das amostras da declividade média

Descrição estatística	Referência EUA (Amostra 1)	Referência Japão (Amostra 2)
Numero de <i>pixels</i> (m)	103.502	103.502
Maximo	197.98	196.74
Mínimo	12.47	17.79
Mediana	21.67	27.1 1
Moda	16.76	23.13

Fonte: Autor, 2013.

Figura 11 – Box Plot da distribuição de declividade média.



Fonte: Autor, 2013.

Sobre os indicadores estatísticos merece destaque:

- A Grade da USGS apresentou um melhor poder de discriminação da declividade em relação a ERSDAC, uma vez que a primeira identificou um intervalo de declividade maior com 185,51% e a segunda um intervalo menor com 178,95%. Essa afirmativa também pode ser interpretada pelo BoxPlot cuja variação foi de 40.75 para a USGS e de 34.23 para a ERSDAC;
- A diferença entre os valores máximos das duas Grades é de 1,24% enquanto que entre os valores mínimos é de 5,42%. Esse fato identifica que as regiões de menor declividade são mais sensíveis aos erros do MDE. Convém lembrar que o MDE da USGS tem um EM de -0.2m (Tabela 04) e da ERSDAC tem um EM de 7.4m (Tabela 05);
- A Grade da ERSDAC teve pouca sensibilidade para identificação de baixas declividades em relação a Grade da USGS, como mostra o *Boxplot* das distribuições. Esse acontecimento é explicado pelo fato de regiões mais planas perderem essa característica em função de erros no MDE;
- Outra característica relevante no *Boxplot* é a posição da mediana na caixa interquartil, pois em ambas as grades, a posição descentralizada da mediana indica uma distribuição de declividade assimétrica, comprovando a não normalidade da distribuição de declividade como visto na Figura 09 e 10;
- A hipótese nula da igualdade entre as duas grades foi verificada pelo teste de Wilcoxon. Vale lembrar que esse é um teste não paramétrico para dados pareados e a igualdade é baseada na soma dos postos das diferenças positivas e negativas. O resultado é apresentado nos quadros 01 e 02 podendo-se

observar que a hipótese de igualdade entre as grades de declividade é rejeitada porque Asymp.Sig (2-tailed) é zero;

Quadro 01: Ranks para declividade

		N	MEAN RANK	SUM OF RANKS
ERSDAC - USGS	NEGATIVE RANKS	3960(A)	7687.39	30442082.00
	POSITIVE RANKS	99542(B)	53504.47	5325941671.00
	TIES	0(C)		
	TOTAL	103502		

A ERSDAC < USGS

B ERSDAC > USGS

C ERSDAC = USGS

Quadro 02: Teste estatístico para declividade

	ERSDAC - USGS
Z	-275.449(A)
ASYMP. SIG. (2-TAILED)	.000

A BASED ON NEGATIVE RANKS.

B WILCOXON SIGNED RANKS TEST

A partir das Grades: média e desvio padrão foram calculadas as grades correspondentes aos CV para o USGS e ERSDAC, como mostra as figura 12 e 13.

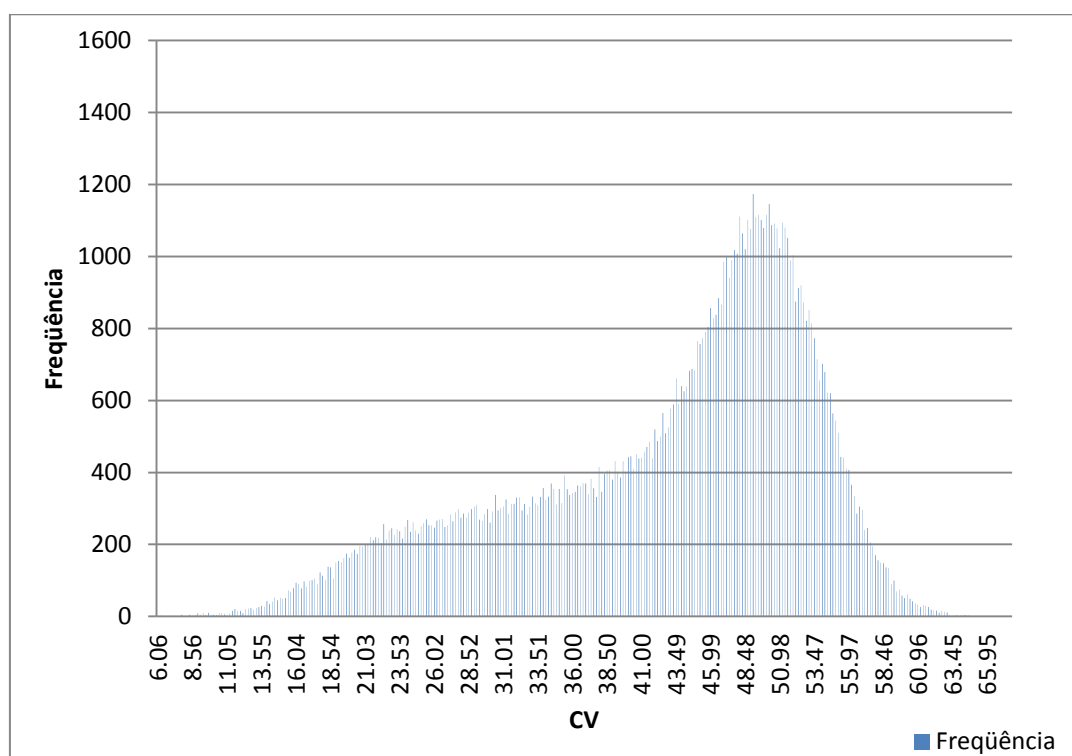


Figura 12 - Histograma do CV, USGS.

Fonte: Autor, 2013.

