

ESTUDO DE VIABILIDADE DE ATUALIZAÇÃO CADASTRAL DE BASES 1:2000 DO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO ATRAVÉS DE MOSAICOS DE IMAGENS ORBITAIS DE ALTA RESOLUÇÃO

Luiz Carlos Teixeira Coelho Filho

Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ
Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos
luizcoelho@luizcoelho.com

Silas Pena Bittencourt

Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ
Marinha do Brasil
silas.bittencourt.k@gmail.com

Jorge Luís Nunes e Silva Brito – UERJ

Universidade do Estado do Rio de Janeiro
jsilvabr@gmail.com

RESUMO

Imagens orbitais de alta resolução já são de uso habitual para profissionais de geotecnologias, pois há muito potencial para o mapeamento urbano a partir do processamento fotogramétrico dessas imagens. Tendo em vista a necessidade de atualização da base vetorial do Instituto Pereira Passos (IPP), o objetivo principal desse trabalho de conclusão de curso é estudar a viabilidade na atualização de bases vetoriais com a utilização de imagens do sistema WorldView-2, como substituto ao ortomosaico de imagens fotogramétricas obtidas por aerolevantamentos. Como objetivo secundário, o presente trabalho realiza uma comparação entre as correções realizadas e as respectivas incertezas a elas associadas. A metodologia desenvolvida no trabalho ora apresentada utilizará dados provenientes de LIDAR, imagens sensorizadas em nível orbital e em nível de aerolevantamentos por aeronaves tripuladas, determinação de pontos de apoio e de verificação, em campo, por intermédio de técnicas de geodésia espacial (GNSS), além de bases cartográficas vetoriais, a fim de se obter a melhor qualidade posicional possível. A área de estudo localiza-se na região urbana da cidade do Rio de Janeiro e reúne diversos bairros da Zona Norte, por possuir mais pontos de apoio de campo. Os procedimentos para a análise e correções foram realizados em ambiente SIG, nos softwares ArcGIS 10.3, LAStools e Erdas Imagine 2016. Como resultado, foi possível atingir precisões compatíveis com as classes C da escala 1:5000 e B da escala 1:10000. Espera-se que possa subsidiar a gestão pública municipal, particularmente quanto à atualização da cartografia cadastral do município do Rio de Janeiro.

Palavras-chave: Ortoretificação. WorldView-2. Sensoriamento remoto. Funções polinomiais racionais.

VIABILITY STUDY FOR UPDATING 1:2,000 CADASTRAL BASES OF RIO DE JANEIRO THROUGH MOSAICS OF HIGH-RESOLUTION ORBITAL IMAGES

ABSTRACT

High resolution orbital images are already commonly used by geotechnology professionals, since there is great potential for urban mapping through photogrammetric processing of such images. Taking into account that Instituto Pereira Passos (IPP) needs to constantly update its cadastre, the main objective of this work is to study the feasibility of updating vectorial bases using WorldView-2 images in lieu of photogrammetric images obtained by aerial surveys. As a secondary objective, this research examines errors associated with each type of image correction. The methodology developed in the present work will use data from LIDAR, orbital sensing images and aerial images obtained through manned aircraft, supported by GNSS point positioning techniques, in addition to cartographic bases, in order to obtain the best positional quality possible. The study area is located in the urban area of the city of Rio de Janeiro and contains several neighborhoods in its Northern Zone, since a thorough survey of control points was available. Procedures for the analysis and corrections were performed in a GIS environment, using the following software: ArcGIS 10.3, LAStools and Erdas Imagine 2016. Final results were compatible with desired accuracies for Class C/1:5000 and Class B/1:10000. It is expected that the

methodology developed throughout this work will help subsidize municipal public management, particularly regarding the updating of cadastre for the municipality of Rio de Janeiro.

Keywords: Orthorectification. WorldView-2. Remote sensing. Rational polynomial functions.

INTRODUÇÃO

Devido à necessidade de atualização anual da base cartográfica vetorial do Município do Rio de Janeiro e, devido aos elevados custos para a contratação de aerolevantamentos compatíveis com escalas cadastrais, ficou inviável para o Instituto Pereira Passos contratar anualmente mosaicos de ortomagens mediante coberturas aerofotogramétricas a partir do orçamento de 2017. Diante do problema ora em questão, o objetivo principal deste trabalho é verificar a viabilidade da atualização de bases cartográficas vetoriais com a utilização de imagens sensoriadas em nível orbital pelo sistema WorldView-2, seguindo metodologia similar à estabelecida para imagens de sensores aéreos, descrita em TOPOCART (2015). Como objetivo secundário do trabalho pretende-se realizar a comparação entre essas correções e as incertezas associadas às mesmas, visando-se a determinar a metodologia que produza melhores resultados para a atualização cartográfica cadastral do Município do Rio de Janeiro.

