



## COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO DOS SENSORES SRTM E ALOS PALSAR PARA ANÁLISE DIGITAL DE TERRENO

Renê Jota Arruda de Macêdo

Universidade Federal do Vale do São Francisco, Colegiado de Ciências da Natureza, São  
Raimundo Nonato, PI, Brasil.

[rene.macedo@univasf.edu.br](mailto:rene.macedo@univasf.edu.br)

Leandro Surya

Universidade Federal do Vale do São Francisco, Colegiado de Arqueologia e Preservação  
Patrimonial, São Raimundo Nonato, PI, Brasil.

[leandro.surya@univasf.edu.br](mailto:leandro.surya@univasf.edu.br)

**RESUMO** – Modelos digitais de elevação (MDE) são importantes fontes de dados para se realizar mapeamentos e análises quantitativas de determinadas áreas da superfície terrestre a um baixo custo. Neste artigo foi realizado um comparativo dos MDE SRTM e ALOS através da extração de atributos básicos do relevo, como: elevação, declividade, aspecto, relevo sombreado e rugosidade do terreno. Além disso, foram gerados gráficos de densidade e frequência acumulada para verificar a distribuição dos dados de cada modelo. Para melhor visualizar as diferenças, utilizou-se uma área de interesse aproximada (Polígono de Interesse). Os atributos de relevo refletiram as diferenças do grau de detalhe de mapeamento de cada sensor. Os mapas derivados do modelo ALOS, com maior resolução, permitiram mapear morfologias de mesoescalas como variações intermediárias na elevação, aumento dos valores do declive e detalhamento do relevo sombreado e dos azimutes dos declives em vertentes antes não discretizadas pelo MDE SRTM.

Palavras-chave: Análise digital de terreno; Geomorfometria; Índice de Rugosidade Topográfica; R.

### SRTM AND ALOS PALSAR DIGITAL ELEVATION MODELS CAMPARINSON FOR DIGITAL TERRAIN ANALYSIS

**ABSTRACT** – Digital elevation models (DEM) are important data sources to perform quantitative analysis and mappings to a specific landscape area at low cost. In this work, we carried a comparative analysis between SRTM and ALOS DEM's by terrain attributes such as elevation, gradient, aspect, hillshade and terrain ruggedness. Besides, density and cumulative frequency were plotted to verify data frequency distribution from each model. To better maps visualization, a small area defined by a polygon was used in both DEM's. The basic terrain attributes had differed by the resolution of each sensor model. Maps derived from ALOS, with bigger resolution, provided to survey mesoscale features like intermediate rate elevation, increasing of gradient values and detailing of hillshade and aspect of slopes not discretized by SRTM DEM.

Keywords: Digital Terrain Analysis; Geomorphometry; Topographic Ruggedness Index; R.

## INTRODUÇÃO

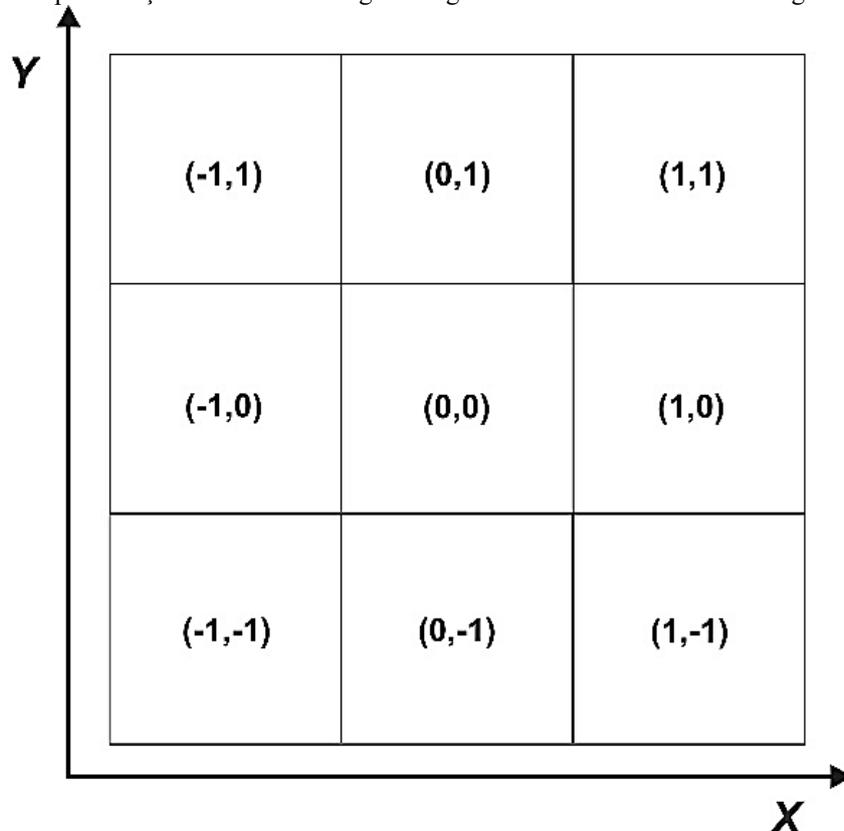
O modelo digital de elevação (MDE) é uma representação digital matemática da superfície terrestre (Zhilin, 2004). Para um conjunto de dados coordenados no espaço, temos um valor correspondente de elevação de um ponto da superfície do terreno. Deste modo, a superfície terrestre pode ser representada por uma função  $z = f(x,y)$ , isto é, para cada coordenada no plano  $xy$  de um ponto, este possui uma elevação  $z$ . Para modelagem de terreno é necessário que uma

