

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
CENTRO DE ESTUDOS SUPERIORES DE ITACOATIARA**

RAILDO TORQUATO DE SOUZA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE DIFERENTES MODELOS DIGITAIS DE
ELEVAÇÃO NA EXTRAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM EM ÁREA SUBMETIDA
AO MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL**

Itacoatiara

2018

RAILDO TORQUATO DE SOUZA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE DIFERENTES MODELOS DIGITAIS DE
ELEVAÇÃO NA EXTRAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM EM ÁREA SUBMETIDA
AO MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL**

Monografia apresentada para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal, do Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara, da Universidade do Estado do Amazonas.

Orientador: Louri Klemann Júnior

Coorientador: Veraldo Liesenberg

Itacoatiara
2018

RAILDO TORQUATO DE SOUZA

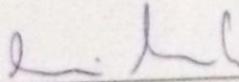
**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE DIFERENTES MODELOS DIGITAIS DE
ELEVAÇÃO NA EXTRAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM EM ÁREA SUBMETIDA
AO MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Florestal, da Universidade do Estado do Amazonas, como requisito obrigatório para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Florestal.

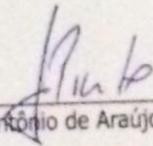
Itacoatiara-AM, 08 de junho de 2018.

Nota: 9,6

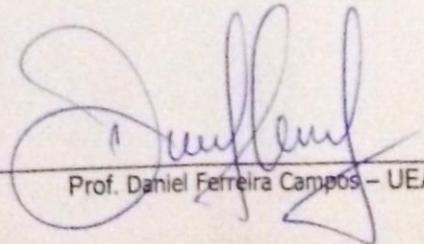
BANCA EXAMINADORA



Prof. Louri Klemann Júnior – UEA
(Orientador)



Prof. Luís Antônio de Araújo Pinto – UEA



Prof. Daniel Ferreira Campos – UEA

*A Deus e aos meus pais, Raimunda
Lourenço e Raimundo Torquato.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem sua misericórdia isso não seria possível, aos meus pais (Raimundo Torquato e Raimunda Loureço), agradeço eternamente, pois sempre estiveram ao meu lado nos momentos mais difíceis da minha vida, não somente eles mas também meus irmãos e minha tia(o), Perpetua e Alfredo que me apoiaram desde o primeiro dia de faculdade.

Ao meu coorientador, professor Dr. Veraldo Liesenberg, que por muitas vezes foi mais que um orientador, sempre sanando minhas dúvidas nas horas em que mais precisei. Sempre me incentivando a buscar mais conhecimentos e a não desistir.

A todos meus amigos da turma 10: Maria Auxiliadora (Maria da Bob's, essa menina é chata (risos), porém es uma grande pessoa, coração bom, agradeço por tudo, desde o primeiro período, companheira de estudo que sempre se mostrou disposta a ajudar e ser ajudada), Amanda Mesquita (Amandora), Lucas (Luuuuuca), Vanesse Matos (Vai nessa, grande amiga que espero levar para vida toda), Ítala Lorena (Leprosinha, cara de formiga e perna de piaçoca), Rubia Ribeiro (Rubeira), Roberta Moura (Paula), José Carlos (Dé), Adriene Amaral (Adrieida), Anderson Reis (Buti), Laís Mineiro (Gorda, capô de Fusca. Amiga da comida, que sempre estava disposta a dividir uma pizza, um churrasquinho, nas horas mais difíceis, ela estava ali, disponível para qualquer coisa), Andressa Vitória (Vitooorria), Luh Carvalho (Lucrecia, a igreja) e Mizael Lopes (Caboco neném, meu grande amigo e irmão).

Aos amigos da Abacaé e Quelônios (Consultorias), Lennon Simões (Matapico, meu grande amigo/irmão, que ao longo desses anos esteve comigo nas mais difíceis situações que já passei, sempre me apoiando e incentivando, agradeço pela sua amizade, pois se mostrou um cara de personalidade parecida com a minha. Espero que nossa amizade dure a vida toda, e que novas aventuras iguais a da Escola Superior de Tecnologia (EST), paraíso dos ventos, paraíso das baratas e até mesmo o paraíso do refrigerante possam vir, pois foi um grande aprendizado em nossas vidas (risos), João Serafim (O Chupeiro, grande amigo que espero levar pro resto da vida), Francisco Alves (O cara, Engenheiro da NASA, grande parceiro e amigo), Luana Barauna (Dona Luana), e Alexandre Garcia (Xandoca, meu parceiro, aqui também é pra vida

toda, obrigado por sua amizade). Aos amigos do Laboratório de manejo, Karolayne Silva, Lissiane Freire, Francisco Jairo e Swayze Mota.

Aos meus professores (menos a Deolinda Ferreira) que me deram o ensinamento devido para que eu pudesse chegar até aqui. Muito obrigado, espero que o laço de amizade criado com eles, possa se manter por longa data.

Ao professor Luís Enrique Prates por suas orientações e paciência ao longo desta monografia.

Ao meu orientador, professor Dr. Louri Klemann por toda orientação e por ter me ajudado no momento que precisei. Aos professores Judibal Cabral e Luís Antônio, meus orientadores no programa de iniciação científica (PAIC), estes que foram de suma importância para o meu crescimento acadêmico.

À Prefeitura municipal de Pauini pelo auxílio financeiro ao longo dos anos de curso.

À Universidade do Estado do Amazonas pelos auxílios, entre eles o incentivo ao programa de mobilidade acadêmica.

A todos funcionários da casa dos estudantes (donas, Lúcia, Júlia, Mileide, Ane, Diana, seu Jaiminho, Josué, Andrey) em especial à Iona Guimarães, que nas longas conversas foi uma pessoa que sempre me apoiou desde o primeiro período. Suas palavras de incentivo, seus conselhos, ensinamento e até mesmo, ralhos (risos) serviram para meu crescimento como pessoa, com certeza levarei para a vida toda.

Às tias do Restaurante Universitário em especial a Yasmin (menos a sra. que vende fichas na merenda (esqueci o nome)).

Aos seu Biase e Dona Glória pelo café top (risos), e todos funcionários do Líder Hotel, menos a Anne.

Aos amigos da Assembleia de Deus Tradicional, em especial a Élley Rute, Mariza Rabelo, Valcilene Magalhães, Paula Ferreira, Joziele, Ageu Ferraz e Raquel Ferraz.

A minha amiga, parceira Alaeene Fernandes que sempre esteve ao meu lado nesses últimos 3 anos, sempre me apoiou, acreditou e me incentivou. Obrigado por tudo.

*Somos o que fazemos para mudarmos o que
fomos, mas nada somos que velhos outonos.
(Velhos Outonos - Rosa de Saron)*

RESUMO

Atualmente Modelos Digitais de Elevação (MDE) vem se tornando uma ferramenta indispensável para o planejamento de estradas florestais, extração de redes de drenagem, identificação de árvores em área de preservação permanente, etc. Entre os principais MDE estão o ALOS/PALSAR, ASTER/GDEM, SRTM e o TOPODATA. Neste contexto, o presente trabalho de conclusão de curso tem como objetivo avaliar as diferenças entre a vetorização de uma rede de drenagem elaborada através de coordenadas geográficas presentes em um inventário florestal daquelas extraídas de MDE supracitados. Primeiramente, procedeu-se com a vetorização da rede drenagem a partir das coordenadas presentes em um inventário florestal 100% com Diâmetro à Altura do Peito (DAP) ≥ 40 cm. Em seguida foram extraídas as redes de drenagens com valores de área de contribuição variando em intervalos regulares entre 10 e 150 nos diferentes MDE. Posteriormente, feita realizada a correlação das redes extraídas dos MDEs a rede vetorizada, cuja a precisão foi verificada por meio do teste Z. As informações da veracidade foram analisadas dentro dos índices *Kappa* e de acurácia global (Exatidão Global). Através da análise visual foi possível observar que a rede extraída do SRTM com valor de área de contribuição 150 (13,56 km) apresentou maior coincidência com a rede de campo (9,65 km), porém comparado as suas extensões, o ASTER (12,97 km) apresentou valores mais próximos. Estatisticamente o MDE e valor de área de contribuição que melhor representou a rede de drenagem foi o 150, extraído do MDE SRTM, com acurácia global de 94,29% e índice *kappa* de 0,886. Portanto, conclui-se que, os modelos são bastante eficazes para extração de atributos hidrológicos, no que diz respeito as redes de drenagem. A definição de um MDE depende exclusivamente do tipo de atividade a ser realizada. Recomenda-se usar outros valores de área de contribuição bem como repetir o estudo em outras áreas que contam com dados aerotransportados LiDAR.

Palavras Chaves; Rede de Drenagem, Área de Contribuição, Acurácia Global

ABSTRACT

Currently, Digital Elevation Models (DEM) have become an indispensable tool for the planning of forest management activities, extraction of drainage networks, identification of trees in a permanent preservation areas, etc. Currently, free available DEMs are ALOS/PALSAR, ASTER/GDEM, SRTM and TOPODATA. In this context, the present work aims to compare a drainage network elaborated through fieldwork and GPS measurements with those extracted from the four above mentioned DEMs. First, the drainage vector was vectorized from the trees with a diameter at the breast height (DBH) ≥ 40 cm. In addition, drainage contribution area ranging from 10 to 150 was applied for each DEM. After, a comparison between each generated drainage network with the ground reference was compared each other using Kappa index and Z-test (Global Accuracy). Results showed that the drainage network extracted from the SRTM and ASTER with a value of contribution area 150 (13,56 km and 12,97) were the most similar one with those extracted obtained from the field network (9,65 km). Statistically, the DEMs showed an overall accuracy higher than 94%. Therefore, all models performed well. It is recommended to evaluate other environments as well as airborne LiDAR data.

Keywords; Drainage Network, Contribution Area, Global Accuracy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Localização da área de estudo.....	19
Figura 2:	Preenchimento dessas pequenas depressões e saliências nos MDE's.....	23
Figura 3:	MDE's obtido após o tratamento de dados para ALOS/PALSAR (A), ASTER (B), SRTM (C) e TOPODATA (D).....	24
Figura 4:	Exemplo de execução da função “ <i>flow direction</i> ”	25
Figura 5:	Mapa de direção de fluxo para os dados ALOS/PALSAR (A) TOPODATA (B), SRTM (C) e ASTER (D).....	25
Figura 6:	Exemplo de determinação do fluxo acumulado.....	26
Figura 7:	Mapa de fluxo acumulado para os sensores ALOS/PALSAR (A), ASTER (B), SRTM (C) e TOPODATA (D).....	27
Figura 8:	Fluxograma de atividades.....	28
Figura 9:	Árvores plotadas na área de Manejo Florestal, em destaque as em APP.....	30
Figura 10:	Resultado delimitação da rede de drenagem a partir das árvores em APP e conversão da área de abrangência (buffer), vetor para raster, resolução do pixel 10x10 metros.....	31
Figura 11:	Representação dos transectos nos MDE's.....	33
Figura 12:	Perfil topográfico dos MDE's com resolução espacial 30 m. Variação de A-A'	34
Figura 13:	Perfil topográfico dos MDE's com resolução espacial 30m. Variação de B-B'	34
Figura 14:	Declividade dos MDE's: ALOS/PALSAR (A), ASTER (B), SRTM (C) e TOPODATA (D).....	36
Figura 15:	Curvas de Nível dos MDE's: ALOS (A), ASTER (B), SRTM (C) e TOPOTADA (D).....	37
Figura 16:	Mapa de declividades com sobreposição das curvas de nível: ALOS (A), ASTER (B), SRTM (C) e TOPOTADA (D).....	38
Figura 17:	Redes de drenagem geradas por extração automática dos MDE's, com valor de acúmulo de fluxo 10, na escala 1:40.000 para os sensores ALOS/PALSAR (A), ASTER (B), SRTM (C) e TOPODATA (D).....	39
Figura 18:	Redes de drenagem geradas por extração automática dos MDE's, com valor de acúmulo de fluxo 150, na escala 1:40.000 – PALSAR, ASTER SRTM e TOPODATA.....	40
Figura 19:	Representação da rede de drenagem vetorizada, comparada às extraídas dos MDE's ASTER e SRTM.....	42

Figura 20:	Correlação das redes vetorizadas (vermelho) com às extraídas (azul) do MD ALOS/PALSAR com diferentes valores de área de contribuição (10, 30, 60, 90, 120 e 150)	43
Figura 21:	Correlação das redes vetorizadas (vermelho) com às extraídas (azul) dos MDE com diferentes valores de área de contribuição (10, 30, 60, 90, 120 e 150) – ASTER.....	44
Figura 22:	Correlação das redes vetorizadas (vermelho) com às extraídas (azul) dos MDE com diferentes valores de área de contribuição (10, 30, 60, 90, 120 e 150) – SRTM.....	44
Figura 23:	Correlação das redes vetorizadas (vermelho) com às extraídas (azul) dos MDE com diferentes valores de área de contribuição (10, 30, 60, 90, 120 e 150) – TOPODATA.....	45
Figura 24:	Performance da Acurácia Global de acordo com a área de contribuição (10 a 150) dos MDEs.....	46
Figura 25:	Performance da Índice Kappa (B) de acordo com a área de contribuição (10 a 150) dos MDEs.....	46
Figura 26:	Representação da combinação “água com água” através da matriz de confusão (1x1). ALOS/PALSAR (A), ATER (B).....	49
Figura 27:	Representação da combinação “água com água” através da matriz de confusão (1x1). SRTM (C), TOPODATA (D).....	50
Figura 28:	Representação da combinação “não água não com água” através da matriz de confusão (1x1). SRTM (C), TOPODATA (D).....	51
Figura 29:	Representação da combinação “não água não com água” através da matriz de confusão (1x1). SRTM (C), TOPODATA (D).....	52
Figura 30:	Representação gráfica dos valores dos erros de comissão – ALOS/PALSAR (A) e ASTER (B).....	53
Figura 31:	Representação gráfica dos valores dos erros de comissão –SRTM (C) e TOPODATA (D).....	54
Figura 32:	Representação gráfica dos valores dos erros de omissão – ALOS/PALSAR (A) e ASTER (B).....	55
Figura 32:	Representação gráfica dos valores dos erros de omissão – SRTM (C) e TOPODATA (D).....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características dos modelos digitais de elevação avaliados.....	22
Tabela 2 - Principais árvores inventariadas, demonstrados em número de indivíduo por hectare (N h ¹), área basal por hectare (G), volume por hectare (V) e porcentagem de cada indivíduo presente na área.....	29
Tabela 3 - Dados estatísticos dos MDEs.....	31
Tabela 4 - Valores de área de contribuição (AC), extensões (Ext.) dos cursos d'água e densidade de drenagem (Dd).....	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Valor do acurácia global e <i>Kappa</i>	48
Quadro 2: Valor tabela Z.....	58

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

AEMF – Área Efetiva de Manejo Florestal

ALOS/PALSAR – Advanced Land Observing Satellite/Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar

APP – Área de Preservação Permanente

ASTER/GDEM – Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer/Global Digital Elevation Model

ASI – *Agenzia Spaziale Italiana*

CAP – Circunferência à altura do Peito

DAP – Diâmetro à Altura do Peito

DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (*German Aerospace Center*)

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ERSDAC – *Earth Remote Sensing Data Analysis*

GNSS - *Global Navigation Satellite System*

GPS – Sistema de Posicionamento Global

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

JAXA – *Japan Aerospace Exploration Agency*

MDE – Modelos Digitais de elevação

NASA – *National Aeronautics and Space Administration*

NIMA – *National Imagery and Mapping Agency*

SR – Sensoriamento Remoto

SAR - *Synthetic Aperture Radar*

SRTM/DEM – *Shuttle Radar Topography Mission/ Digital Elevation Model*

USGS – *United States Geological Survey*

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO.....	16
1	MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
1.1	ÁREA DE ESTUDO.....	19
1.1.1	Clima.....	19
1.1.2	Geomorfologia.....	20
1.1.3	Solos.....	20
1.1.4	Vegetação.....	20
1.2	BASE DE DADOS.....	21
1.2.1	Dados do Inventário Florestal.....	21
1.2.2	Modelos Digitais de Elevação.....	22
1.2.3	Pré-Processamento dos MDE's.....	23
1.2.4	Processamento dos MDE's.....	24
1.3	Análise de Dados.....	27
2	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
2.1	DADOS DE CAMPO.....	29
2.1.1	Características da Vegetação na Área.....	29
2.1.2	Delineamento dos Cursos D'águas.....	30
2.2	COMPARAÇÃO ENTRE OS MDE's.....	31
2.2.1	Perfil Topográfico.....	31
2.2.2	Geração de Curvas de Nível e Classes de Declividade.....	35
2.2.3	Rede de Drenagem.....	38
2.2.4	Acurácia dos MDE's.....	46
	Considerações Finais.....	62
	REFERÊNCIAS.....	63
	ANEXOS.....	66

INTRODUÇÃO

O sensoriamento remoto é uma ferramenta cada vez mais utilizada em diferentes áreas, como por exemplo no planejamento urbano, prevenção de desastres naturais, previsão do tempo, etc. E o uso desta tecnologia vem se tornando cada vez mais comum no mapeamento da vegetação e indispensável ao estudo da geomorfologia a partir de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) (LIESENBERG, 2006).

De acordo com Garofalo e Liesenberg (2015), MDE pode ser definido como a representação matemática do relevo através dos atributos computacionais. Onde x e y são as coordenadas geográficas e z representa o valor de altitude nesta posição. Chagas *et al.* (2010) afirmam que o MDE é um produto importante para o conhecimento do relevo e o mapeamento de redes de drenagem, facilitando a identificação de áreas para conservação do solo, diversidade biológica, modelagem hidrológica e avaliação de riscos de desmoronamento. Atualmente encontram-se disponíveis diversos MDE's que proporcionam a extração destes atributos. Exemplos destes são:

Os produtos da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com resolução espacial de 30 e/ou 90m (VALERIANO, 2002). Esta missão foi realizada no período de 11 a 22 fevereiro de 2000. O objetivo desta missão foi adquirir dados interferiométricos a partir de um radar de abertura sintética (do inglês *Synthetic Apertur Radar*) para elaboração de MDE para todo globo terrestre. Vale ressaltar que esta missão foi projetada e financiada pela *National Aeronautic and Space Administration* (NASA), *Agência Americana de Inteligência Aeroespacial* (NGA), em colaboração com a *National Aeronautics and Mapping Agency* (NIMA), *Angezia Spaciale Italiana* (ASI), *Centro Aeroespacial Alemão* (DLR) (ALVES *apud* TOMAZONI *et al.*, 2013) a bordo do ônibus espacial *Endeavour*. As informações interferométricas foram coletadas nas bandas X (~3cm) e C (~5cm), sendo a última disponibilizada para o público em geral. No entanto, os primeiros MDEs geradas com resolução de 30 metros foram disponibilizadas apenas para o continente Norte Americano. Para a América do Sul, a NASA liberou inicialmente apenas os MDEs com resolução espacial de 90 metros. Somente a partir do ano 2014, a *United States Geological Survey* (USGS) anunciou a liberação de imagens com resolução espacial de 30m (MUNDO GEO, 2014). Estes gerados a partir dos dados da banda C. Não havendo previsão até a presente data da disponibilização dos dados da banda X.

O *Topodata* é um projeto que se constitui em uma refinação do MDE SRTM 90 m. Este refinamento e reprocessamento foi realizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

(EMBRAPA) e o Instituto de Nacional Pesquisas Espaciais (INPE) a partir dos dados de 90m. Após, estes dados foram disponibilizados gratuitamente na *web*¹, com resolução espacial de 30 metros (1 arco de segundo) (COSTA *et al.*, 2007). Este projeto foi lançado em agosto de 2008, o processamento dos dados foi sucessivamente inspecionado e revisado, com vistas a aprimoramentos e correções (INPE, 2018). Muitas aplicações foram desenvolvidas a partir dos dados do projeto Topodata (TALON; KUNTSCIK, 2011)

O *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer/Global Digital Elevation Model* (ASTER/GDEM) é um sensor a bordo da plataforma TERRA (EOS AM-01) (ENGESAT, 2010). O ASTER é um avançado transmissor de imagens multiespectrais que foi lançado a bordo da espaçonave *Terra*, da NASA, em dezembro de 1999. Os produtos ASTER/GDEM são resultado do consórcio entre a NASA, o *Earth Remote Sensing Data Analysis* (ERSDAC) e o *United States Geological Service* (USGS) para a construção de um MDE de livre acesso. Assim, MDE, constituídos a partir de pares estereoscópicos de imagens oriundas do instrumento ASTER foram disponibilizados gratuitamente e sem restrições, a partir de junho de 2009 (RODRIGUES *et al.*, 2010).

Advanced Land Observing Satellite/Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar (ALOS/PALSAR) é um sensor SAR que coleta dados polarimétricos e interferométricos em diferentes modos de aquisição (SILVA, 2010). Este sensor é capaz de fornecer MDEs com resolução espacial de 12,5 m. O PALSAR nada mais é que um sistema SAR que opera na Banda L (~20 cm). Este sensor é capaz de obter dados polarimétricos e interferométricos diurnos ou noturnos e em quaisquer condições atmosféricas e está acoplado no satélite ALOS (EMBRAPA, 2018). Este satélite foi lançado em 24 de janeiro de 2006 pela *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA), no centro espacial de *Tanegashima* (Japão). O início operacional e fornecimento de dados ao público em 24 de outubro de 2006 e deixou de operar em 2011 (SANTOS, 2009).

Contudo, Chagas *et al.* (*apud* OLIVEIRA *et al.*, 2012) alertam que a escolha do MDE eficiente para extração e validação da rede drenagem deve ser precedida de uma análise intensa de informações a partir de um ponto de vista hidrológico, pois o desenvolvimento dos cursos d'água ocorre em resposta ao modo como a água se move através e sobre a paisagem. Portanto, definido o MDE pelo o usuário, é possível ter uma percepção de indivíduos arbóreos que se encontram nas margens dos rios, igarapés, etc. A identificação desses indivíduos, também é possível através de inventário florestal.

¹ <<http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br/download/index.htm>> e <<http://www.dsr.inpe.br/topodata>>

O inventário florestal é uma atividade trabalhosa pois demanda técnicos em campo e é uma atividade onerosa, em geral conduzidas em locais remotos e de difícil acesso. Esta atividade envolve um bom planejamento no que diz respeito a qual método, processo e sistema de amostragem a ser utilizado. O inventário florestal exige uma equipe capacitada para realizar o processo. Nesta atividade são coletadas informações dos indivíduos arbóreos, como por exemplo, nomes vulgares, Circunferência à Altura do Peito (CAP) ou Diâmetro à Altura do Peito (DAP), categoria sucessional, e qualidade do fuste (CARNEIRO, 2015). Também são coletadas coordenadas geográficas com o uso de dados *Global Navigation Satellite System* (GNSS), a exemplo do GPS² dos rios e igarapés e estimadas suas respectivas larguras, facilitando a identificação de árvores em Área de Preservação Permanente (APP) (*Op. Cit.*).

Neste contexto, faz-se necessário o estudo dos atributos geomorfológicos para geração e validação dos cursos d'água a fim de saber-se a utilidade dos MDE's para o monitoramento e manejo de práticas conservacionistas em área de APP de ambientes contendo florestas tropicais (BARROS; CRUZ, 2007). Dessa forma, o presente trabalho de conclusão de curso busca responder à seguinte pergunta: “há diferenças significativas entre a vetorização de uma rede de drenagem elaborada através de coordenadas geográficas presentes em inventário florestal e aquelas extraídas de MDEs”? E tem como objetivo geral avaliar as diferenças entre a vetorização de uma rede de drenagem elaborada através de coordenadas geográficas presentes em um inventário florestal e aquelas extraídas de MDEs.