A metodologia abordada neste projeto utiliza os seguintes conjuntos de dados geoespaciais: nuvens de pontos LIDAR, recorte de uma cena do sistema de satélite WorldView-2, mosaico de ortofotos obtidas a partir do processamento fotogramétrico de imagens de aerolevantamentos, pontos de apoio levantados em campo e base cartográfica vetorial do IPP em escala de 1:2000. Como critério de avaliação da qualidade dos produtos gerados, é utilizado o padrão de exatidão cartográfica descrito pelo Decreto nº 89.817, de 20 de Junho de 1984.

A área de estudo localiza-se no Município do Rio de Janeiro e reúne diversos bairros da Zona Norte. Os procedimentos utilizados para a análise e correções foram realizados em ambiente SIG, nos softwares ArcGIS 10.3, LAsTools e Erdas Imagine 2016.

ÁREA DE ESTUDO

A região geográfica do estudo desenvolvido tem uma área de aproximadamente 24 km², está localizada na Zona Norte do município do Rio de Janeiro, que abrange diversos bairros e pontos de interesse como a Universidade do Estado do Rio de Janeiro e o Estádio do Maracanã. A área de estudo foi selecionada devido a diversos fatores, sendo eles: o conhecimento prévio da região, a disponibilidade de dados geoespaciais para sustentar as análises espaciais e a variedade do relevo, desde regiões de topografia plana ou levemente ondulada, a exemplo da Praça da Bandeira, até regiões de relevo fortemente acidentado, a exemplo do maciço da Tijuca. A Figura 1 apresenta uma visão panorâmica da área de abrangência do presente estudo.

Figura 1 – Mapa da área de estudo.



Fonte – elaborada pelos autores a partir dos dados fornecidos.

DESCRIÇÃO DOS DADOS GEOESPACIAIS

O IPP, através de contrato de fornecimento de imagens junto à DigitalGlobe, obteve uma cena bruta do sistema sensor Worldview-2. A DigitalGlobe cedeu um recorte de uma cena de aproximadamente 24km², já ilustrada na Figura 1, sendo ela composta pela banda Pancromática e 4 bandas multiespectrais. Na Tabela 1, seguem os dados técnicos dessa imagem:

Tabela 1 – Dados técnicos da imagem Worldview-2.

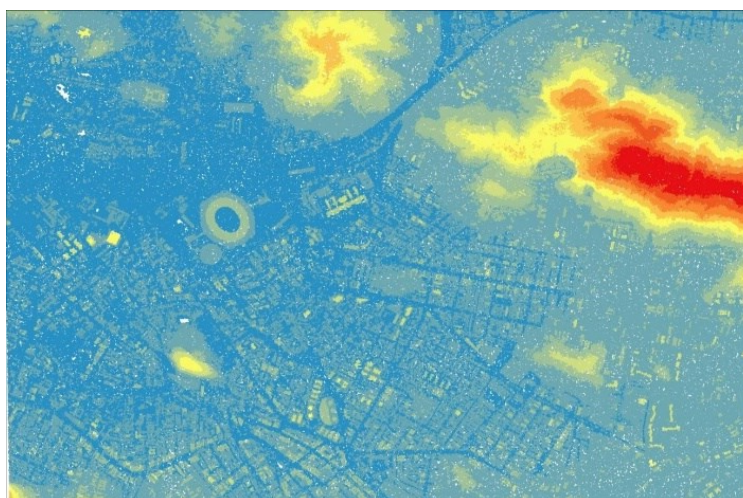
Bandas do sensor	Pancromática: 450-800nm
	Multiespectrais: Azul: 450-510 nm Verde: 510-580 nm Vermelho: 630-690 nm Infravermelho próximo: 770-895 nm
Resolução do sensor	Pancromática: 0,5m
	Multiespectral: 2,0m
Resolução radiométrica	11 bits por pixel
Datum	WGS84 UTM 23S
Offnadir (graus decimais)	8,05
Azimute solar (graus decimais)	38,32
Data da aquisição	26/08/2017 às 13h17'54"

Fonte – DIGITAL GLOBE (2010).

Há de se ressaltar que a imagem ora em tela foi disponibilizada sem correção relativa ao terreno e, junto com a imagem, encontram-se como metadados os coeficientes polinomiais racionais (RPC).

Também foram utilizados dados de LaserScan aerotransportados. O IPP disponibilizou duas nuvens de pontos uma nuvem de pontos bruta e outra processada pelo IPP subtraído dos pontos contidos nas áreas de edificações e vias elevadas de modo que apenas houvesse retornos de pontos contidos no terreno. Esse dado foi levantado com o sensor laser ALS60. Tomando-se como referência o relatório da empresa Topocart, enviado ao IPP, que explica a configuração do vôo e o sensor laser ALS60, obtém-se os seguintes dados: o ângulo de visada – FOV (Field Of View) foi de 30°, sua altura em 1.800 metros e a velocidade média da aeronave foi de 130 nós. A densidade média de pontos planejada por metro quadrado caracteriza-se em 2ppm e a superposição lateral é dita em 20%. O IPP cedeu para a pesquisa dois tipos de arquivos em formato "las". O primeiro tipo são arquivos brutos com todos os retornos dos feixes de laser e o segundo tipo foi processado para apenas conter os dados relativos ao terreno. A Figura 2 apresenta uma visualização dos dados LIDAR brutos.