função polinomial passe por todos os pontos do MDE de modo que através dela seja possível extrair atributos do relevo.

A construção de um MDE depende de uma fonte de dados que disponha os valores de elevação da superfície terrestre num conjunto numérico coordenado. Os dados que compõe um MDE divergem em alguns fatores tais como distribuição espacial dos dados e resolução da área que será representada num pixel.

A forma mais difundida e mais simples de se trabalhar são os MDE de grade regular que forma uma malha de pontos coordenados igualmente espaçados no plano xy (Figura 1). A vantagem em se trabalhar nestes tipos de dados é que, além de fácil computação de atributos do relevo, não há necessidade, a priori, de realizar interpolação (Florinsky, 2012). Além disto, não é necessário grandes investimentos em termos de *hardware* e *software*, existe também um gama de ferramentas *open source* como o Quantum GIS, GRASS e a linguagem computacional R.

Figura 1. Representação de um MDE de grade regular de dimensão 3 x 3 com origem no centro



### MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO: SRTM E ALOS PALSAR

O sensor da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) da NASA é um dos mais conhecidos e confiáveis na disponibilização e utilização de suas imagens para análises digitais. Foi o primeiro sensor, lançado em 2000, a produzir o mais completo mapeamento da topografia terrestre (Farr et al, 2007).

Ao assumir que a topografia é um fenômeno dependente da escala (Florinsky, 2012), as imagens da missão SRTM disponíveis podem não ser suficientes para caracterização de determinadas feições devido a resolução espacial máxima alcançada por este tipo de imagem. O MDE SRTM é distribuído na resolução de 30 m para o território dos EUA e de 90 m para as demais áreas continentais. O Brasil possui estes dados na resolução de 30 m derivados de interpolação dos modelos de 90 m (Valeriano & Rossetti, 2011), os quais podem ser adquiridos

na plataforma TOPODATA de dados geomorfométricos disponibilizada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

O sensor PALSAR do satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) foi lançado em 2006 pela missão da agência de exploração aeroespacial japonesa (*Japan Aerospace Exploration Agency* - JAXA). A coleta de dados do sensor PALSAR durou até 2006 e foi projetado com mais dois instrumentos para contribuir no mapeamento da topografia terrestre, precisão no monitoramento da cobertura vegetal e de desastres e no levantamento de recursos naturais (ASF DAAC, 2018). Os MDE ALOS PALSAR podem ser adquiridos gratuitamente, já corrigidos e projetados no sistema UTM WGS84, nas resoluções baixa e alta, de 30 m e 12,5 m, respectivamente.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A comparação entre os MDE dos referidos sensores se deu pela visualização por mapas de elevação e dos atributos do relevo derivados dos valores das elevações que compõem a grade de cada imagem, bem como da análise quantitativa de alguns atributos.

