

## COMPARAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO OBTIDOS A PARTIR DE DIFERENTES BASES DE DADOS - CURVAS DE NÍVEL E PONTOS COTADOS IBGE, LIDAR, SRTM E ALOS

C. H. Barra Rocha<sup>1</sup>, D. Vasconcelos<sup>1,2</sup>, L. V. Souza<sup>3</sup>, F. J. Silveira<sup>3</sup>, M. M. M. Machado<sup>3</sup>, L. L. Almeida<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil

<sup>2</sup>Terceiro Comando Operacional dos Bombeiros, MG, Brasil

<sup>3</sup>NAGEA, UFJF, Brasil

Comissão VI - Sistemas de Informações Geográficas e Infraestrutura de Dados Espaciais

### RESUMO

No campo da Geomática, o uso de Modelos Digitais de Elevação - "MDEs" são importantes para compreender a maior parte dos processos que ocorrem na superfície da Terra, sendo cada vez mais difundido o uso de sensores de radar de abertura sintética (SAR) como o SRTM e o ALOS. Este trabalho tem como objetivo comparar a qualidade dos resultados gerados por MDEs obtidos a partir do SRTM, ALOS e IBGE com o LIDAR, considerado como referência. Para a comparação, utilizou-se pontos cotados e curvas de nível de uma base cadastral obtida por tecnologia LIDAR em Juiz de Fora (MG). Os resultados indicaram que as curvas de níveis do ALOS ficaram com a geometria mais próxima a do LIDAR. Os valores modulares das medianas das diferenças de altitudes de cerca de 38.910 pontos cotados da base LIDAR do município com relação ao ALOS, SRTM e IBGE foram 0,87 m, 1,56 m e 3,95 m, respectivamente. A diferença submétrica entre o ALOS e o LIDAR traz perspectivas otimistas no uso de MDEs gerados a partir desse sistema em locais com ausência de dados altimétricos.

**Palavras-chave:** DEM, Altimetria, Imagens de Radar.

### ABSTRACT

In the field of Geomatics, the use of Digital Elevation Models - "DEMs" are important to understand most of the processes that occur on the Earth's surface, and the use of synthetic aperture radar (SAR) sensors is increasingly widespread as the SRTM and the ALOS. This work aims to compare the quality of results generated by DEMs obtained from SRTM, ALOS and IBGE with LIDAR, considered as a reference. For the comparison, quoted points and contours of a cadastral base obtained by LIDAR technology in Juiz de Fora (MG) were used. The results indicated that the ALOS level curves had the geometry closest to the LIDAR. Modular values of the medians of the altitudes differences of about 38,910 points of the LIDAR base of the municipality with respect to ALOS, SRTM and IBGE were 0.87 m, 1.56 m and 3.95 m, respectively. The sub-metric difference between ALOS and LIDAR brings optimistic perspectives in the use of DEMs generated from this system in places with no altimetric data.

**Keywords:** DEM, Altimetric, Radar Images.

#### 1- INTRODUÇÃO

O uso indiscriminado de bases de dados sem a devida preocupação com as suas limitações em termos de acurácia e precisão tem frustrado vários projetos importantes no Brasil e no Mundo. A perda de credibilidade nos resultados e gastos de recursos públicos leva ao aumento das pesquisas, principalmente pela falta de bases de dados altimétricas cadastrais no país. O vazio cartográfico impede o desenvolvimento de várias áreas que sofrem devido a falta de projetos: a falta de bases confiáveis não

permite a elaboração de projetos para conseguir recursos, criando-se um ciclo vicioso.

O custo dos levantamentos aerofotogramétricos, como por exemplo a tecnologia LIDAR, ainda é inacessível para muitos municípios do Brasil. O planejamento urbano necessário para criar cidades resilientes e inteligentes fica distante nessa perspectiva de ausência de dados, impulsionando pesquisas que tentem mensurar a qualidade de bases de dados livres.

Nas ciências que trabalham sobre o espaço, o uso de Modelos Digitais de Elevação, "MDEs" são

importantes para compreender os processos que ocorrem na superfície da Terra, sendo essenciais para as análises urbano-ambientais.