Figura 2 – Visualização dos dados LIDAR brutos.



Fonte – elaborada pelos autores a partir dos dados fornecidos.

Em relação a pontos de apoio, foram utilizados 13 pontos previamente levantados em campo, a fim de fundamentar as análises espaciais. Eles são provenientes da monografia de Mantovani, Olivera e Lago (2010). Os pontos foram levantados com o receptor GNSS geodésico de dupla frequência e possuem uma precisão milimétrica. O receptor usado foi o PROMARK 2 com a antena ASH110545.

Figura 3 – Pontos de Apoio de Campo Utilizados.



Fonte – elaborada pelos autores a partir dos dados fornecidos.

Além disso, o IPP disponibilizou para este trabalho sua base cartográfica de logradouros do município do Rio de Janeiro. A base cartográfica foi construída na escala cadastral de 1:2000, atendendo à classe “A” do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), tanto para a planimetria, quanto para a altimetria. Essa base foi gerada através de restituição fotogramétrica no ano de 2013. A Figura 4 apresenta uma visualização da base cartográfica vetorial utilizada neste trabalho.

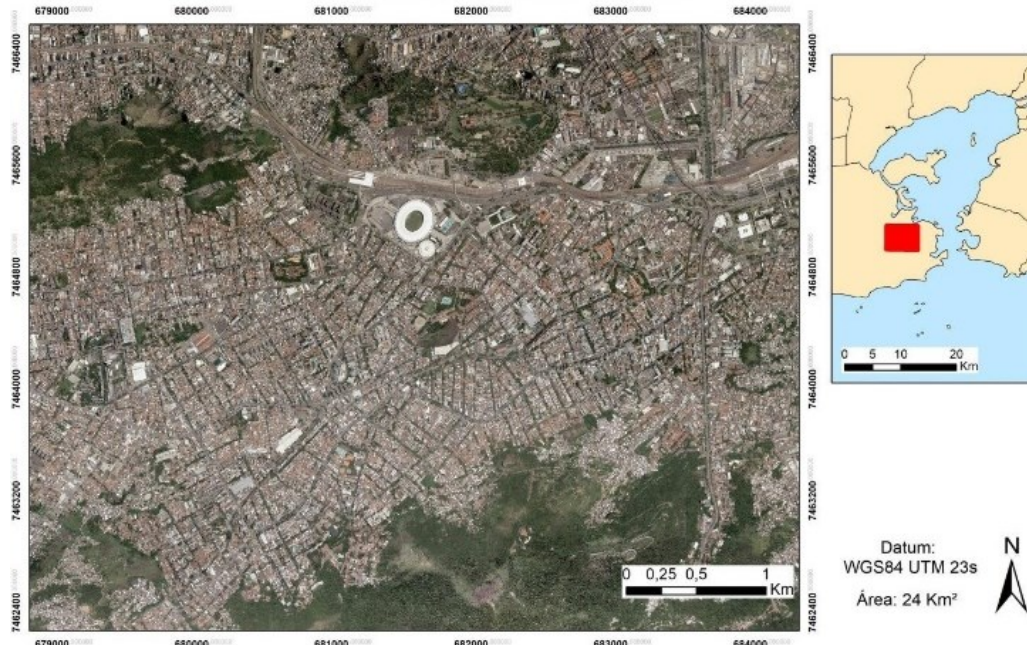
Figura 4 – Base vetorial do município do Rio de Janeiro.



Fonte – elaborada pelos autores a partir dos dados fornecidos.

Por fim, o IPP também forneceu para este trabalho seu mosaico de ortofotos do município do Rio de Janeiro. Esse dado é originário de uma cobertura aerofotogramétrica realizada em 2015. O mosaico atende às especificações da classe “A” do PEC-PCD planimétrico para escala 1:2000. Possui a resolução espacial de 15 centímetros e resolução radiométrica de 12 bits. A ortoimagem apresentada na Figura 5 a seguir foi utilizada como referência posicional para a corrente análise realizada neste trabalho.

Figura 5 – Mosaico de ortofotos.