Foram utilizadas duas imagens do sensor SRTM e uma do ALOS PALSAR (Tabela 1). A região da superfície terrestre corresponde à porção sudeste da borda da Bacia Sedimentar do Parnaíba e a faixa Riacho do Pontal, na área do município de São Raimundo Nonato, Piauí. O MDE ALOS vem projetado no datum WGS84, zona 23 do sistema UTM no quadrante 721074.3E, 801811.8E, 8967703N, 9040815N. O MDE oriundo das imagens SRTM passaram por mosaicagem, recorte para a mesma dimensão e reprojeção para o datum do modelo ALOS para que compreendessem a mesma área de extensão e padronização dos sistemas de referência.

**Tabela 1.** Dados das imagens utilizadas para extração de atributos do relevo

SENSOR	QTD	REFERÊNCIA	RESOLUÇÃO ESPACIAL	FONTE
SRTM	02	08S435 09S435	~30 m (interpolado)	<a href="https://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/">https://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/</a>
ALOS PALSAR	01	AP_13142_FBD_F 7000_RT1	12,5 m (L1.1)	<a href="https://vertex.daac.asf.alaska.edu/">https://vertex.daac.asf.alaska.edu/</a>

O pré-processamento e extração dos atributos do relevo nas duas imagens foram realizados utilizando a linguagem computacional R (R Core Team, 2014) através do ambiente de desenvolvimento RStudio (RStudio Team, 2015). Os atributos básicos de relevo extraídos para esse trabalho foram: elevação, declividade, aspecto, sombreamento e rugosidade do terreno, este último a partir do *Topographic Rouggedness Index* (TPI), baseado no algoritmo de Riley et al (1999) e utilizado por Wilson et al (2007).

As formulações de cada atributo (Tabela 2) e os procedimentos de extração podem ser vistos em Macêdo & Floquet (2017). A derivação destes parâmetros podem ser executadas diretamente pela aplicação de uma função focal, que se move numa subgrade de 3x3 pixels por todos os elementos do MDE, pela qual encontram-se os valores para o pixel central da subgrade. Em softwares livres como Quantum GIS esta função já vem embutida facilitando a extração destes parâmetros para usuários que não possuem prática em programação.

Na linguagem R, para este trabalho, utilizou-se a biblioteca raster que compreende os algoritmos necessários para derivar os atributos do relevo sobre um MDE através da função focal nativa desta biblioteca.

**Tabela 2.** Atributos do relevo derivados dos MDE

Atributo	Descrição	Equação
Declividade	Taxa de variação da elevação	$S = \arctan(\sqrt{p^2 + q^2})$
Aspecto	Azimute da declividade	$A = 180 \arctan(q/p) + 90(p/abs(p))$
Sombreamento	Reflectância e sombra	$H_s = \cos(S)\cos(\theta_0) + \sin(S)\sin(\theta_0)\cos(\phi - A)$
Rugosidade (TRI)	Complexidade do terreno	$TRI = 1/8 \sum_{Z_{-1,1}}^{Z_{1,-1}} (Z_{ij} - Z_{00})$

\**p e q são derivadas parciais nas direções x e y, respectivamente;  $\theta_0$  = ângulo zenital solar e  $\phi$  = ângulo azimutal solar;  $Z_{-1,1}$  = primeiro pixel da subgrade 3x3;  $Z_{1,-1}$  = último pixel da subgrade 3x3;  $Z_{ij}$  = pixel amostrado da subgrade;  $Z_{00}$  = pixel central da subgrade 3x3.*

A partir dos dados dos modelos e atributos derivados, gráficos de densidade e frequência acumulada foram gerados a fim de compreender as diferenças nas distribuições dos valores de cada MDE dos sensores estudados.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os metadados dos MDE permitem verificar as diferentes características de cada raster (Tabela 3). Devido a maior resolução espacial, o modelo ALOS apresenta aproximadamente 6 vezes mais pixels que o SRTM, isto é, um aumento de mesma magnitude dos alvos no pixel. Deste modo, uma maior amostragem aumenta significativamente o tempo de processamento para visualização e extração dos atributos do relevo, exigindo um maior poder de processamento, memória e armazenamento para os produtos derivados do MDE ALOS.