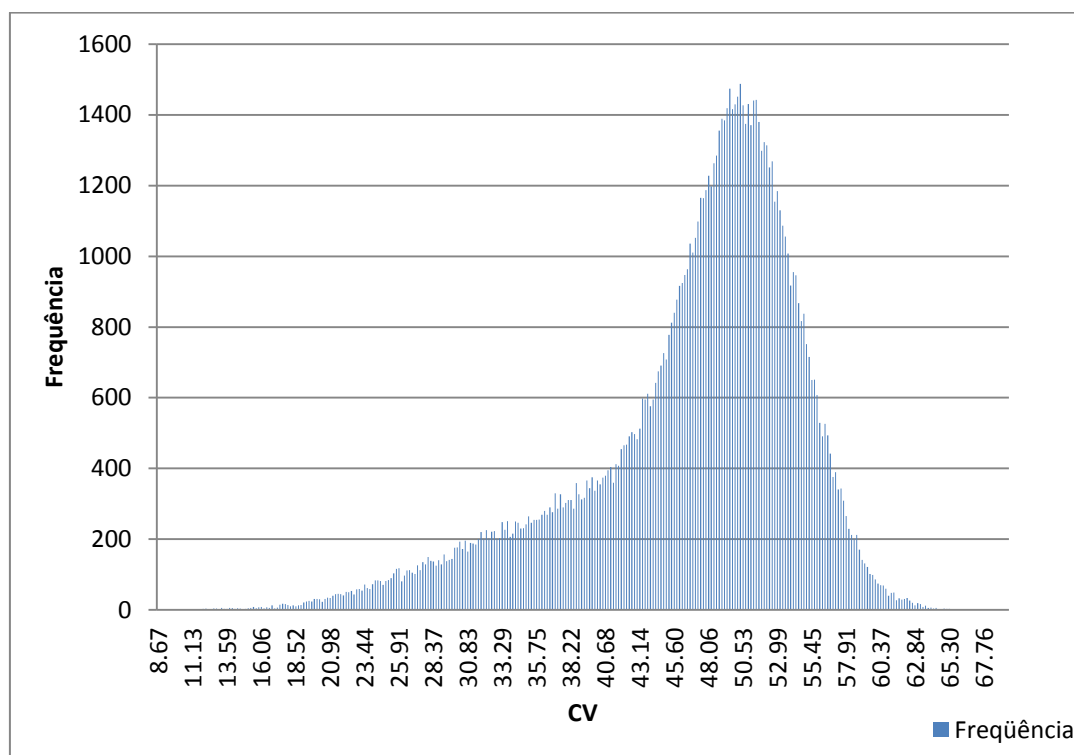


Figura 13 - Histograma do CV, ERSDAC
Fonte: Autor, 2013.

Os histogramas dos CV possuem uma distribuição não normal, indicando que os maiores erros altimétrico do MDE do ASTER-2 encontram-se em torno da mediana do CV. A mediana do CV da ERSDAC: 49.30% e da USGS: 46.93% apresentaram valores próximos, neste caso aplicou-se também o teste de Wilcoxin para verificar se há igualdade entre as grades do CV. Os resultados do teste são mostrados nos Quadros 03 e 04.

Quadro 03: Ranks para CV

		N	MEAN RANK	SUM OF RANKS
USGS - ERSDAC	NEGATIVE RANKS	78496(A)	57347,58	4501555280,00
	POSITIVE RANKS	25006(B)	34184,93	854828473,00
	TIES	0(C)		
	TOTAL	103502		

A USGS < ERSDAC

B USGS > ERSDAC

C USGS = ERSDAC

Quadro04: Teste estatístico para declividade

	USGS - ERSDAC
Z	-189,687(A)
ASYMP. SIG. (2-TAILED)	,000

A BASED ON POSITIVE RANKS.

B WILCOXON SIGNED RANKS TEST

Analisando-se os Quadros 03 e 04, pode-se concluir que:

- A igualdade entre os CV da USGS e da ERSDAC é rejeitada porque Asymp.Sig (2-tailed) é zero;
- Em aproximadamente 75,84% da área estudada o CV da USGS foi menor que o da ERSDAC. Como um menor CV corresponde a maior precisão pode-se afirmar que a grade da USGS é mais precisa que a da ERSDAC.

Outra análise pertinente foi comparar, em gráfico de dispersão, a relação entre a declividade média e o CV para as grades da USGS e da ERSDAC. Esses gráficos constam nas figuras 14 e 15.

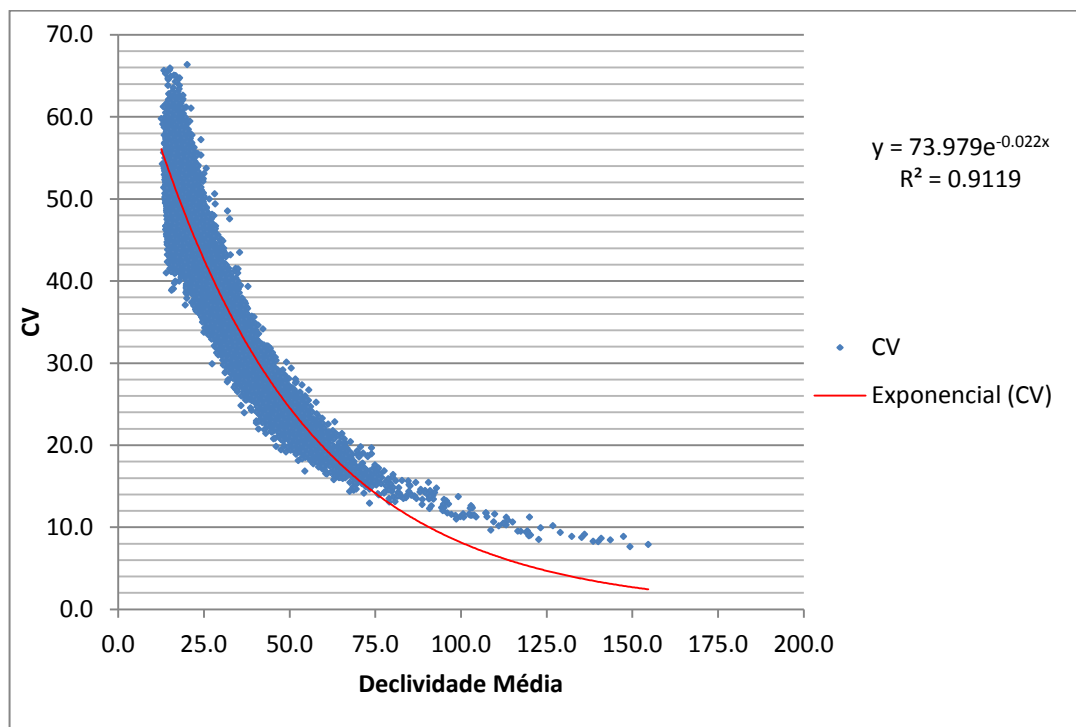


Figura 14 - Diagrama de dispersão: CV e declividade média, grade USGS.
Fonte: Autor, 2013.

