



Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto 2

Leonardo Tullio
(Organizador)

 **Atena**
Editora

Ano 2018

LEONARDO TULLIO

(Organizador)

**Aplicações e Princípios do
Sensoriamento Remoto
2**

Atena Editora
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

A642 Aplicações e princípios do sensoriamento remoto 2 [recurso eletrônico] / Organizador Leonardo Tullio. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. – (Aplicações e Princípios do sensoriamento remoto; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-85107-48-2

DOI 10.22533/at.ed.482180110

1. Sensoriamento remoto. I. Tullio, Leonardo.

CDD 621.3678

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo do livro e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

No Volume II da obra “Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto” trazemos até você os mais diversos trabalhos da área, contando agora com 22 capítulos inéditos. Vimos a importância deste tema no Volume I e agora esperamos contribuir significativamente com outras aplicações em diversas áreas de atuação.

Percebemos que os avanços tecnológicos substituem algumas formas de agir e pensar, de maneira instantânea e a níveis de confiança altíssimos. Assim a contribuição e os avanços nas pesquisas são favorecidos com o uso de softwares aplicados ao Sensoriamento Remoto. Visto a necessidade de programas computacionais específicos para análise conjunta de dados sobre a imagem e de maneira rápida, percebemos a significativa atuação da tecnologia neste meio.

Neste sentido, ressaltamos a importância do conhecimento específico e aplicado, pois a tecnologia analisa a partir de comandos, porém, a análise e a definição do certo ou errado ainda está na dependência do operador, que exige conhecimento em sua realização. Aplicações práticas e com resultados significativos são fundamentais para o sucesso de uma pesquisa, a classificação seja ela supervisionada ou não, garante a interpretação fiel da realidade estudada. Porém, refinar as técnicas de análise e comparar os resultados são importantes.

Contudo, ressaltamos a necessidade do conhecimento avançado sobre o que se propõe a estudar e qual método mais adequado, pois a interação dos dois reflete a confiança e qualidade do resultado. Portanto, a busca por conhecimento é insaciável e nos faz aprender a cada capítulo desta obra.

Por fim, desejo bons estudos e muito conhecimento adquirido com as informações e resultados trazidos nos capítulos desta obra.

Leonardo Tullio

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ANÁLISE DA PAISAGEM ATRAVÉS DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA UM ESTUDO DE CASO DA CIDADE DE SERRA DO NAVIO-AP	
<i>Érica Patrícia Viegas dos Santos</i>	
<i>Dário Rodrigues de Melo Junior</i>	
<i>Olavo Rodrigues Fagundes Neto</i>	
<i>Tasso Wesley Galeno Barreto</i>	
<i>Patrícia Helena Turola Takamatsu</i>	
<i>Fabiano Luís Belém</i>	
CAPÍTULO 2	14
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ESPAÇO-TEMPORAL DAS GEOFORMAS FLUVIAIS DO BAIXO CURSO DO RIO DOCE COM O AUXÍLIO DE IMAGENS ORBITAIS LANDSAT 8 - LINHARES, ES	
<i>Andressa Padovani Gil</i>	
<i>André Luiz Nascentes Coelho</i>	
CAPÍTULO 3	25
ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA OCUPAÇÃO DA ÁREA E ENTORNO DO PARQUE MUNICIPAL DUNAS DE ABRANTES, CAMAÇARI - BAHIA	
<i>Luiz Felipe Moura Bastos Borges</i>	
<i>Desiree Alves Celestino Santos</i>	
<i>Fábia Antunes Zaloti</i>	
<i>Saulo Medrado dos Santos</i>	
<i>Dária Maria Cardoso Nascimento</i>	
CAPÍTULO 4	36
ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA DO RIO SÃO JOÃO, MG: UMA PROPOSTA PARA MELHOR ENTENDIMENTO DOS LIMITES E DA DINÂMICA ESPACIAL DAS SUPERFÍCIES EROSIVAS	
<i>Samia de Moura Passarella</i>	
CAPÍTULO 5	54
ASSIMILAÇÃO DE DADOS COM O MÉTODO LETKF NO OCEANO ATLÂNTICO SUDOESTE: A IMPORTÂNCIA DAS OBSERVAÇÕES DE SATÉLITE	
<i>Leonardo Nascimento Lima</i>	
<i>Luciano Ponzí Pezzi</i>	
CAPÍTULO 6	69
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DA ESPÉCIE WUNDERLICHIA AZULENZIS	
<i>Alline Zagnoli Villela Motta</i>	
<i>Sollano Rabelo Braga</i>	
<i>Alessandra Morais Melo</i>	
<i>Nathalia Drummond Marques da Silva</i>	
<i>Cristiano Christofaro</i>	
CAPÍTULO 7	80
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE SEQUESTRO DE CARBONO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRAJIBU-MIRIM EM SOROCABA (SP)	
<i>Darllan Collins da Cunha e Silva</i>	
<i>Deborah de Matos</i>	
<i>Renan Angrizani de Oliveira</i>	
<i>Vanessa Cezar Simonetti</i>	
<i>Roberto Wagner Lourenço</i>	

CAPÍTULO 8 94

CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO APLICADO À GCP'S EM MAPEAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO COM USO DE VANT

José Adriano da Silva
Vinicius Bitencourt Campos Calou
Adunias dos Santos Teixeira
Daniel Albiero

CAPÍTULO 9 105

CORRELAÇÃO ESPACIAL DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO (NDVI, NDWI E EVI) DE IMAGEM LANDSAT-8 COM ATRIBUTOS DO SOLO

Barbara de Oliveira Sousa Castro
Anderson Antonio da Conceição Sartori
Flávia Luize Pereira de Souza
Letícia Albano Benites

