

Análise dos Modelos Digitais de Elevação ASTER GDEM2 e SRTM com o Modelo Digital de Terreno do Projeto Radiografia da Amazônia

Analysis of Digital Elevation Models ASTER GDEM 2 and SRTM with Digital Terrain Model of the Amazon Radiography Project

Vivian Andreaza Lucas¹
Adriane Brill Thum²

Curso de Especialização em Informações Espaciais Georreferenciadas – UNISINOS - Av. Unisinos, 950 – Bloco 6A - Caixa Postal 275 – 93.022-000 – Bairro Cristo Rei - São Leopoldo – RS, Brasil

vivianandreaza@hotmail.com
adrianebt@unisinos.br

RESUMO - A importância econômica da Amazônia para o país gerou a necessidade de um cuidado e reconhecimento aprofundado sobre todo o território da Floresta. A solução encontrada pelo Exército Brasileiro para mapear a área teve como base o uso de Radar de Abertura Sintética (SAR) Interferométrico na Banda X e na Banda P, gerando Modelos Digitais de Terreno (MDT) e Modelos Digitais de Superfície (MDS). Observando que, atualmente, muitos trabalhos utilizam modelos digitais de elevação para reconhecimento de áreas, foi selecionada uma região no interior do Estado do Amazonas, dentro do Município Fonte Boa para realizar uma comparação altimétrica entre três modelos digitais. Nesta abordagem, foram utilizados os MDE's provenientes das missões *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model* (ASTER GDEM2), *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) e o Modelo Digital do Terreno - MDT do Projeto Radiografia da Amazônia, adquirido na Diretoria de Serviço Geográfico, disponível do Geoportal do Exército Brasileiro. A contribuição desta análise se dá no esclarecimento sobre estes três tipos de sensores e quais as variáveis que podem influenciar na viabilidade desses Modelos Digitais de Elevação ASTER GDEM 2 e SRTM na extração altimétrica de uma área sem Referência de Nível e com a formação vegetal da Floresta Amazônica em uma Escala de 1:50.000. Foi verificado que o Sensor SRTM não apresentou grande discrepância altimétrica em comparação com o MDT da Radiografia da Amazônia. Apesar dos diferentes tipos de Bandas dos dois Modelos Digitais e da resolução espacial do SRTM ser muito inferior, nesta área selecionada, ele pode ser utilizado em um trabalho que não exija precisão de dados, somente o modelamento de terreno. O Sensor ASTER GDEM2 não se adequou à área selecionada, apresentando grandes variações altimétricas.

Palavras-chaves: ASTER GDEM2, SRTM, Modelo digital de terreno, Modelo digital de elevação, Radiografia da Amazônia.

ABSTRACT - The importance of Amazônia's economy to the country introduced requirements for are recognition of the entire forest territory. So far, to map all the area, the best solution found by brazilian army was based on use of the Synthetic Aperture Radar (SAR) Interferometry in X Band and Band P, generating Digital Terrain Models (DTM) and Surface Digital Models (MDS). Looking nowadays, many studies use digital elevation models to recognize areas, we selected a region within the State of Amazonas, in the municipality Fonte Boa to perform a comparison between altimetry three digital models. In this approach, the MDE's from the missions *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model* (ASTER GDEM2), *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) and Digital Terrain Model - MDT Amazon Radiography Project were used, acquired on the Board Geographic Service, available from the geoportal of the brazilian army. The enlightenment of this analysis happens from these three types of sensors and which variables would carry the viability of these Elevation Digital Models ASTER GDEM 2 and SRTM in altimetry extraction from an area without reference level and plant formation of the amazon forest on a scale of 1: 50,000. It was established that the SRTM sensor didn't show great altimetry discrepancy in comparison with MDT Amazon Radiography, despite of the two digital models different bands and spatial resolution SRTM much lower, in this selected area. It can be used in a job that doesn't require accurate data, only the terrain modeling. The ASTER sensor GDEM2 wasn't adapted with large altimetric variations.

Keywords: ASTER GDEM2, SRTM, Digital terrain model, Digital elevation model, Amazon Radiography.

¹ Geógrafa formada pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

² Engenheira Florestal e professora do Curso Especialização em Informações Espaciais Georreferenciadas da Unisinos

1. INTRODUÇÃO

A importância da Amazônia para o Brasil não está relacionada somente ao equilíbrio ecológico, mas também aos fatores econômicos, políticos, científico-tecnológico e sociais. Esta região, mundialmente reconhecida pelo seu potencial em recursos naturais, apresenta um denso território que atualmente possui uma área aproximada de 5.020.000 Km² (BRASIL, 2015).

De toda a área da Floresta, cerca de 1,8 milhões de Km² eram considerados “vazios cartográficos” (CORREIA, 2011), a dificuldade de fazer o levantamento espacial e o reconhecimento do terreno com dados planialtimétricos era improvável com a aplicação das técnicas de mapeamento tradicionais.

A solução encontrada pelo Exército Brasileiro teve como base o uso de Radar de Abertura Sintética (SAR) Interferométrico na Banda X e na Banda P, gerando Modelos Digitais de Terreno (MDT) e Modelos Digitais de Superfície (MDS).

Os modelos digitais de terreno e de superfície são fundamentais para representar tridimensionalmente os diferentes fenômenos que ocorrem no espaço geográfico. É através do MDT que se obtém a medida do terreno desconsiderando os elementos existentes sobre ele, como a vegetação e as construções, e é através do MDS que se obtém os valores da superfície terrestre acrescida de quaisquer objetos existentes sobre ela.

A importância de um MDT está na variedade de aplicações, como em cálculos de volumes de materiais, análises de declividades, traçados de curvas de nível, estudos topográficos, dentre outros e podem ser obtidos por diferentes métodos como na fotogrametria, topografia, extração de curvas de nível de cartas topográficas.

Os Modelos Digitais de Elevação (MDE) apresentam limitações na representação da forma de um terreno, pelo fato de não atingirem o solo especificamente em certos pontos imageados. Algumas sensibilidades são atribuídas ao ASTER GDEM2 e SRTM que devem atentar ao uso das imagens digitais destes sensores.

No caso do MDE do SRTM, apesar de se tratar de um produto resultante do processamento interferométrico, obtidos por um radar de abertura sintética e apresentar os melhores dados topográficos para muitas regiões do Brasil, possui uma limitação em áreas de vegetação densa pelo fato de possuir a banda C (6 cm) como a mais longa.

O problema é que o comprimento atribuído a esta banda, se perde nas camadas superiores do dossel vegetal, apresentando uma altitude mais elevada que a altitude real do terreno.

Já o MDE do ASTER GDEM2, tem como origem a estereoscopia orbital, neste método ocorre um curto intervalo de tempo entre a aquisição das imagens que compõem um par estereoscópico, desta forma tem-se uma redução da interferência atmosférica. No entanto,

por se tratar de um sensor óptico é inevitável uma maior interação da Radiação Eletromagnética com os alvos presentes no solo.

O problema para os modelos digitais de elevação gerados neste caso é a irregularidade do terreno, tanto em áreas de formação vegetal densa, quanto em áreas de inunda ou drenagem, pois a interação com a vegetação pode gerar uma topografia elevada em relação à topografia real ou declividade acentuada em áreas com presença de drenagem densa, dependendo do nível de turbidez da água.

O método de levantamento altimétrico com base no uso da tecnologia SAR teve um resultado satisfatório na região da Amazônia, resultando na aprovação do Subprojeto Cartografia Terrestre (CENSIPAM, 2008), também conhecido como o Projeto Radiografia da Amazônia. O produto final resulta em MDT com Resolução Espacial de 5 metros e Precisão de aproximadamente 2 metros (CORREIA, 2011).

Com base em dados altimétricos já levantados em um mapeamento do Projeto Radiografia da Amazônia, foi realizada uma análise comparativa da leitura dos pontos escolhidos com outros dois modelos digitais de terreno oriundos das missões *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER GDEM2) e *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), o qual terá como objetivo analisar a extração de feições altimétricas dos modelos citados anteriormente e comparar as diferenças dos valores altimétricos em cada MDT bem como as peculiaridades inerentes a eles.

A contribuição desta análise se dará no esclarecimento sobre estes três tipos de sensores e quais as interferências que tornam inviáveis a utilização dos Modelos Digitais de Terreno ASTER GDEM 2 e SRTM no levantamento altimétrico de uma área como a Floresta Amazônica.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 DEFINIÇÕES DO MODELO DIGITAL DE TERRENO

Conforme ANDRADE (1998), modelar um terreno significa reproduzir a sua forma. Quando esta reprodução é realizada por meios digitais, diz-se que se fez um Modelo Digital de Terreno (MDT). Existem muitas formas de modelar a superfície de um terreno. No processo de interpolação de altitudes é que fica definida a forma de representação da superfície que se pretende modelar.

Para BURROUGH (1986), MDT é um conjunto de dados que contém informações topográficas de elevação da área. Pode ser utilizado para obter uma grande quantidade de informações sobre a morfologia da paisagem.

JENSEN (2009) define MDT como uma técnica usada para modelar a elevação da paisagem, inclinação e as características dos aspectos hidrológicos e ambientais.

Os Métodos para

criar um MDT incluem (1) medição in situ, utilizando instrumentos como o Sistema de Posicionamento Global GPS), (2) Fotogrametria, (3) Radar de Abertura Sintética interferométrico (IFSAR), e (4) a tecnologia (LIDAR) de detecção de luz ativa.