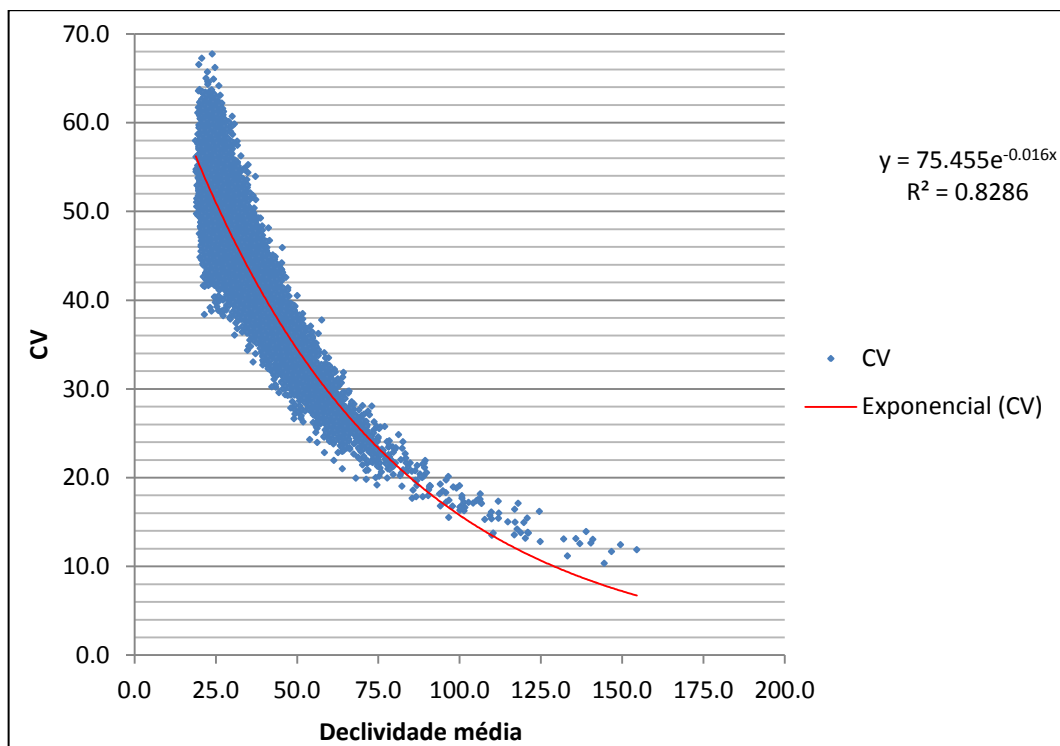


Figura 15 - Diagrama de dispersão: CV e declividade média, grade ERSDAC.
Fonte: Autor, 2013.

Analizando-se as Figuras 14 e 15, pode-se concluir que:

- A relação entre a declividade média e o CV das duas grades adaptou-se a um modelo exponencial, mostrando que quanto menor for a declividade maior será CV. Em termos práticos isso identifica que as áreas planas estão muito mais sujeitas a erros na declividade quando comparadas com áreas mais íngremes;
- A Grade da USGS apresentou uma melhor adaptação ao modelo exponencial por ter apresentado um coeficiente de determinação (R^2) de 0,9101 maior que o da Grade da ERSDAC 0,8286;
- O maior CV (maior erro) acontece quando a declividade média (eixo do x) é zero. Para a Grade da USGS esse CV é 73,97 e para a Grade da ERSDAC o CV é de 75,45.
- A partir da figura 13 e 14 observa-se que a inclinação da curva exponencial da Grade da ERSDAC é maior que a da USGS, isso indica que uma pequena variação de declividade causará maior aumento de CV na ERSDAC em relação a USGS;

Ainda é interessante comparar a posição geográfica da declividade média com o CV das duas grades. Para isso reporta-se a Figura 16.

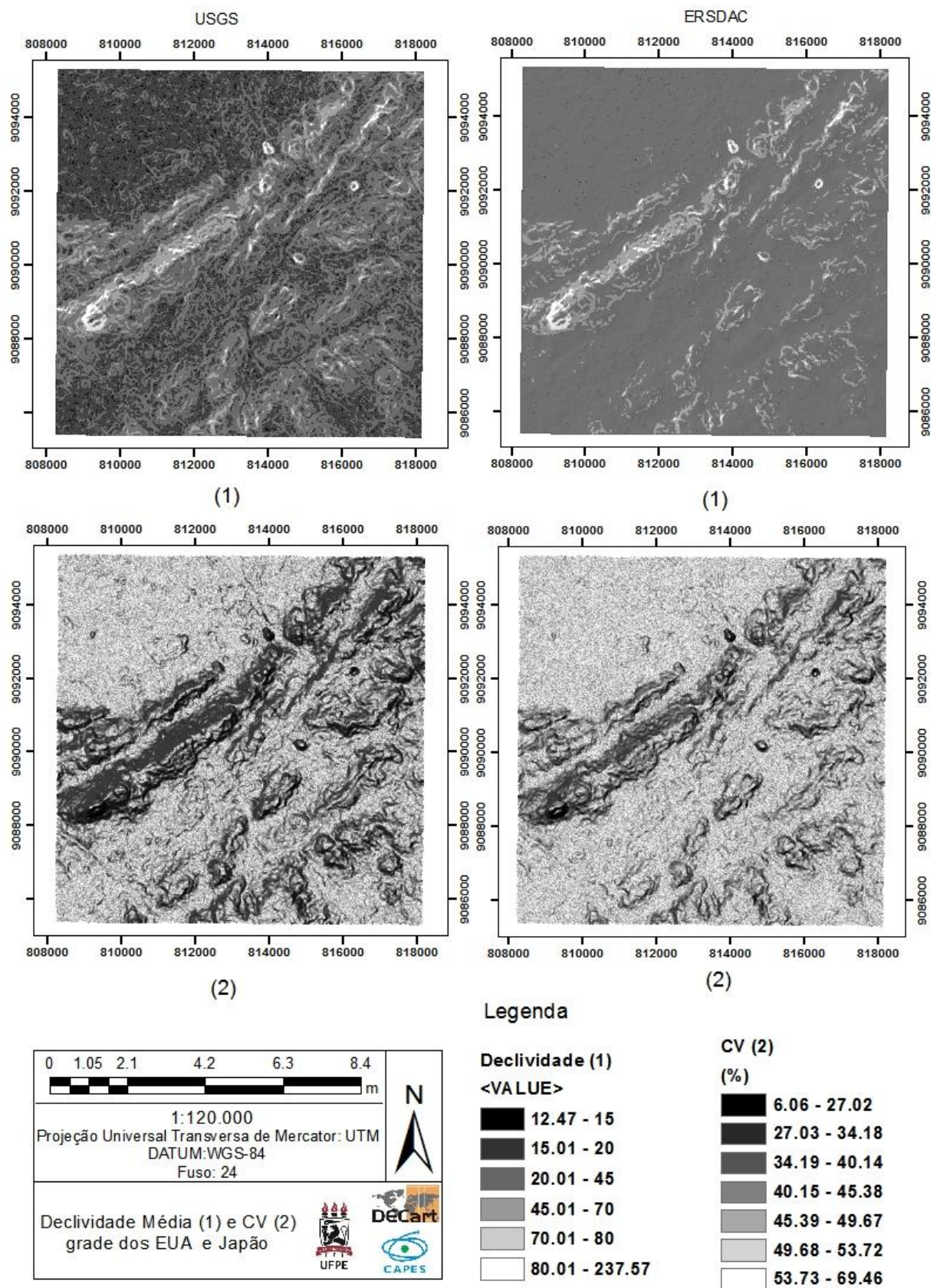


Figura 16 - Distribuição espacial: grade μ e CV. Grade da USGS e ERSDAC.
Fonte: Autor, 2013.

Analisando-se a Figuras 15, pode-se concluir que:

- As áreas de maior declividade correspondem as classificações de serras e serrotes além de superfícies dissecadas constantes do Mapa de Unidade Geoambiental da área de estudo (Figura 7);
- As áreas de menor declividade correspondem as classificações de pediplanos do mesmo mapa;
- Comprova-se mais uma vez que nos locais de maior declividade são identificados os menores CV, ou seja, esses locais apresentam maior precisão de declividade;
- A grade da USGS mostrou um maior poder de discriminação da declividade do que a grade da ERSDAC.