CAPÍTULO 10 117

DESENVOLVIMENTO DE UM VANT DO TIPO QUADROTOR TOTALMENTE AUTÔNOMO DE ALTA PRECISÃO PARA SENSORIAMENTO REMOTO DE ÁREAS DE VEGETAÇÃO POR CÂMERA MULTIESPECTRAL GEORREFERENCIADA

Thiago Vieira Nogueira Coelho
Lucas Moraes
Rafael Falcí Campos
Luis Carlos Carmo Jr.
Daniel Discini Silveira
André Luis Marques Marcato
Alexandre Bessa dos Santos

CAPÍTULO 11 134

ESTUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE ALVOS PRÉ-SINALIZADOS PARA APOIAR LEVANTAMENTOS AEROFOTOGRAMÉTRICOS REALIZADOS COM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT)

Glauber Carvalho Costa
Igor de Carvalho Almeida
Rafael Claudino da Silva
Rafael Bazílio Viana

CAPÍTULO 12 144

ESTUDO SOBRE O EMPREGO DE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO E ELEVAÇÃO, GERADOS DE LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO CONVENCIONAL, PERFILAMENTO A LASER AÉREO, SRTM, TOPODATA, ASTER GDEM V2 E WORLDDDEM, COM ÊNFASE EM PROJETOS VIÁRIOS

Glauber Carvalho Costa
Igor de Carvalho Almeida
Rafael Claudino da Silva
Rubens José Souza Galvão
Rafael Bazílio Viana

CAPÍTULO 13 155

FRONTEIRA AGRÍCOLA E A ESTRUTURA DA PAISAGEM NA SUB-BACIA DO RIO RIACHÃO – OESTE DA BAHIA

Crisliane Aparecida Pereira dos Santos
Edson Eyji Sano
Pablo Santana Santos

CAPÍTULO 14 165

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS À OCUPAÇÃO IRREGULAR POR MEIO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO NO BAIRRO DE GRAMAME, EM JOÃO PESSOA – PB

Erickson Melo de Albuquerque
Cícero Fidelis da Silva Neto
Marcos Leonardo Ferreira dos Santos

CAPÍTULO 15..... 175

ÍNDICES TEXTURAIS DAS ÁREAS DE EXPLORAÇÃO FLORESTAL NA FLONA DO TAPAJÓS (PARÁ), UTILIZANDO IMAGENS DE MÉDIA RESOLUÇÃO ESPACIAL FUSIONADAS.

Marília Gabriela Lopes da Silva
Tássio Franco Cordeiro
Rodrigo Rafael Sousa de Oliveira
Igor da Silva Narvaes
Alessandra Rodrigues Gomes
Marcos Adami
Lucas José Mazzei de Freitas
Dalton de Morisson Valeriano

CAPÍTULO 16..... 190

INTEGRAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS PARA APOIAR RESPOSTAS A EVENTOS HIDROLÓGICOS CRÍTICOS: A EXPERIÊNCIA DA UNIDADE ESTADUAL DE MONITORAMENTO HIDROMETEOROLÓGICO DURANTE AS INUNDAÇÕES DE 2015 NA BACIA DO RIO ACRE – ACRE/BRASIL

Alan dos Santos Pimentel
Vera Lúcia Reis
Ylza Marluce Silva de Lima
Luiz Alves dos Santos Neto
Diana de Souza Bezerra
Tatiane Mendonça de Lima
Irving Foster Brown

CAPÍTULO 17 201

INDICAÇÃO ESTATÍSTICA DE ÁREAS DE GARIMPO DE AMETISTA COM O USO DE IMAGENS ASTER

Jean Marcel de Almeida Espinoza
Deivid Cristian Leal Alves
Silvia Beatriz Alves Rolim
Jefferson Rodrigues dos Santos
Maurício Soares Ortiz
Miguel da Guia Albuquerque

CAPÍTULO 18..... 213

MAPEAMENTO DAS ÁREAS OCUPADAS COM PASTAGENS NO TRIÂNGULO MINEIRO-MG

Jorge Luís Silva Brito
Roberto Rosa
Mirna Karla Amorim da Silva

CAPÍTULO 19..... 222

MÉTRICAS DE PAISAGEM NA CARACTERIZAÇÃO DOS FRAGMENTOS FLORESTAIS POR MEIO DA FUSÃO DA IMAGEM CBERS 4

Caroline Bessi Fávero
Anderson Antonio da Conceição Sartori
Sidnei Fonseca Guerreiro
Victor Munhoz Ruiz
Rosane Maria Kaspary
Martha Santana Martins

CAPÍTULO 20..... 240

MODELAGEM DINÂMICA ESPACIAL DAS MUDANÇAS DE COBERTURA DA TERRA NA REGIÃO SUL DO ESTADO DE RORAIMA, NORTE DA AMAZÔNIA

Maristela Ramalho Xaud
Cláudia Maria de Almeida
Haron Abraham Magalhães Xaud

CAPÍTULO 21..... 254

SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS DE PERDA DE SOLO POR EROÇÃO LAMINAR NA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA.