² Sistema de Posicionamento Global

1 MATERIAIS E MÉTODOS

1.1 ÁREA DE ESTUDO

O imóvel rural “Apapá” está localizado à margem direita do *paraná*³ do *Urariá*, margem direita do lago do Apapá, município de Nova Olinda do Norte/AM (coordenadas geográficas de 03° 45’ 58,03” e de Latitude Sul e 58° 20’ 02,40” de Longitude Oeste de Greenwich) (Figura 1). Está delimitado ao norte com o Lago do Apapá; ao sul com terras de Antônio Francisco da Silva; a leste com terras do Estado do Amazonas e terras ocupadas por terceiros; e a oeste com a margem direita do Lago Apapazinho, Igarapé do Furo e terras de terceiros (ARRUDA, 2008).

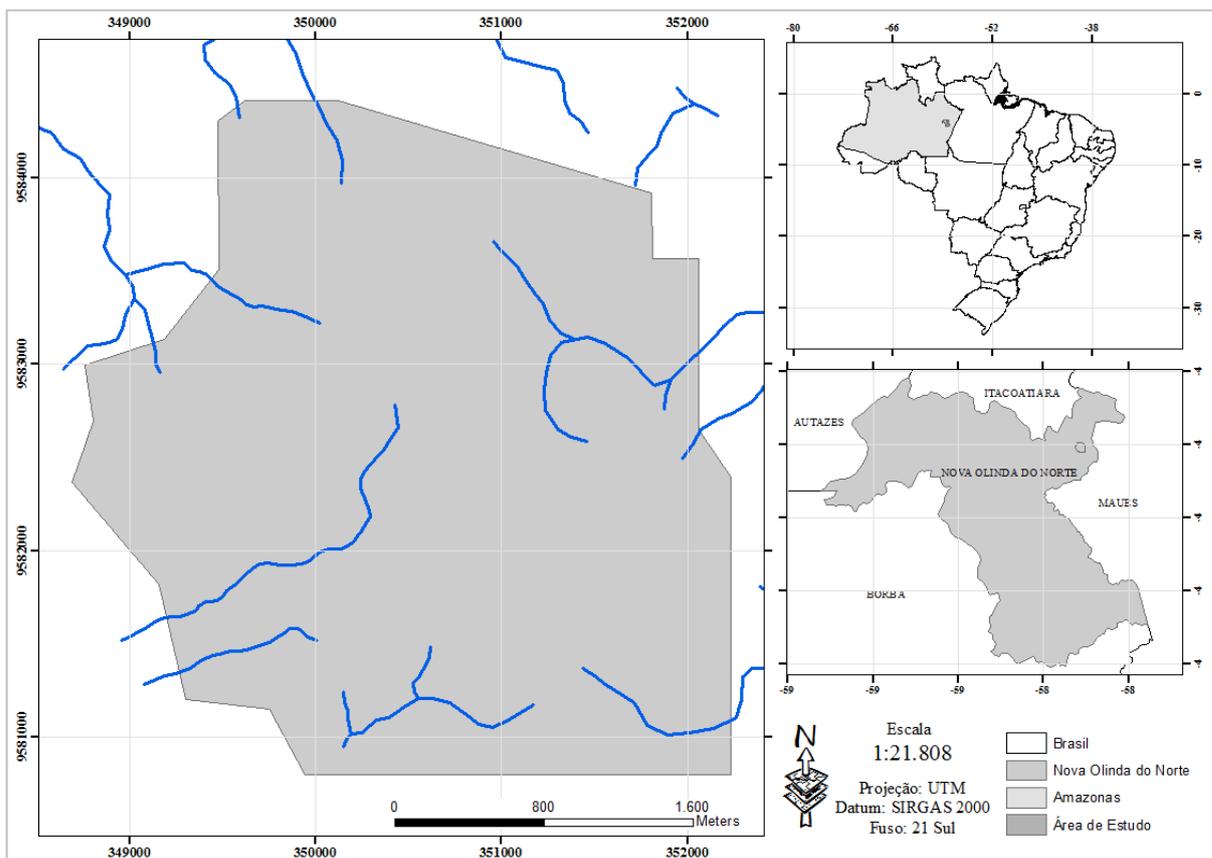


Figura 1 - Localização da área de estudo.

1.1.1 Clima

Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, o tipo climático na região é Af, *equatorial úmido*, com estação seca pouco pronunciada (KOTTEK *et al.*, 2006). A temperatura

³ Braço de rio mais ou menos caudaloso separado do tronco principal por uma série de ilhas (DICIONÁRIO AURÉLIO, 2017). Dicionário Aurélio de Português Online. Disponível em: <<https://dicionariodoaurelio.com/parana>>. Acesso em: 03 nov. 2017.

anual varia entre 25°C a 27° C, com pequena amplitude térmica e umidade relativa do ar sempre superior a 85%. A pluviosidade é elevada, na faixa de 2.400 mm/ano. O período mais chuvoso é de janeiro a março, com precipitação mensal entre 300 e 350 mm, enquanto o período mais seco ocorre de junho a setembro, com médias mensais em torno de 50 mm (INMET, 2017).

1.1.2 Geomorfologia

A área de estudo está situada no Planalto rebaixado da Amazônia (Médio Amazonas), lado sul da Sinéclise do Amazonas, que acompanha a margem direita do rio Amazonas. Esta parte da unidade morfoestrutural foi mapeada a partir do paralelo de 04°00' S e prolonga-se além dos 60°00' W (RADAMBRASIL, 1975).

Os rios Urariá Madeirinha ou Autaz-açu, Madeira, Tapajós e o “furo” Arariá são os principais exemplos de drenagem na unidade morfoestrutural, com direção SW-NE. A direção seguida pelos rios Maués-açu e Mamuru é SW-N. A drenagem tem direcionamento preferencial obedecendo às direções gerais dos alinhamentos estruturais definidos para a Amazônia SE-NW e SW-NE (*Op. Cit.*).

1.1.3 Solos

Na área de estudo está presente a unidade estratigráfica Cretáceo-Terciário, representado pela Formação Barreiras. Esta formação é constituída por sedimentos areníticos amarelados e brancos, siltitos e argilitos caliníticos. Esses sedimentos formam os latossolos e argissolos da região, com granulometria variando de “argilosa” a “muito argilosa” e relevo desde “plano de platô” a “forte ondulado” (RADAMBRASIL, 1975).

Para Maia e Marmos (2010), em publicação acerca da geodiversidade do Estado do Amazonas, o tipo de solo da área de estudo é o Latossolo Amarelo; no entanto, também há ocorrência de Neossolo Quartzarênico e Espodossolo Cárbico Hidromórfico (FALESI, *et al.*, 1969).

1.1.4 Vegetação

A área de estudo pertence à região fitoecológica Floresta Ombrófila Densa (Floresta Tropical Pluvial) (IBGE, 1990). O tipo de floresta na área de estudo é Floresta Tropical Densa, tendo como principal característica a maior incidência de árvores emergentes, onde os estratos arbustivos são mais fechados, com ou sem lianas (ARRUDA, 2008).

1.2 BASE DE DADOS

1.2.1 Dados do Inventário Florestal

Os dados do inventário florestal constante no “Projeto de Manejo Florestal Sustentável Maior Impacto de Colheita Apapá”⁴, estão disponíveis em planilha *Excel* e foram “importados” para o *software ArcGis Desktop* 10.3. O *ArcGis* é um software comercial, composto por:

a) *ArcCatalog*, disponibiliza ferramentas para exploração, armazenamento, pesquisa e gerenciamento de dados, criação e preenchimento de metadados;

b) *ArcToolBox*, agiliza a busca das ferramentas de geoprocessamento (*geoprocessing*) e rotinas (*scripts*), fornecendo em um único ambiente a busca e a execução de comandos;

c) *ArcScene* que é uma aplicação que permite visualizar dados geográficos em três dimensões. Em seu ambiente gráfico é possível executar a sobreposição de várias camadas de dados para exibição;

d) *ArcMap*, comumente chamado de *ArcGis*, permite a sobreposição de planos de informação vetoriais e matriciais, além de objetos gráficos, fontes (letras) e figuras, com a finalidade de mapeamento temático. Também permite pesquisas e análises espaciais, criação e edição de dados, padronização e impressão de mapas.

A partir do *ArcMap*, as informações do inventário florestal foram transformadas em feições (*shapefile*) do tipo ponto, essa transformação é possível através das coordenadas geográficas presentes na tabela de atributos do *ArcMap*.

Na tabela de atributos constam colunas contendo informações, além das coordenadas geográficas, nome popular da espécie (formato texto), categoria⁵ (formato texto), quadra (integer⁶), pique (integer), qualidade do fuste (integer), altura comercial (float⁷), área basal (float) e topografia (formato de texto).

Através da tabela de atributos, somente as árvores da categoria “Em APP” foram selecionadas e consideradas para o delineamento dos cursos d’água. Para esse delineamento, foi criado uma feição (*shapefile*) do tipo linha para a representação da rede de drenagem (vetorização da rede de drenagem da área de estudo).

⁴ Plano de Manejo Florestal Sustentável submetido ao Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM), Processo nº 0522/T/08, Parecer/IPAAM/DJ/915/2008. Responsável técnico da elaboração e execução: engenheiro florestal Antônio Mario Ribeiro de Arruda, CREA/AM-RR 5614/1998, Anotação de Responsabilidade Técnica nº 0001007/2012.

⁵ Categorias: a) Em APP; b) Raras; c) Protegidas; d) Em Abate; e) Remanescentes; f) Estoque; g) Matriz.

⁶ Número inteiro.

⁷ Número flutuador.

Após a criação das feições (linhas), foram gerados buffers⁸ de 30 metros (Para buffer de 30 m, considera-se os cursos d'água com 10 metros de largura) para a representação das Área de Preservação Permanente, feição do tipo polígono. Posteriormente, essas feições foram transformadas em raster⁹, com resolução espacial de 10 metros.

Foi realizada uma pequena análise florística afim conhecer os indivíduos com maior predominância na área, no qual foram verificadas as dez espécies mais abundantes, a análise foi feita a partir do número de indivíduos por hectare, área basal por hectare, volume (m³/ha) e seus respectivos percentuais.

1.2.2 Modelos Digitais de Elevação

Foi feito o download dos MDEs a partir do servidor de dados TOPODATA do INPE disponíveis para todo o território nacional [<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>]. Os dados de elevação do TOPODATA se referem à missão SRTM executado pelo USGS. Adicionalmente, também foram considerados os dados do ASTER/GDEM disponíveis no site <<http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp>>, SRTM/DEM do USGS por meio da plataforma Glovis <<http://glovis.usgs.gov>>, ALOS/PALSAR, da JAXA por meio da plataforma AUIG-2 <<https://auig2.jaxa.jp/ips/home>>. A Tabela 1 apresenta algumas características dos modelos avaliados.

Tabela 1

Características dos modelos digitais de elevação avaliados

MDE	Resolução Espacial (m)	Método de Extração da Altimetria	Tipo de Sensor	Fonte
ALOS/PALSAR	12,5	Interferometria SAR	Ativo	JAXA
ASTER/GDEM	30	Estereoscopia	Passivo	NASA
SRTM/DEM	30	Interferometria SAR	Ativo	NASA
TOPODATA	30	Interferometria SAR	Ativo	INPE

⁸ Camada de informação vetorial do tipo polígono, gerados como áreas de influência em torno das geometrias dos elementos vetoriais de um layer de entrada. Fonte: <<http://www.andersonmedeiros.com/gvsig-gerar-buffer/>>.

⁹ Imagens que contêm a descrição de cada pixel, em oposição aos gráficos vetoriais.

1.2.3 Pré-Processamento dos MDE's

O primeiro passo para o processamento dos MDE's foi sua importação para o *software* ArcMap. Ressalta-se que o sistema de projeção de origem dos MDE's é o *Datum* WGS 84, com isso o sistema de projeção utilizado para a elaboração do projeto foi o Universal Transversa de Mercator – UTM, *Datum* SIRGAS 2000 Zona 21 Sul. Feito isso, foram realizadas as seguintes correções nos MDE's:

- a) remoção dos valores negativos através da ferramenta “*con*”;
- b) correção dos pixels sem valores de elevações, utilizando-se a ferramenta “*Reclassy*” que atribui valor zero de altitude para regiões sem dados; e
- c) retirada de possíveis depressões e saliências que causam refluxos nas calhas gerando uma nova imagem *raster*, com o uso da ferramenta “*fill Direction*”.

As depressões e saliências MDE's advindas dos dados, ALOS/PALSAR, ASTER/GDEM, SRTM/DEM e TOPODATA, caracterizam-se por áreas com valores de cotas superiores e/ou inferiores. O preenchimento e/ou remoções dessas pequenas imperfeições é um dos tratamentos dado à matriz de altitudes (Figura 2). Essas depressões, por muitas vezes torna-se empecilhos ao escoamento durante a aplicação dos valores de área de contribuição. Feitas as correções foi gerada uma nova imagem raster dos respectivos MDE's desprovidas de imperfeições e com melhor consistência, conforme exposto na Figura 3 para os MDEs supracitados.

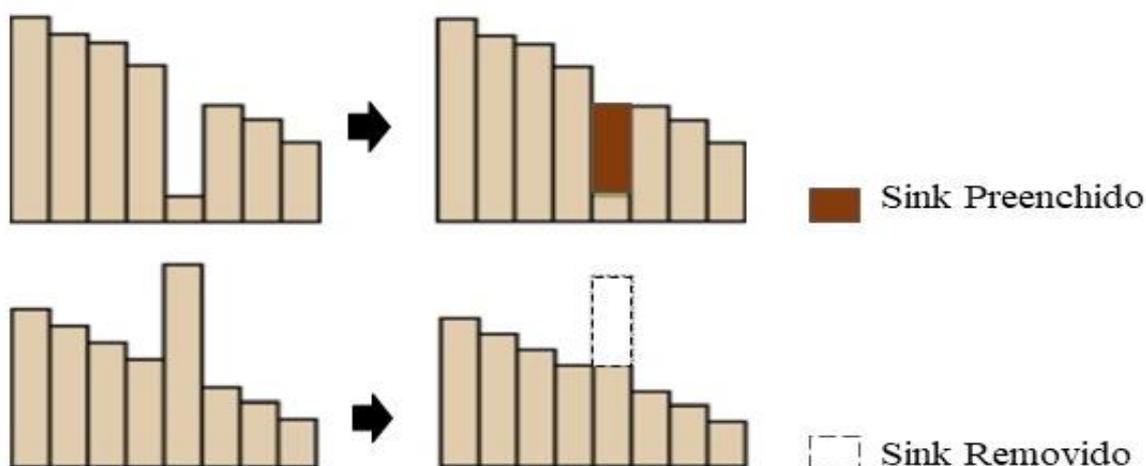


Figura 2 - Preenchimento dessas pequenas depressões e saliências nos MDE's.
Fonte: Adaptado de ESRI (2008).

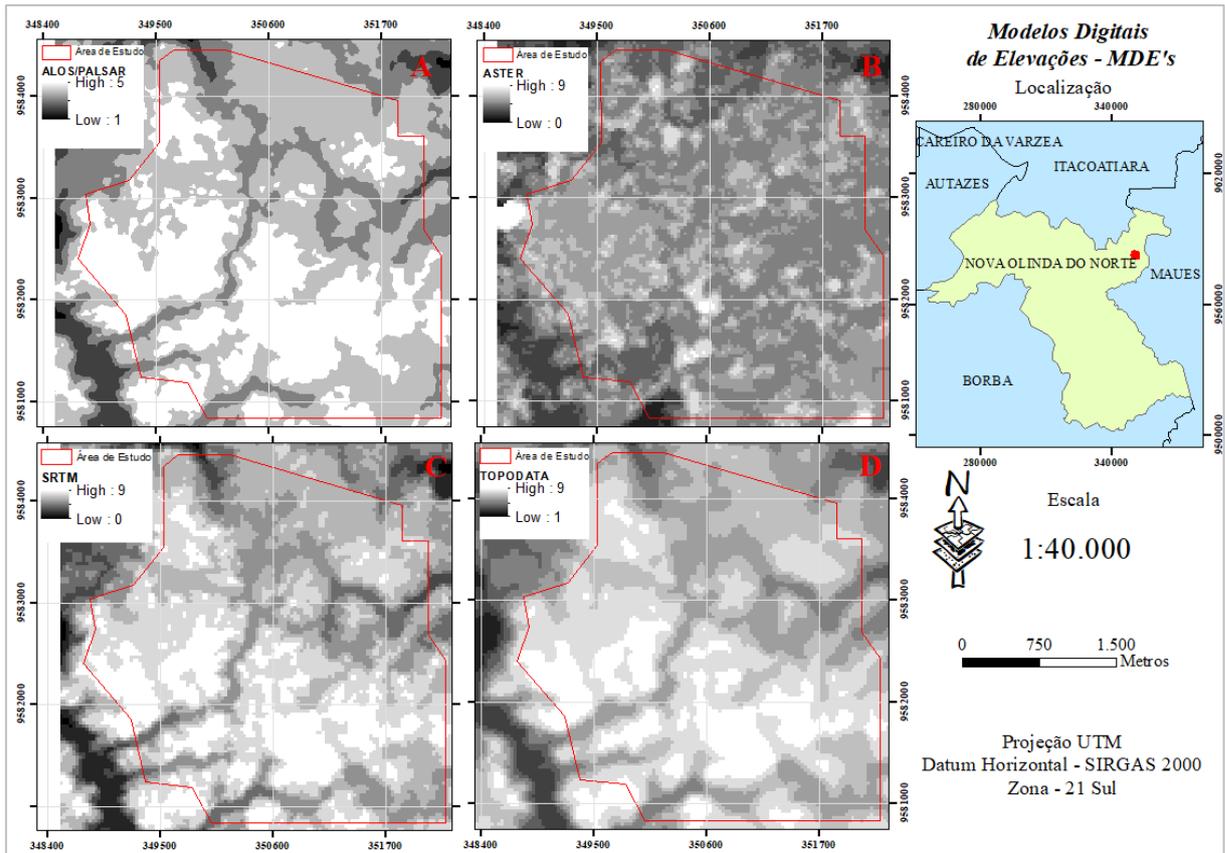


Figura 3 - MDE's obtido após o tratamento de dados para ALOS/PALSAR (A), ASTER (B), SRTM (C) e TOPODATA (D).

1.2.4 Processamento dos MDE'S

Em muitas situações o aspecto do relevo ocorre de acordo com a movimentação da água, através e sobre a paisagem (CHAGAS *et al.*, 2010). Os atributos do terreno podem caracterizar os caminhos do fluxo e as interações com os atributos do solo.

Após as necessárias correções nos MDE's, foi calculada a direção de fluxo, através da ferramenta "*flow direction*", com auxílio do algoritmo D8. Nesta ferramenta, a corrente de fluxo é definida através do modelo de pontos de vertentes nas 8 direções possíveis, conectando o segmento de montante ao de jusante do fluxo gerando uma nova imagem raster.

O novo *raster* gerado determina a direção de maior declividade de um "pixel" em relação a seus oito "pixels" vizinhos. Em resposta a isso, é definida a direção que a água irá percorrer após atingir cada "pixel", como ilustrado na Figura 4. A aplicação desta ferramenta nos modelos corrigidos nos fornecem o mapa de direção de fluxo (Figura 5), que possibilita verificar as direções possíveis de escoamento da água.

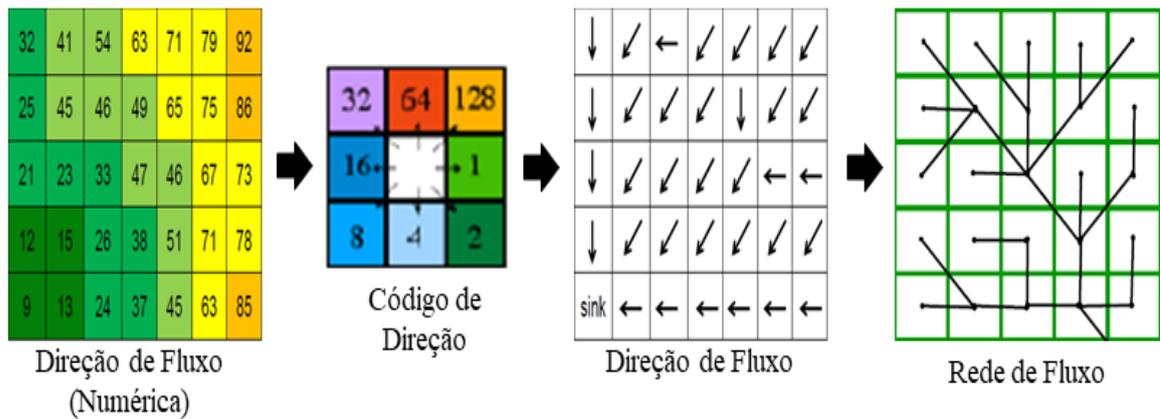


Figura 4 - Exemplo de execução da função “*flow direction*”.
Fonte: Adaptado de ESRI, (2008).

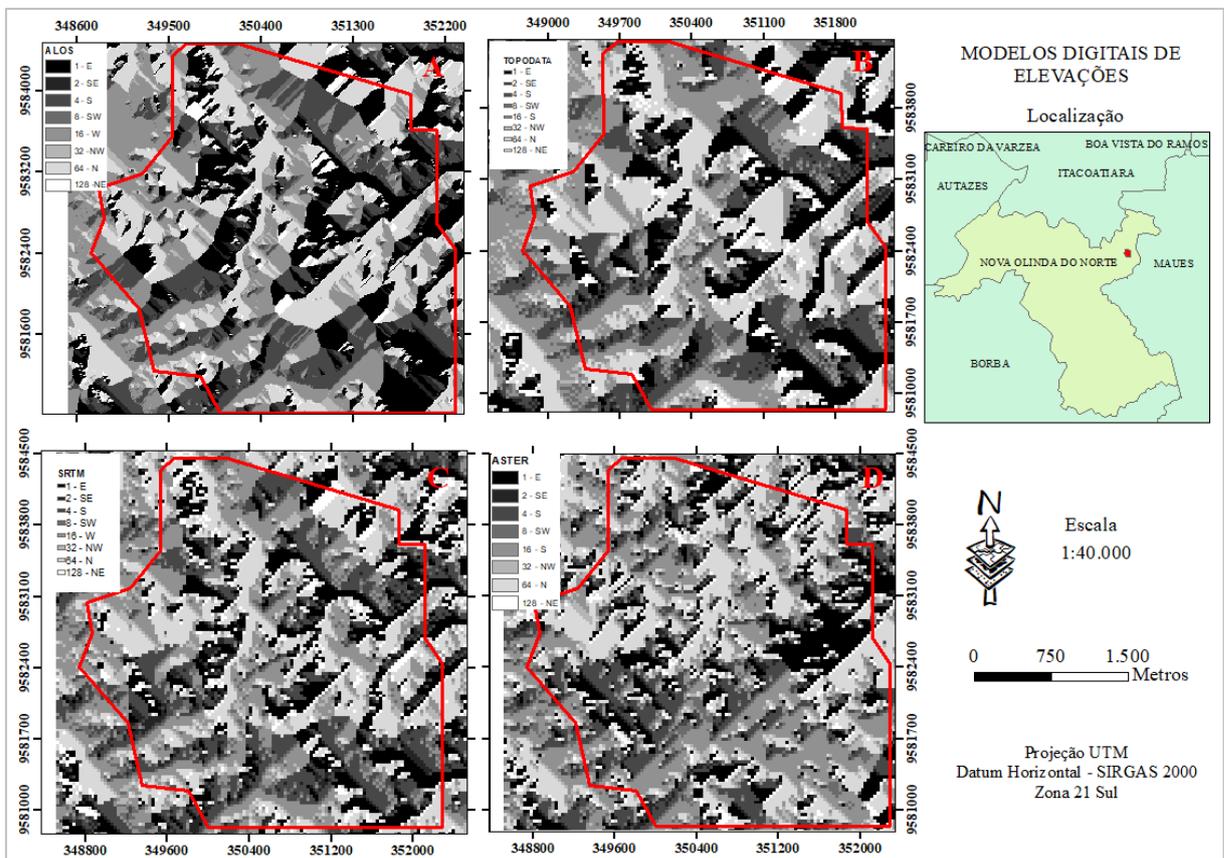


Figura 5 - Mapa de direção de fluxo para os dados ALOS/PALSAR (A) TOPODATA (B), SRTM (C) e ASTER (D).