Em resumo, pode-se afirmar que todos os resultados indicam que a Grade da USGS é mais precisa que a Grade da ERSDAC. Este fato ocorre devido a:

- Os dados de entrada EM e σ da Grade USGS são menores que os da Grade da ERSDAC;
- O cálculo do EM e σ para a Grade da USGS levou em consideração uma amostra pontual e mais precisa enquanto que a Grade da ERSDAC levou em consideração outra grade altimétrica com resolução de 10 metros, ou seja, nesse caso o ponto amostral corresponde a uma área de 100 m².

4.2 Estratificação da declividade

A análise dos resultados de estratificação de declividade foi baseada nos três métodos de classificação: EMBRAPA/IBGE, INCRA e ZEE. Os resultados destas estratificações são mostrados nas Tabelas 12, 13 e 14.

Tabela 12 - Valores quantitativos obtidos pelo método: EMBRAPA\ IBGE.

Classe: EMBRAPA	Classe de Relevo	Grade EUA		Grade Japão	
Declividade (%)		Frequência	Área (%)	Frequência	Área (%)
0-3	Plano	-	-	-	-
3-8	Suave Ondulado	-	-	-	-
8-20	Ondulado	43.535	42.06	51	0.05
20-45	Forte Ondulado	49.032	47.37	90.266	87.21
45-75	Montanhoso	10.018	9.68	12.135	11.72
>75	Escarpado	917	0.89	1.050	1.01

Fonte: Autor, 2013.

Tabela 13 - Valores quantitativos obtidos pelo método: INCRA.

Classe: INCRA	Classe de relevo	Grade EUA		Grade Japão	
Declividade (%)		Frequência	Área (%)	Frequência	Área (%)
0-2	Plano	-	-	-	-
2-5	Suave Ondulado	-	-	-	-
5-10	Moderadamente Ondulado	-	-	-	-
10-15	Ondulado	2.045	1.98	-	-
15-45	Forte Ondulado	90.522	87.46	90.317	87.26
45-70	Montanhoso	9.493	9.17	11.563	11.17
>70	Escarpado	1.442	1.39	1.622	1.57

Fonte: Autor, 2013.

Tabela 14 - Valores quantitativos obtidos pelo método: ZEE.

Classe: ZEE	Susceptibilidade á erosão	Grade EUA		Grade Japão	
Declividade (%)		Frequência	Área (%)	Frequência	Área (%)
0-2	Muito Baixa	-	-	-	-
2-6	Baixa	-	-	-	-
6-20	Média	43.535	42.06	51	7.05
20-50	Alta	51.139	50.37	94.33	91.20
>50	Muito Alta	7.828	7.56	9.058	8.75

Fonte: Autor, 2013.

Analisando-se as tabelas 12, 13 e 14 pode-se concluir, em relação ao aspecto qualitativo, que:

- As estratificações da EMBRAPA/IBGE e INCRA levam em consideração a tipologia do relevo, enquanto a do ZEE leva em consideração a vulnerabilidade quanto à erosão, ao que tudo indica isso explica o menor número de classes para o ZEE;
- A estratificação do EMBRAPA/IBGE discretiza mais o relevo em relação à do INCRA, com a inclusão da classe “Moderadamente ondulado”;

Associando-se o histograma das figuras 10 e 11 às tabelas 12, 13 e 14 pode-se concluir, em relação aos pontos de corte, que:

- O USGS só contempla classes de declividade com valores superiores à 12,46%, enquanto que a ERSDAC só valores superiores a 17,79%. Por essa razão as classes de menor declividade segundo a EMBRAPA/IBGE, INCRA e ZEE foram desprezadas;
- Analisando as declividades que estão contidas no intervalo 8-45% verifica-se que este intervalo na USGS contém 89,55% da área estudada e que na grade da ERSDAC este intervalo abrange 87,50%. O teste de Wilcoxon, aplicado as distribuições “($USGS \geq 8$ e $USGS < 45$) e ($ERSDAC \geq 8$ e $ERSDAC < 45$), tem os resultados apresentados nos Quadros 05 e 06 que comprova que a hipótese nula de igualdade entre as declividades desse intervalo, que pertencem as duas distribuições conjuntamente, é rejeitada.

Quadro 05: Ranks para declividade 8-45

		N	Mean Rank	Sum of Ranks
ERSDAC – USGS	Negative Ranks	1483(a)	3067.62	4549275.50
	Positive Ranks	89145(b)	46017.31	4102213230.50
	Ties	0(c)		
	Total	90628		

a

a ERSDAC < USGS

b ERSDAC > USGS

c ERSDAC = USGS

Fonte: Autor, 2013

Quadros 06: Teste estatístico para declividade 8-45

	Japão – EUA
Z	-260.136(a)
Asymp. Sig. (2-tailed)	.000

a Based on negative ranks.

b Wilcoxon Signed Ranks Test

Fonte: Autor, 2013

- Analisando as declividades maiores que 45% verifica-se que segundo a USGS 10,45% da área estudada pertence a esse intervalo e que segundo a ERSDAC 12,32%. O teste de Wilcoxon, aplicado às distribuições $USGS \geq 45$ e $ERSDAC \geq 45$ tem os resultados apresentados nos Quadro 07 e 08 comprova que a hipótese nula de igualdade entre as declividades desse intervalo, que pertencem as duas distribuições conjuntamente, é rejeitada. Do ponto de vista prático pode-se afirmar que mesmo fazendo parte das classes Montanhoso e Escarpado, o relevo definido pela USGS é diferente do definido para a ERSDAC;

Quadro 07: Ranks para declividade $\geq 45\%$

		N	Mean Rank	Sum of Ranks
ERSDAC - USGS	Negative Ranks	2351 (a)	3426.69	8056144.00
	Positive Ranks	8337 (b)	5885.32	49065872.00
	Ties	0 (c)		
	Total	10688		

a ERSDAC < USGS

b ERSDAC > USGS

c ERSDAC = USGS

Fonte: Autor, 2013

Quadro 08: Teste estatístico para declividade $\geq 45\%$

	Japão - EUA
Z	-64.279 (a)
Asymp. Sig. (2-tailed)	.000

a Based on negative ranks.

b Wilcoxon Signed Ranks Test

Fonte: Autor, 2013

- A Figura 17 mostra a posição geográfica das declividades estratificadas segundo os 3 métodos, para as grades da ERSDAC e USGS, comprovando-se diferentes interpretações para mesmos conjuntos de dados;