Gabriella Santos Arruda de Lima

Nilson Clementino Ferreira

CAPÍTULO 22..... 265

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO MODELO SWAT PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL PARA A REGIÃO DE PETROLINA, ESTADO DE PERNAMBUCO

Teônia Casado da Silva

Madson Tavares Silva

Danielle Teixeira Alves da Silva

Edivaldo Afonso de Oliveira Serrão

Eduardo da Silva Margalho

SOBRE O ORGANIZADOR274

ESTUDO SOBRE O EMPREGO DE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO E ELEVAÇÃO, GERADOS DE LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO CONVENCIONAL, PERFILAMENTO A LASER AÉREO, SRTM, TOPODATA, ASTER GDEM V2 E WORLDDDEM, COM ÊNFASE EM PROJETOS VIÁRIOS

Glauber Carvalho Costa

Maia Melo Engenharia

Recife – Pernambuco

Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP

Recife – Pernambuco

Igor de Carvalho Almeida

Maia Melo Engenharia

Recife – Pernambuco

Rafael Claudino da Silva

Maia Melo Engenharia

Recife – Pernambuco

Rubens José Souza Galvão

Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP

Recife – Pernambuco

Rafael Bazilio Viana

Maia Melo Engenharia

Recife – Pernambuco

RESUMO: Devido aos avanços tecnológicos ocorridos na área de aquisição de dados topográficos e consequente redução nos custos de aquisição de dados obtidos por meio de sensores remotos orbitais, tem crescido a aplicação desses produtos nas mais diversificadas áreas da engenharia, sobretudo em projetos de infraestrutura rodoviária e ferroviária. Diferentemente de alguns países, onde existe uma programação contínua de atualização cartográfica e de aquisição de MDS e MDT, objetivando apoiar projetos de

infraestruturas, o Brasil não possui iniciativas governamentais capazes de atender as demandas do mercado por dados cartográficos de média e pequena escala. O presente trabalho tem como objetivo realizar uma comparação estatística dos dados altimétricos, realizar uma comparação de volumes de terraplenagem e análise da morfologia de modelos digitais de terreno/elevação de métodos de aquisição de dados distintos, numa mesma área de estudo e projeto geométrico teste de uma ferrovia, sendo os dados altimétricos oriundos da topografia convencional, Perfilamento a Laser Aéreo e sensoriamento remoto (SRTM, TOPODATA, ASTER GDEM V2 e WorldDEM). Para isso foi feito um estudo com um segmento de traçado ferroviário previamente estudado com extensão de 5,2km, sendo concebido um traçado horizontal e um greide projeto, com base nas diretrizes de projeto preconizadas pelas normas da DNIT, como também foi realizada uma análise do enquadramento dos dados de terreno estudados, quanto as normas do Padrão de Exatidão Cartográfica” (PEC).

PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento Remoto, MDT, MDE, WorldDEM.

ABSTRACT: Due to the technological advancements in the area of topographic data acquisition and the consequent reduction of costs in the acquisition of data through orbital

remote sensing, the application of these products has been increasing in the most diverse areas of engineering, especially in roadway and railway infrastructure projects. Unlike other countries, where continuous programs of cartographical updates and DSM and DTM acquisition take place aiming to support infrastructure projects, Brazil does not have any governmental initiatives in order to comply with market demands for medium and small scale topographical data. The present research aims to establish a statistical comparison of altimetric data, as well as compare the earthmoving volumes and analyze the morphology of digital terrain models obtained through different data acquisition methods in a specific area of study and geometric project of a prototype railway. The altimetric data were collected through conventional topography, laser scanning and remote sensing (SRTM, TOPODATA, ASTER GDEM V2 e WorldDEM). Thus, a study was done on a 5.1km railway segment leading to the conception of both a horizontal and a vertical alignment, based on the design guidelines recommended by the standards of DNIT, as well as the terrain data framework analysis accordingly to the standards of cartographic accuracy.

KEYWORDS: remote sensing, laser scanning, digital terrain models.

1 | INTRODUÇÃO

A demanda por modelos digitais de superfície (MDS) ou Terreno (MDT) tem aumentado significativamente devido aos avanços tecnológicos ocorridos na área de aquisição de dados topográficos, e pela crescente redução nos custos destes produtos, especialmente os obtidos por meio de sensores remotos orbitais. Esses dados do relevo e planimetria do terreno são usados em aplicações diversas nas áreas da engenharia, sobretudo em projetos de infraestrutura rodoviária e ferroviária, mas diferentemente de alguns países, onde existe uma programação contínua de atualização cartográfica e de aquisição de dados MDS e MDT, objetivando apoiar, sobretudo projetos de infraestruturas, o Brasil não possui iniciativas governamentais capazes de atender as demandas do mercado por dados cartográficos de média e pequena escala.

Atualmente, os dados planialtimétricos obtidos com a topografia convencional ainda alcançam melhor desempenho quanto a precisão dos resultados, quando comparado com a topografia realizada por meio de sensores remotos orbitais ou aerotransportados, mas é viável a aplicação desses dados em determinadas fases de projetos (Costa e Silva, 2008) Mas é pela falta de estudos mais aprofundados sobre os produtos gerados pelos novos sensores orbitais disponibilizados no mercado, que os profissionais de engenharia rodoviária ou ferroviária, em muitos casos, não optam por utilizá-los, escolhendo as técnicas consagradas, como a Laser Scanner Aerotransportado ou a topografia convencional.

Entretanto sabe-se que a aplicação das técnicas de levantamento topográfico convencional na fase de estudos preliminares ou de projeto básico, por tratar-se de

estudos que necessitam de um nível de precisão inferior e uma área abrangência de levantamento mais elevada em relação a adotada na fase de projeto executivo final passa a ser mais dispendiosa. Isso ocorre devido a necessidade de equipes numerosas para atender os prazos elevando o custo da execução quando comparada as técnicas de sensoriamento remoto, pois esta pode ser aplicada nas etapas do projeto em que a precisão exigida não corresponda a de projeto executivo final, por exemplo em Estudos de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (EVTEA) ou projetos básicos de engenharia rodoviária ou ferroviária.