2.2 MODELAMENTO DIGITAL DE TERRENO PELA INTERFEROMETRIA SAR

O processo de Modelamento Digital de Terreno pela Interferometria SAR é resultante da emissão programada de sucessivos pulsos eletromagnéticos de alta potência, com curto período e feixe estreito que se alarga conforme se aproxima do solo até atingir o alvo, sendo então retroespalhado (MENESES et al, 2012).

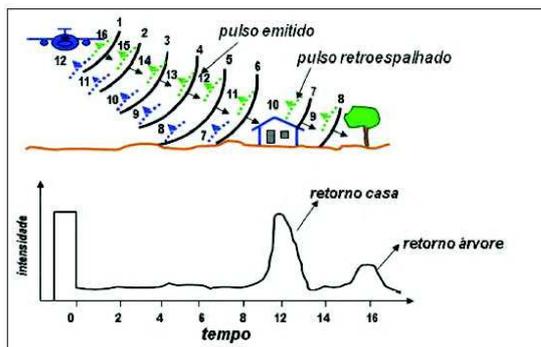


Figura 1 – Propagação de ondas do Radar de visada Lateral e retorno após retroespalhamento.
Fonte: MENESES et al, (2012).

Através do retroespalhamento são obtidas duas imagens simultaneamente da mesma cena com uma pequena diferença angular de visada, esta diferença angular ocorre pelo posicionamento diferenciado das antenas que gera pixels de numerações complexas contendo a amplitude do sinal de retorno e a sua fase. Com este processo é adquirida uma terceira imagem interferométrica, gerada pela diferença de fase entre os pixels correspondentes às duas imagens originais.

A fase de cada pixel da imagem interferométrica, durante o processamento é relacionada com a elevação do terreno, correspondente a célula de resolução na superfície, possibilitando com isso a geração de um MDT.

O método interferométrico teve início há mais de três décadas e esta evolução na maneira de se obter modelos de elevação de superfície terrestre, baseou-se na difusão do uso das imagens de Radar aerotransportado e à proporcionada pelos programas de sensoriamento remoto orbitais JERS 1 e RADARSAT-1, iniciado na década de 1990 (MENESES et al, 2012).

A vantagem da utilização do Radar está no grande comprimento das micro-ondas que não é barrado ou absorvido pelas micrométricas partículas ou gases atmosféricos, possibilitando obter imagens através das nuvens e em qualquer horário, tanto diurno quanto noturno, pois a sua fonte de radiação eletromagnética

não é a solar ou terrestre que se apresentam baixa nessa região espectral.

A radiação eletromagnética do Radar segundo JENSEN (2009), atua independentemente das variações da iluminação solar no sentido angular e azimutal, devido à potencialização da sua fonte de radiação.

De acordo com o mesmo autor, outro fator de grande relevância nos dados obtidos pelo SAR é quando o alvo tem uma alta constante dielétrica, fenômeno relacionado à umidade da superfície, permitindo um retorno forte do sinal independente do tamanho da onda, da rugosidade da superfície ou ângulo de incidência.

Para MENESES et al, (2012) constante dielétrica corresponde a capacidade dos materiais em formar dipolos na presença de um campo elétrico externo e em armazenar e conduzir energia elétrica.

A água contém uma alta constante dielétrica e pode ser detectada em alguns alvos naturais como solos úmidos e vegetações que armazenam água em suas estruturas foliares internas. Rochas e solos que não apresentam umidade possuem baixa constante dielétrica.

A Amazônia por ser considerada como uma Floresta Latifoliada Equatorial caracteriza-se por apresentar elevadas temperaturas e constantes precipitações ao longo do ano, contribuindo para a formação de inúmeras espécies vegetais adaptadas a estas condições de umidade do ar e pequena amplitude térmica (FIGUEROA et al, 1990).

A evapotranspiração da região possibilita o elevado teor de umidade no interior da floresta e armazenamento de água em suas estruturas foliares, características que favorecem a análise territorial pela leitura do SAR, pois quanto maior o conteúdo hídrico da vegetação, maior a sua constante dielétrica, refletividade e espalhamento (WARING et al, 1995).

Nesse aspecto, a constante dielétrica desempenha um papel fundamental na intensidade e fase das microondas espalhadas por florestas (KASISCHKE et al, 1997).

2.3 FUNDAMENTOS DO RADAR DE ABERTURA SINTÉTICA

Existem dois grupos de radares: os imageadores e não imageadores. Porém os imageadores de visada lateral de abertura sintética (SAR) são os mais utilizados.

Seu princípio básico consiste na emissão da radiação eletromagnética direcionada à superfície terrestre e na gravação da intensidade e do tempo de retorno da energia retroespalhada pelo alvo da superfície à medida que o sensor se desloca (ULABY et al, 1986).

O sistema SAR é composto basicamente por um transmissor, um receptor, uma antena e um gravador de dados. O transmissor é utilizado para gerar o sinal de microondas e transmitir a energia para a antena de onde o sinal é emitido em direção à superfície terrestre. O receptor coleta o retorno do sinal dos alvos detectados

pela antena, os quais são amplificados e filtrados antes de serem registrados pelo gravador de dados.

O sensor é de rádio-frequência e tem a capacidade de detectar características físicas e elétricas dos alvos. A região das microondas é de 2,4 cm a 100 cm e atua com um comprimento de onda que chega a ser da ordem de 200.000 vezes maior que os comprimentos de onda da luz do visível, variando de 1 cm a 1,5 m (MENESES et al, 2012).

O retroespalhamento mencionado anteriormente é causado pela frequência, polarização e ângulo, os quais tem incidência diretamente relacionado ao sistema de radar e pela rugosidade, constante dielétrica e geometria, interferências relacionadas ao alvo.

As microondas apresentam uma resposta diferente sobre cada superfície incidente, em caso de uma superfície rugosa o retroespalhamento é forte e difuso, em superfícies lisas e horizontais é fraco e ocorre em direção oposta ao radar e em áreas urbanas ou arborizadas é forte e denominado retroespalhamento de canto.

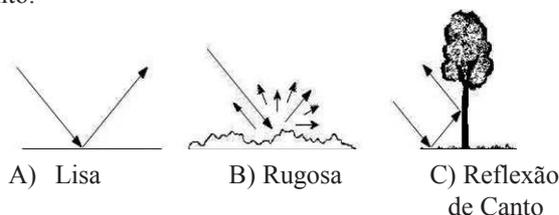


Figura 2 - Retroespalhamento superficial
Fonte: SOARES (2015)

Os três casos citados anteriormente são exemplos básicos de retroespalhamento superficial. Porém no caso da Floresta Amazônica, ocorre outro tipo de espalhamento denominado volumétrico (Figura 3).

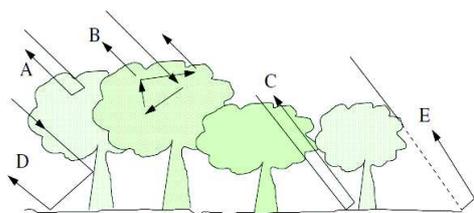


Figura 3 – Espalhamento volumétrico-caso complexo
Fonte: SOARES, 2015.

A Figura 3 ilustra as cinco interferências possíveis no retorno do sinal emitido em uma área florestal: A)Espalhamento no dossel da Floresta; B)Espalhamento múltiplo e volumétrico no interior do dossel; C) Retroespalhamento na superfície do solo; D) Interação Tronco-solo ou água e E) Sombra.

JENSEN (2009) define que o espalhamento volumétrico ocorre através de todo o conjunto das árvores, com suas folhas, galhos, ramos e troncos.

De acordo com o mesmo autor, o comprimento de onda também interfere na leitura dos objetos imageados, pois para uma superfície ser classificada como lisa ou rugosa dependerá do comprimento de onda incidente.

No caso dos radares, assim como os sensores ópticos operam com uma ou mais bandas, a diferença é que os comprimentos de ondas das imagens de radar são identificados por letras. Essa identificação tem origem na II Guerra Mundial, na qual o radar era utilizado para localização de aeronaves inimigas, o descritor alfabético tinha a função de código secreto para que não fosse necessário informar o real comprimento de onda ou frequência (CARVALHO, 2005).

A Tabela 1, apresenta a classificação das bandas com os respectivos intervalos e frequências.

	FAIXA	FREQUÊNCIA	COMP. DE ONDA (cm)
P	100 cm	225 a 390	133 a 77
L	25 cm	390 a 1650	77 a 18,2
S	10 cm	1650 a 5200	18,2 a 5,8
C	06 cm	3900 a 6200	7,7 a 4,8
X	03 cm	5200 a 11900	5,8 a 2,5
J	2,25 cm	11900 a 14250	2,5 a 2,1
K	1,25 cm	20500 a 26500	1,5 a 1,1
Q	0,75 cm	33300 a 37500	0,9 a 0,8
V	0,50 cm	50000 a 75000	0,6 a 0,4
O	0,30 cm	99900 a 112500	0,33 a 0,26

Tabela 1 – Bandas de Radar e intervalos de comprimento de onda.

Fonte: Adaptado de JENSEN (2009)

Cada banda possui uma capacidade específica para a melhor detecção dos alvos presentes no terreno. É possível obter vários níveis de penetrabilidade no dossel vegetal, oferecendo capacidade adicional de polarimetria e interferometria.