Os sensores ópticos apresentam determinadas limitações no seu uso, pois dependem da ausência de cobertura de nuvens ou de fumaça durante o imageamento, além da sua capacidade de penetração estar restrita à superfície superior do dossel ou do solo (MENESES, 2001). Para superar essa limitação, é bem difundido o uso de sensores de radar de abertura sintética (SAR), como os dados derivados do modelo digital de elevação (MDE) da *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM e do sensor PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*) a bordo do Satélite Japonês *Advanced Land Observing Satellite* – ALOS. Esses modelos permitem calcular diretamente volumes, áreas, desenhar perfis e seções transversais, gerar curvas de nível, declividade, perspectivas tridimensionais, modelos de sombreamento, dentre outras aplicações (INPE, 2017).

Este trabalho tem como objetivo comparar a qualidade dos resultados gerados por MDEs obtidos a partir de dados de radar gratuitos como o SRTM e o ALOS / PALSAR, a base cartográfica do IBGE e o LIDAR, considerado como referência nesse artigo.

## 2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Um Modelo Digital de Elevação (MDE) é uma representação matricial regular das altitudes. Ele é uma camada de dados fundamental para a delimitação de bacias hidrográficas, unidade de análise mais apropriada para estudos ambientais e urbanos. Ele pode ser obtido por interpolação das curvas de nível de mapas topográficos realizadas a partir levantamento altimétrico convencional (topografia, GPS ou aerofotogrametria) ou por técnicas de sensoriamento remoto.

No Brasil, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016) fornece cartas topográficas vetoriais da escala de 1:25.000 a 1:250.000 com as curvas de nível. Essa base de dados foi trabalhada em Minas Gerais pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM, 2016) que corrigiu erros topológicos e disponibilizou a mesma base de dados tratada com curvas de nível e pontos cotados nas escalas de 1:50.000 e 1:100.000. Vale destacar o Exército Brasileiro que disponibiliza através do Banco de Dados Geográficos do Exército (EB, 2017), cartas vetoriais com curvas de nível do território nacional.

O *Shuttle Radar Topography Mission* - SRTM<sup>1</sup>, com resolução nativa de 1 arco-segundo (USGS, 2017) é disponibilizado através do site *Earth Explorer do United States Geological Survey*. O MDE é disponível em formato GeoTiff de 1°lat\*1°long e um arco-segundo de resolução espacial horizontal, equivalente a aproximadamente 30 m. Farr et al. (2007) afirmam que o objetivo da missão era chegar ao erro

circular absoluto na geolocalização < 20 m e relativo < 15 m; erro vertical absoluto nas alturas < 16 m e relativo < 10 m. O erro na altura relativa dos dados SRTM da banda X < 6 m. Rodriguez et al. (2006) publicaram sobre a campanha terrestre global para validar esse conjunto de dados SRTM, que obteve com 90% de confiabilidade os seguintes resultados na América do Sul: erro circular absoluto na geolocalização de 9 m; erro absoluto na altura de 6,2 m e relativo de 5,5 m.

Segundo Oliveira (2017), o satélite ALOS é um projeto conjunto entre a *Japan Aerospace Exploration Agency* (EORC/JAXA, 2007) e a *Japan Resources Observation System Organization* (JAROS). Seu desenvolvimento tem como um dos principais objetivos proporcionar dados de observação da Terra que contribuam ao desenvolvimento sustentável, cartografia topográfica, vigilância do meio ambiente, desastres e mudanças climáticas em todo o mundo. O satélite dispõe de três instrumentos: dois instrumentos ópticos, PRISM (*Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping*) e AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near-Infrared Radiometer type 2*) e um radar polarimétrico de abertura sintética de banda larga PALSAR (*Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar*).

Segundo Egg (2015), o sensor PRISM permite a obtenção de pares estereoscópicos, uma vez que ele é dotado de três detectores posicionados em visadas distintas, uma a nadir (Nadir), uma a vante (Forward) e outra a ré (Backward). Este sensor com resolução de 2,5 m apresenta a possibilidade de realização de mapeamento planialtimétrico na escala de 1:25.000 ou melhor. Estas imagens podem ser utilizadas para a obtenção de Cartas Topográficas e extração de Modelos Digitais de Elevação e Superfície, tornando-se uma alternativa viável para a atualização da cartografia nacional, se comparada a outros satélites.