Portanto o objetivo deste trabalho foi analisar o comportamento altimétrico dos produtos gerados com Laser Scanner Aerotransportado, sensoriamento remoto (SRTM, TOPODATA, ASTER GDEM V2 e WorldDEM) disponíveis no mercado, frente a um MDT gerado a partir de dados topográficos de campo realizados com nível eletrônico, estação total e Sistema de posicionamento por satélite.

Topografia convencional: Para realizar a topografia convencional, foi adotado o Sistema Global de Posicionamento por Satélite (GNSS), para realizar o georrefenciamento do levantamento e permitir a implantação da poligonal fechada em bases diferentes adotada como apoio para o levantamento planialtimétrico. Após implantação da poligonal de apoio, foram realizadas as medições altimétricas dos marcos por meio de estação total.

Perfilamento a Laser: O sistema de varredura laser (laser scanning) aerotransportado é um método para a determinação de coordenadas tridimensionais de pontos na superfície da terra. Seu funcionamento baseia-se na utilização de um pulso de laser que é disparado na direção da superfície. Ao atingir a superfície, parte do sinal emitido é refletida na direção do sensor. O sensor mede tanto a intensidade do sinal de retorno, como também o tempo decorrido entre a emissão e a captação do retorno, que é usado para calcular a distância sensor-objeto, considerando que o pulso laser se propaga à velocidade da luz. No presente estudo foi utilizado um levantamento realizado com laser scanner aerotransportado densidade de 5 pontos tridimensionais para cada metro quadrado no terreno (5 pts /m²).

SRTM: A missão Topográfica Radar Shuttle ou em inglês SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), consistiu num sistema de radar que voou a bordo do ônibus espacial Endeavour durante os 11 dias da missão STS-99, foi um projeto conjunto entre a National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) e a National Aeronautics and Space Administration (NASA) ocorrido em fevereiro de 2000, levantando uma malha tridimensional de pontos com gride de 90 m por 90 m (3 arco-segundos) para o Brasil. Teve como objetivo, obter modelos digitais de elevação em uma escala quase que global da Terra, produzindo dados topográficos digitais de 80% da superfície terrestre, disponibilizados para a aquisição gratuita a partir de 2001.

TOPODATA: O projeto Topodata do Instituto Brasileiro de Pesquisas Espaciais (INPE) disponibiliza gratuitamente o Modelo Digital de Elevação (MDE) e suas derivações locais básicas de todo o território nacional, lançado pela primeira vez, em

agosto de 2008 e com revisão de novembro de 2011, os dados disponibilizados foram elaborados a partir dos dados SRTM da USGS (INPE, 2016). A malha tridimensional de pontos disponibilizada tem gride de 30m x 30m, resultante do refinamento dos dados SRTM, por meio do preenchimento de falhas, melhorando assim a resolução original 3 arco-segundos (90m) para 1 arco-segundo (30m), processados por interpolação com algoritmo de krigagem.

ASTER GDEM V2: O Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model (GDEM) é um programa realizado em conjunto entre a National Aeronautics and Space Administration (NASA) e o ministério japonês da economia, indústria e comércio. A primeira versão do ASTER GDEM foi lançada em junho de 2009, e a segunda em outubro de 2011. O ASTER GDEM tem malha tridimensional de pontos disponibilizada com gride de 30m x 30m. Os dados ASTER GDEM são obtidos através de imagens estereográficas e não por radar como o SRTM DEM.

WORLDDDEM: Os dados de malha tridimensional de pontos com gride de 12m por 12m, obtidos pelos radares orbitais TanDEM-X e TerraSAR-X, colocados em órbita pela Agência Espacial Alemã (DLR), e comercializada pela AIRBUS Defence e Space, os dados de elevação do terreno foram gerados por meio de interferogramas, sendo também denominados de Modelos de Terreno.

2 | METODOLOGIA DE TRABALHO

A região de estudo está situada ao sul da cidade de São José do Rio Preto no Estado de São Paulo, localizada no enquadramento geográfico de Latitude ($20^{\circ}54'34''S$ a $20^{\circ}56'00''S$) e Longitude ($49^{\circ}23'55''O$ a $49^{\circ}20'00''O$), a área teste estudada, abrange um segmento do projeto ferroviário para o novo traçado da linha férrea existente que corta os municípios de Mirassol, São José do Rio Preto e Cedral, localizadas no estado de São Paulo, tendo esse segmento de estudo uma extensão de 5,10km.

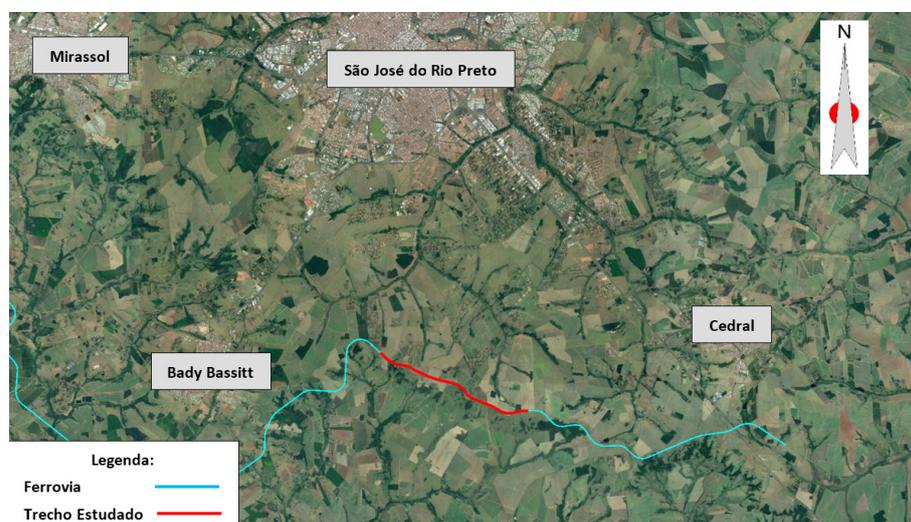


Figura 1 – Área de estudo enquadramento geográfico de Latitude ($20^{\circ}54'34''S$ a $20^{\circ}56'00''S$) e Longitude ($49^{\circ}23'55''O$ a $49^{\circ}20'00''O$).