Para o fluxo acumulado, a ferramenta utilizada foi o “*flow accumulation*”, que armazena em valores a quantidade de células que drenam para cada *pixel* da cena. As células que contêm valores altos representam áreas à jusante, e o valor zero, a borda da bacia hidrográfica. Após chegar aos *pixels* com valores zero, determinando as bordas das bacias hidrográficas, esta ferramenta refaz o caminho inverso, revisando todo o percurso e gerando uma imagem *raster*

circunvizinha. A Figura 6 ilustra a forma que as redes de drenagem são formadas com o uso do “*flow accumulation*”.

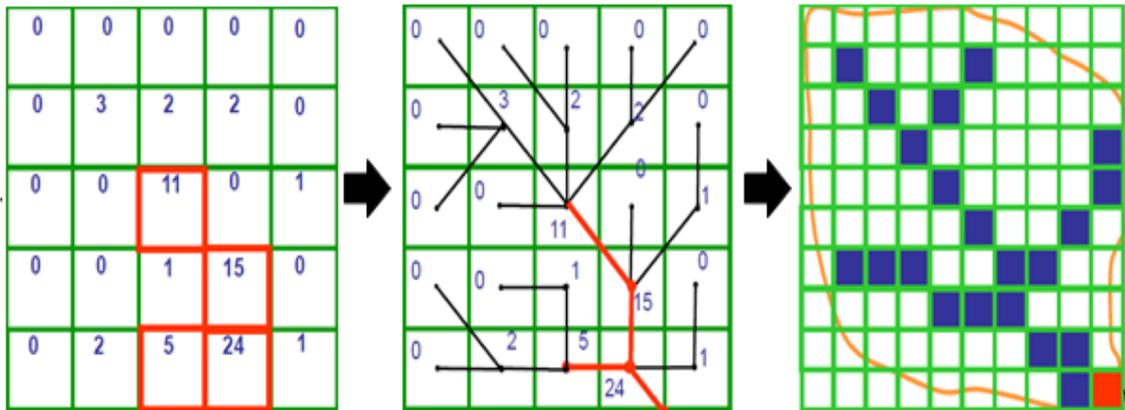


Figura 6 - Exemplo de determinação do fluxo acumulado.
Fonte: Adaptado ESRI (2008).

Portanto, a partir do acúmulo de fluxo é possível gerar uma nova grade com valores de pixel, ou seja, cada pixel recebe um valor correspondente ao número de pixel para que a água siga até ele. A partir da direção de fluxo, o fluxo acumulado é obtido somando-se a área das células (quantidade de células) na direção do fluxo (escoamento) (Figura 7).

Para obtenção dos cursos d’água (rede de drenagem), foram avaliados diferentes valores de escoamento acumulado (*área de contribuição*)¹⁰ necessários para gerar a rede de drenagem numérica com aproximadamente o mesmo nível de detalhe da rede de drenagem obtida pela vetorização (campo). A comparação foi por meio de análise visual e estatística. Ressalta-se que, esse procedimento foi obtido através da função “*raster calculator*”, presente no módulo “*map algebra*”. Os valores estabelecidos de escoamento acumulado (*área de contribuição*) foram de 10 a 150.

¹⁰Conjunto de células que escoam para uma determinada célula de destino (RAMOS *et al.*, 2003).

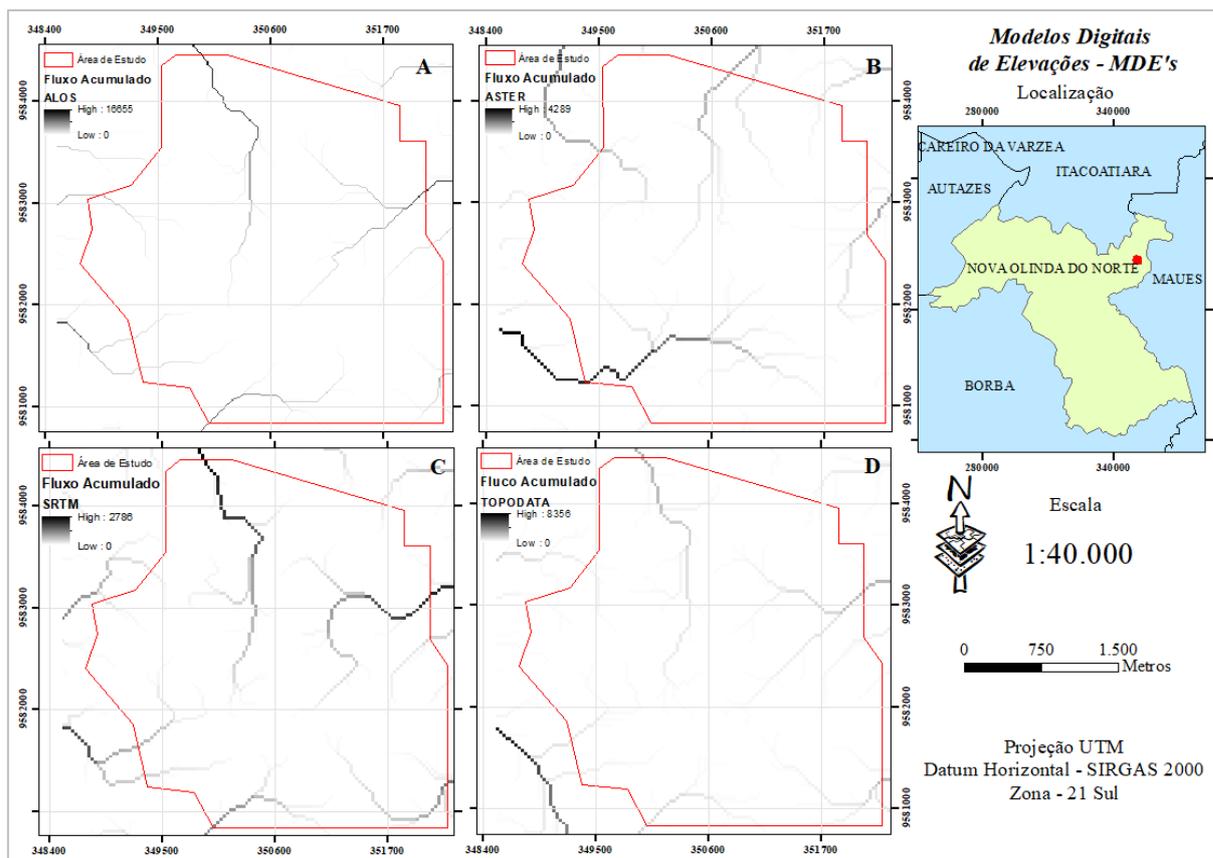


Figura 7 - Mapa de fluxo acumulado para os sensores ALOS/PALSAR (A), ASTER (B), SRTM (C) e TOPODATA (D).

Foram extraídos, além das redes de drenagem em valores de área de contribuição estabelecidos, curvas de nível, perfil topográfico, declividade, vale ressaltar que a declividade seguiu a classificação da EMBRAPA (1976), calculado as respectivas extensões dos cursos d'água e densidade de drenagem (Dd). Para o cálculo da Dd foi empregado a seguinte equação: $Dd = L/A$, onde, Dd é a densidade de drenagem; L, a soma dos comprimentos dos canais e A, a área, aqui apresentado, a área de estudo. Maiores detalhes sobre a metodologia a ser empregada para a extração de atributos geomorfológicos podem ser encontrados em Bispo et al. (2016). A partir dos procedimentos descritos acima, foram gerados mapas dos atributos: declividade e curvas de nível, esses mapas serviram para comparar os MDEs entre si.

1.3 Análise de Dados

A partir dos procedimentos descritos acima, foram correlacionadas as redes de drenagem vetorizadas às redes de drenagem extraídas dos MDE's. Esta correlação foi feita para cada valor de área de contribuição – valor 10, valor 20, valor n , valor 150. Em seguida, foi aplicado o teste z para se verificar a veracidade dos valores testados, comparando-os aos dados de campo (rede vetorizada).

As informações de “veracidade de campo” também foram analisadas dentro dos índices *Kappa* e de acurácia global (Exatidão Global). O índice *Kappa* é uma medida de concordância interobservador e mede o grau de concordância além do que seria esperado tão somente pelo acaso. Esta medida de concordância tem como valor máximo 1, que representa total concordância. Um valor de *Kappa* menor que zero (negativo) sugere que a concordância encontrada foi menor do que aquela esperada por acaso.

O valor de acurácia global, conforme Story e Congalton *apud* Bolfe *et al.* (2004) é a maneira mais comum para expressar a precisão, tanto de imagens quanto de mapas. Este valor está na declaração da porcentagem da área de mapa que foi corretamente classificada quando comparada com dados de referência ou “verdade de campo”, denominada Exatidão Global. Esta declaração normalmente é derivada de uma contraparte da classificação correta gerada por amostragem dos dados classificados, e expressa na forma de matriz de erro, algumas vezes denominada de matriz de confusão ou tabela de contingência. A Figura 8, mostra o fluxograma dos procedimentos descritos acima.

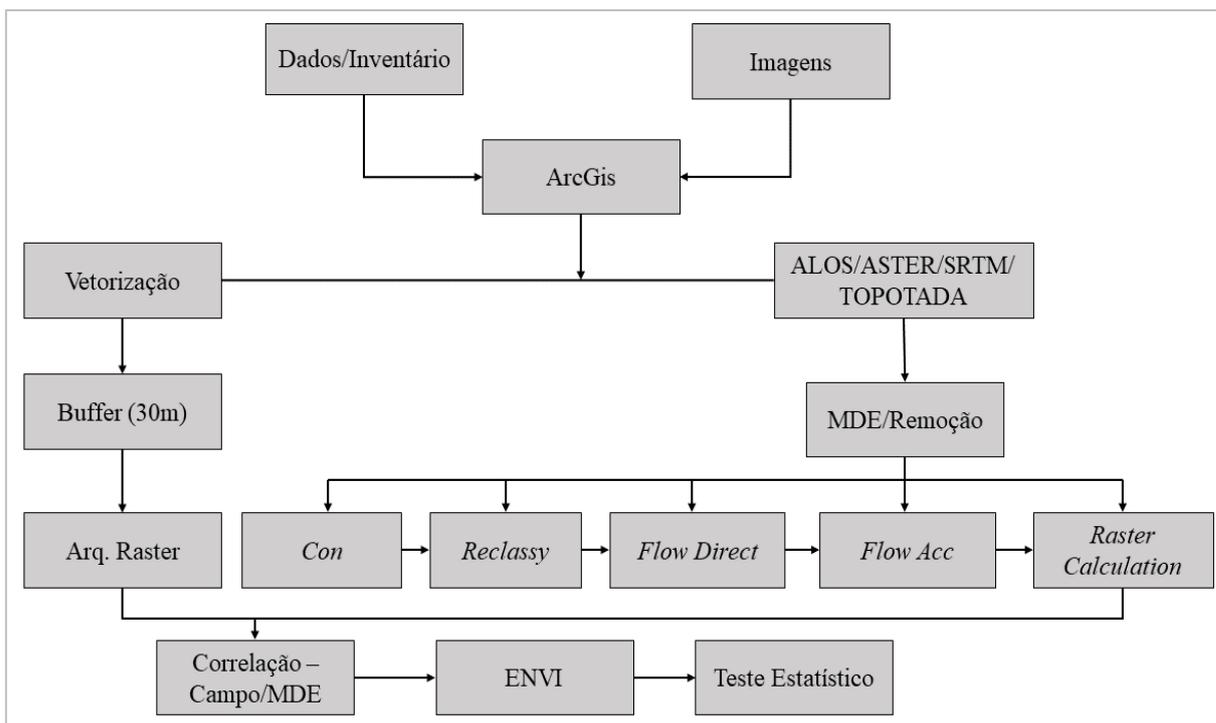


Figura 8 - Fluxograma das atividades.

2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.1 DADOS DE CAMPO

2.1.1 Características da Vegetação na Área

A área total do imóvel corresponde a 990,9 hectares, sendo 912,75 hectares (valor considerado para calcular o número de indivíduo por hectare) de Área Efetiva de Manejo Florestal (AEMF). No inventário florestal, foram encontrados 15084 indivíduos arbóreos de 96 espécies. Deste total, 712 indivíduos estavam presentes em áreas de preservação permanente.

De todas as árvores presente na área de estudo, as dez mais abundantes, quanto ao número de indivíduo por hectare estão descritos na Tabela 2. É perceptível que a espécie a apresentar o maior número de indivíduo por hectare foi a *Tachigali paniculata* (1,421 N ha⁻¹), seguida por *Goupia glabra* (1,336 N ha⁻¹) e *Iryanthera paraensis* (1,238 N ha⁻¹). Porém, comparado ao volume por hectare, estas espécies apresentaram volume menor que a *Bertholletia excelsa*, 11,040 m³.ha. Ressalta-se que as dez espécies com maior representatividade na área, representaram 51,15% do total de espécies inventariadas, enquanto que 48,85% ficaram distribuídas nas demais espécies.

Tabela 2

Principais árvores inventariadas, demonstrados em número de indivíduo por hectare (N h¹), área basal por hectare (G), volume por hectare (V) e percentagem de cada indivíduo presente na área.

Nome Comum	Nome Científico	N ha ⁻¹	G(ha ⁻¹)	V (m ³ . há ⁻¹)	%
Taxi	<i>Tachigali paniculata</i>	1,421	0,430	4,199	8,599
Cupiuba	<i>Goupia glabra</i>	1,336	0,473	4,437	8,081
Arura vermelho	<i>Iryanthera paraensis</i>	1,238	0,407	4,677	7,491
Ripeiro	<i>Lecythis idatimon</i>	0,961	0,246	2,516	5,814
Castanha do brasil	<i>Bertholletia excelsa</i>	0,773	0,888	11,040	4,680
Mata-mata	<i>Eschweilera pedicellata</i>	0,677	0,134	1,120	4,097
Fava bolacha	<i>Vatairea fusca</i>	0,543	0,182	1,801	3,288
Louro preto	<i>Ocotea neesiana</i>	0,515	0,148	1,434	3,116
Faveira de folha fina	<i>Piptadenia suaveolens</i>	0,497	0,181	1,829	3,010
Arura branco	<i>Osteophloeum platyspermum</i>	0,491	0,164	1,890	2,970
Total	-	8,452	3,254	34,943	51,147
Outros	-	8,073	2,787	29,200	48,853
Total Geral	-	16,526	6,042	64,143	100

2.2.2 Delineamento dos Cursos D'água

Para o delineamento procedeu-se com a metodologia de separação por categoria, onde apenas as árvores em APP foram consideradas para este procedimento. A figura 9, mostra esses indivíduos distribuídos na área de Manejo Florestal, destaque para as em APP (ícone vermelho).

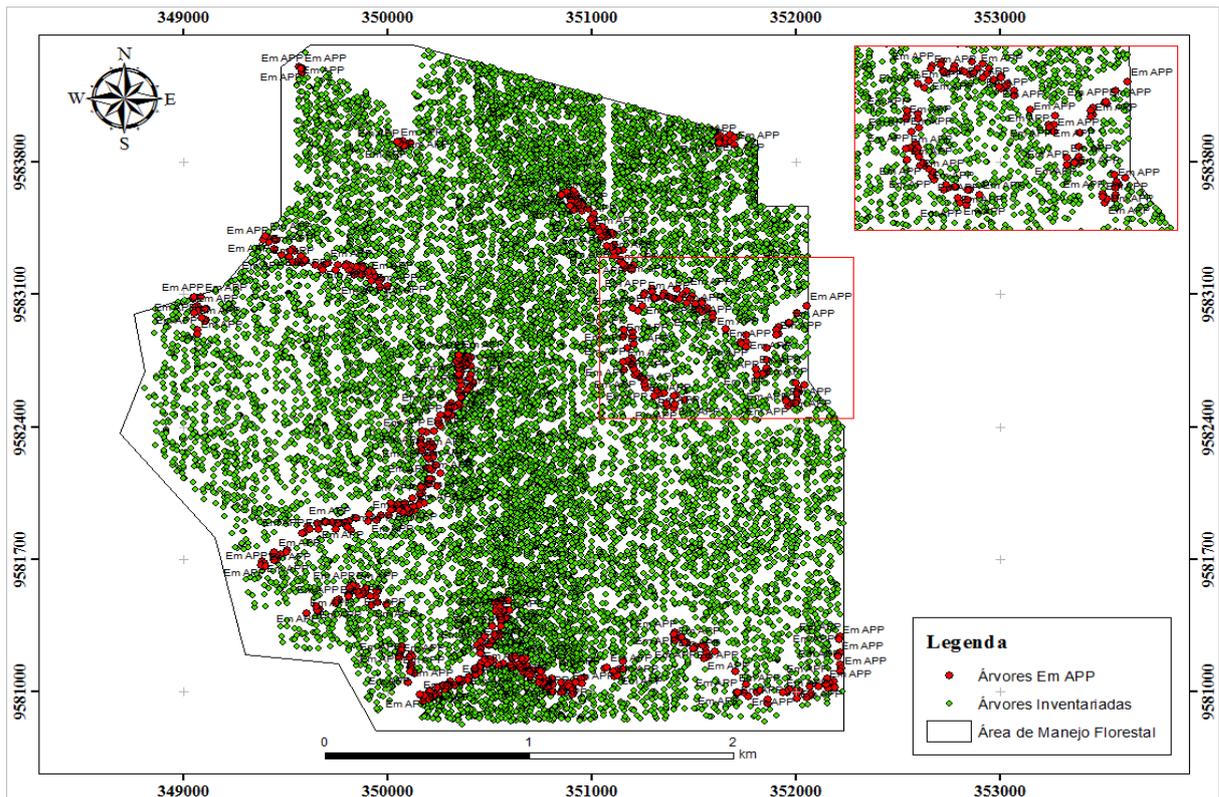


Figura 9 - Árvores plotadas na área de Manejo Florestal, em destaque as em APP.

Na área de estudo não foram encontrados cursos d'água com largura superior a 10 metros. Portanto, considerou-se as APP's com 30m para ambos os lados dos cursos d'água. Feito o delineamento (Figura 10), procedeu-se com a geração de buffers, com a respectiva área de abrangência, que posteriormente foram transformados em arquivo raster, com resolução espacial de 10 x 10 metros (Figura 10). A conversão dos arquivos shapefile para raster é necessária para permitir correlacionar a rede de drenagem obtida em campo com a obtida pelos MDE's. Os arquivos devem estar no formato matricial (raster) para, posteriormente, ser testada a veracidade dos dados através de uma matriz de confusão¹¹.

¹¹ Forma de representação da qualidade obtida de uma classificação digital de imagem, sendo expressa por meio da correlação de informações dos dados de referência (compreendido como verdadeiro) com os dados classificados (PRINA; TRENTIN, 2015).

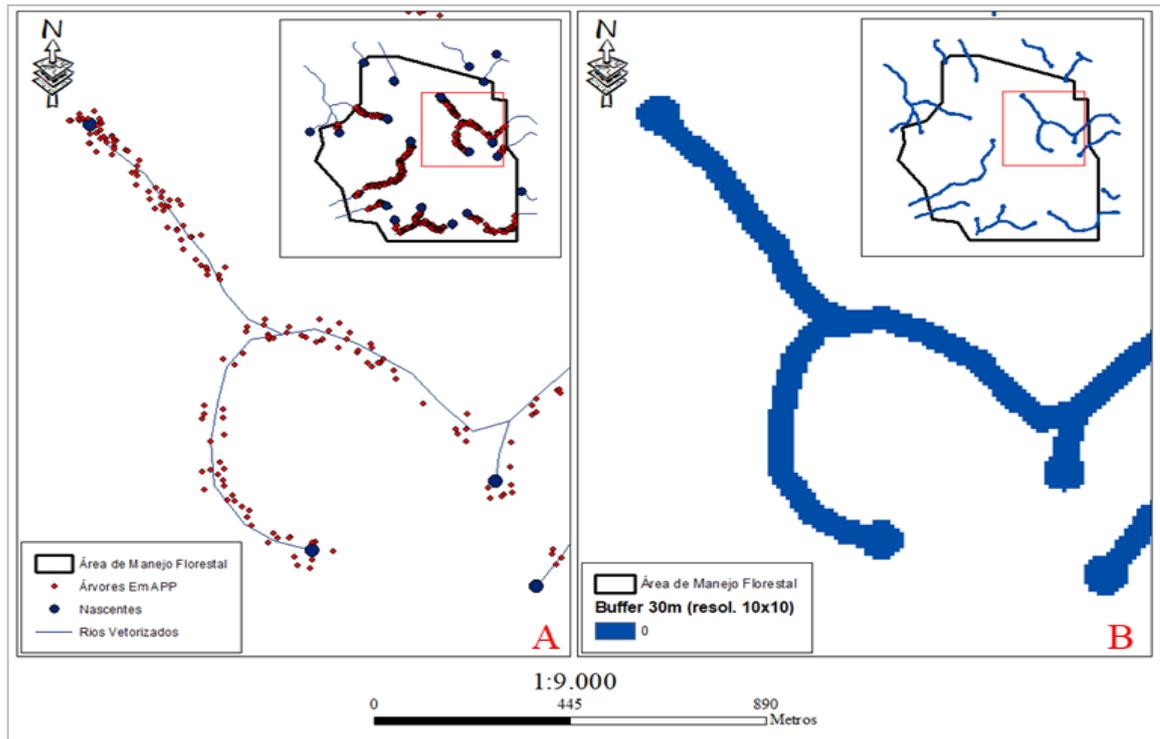


Figura 10 - Resultado delineamento da rede de drenagem a partir das árvores em APP (A) e conversão da área de abrangência (buffer), vetor para raster, resolução do pixel 10x10 metros (B). O quadro maior é uma aplicação do quadrado em vermelho da área de estudo indicada pelo quadrado menor.

2.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS MDE's

2.3.1 Perfil Topográfico

Os aspectos topográficos são importantes quando se deseja estudar uma determinada área, pois através da elevação do terreno é possível definir, por exemplo, se é viável ou não explorar os recursos florestais (ex. madeira), no que se refere a construção de estradas florestais, entre outros aspectos que devem ser levados em considerações na hora do planejamento. Na Tabela 3, são apresentados alguns parâmetros estatísticos quanto aos perfis topográficos dos MDEs.

Tabela 3
Dados estatísticos dos MDEs

Elevação (m)	MDE - 30m			
	ALOS	ASTER	SRTM	TOPODATA
Máxima	39,05	109,35	51,08	50,49
Mínima	20,63	39,75	33,26	36,29
Média	31,05	61,70	43,04	43,23
Desvio Padrão	4,25	12,72	4,20	3,87

Como mostra a Tabela 3, dos quatro MDEs, o ALOS, foi o que apresentou os menores valores de elevações, tendo mínima de 20,63m e máxima de 39,05m, média de 31,05m e desvio padrão de 4,25m. Ressalta-se que, para a elaboração do perfil topográfico, o ALOS, passou por uma reamostragem, ou seja, de 12,5m para 30m.

Essa diferença de elevação em relação aos demais é resultado do retroespalhamento do alvo. Este retroespalhamento está diretamente interligado com seu comprimento de onda, ou seja, quanto maior for o comprimento de onda, maior será a penetração dos sinais nos objetos. Vale lembrar que, o ALOS/PALSAR opera na banda L ($\lambda \sim 22$ cm), resultando na penetração dos sinais no dossel das árvores, podendo acontecer a participação dos troncos e do solo (PONZONI, *et al.*, 2012). Este fenômeno é expresso nas Figuras 16 e 17, onde são apresentados os perfis topográficos dos MDEs.