No caso do projeto Radiografia da Amazônia, as bandas que mais se adequaram para atingir os objetivos de detecção dos alvos presentes na mata foram as de comprimento de onda X, L e P.

A Banda de comprimento de onda mais curto como a X (03 cm) é refletida pelo dossel e identifica o topo da floresta, a Banda de comprimento L (25 cm) é apropriada para o mapeamento geológico e a Banda de comprimento mais longo P (100 cm) é adequada a atravessar a estrutura florestal e atingir o solo.

Um exemplo das respostas da energia de microondas nas Bandas X e P incidente em um mesmo dossel é apresentada na Figura 4.

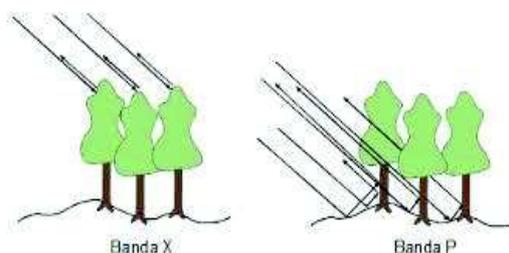


Figura 4 – Diferenças entre as Bandas X e P.
Fonte: MENESES et al, (2012)

A onda polarizada refere-se ao pulso de energia transmitido pela antena, no qual o vetor do campo elétrico do sensor é controlado por um cristal

polarizador com eixo de transmissão situado na horizontal (H) ou vertical (V) direcionando a onda para estes sentidos.

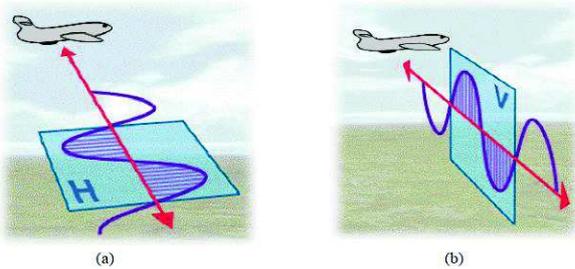


Figura 5 – Polarização do sinal de Radar nos planos Horizontal e Vertical
Fonte: MENESES et al, (2012)

Ao atingir o alvo ocorre a despolarização do sinal, na qual a energia se propaga em sentidos diversos. A energia polarizada verticalmente é fortemente atenuada pela orientação vertical dos componentes do dossel (folhas, galhos, ramos e troncos), ao contrário da energia polarizada horizontal (JENSEN, 2009).

Além da polarização, a intensidade do retorno do sinal, independente das condições ideais do tamanho da onda, da rugosidade da superfície do terreno ou do ângulo da incidência, tem grande influência pela constante dielétrica.

2.4 FUNDAMENTOS DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

A Radiação Eletromagnética (REM) tem o Sol como principal fonte de energia. A interação da REM com os elementos da Terra apresenta maior interferência atmosférica, antes de retornar ao sensor e interagir com os componentes ópticos (filtros, emulsões de filmes ou detectores).

A energia radiada pelas partículas atômicas do Sol viaja no vácuo espacial à velocidade da Luz (300.000km s^{-1}), interage com a atmosfera da Terra, posteriormente com a superfície da Terra, retorna a interagir com a atmosfera da Terra e por fim atinge o sensor.

A propagação de ondas da REM ocorre de duas formas: pelo modelo ondulatório e o modelo de partícula. O modelo de partícula é definido pela interação da energia com a matéria, pois a atmosfera pode afetar a velocidade da radiação, o comprimento de onda, sua intensidade e distribuição espectral. Estes fenômenos são denominados de Refração, Espalhamento, Absorção e Reflectância.

Em relação as interações da Energia-Matéria no Terreno, originam-se os fenômenos denominados de Reflectância, Absortância e Transmitância.

O modelo ondulatório que define a Radiação Eletromagnética apresenta variações no seu comprimento e frequência.

A Tabela 2 apresenta as classes as quais o modelo ondulatório da REM está dividida.

Intervalos Espectrais (Bandas)	Resolução Espectral (μm)
0,45 – 0,76 μm Visível	Toda a Faixa
0,76 - 1,2 μm Infravermelho próximo	0,76 – 0,91 1,00 – 1,12
1,2 - 3,0 μm Infravermelho de ondas curtas	1,19 – 1,34 1,55 – 1,75 2,05 – 2,40
3,0 - 5,0 μm Infravermelho médio	3,5 – 4,2 4,5 – 5,0
5,0 – 1mm Infravermelho termal	8,0 – 9,2 10,2 – 12,5
1mm – 100cm Micro-ondas	3,0 – 100

Tabela 2 – Variações da Radiação Eletromagnética
Fonte: Adaptado de MENESES et al, (2012).

Dos intervalos espectrais apresentados na Tabela 2, será feita uma breve descrição da porção do espectro eletromagnético do visível e do Infravermelho Próximo, por serem os intervalos de maior interação do Sistema VNIR (*Visible end Near Infrared*) do sensor ótico ASTER GDEM2.

De acordo com MENESES et al, (2012), a banda do visível é a região responsável pela interação com os minerais e que dá origem as suas cores, sofre grande influência da ação atmosférica que pode reduzir o contraste de reflectância dos alvos.

Conforme o mesmo autor, o Infravermelho próximo apresenta maior absorção e interação da REM com os minerais compostos nas rochas, possibilitando identificar a natureza de cada uma delas.

2.5 CARACTERÍSTICAS DOS MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO E ESTUDOS RELACIONADOS

2.5.1 RADAR SRTM

A missão SRTM lançada no ano de 2000 com duração de 11 dias teve parceria entre a agência espacial norte- americana (*National Aeronautics and Space Administration -NASA*), a *National Geospacial – Intelligence Agency (NGA)*, o Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD) e as agências espaciais Alemã (*Deusthes Zentrum für Luft- und Raumfahrt - DLG*) e Italiana (*Agenzia Spaziale Italiana - ASI*).

O sistema americano NASA operou na Banda C e derivou as imagens SRTM já conhecidas de 90 m de resolução. Já o sistema Italo-germânico trabalhou na Banda X e resultou nos modelos SRTM de 30 m de resolução espacial (USGS, 2015).

Os dados de radar SRTM foram gerados para criar mapas topográficos detalhados da superfície da Terra. A grande vantagem relacionada a esses dados está no fato

desta base ser oriunda de um sistema SAR, operando no modo interferométrico com as bandas C (06 cm) e X (03 cm) gerando MDE's com pouca interferência dos parâmetros atmosféricos. Nesta técnica, a altitude é obtida através da medição da diferença de fase entre duas imagens de radar sobre um mesmo local na Terra (CCRS, 2015).

Atualmente, os dados da Banda C disponíveis com resolução de 30 metros já estão disponíveis gratuitamente para algumas regiões da América do Sul, com uma acurácia vertical absoluta de 16 metros para 90% dos dados e erro absoluto de 6,2 metros em 90% dos dados da América do Sul (RODRIGUEZ et al, 2016).

Pesquisas sobre o SRTM realizadas por FRANKLIN et al, (1994) observaram que as Bandas C e X, que possuem alta frequência, apresentam um espalhamento dominado pelos processos nas partes superiores da camada da copa das árvores, que ocorrem nas folhagens e ramificações menores.

De acordo com SANTOS et al, (2005) o mapeamento planialtimétrico da Floresta Amazônica em escala 1:100.000, utilizando o MDE do radar interferométrico na banda C, atinge as normas do PEC para a classe A.

Outra descoberta importante desenvolvidas por FUCKNER et al, (2009) sobre o SRTM, comprovam que as maiores diferenças de altitude são encontradas em áreas de maior declividade, e em estrato arbóreo superior coberto por densa vegetação.

Em relação à resolução espacial, FERREIRA et al, (2011), afirmam que as resoluções dos sensores são fundamentais para amenizar o erro altimétrico, e as discrepâncias são comprovadas através de análise das altitudes (BRUBACHER et al, 2012).

2.5.2 SENSOR ASTER GDEM2

O sensor ASTER GDEM teve a produção de suas imagens através de um consórcio entre METI – (*Ministry of Economy, Trade and Industry*), do Japão e a NASA – (*National Aeronautics and Space Administration*, dos Estados Unidos), os quais foram disponibilizados gratuitamente desde o dia 29 de Junho de 2009 e atualmente está na segunda versão lançada em 17 de outubro de 2011 (NASA ASTER, 2012).

Os modelos digitais de elevação foram construídos a partir de pares estereoscópios de imagens capturadas pelo Satélite Terra, o qual tem a bordo o sensor ASTER, este dividido em três subsistemas, o VNIR (*Visible and Near Infrared*), SWIR (*Shortwave Infrared*) e TIR (*Thermal Infrared*) (ABRAMS, et al, 1999).

As imagens geradas possuem 14 bandas de cobertura radiométrica que englobam desde o espectro visível até o espectro do infravermelho termal. Os três subsistemas dos diferentes telescópios do sensor ASTER estão divididos da seguinte forma: a faixa do VNIR que recobre a linha do visível e infravermelho próximo (0,45 – 1,2 μm), o SWIR recobre a faixa do Infravermelho de ondas curtas e Infravermelho médio

(3,0 – 5,0 μm) e o TIR recobre a faixa do Termal (5,0 – 1,0mm) (LEIVAS et al, 2007).