Entretanto, o ALOS só está disponível gratuitamente na *Alaska Sattelite Facility* (ASF, 2017) através do sensor PALSAR no modo FBD que fornece um DEM com resolução espacial de 12,5 m.

Segundo Dalmolin e Santos (2004) o sistema laserscanner é uma tecnologia emergente composto por três componentes principais: GPS, SMI (sistema de medição inercial) e o laser. O LIDAR – Light Detection and Ranging é um sistema de varredura ótico-mecânico que emite e recebe pulsos de laser para medir a distância entre o sensor e o objeto alvo. Sua precisão e acurácia (exatidão) estão relacionados aos componentes que compõem o sistema. A Prefeitura de Juiz de Fora contratou essa tecnologia em 2007 (Juiz de Fora, 2007) para montagem de uma base de dados cadastral ao custo de aproximadamente R\$ 4 milhões de reais. Essa base de dados com curvas de nível de 1 m na área urbana, 5 m na área rural e cerca de 38.910 pontos cotados foi utilizada como referência para a comparação dos MDEs.

### 3- METODOLOGIA

A montagem da base de dados foi com o ArcGIS @ 10.2 da ESRI que é um Sistema de Informação Geográfica amplamente utilizado nas Ciências Ambientais.

A comparação partiu do princípio de utilizar os pontos cotados da base LIDAR de Juiz de Fora para extrair nos MDEs citados as respectivas cotas, todas no referencial WGS 84. Primeiramente com o MDE, fez-se a conversão para formato TIN usando a ferramenta 3D analyst tool > conversion > from raster > raster to TIN. Foi utilizada uma tolerância no eixo Z de 20 metros e um número máximo de 150.000.000 pontos para se fazer a triangulação, gerando a superfície do TIN.

Após gerar a superfície em 3D do TIN, aplicou-se a ferramenta 3D analyst tool > functional surface > add surface information, obtendo-se as cotas dos pontos, tendo-se como referência o modelo TIN gerado na etapa anterior. O resultado desse procedimento estará na tabela de atributos dos pontos onde será criada uma nova coluna com as cotas geradas a partir do MDE e TIN de cada base de dados. O próximo passo é converter esses dados para excel com a ferramenta Conversion tool > excel > table to excel. Será exportada a tabela de atributos para um arquivo excel, onde extrai-se a coluna que contém as cotas dos pontos originais e também as novas cotas geradas. Fazer um cálculo de subtração entre essas cotas para

saber as diferenças em cada ponto e posteriormente com o resultado dessa subtração, calcula-se a mediana.

### 4- RESULTADOS

Juiz de Fora tem uma área de 1436,015 km<sup>2</sup> com variação altimétrica de 1153,56 m a 465,62 m. Utilizando a base de dados executada pela Empresa ESTEIO com a tecnologia LIDAR como referência, calculou-se a mediana das diferenças de altitudes de 38.910 pontos cotados nos MDEs gerados pelo ALOS/PALSAR, SRTM e IBGE conforme a Tabela 1.

TABELA 1 – Mediana das diferenças de altitudes de 38.910 pontos entre MDEs LIDAR, ALOS/PALSAR, SRTM e IGAM/IBGE

MDE	Δ LIDAR-ALOS	Δ LIDAR-SRTM	Δ LIDAR-IBGE
Mediana (m)	0,87	1,56	3,95

Ao comparar as curvas de nível geradas pelos três MDEs na Bacia da Represa de São Pedro que possui um gradiente altimétrico de 200 m, variando de 1060 m (Pico Grota do Pinto) a 860 m (nível de base da Represa de São Pedro), encontrou-se menores diferenças visuais na geometria entre o ALOS/PALSAR e o LIDAR conforme as figuras de 1 a 3. Os detalhes 1, 2 e 3 ilustram essa diferença.