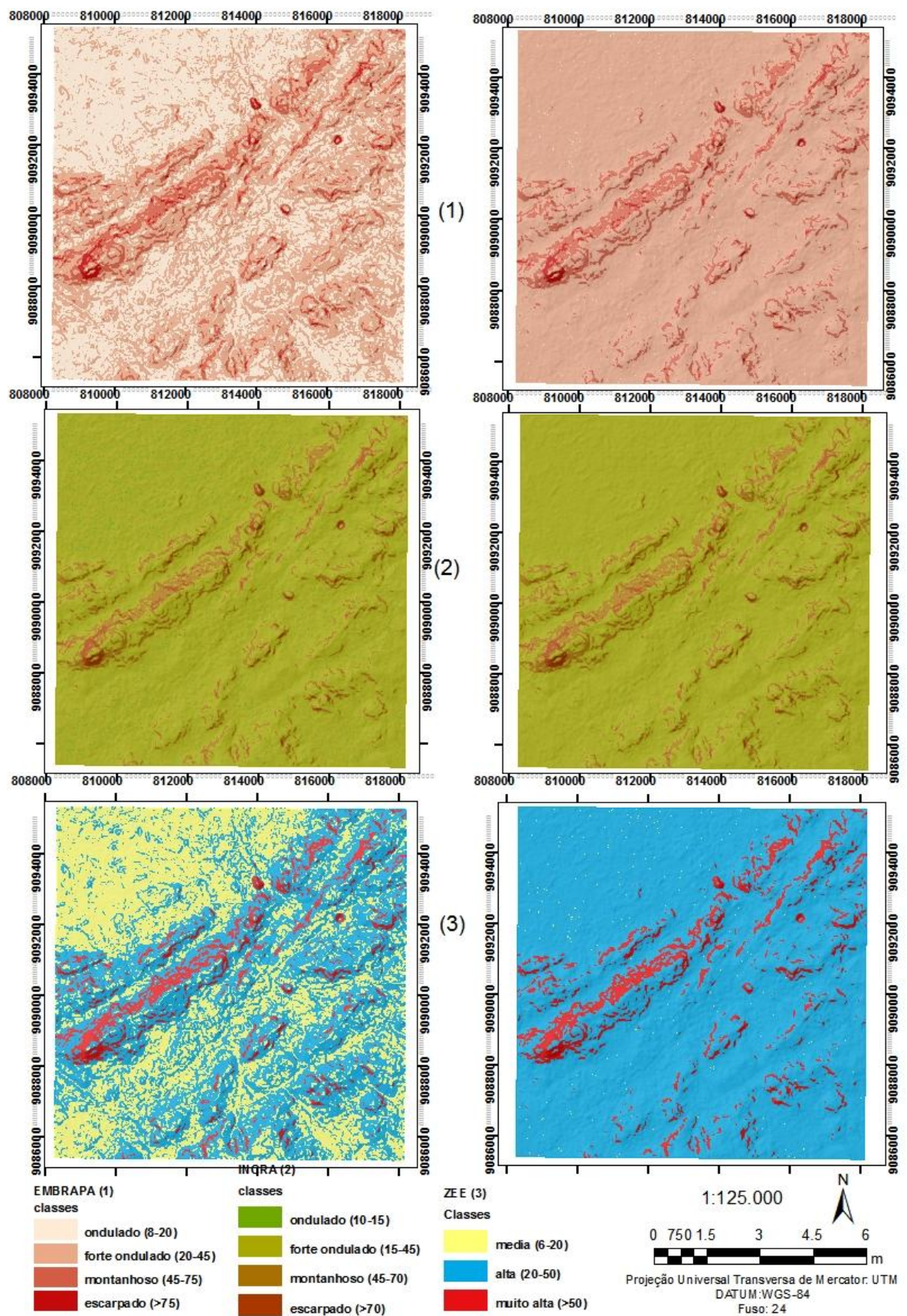


Figura 17 – Distribuição espacial da tipologia do relevo entre as grades de declividade.
Fonte: Autor, 2013.

- A área de estudo compreende dois pediplanos que por definição devem conter áreas com pequena declividade e nenhuma das grades identificou essa tipologia. Para explicar essa situação foram geradas aleatoriamente 100 grades de incerteza de declividade, sobre um plano horizontal com altitude zero, de acordo com o EM e σ da USGS e o mesmo número de grades de acordo com o EM e σ da ERSDAC. Para cada grupo, calculou-se a grade média de incerteza cujos histogramas são mostrados nas figuras 18 e 19 e indicadores estatísticos mostrados na Tabela 15.

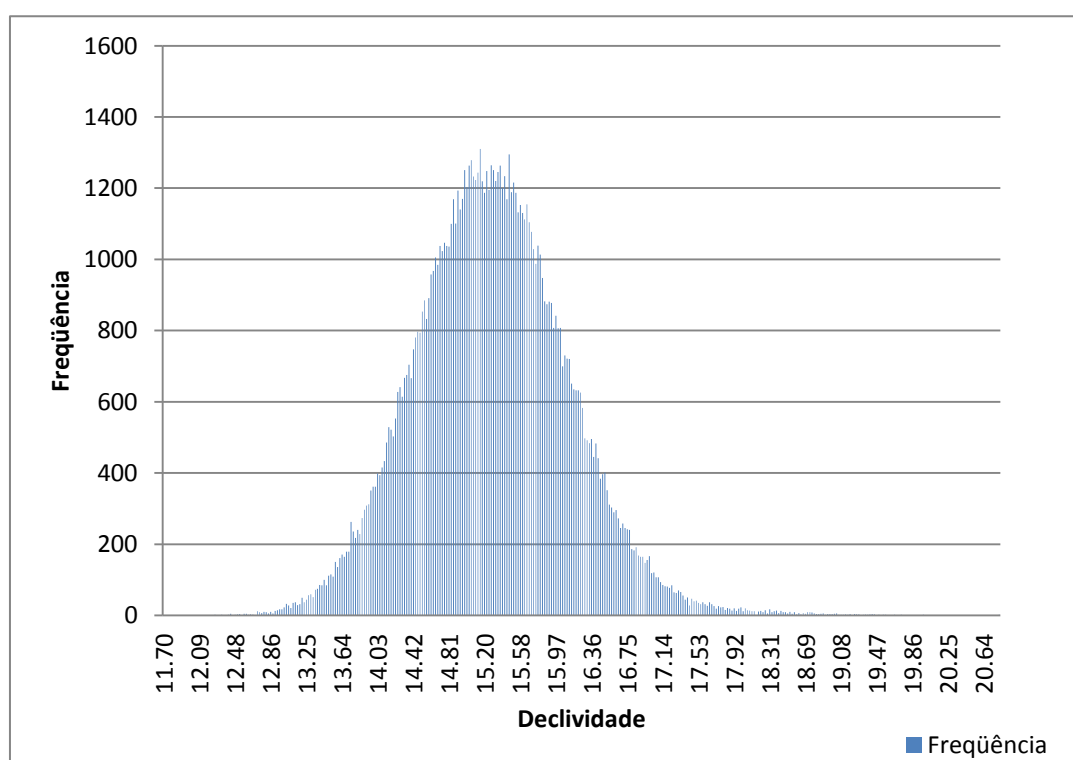


Figura 18 - Histograma de incerteza de declividade USGS
Fonte: Autor, 2013.