O subsistema VNIR tem ainda um telescópio adicional na banda do infravermelho próximo que fornece visão estereoscópica, na qual os dados são adquiridos com um ângulo de retrovisada de 28° nas bandas 3Nadir e 3Backward (0.78 – 0.86 μm), gerando o modelo digital de elevação oriundas da plataforma EOS-AM1 com o instrumento ASTER.

Conforme MELGAÇO et al, (2005), a vantagem da retrovisada está no curto intervalo de tempo entre a aquisição das duas imagens que compõem o par, possibilitando a redução de diferenças radiométricas, condições de iluminação da cena e cobertura de nuvens.

Porém, o Sensor ASTER, diferente dos Radares, sempre estará sujeito às interferências ocasionadas pela absorção do espectro eletromagnético que alguns gases (oxigênio, ozônio, vapor d'água, gás carbônico) causam em determinadas bandas do espectro, de forma que a atmosfera bloqueia a passagem da radiação.

Conforme NOBEL (1999), é na região do infravermelho próximo que a vegetação interage mais intensamente com a radiação solar incidente.

Entre os trabalhos experimentais que empregam dados ASTER para obtenção de MDE's os autores ABRAMS et al, (1999) afirmam que podem ser gerados MDE's relativos com erro médio quadrático (RMSE) de até 10 m, com precisão altimétrica de 14 m, podendo divergir de acordo com a área em estudo.

Estudos realizados por RODRIGUES et al, (2010) concluem que a escala máxima para o uso deste sensor para a construção do mapeamento sistemático brasileiro é de 1:100.000 para as classes A, B e C do PEC, levando em conta os erros sistemáticos presentes.

As principais aplicações com as Imagens ASTER GDEM são: topografia até a escala 1:50.000 e curvas de nível com 20 m de equidistância; modelos de declive; modelagem de bacias hidrográficas e drenagens; cartografia; geomorfologia; pedologia e outras ciências do solo; estudos de uso e ocupação de solos, em áreas urbanas e rurais e todas as aplicações derivadas.

2.6 PRODUTOS DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICO (PEC)

Segundo o § 4º do item 2 do Art. 8º do Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984, os termos Desvio Padrão (DP), Erro Padrão (EP) e Erro Quadrático Médio (RMSE) devem ser considerados como sinônimos. A qualidade posicional desejada para os Produtos Cartográficos Digitais (PCD) utilizam o termo precisão e exatidão.

Conforme MÔNICO et al, (2009), a definição original de Gauss para acurácia relaciona os efeitos sistemáticos e aleatórios dos erros nas medições, enquanto que a precisão se relaciona apenas com seus efeitos aleatórios, o que pode ser resumido na seguinte afirmação: “o termo acurácia por si só envolve a medida de precisão”.

O nível de exatidão posicional do atributo

geometria de um objeto geográfico ou espacial depende diretamente da exatidão posicional esperada para um produto cartográfico. Assim, o processo de aquisição deve gerar uma geometria com exatidão posicional igual, ou superior, à do produto cartográfico final, a probabilidade de 90% de exatidão corresponde a 1,6449 vezes o Erro-Padrão.

A Tabela 3 estabelece o Produto de Exatidão Cartográfica (PEC) e o Produto Cartográfico Digital (PCD) para os Modelos Digitais de Terreno (MDT), de Elevação (MDE) e de Superfície (MDS) e para os Pontos Cotados na escala 1:50.000.

Os valores previstos para a classe “A” (PEC-PCD) foram definidos a partir de adaptações dos estudos realizados por Merchant (1982) e ASPRS (1989), nos quais o $PEC-PCD = 0,27 * \text{Equidistância do produto cartográfico}$ e o $EP = 1/6 * \text{Equidistância do produto cartográfico}$. As classes “B”, “C” e “D” do PEC-PCD correspondem, em ordem, as classes “A”, “B”, “C” do PEC Altimétrico previstas no Decreto 89.817, de 20 de junho de 1984.

1:50.000 (Eqd = 20 m)		
PEC	PEC (m)	EP (m)
A	5,50	3,33
B	10,00	6,66
C	12,00	8,00
D	15,00	10,00

Tabela 3– PEC dos pontos cotados e do MDT, MDE e MDS para a produção de Produtos Cartográficos Digitais.

Fonte: Exército Brasileiro, Diretoria de Serviço Geográfico, 2011.

Para o cálculo do PEC, foram avaliados 25 pontos distribuídos regularmente pela área, MERCHANT (1982) *apud* GALO (1994, p.2) considera adequado que se utilize no mínimo 20 pontos distribuídos de forma homogênea por todos os quadrantes da carta.

3. ÁREA DE ESTUDO

O trabalho foi realizado no Município Fonte Boa (Figura 6) situado no interior do Estado do Amazonas. A área escolhida dentro do Município possui 885, 072Km² e está localizada entre as Latitudes 02°00'03”S e 02°15'00”S e Longitudes 66°30'00”O e 66°15'00”O, Mapa índice 451-1, em uma região distante do perímetro urbano.

Por localizar-se na Zona Equatorial, apresenta um clima quente e úmido, devido a grande disponibilidade de energia solar e a evapotranspiração. Estudos realizados na Amazônia Central por KOUSKY et al, (1981), indicam que os maiores totais de radiação que chegam na superfície ocorrem nos meses de Setembro/Outubro, sendo que os mínimos são nos meses de Dezembro à Fevereiro.

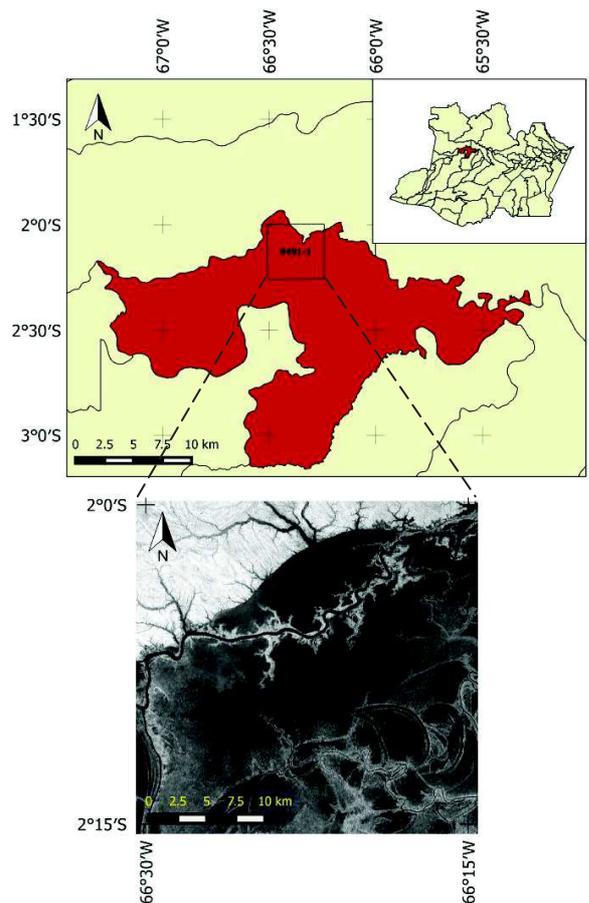


Figura 06 – Localização da área de estudo

Esta área foi escolhida pelos seguintes aspectos: disponibilidade do modelo digital do terreno do projeto RAM e dos modelos digitais de elevação ASTER GDEM2 e SRTM, ausência de Referências de Nível (RN), vegetação densa e distante do perímetro urbano.

A escolha por um local sem referência de nível teve o intuito de não adotar outros padrões de referência de altimetria que não fosse o MDT do projeto Radiografia da Amazônia.

Quanto à distância do perímetro urbano, procurou-se analisar somente o comportamento espectral relacionado aos elementos naturais como água, vegetação e solo. Caso fosse utilizada uma área com formação urbana, além da textura, densidade e posição das feições em relação ao ângulo de incidência solar e a sua posição em relação aos pontos cardeais, as interferências teriam outros aspectos a serem observados, pois a variedade de alvos é maior com a presença de edificações, asfalto, cercas e telhados de materiais diversos.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi dividido em três etapas, primeiramente com a organização dos dados, em segundo o planejamento e na terceira etapa a análise dos resultados, conforme fluxograma a seguir:

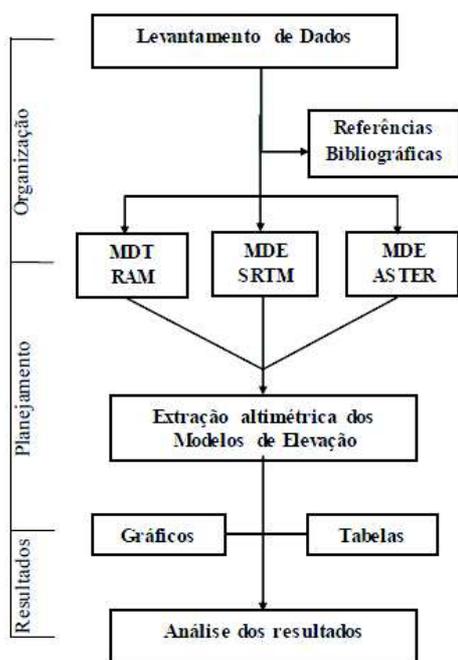


Figura 07 – Fluxograma de Pesquisa
Fonte: Elaborado pela autora

As imagens dos MDE's ASTER GDEM2 e SRTM foram disponibilizadas pelo site *Earth Explorer* – USGS, baixados como arquivo GeoTIFF (*Geographic Tagged Image File Format*), georreferenciadas no sistema geoidal WGS84/EGM96, com 16bits, resolução espacial de 1arco de segundo (30 metros) e coordenadas geográficas S03W067.