Diferente do ALOS, o ASTER opera na banda C ($\lambda \sim 7$ cm), seus valores de elevação variaram de 39,75m mínima e máxima de 109,35m, média de 61,70m e desvio padrão de 12,72m. Essa grande variação é resultado do retroespalhamento, principalmente das partes superiores do dossel, das folhas e de pequenos galhos (Figura 12). Essa pequena interação é dada pois, o ASTER é um sensor óptico, portanto, a interação de dados ópticos é microscópica, resultando na pouca penetração dos sinais no dossel.

O SRTM, assim como o ASTER, também opera na banda C, no entanto, a maior penetração da energia no dossel permite que mais fontes de retroespalhamento apreçam, e já se observa uma quantidade de espalhamento volumétrico resultando em um perfil um pouco mais suave, comparado ao anterior (Figura 12). Seus valores de elevação variaram entre 33,26m e 51,08m, com oscilações próximas aos valores do TOPODATA, 36,29m e 50,49m. Justifica-se que, por ser um subproduto do SRTM, o TOPODATA apresente valores próximos.

Diferente do ASTER, a técnica de análise de dados do SRTM é a interferiometria SAR, essa técnica, é registrada a partir de duas posições do sensor SAR¹². Como a posição da antena/sensor em relação à Terra é conhecida, a diferença de fase entre os dois registros permite estimar a distância entre sensor e objeto, assim como sua posição e elevação (PONZONI, *et al.*, 2012).

Melgaço *et al.*, (2005), encontrou valores de altitude máxima para o ASTER de 968 m e mínima de 405 m, quanto ao SRTM seus valores oscilaram de 936 m e 479 m em estudos conduzido em Uberaba, MG. Os autores encontraram discrepância máxima de -92 m e mínima de 52 m, entre os dois modelos.

¹² Radar de Abertura Sintética.

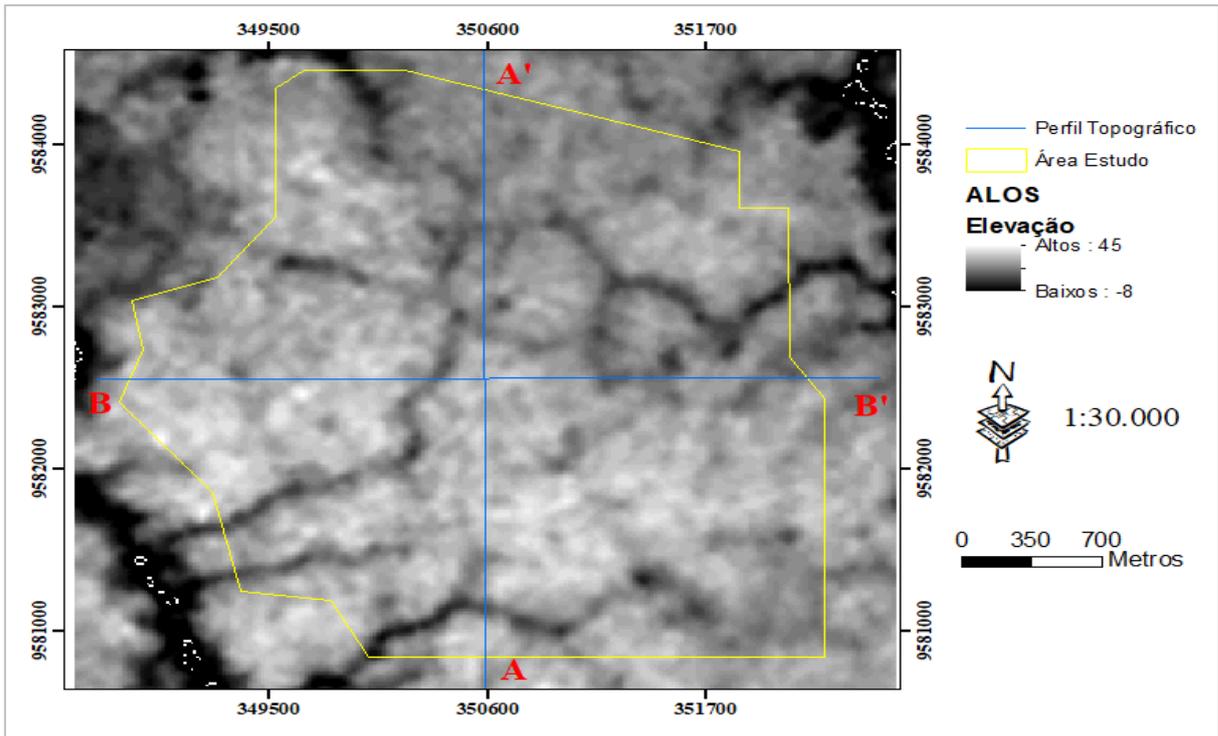


Figura 11 – Representação dos transectos nos MDE's.

Chagas *et al.*, (2010), observaram a grande variação de elevação entre o MDE ASTER e o MDE CARTA. Os autores destacam ainda as maiores discordâncias entre o SRTM e CARTA nas seções longitudinais em áreas mais planas e baixas, porém as maiores diferenças encontradas foram em áreas com maiores declividades.

As Figuras 12 e 13, apresentam os perfis topográficos dos MDE, nos quais mostram as diferentes oscilações em termos de elevação. As oscilações apresentadas pelos modelos mostram, respectivamente, a captura dos sinais, ou seja, o reproespalhamento de cada modelo, destaque para o ALOS/PALSAR, pois suas oscilações não ultrapassaram os 40m, mostrando-se bastante relevantes para estudos de relevo.

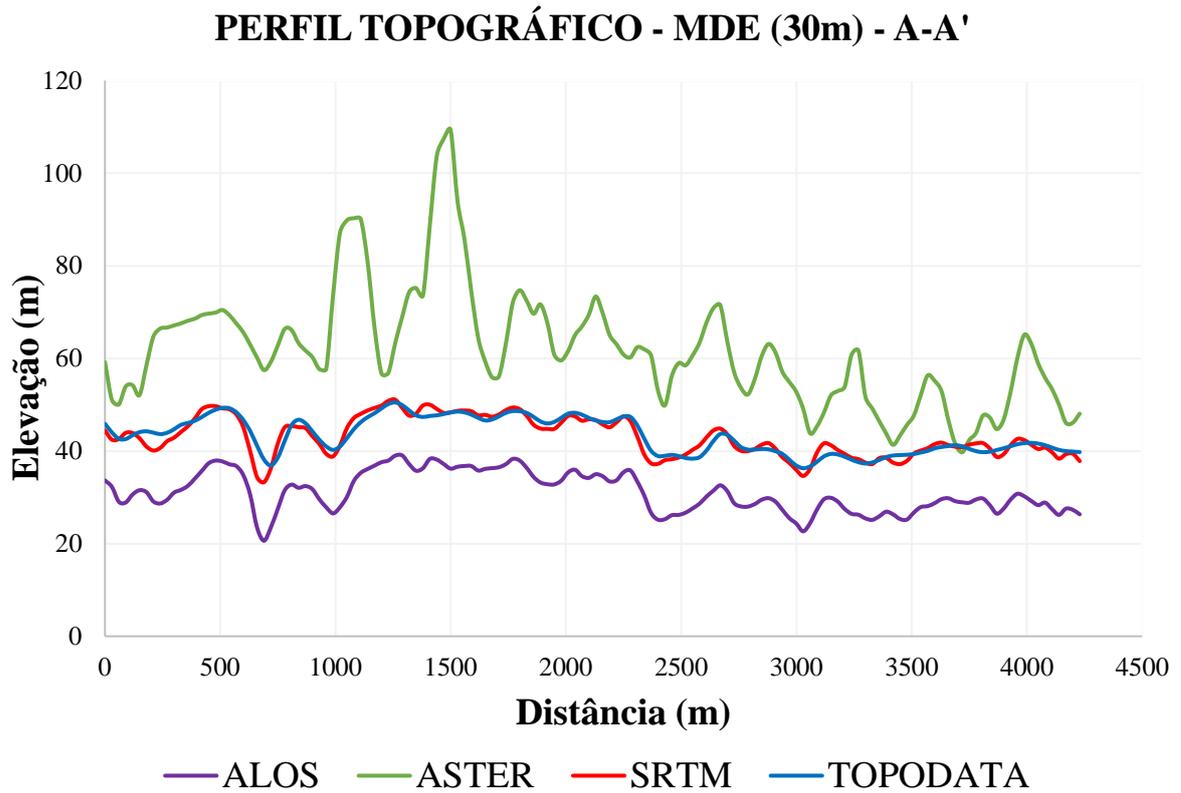


Figura 12 – Perfil topográfico dos MDE's com resolução espacial 30 m. Variação de A-A'.

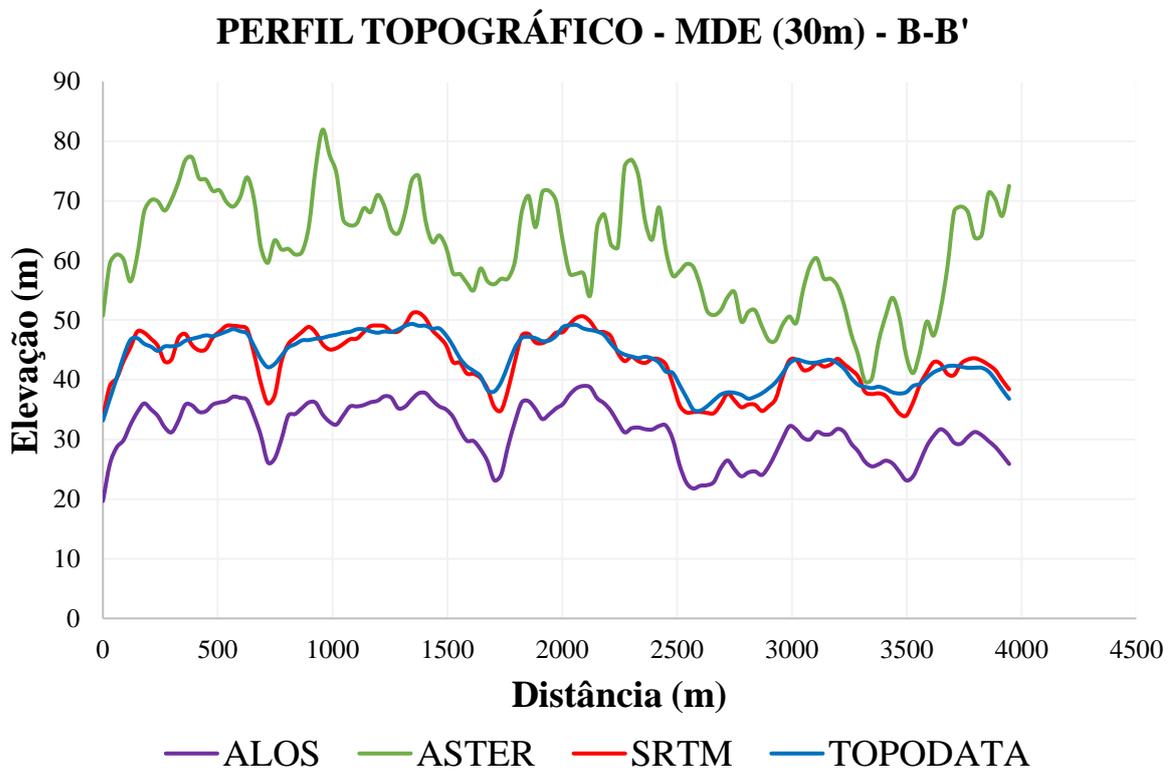


Figura 13 – Perfil topográfico dos MDE's com resolução espacial 30m. Variação de B-B'.

2.3.2 Geração de Curvas de Nível e Classes de Declividade

A declividade da área de estudo não apresentou inclinações elevadas, como mostra a Figura 14. Observou-se o predomínio de áreas planas e suavemente onduladas, sendo possível constatar a existência de inúmeros fragmentos de áreas com ondulações fortes no MDE ASTER (Figura 14 B). Esta diferença de altimetria é associada ao mecanismo de interação entre a radiação eletromagnética e o alvo considerado, no presente caso, a vegetação.

Fazendo uma análise visual (Figura 14), há uma semelhança entre os modelos, principalmente nas classes do Plano ao Ondulado. Apesar da semelhança quanto ao aspecto, o MDE TOPOTA (Figura 12 D) identificou mais áreas como sendo planas, ou seja, sem faces onduladas. Essas diferenças são ainda mais nítidas quando comparamos as curvas de nível dos modelos (Figura 13). O ALOS/PALSAR mostra suas curvas representando melhor o relevo, por ser um modelo com resolução espacial menor, 12,5 m, e por suas ondas eletromagnéticas conseguirem penetrar com mais intensidade no dossel das árvores (banda L), essa diferença justifica-se visto que, quanto maior o comprimento de onda, maior será a penetração nos objetos. A interação dos sinais (ondas eletromagnéticas) ocorre mais predominantemente com os troncos e o solo (SILVA, 2010).

O ASTER mostrou maior incoerência e menor deslocamento na comparação com as feições, ou seja, apresentou mais detalhes quanto as suas oscilações. Como a interação dos objetos tem relação com o tipo de polarização, neste caso com as árvores, a interação maior será na vertical, gerando sinais mais elevados. Dados ópticos tendem a interagir com propriedades físicas e químicas dos alvos, no presente caso da vegetação, as interações ocorrem predominantemente com as folhas (PONZONI *et al.*, 2012).

No MDE SRTM observou-se a predominância das classes plano a ondulado, ou seja, seus percentuais variaram de 0 a 20%. Quanto a suas curvas de nível, houve uma semelhança com o PALSAR. Assim como os dados SRTM, o TOPODATA apresentou classes semelhantes entre si, oscilando apenas nas classes plano e suave ondulado. Já suas curvas de nível houve diferenças relevantes, perceptíveis no deslocamento de suas feições.

Benício e Júnior (2017) em estudo de comparação entre os MDEs ASTER e TOPODATA para o Estado de Pernambuco, encontraram diferenças de declividade significativas quando comparados os dois modelos. Os autores encontraram no MDE ASTER maiores áreas nas classes relevo plano, suave ondulado e ondulado. Já o TOPOADATA apresentou maiores áreas nas classes forte ondulado, suave ondulado e ondulado.

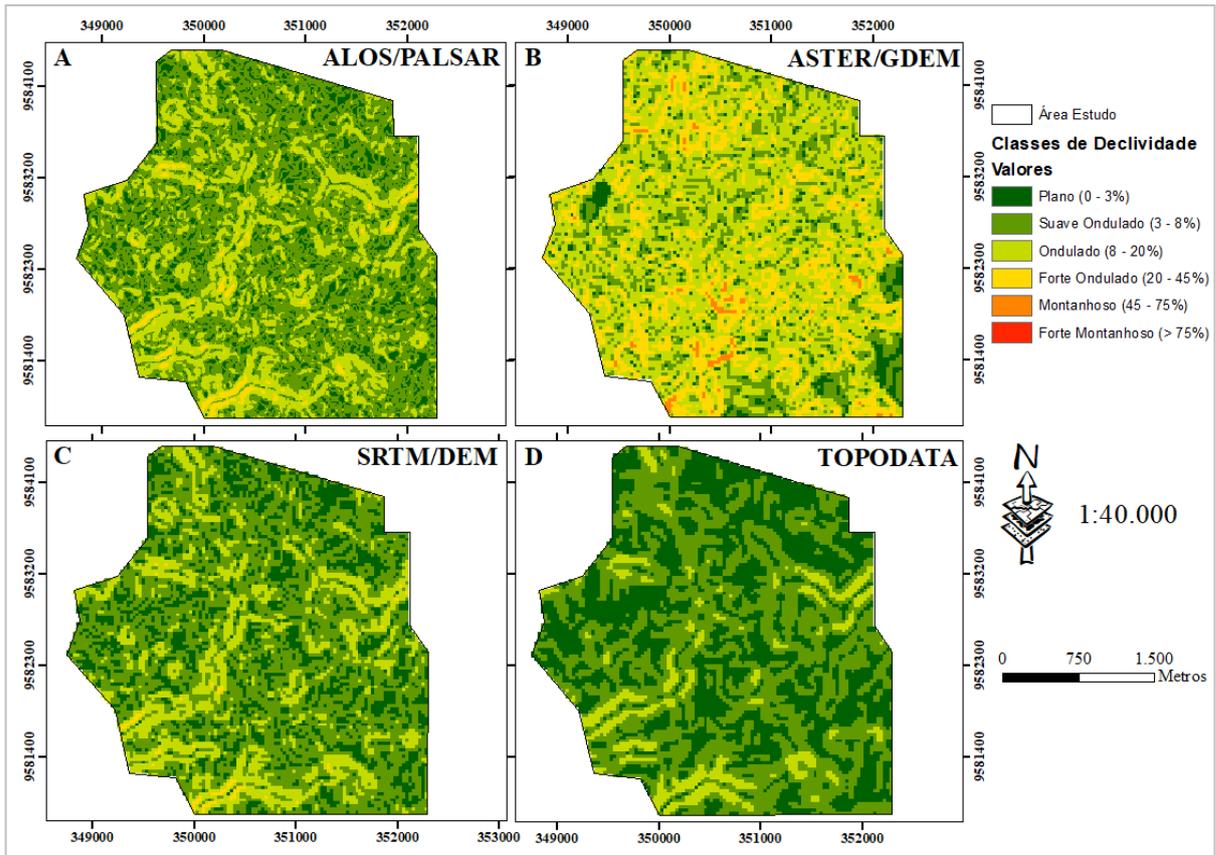


Figura 14 – Declividade dos MDE's: ALOS/PALSAR (A), ASTER (B), SRTM (C) e TOPODATA (D).

Considerando a caracterização da área de estudo, essa analogia entre os modelos é plausível, tornando-se os MDEs uma ferramenta aceitável quando se deseja estudar declividades e curvas de nível de uma determinada área.

As curvas de nível são um dos principais aspectos quando se deseja estudar a geomorfologia de uma região, tornando-se necessária para o conhecimento do tipo de relevo, predominância de solo, entre outros. Chagas *et al.*, (2010), em estudo sobre avaliação de MDEs para mapeamento digital de solos observaram bastante semelhanças entre os modelos ASTER e SRTM, porém pouca quando comparadas com curvas de nível de cartas do IBGE. Os autores encontraram curvas que se cruzavam e outras não havia curvas próximo a rede de drenagem. Na figura 13 são apresentadas as curvas de nível dos diferentes modelos, nos quais, assim como nas declividades, há grandes semelhanças entre os MDEs, havendo discrepância somente no MDE ASTER.

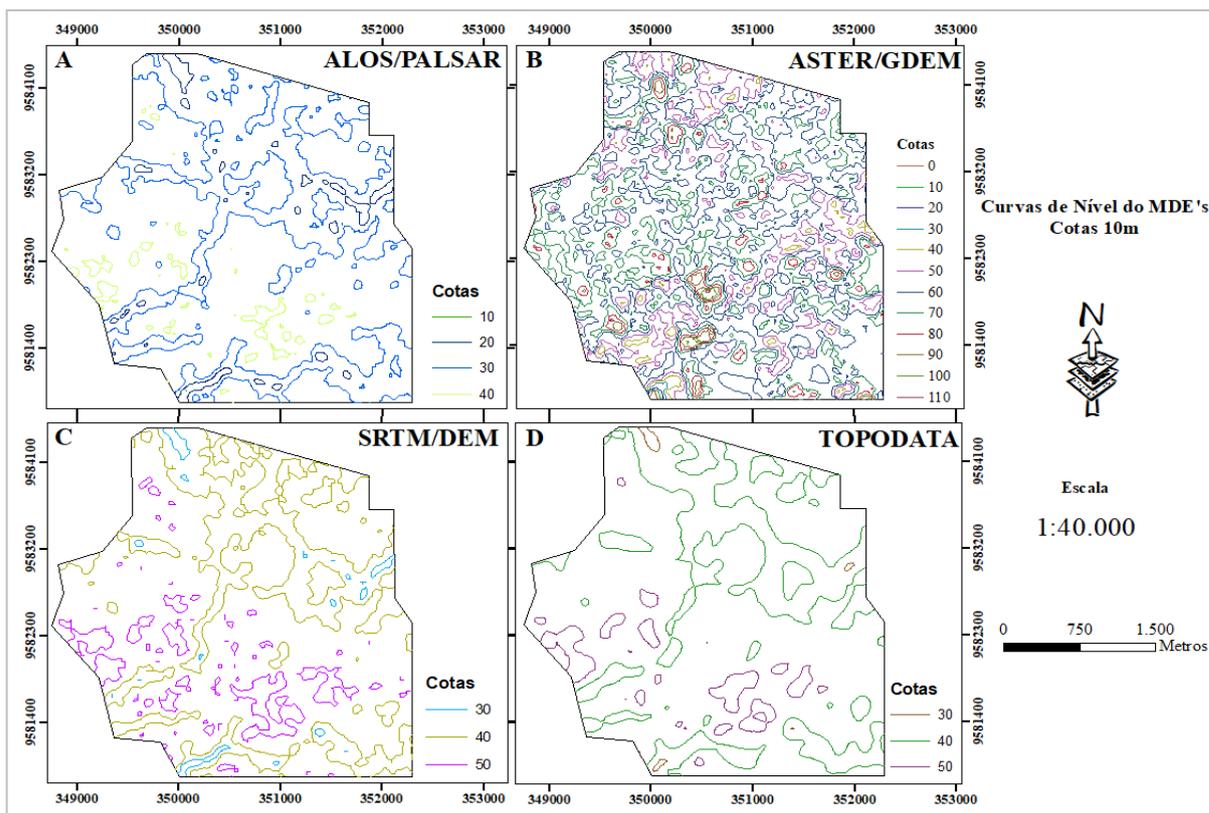


Figura 15 – Curvas de Nível dos MDE's: ALOS (A), ASTER (B), SRTM (C) e TOPODATA (D).

Como mostra a figura 15, o intervalo de cotas dos MDEs ALOS, SRTM e TOPODATA mostraram bastante semelhantes entre eles, suas variações foram de 10 a 50, respectivamente. O ALOS mostrou cotas mais convincentes para a característica da região, oscilando de 10 a 40m. Já o SRTM e TOPODATA suas cotas iniciaram a partir de 30m, porém o TOPODATA, por ser um modelo de origem do SRTM, ou seja, refinado a partir de dados do SRTM 90m, apresentou menos feições comparado ao SRTM 30m. Para o MDE ASTER, suas cotas mostraram uma grande discrepância quanto aos demais modelos, variando de 10 a 100m, tornando-se menos coerente. Grande parte dessa diferença, como já citado anteriormente, está no mecanismo de interação da radiação eletromagnética (REM) com a vegetação. Melgaço *et al.*, (2005), em seu estudo de comparação entre os MDEs ASTER e SRTM na cidade de Uberaba, MG observou um detalhamento um pouco maior no MDE ASTER. Os autores afirmam que essa diferença é consequência principalmente da resolução espacial.

Landau e Guimarães (2011), em análise comparativa entre os modelos ASTER, SRTM e TOPODATA, observaram que o ASTER, tende a subestimar a altitude, comparados aos demais modelos. Porém, as diferenças não apresentaram distribuição espacial homogêneas. Os autores verificaram também que os MDEs ASTER e TOPODATA (resolução de 30m) apresentaram informações mais detalhadas referentes a variação do relevo comparado ao

SRTM (90m). E afirmam que os procedimentos computacionais aplicado no TOPODATA contribuíram para melhorar a qualidade das informações sobre o relevo. A semelhança entre os modelos é ainda mais coerente quando correlacionadas declividade com curvas de nível (Figura 16).