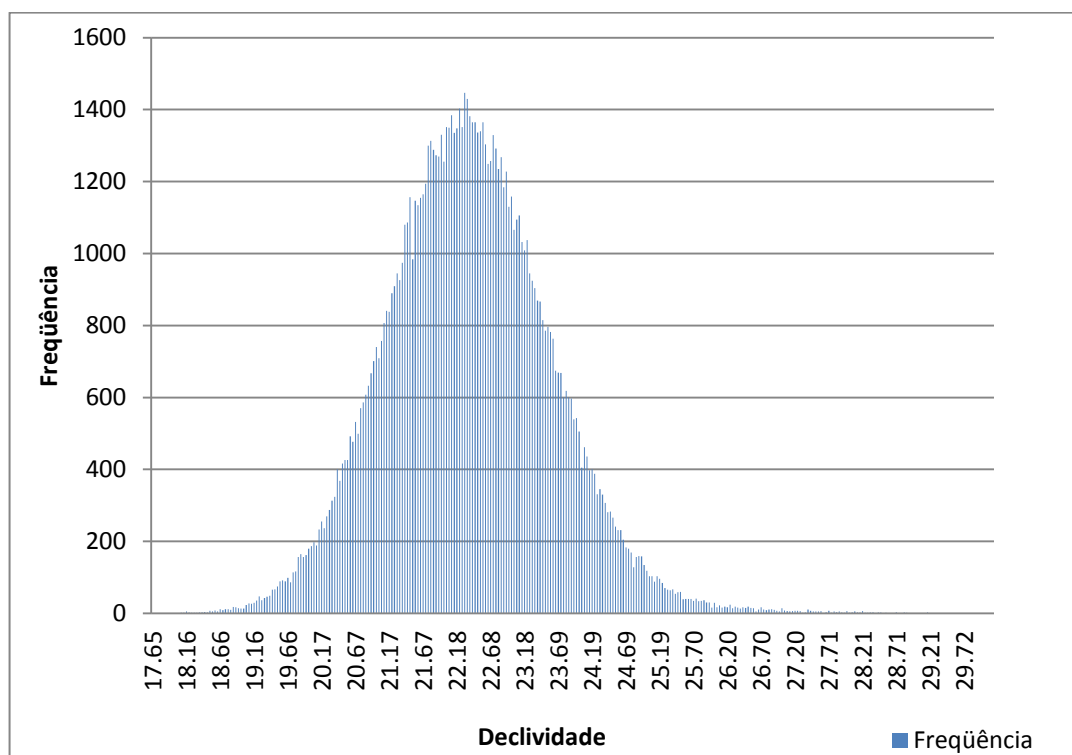


Figura 19 - Histograma de incerteza de declividade ERSDAC
Fonte: Autor, 2013.

Tabela 15 – Indicadores estatísticos de incerteza de declividade

Indicadores	USGS(%)	ERSDAC(%)
Média	15.26	22.34
Desvio Padrão	0.83	1.22
Máximo	20.80	30.14
Mínimo	11.69	17.65
IL 95%	0.005	0.007

Fonte: Autor, 2013.

Com base nos histogramas e indicadores estatísticos de incerteza da declividade pode-se concluir que o ASTER-2 não tem precisão suficiente para identificar áreas com declividades menores que 15,26% com variação de $\pm (1,64 \times 0,83)$, equivalente a 13,89% para a USGS e 22,34% com $\pm (1,64 \times 1,22)$, equivalente a 20,43% para a ESRDAC, ambos a um nível de confiança de 5%.

5. CONCLUSÃO

O estado da arte constatou que a medida que surgem novas técnicas de obtenção de MDE, os indicadores de precisão e acurácia tem melhorado significativamente. Esse fato é devido a maior quantidade de pontos amostrais do relevo disponibilizado pelas recentes tecnologias.

As metodologias empregadas, para identificar os indicadores de precisão e acurácia, pelo USGS e ERSDAC são semelhantes e baseadas no EM e σ . A diferença no referencial de validação da USGS e da ERSDAC é função dos pontos de controle empregados por cada organização. Como a USGS selecionou 18.207 pontos de controle geodésicos, espalhados ao longo de seu território e a ERSDAC baseou-se em uma grade altimétrica pré-existente, pode-se concluir que os resultados da USGS são mais consistentes e melhoraram a discriminação do relevo.

Os histogramas das distribuições das declividades obtidas a partir das grades da USGS e da ERSDAC mostraram-se completamente assimétricos e com valores estatísticos semelhantes. Por conta dessa característica, a comparação entre eles se processou por teste não paramétrico. Sobre esse aspecto, escolheu-se o teste de Wilcoxon por testar amostras pareadas, ou seja, a partir de pixels homólogos nas duas grades.

O emprego do CV como indicador estatístico para avaliar a precisão da declividade em função do erro do MDE foi sugerido por BURROUGH e MCDONNELL. Esse indicador mostrou que:

- As áreas planas são mais difíceis de serem identificadas pelo MDE ASTER-2;
- Em função do modelo matemático empregado pelo CV, seu valor tende a aumentar exponencialmente a medida que a média das declividades tende a zero e isso acontece em regiões planas.

O emprego do programa ArcGIS facilitou o desenvolvimento da metodologia proposta, uma vez que todas as funções matemáticas e estatísticas estavam disponibilizadas. Também merece destaque a ferramenta "*Model Buidar*", que permitiu que operações que exigiram grande número de repetições, como por exemplo, gerar e operar 100 grades, fossem automatizadas.

Levando-se em consideração o aspecto qualitativo das estratificações propostas pela EMBRAPA/IBGE, INCRA e ZEE pode-se afirmar que a essa última não pode ser comparada com as 2 primeiras. Isso acontece porque as finalidades das classificações são diferentes, enquanto o ZEE busca identificar áreas suscetíveis a erosão as outras duas se destinam a identificar a tipologia do relevo.

O emprego de mapas foi fundamental para identificar e interpretar as diferentes realidades envolvidas nesse trabalho. Essa afirmação se baseia no fato de que por um lado se dispõe de uma grande quantidade de indicadores numéricos e por outro lado se posiciona e visualiza espacialmente esses indicadores em um único sistema de referência.

A identificação de áreas com declividades inferiores a 10% foram mais difíceis de serem identificadas pelo MDE do ASTER-2. Isto significa informar que não existe área plana nas regiões de pediplanos, o que seria bastante improvável. Não obstante, mesmo utilizando um plano horizontal com altitude zero, sobre os erros altimétricos do MDE do ASTER, os resultados

comprovaram que a declividade mínima perceptível pelo MDE do ASTER é de 13.89% com um intervalo de confiança de 95%.

Como sugestão para continuidade dessa pesquisa, sugere-se:

- A análise de incertezas altimétrica do MDE sobre outras variáveis do relevo, tais como redes de drenagem, orientação de vertentes e intervisibilidade entre pontos.
- a implementação de diferentes algoritmos de declividade com base na análise de vizinhança e com diferentes intervalos, uma vez que nesta pesquisa utilizou-se apenas o intervalo de 3x3.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, A. M; MUNIZ, J. A; SOUZA, M. **Avaliação do coeficiente de variação como medida da precisão na experimentação com Citrus**. Pesquisa agropecuária Brasileira, n. 32, p. 1221-1225, 1997.
- BATISTA, D. J. P. **Utilização da simulação de Monte Carlo para o cálculo da taxa de crescimento sustentável em condições de incerteza**. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção -ENEGEP, 2008.
- BARROS, R. S.; CRUZ, C. B. M.; REIS, R. B.; COSTA JÚNIOR, N. A. **Avaliação do modelo digital de elevação do SRTM na ortorretificação de imagens Landsat 7**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia. Anais. São José dos Campos: INPE, p.3997-4004, 2004.
- BERTOTTI, L. G. **Técnicas de geoprocessamento na análise do relevo e da declividade para estudos temáticos de solos**. 1997. 156 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, UFPR, Curitiba, 1997.
- BISPO, P. C; VALERIANO, M. M; KUPLICH, T. M. **Relação entre as variáveis morfométricas extraídas de dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e a vegetação do parque Nacional de Brasília**. Revista Acta Botanica Brasilica. 24 (1), p. 96-103, 2010.
- BURROUGH, P. A. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. Oxford University Press, 315p.1986.
- BURROUGH, P. A; MCDONNELL, R. A. **Principles of Geographical Information Systems – Spatial Information Systems and Geostatistics**. Claredon Press, 1998. 327p.
- CAMARA, G; DAVIS, C; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução a Ciência da Geoinformação**. INPE. São José dos Campos, 2001.