O MDE do Aster GDEM2 apresenta a data de Outubro de 2011 e do SRTM de Fevereiro de 2000.

A imagem do MDT do Projeto Radiografia da Amazônia com 32 bits, resolução espacial de 5 metros e Modelo de ondulação geoidal Mapgeo 2010, foi disponibilizada pela 1ª divisão de levantamentos do Exército brasileiro, localizado no Fuso 19M, identificado no mapa índice (MI) pelo número 0451-1 em escala 1:50.000, com a data entre julho e outubro de 2009.

Os arquivos foram abertos no *software* livre QGis 2.10.1 na projeção EPSG4326, WGS84 e analisados visando detectar inconsistências no modelo, pois em alguns casos, o site *Earth Explorer* - USGS fornece imagens que não condizem com a desejada, principalmente as imagens do sensor SRTM.

A decisão em adotar o sistema de referência WGS84 e não o Sirgas 2000 ocorre pelo fato de serem praticamente iguais com os valores $DX=0$, $DY=0$ e $DZ=0$.

Segundo o IBGE, desde o estabelecimento do sistema GPS (*Global Positioning System*), o seu Sistema Geodésico de Referência (WGS 84) já passou por quatro refinamentos. Nestas quatro atualizações o objetivo sempre foi aproximá-lo ao ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*), materialização mais precisa do ITRS (*International Terrestrial Reference System*), desenvolvida pelo IERS (*International Earth*

Rotation and Reference Systems Service). A mais recente atualização recebeu a denominação de WGS 84 (G1674), adotado no Sistema GPS a partir de 08 de fevereiro de 2012. (IBGE, 2016)

Nesta etapa já foi possível identificar diferentes variações altimétricas entre os três modelos, o ASTER apresentou uma variação de altitude entre min. 26 e máx. 97, o SRTM com mín. 38 e máx. 87 e o RAM Min. 43 e máx. 77.

Os MDT's oriundos do USGS foram processadas no ArcGis 10 para corrigir imperfeições, através da ferramenta Fill do ArcToolbox. Posteriormente, as imagens foram recortadas mantendo a mesma extensão do Mapa Índice 0451-1 com 885, 072Km².

Após o recorte, realizou-se a extração altimétrica de cada modelo digital. Foram adotados dois métodos para a distribuição dos pontos: uma pseudo-aleatória e uma grade regular de pontos.

Na distribuição pseudo-aleatória, foram selecionados os locais mais apropriados para a obtenção da altimetria do terreno, evitando os pontos críticos que interferem na resposta espectral dos modelos digitais avaliados, como por exemplo: distância das redes de drenagem, áreas úmidas ou com presença de corpos d'água e áreas de maior densidade vegetal.

Devido às imagens apresentarem acentuada presença de corpos hídricos e por se localizar em uma região de densidade vegetal considerável, foram inevitáveis a colocação de pontos em locais não tão adequados pela falta de opções.

A segunda forma de distribuição de pontos, foi realizada pelo próprio *software* QGis 2.10.1, através da ferramenta Vetor – investigar – pontos regulares. Os 25 pontos foram distribuídos em uma malha gerada pelo próprio programa por toda a extensão da carta sem nenhum critério de seleção, ocorrendo a presença de pontos dentro de cursos d'água, áreas próximas às redes de drenagem ou densidade vegetal.

A escolha por uma malha automática foi definida justamente para mostrar que o resultado altimétrico de cada ponto mal selecionado resultara em uma discrepância mais elevada e consequentemente um resultado de menor qualidade.

Os resultados altimétricos foram exportados para o Microsoft Excel 2010, com o objetivo de calcular as diferenças entre as altitudes extraídas dos Modelos de Elevação, tendo como base MDT do Projeto Radiografia da Amazônia, já que o mesmo apresenta a melhor precisão.

Para avaliar a discrepância dos MDE ASTER GDEM2 e SRTM, foram determinados os pontos de controle no MDT do Projeto Radiografia da Amazônia.

A altimetria obtida de cada Modelo de Elevação foi subtraída da altimetria obtida do MDT e, então, os resultados foram usados para calcular a acurácia horizontal e vertical dos dados, que é expressa como Erro Quadrático Médio (*root mean squared error* – RMSE), para a partir deste valor, avaliar se os MDE ASTER GDEM2 e SRTM teriam no mínimo acurácia adequada dentro das Normas do PEC.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado dos modelos digitais são mostrados nas figuras 08, 09 e 10, variados tons de cinza das imagens demonstram a resposta espectral das ondas refletidas nos objetos do terreno, onde a tonalidade mais clara representam áreas elevadas e os tons escuros as áreas de inunda ou corpos d'água.

No sensor óptico, a REM interage com os objetos do terreno, onde a energia radiada sofre maior absorção com os elementos naturais resultando em uma imagem de tonalidade mais escura e difusa.

Outra observação importante é a concentração de sedimentos em suspensão em corpos d'água, quando são muito baixos, o infravermelho próximo é absorvido quase totalmente na água, registrando na imagem o tom preto. Os tons de cinza mais claro, são reflexo da água com sedimentos em suspensão, na qual ocorre o espalhamento e reflexão do fluxo radiante de volta para o sistema sensor, fazendo com que algumas manchas de água apareçam mais claras.

Essa diferença pode ser observada à direita do corpo d'água mais escuro do centro da Figura 8, onde há presença de corpos d'água em tons de cinza mais claro.

Na imagem óptica é necessária uma maior atenção para identificação visual dos cursos d'água, áreas úmidas e elevadas.

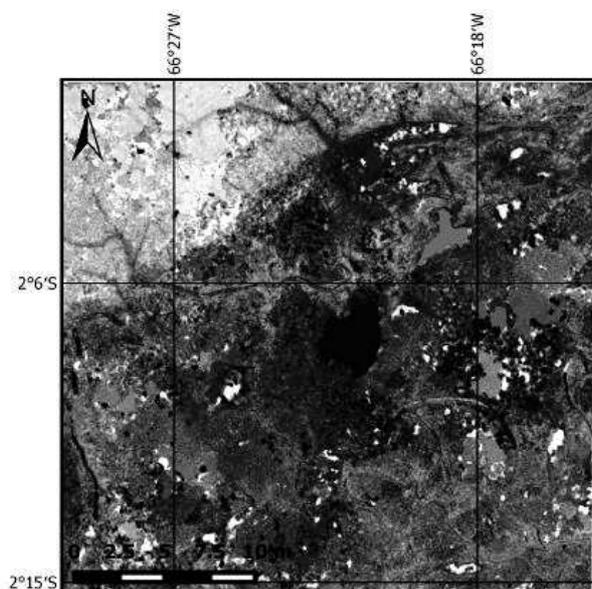


Figura 08 – MDE ASTER GDEM2
Fonte: elaborado pela autora

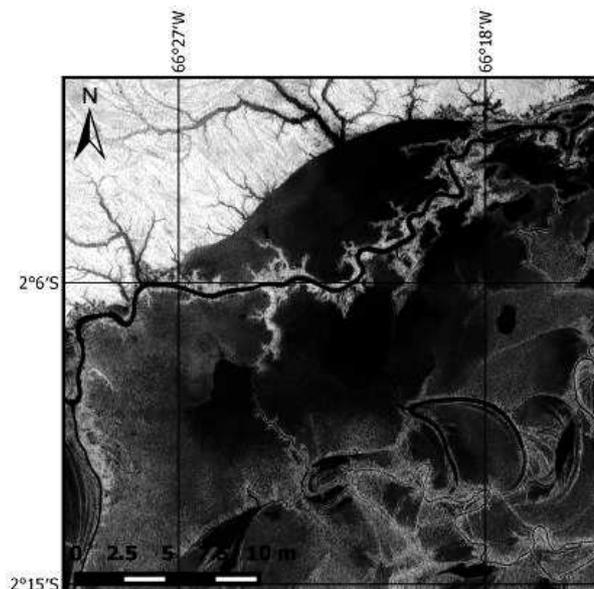


Figura 09 – MDT RAM
Fonte: elaborado pela autora

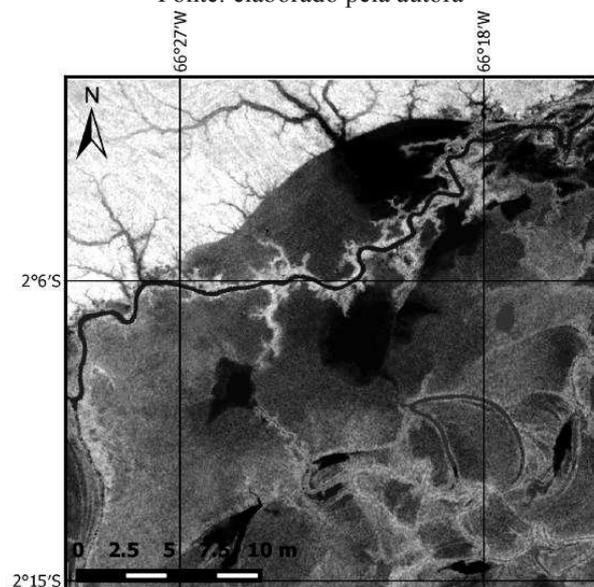


Figura 10 – MDE SRTM.
Fonte: Elaborado pela autora.