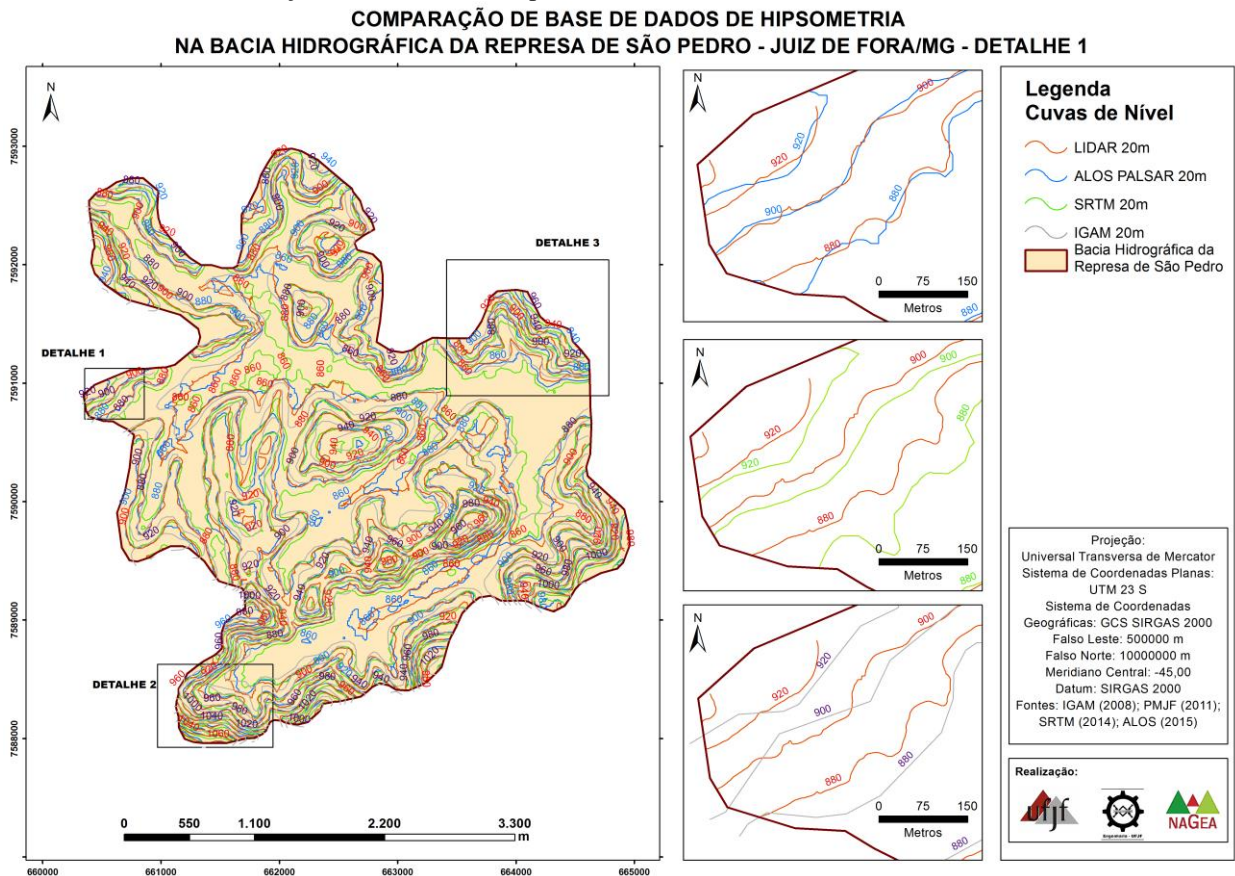


Fig. 1 – Comparação das curvas de nível do LIDAR, ALOS, SRTM e IGAM/IBGE na BRSP – Detalhe 1.