**Tabela 3.** Comparação entre as dimensões dos MDE para uma mesma área

SENSOR	DIMENSÕES			ELEVAÇÃO (m)		ÁREA DO PIXEL
	LINHAS	COLUNAS	Nº DE PIXELS	MÍNIMO	MÁXIMO	
SRTM	2.397	2.647	6.344.859	258	663	900 m <sup>2</sup>
ALOS PALSAR	5.849	6.459	37.778.691	247	648	156,25 m <sup>2</sup>

Visualmente, as imagens de elevação ALOS e SRTM são indistinguíveis entre si. Ao realizar uma composição de imagem de elevação e relevo sombreado, e aproximar numa determinada área, que aqui será chamada de polígono de interesse (POI), é possível visualizar as diferenças (Figura 2). O MDE SRTM suaviza a superfície ao passo que detalhes se destacam no MDE ALOS, principalmente nos entalhes ao longo dos paredões dos cânions que se desenvolvem a partir da cuesta e pequenas cabeceiras de drenagem, antes indiscrimináveis.

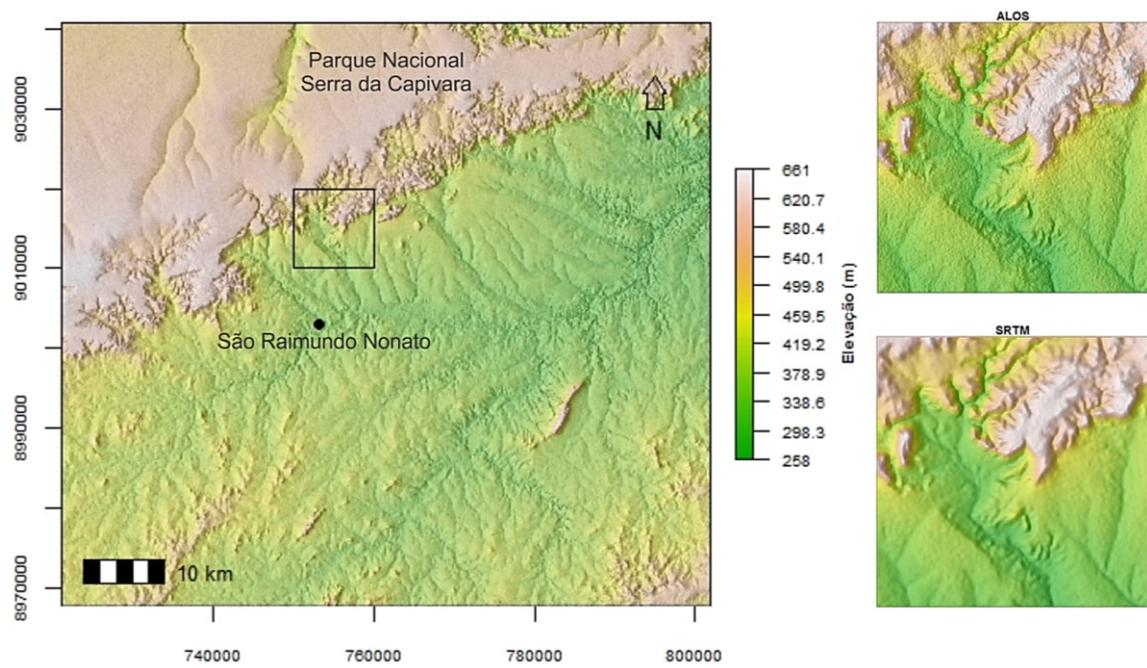
A distribuição dos valores de elevação também variam, como podem ser vistos no gráfico de densidade e frequência acumulada (Figura 3). Observa-se que a curva do MDE SRTM é mais suave apresenta um leve deslocamento dos intervalos de elevação para à direita.

A diferença na distribuição das frequências e seu deslocamento nos valores de elevação pode estar relacionada com a densidade de amostragem da superfície, que é superior no MDE ALOS, e ao processo de interpolação de dados brutos de 90 m refinando-os para 30 m no MDE SRTM (Valeriano & Rossetti, 2011) gerando artefatos. Em modelos de baixa resolução, vales e picos podem desaparecer, dependendo da complexidade do terreno (Hengl, 2006).