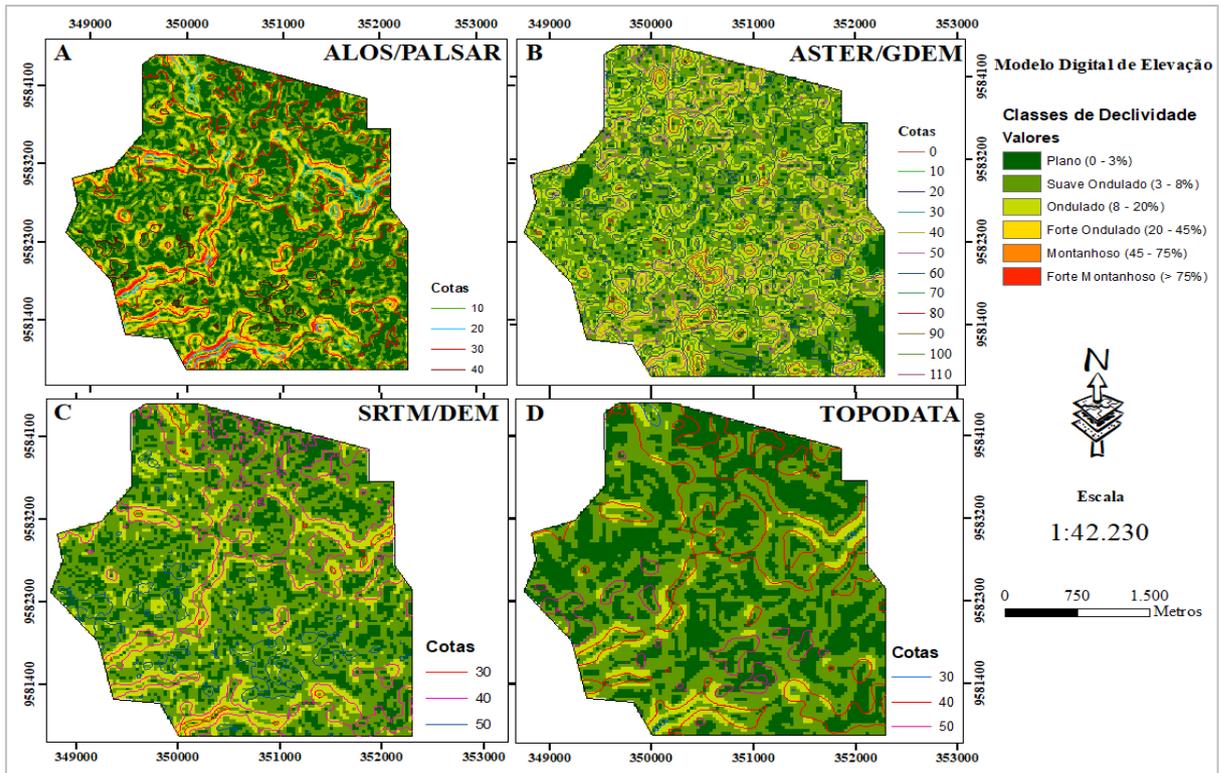


Figura 16 – Mapa de declividades com sobreposição das curvas de nível: ALOS (A), ASTER (B), SRTM (C) e TOPODATA (D).

Hoff *et al.*, (2009), em trabalho comparando os modelos ASTER e SRTM para fins agrícolas na região sul do país, observaram grandes diferenças em mapas de declividades entre os dois modelos. Os autores encontraram maior continuidade espacial no MDE SRTM do que o ASTER. Portanto, os autores recomendam o uso do SRTM para zoneamento de grandes regiões e o ASTER, para pequenas áreas, a exemplo de microbacias.

2.3.3 Rede de Drenagem

A análise morfométrica é um dos atributos mais importantes quando se deseja saber a drenagem de uma determinada área. Os MDEs surgem como ferramenta para análise destes atributos. A análise visual em conjunto com a morfométrica, demonstraram que a rede drenagem é interligada com o acúmulo de fluxo, ou seja, área de contribuição, que por sua vez é importante para se conhecer a densidade de drenagem de uma determinada área.

De acordo com os de valores de área de contribuição testados, quando se atribui um valor para o acúmulo de fluxo, este por sua vez, define uma rede de drenagem com um determinado número de canais. Portanto, para valores definidos como baixo, a exemplo do valor de área de contribuição 10, estes apresentaram maior quantidade de canais, ou seja, mais detalhes, bem como, o aumento dos canais para as cabeceiras dos locais mais altos da área.

Para valores definidos altos, a exemplo do 150, estes canais apresentaram extensões menores, ou seja, há o recuo destes canais. A Figuras 17 e 18 apresenta às redes de drenagem extraídas dos quatro MDE's com valor de com área de contribuição 10 e 150. Verifica-se nas Figuras 17 e 18, a variação dos valores testados, onde houve o recuo significativo dos canais nos diferentes modelos, no entanto, o percurso traçado por esses canais foram relativamente diferentes, os ALOS mostrou um pouco mais de canais em relação aos demais nos diferentes valores de área de contribuição.

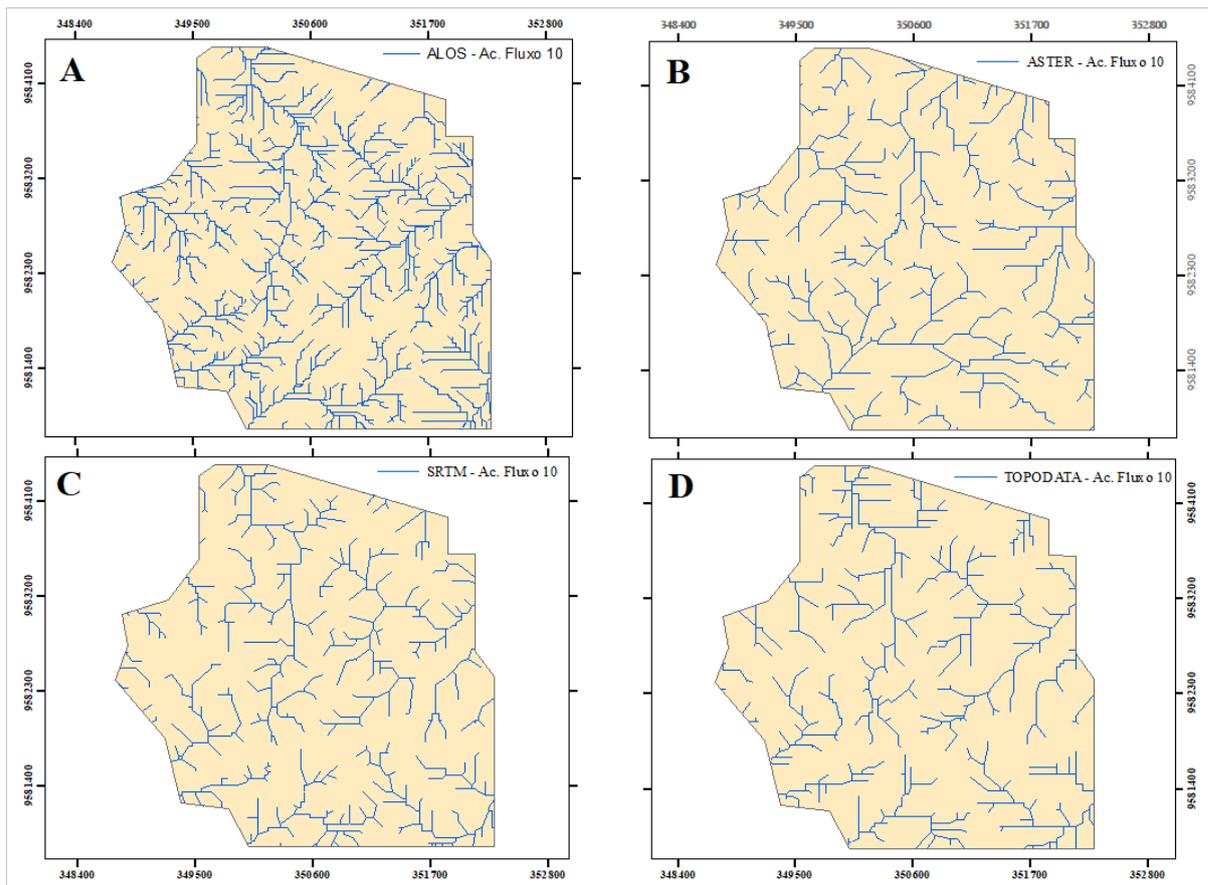


Figura 17 – Redes de drenagem geradas por extração automática dos MDE's, com valor de acúmulo de fluxo 10, na escala 1:40.000 para os sensores ALOS/PALSAR (A), ASTER (B), SRTM (C) e TOPODATA (D).

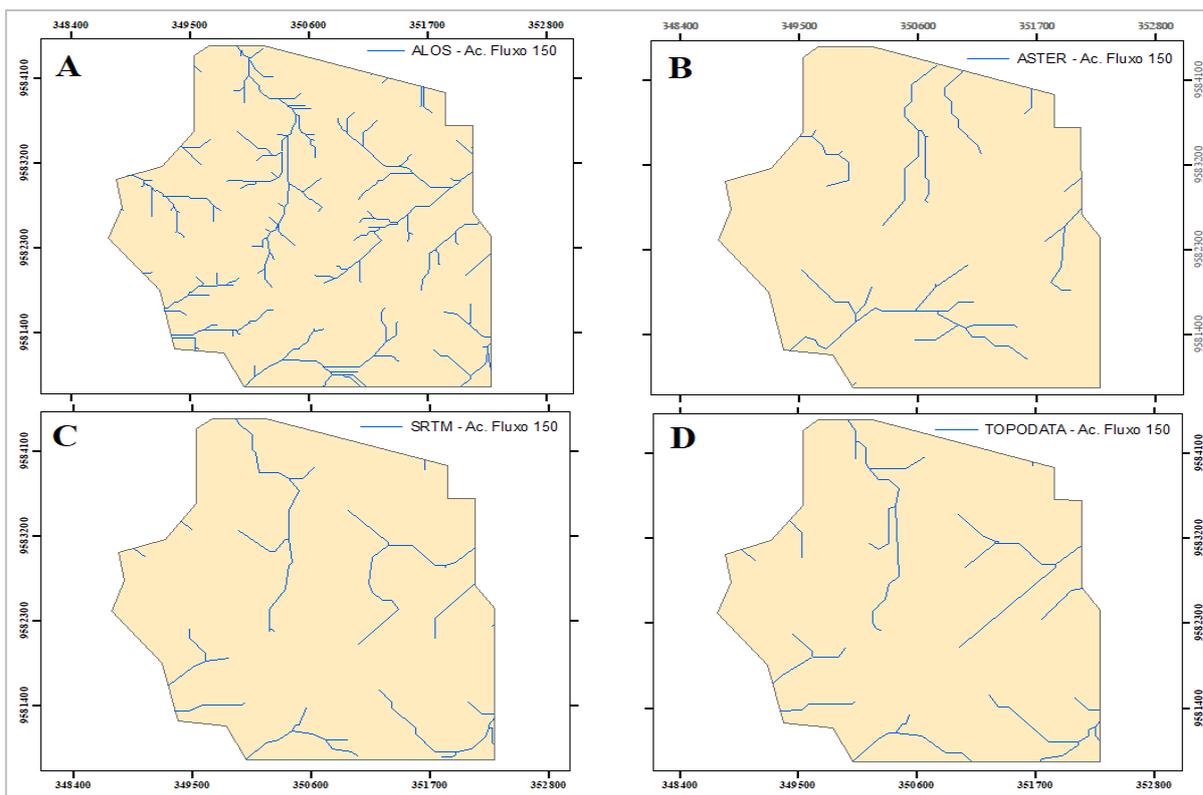


Figura 18 – Redes de drenagem geradas por extração automática dos MDE's, com valor de acumulo de fluxo 150, na escala 1:40.000 – PALSAR, ASTER SRTM e TOPODATA.

Quando comparadas as diferenças em termos de extensão dos cursos d'água, as oscilações nos diferentes valores de área de contribuição, para o ALOS/PALSAR (A), variaram de 92,44km a 31,05km, tendo média de 51,62 e desvio padrão de 18,97, com densidade de drenagem de 93288,93 km/km², média de 52090,02 e desvio padrão de 19146,94. A Tabela 4 mostra os valores de área de contribuição dos 15 parâmetros testados neste trabalho, apresentando suas respectivas extensões e densidade de drenagem.

Tabela 4

Valores de área de contribuição (AC), extensões (Ext.) dos cursos d'água e densidade de drenagem (Dd).

AC	ALOS (12,5m)		ASTER (30m)		SRTM(30m)		TOPODATA (30m)	
	Ext (km)	Dd (km/km ²)	Ext (km)	Dd (km/km ²)	Ext (km)	Dd (km/km ²)	Ext (km)	Dd (km/km ²)
10	92,44	93288,93	51,01	51478,45	51,8	52275,71	49,04	49490,36
20	82,17	82924,61	39,89	40256,33	37,36	37703,09	39,87	40236,14
30	71,98	72641,03	32,71	33010,39	30,3	30578,26	29,52	29791,09
40	65,37	65970,33	28,58	28842,47	25,96	26198,40	25,33	25562,62
50	58,81	59350,09	29,42	29690,18	22,8	23009,38	22,25	22454,33
60	54,05	54546,37	23,51	23725,91	21,1	21293,77	20,06	20244,22
70	50,05	50509,64	21,7	21899,28	19,66	19840,54	18,6	18770,84

80	45,5	45917,85	20,07	20254,31	18,3	18468,06	17,53	17690,98
90	42,69	43082,05	18,64	18811,18	17,49	17650,62	16,29	16439,6
100	37,91	38258,15	17,81	17973,56	16,49	16641,44	15,88	16025,83
110	38,01	38359,07	16,25	16399,23	15,73	15874,45	15,37	15511,15
120	36,61	36946,21	15,39	15531,34	15,01	15147,84	14,87	15006,56
130	34,88	35200,32	14,3	14431,33	14,51	14643,25	14,6	14734,08
140	32,72	33020,49	13,57	13694,62	14,06	14189,12	14,2	14330,41
150	31,05	31335,15	12,92	13038,65	13,56	13684,53	14,07	14199,23
Média	51,616	52090,02	23,72	23935,81	22,27	22479,9	21,83	22032,49
Desvio Padrão	18,97	19146,94	10,87	10972,2	10,54	10643,59	10,34	10433,56

Para o MDE ASTER/GDEM (B) o valor de área de contribuição 10 resultou em uma rede que variou de 51,01 km a 12,72 km de extensão dos canais, média de 23,72 km e desvio padrão de 10,87, sua densidade de drenagem foi de 514778,45 km/km², média de 23935,81 e desvio padrão 100972,2.

As redes dos MDE's SRTM(C) e TOPODATA (D) oscilaram entre 51,08km a 13,56km e 49,04km a 14,07km, média de 22,27 e desvio padrão 10,54 para o SRTM, densidade de drenagem 52275,71km/km², média de 22,479,9 e desvio padrão de 10643,59, enquanto que a densidade de drenagem do TOPODATA, variaram de 51.549,1km/km² e 49.490,36km/km², média de 22032,49 e desvio padrão de 10433,56, não havendo diferença relevante comparado ao anterior.

Para os diferentes MDE's com área de contribuição, suas extensões oscilaram de 92,44 km (ALOS) a 49,04 km (TOPDATA), havendo um recuo de 46,95%, comparando os quatro MDE's. Enquanto que para área de contribuição 150 os valores variaram de 31,05km (ALOS) a 12,92 km (ASTER), recuo de 53,39%. Vale frisar que, o valor alto das densidades de drenagens justifica-se pela grande quantidade de detalhes geomorfológicos presentes na área, precipitação e pela área ser pequena quando comparadas a outros estudos que usam bacias hidrográficas.

A partir dos testes com valores de área de contribuição, verificou-se que as redes de drenagem extraídas dos MDE's que obtiveram extensão e densidade de drenagem próximo à rede vetorizada, foram gerados com valor 150 e o modelo com valores mais próximos dos de campo, foi o ASTER/GDEM (A) (linhas em vermelho, Figura 19) tendo em vista sua extensão 12,92 km, quanto a rede vetorizada. Seus canais (linhas em azul, Figura 19) corresponderam a 9,68 km, representando uma diferença para mais, de 33,47% entres elas.

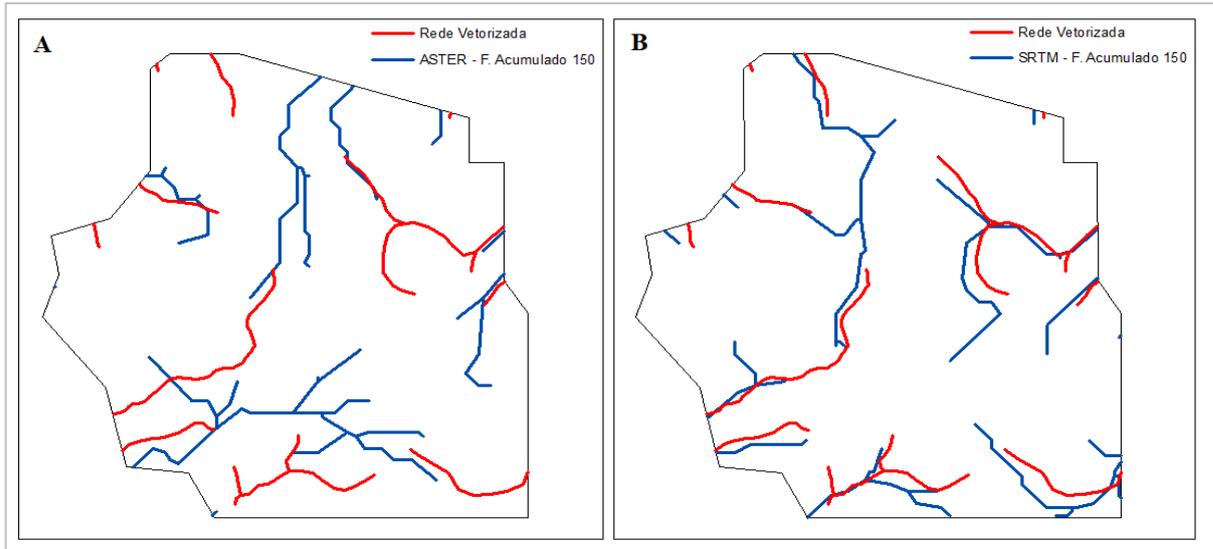


Figura 19 - Representação da rede de drenagem vetorizada, comparada às extraídas dos MDE's ASTER e SRTM com área de contribuição 150.

No entanto, com base na análise visual, a rede de drenagem geradas a partir do SRTM (B), com o valor de fluxo acumulado 150 apresentam resultados mais coincidentes, com variação residindo na sinuosidade dos canais, expressa pelo maior número de vértices contido nas linhas de drenagem (em azul Figura 19). Chagas et al., (2010), observaram baixa concordância comparando redes extraídas dos MDEs ASTER e SRTM com rede mapeada. Os autores encontraram erros nos quais as redes de drenagem cruzavam as curvas de nível, e afirmam que essas diferenças estão na fonte de dados utilizadas. Essa diferença foi mais visível no MDE ASTER. As figuras a seguir, mostram os valores de área de contribuição testados nos diferentes MDE's, onde as linhas em cor azul representam a rede drenagem extraídas dos MDE's e as em cor vermelho, a rede vetorizada.

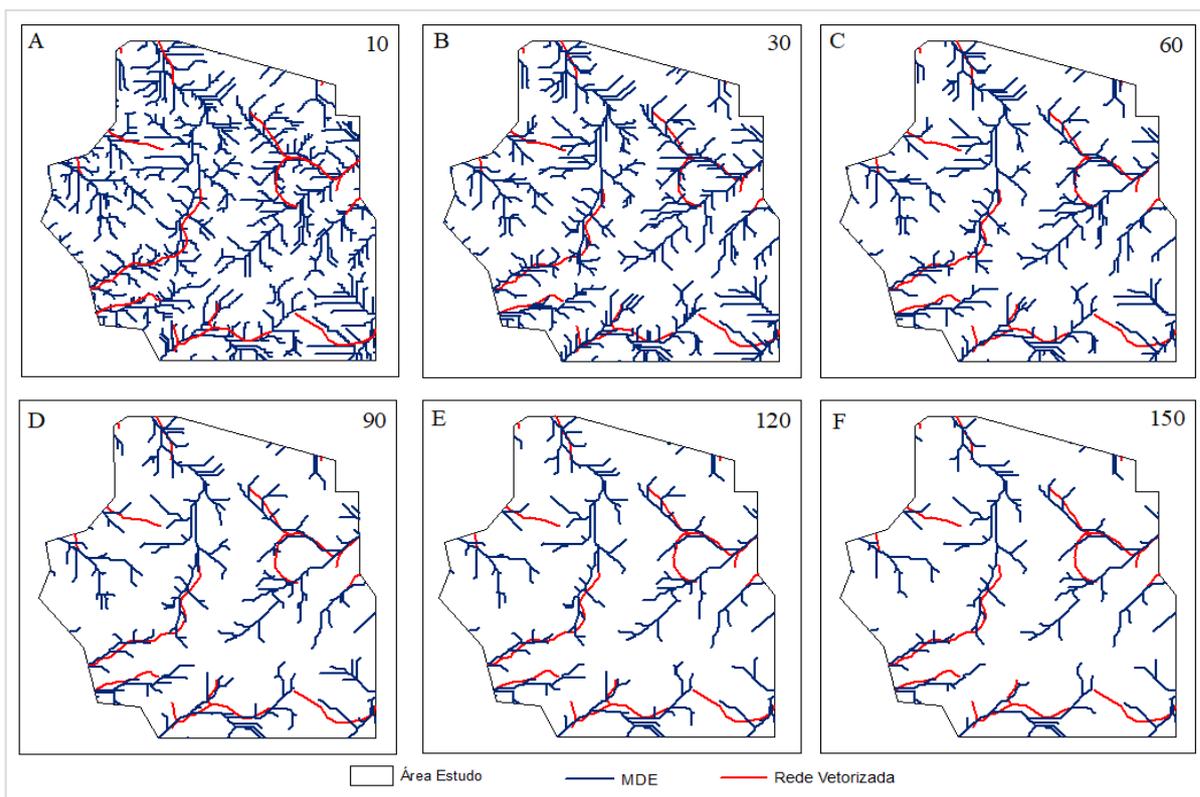


Figura 20 – Correlação das redes vetorizadas (vermelho) com às extraídas (azul) do MD ALOS/PALSAR com diferentes valores de área de contribuição (10, 30, 60, 90, 120 e 150).

É possível observar na figura 20 (ALOS/PALSAR) que os canais apresentaram bastante diferenças nos valores de área de contribuição. Muitos destes valores torna-se insignificantes quando comparados à rede vetorizada, visto que não representa de fato os percursos d'água presentes no local.

Santos e Shiraiwa, (2012), em estudo sobre padronização de área de contribuição para definição de rede drenagem na bacia do Rio Cuiabá no estado de Mato Grosso usaram diferentes valores de área de contribuição em percentagem nos MDEs ASTER (30 m e 90 m) e SRTM (30 m e 90m) e encontraram cursos d'água com extensões diferentes para o mesmo valor de área de contribuição. Usando valor padrão de 1,0% para os diferentes modelos, os autores encontraram comprimento da drenagem SRTM de 727,94 km, enquanto que a drenagem do ASTER foi de 1365,88 km, ou seja, diferenças significativas. Para valor mínimo de área de contribuição (0,1%) os autores encontraram valores de cursos d'água discrepantes na comparação entre os dois modelos para a Bacia do rio Cuiabá (ASTER 4153,85 km e SRTM 2032,66 km), enquanto que para a sub-bacia do Rio Jangada, o limiar mínimo resultou em uma rede similares nos respectivos modelos.