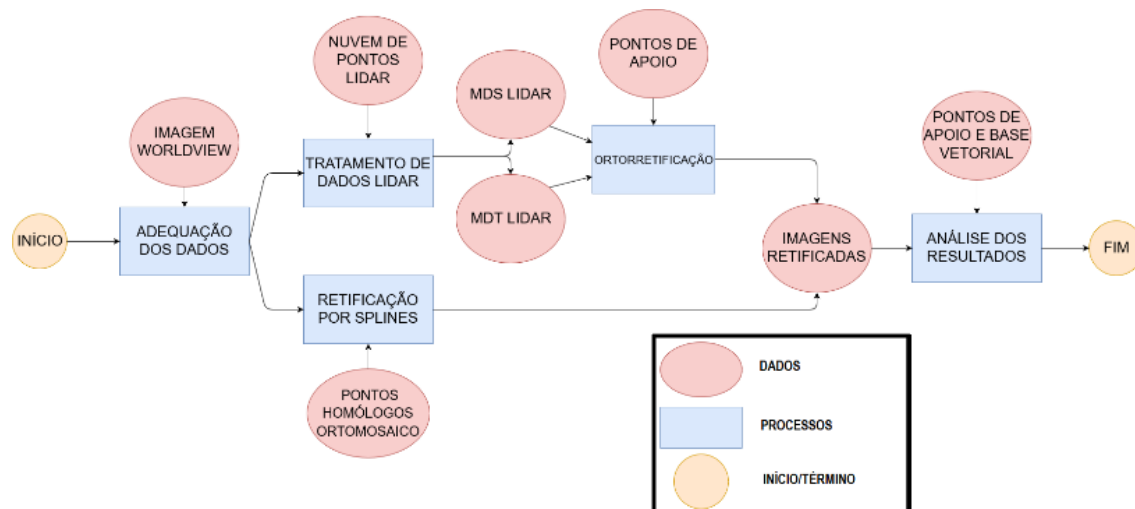


Fonte – elaborada pelos autores a partir dos dados fornecidos.

METODOLOGIA

O diagrama exposto na Figura 6 define com maior detalhamento os passos adotados na pesquisa.

Figura 6 – Metodologia em fluxograma.



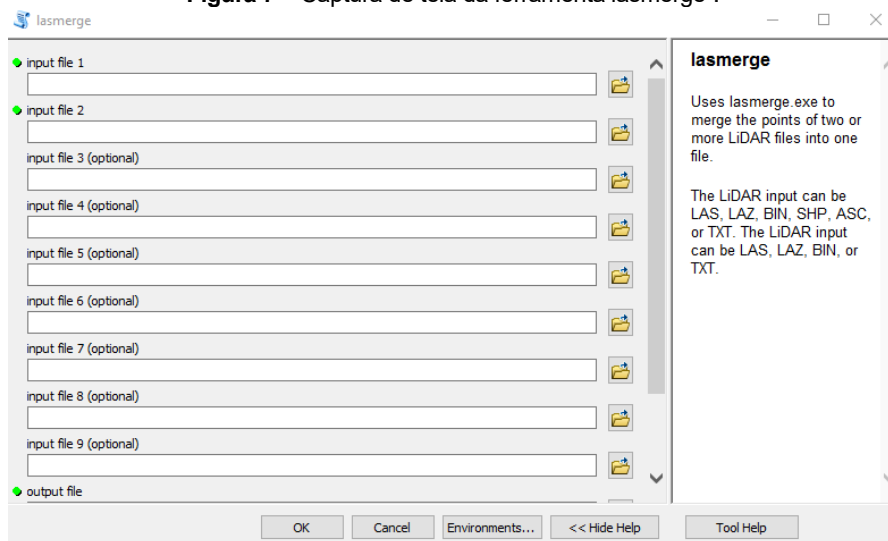
De forma simplificada, a metodologia foi estabelecida com vistas a gerar três diferentes produtos para comparação final: duas ortorretificações (uma a partir de modelo digital de superfície e outra a partir

de modelo digital de terreno) e uma retificação por splines. Os três produtos finais, obviamente, foram gerados a partir da imagem WordView, e representam três possibilidades a serem utilizadas pelo IPP caso venha a adotar a atualização cartográfica de suas bases por imagem de satélite de alta resolução. A retificação por splines foi incluída de modo a testar uma abordagem sabidamente menos precisa, mas de trabalho computacional menos custoso, a fim de verificar se a mesma já é minimamente suficiente para o trabalho requerido, dispensando a ortoretificação. A seguir, são descritos alguns passos mais específicos da metodologia.

UNIÃO E INTERPOLAÇÃO DOS DADOS LIDAR

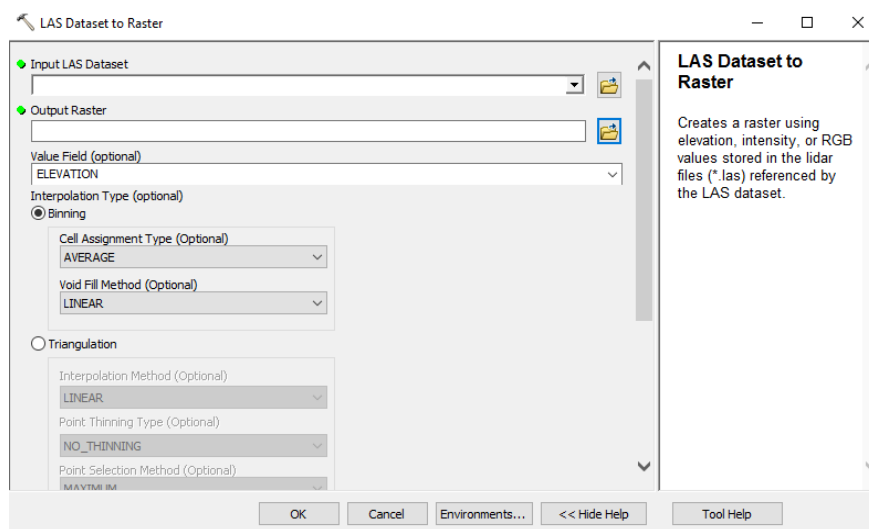
Através dos softwares LAStools e ArcGIS 10.3 da ESRI foram efetuados os seguintes processos: a união das folhas de interesse e a geração e interpolação dos dados LAS. Primeiramente efetuou-se a união das folhas de interesse em um arquivo LAS pela ferramenta lasmerge, disponível pela biblioteca LAStools. A Figura 7 demonstra tal processo.