**COMPARAÇÃO DE BASE DE DADOS DE HIPSOMETRIA  
NA BACIA HIDROGRÁFICA DA REPRESA DE SÃO PEDRO - JUIZ DE FORA/MG - DETALHE 2**

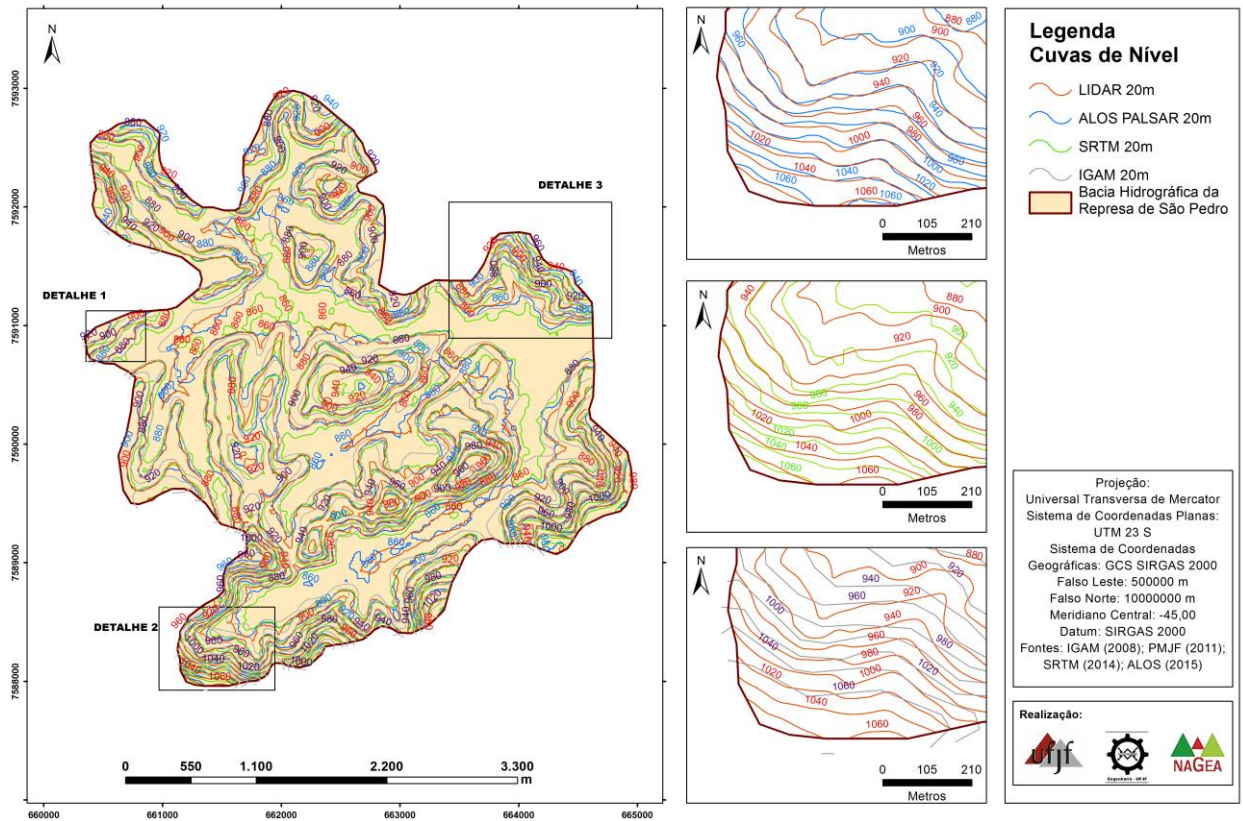


Fig. 2 – Comparação das curvas de nível do LIDAR, ALOS, SRTM e IGAM/IBGE na BRSP - Detalhe2.

**COMPARAÇÃO DE BASE DE DADOS DE HIPSOMETRIA  
NA BACIA HIDROGRÁFICA DA REPRESA DE SÃO PEDRO - JUIZ DE FORA/MG - DETALHE 3**