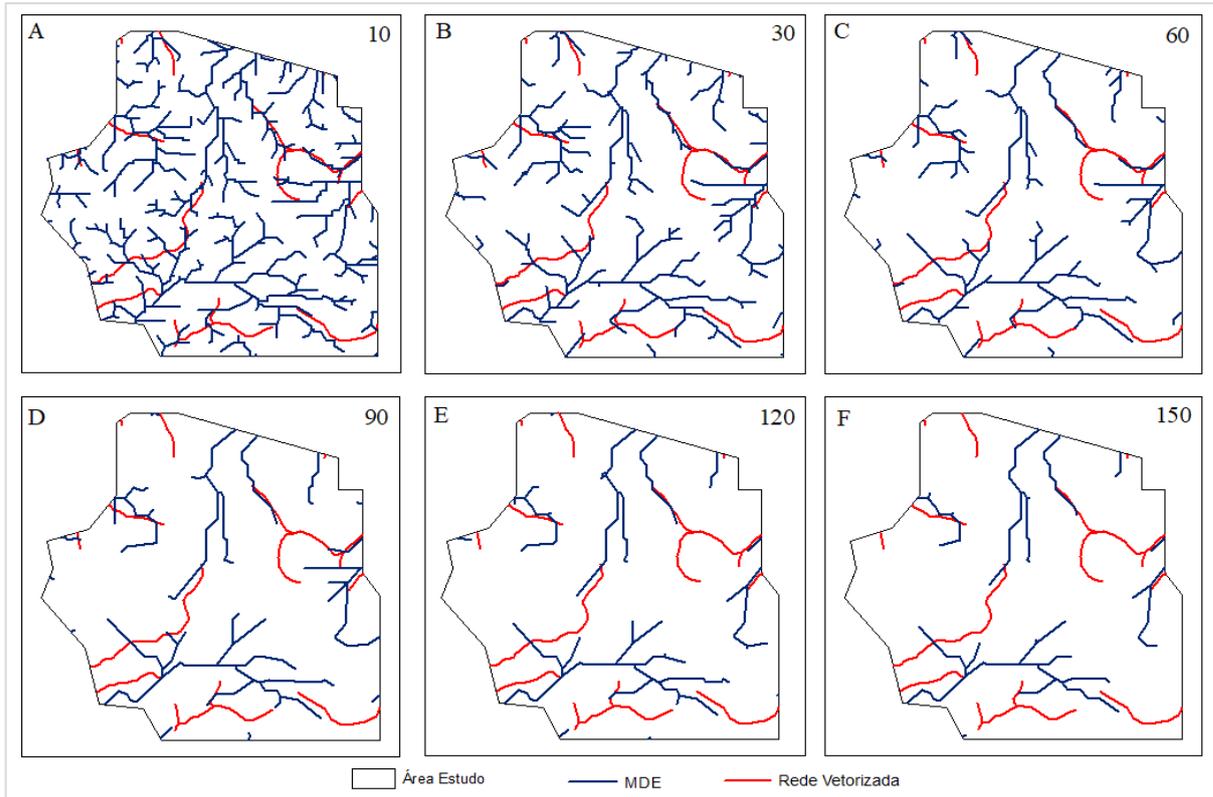


Figura 21 – Correlação das redes vetorizadas (vermelho) com às extraídas (azul) dos MDE com diferentes valores de área de contribuição (10, 30, 60, 90, 120 e 150) – ASTER.

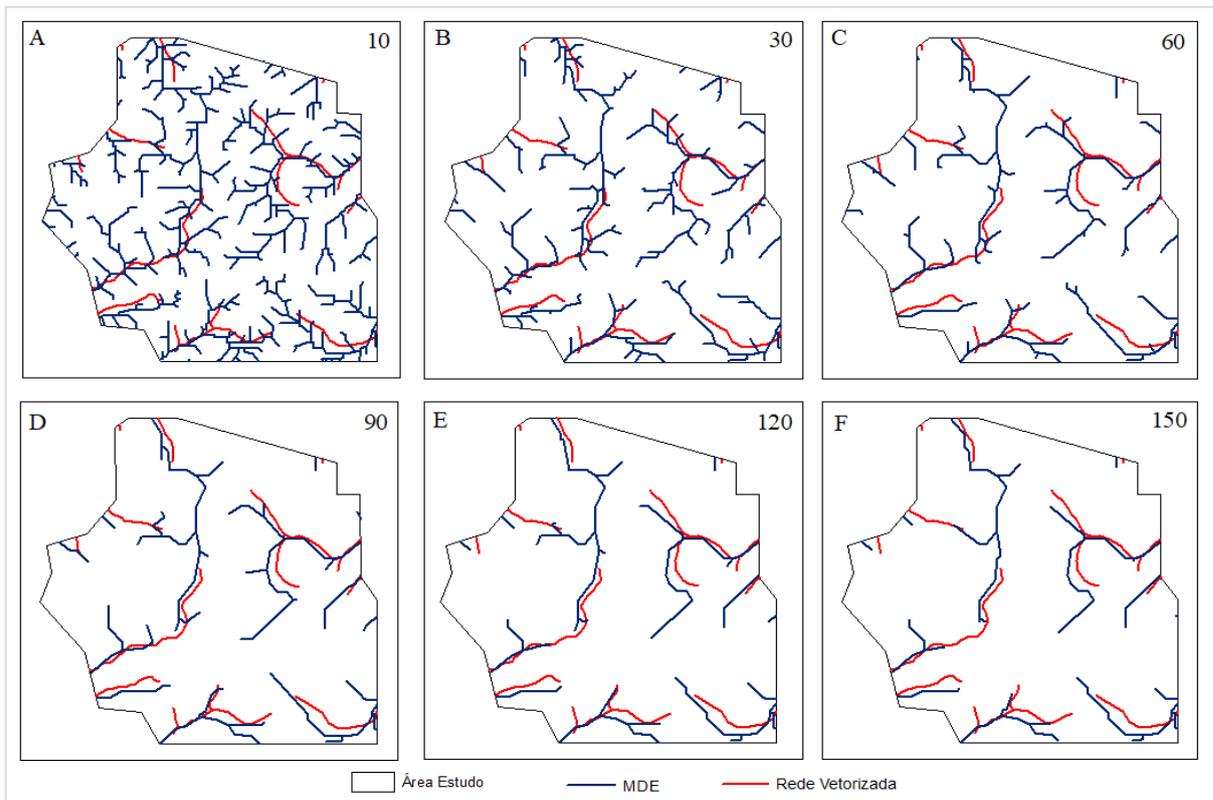


Figura 22 – Correlação das redes vetorizadas (vermelho) com às extraídas (azul) dos MDE com diferentes valores de área de contribuição (10, 30, 60, 90, 120 e 150) – SRTM.

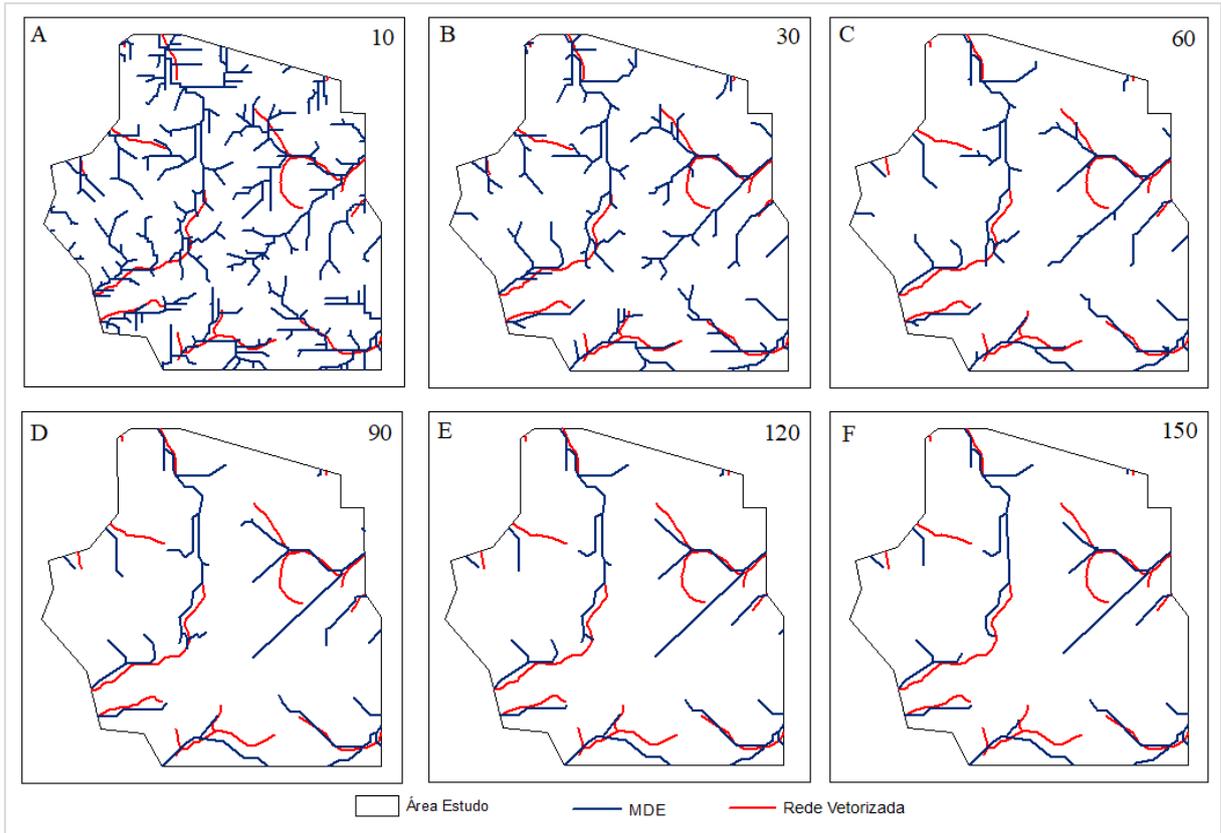


Figura 23 – Correlação das redes vetorizadas (vermelho) com às extraídas (azul) dos MDE com diferentes valores de área de contribuição (10, 30, 60, 90, 120 e 150) – TOPODATA.

Os demais modelos, ASTER, SRTM e TOPODATA apresentaram redes visualmente coincidentes nos diferentes valores de área de contribuição, essa semelhança se dá pela resolução dos modelos (30m). No entanto, o ASTER mesmo sendo um modelo estereoscópico apresentou redes bem próximas aos modelos com interferometria SAR. Através das análises visuais foi possível perceber que as redes mais próximas da rede vetorizada oscilaram com valores de área de contribuição 120 e 150, estes aspectos coincidentes foram perceptivos nos três modelos de resolução 30m.

2.3.4 Acurácia dos MDEs

Os resultados das comparações de exatidão global, índice concordância *kappa* e teste Z. estatísticas dos MDEs são descritos na Figura 24 nos Quadros 5 e 4.

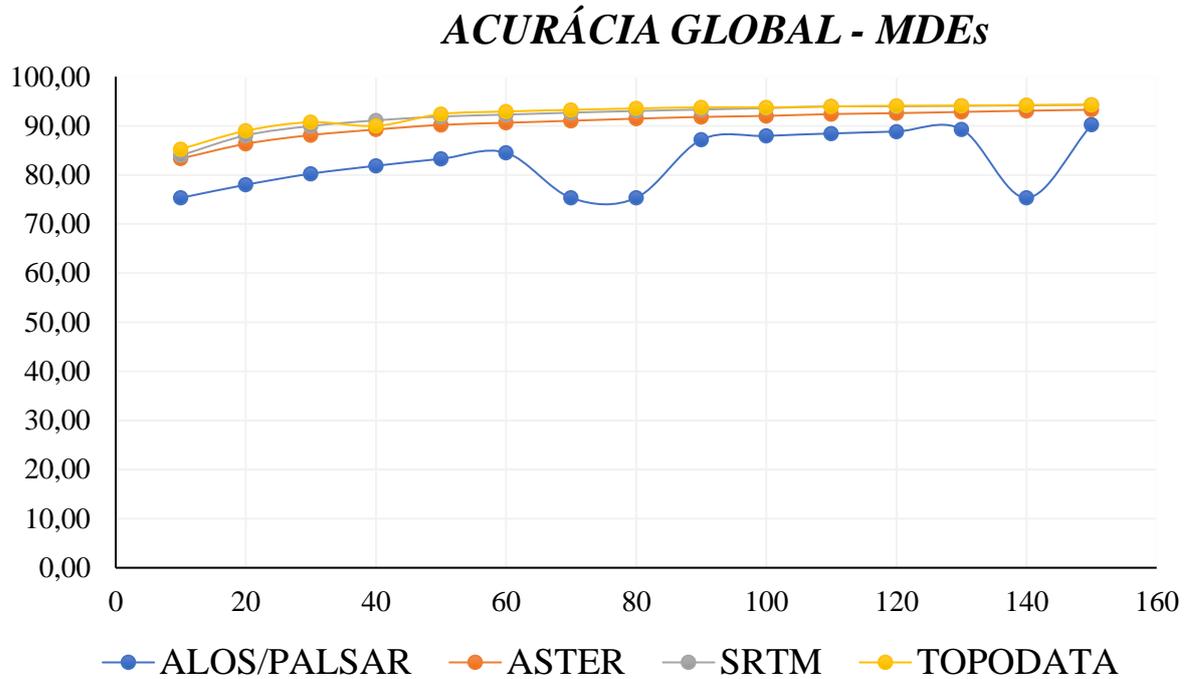


Figura 24 - Performance da Acurácia Global de acordo com a área de contribuição (10 a 150) dos MDEs.

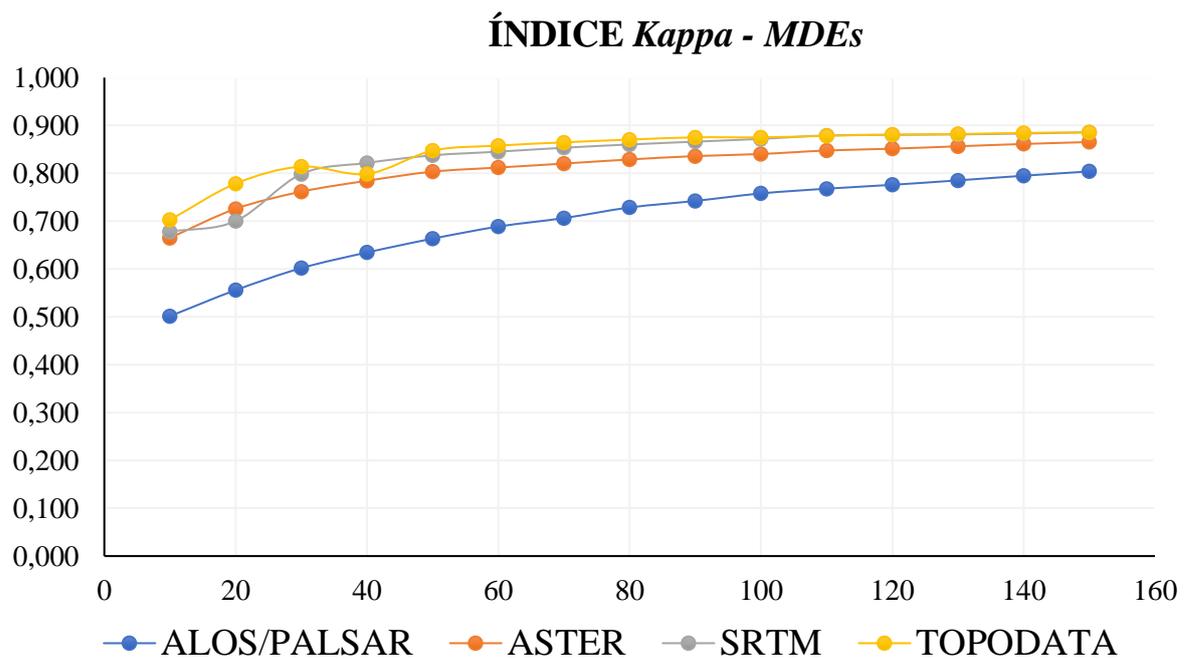


Figura 25 - Performance do Índice Kappa de acordo com a área de contribuição (10 a 150) dos MDEs.

A acurácia global é uma avaliação indispensável quando se deseja estudar a concordância entre duas variáveis, assim como o índice de concordância *Kappa*. Estas permitem a obtenção de confiabilidade das categorias, no presente caso, a precisão das redes de drenagem obtida através de MDEs quando comparadas a rede obtida em campo. As Figuras 24 e 25 apresentam os valores de acurácia global (24) e *Kappa* (25), nos quais é possível observar que houve semelhanças nos 15 parâmetros testados entre os modelos ASTER, SRTM e TOPODATA, ou seja, o valor de área de contribuição 10, MDE ASTER foi semelhante ao mesmo valor de área de contribuição do SRTM. Já o PALSAR, apresentou maiores oscilações nos diferentes valores de área de contribuição, principalmente nos valores de 60 a 150 (Figura 24). Quando observado os valores *Kappa* (Figura 25), é notório que as oscilações entre os valores de área de contribuição não apresentaram grandes diferenças entre elas. O SRTM e TOPODATA foram os modelos que apresentaram maiores oscilações nos valores de 10 a 50.

Os valores de acurácia global e *Kappa* são apresentados na Quadro 1. O MDE ALOS/PALSAR (Quadro 1 (C)), em seus valores de acurácia global para área de contribuição 10 a 150, apresentou valor máximo de 90,22% (150) e mínimo de 88,33% (10). O índice *Kappa* para o MDE foi de 0,502% (área de contribuição 10) e 0,804% (150), ou seja, os valores de área de contribuição 10 e 150 apresentaram diferenças significativas entre si. Porém, quando comparados os valores das demais áreas de contribuição (10, 20, n..., 150) para os diferentes MDEs, simultaneamente, observou-se que não houve diferenças significativas entre os respectivos valores (Quadro 1 (C)). Portanto, para o PALSAR, o valor de área de contribuição que melhor representou a rede drenagem da área de estudo foi o 150, com seus respectivos valores de acurácia global 90,22% e *Kappa* 0,804%.

Os parâmetros estatísticos do ASTER (Quadro 1 (A)), em sua rede de drenagem com de área de contribuição 10 comparado com a obtida em campo, apresentou acurácia global de 83,33% e *Kappa* 0,665%, para o valor 60 sua acurácia foi de 90,62% e *Kappa* 0,812%. Com área de contribuição 150, os valores de acurácia e *Kappa* foram: 93,27% e 0,865%, respectivamente, tornando-se o mais representativo comparado a rede vetorizada. Aos demais valores de área de contribuição, ao nível de significância de 5%, os mesmos mostraram-se não significativos (Quadro 2).

O SRTM e TOPODATA, de acordo com a análise estatística, foram os MDEs que apresentaram maiores semelhanças entre si. A variação estatística do TOPODATA (Quadro 1 (D)) com valores de área de contribuição 120 a 150 foram bastante semelhantes, tanto no quesito acurácia quanto no *Kappa*, os seja, suas acurácias foram de 94,06% (120), 94,10% (130), 94,22% (140), 94,27% (150) e *Kappa* 0,881% (120), 0,882% (130), 0,884% (140),

0,885% (150), percebe-se que a variação foi mínima, não havendo diferenças significativas. O SRTM (Quadro 1 (B)), assim como o TOPODATA também não apresentou significância entre os valores 120 a 150, porém, foi o MDE que mais se aproximou da rede vetorizada, com acurácia global de 94,295 (150) e *Kappa* de 0,886% (150). Apesar dos valores *Kappa* estarem próximos aos do TOPODATA, os erros de comissão e emissão foram considerados onde o SRTM apresentou menor percentual (Figuras 30 a 33) A esse nível de significância, os MDEs SRTM (110 e 140) e TOPODATA (90, 110 e 140) foram estatisticamente iguais. Fazendo uma análise mais rigorosa, ao nível de significância de 1% (α 0,01), com probabilidade de 99%, observou-se através da estatística z, que o MDE ASTER, os valores de área de contribuição 90, 110 e 140, mostraram-se estatisticamente iguais, assim como o SRTM (100, 110, 140) e TOPODATA (80 a 140). Apenas o PALSAR não apresentou nenhuma significância, aos níveis de 5% e 1%, entre os diferentes valores de área de contribuição testados (Quadro 2 (A)). Ressalta-se que, se a estatística Z apresentar valores $< 1,96$, ambas as matrizes são iguais, se $\geq 1,96$ matrizes diferentes, assim como $< 2,73$ matrizes iguais e $\geq 2,73$ matrizes diferentes.

Quadro 2.
Valor do Acurácia Global e *Kappa* (entre parênteses)
(A)

MDE/ASTER (%)								
CAMPO	10	20	30	40	50	60	70	80
	83,33 (0,665)	86,33 (0,726)	88,11 (0,762)	89,24 (0,784)	90,19 (0,803)	90,62 (0,812)	91,03 (0,820)	91,46 (0,829)
	MDE/ASTER (%)							
	90	100	110	120	130	140	150	
91,81 (0,836)	92,02 (0,840)	92,39 (0,848)	92,58 (0,851)	92,83 (0,856)	93,07 (0,861)	93,27 (0,865)		

(B)

MDE/SRTM (%)								
CAMPO	10	20	30	40	50	60	70	80
	83,98 (0,678)	88,04 (0,700)	89,95 (0,799)	91,10 (0,822)	91,89 (0,838)	92,27 (0,845)	92,67 (0,853)	93,01 (0,860)
	MDE/SRTM (%)							
	90	100	110	120	130	140	150	
93,31 (0,866)	93,60 (0,872)	93,95 (0,879)	93,95 (0,880)	94,06 (0,881)	94,15 (0,883)	94,29 (0,886)		

(C)

MDE/PALSAR (%)								
CAMPO	10	20	30	40	50	60	70	80
	75,32 (0,502)	77,99 (0,556)	80,24 (0,602)	81,85 (0,635)	83,27 (0,663)	84,52 (0,689)	75,32 (0,706)	75,32 (0,729)
	MDE/PALSAR (%)							
	90	100	110	120	130	140	150	

	87,17 (0,742)	87,94 (0,758)	88,43 (0,768)	88,84 (0,776)	89,29 (0,785)	75,32 (0,795)	90,22 (0,804)
--	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------

(D)

		MDE/TOPODATA (%)								
		10	20	30	40	50	60	70	80	
CAMPO		85,25 (0,703)	88,98 (0,788)	90,74 (0,814)	89,99 (0,798)	92,39 (0,858)	92,91 (0,858)	93,24 (0,865)	93,53 (0,870)	
			MDE/TOPODATA (%)							
		90	100	110	120	130	140	150		
		93,72 (0,875)	93,76 (0,876)	93,92 (0,878)	94,06 (0,881)	94,10 (0,882)	94,22 (0,884)	94,27 (0,885)		

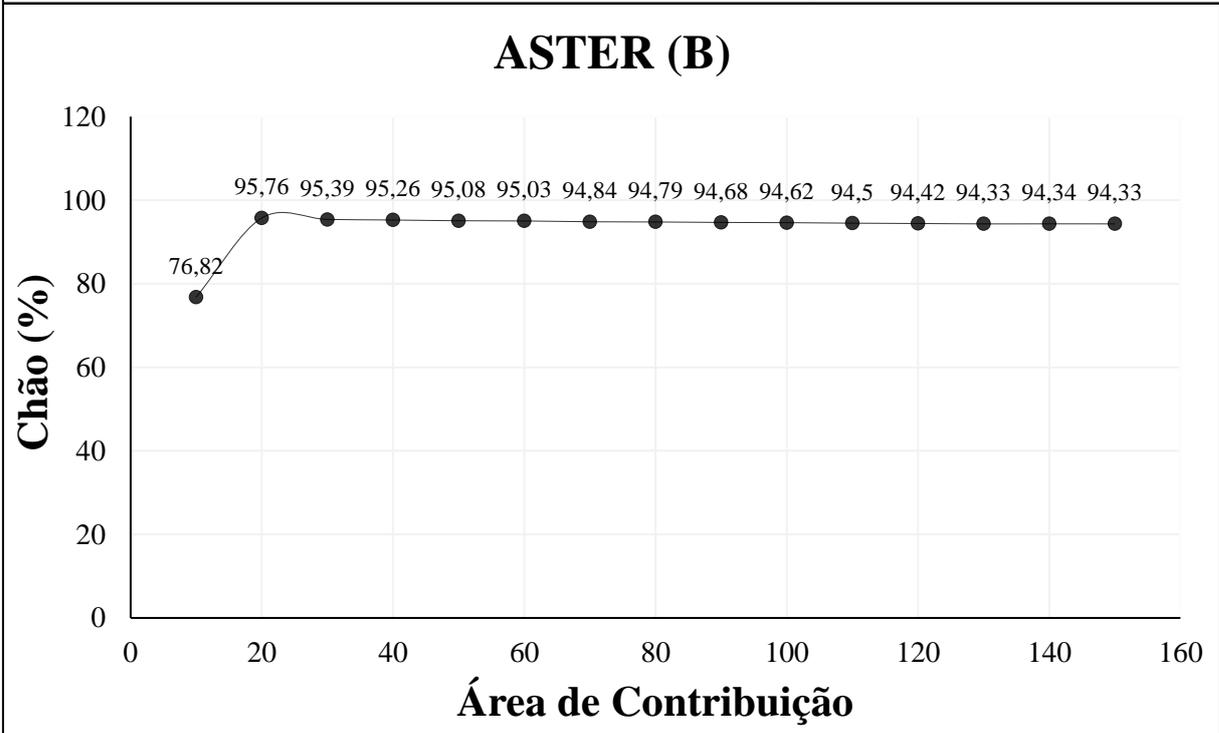
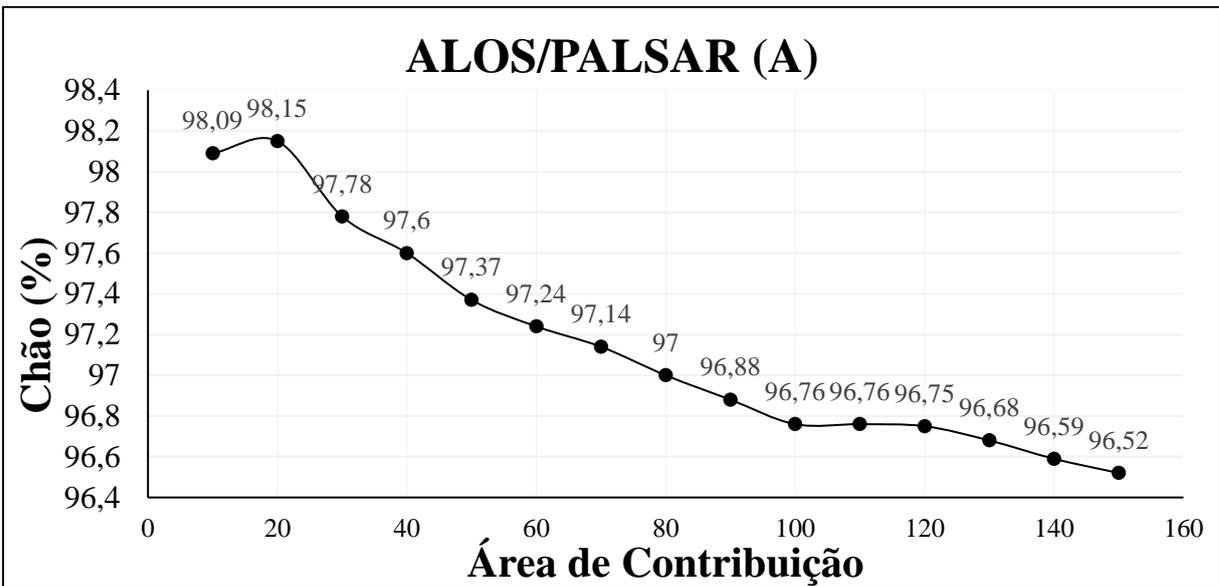


Figura 26: Representação da combinação “água com água” através da matriz de confusão (1x1). SRTM (A), ATER (B).