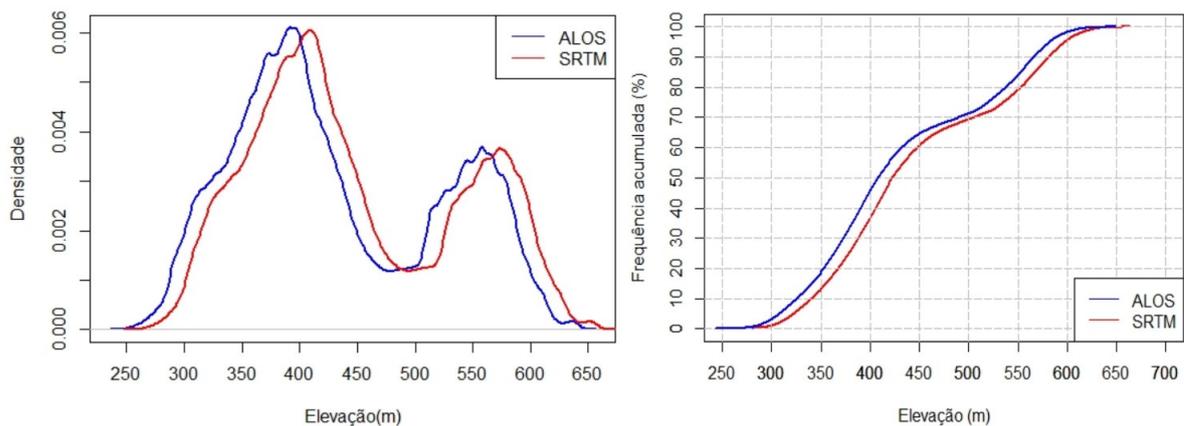
A área das imagens é de uma região limítrofe entre duas províncias geológicas com relevos bastante distintos e com uma certa complexidade acentuada na *cuesta* com morfologias ruiformes que se projetam sobre o embasamento cristalino. Observa-se que a frequência de elevação é bimodal com densidades concentradas entre 300 e 450 m que correspondem às altitudes do embasamento e entre 500 e 620 m que correspondem ao reverso da *cuesta*.

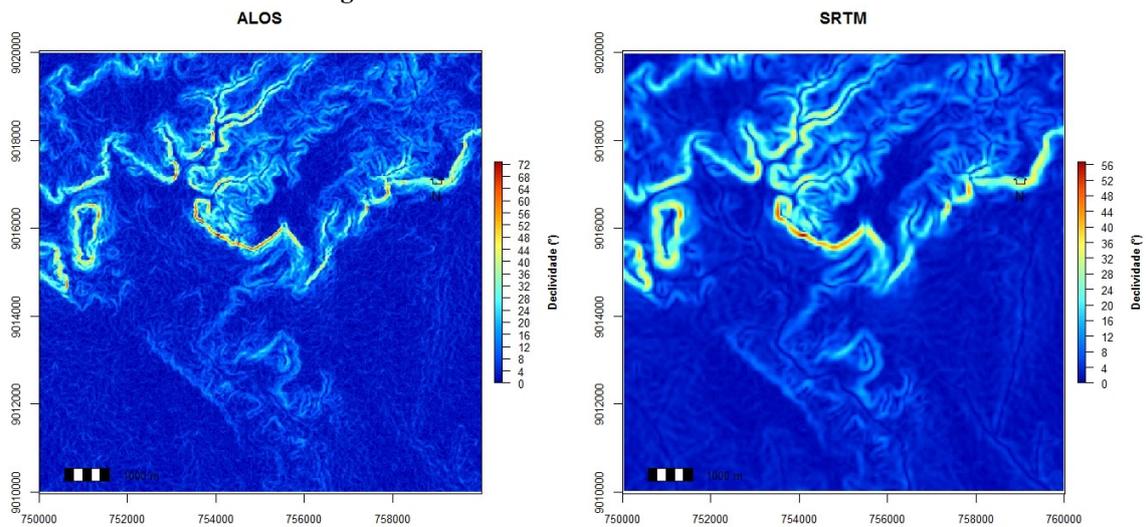
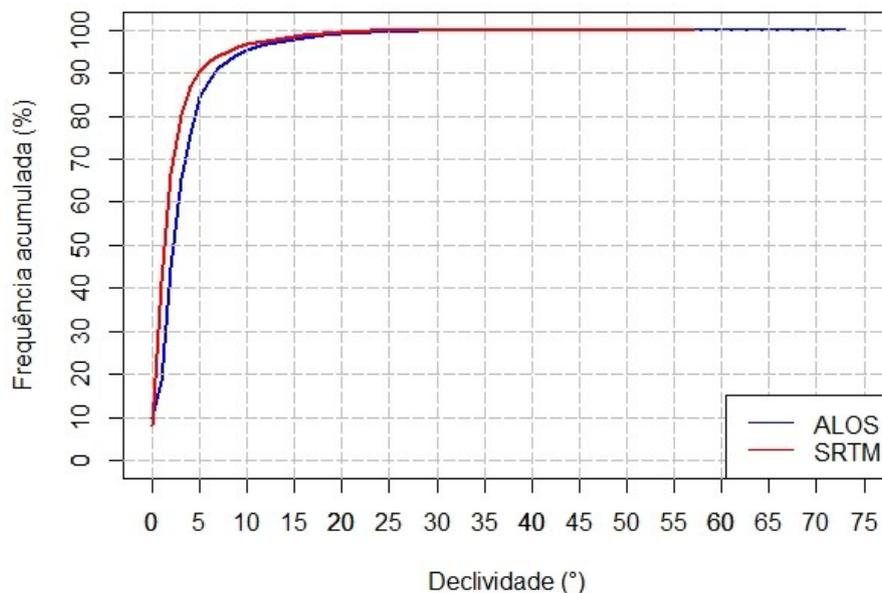
Nas medidas de declividade no MDE ALOS ocorre aumento significativo na amplitude dos gradientes, que varia de 0 a 73°, ao passo que no SRTM a amplitude é menor, de 0 a 57°. Visualmente (Figura 4 - área do POI), há maior refinamento nos gradientes das áreas da borda da Bacia Sedimentar, com destaques para as escarpas erosivas dos cânions cujos declives são acentuados. O maior detalhamento do mapeamento de vertentes reflete diretamente no comparativo das frequências acumuladas de ambos os modelos para toda a área (Figura 5).