CAMARGO, F. F; ALMEIDA, C. M; FLORENZANO, T. G; OLIVEIRA, C. G. **Acurácia posicional de MDE ASTER\Terra em área montanhosa.** *Revista Geomática*, ISSN 1980-809, v. 4,nº 1- 2009b, p. 12-24. UFSM, RS, Brasil, 2009.

CARGNELUTTI, A.F; STORCK, L. **Estatísticas de avaliação da precisão experimental em ensaios de cultivares de milho.** *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v. 42, n. 1, p. 17-24, jan. 2007.

CAVALLI, A. C; VALERIANO, M. M. **Suavização da declividade em função da resolução da imagem em sistema de informação geográfica.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, n.2, p.295-298, 2000.

CHIEN, P. **Endeavour maps the world in three dimensions.** *Geoworld*, n.37, p. 32-38. Abril, 2000.

CORRÊA, A. C. B; TAVARES, B. A. C; MONTEIRO, K. A; CAVALCANTI, L. C. S. **Megageomorfologia e morfoestrutura do Planalto da Borborema.** *Revista do Instituto Geológico, São Paulo*, 31 (1\2), 35-53, 2010.

CREPANI, E; MEDEIROS, J. S; FILHO, P. H; FLORENZANO, T. G; DUARTE, V; BARBOS, A. C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial.** INPE-8454-RPQ/722, junho de 2001.

CONAMA, Resolução nº 303, março de 2002. Publicada no DOU nº 90, de 13 de maio de 2002, Seção 1, página 68.

DE BIASI, M. **A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção.** *Revista do Departamento de Geografia. São Paulo*, n. 6, p. 45-60, 1977.

DE BIASI, D; HECK, C. **Visualization in the earth sciences, earth and mineral sciences.** IN: *Bulletin of the college of earth and mineral sciences. S.l: PSU*, v.59, nº2. p. 13-18, 1989.

EASTMAN, J. R. **Idrisi for Windows: User's Guide**. Worcester: Clark University, 440p. 1995.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. – Rio de Janeiro : EMBRAPA-SPI, 2006.

ERSDAC. **Aster user's guide part I**, General, version 4.0, July, 2005a

ERSDAC. **Aster user's guide part II**, Level 1 data product, version 5.1, March 2007.

ERSDAC. **ASTER user's guide part III**, DEM product (L4A01), version 1.1, July, 2005b.

ESCOBAR, I. P; OLIVEIRA, S. A. M; LIMA, S. P. S; PRADO, R. L; FERREIRA; A. T. A. **Reprocessamento digital das imagens SLAR geradas pelos projetos RADAM e RADAMBRASIL – projeto RADAM – D**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p.4395-4397, INPE. Abril, 2005.

EVANS, I. S. **General geomorphology, derivatives of altitude and descriptive statistics**. In: Chorley, R. J., *Spatial Analysis in Geomorphology*. London: Methuen e Co. Ltd. (Ed.), p. 17-90, 1972.

EVANS, J. R., Olson, D. L. **Introduction to simulation and risk analysis**. New Jersey: Prentice Hall, 1998.

FELGUEIRA, C. A; CÂMARA, G. **Introdução à ciência da geoinformação**, 2004.

FERREIRA, G.F de; COSTA, A. P. R; CANDEIAS, A. L. B. **Análise comparativa de modelos digitais de elevação**. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Curitiba, Brasil, 2011.

FILHO, J. C. de A; BURGOS, N; LOPES, O. F; SILVA, F. H. B. B; MEDEIROS, L. A. R; FILHO, H. F. R de M; PARAHYBA, R. B. V; CAVALCANTI, A. C; NETO, M. B.O, E

SILVA, F. B. R; LEITE, A. P; SANTOS, J. C. P; NETO, N. C. de S; SILVA, A. B; LUZ, L. R. Q. P; LIMA, P. C; REIS, R. M. G. **Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do Estado de Pernambuco**. Rio de Janeiro; EMBRAPA Solos, 2000.

FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais**. Editora: Oficina de textos, São Paulo, ano 2008.

GARCÍA, M. L; BRONDO, J. A. É; PÉREZ, M. A. **Satélites de teledetcción para La gestión del territorio**. Diseño y Maquetación: Ayatima Tenorio Herrera. *GMR Canarias*, 2012.

GARCIA, C.H. **Tabelas para classificação do coeficiente de variação**. Piracicaba: IPEF 1989.

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

GESCH, D. M; OIMOEN, Z; ZHANG, J; DANIELSON, D. Meyer. **Validation of the ASTER Global Digital Elevation Model (GDEM) Version 2 over the Conterminous United States**. Report to the ASTER GDEM Version 2 Validation Team, 2011.

GILES, P. T; FRANKLIN, S. E. **An automated approach to the classification of the slope units using digital data**. *Geomorphology*, v. 21, p. 251-264. 1998.

GOMES, P. F. **Curso de Estatística Experimental**. 12. ed. Piracicaba: Livraria Nobel, 467p, 1991.

GUTH, P. L. **Geomorphometric comparasion of ASTER GDEM and SRTM**. A special joint symposium of ISPRS Technical Commission IV & AutoCarto in conjunction with ASPRS/CaGIS 2010.

HIRANO. A; WELCH. R; LANG. H. **Mapping from ASTER stereo image data: DEM validation and accuracy assessment**. *ISPRS Journal Photogrammetric Eng. Remote Sensing* 57: 356–370, 2003.

IBGE, **Manual técnico de geomorfologia**/ Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. – 2. ed. - Rio de Janeiro. 182 p., ISSN 0103-9598 ; n. 5, 2009.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Proposta Preliminar para a adoção de um referencial geocêntrico no Brasil**. Rio de Janeiro, 30 p, 2000.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Uso da Terra**. Coord. Helge Henriette Sokolonski. 1º Divisão de Geociências do Nordeste, n.7, Rio de Janeiro 1999.

KALIL, E. B. **Princípios de técnica experimental com animais**. Piracicaba: ESALQ/USP, pg. 210, 1977.

KAMP. U; BOLCH. T; OLSENHOLLER J. **DEM Generation from ASTER Satellite Data for Geomorphometric Analysis of Cerro Sillajhuay**, Chile/Bolivia. – ASPRS Annual Proceedings, 5, Anchorage, Alaska, USA, 9 p. 2003.