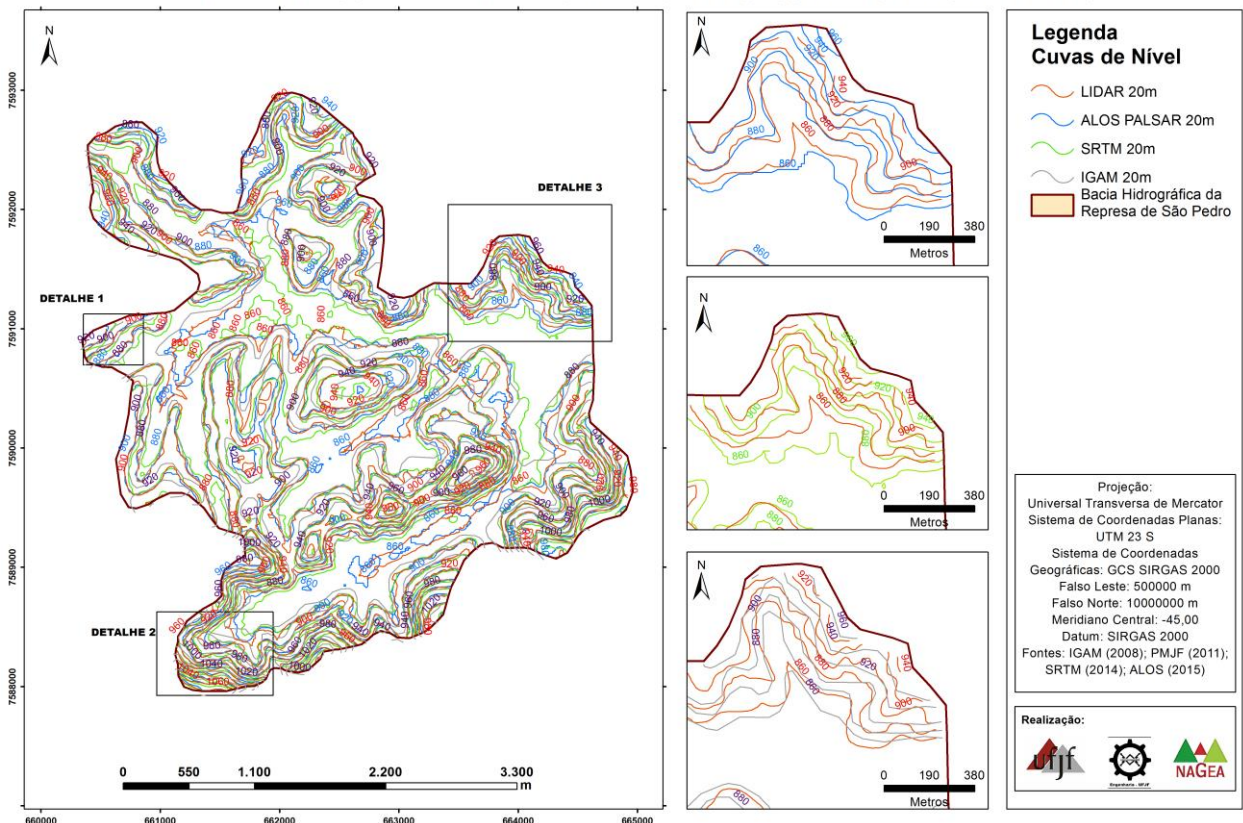


Fig. 3 – Comparação das curvas de nível do LIDAR, ALOS, SRTM e IGAM/IBGE na BRSP – Detalhe 3.

## 5- CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desse artigo apontam que os produtos do MDE gerado pelo ALOS/PALSAR aproximaram quantitativamente (mediana de 0,87 m) e qualitativamente (geometria das curvas de nível) do LIDAR nos limites territoriais de Juiz de Fora que possui um relevo caracterizado pelos “Mares de Morros”. Foram utilizados 38.910 pontos cotados da base de dados gerada pelo LIDAR numa área de 1436,015 km<sup>2</sup> com variação altimétrica de 687,94 m (1153,56 m a 465,62 m). A geometria das curvas de nível de 20 em 20 m analisadas visualmente, carecem de uma forma mais precisa de comparação.

O próprio processo de geração da altimetria nas cartas do IBGE por restituição aerofotogramétrica convencional difere dos sistemas de satélite com radar (SRTM e ALOS) e da tecnologia laser utilizada pelo LIDAR. A intenção aqui foi de uma comparação em termos de resultado das altitudes dos mesmos pontos cotados nos MDEs gerados no referencial WGS 84.