Já é possível perceber a grande diferença de um Modelo Digital de Elevação proveniente de um Radar e de um sensor Óptico. Tanto que independente da diferente Resolução Espacial de um MDT RAM de 5 metros para o MDE SRTM de 30 metros, é possível identificar com maior clareza os elementos presentes no terreno, levando em consideração que a área escolhida é composta em sua totalidade por vegetação, drenagens e inunda.

As Figuras 11 e 12 a seguir, apresentam a distribuição dos pontos sobre os modelos digitais:

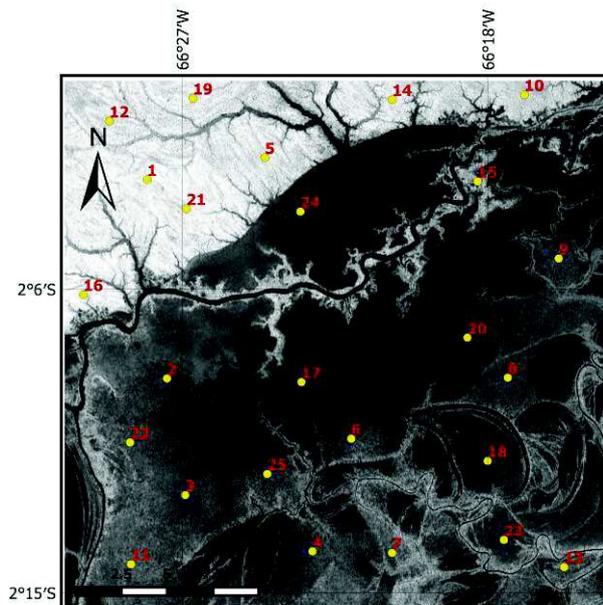


Figura 11 – Pontos pseudoaleatórios
Fonte: elaborado pela autora

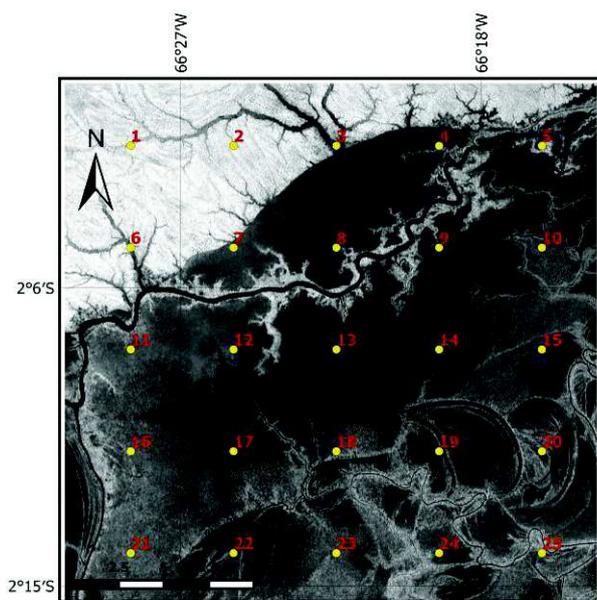


Figura 12 – Malha de pontos
Fonte: elaborado pela autora

Os resultados obtidos estão nas Tabelas 04 e 05:

Ponto	Altimetria			Discrepâncias	
	RAM	SRTM	ASTER	ASTER/ RAM	SRTM/ RAM
1	78	80	83	5	2
2	50	54	46	-4	4
3	53	56	40	-13	3
4	51	50	31	-20	-1
5	73	72	67	-6	-1
6	52	58	33	-19	6

7	54	51	46	-8	-3
8	51	57	61	10	6
9	54	54	49	-5	0
10	68	68	72	4	0
11	58	60	59	1	2
12	73	74	65	-8	1
13	60	54	51	-9	-6
14	71	72	66	-5	1
15	68	64	57	-11	-4
16	79	78	76	-3	-1
17	48	50	42	-6	2
18	51	51	52	1	0
19	74	71	80	6	-3
20	46	49	38	-8	3
21	73	73	70	-3	0
22	50	56	49	-1	6
23	47	50	55	8	3
24	51	52	42	-9	1
25	51	55	38	-13	4
Média				7,44	2,00
Desvio Padrão				4,96	2,00
Altitude Máx.				83	80
Altitude Mín.				31	49
Erro Padrão				0,99	0,40
RMSE				37,2	12,6

Tabela 4 – Discrepâncias dos pontos pseudoaleatórios.
Elaborado pela autora.

Ponto	Altimetria			Discrepâncias	
	RAM	SRTM	ASTER	ASTER/ RAM	SRTM/ RAM
1	67	68	76	9	1
2	75	74	74	-1	-1
3	44	43	38	-6	-1
4	44	38	37	-7	-6
5	64	58	52	-12	-6
6	56	54	49	-7	-2
7	56	57	55	-1	1
8	48	47	31	-17	-1
9	43	40	56	13	-3
10	53	54	50	-3	1
11	56	56	51	-5	0
12	54	53	73	19	-1
13	44	39	27	-17	-5
14	47	48	44	-3	1
15	50	51	36	-14	1
16	55	57	44	-11	2
17	47	49	34	-13	2
18	51	56	18	-33	5
19	46	52	42	-4	6
20	54	54	30	-24	0
21	57	60	22	-35	3
22	47	50	49	2	3
23	60	58	41	-19	-2
24	52	55	52	0	3
25	50	57	48	-2	7
Média				9,00	2,00
Desvio Padrão				9,58	2,08
Altitude Máx.				76	74
Altitude Mín.				22	38

Erro Padrão	1,92	0,42
RMSE	55,40	12,08

Tabela 5 – Discrepâncias da malha de pontos.
Elaborado pela autora

Conforme os resultados para o teste de 25 pontos pseudoaleatórios do SRTM, o Erro Padrão de 0,42 m e RMSE de 12,08 m se enquadram aos valores do PEC Classe C, para os modelos digitais de terreno. Já o ASTER GDEM2 teve um Erro Padrão de 1,92 m e RMSE de 55,40 m, não se adequando a nenhuma das classes.

Por estes resultados pode-se perceber que a acurácia não é boa, tanto do SRTM por atingir classe C do PEC, quanto pelo resultado alto do RMSE do ASTER GDEM2 demonstrando que a discrepância dos dados é inconsistente com a média da amostra.

Para o resultado do RSME, quanto mais próximo de zero mais acurado são os dados, o SRTM neste caso chegou a um valor mais baixo, o que demonstra uma qualidade melhor que o sistema de sensor óptico.

Outra observação importante são as altimetrias máxima e mínima de cada modelo digital, O SRTM em relação ao RAM se aproxima mais do que o ASTER GDEM2 que apresentou a altimetria mínima mais discrepante.

Essa diferença é um dos motivos pelo qual os pontos do sensor ASTER GDEM2 apresentaram um valor mais baixo do que os modelos digitais de terreno e elevação RAM e SRTM. Outra variável que contribui para essa discrepância se deve ao fato de haver maior interação e absorção da REM visível do ASTER com os alvos do terreno.

Como já mencionado nos estudos dirigidos sobre o sensor ASTER, NOBEL (1999) já afirmava que a região do infravermelho próximo apresenta intensidade de interação da vegetação com a radiação solar incidente.

Estes fenômenos são denominados de Transmitância, Reflectância e Absortância em função do comprimento de onda (nm) nos comprimentos de onda do visível e infra vermelho próximo.

No caso das imagens de Radar, esperava-se uma diferença maior de altimetria pela questão do comprimento de ondas da Banda P (100 cm) e C (6 cm). Porém isto não ocorre, a maioria das cotas apresentou valores semelhantes, uma explicação encontrada para este caso é a diferença de resolução espacial.

O projeto da RAM possui uma resolução espacial de 05 metros e o SRTM de 30 metros. É muita diferença, porém em uma região de selva estratificada, a Banda C do SRTM, mesmo apresentando menor intensidade que a Banda P, pode atingir o solo se na área de ocorrência do imageamento a cobertura vegetal não for muito alta. Nesses casos é possível que no processo de retro espalhamento a diferença entre a banda P e a banda C seja muito pequena.

Porém, em alguns casos em que a área imageada apresentar um extrato vegetal muito alto ou um terreno muito declivoso, a banda C do SRTM continuará no seu limite de alcance, enquanto banda P do RAM se

destacará mais por sempre atingir o solo resultando em uma diferença altimétrica considerável.

Na Tabela 5, o sensor óptico continuou com os valores superiores aos toleráveis no PEC, quanto ao radar SRTM não houve muita alteração dos resultados, o mesmo continua em uma classe C. Neste caso, pode-se perceber que além da interferência das diferentes resoluções espaciais de cada sensor, lançar uma malha automática não é adequada para avaliar a altimetria de uma região utilizando os Modelos de Elevação.

Na altimetria Máxima e Mínima das três imagens avaliadas, o ASTER GDEM2 continua com os resultados mais dispares, sendo o resultado do RMSE neste caso, mais elevado que no teste anterior porque a interferência que um Radar sofre em relação aos efeitos atmosféricos e físicos dos alvos terrestres é menor.

O que deixa claro nestas duas tabelas, é que o cuidado para se extrair um valor de elevação de uma imagem óptica deve ser dobrado, pois é necessário sempre levar em consideração que os ruídos provenientes das interferências atmosféricas influirão significativamente no resultado final, principalmente em uma área de consistência vegetal e elevado teor de umidade.