Figura 7 – Captura de tela da ferramenta lasmerge .



Em seguida, prosseguiu-se para a geração e interpolação dos dados LAS pela ferramenta LAS Dataset to Raster disponível no software ArcGIS, como é possível observar na Fig. 8.

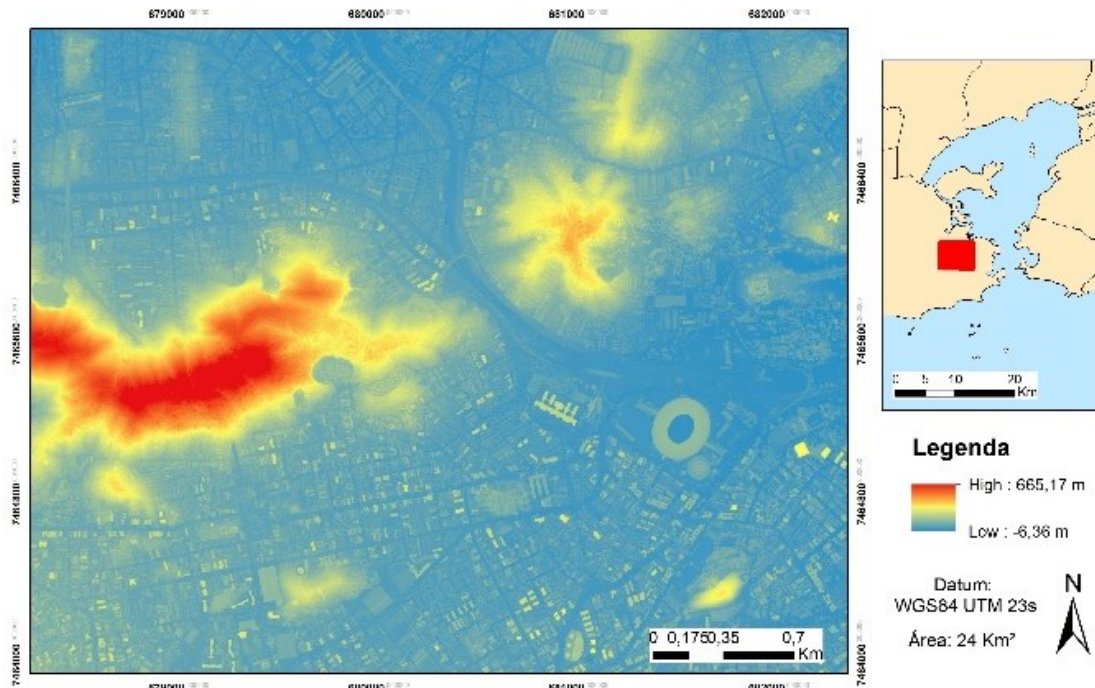
Figura 8 – Captura da tela da ferramenta LAS Dataset to Raster.



Tanto o MDT quanto o MDS LIDAR foram gerados com resolução espacial de 1 metro. Isto foi possível devido à própria densidade média de pontos dos dados LIDAR, que é em torno de 2 pontos por metro quadrado.

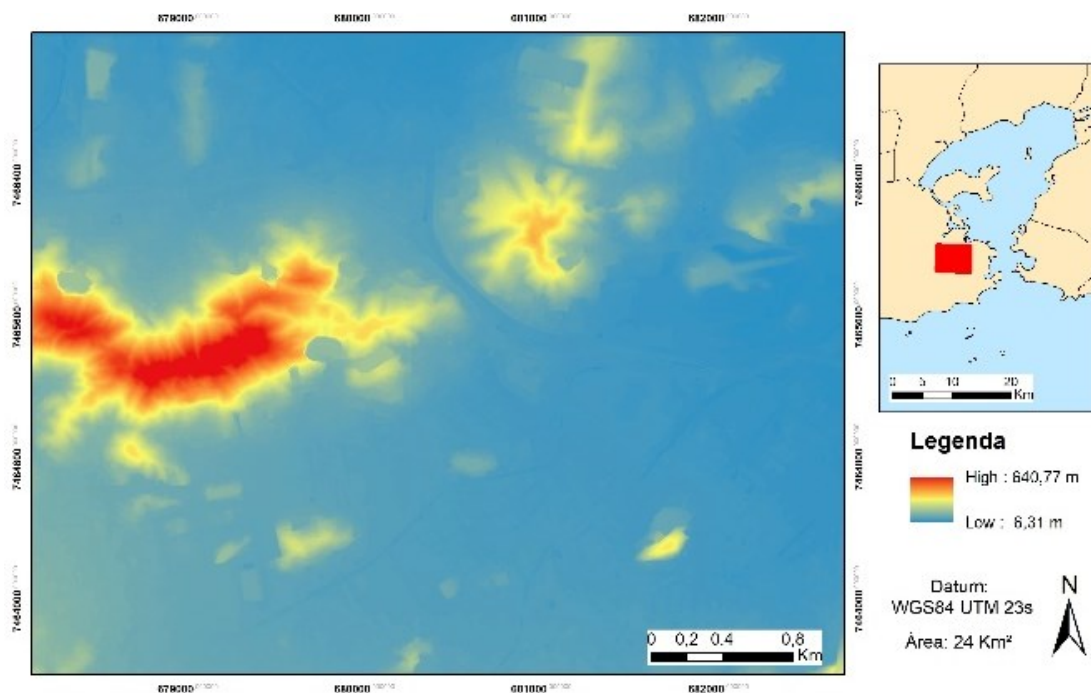
Os modelos gerados estão ilustrados, respectivamente, esclarecidos nas Figuras 9 e 10.