Outros artigos trabalharam com o sensor ALOS/PRISM utilizando o Padrão de Exatidão Cartográfico (PEC) para produtos Classe A na escala de 1:25.000 (COELHO et al., 2010; IBGE, 2011; EGG et al., 2015).

A busca da validação dos MDEs “livres” não deve ser interpretada de uma forma equivocada, mas uma tentativa de gerar produtos para municípios que não dispõe de recursos para contratar processos mais precisos como as imagens do sensor PRISM / ALOS, a tecnologia LIDAR ou os processos convencionais de aerofotogrametria.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASF. ALASKA SATELLITE FACILITY. 2017. Vertex is the Alaska Satellite Facility's data portal for remotely sensed imagery of the Earth. NASA. Disponível em: < <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>> . Acesso em 26 jul. 2017.

Coelho, A. L. et al. 2010. Avaliação de modelo digital de elevação extraído de imagem alos/prism estudo de caso: Itaguaí – RJ. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife, PE,

Dalmolin, Q. ; Santos, D. R. 2004. Sistema Laserscanner: conceitos e princípios de funcionamento. 3ª Edição, Curitiba, PR, 97p.

EB. EXÉRCITO BRASILEIRO. 2017. Banco de Dados Geográficos do Exército versão 4.0. Disponível em: < <http://www.geoportal.eb.mil.br/mediador/>>. Acesso em 26 set. 2017.

Egg, G.C. et al. 2015. Geração de Modelos Digitais de Superfície empregando imagens do Sensor PRISM/ALOS – Estudo de caso para região da Zona

da Mata de Minas Gerais. In: Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, João Pessoa, PB, p. 7057-7064.

EORC/ JAXA. ALOS User Handbook. 2007. Disponível em: <[http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/doc/alos\\_userhb\\_en.pdf](http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/doc/alos_userhb_en.pdf)>. Acesso em 26. ago. 2016.

Farr, T. G. et al. 2007. The shuttle radar topography mission. Reviews of geophysics, v. 45, n. 2, 2007.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2011. Avaliação Planialtimétrica de Dados ALOS/PRISM:Estudo de Caso: Itaguaí – RJ, 2ª Edição, Rio de Janeiro, RJ, 30p.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2016 Mapeamento Topográfico. Produtos. Cartas Topográficas Vetoriais do Mapeamento Sistemático. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/download/arquivos/index1.shtm>> . Acesso em 03 nov. 2016.

IGAM INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. 2016. Portal InfoHidro. Disponível em: <<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/mapas-e-bases-cartograficas/bases-cartograficas/4809-ottocodificada>>. Acesso em 26 jul. 2016.

INPE. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. 2017. Manuais: Tutorial de Geoprocessamento. Modelagem Numérica de Terreno. Divisão de Processamento de Imagens. Disponível em:<<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/modelagem.html>>. Acesso em: 26 jul. 2017.

JUIZ DE FORA. Prefeitura Municipal. Secretaria de Planejamento e Gestão. Base Cartográfica Digital de Juiz de Fora. Esteio, 2007.

Meneses, P.R. 2001. Fundamentos da radiometria óptica espectral. In: MENESES, P.R.; NETTO, J.S.M. (Eds.) Sensoriamento Remoto: reflectância de alvos espectrais. Brasília: EMBRAPA Cerrados, p.15-40.

Oliveira, H. P. V. 2017. Tutorial para obtenção, correções e interpolação (opcional) do Modelo Digital de Elevação (sensor PALSAR) do Satélite ALOS-1 de 2006 a 2011. Disponível em: < <https://pt.scribd.com/document/352325754/Tutorial-MDE-ALOS-1-Huascar-Vidal-v1>>. Acesso em 28 set. 2017.

Rodriguez, E.; Morris, C.S.; Belz, J. E. 2006. A global assessment of the SRTM performance. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, v. 72, n. 3, p. 249-260.

USGS. UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. 2017. Shuttle Radar Topography Mission. SRTM 1 Arc-Second Global. Disponível em: < <https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 26 jul. 2017.