No primeiro teste, foram escolhidos estrategicamente pontos distantes dos cursos d'água, na malha automática, mesmo que a distribuição ocorra de forma mais regular, muitos pontos caíram sobre os Rios e próximos a drenagens.

No caso do ASTER GDEM2, a penetrabilidade da REM na água depende de fatores como profundidade e sedimentação. Se a coluna de água é clara, pode chegar a uma profundidade de 10 a 30 metros nos comprimentos de onda entre 0,45 – 0,52 μm .

Quando a água é turva e profunda ocorre uma forte absorção da água e a reflectância no infra-vermelho próximo diminui.

Os Gráficos 1 e 2, foram gerados para melhor visualização da variação altimétrica de alguns pontos.

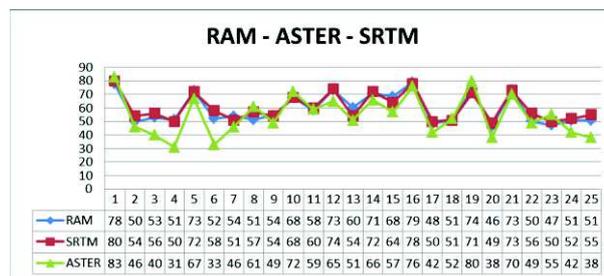


Gráfico 01 – Gráfico da Tabela 04.

Fonte: elaborado pela autora

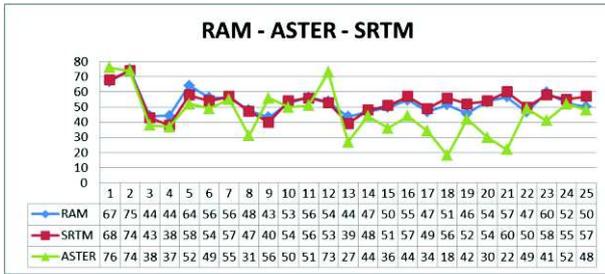


Gráfico 02 – Gráfico da Tabela 05.
Fonte: elaborado pela autora

Nos Gráficos 1 e 2 é possível observar que as cotas mais baixas do ASTER GDEM2 se encontram dentro de drenagens ou em pontos onde o pixel apresenta uma coloração escura.

A resposta espectral do ASTER GDEM2 em uma imagem aparece mais escura quando há maior presença de matéria orgânica, resultando em uma reflectância menor em todos os comprimentos de onda.

O sensor ASTER GDEM2 apresentou maior variação altimétrica em comparação ao SRTM, isto porque atua na faixa do visível (0,45 – 0,76 µm) e Infravermelho próximo (0,76 – 1,2 µm). Embora os dois modelos digitais de elevação tenham a mesma resolução espacial de 30 metros, o ASTER GDEM2 apresenta uma resposta espectral diferenciada devido à interação com qualquer objeto presente no solo, resultando em maior ruído e picos acentuados.

Nas Tabelas 6 e 7, foram destacados os pontos que mais se afastaram do modelo digital de terreno do RAM, como o SRTM teve os resultados mais próximos, não havendo um ponto que obtivesse um destaque nos Gráficos, optou-se por selecionar alguns resultados dos ASTER GDEM2, devido a este apresentar as maiores diferenças visíveis:

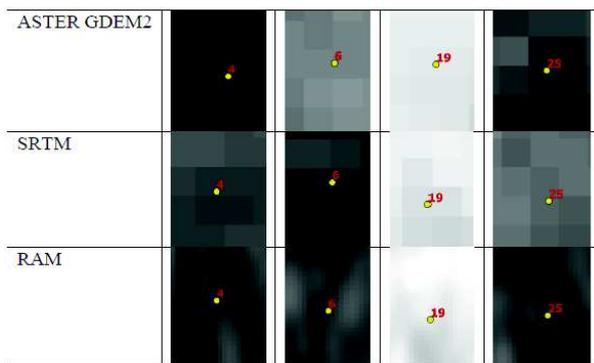


Tabela 6 – Pontos do Gráfico 1.
Elaborado pela autora

Na Tabela 6 pode-se perceber que os pontos 4, 6, 19 e 25 apresentam diferentes tons de cinza da imagem óptica para os radares, também fica claro a diferença do tamanho de pixel entre o RAM e os demais.

Os pontos 4, 6 e 25 do Gráfico 1 aparecem mais baixos para o sistema de sensor ASTER GDEM2, observando na Tabela 6, o pixel ao qual se encontram estes pontos tem uma tonalidade mais escura que o mesmo ponto nas imagens digitais dos radares.

A diferença de tonalidade, como já mencionado anteriormente, indica a elevação do terreno, umidade ou sombra. Para o sensor ASTER GDEM2 nestas áreas escuras a tendência é uma maior interação da REM que resultará em uma altimetria menos elevada, já no ponto 19, ocorre o contrário, o pixel apresenta uma altitude mais elevada que os demais.

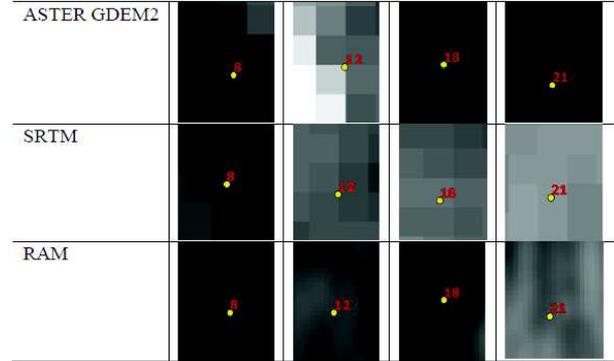


Tabela 7 – Pontos do Gráfico 2.
Elaborado pela autora

Na Tabela 7 estão destacados os pontos 8, 12, 18 e 21 do Gráfico 2, este gráfico apresentou as maiores discrepâncias do sensor ASTER GDEM2, é possível observar novamente nos pontos 8, 18 e 21 a altimetria mais baixa em pixels mais escuros em comparação com as imagens de radar.

No ponto 12 do Gráfico 2, o pico acentuado do ASTER GDEM2 está localizado em um pixel mais claro, vindo a evidenciar que as tonalidades claras das imagens retêm os valores mais elevados.

Outro fator que interfere para a discrepância altimétrica do ASTER GDEM2 e SRTM, são os períodos de cada Imagem, como já referenciado na revisão bibliográfica a resolução temporal de cada modelo digital de elevação varia, não havendo datas semelhantes entre os sensores para uma comparação de mesma época.

Sabendo que na Floresta Amazônica a umidade é elevada e ocorrem chuvas e secas periódicas, foi necessário avaliar se esses modelos digitais foram imageados em período de seca ou chuva, para uma melhor compreensão da resposta espectral dos pontos analisados.

As Figuras 14 e 15 mostram os períodos de chuva no decorrer do ano de cada Imagem Digital oriundas do Site do INMET, Estação Fonte Boa.

A única exceção para o Sensor SRTM, devido à ausência de registros para o ano de 2000.



Figura 14 – ASTER - Estação Fonte Boa de 2011.
Fonte: Site do INMET

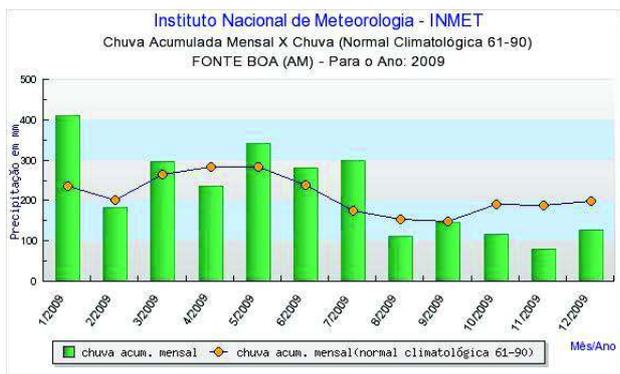


Figura 15 – RAM - Estação Fonte Boa de 2011.
Fonte: Site do INMET

Na Figura 14, o MDE do ASTER GDEM2 foi imageado em outubro de 2011. Neste período segundo os gráficos do INMET, choveu aproximadamente 200 mm no mês.

De acordo com o ciclo de chuvas da Região, abril e outubro são períodos de transição entre chuva e seca. Portanto, os dados apresentados mostram que no mês de outubro de 2011, a ocorrência de chuvas não foi muito intensa.

Na Figura 15, embora o MDT da Radiografia da Amazônia tenha sido adquirido em período de seca, entre os meses de julho e outubro de 2009, no gráfico o mês de Julho mostra uma precipitação alta, em média 300 mm, mas agosto e outubro foi relativamente baixo em comparação com o período de imageamento do ASTER GDEM2.

A intensidade de precipitação altera o volume de água dos Rios e as áreas de inunda, alterando também na resposta espectral dos sensores.

6. CONCLUSÃO

Apesar do MDT do Projeto Radiografia da Amazônia, ter a melhor resolução espacial e valores máximos de discrepância de 2 metros, nesta área escolhida para a pesquisa, onde não houve necessidade de detalhamento e acurácia altimétrica e posicional, o SRTM apresentou um resultado semelhante para o reconhecimento da área em uma escala 1:50.000.

Levando em consideração que em áreas com

acentuada declividade ou com extrato arbóreo denso e elevado, a altimetria sofre interferências devido à limitação do comprimento de ondas do sensor SRTM.