Os dados utilizados foram obtidos a partir de projetos de distribuição gratuita na internet, e disponibilizados pelos seus desenvolvedores, como o dados da missão Topográfica Radar Shuttle ou em inglês SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) obtidos a partir do programa Brasil em Relevo da EMBRAPA (disponível em <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>); dados da TOPODATA obtidos a partir do programa desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) (disponível em <http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>); e dos programa Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model (GDEM) ou simplesmente ASTER GDEM V2, obtidos a partir do programa de disponibilização gratuito desenvolvido pelo Japan-US ASTER Science Team (disponível em <http://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>). Também foram usados dados resultantes do programa desenvolvido pela Agência Espacial Alemã (DLR), e comercializada pela AIRBUS Defence e Space, o WorldDEM e de perfilamento a laser aerotransportado, por fim a topográfica convencional realizada em campo, com emprego de sistema de posicionamento global do tipo GNSS, estação total e nível, adotando como método de levantamento a poligonação.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise Estatísticas dos Dados e Enquadramento na Escala Cartográfica

Para realizar uma adequada avaliação dos dados altimétricos, foi verificado seu enquadramento através de parâmetros estatísticos e de confiabilidades dos produtos cartográficos, segundo o Decreto nº 89.817, em seu capítulo II, seção 1, Art. 8º, cujo mesmo estabelece o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC utilizado como referência na avaliação dos produtos cartográficos no Brasil, sendo o PEC um indicador estatístico de dispersão relativo a 90% de probabilidade, que define a acurácia (exatidão) dos trabalhos cartográficos. É importante ressaltar que para o presente estudo, não foi realizada a proporção amostral simples como critério de avaliação, para avaliação da qualidade dos dados altimétricos estudados, visando, sobretudo sua classificação cartográfica quanto ao PEC. Foram utilizados dois métodos para avaliar o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) através da análise da proporção amostral simples, definido pelo Decreto 89.817 de 20 de julho de 1984. O primeiro método é a partir do cálculo do erro médio quadrático (EMQ) e o segundo a partir do cálculo da tolerância vertical, sendo calculada à porcentagem de pontos que satisfazem o PEC ($\geq 90\%$). O EMQ_z corresponde ao Erro-Padrão, e pode ser calculado a partir da Equação 1:

$$EMQ_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_{IT} - Z_{IC})^2}{n}} \quad (1)$$

Sendo, n – número de pontos da amostra, Z_{iT} – Cota altimétrica obtida em campo, para o ponto i , Z_{iC} – Cota altimétrica do mesmo ponto nos dados dos terrenos estudados.

A equidistância das curvas de nível em cada escala foi definida conforme proposto pelo Decreto nº 89.817. A Tabela 1 apresenta estas equidistâncias, assim como, os valores de referência do PEC e EP para os produtos cartográficos classificados nas classes A, B e C.

PEC ⁽³⁾	PEC-PCD	1:1.000 (Eqd = 1 m)		1:2.000 (Eqd = 1 m)		1:5.000 (Eqd = 2 m)		1:10.000 (Eqd = 5 m)		1:25.000 (Eqd = 10m)		1:50.000 (Eqd = 20m)		1:100.000 (Eqd = 50m)	
		PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
A	A	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	0,67	2,50	1,67	5,00	3,33	10,00	6,67	25,00	16,67
B	B	0,60	0,40	0,60	0,40	1,20	0,80	3,00	2,00	6,00	4,00	12,00	8,00	30,00	20,00
C	C	0,75	0,50	0,75	0,50	1,50	1,00	3,75	2,50	7,50	5,00	15,00	10,00	37,50	25,00

Tabela 1. Escalas e respectivas equidistâncias das curvas de nível, valores do PEC e EP.

Os resultados do EMQ_z dos dados altimétricos dos modelos digitais resultantes do levantamento com Perfilamento a Laser aéreo, SRTM, TOPODATA, Google Earth, ASTER GDEM V2 e WorldDEM 12m, comparados com topografia convencional realizada em campo, apresentou as variações indicadas na tabela 2 apresentada abaixo, e é resultado da análise de 970 pontos levantados em campo. Sabendo que para se enquadrar em cada classe e escala o EMQ deve ser menor que o erro padrão de cada escala/classe.

Já a tolerância vertical (%PEC) é calculada a partir da porcentagem de pontos que apresentem resíduo, isto é, diferença de altitude entre o ponto visitado e o ponto de controle, abaixo da tolerância vertical aceita para cada classe/escala; a porcentagem dos pontos dentro da tolerância vertical deve ser pelo menos de 90%.

Na Tabela 2 abaixo, os valores de discrepâncias calculados a partir dos dados do WorldDEM 12m e Perfilamento a Laser alcançaram resultados mais satisfatórios, escalas cartográficas de 1/10.000 e 1/2.000 Classe A respectivamente, enquanto os demais dados alcançaram resultados satisfatórios (escala cartográfica de 1/25.000 para Classe A) quando comparados com outros estudos (Garofalo e Liesenberg,2015).