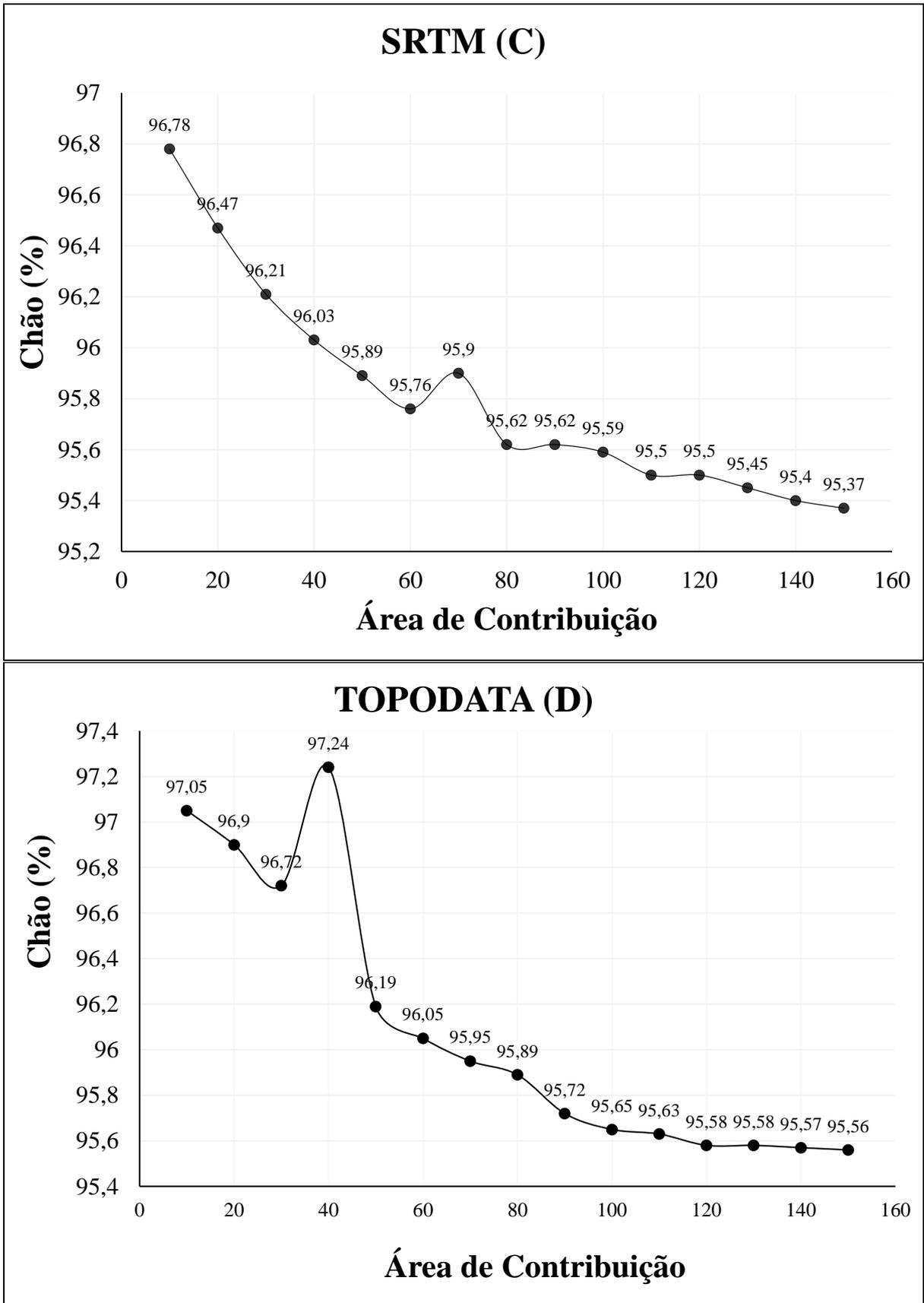


Figura 27: Representação da combinação água com água através da matriz de confusão (1x1). SRTM (C) e TOPODATA (D).

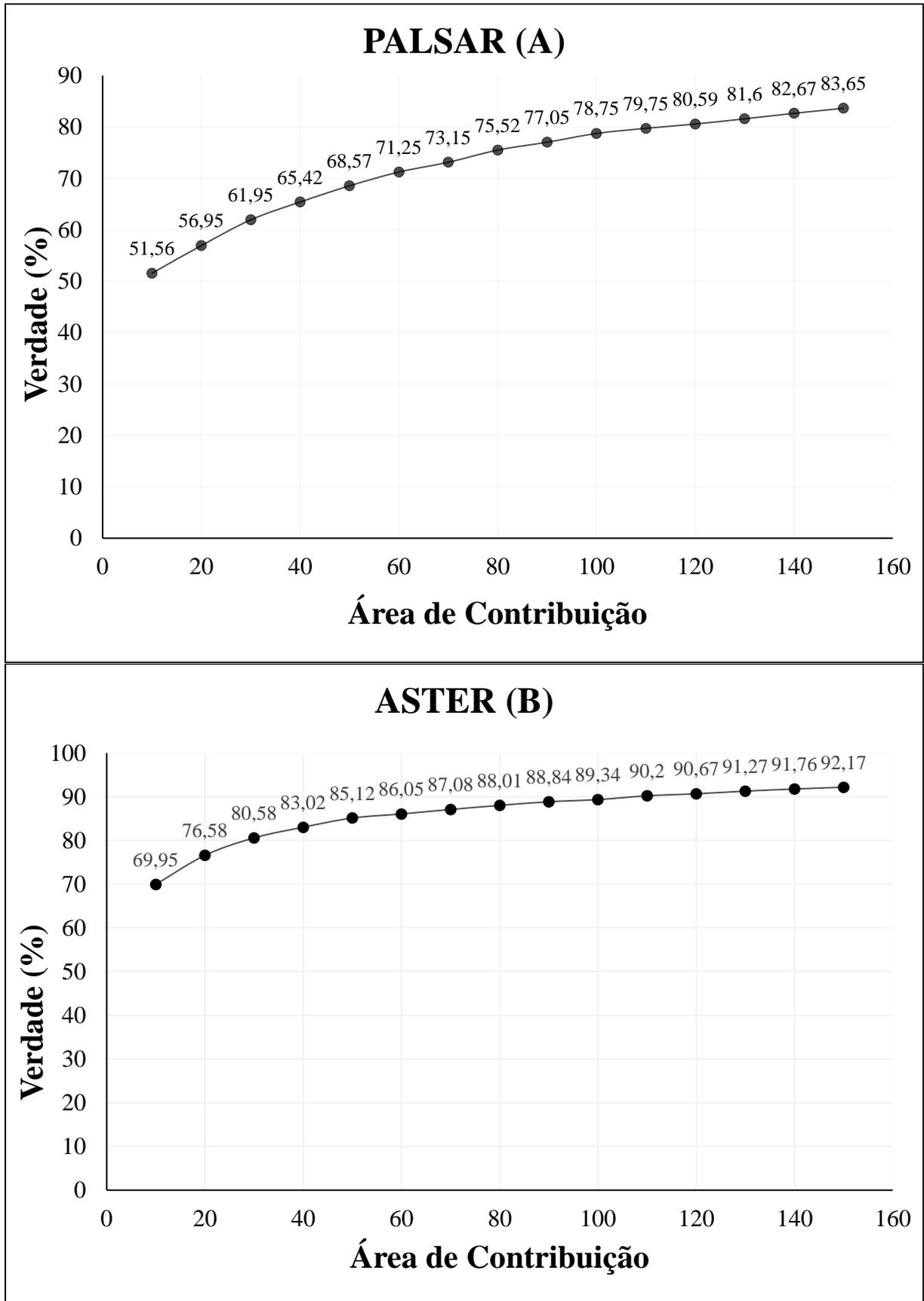


Figura 28 – Representação da combinação entre células “não água com não” através da matriz de confusão (2,2). ALOS/PALSAR (A) e ASTER (B).

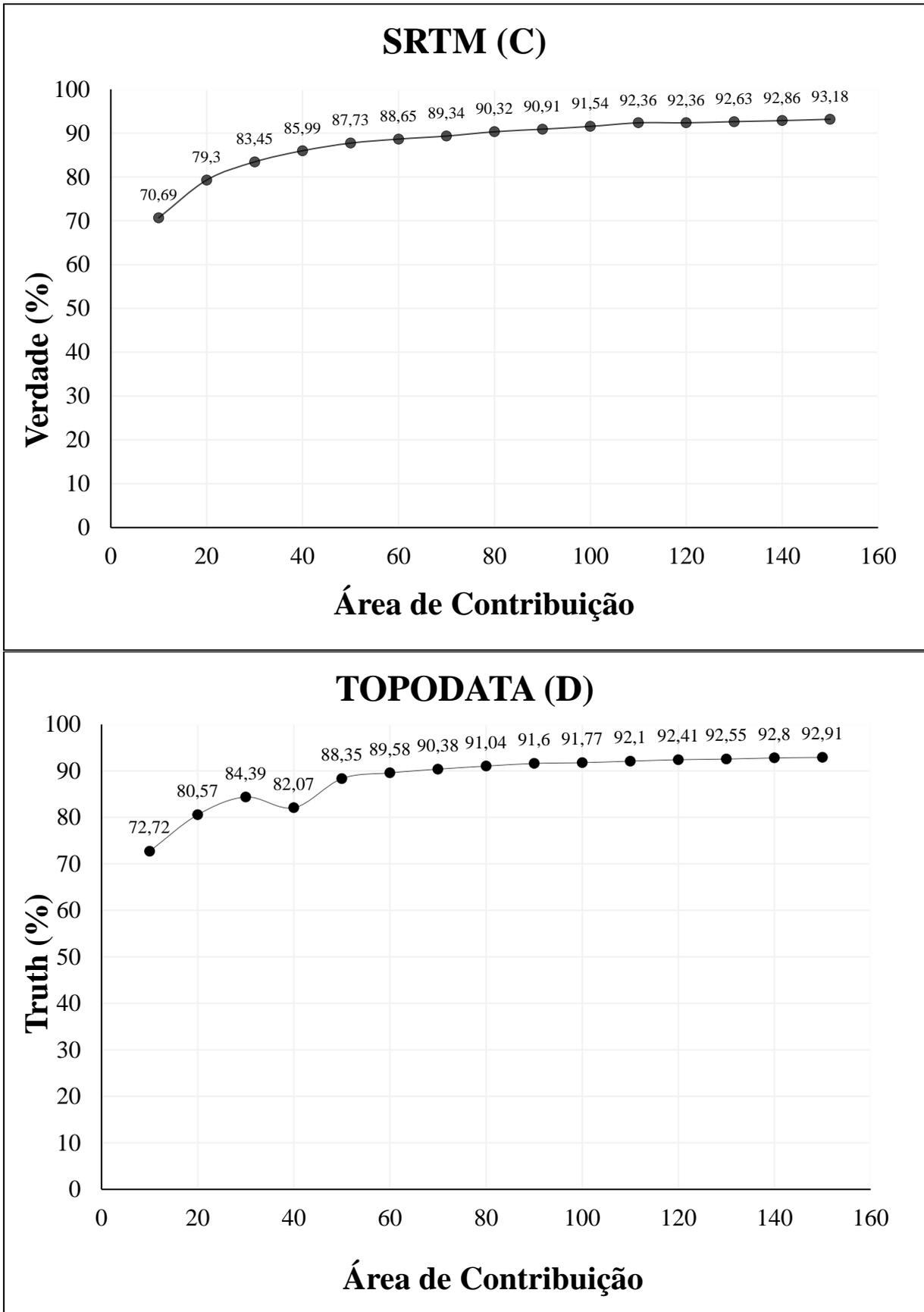


Figura 29 – Representação da combinação entre células “não água com não” através da matriz de confusão (2,2). SRTM (C) e TOPODATA (B).

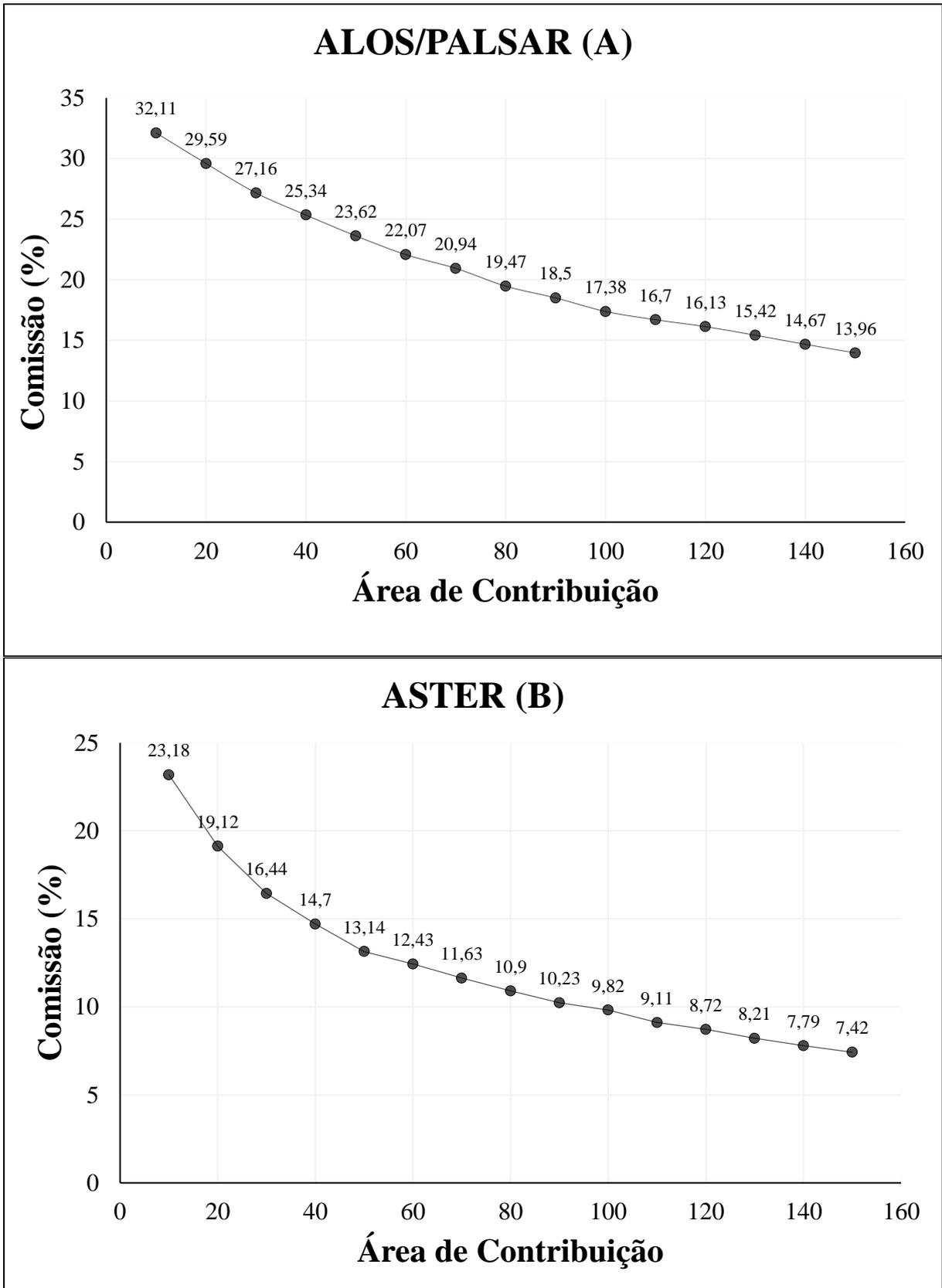


Figura 30 - Representação gráfica dos valores dos erros de comissão – ALOS/PALSAR (A) e ASTER (B).

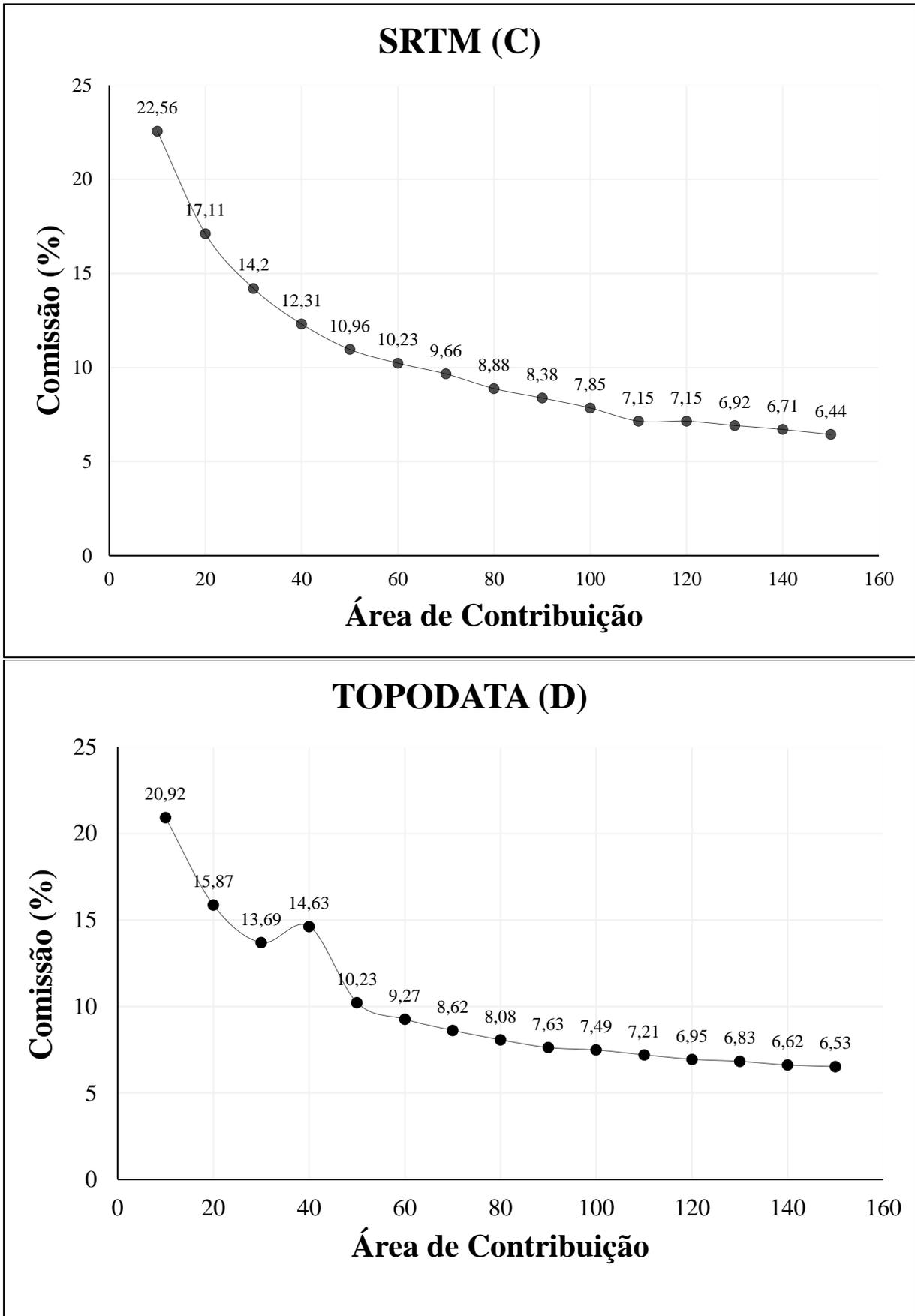


Figura 31 - Representação gráfica dos valores dos erros de comissão –SRTM (C) e TOPODATA (D).