O resultado dos dados para o sensor ASTER GDEM2, não foi satisfatório, apresentando um relevo muito acidentado.

Supõe-se que pela complexidade natural da Amazônia, em outros locais o SRTM e o ASTER GDEM2 teriam resultados mais discrepantes, sendo necessário um cuidado para utilização dos Modelos Digitais de Elevação em áreas que não apresentam Referência de Nível.

Como sugestão para trabalhos futuros, seria adequado fazer uma análise de outros locais da mesma região com diferentes características, como por exemplo, locais com áreas urbanas ou em áreas desflorestadas para avaliar a variação da resposta espectral de cada modelo digital de elevação e quais as possibilidades de utilização destes produtos em cada caso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTER, ASTER GDEM. Disponível em : <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/>. Acesso em 09 jan 2016.
- ABRAMS, M.; Hook, S.; Ramachandran, B. **ASTERS users handbook**. Pasadena:JPL, 1999. 93p.
- ANDRADE, J. B. **Fundamentos de Fotogrametria**, 1998, páginas 202 a 204.
- BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Áreas Especiais. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/amazonialegal.shtm?c=2>>. Acesso em: jan. 2015.
- BRUBACHER, J. P.; OLIVEIRA, G. G. D.; GUASELLI, L. A.; LUERCE, T. D. **Avaliação de bases srtm para extração de variáveis morfométricas e de drenagem**. Geociências, v. 31, n. 3, p. 381-393, 2012.
- BURROUGH, P. A. (1986), **Principles of Geographic Information systems for Land Resources Assessment**. Clarendon Press, Oxford.
- CARVALHO, Regina Pinto de. **Temas atuais de física: Micro-ondas**. Sociedade brasileira de física, 1ª ed. São Paulo: Livraria da Física, 2005.
- CENSIPAM, 2008. **Subprojeto Cartografia Terrestre**. Documento de Referência do Acordo de Cooperação Técnica nº 03/2008, de 26 de fevereiro de 2008, celebrado entre o CENSIPAM, o Comando do Exército, o Comando da Marinha, o Comando da Aeronáutica e o Serviço Geológico do Brasil.
- CCRS. **Canada Centre for Remote Sensing**. Site: www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs. Acesso: 15 nov. 2015
- CORREIA, Antônio Henrique. **Metodologia e resultados preliminares do Projeto Radiografia da Amazônia**. Anais XV Simpósio brasileiro de Sensoriamento Remoto- SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 abr 2011, INPE p.8083.

- CORREIA, Antônio Henrique; MOURA, Pierre. **Utilização de Imagens interferométricas SAR na Banda X para Estimativa da cota da Superfície e Nivelamento de Massa D'água no Projeto Radiografia da Amazônia.** Anais XV Simpósio brasileiro de Sensoriamento Remoto- SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 abr 2011, INPE p.8272
- DARTORA, C. A. **Teoria do Campo Eletromagnético e Ondas.** Curitiba, PR, 294 p. 2015
- EXÉRCITO Brasileiro, Departamento de Ciência e Tecnologia, Diretoria de Serviço Geográfico. **Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV).** Editoração e impressão pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro, 2ª Edição, 09 Agosto 2011.
- FERREIRA, G. F.; COSTA, A. P. P. R.; CANDEIAS, A. L. B. **Análise comparativa de Modelos Digitais d'e Elevação.** In.: Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, p.2324, 2011.
- FERRAZ, Rodrigo da Silva. **Avaliação de Modelos Digitais de Terrenos para delimitação de áreas de Bacias Hidrográficas.** V Simpósio brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Informação. Recife, PE, 14 nov 2014.
- FIGUEROA, S.N.; NOBRE, C.A. **Precipitations distribution over Central and Western Tropical South America.** Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática, 5(6): 36 - 45, 1990;
- FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **"Forças dipolo induzido-dipolo induzido ou dispersão de London"; Brasil Escola.** Disponível em <<http://www.brasilecola.com/quimica/forcas-dipolo-induzido-dipolo-induzido-ou-dispersao-london.htm>>. Acesso em 02 de novembro de 2015.
- FRANKLIN, W. R. and Ray, C. (1994). **Higher isn't necessarily better: Visibility algorithms and experiments.** In *Advances in GIS research: sixth international symposium on spatial data handling*, volume 2, pages 751--770. Edinburgh.
- FUCKNER, Marcus André; FLORENZANO, Tereza Gallotti; MORAES, Elisabete Caria. **Avaliação Altimétrica de Modelos Digitais de elevação extraídos de imagens ASTER em áreas com configuração topográfica distinta.** Anais XIV Simpósio brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril de 2009, INPE, p. 683-690.
- GALO M.; CAMARGO, P.O. **Utilização do GPS no controle da qualidade de carta.** In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis, 1994, páginas 41 - 48.
- GROHMANN, C.H.; RICCOMINI, C.; Horel, J.D.; Hahmann, A.N.; Geisler, J.E. **An investigation of the annual cycle of convective activity over the tropical Americas.** Journal of Climate, 2(11), 1388 - 1403, 1989.
- INMET, Instituto Nacional de Metereologia. **Gráficos de Chuva.** Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sim/gera_graficos.php>. Aces so em 06 mar 2016.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** Tradução José Carlos Neves Epiphanyo (Coordenador) et. al., São José dos Campos, SP, 2009.
- KOUSKY, V.E. e Kagano, M.T. **A climatological study of the tropospheric circulation over the Amazon region.** Acta Amazônica, 11(4): 743 - 758, 1981;
- LEIVAS, J.; Gusso, A.; Fontana, D. C.; Berlatto, M. **Estimativa do balanço de radiação na superfície a partir de imagens de satélite ASTER.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2008, Florianópolis. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, Foz do Iguacu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013.São José dos Campos: INPE, 2007, p. 255-262.
- MELGAÇO, L. M.; Souza Filho, C. R.; Steinmeyer, M. **Comparação entre modelos digitais de elevação gerados por sensores ópticos e por radar.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, 2005, Goiânia. Anais... São José dos Campos: INPE, 2005. p. 1215-1220.
- MENESES, P. R.; SANO, E.E. **Sensor Radar de Abertura Sintética,** UnB, p.57-76, 2012.
- MÔNICO, J. F. M; DAL PÓS, A. P.; GALO, M.; SANTOS, M. C.; OLIVEIRA, L. C. **Acurácia e Precisão: Revendo os Conceitos de Forma Acurada.** Bol. Ciên. Geod., séc. Comunicações, Curitiba, Vol. 15, nº 3, p469-483, jul-set, 2009.
- NASA. **Shuttle Radar Topography Mission.** Disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/index.html>>. Acesso em: 03 nov 2015.
- NOBEL, P.S. **Physicochemical and environmental plant physiology.** London: Academic Press, 1999. 474p.
- NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica-Vol.4 / H. Moysés Nussenzevig – 1ª edição – São Paulo: Editora Blucher, 1998.**
- RODRIGUES, T.L.; DEBIASI, P. & SOUZA, R.F. **Avaliação da adequação dos produtos ASTER GDEM no auxílio ao mapeamento sistemático brasileiro.** In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnológicas da Geoinformação, 3., 2010, Anais..., Recife, PE, Embrapa, 2010.
- RODRIGUEZ, E.; Morris, C. S.; Belz, J. E.; Chapin, E. C.; Martin, J. M.; Daffer, S. **An assessment of the SRTM topographic products:** Pasadena, CA: JPL, 2005. Disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/srtmBibliography.html>>. Acesso em: 12 fev 16.
- SALATI, E.; Dall'Olio, A.; Matsui, E.; Gat, J.R. **Recycling of water in the Amazon basin: an isotopic study.** *Water Resource Research*, 15(5): 1250 - 1258, 1979.
- SANTOS, P. R. A.; GABOARDI, C.; OLIVEIRA, L. C. **Avaliação da precisão vertical dos modelos SRTM para a Amazônia.** Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 2005, INPE, p. 4473-4480.

SOARES, João Viane. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto por Radar**. Disponível em <<http://www.geoluislopes.com/2014/11/ebook-fundamentos-de-sensoriamento-por-radar.html/>>. Acesso em: 15 nov 2015.

STEINER, S.S. **Aplicações dos Modelos de Elevação SRTM em Geomorfologia**. Rev. Geogr. Acadêmica v.2 n.2 (viii.2008) 73-83.

ULABY, F. T., MOORE, R. K., & FUNG, A. K. **Microwave Remote Sensing: active and passive. From Theory to applications**, vol. 3. Boston, London: Artech House 1098 pp. 1986.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Shuttle Radar Topography Mission**. Disponível em: <<http://srtm.usgs.gov/>>. Acesso em: 03 nov 2015.

VAN DER SANDEN, J. J. **Radar Remote Sensing to support tropical forest management**. Doctoral Thesis, Tropenbos-Guyana Series, 330p., 1997.

WARING, Richard H., RUNNING, Steven W. **Forests Ecosystems. Ecosystems Analysis at Multiple Scales** – 3rd ed. 138 p. ISBN: 978-0-12-370605-8. 1995.

WPA, VAN DEURSEN. **Geographical Information Systems and Dynamic Models; development and application of a prototype spatial modelling language** - Utrecht 1995: Knag/Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen Universiteit Utrecht. 206 pp, 44 figs, 8 tabs. ISBN 90-6809-206-5 Dfl 38,00.