	SRTM 90m (m)	GDEM 30m (m)	TOPODATA 30m (m)	Google Earth (m)	WorldDEM 12m (m)	Perfilamento a Laser (m)
PEC (Altimetria)	10,00	5,00	5,00	5,00	2,50	0,50
%PEC (Calculado)	93,8%	96,6%	95,8%	90,7%	96,7%	92,1%
EP (Altimetria)	6,670	3,330	3,330	3,330	1,670	0,330
EP = EMQz	4,934	2,157	2,176	2,780	0,955	0,306
Média	2,911	0,992	0,743	1,488	0,084	-0,061
Desvio Padrão	3,983	1,915	2,045	2,348	0,952	0,299
Escala Cartográfica	1/50.000	1/25.000	1/25.000	1/25.000	1/10.000	1/2.000

Tabela 2 - Dados do Erro Médio Quadrático das diferenças dos valores das cotas interpoladas dos terrenos estudados e das cotas da topografia convencional de campo.

3.1.2 Análise Estatística dos Dados Quanto a Acurácia

O gráfico apresentado abaixo (Gráfico 1), demonstra as divergências encontradas entre o valor considerado exato da altimetria do terreno (topografia convencional), representada pela linha preta horizontal de ordenada zero, e as discrepâncias altimétricas encontradas entre os dados altimétricos do WorldDEM 12m e do levantamento por Perfilamento a Laser aéreo.

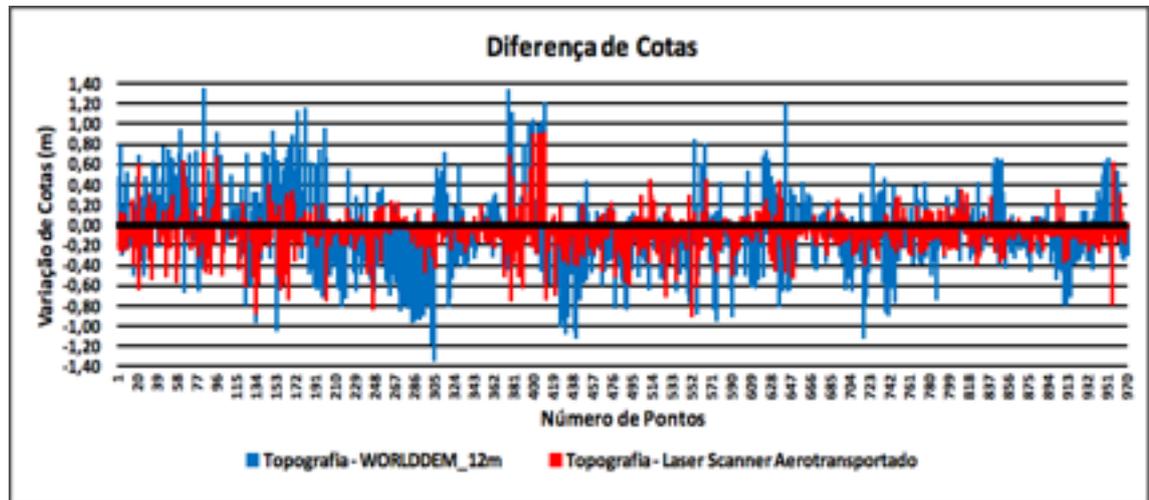


Gráfico 1 - Divergências da altimetria do terreno da topografia convencional e WorldDEM 12m e do levantamento por Perfilamento a Laser aéreo.

3.2 Processamento e Análise das Imagens Hipsométricas

Conforme observa-se nas amostras de imagens hipsométricas (Lat:20°54'45"S e Long:49°23'19"O; Lat: 20°54'54"S e Long: 49°23'01"O) da figura 3, correspondente a uma área de 188,5 ha, a superfície gerada que mais se aproxima da superfície de terreno levantada pela topografia convencional (Figura 3f) é a gerado pelo laser scanner aerotransportado (Figura 3e), devido a qualidade posicional e altimétrica verificadas anteriormente.