Figura 9 – Modelo digital de superfície da área de estudo.



Fonte – elaborado pelos autores a partir dos dados fornecidos.

Figura 10 – Modelo digital do terreno da área de estudo.

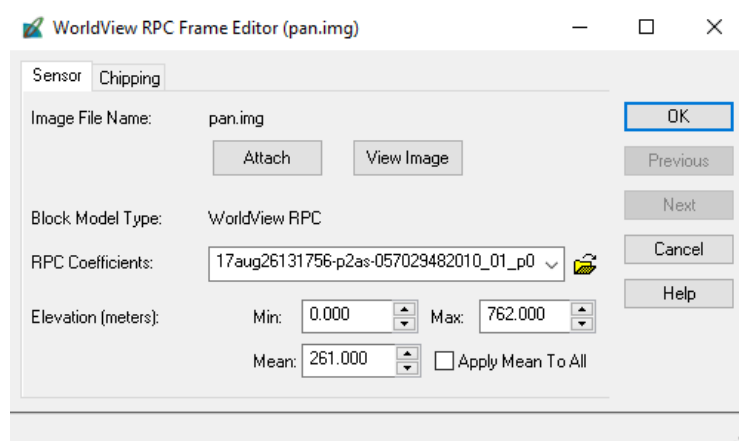


Fonte – elaborado pelos autores a partir dos dados fornecidos.

Ortorretificação utilizando o MDT e o MDS LiDAR

Primeiramente, a imagem foi convertida para o padrão IMG a fim de ser processada no software Erdas. Para a realização da ortorretificação foi empregado o IMAGINE Photogrammetry 2016, utilizando o modelo de funções racionais para o WorldView RPC. O sistema adotado nesse projeto foi o WGS84 no fuso 23 sul da projeção UTM. Foram adicionados ao projeto a imagem de trabalho e os coeficientes polinomiais racionais da respectiva imagem, conforme metodologia de Fraser et. al (2004). Os coeficientes foram disponibilizados junto da imagem com o arquivo tipo RPB, conforme Figura 11.

Figura 11 – Janela para a Inserção dos RPCs.



Em seguida, foram importados para o projeto o MDS e o MDT provenientes de dados LiDAR.

A próxima etapa do processo de ortorretificação é a medição dos pontos de apoio de campo ou de controle. Os pontos de controle escolhidos foram o "P10" e o "P11". O erro médio quadrático correspondente foi calculado pelo software e é mostrado na Figura 12. Além dos pontos de apoio de campo foram utilizados 10 (dez) pontos de verificação dos resultados, também denominados "checking points". Os pontos escolhidos foram facilmente encontrados na imagem e estão espacialmente distantes uns dos outros, conforme mostra a Figura 13.

Figura 12 – Relatório do cálculo do erro médio quadrático (RMSE).