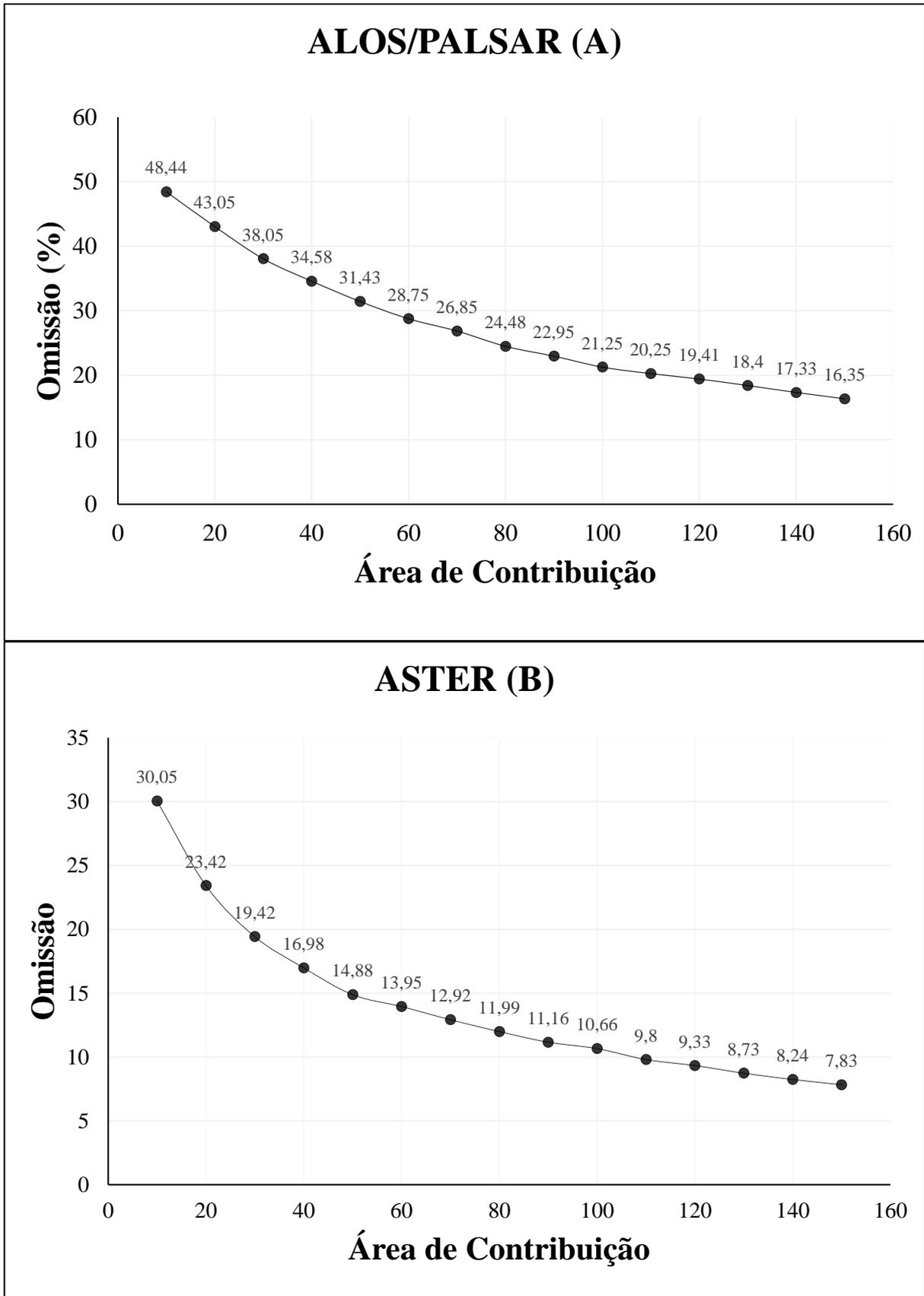


Figura 32 - Representação gráfica dos valores dos erros de omissão – ALOS/PALSAR (A) e ASTER (B).

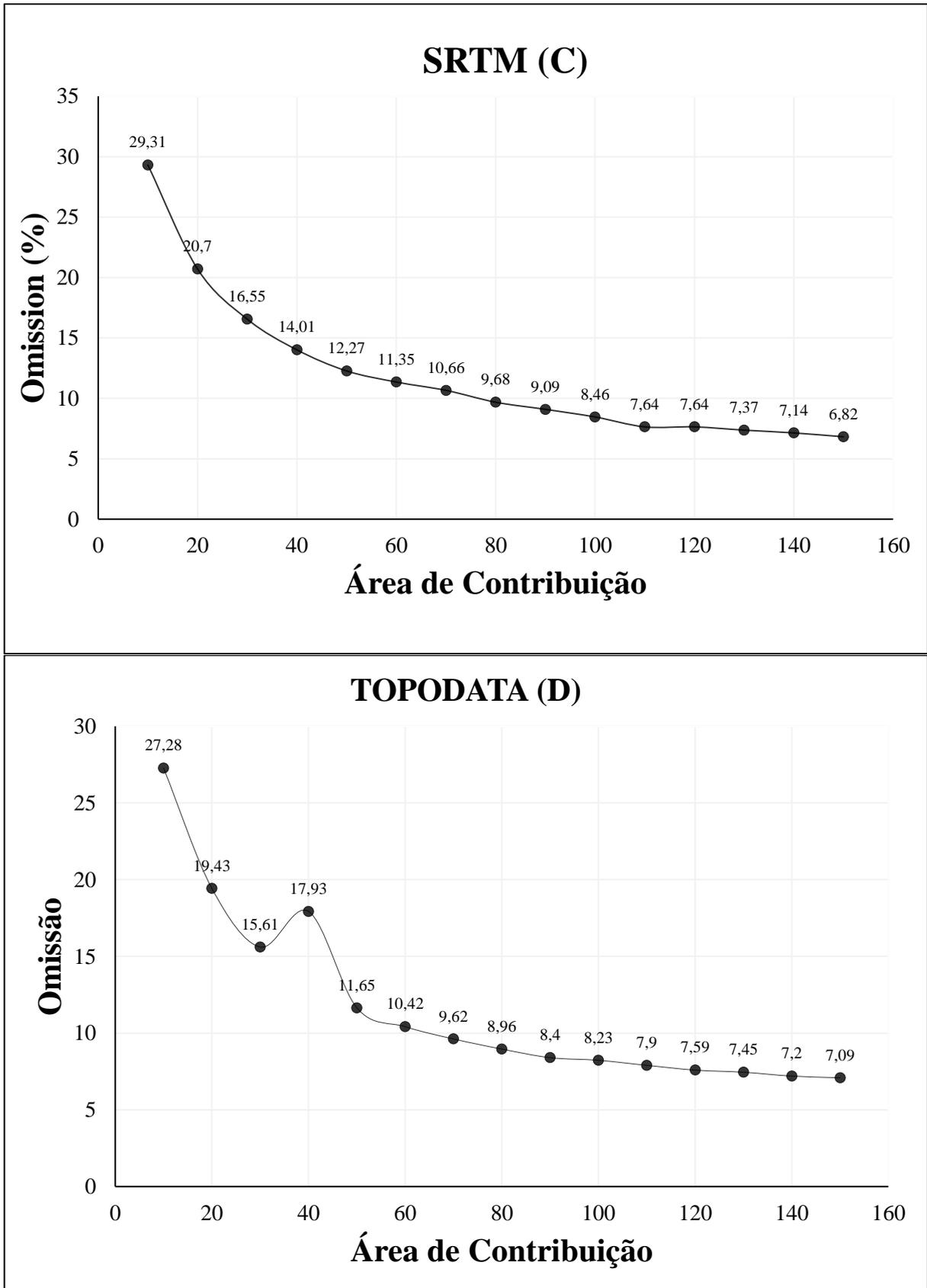


Figura 33 – Representação gráfica dos valores dos erros de omissão – SRTM (C) e TOPODATA (D).

As Figuras 26 e 27 mostram a combinação das células que teoricamente representam “água com água” (1x1) através das matrizes de confusão. Esta combinação é o resultado da correlação da rede vetorizada com as extraídas dos MDEs. Percebe-se que conforme o aumento do valor de área de contribuição os valores do gráfico tendem a cair, esta queda é resultado do recuo dos canais, esta diminuição conseqüentemente diminuem a quantidade de pixels, ocasionando na pouca correlação das redes de drenagem. Observou-se que a queda simultânea dos valores de área de contribuição dos MDEs teve pouca diferença, exceção do ASTER que apresentou valores quase constantes e TOPODATA que apresentou o aumento na combinação do valor de área de contribuição 40. O inverso desta combinação é expresso nas Figuras 28 e 29, que representa o “não água com não água”, onde seus valores tendem a aumentar conforme o aumento dos valores de área de contribuição. As curvas destes MDEs apresentaram semelhanças entre as curvas do índice *Kappa* (Figura 24).

Através das matrizes de confusão foram analisados os erros de comissão (Figuras 29 e 30) e omissão (31 e 32). A omissão se refere a uma definição imperfeita da categoria e comissão refere-se a uma determinação excessiva da categoria. As figuras 29 e 30 (comissão) demonstra que conforme o aumento da área de contribuição, seus valores tendem a cair, assim como a omissão. Fazendo uma análise individual, ou seja, apenas área de contribuição 40 (TOPODATA), observou que os erros de omissão foram de 17,93% quando correlacionada com a rede vetorizada, significando que 17,93% dos pixels que deveriam ser classificados como água, não foram. De igual forma, a comissão deste mesmo valor de área de contribuição e MDE, constatou-se que 14,63% foram indevidamente classificados como pixels com água. Esta mesma analogia serve para os demais MDEs e valores de área de contribuição.

Quadro 1. Valor tabela Z.

(A)

		MDE/ALOS/PALSAR vs CAMPO														
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
MDE/ALOS/PALSAR vs CAMPO	10	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20	21,59	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	30	40,19	18,54	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	40	53,77	32,01	13,40	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	66,14	44,22	25,54	12,11	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	60	77,30	55,22	36,43	22,97	10,84	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	70	85,37	63,16	44,28	30,78	18,63	7,78	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	80	95,71	73,32	54,31	40,75	28,57	17,71	9,92	0	-	-	-	-	-	-	-
	90	102,35	79,83	60,73	47,13	34,92	24,05	16,26	6,34	0	-	-	-	-	-	-
	100	110,06	87,38	68,17	54,52	42,28	31,39	23,59	13,66	7,32	0	-	-	-	-	-
	110	115,07	92,27	72,98	59,30	47,03	36,13	28,32	18,39	12,05	4,73	0	-	-	-	-
	120	119,24	96,35	77,00	63,29	51,00	40,09	32,27	22,34	15,99	8,67	3,94	0	-	-	-
	130	124,08	100,08	81,65	67,90	55,59	44,66	36,85	26,90	20,56	12,23	8,51	4,56	0	-	-
	140	129,25	106,12	86,61	72,82	60,48	49,54	41,72	31,77	25,42	18,09	13,37	9,43	4,86	0	-
	150	134,15	110,90	91,31	77,48	65,11	54,16	46,33	36,38	30,03	22,70	17,98	14,04	9,47	4,61	0

(B)

		MDE/ASTER vs CAMPO														
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
MDE/ASTER vs CAMPO	10	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20	26,37	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	30	42,99	16,57	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	40	54,09	27,61	11,04	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	63,70	37,18	20,60	9,56	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	60	68,20	41,66	25,07	14,04	4,48	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	70	72,58	46,02	29,44	18,41	8,85	4,37	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	80	77,26	50,68	34,10	23,08	13,52	9,04	4,67	0	-	-	-	-	-	-	-
	90	81,12	54,53	37,95	26,92	17,38	12,90	8,53	3,86	0	-	-	-	-	-	-
	100	83,54	56,93	40,36	29,34	19,79	15,32	10,95	3,86	2,42	0	-	-	-	-	-
	110	87,70	61,08	44,51	33,50	23,96	19,59	15,12	6,28	6,60	4,18	0	-	-	-	-
	120	89,86	63,25	46,68	35,67	26,14	21,60	17,30	12,63	8,78	6,46	2,18	0	-	-	-
	130	92,79	66,16	49,60	43,90	29,07	24,60	20,24	15,57	11,72	9,30	5,13	2,95	0	-	-
	140	95,65	69,03	52,47	41,48	31,96	27,59	23,13	18,47	14,62	12,20	8,03	5,84	2,90	0	-
150	98,06	71,43	54,88	43,90	34,38	29,92	25,56	20,9	17,05	14,6	10,5	8,3	5,34	2,44	0	

(C)

		MDE/SRTM vs CAMPO														
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
MDE/SRTM vs CAMPO	10	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20	36,92	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	30	55,87	18,89	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	40	68,02	31,01	12,13	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	75,65	38,68	19,84	7,75	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	60	81,02	43,99	25,13	13,01	5,23	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	70	85,70	48,68	29,83	17,72	9,93	4,71	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	80	89,69	52,68	33,85	21,75	13,96	8,75	4,04	0	-	-	-	-	-	-	-
	90	93,19	56,19	37,37	25,29	17,49	12,30	7,59	3,55	0	-	-	-	-	-	-
	100	96,75	59,76	40,97	28,90	21,09	15,92	11,21	7,17	3,63	0	-	-	-	-	-
	110	101,14	68,18	45,42	33,36	25,56	20,40	15,70	11,67	8,12	4,50	0	-	-	-	-
	120	110,65	64,18	45,42	33,36	25,56	20,40	15,70	11,67	8,12	4,40	0,0	0	-	-	-
	130	110,10	73,78	55,11	43,13	35,33	30,23	25,55	21,53	18,00	14,39	9,90	9,90	0	-	-
	140	103,60	66,66	47,91	35,87	28,06	22,92	18,22	14,19	10,65	7,02	2,53	2,53	7,38	0	-
	150	105,40	68,47	49,74	37,71	29,90	24,77	20,08	16,04	12,50	8,88	4,39	4,39	5,53	1,86	0

(D)

		MDE/TOPODATA vs CAMPO														
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
MDE/ TOPODATA vs CAMPO	10	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20	35,22	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	30	53,43	18,19	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	40	45,48	10,23	7,98	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	71,79	36,59	18,43	26,40	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	60	77,91	42,73	24,59	32,57	6,18	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	70	81,92	46,77	28,65	40,18	10,24	4,07	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	80	85,45	50,32	32,22	42,57	13,83	7,65	3,58	0	-	-	-	-	-	-	-
	90	87,81	52,69	34,61	42,57	16,23	10,06	5,99	2,41	0	-	-	-	-	-	-
	100	88,33	53,22	35,14	43,10	16,77	10,60	6,53	2,95	0,54	0	-	-	-	-	-
	110	90,25	55,16	37,09	45,04	18,72	12,56	8,49	4,91	2,50	1,96	0	-	-	-	-
	120	92,64	57,02	38,96	46,91	20,61	14,44	10,38	6,80	4,39	3,85	1,89	0	-	-	-
	130	92,09	57,58	39,53	47,47	21,18	15,01	10,95	7,37	4,96	4,42	2,46	0,57	0	-	-
	140	94,15	59,10	41,06	49,00	22,72	16,56	12,50	8,92	7,51	5,97	4,01	2,12	1,55	0	-
	150	94,76	59,71	41,68	49,62	23,34	17,18	13,12	9,54	7,13	6,60	4,64	2,75	2,18	0,63	0

	Estatisticamente iguais < 1,96 (5%)
	Estatisticamente iguais < 2,73 (1%)
	Estatisticamente diferentes \geq 1,96 (5%) e 2,73 (1%)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de diferentes MDEs e valores de área de contribuição pode levar a resultados bastantes diferenciados, como observado neste trabalho. Resolução espacial, método de análise de dados foram variáveis que influenciaram diretamente nos resultados obtidos. Portanto a confiabilidade dos dados está relacionada com o tipo de MDE. Com isso, foram identificados neste trabalho que:

- Visualmente o valor de área de contribuição que melhor representou a rede vetorizada foi o 150 nos diferentes modelos avaliados.

- O MDE SRTM, tanto visualmente quanto estaticamente, foi o que apresentou mais variáveis que coincidiram com a rede de drenagem vetorizada. Esta análise foi comprovada através da acurácia global e índice *Kappa*.

- O ALOS/PALSAR, representou de forma mais convincente a declividade e curvas de níveis, isso por consequência de sua resolução espacial, e por ser um sensor que opera na banda L, ou seja, seus comprimentos de ondas são maiores. Porém quando comparado suas redes de drenagem com a de campo, o MDE apresentou resultados insignificantes para o presente estudo.

- O valor de área de contribuição está diretamente ligado com o tipo de relevo e sensor. Recomenda-se o estudo em novas áreas com disponibilidade de dados aerotransportados LiDAR e com diferentes valores de área de contribuição.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, Elienê Pontes de. **Aplicação de Dados SRTM a Modelagem da Erosão em Microbacias por Geoprocessamento**. 2005. 89p. Dissertação, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.
- ARRUDA, Antônio Mario Ribeiro de. **Projeto de Manejo Florestal Sustentável Maior Impacto de Colheita APAPÁ**. Manaus: [s. n.], 2008.
- BARROS, Rafael Silva de; CRUZ Carla Bernadete Madureira. **Avaliação da altimetria do modelo digital de elevação do SRTM**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 1243-1250.
- BENÍCIO, Phablo Costa da Nóbrega; JUNIOR, João Rodrigues Tavares. **Comparação do Uso de Modelos Digitais de Elevação ASTER E TOPODATA para o Estado de Pernambuco, Brasil**. In: XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia e XXVI Expositiva, 27., 2017, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro, 2011. p. 781-785.
- BISPO, Poliana da Conceição; SANTOS, João Roberto; VALERIANO, Márcio de Marisson; GRAÇA, Paulo Maurício Lima de Alencastro; BALZTER, Heiko; FRANÇA, Helena; BISPO, Pitágoras da Conceição. Predictive Models of Primary Tropical Forest Structure from Geomorphometric Variables Based on SRTM in the Tapajós Region, Brazilian Amazon. **PLoS ONE**, v.11, n.4, e0152009, 2016.
- BOLFE, Édson Luis et al. **Avaliação da Classificação Digital de Povoamentos Florestais em Imagens de Satélite Através de Índices de Acurácia**. *Revista Arvore*, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 85-90, 2004.
- CARNEIRO, Vilany Matilla Colares. **Composição florística e análise estrutural da floresta primária de terra firme na bacia do rio Cueiras**. 2004. Dissertação (Mestrado em Biologia Tropical e Recursos Naturais) - Setor de Botânica, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2004.
- CHAGAS, César da Silva; ELPÍDIO Inácio; ROCHA, Márcio F; JÚNIOR, Waldir de Carvalho; NETO, Nestor C. Souza. **Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos**. *R. Bras. Eng. Agric. Amb.*, Campina Grande, v.14, n.2, p. 218-226, 2010.
- COSTA, Carlos Alexandre Gomes *et al.* **Comparação do uso do SRTM para delimitação e caracterização fisiográfica de uma microbacia hidrográfica**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007, p. 4833-4840.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Imagens ALOS/PALSAR**. Disponível em: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_alos.html>. Acesso em: 30 abr. 2018.
- ENGESAT. **Sugestões em imagem de satélite e geoprocessamento - Altimetria Aster**. Disponível em: <<http://www.engesat.com.br/?system=news&eid=378>>. Acessado em: 20 out 2017.

GAROFALO, Danilo Francisco Trovo; LIESENBERG, Veraldo. **Análise comparativa da informação altimétrica presente nos modelos digitais de elevação ASTER GDEM 1 e 2, SRTM e TOPODATA**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 17., 2015, João Pessoa. **Anais...** São João Pessoa: INPE, 2015, p. 2867-2875.

HOFF, Rosemary; DUCATI, José Ricardo; BERGMANN, Magda. **Comparação de Dados de Modelo Digital de Elevação – MDE ASTER e SRTM por processamento digital de imagem para identificação de terroir vitivinícola na Folha Encruzilhada do Sul, RS, Brasil**. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14., 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009, p. 215-222.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados Climáticos**. 2017. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=tempo2/verProximosDias>>. Acesso: 15 set. 2017.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. 2018. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/dados.php>>. Acesso: 22 abr. 2018.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B. & RUBEL, F. **World map of the Köppen-Geiger climate classification updated**. *Meteorologische Zeitschrift*. R, v. 15, n. 3, p. 259-263, June, 2006.

LANDAU, Elena Charlotte; GUIMARÃES, Daniel Pereira. **Análise Comparativa entre os modelos digitais de elevação ASTER, SRTM e TOPODATA**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 4003.

LIESENBERG, Veraldo. **Análise Multi-Angular de Fitofisionomias do Bioma Cerrado com dados MISR/TERRA**. 2005. 120p. Dissertação, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.

MELGAÇO, Lucas de Melo; FILHO, Carlos Roberto de Souza; STEINMAYER, Michael. **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, 2004. p. 1215-1220.

MUNDO GEO. **Dados SRTM 30m**. Disponível em: <<http://mundogeo.com/blog/2014/09/25/dados-srtm-com-resolucao-espacial-de-30-m-sao-disponibilizados/>>. Acesso em: 22 abr. 2018.

OLIVEIRA, Anna Hoffmann *et al.* **Consistência Hidrológica de Modelos Digitais de Elevação (MDE) Para Definição da Rede de Drenagem na Sub-bacia do Horto Florestal Terra Dura, Eldorado do Sul, RS**. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v.36. p. 1269-1267. 2012.

PONZONI, Flávio Jorge; SHIMABUKURO, Yosio Edemir; KUPLICH, Tatiana Mora. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. 2.ed. *Oficina de Textos*. São Paulo, 2012.

RADAMBRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Folha SA 21-Satarém: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso Potencial da Terra.** Rio de Janeiro: Projeto RADAMBRASIL, 1975.

RODRIGUES, Tiago Lima *et al.* **Avaliação da Adequação dos Produtos ASTER GDEM no Auxílio ao Mapeamento Sistemático Brasileiro.** In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 3., 2010, Recife. **Anais.** Recife, 2010. p. 1-5.

SANTOS, César Clemente Pires dos Santos; SHIRAIWA, Shozo. **Padronização de Limiares de Área Acumulada Máxima para Definição de Rede de Drenagem Através de Modelos Digitais de Elevação em Diferentes Escalas.** Caminhos de Geografia. Uberlândia, v.13. p. 228-239, 2012.

SANTOS, Elaine Marra dos. **Análise de Imagens do Satélite ALOS PALSAR (Banda L, Modo Polarimétrico) para Discriminação de Coberturas de Terras do Distrito Federal.** 2009. 120p. Dissertação, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 2009.

SILVA, Fábio Fernandes da. **Avaliação Temática de Imagens ALOS/PALSAR no Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra na Região Semi-Árida Brasileira.** 2010. 66p. Dissertação, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.

TOMAZONI, Julio Caetano; GUIMARÃES, Elisete; GOMES, Tayoná Cristina; SILVA, Taisller Guimarães da. **Uso de Modelos Digital de Elevação Gerados a partir do ASTER GDEM e SRTM para Caracterização de Rede de Drenagem, Eldorado do Sul, RS.** Revista Brasileira de Geografia Física, v.2. p. 365-376. 2011.

TALON, Gustavo da Cruz; KUNTSCHIK, Gerardo. **Delimitação de rede de drenagem utilizando dados SRTM.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 4210-4217

VALERIANO, Márcio de Morisson. **Modelos Digitais de Elevação de Microbacias Elaborados com Krigagem.** 2002. Projeto de Produtividade em Pesquisa, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002.

ANEXO – A. CARTA DE ACEITAÇÃO
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
CENTRO DE ESTUDOS SUPERIORES DE ITACOATIARA
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

ACEITE DE ORIENTAÇÃO

Acadêmico

RAILDO TORQUATO DE SOUZA

Celular: (92) 984356949

E-mail: torquatto.92@gmail.com

Linha de Pesquisa

Manejo Florestal e Geoprocessamento

Professor(a) Orientador(a)

Louri Klemann Júnior – Universidade do Estado do Amazonas – UEA/CESIT

Professor(a) Co-orientador(a)

Veraldo Liesenberg – Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC/CAV

Título do Projeto de Pesquisa ou Tema Delimitado

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE DIFERENTES MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO NA EXTRAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM EM ÁREA SUBMETIDA AO MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL.

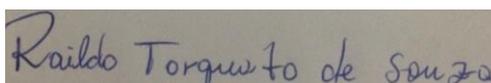
Dia, Horário e Local das Reuniões de Orientação

Dia: Quarta-feira

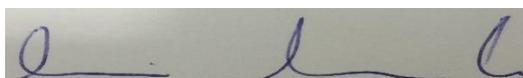
Horário: 10:00h – 12:00h

Local: Laboratório de Biologia

Itacoatiara - AM, 19 de fevereiro de 2018.



Acadêmico



Professor(a)-orientador(a)