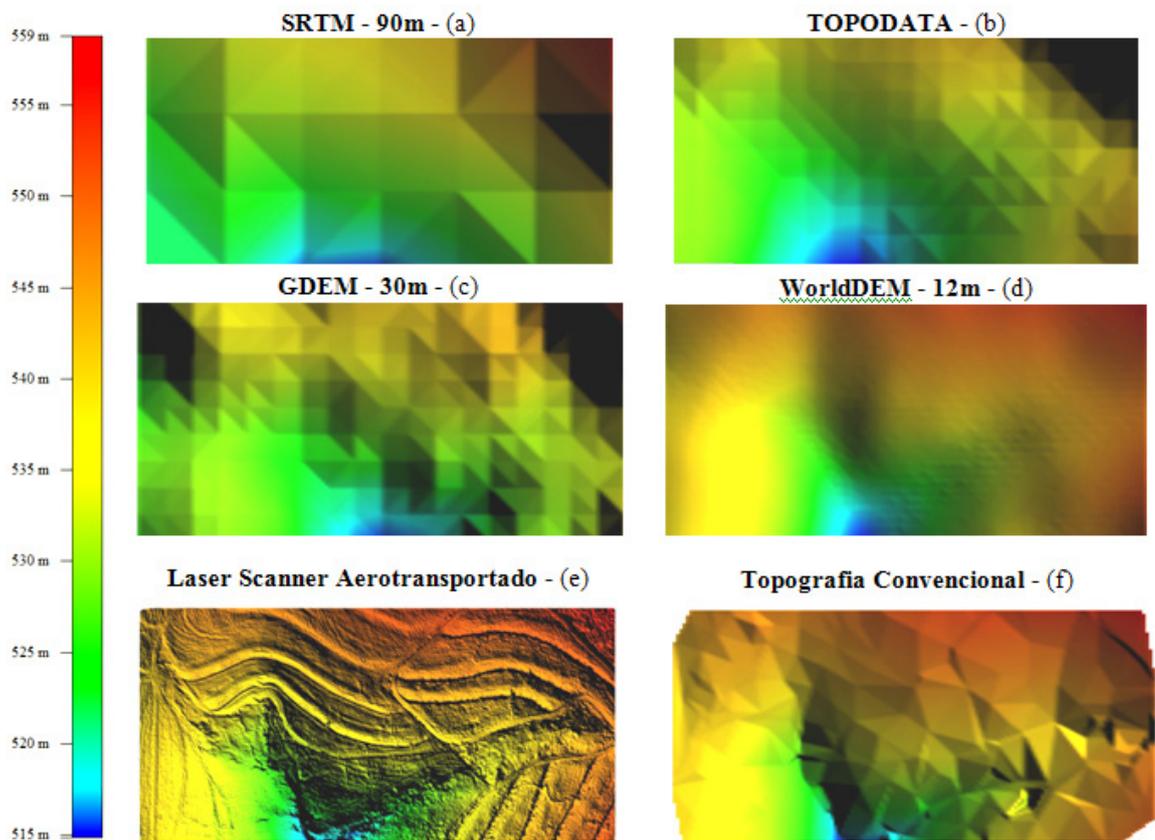


Figura 3 – Imagens hipsométricas de parte do levantamento estudado.

3.3 Processamento e Análise dos Volumes de Terraplenagem

Com base nas superfícies processadas, levantadas por topografia convencional, Laser Scanner Aerotransportado e sistemas remotos orbitais, foi projetado um eixo de projeto e um greide embasado nas especificações de projetos ferroviários, preconizados pelas normas do DNIT, com extensão de 5,10km, sendo o greide concebido de maneira que houvesse curvas verticais com corte e aterros. Os cálculos dos volumes da cubação foram obtidos segundo o volume dos prismóides resultantes das médias de duas áreas consecutivas de seções multiplicadas pela distância entre elas, ou seja, o produto da soma das áreas de duas seções consecutivas multiplicado pela semi-distância entre elas.

Conforme podemos observar na Tabela 3, os resultados dos volumes de Terraplenagem mostram que as diferenças entre o MDT da topografia convencional e os MDT's do WorldDEM 12m e Perfilamento a Laser, mostraram-se dos menos discrepantes, sendo essa diferença podendo ser influenciada pelos seguintes fatores: tanto o método de levantamento por perfilamento a laser Aéreo como o WorldDEM 12m, não são capazes de obter as informações tridimensionais do leito de cursos água, como também foi observado que a região levantada, apresenta vegetação com pequenos arbustos e árvores de médio porte, esses fatores exigem a intervenção humana no processamento juntamente com análises estatísticas para se obter um MDT mais compatível com o existente no campo.

Em relação aos volumes de corte a aterro, constatou-se que os volumes utilizando o MDT's do WorldDEM 12m e Perfilamento a Laser, apresentaram discrepâncias de Volumes de aterro que variaram entre 13,28% e 16,88%, sendo a diferença mais significativa relativa as comparações feitas entre os volumes de corte, que variaram entre -20,73% e 0,05%, quando comparados aos volumes processados do MDT gerados pela topografia convencional.

Dados	Volumes de terraplenagem		Diferenças percentuais entre os volumes de terraplanagem gerados a partir dos dados da Topografia Convencional e os demais métodos de levantamento remoto estudados	
	Aterro (m3)	Corte (m3)	Aterro (%)	Corte (%)
Topografia Convencional	18.054,00	23.891,10	-	-
SRTM_90m	33.612,80	116.184,30	86,18%	386,31%
ASTER GDEM V2 30m	14.959,40	84.869,80	-17,14%	255,24%
TOPODATA	24.247,00	66.476,90	34,30%	178,25%
Google Earth	8.780,20	80.776,60	-51,37%	238,10%
WorldDEM 12m	20.450,90	18.938,50	13,28%	-20,73%
Perfilamento a Laser	21.101,70	23.901,90	16,88%	0,05%

Tabela 3 – Comparativo de volumes de terraplenagem do MDT gerados pela topografia convencional e dos demais métodos estudados.

Quanto aos dados dos volumes processados pelo MDT topografia convencional quando comparados com os demais métodos, provenientes de sistema sensores orbitais, os mesmos apresentaram discrepâncias significativas, sobretudo pelo fato de serem modelos digitais de superfícies MDS e não MDT, carregando consigo informações incompatíveis ao MDT. Entretanto, pode-se destacar que esses podem ser adotados em estudos de bacias hidrográficas para fins de projeto de drenagem e de macrobacias, como também para estudos de traçado de vias, na fase de estudos preliminar, sobretudo em áreas onde não há cobertura de mapeamento atualizado ou quando este é inexistente.

3.3 Processamento e Análise dos Perfis Longitudinais

Através do eixo de um projeto ferroviária utilizado no presente estudo, também foi elaborado um gráfico comparativo entre os perfis longitudinais resultantes dos dados altimétricos dos modelos digitais estudados (figura 2).