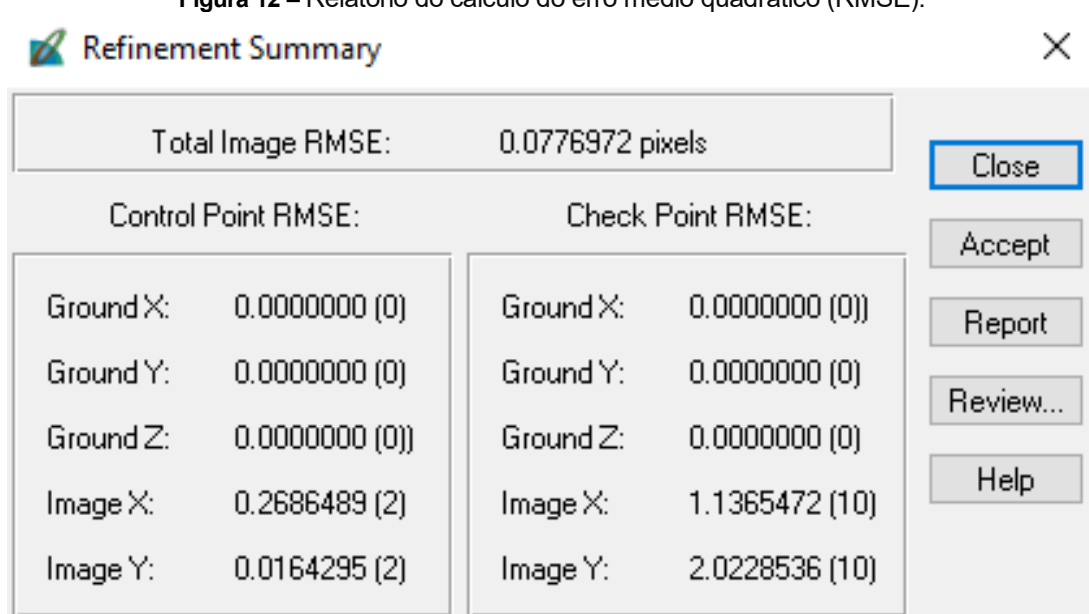
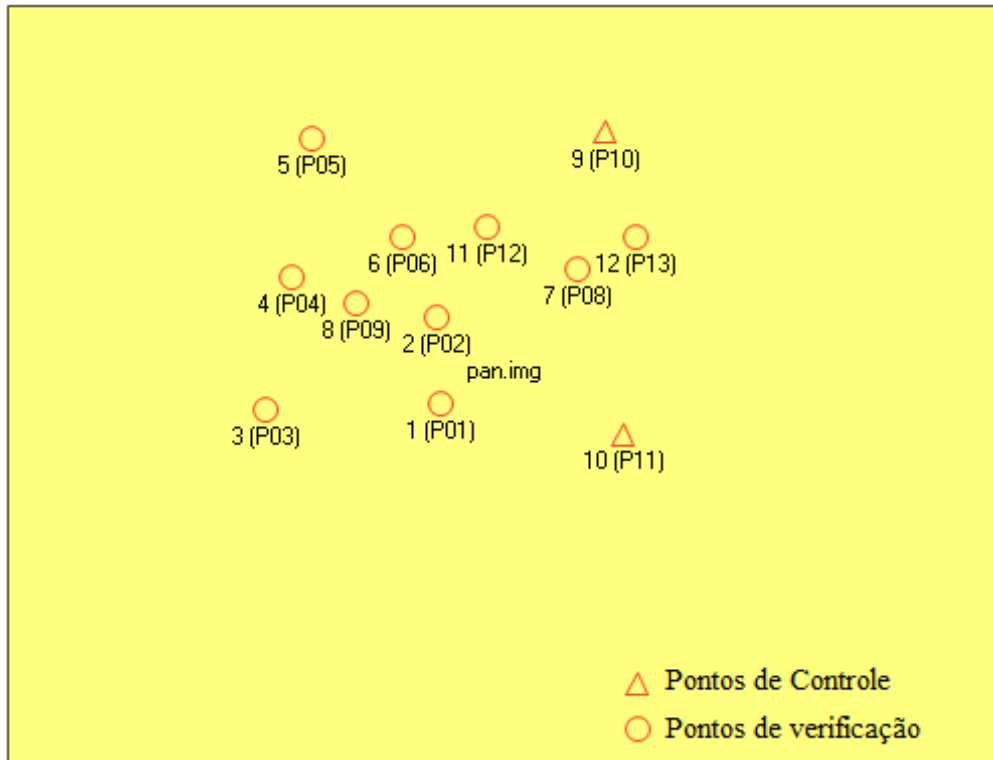


Figura 13 – Distribuição dos Pontos de Apoio de Campo e de Verificação da Qualidade dos Resultados.



Os pontos representados graficamente em formato de triângulo são os de apoio de campo e os de formato circular são de verificação.

Foram geradas, após o carregamento de todos os dados e pré-requisitos, duas imagens ortorretificadas. Uma usando o modelo digital de superfície e outra o modelo digital de terreno, ambas usufruindo do mesmo par de pontos de controle. As ortoimagens foram geradas utilizando o mesmo sistema de referência WGS84 fuso 23 sul UTM, e o método de reamostragem dos níveis de cinza dos pixels das ortoimagens foi a interpolação bilinear.

TRANSFORMAÇÃO GEOMÉTRICA SPLINE

A retificação pelo método spline consiste na utilização de pontos de apoio de campo ou de controle, extraídos de uma base cartográfica confiável, no intuito de realizar uma correção planimétrica de modo alternativo. Para o cálculo, foi utilizado o ortomosaico de 2015 como base cartográfica confiável. O uso dessa transformação tem caráter investigativo, de modo que seja verificado se o uso é viável comparado à ortorretificação realizada pelo processo fotogramétrico tradicional, da retificação diferencial. Foram utilizados 15 pares de pontos homólogos para o processamento, visto que todos eles são diferentes dos pontos de apoio de campo utilizados no processo anteriormente descrito.