**Figura 2.** Composição de imagens de elevação e relevo sombreado da região do MDE com aproximação a um POI da borda da Bacia do Parnaíba



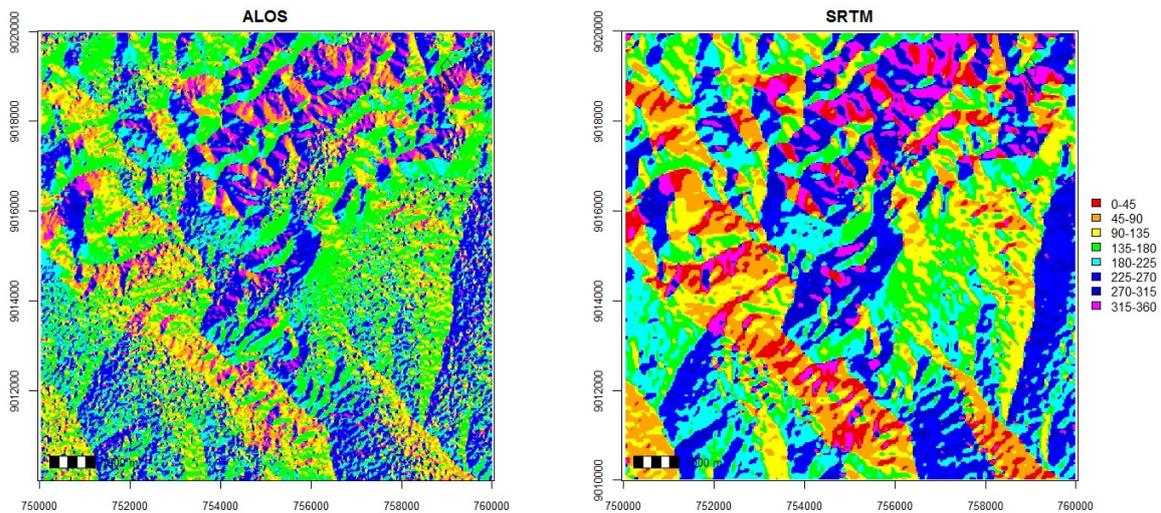
**Figura 3.** Densidade e curva de frequência acumulada de elevação



**Figura 4.** Declividade do terreno na área do POI**Figura 5.** Frequência acumulada da declividade para a área total dos MDE ALOS e SRTM

No MDE ALOS, cerca de 80% dos gradientes são de 0° a 5° enquanto que no SRTM a mesma taxa percentual compreende aproximadamente o intervalo de 0° a 3°. Este efeito é esperado pelo aumento da resolução espacial, haja vista que numa vertente longa é mais provável que valores intermediários sejam amostrados, de modo que, em baixas resoluções, estes passem despercebidos pela baixa densidade de amostragem.