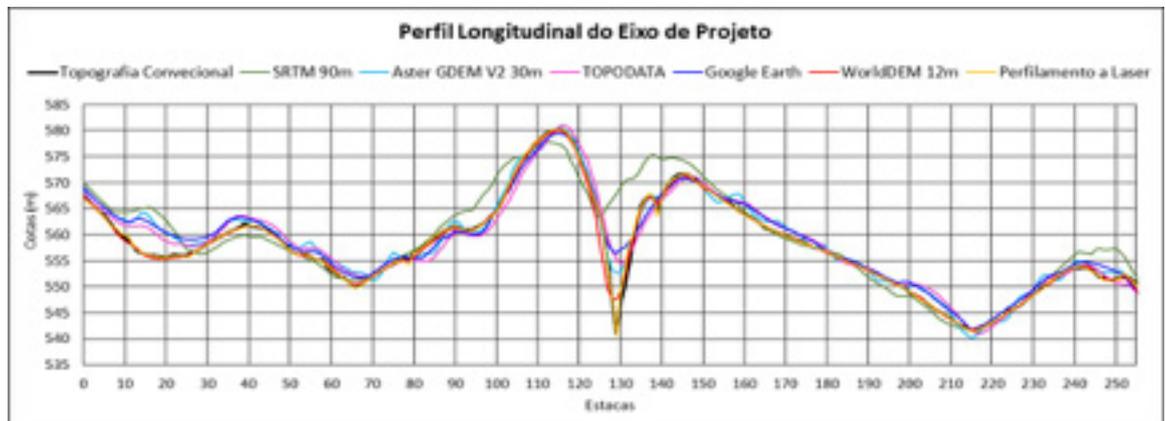


Figura 2 – Perfis Topográficos com os terrenos analisados sobrepostos.

4 | CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos com respeito a altimetria dos modelos digitais de terreno (MDT) e de superfície (MDS) analisados em comparação com dados de levantamento topográfico realizado em campo numa mesma área de estudo, pode-se concluir que os dados SRTM apresentaram compatibilidade com a escala 1:50.000 Classe A, já os dados TOPODATA, ASTER GDEM V2 e Google Earth com a escala 1:25.000 Classe A, e por fim os dados do WorldDEM e Perfilamento a laser com escalas de 1/10.000 e 1/2.000 respectivamente. Sendo essas classificações embasadas segundo o que determina o Decreto-Lei nº 89.817/84, no qual baseia-se as especificações do DNIT para classificação de levantamentos aerofotogramétricos com fins de projetos viários.

Apesar do resultado satisfatório altimetria para projeto básico viário (WorldDEM) e projeto executivo viário (Perfilamento a laser), conforme estabelece o manual de diretrizes e bases do DNIT de 2006 nas suas instruções de serviço (IS-227 e IS-226). Entretanto é importante ressaltar a necessidade de se realizar uma atualização e melhoria das normas para mapeamento, pois ainda utilizam parâmetros baseados na cartografia analógica.

Já para os resultados verificados pelos demais terrenos (MDE) analisados (SRTM, TOPODATA, ASTER GDEM e Google Earth), pela ausência de bases cartográficas em algumas regiões do território brasileiro, esses dados mostram-se potencialmente capazes de suprir essa carência de informação altimétrica, principalmente para mapeamento com escalas até 1: 50.000.

Outro teste realizado foi o de volumes de corte e aterro, onde os melhores resultados encontrados de variação de volume de corte foi 0,05% (Perfilamento a laser) e de aterro de 13,28% (WorldDEM), dos quais o volumes de terraplenagem de projetos viários devem ser bem apurados, pois sabendo-se que os custos de terraplenagem em projetos dessa natureza podem representar de 30% a 40% do valor total da obra, onde uma discrepância elevada entre os volumes de terraplenagem, sobretudo o projeto executivo, poderá afetar o custo global da obra.

5 | AGRADECIMENTOS

A Empresa Maia Melo Engenharia por disponibilizar os dados utilizados para elaboração do presente estudo.

REFERÊNCIAS

ASTER, ASTER GDEM. Disponível em: <<http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/>>. Acesso em: 10.out.2016.

CONCAR. NORMAS E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS, DECRETO Nº 89.817 DE 20 DE JUNHO DE 1984. Disponível em: <<http://www.concar.ibge.gov.br/detalheDocumentos.aspx?cod=8&ln=1>>. Acesso em: 13 de out. 2016.

Costa, G.C.; Silva D.C. **Classificação de mapeamento aerofotogramétrico com imagens de câmeras digitais não-métricas para fins de projetos de estradas**. Revista da Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésica, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto – SBC, Rio de Janeiro, n. 61/03, p. 223-232, 2009. ISSN 0560-4613.

DSG. DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO. **EB80-N-72.003: Especificação técnica para a aquisição de dados geoespaciais vetoriais**. Brasília, 2015.

Garofalo, D. F. T.; Liesenberg, V. **Análise comparativa da informação altimétrica presente nos modelos digitais de elevação ASTER GDEM 1 e 2, SRTM e TOPODATA**. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Anais eletrônicos. João Pessoa-PB, 2015. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0565.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2016.

NASA. ASTER Global Digital Elevation Map Announcement. Disponível em: <<http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>>. Acesso em: 10 out. 2016.

NASA JPL. ASTER Global Digital Elevation Model. Disponível em: <<https://lpdaac.usgs.gov/node/1079/>>. Acesso em: 10 out. 2016.

Topodata. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php/>>. Acesso em: 10 out. 2016.

USGS. United States Geological Survey. Disponível em: <<http://srtm.usgs.gov/>>. Acesso em: 10 out. 2016.

SOBRE O ORGANIZADOR

Leonardo Tullio Engenheiro Agrônomo (Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais-CESCAGE/2009), Mestre em Agricultura Conservacionista – Manejo Conservacionista dos Recursos Naturais (Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR/2016). Atualmente, é professor colaborador do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG, também é professor efetivo do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais – CESCAGE. Tem experiência na área de Agronomia – Geotecnologias, com ênfase em Topografia, Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. E-mail para contato: leonardo.tullio@outlook.com

Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-85107-48-2



9 788585 107482