LEPSCH, I.F. **Manual Para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983.

MATOS, J. L. **Fundamentos de informação geográfica**. 2º edição, Geomática. Editora: Lidel, Março, 2001.

MOORE, D. S. **A estatística básica e a sua prática**. 3 edição; tradução Cristina Filizola Carneiro Pessoa. Rio de Janeiro, LTC, 2005.

MORETTI, E; KOFFLER, N. F; TEIXEIRA, A. L. A. **Técnicas digitais para mapeamento de declividade e orientação de vertentes baseada no uso de sistemas de informação geográfica**. Boletim de Geografia Teorética, vol. 19, nº37\38, pg. 29-52, 1989.

NOGUEIRA, RUTH. E. **Cartografia: representação, comunicação e visualização de dados espaciais**. 2 Edição revisada, Florianópolis. ED. UFSC, 2009.

Norma de Execução do INCRA. **Manual de Obtenção de Terras e Perícia Judicial**. DT no 52, de 25 de outubro de 2006

OLIVEIRA, C. O; PARADELLA, W. R. **Evaluating the Digital Elevation Models produced from ASTER stereoscopy for topographic mapping in the Brazilian Amazon Region**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 81(2): 217-225, 2009.

OLIVEIRA, M. H. F; ALMEIDA, M. R; REBELLATO, D. A. N. **Avaliação de investimentos sob condições de incerteza: a aplicação do método de Monte Carlo em estudo de caso no setor sucroalcooleiro**. XXIX encontro nacional de engenharia de produção, outubro de 2011.

RESENDE, M. D. V; DUARTE, J. B. **Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares**. Pesq. Agropec Trop 37 (3): 182-194 setembro 2007.

RODRIGUES, T. L; DEBISASI, P; SOUZA, R.F de. **Avaliação da adequação de produtos ASTERGDEM no auxílio ao mapeamento sistemático Brasileiro**. III SIMGEO (Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação), p.001-005. Julho, 2010.

SANT'ANA, S. J. S; FREITAS, C.C. **Um estudo Monte Carlo na avaliação de erro em modeos digitais de elevação**. Anais XII Simpósio de Sensoriamento remoto, INPE. P. 3579-3588, abril 2005.

SANTOS, P.R.A; GABOARDI, C; OLIVEIRA, L. C .O. **Avaliação da precisão vertical dos modelos SRTM para a Amazônia**. Revista Brasileira de Cartografia nº 58\01, ISSN 1808-0936. Abril, 2006.

SCHMIDT, J; EVANS, I. S; BRINKMAN, J. **Comparison of polynomial models for land surface curvature calculation**. International Journal of Geographical Information Science 17: p. 797 – 814, 2003.

SOUZA, J. M; LOCH, R. E. N. **Análise e melhoria da qualidade altimétrica dos dados da Shuttle radar Topography Mission, SRTM -3**. Revista Brasileira de Cartografia nº 60\02, ISSN 1808-0936. Agosto de 2008.

TACHIKAWA, T. M; KAKU, A; IWASAKI. **ASTER GDEM Version 2 Validation**. Presentation at the 39th ASTER Science Team Meeting, Tokyo, Japan, (2011a).

TACHIKAWA, T. M; KAKU, A; IWASAKI. **ASTER GDEM Version 2 Validation Report**. Report to the ASTER GDEM Version 2 Validation Team, (2011b).

TACHIKAWA, T; HATO, M; KAKU, M; IWASAKI, A (Orgs.). **The characteristics of ASTERGDEM version 2**, IGARSS, July, 2011.

TOKUNAGA, M; HARA, S; MIYAZAKI, Y; KAKU, M. **Overview of DEM product generated by using ASTER data**. Int. Arch. Photogrammetric Remote Sensing 31(B4), p.874-878, 1996.

TOMAZINI, J. L; GOMES, T. C; GUIMARÃES, E; SILVA, T. G da. **Uso de modelo digital de elevação gerados a partir do ASTER GDEM, para caracterização altimétrica do município de Renascença no sudoeste do estado do Pará**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, p.4338 - INPE, 2011.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente, p.97, 1977.

TRICART, J. **Paisagem e ecologia**. Inter - Fácies, escritos e documentos. São José do Rio Preto: (IBILCE-UNESP NO. 76). 55p, 1982.

TRIOLA, M. F. **Introdução à estatística**. 7º Ed., LTC, Rio de Janeiro – RJ, 1998.

VALERIANO, M. M. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais** \ Teresa Gallotti Florenzano (org.) Cap.3, São Paulo: Oficina de texto, 2008.

VALERIANO, M. M. **Programação do cálculo da declividade em SIG pelo método de vetores ortogonais**. Revista Espaço e Geografia, vol.5, nº1. ISSN: 1516-9375, Pg. 69-85, 2002.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA: Guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. INPE- 15318-RPQ/818, São José dos Campos, 2008.

VALERIANO, M. M; ALBUQUERQUE, P. C. G de. **TOPODATA: Processamento dos dados SRTM**. INPE-16702-RPQ/854, São José dos Campos, 2010.

VALERIANO, M. M; ROSSETTI, D. F. **TOPODATA: seleção de coeficientes geoestatísticos para refinamento unificado de dados SRTM**. São José dos Campos, INPE -2010.

VETTORAZZI, C. A; ANGULO Fi, R; KOFFLER, N . F. **Análise de áreas com diferentes classes de declividade através de imagens TM\LANDSAT**. Anais da E.S.A " Luiz de Queiroz", Volume XLIV, ano 1987.

WAGNER, A. P. **Aplicação de Imagens ASTER para estudos territoriais no Nordeste do estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação de mestrado apresentada ao programa de pós-graduação em sensoriamento remoto, UFRGS, junho de 2004.

WELCH, R; JORDAN, T; LANG, H; MURAKANI, H. **ASTER as a source for topographic data in the late 1990s**. IEEE T. Geosciences Remote Sensing, 36: p.1282-1289, 1998.

YAMAGUCHI, Y. A; KAHLE, H; TSU, T; KAWAKAMI, M. **Overview of Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)**. IEEE T. Geosciences Remote Sensing 36: p.1062-1071, 1998.

YOSHIKAWA, T.; ANTUNES, M. A. H.; DEBIASI, P. **VALIDAÇÃO DO PRODUTO ASTER GDEM PARA A REGIÃO DE SEROPÉDICA - RJ**. ANAIS XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, CURITIBA, 2011.

ZANI, H; ASSINE, M .L; SILVA, A; CORRADINI, F . A; KUERTEN, S; GRADELLA, F. S. **GEOFORMAS DEPOSICIONAIS E FEIÇÕES EROSIVAS NO PANTANAL MATO-GROSSENSE IDENTIFICADA POR SENSORIAMENTO REMOTO**. REVISTA DE GEOGRAFIA, RIO CLARO, V.3,Nº ESPECIAL, P.643-654, 2009.

ANEXO: Fluxograma da Simulação MMC, Plataforma ArcGis 9.3 : Ferramenta *Model Builde*.