O mapa de aspecto determina as orientações de declives num plano horizontal com medidas a partir do norte geográfico. O MDE SRTM apresenta de modo generalizado os azimutes dos declives, com três ou quatro orientações nas encostas dos vales (Figura 6). O modelo ALOS permite caracterizar pequenas variações nestas encostas discretizando até mais de quatro azimutes para uma mesma vertente.

**Figura 6.** Mapas de aspecto dos MDE ALOS e SRTM na área do POI

O índice de rugosidade TRI tem por propósito quantificar a heterogeneidade do terreno (Riley et al., 1999). O modo de computação desta variável determina o quão varia a altitude de um ponto em relação aos pontos adjacentes. No comparativo dos modelos (Figura 7), observa-se que no MDE SRTM a amplitude é um pouco maior, de 0 a 36. Visualmente, em ambos os modelos concentram-se maiores índices no relevo ruiforme da borda da Bacia. Identifica-se uma relação inversa concernente à resolução - quanto maior a resolução menor é o índice de rugosidade (Figura 8).

O TRI é uma medida da média das diferenças de elevação e, portanto, no MDE SRTM, a baixa quantidade de pixels que representam a superfície tende a não amostrar desníveis intermediários de alguns declives. Por isso, a discrepância de altitude leva a um aumento nos valores de TRI pelas elevadas diferenças entre os níveis nas áreas do embasamento para o topo do reverso da cuesta nos limites da Bacia do Parnaíba. No MDE ALOS, a alta densidade captura parte dos desníveis, suavizando a relação entre as diferenças de altitude dos pontos, gerando um índice menor, cuja área apresenta 70% dos pixels com TRI de 0 a 1 enquanto que o mesmo percentual aproximado só ocorre com TRI igual a 2 para imagem SRTM.

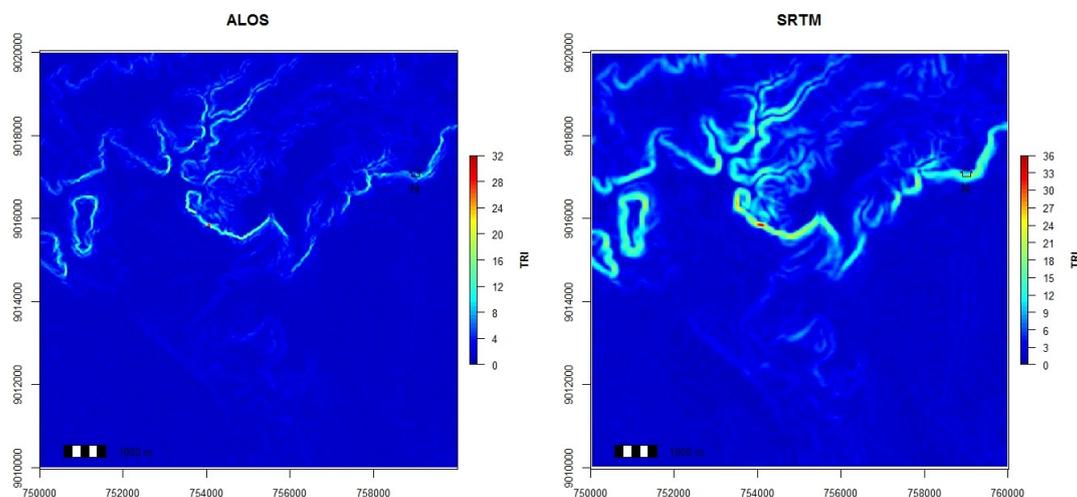
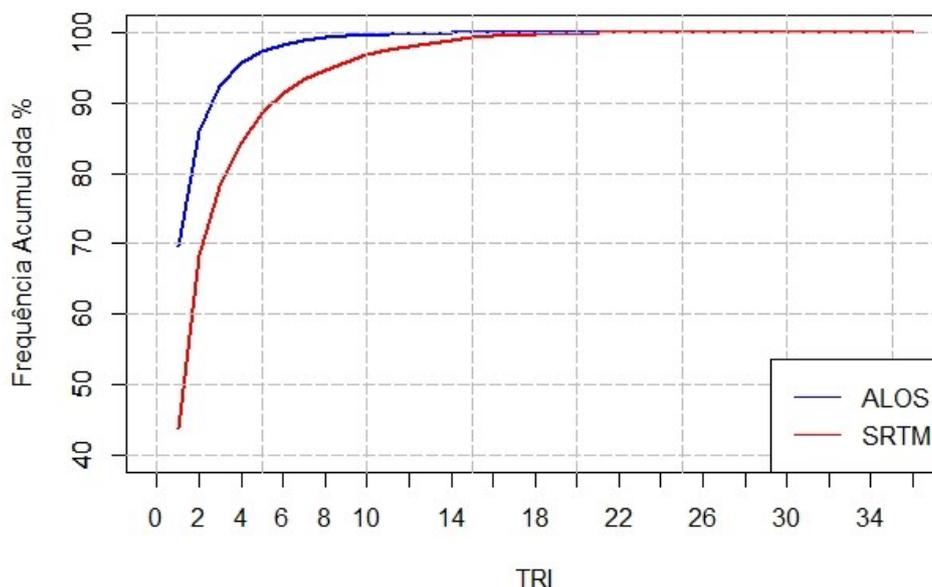
**Figura 7.** Rugosidade do terreno da área do POI

Figura 8. Frequência acumulada do TRI para o POI



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foram realizadas modelagens de terreno extraíndo-se alguns atributos básicos do relevo para fins comparativos entre MDE dos sensores ALOS PALSAR e da missão SRTM, distribuídos gratuitamente. Seguem as principais conclusões:

- O fenômeno geomorfológico é dependente da escala, assim, observou-se este efeito na resolução, isto é, nos modelos ALOS, de maior resolução, foi possível discretizar uma maior quantidade de feições morfológicas antes não mapeáveis nos modelos SRTM;
- A respeito da visualização de mapas na comparação destes modelos, as diferenças só são sutis quando há uma aproximação numa determinada área de interesse;
- O MDE ALOS demanda uma maior capacidade do computador para o processamento dos dados;
- O MDE ALOS é apropriado para mapeamento de morfologias de mega e mesoescalas, enquanto que o MDE SRTM, disponibilizado pelo INPE, é propício para megaescala.
- Devido a diferença do tamanho do pixel o MDE SRTM tende a suavizar a superfície ao passo que os detalhes se destacam no MDE ALOS.

## REFERÊNCIAS

ASF DAAC. Alaska Satellite Facility Distributed Active Archive Center. Disponível em: <https://www.asf.alaska.edu/sar-data/palsar/about-palsar/>

Acesso em: 20/12/2018.

FARR, T. G.; ROSEN, P. A.; CARO, R.; CRIPPEN, R.; DUREN, R.; HENSLEY, S.; KOBRICK, M.; PALLER, M.; RODRIGUEZ, E.; ROTH, L.; SEAL, D.; SHAFFER, S.; SHIMADA, J.; UMLAND, J.; WERNER, M.; OSKIN, M.; BURBANK, D.; ALSDORF, D. The shuttle radar topography mission. *Reviews of Geophysics*, 45, RG2004.

FLORINSKY, I. V. Digital terrain analysis in soil science and geology. 1ª ed. Russia: Elsevier, 2012.

HENGL, T. Finding the right pixel size. *Computers & Geoscience*, 32: 1283-1298. 2006.

MACÊDO, R. J. A.; FLOQUET, S. Análise digital de terreno utilizando a linguagem computacional R: exemplo de aplicação. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 18(2): 443-463. 2017.

R Core Team. 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <http://www.R-project.org/>.

RILEY, S. J.; DeGLORIA, S. T.; ELLIOT, R. A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity. *Intermountain Journal of Sciences*, 5(1-4): 23-27. 1999.

RStudio Team. 2015. RStudio: Integrated development for R. RStudio, Inc., Boston, MA. Disponível em: <http://www.rstudio.com>.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. *Applied Geography (Sevenoaks)*, 32: 300-309. 2011.

WILSON, M. F. J.; O'CONNELL, B.; BROWN, C.; GUINAN, J. C.; GREHAN, A. Multiscale Terrain Analysis of Multibeam Bathymetry Data for Habitat Mapping on the Continental Slope. *Marine Geodesy*, 30: 3-35. 2007.

ZHILIN, LI; ZHU, Q.; GOLD, C. Digital terrain modeling: principles and methodology. Flórida: CRC PRESS, 2004.