RESULTADOS

ANÁLISE VISUAL DOS PRODUTOS GERADOS

A análise aplicada nos dados abaixo se deu inicialmente com a imagem sem estar corrigida das distorções de terreno e depois com a imagem já corrigida (ortorretificada) a partir de seu processamento. Como base cartográfica de referência foi aplicada a base vetorial do IPP, que atende à classe "A" do PEC para a escala 1:2000.

Figura 14 – Ortorretificação com MDS.

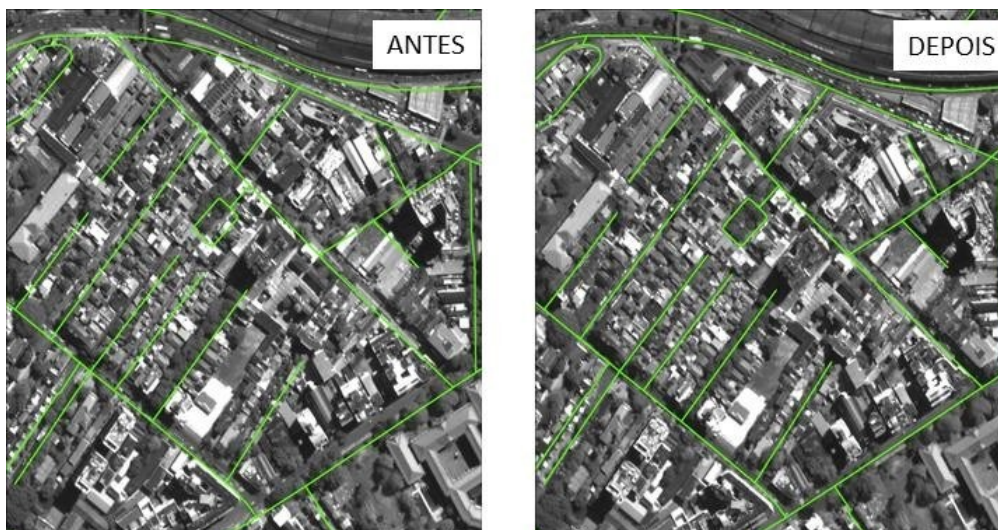


Figura 15 – Ortorretificação com MDT.

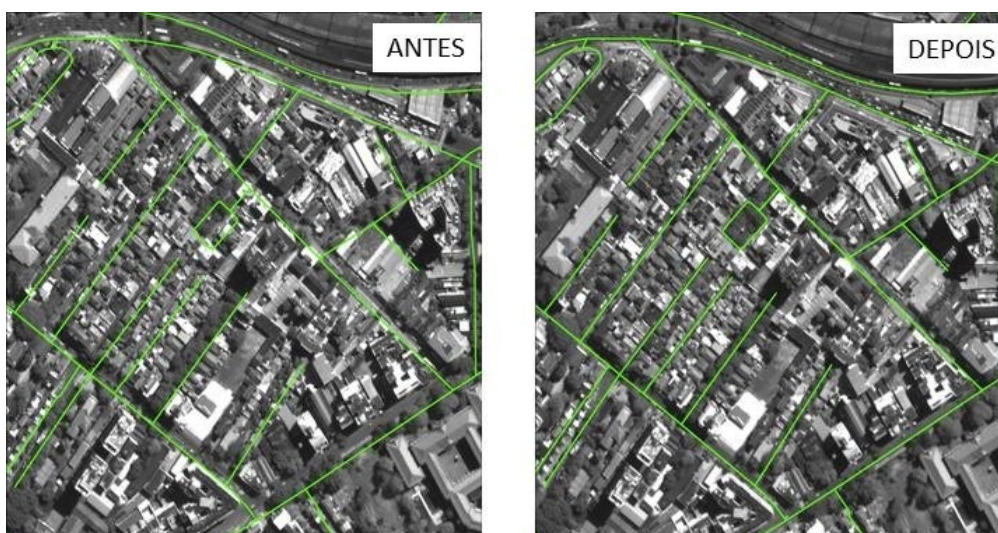


Figura 16 – Retificação por Splines.



AVALIAÇÃO DA EXATIDÃO PLANIMÉTRICA

Para a análise quantitativa, utilizou-se o cálculo da PEC dispondo de 12 pontos de verificação de campo facilmente identificáveis, na imagem. O cálculo consiste em, a princípio, extrair da imagem as coordenadas dos pontos de verificação utilizados e em seguida, realizar o cálculo das diferenças das coordenadas planimétricas, ponto a ponto, obtendo-se assim o erro planimétrico para cada ponto de teste e calculando-se o desvio padrão amostral dos erros planimétricos. De acordo com o PEC, a classe é definida pelos 90% dos pontos de teste com erro contido no intervalo de confiança para a classe e escala considerada. Nas tabelas abaixo estão os resultados dos cálculos realizados para cada tipo de produto processado.

Tabela 2 – PEC da ortorretificação a partir do MDS.

NOME	E(Terreno)	N(Terreno)	E(imagem)	N(imagem)	DE	DN	Erro Planimétrico	Desvio Padrão
								1.055
P05	680377.816	7465806.071	680376.916	7465806.653	0.900	-0.582	1.071	
P14	682912.044	7464795.162	682914.862	7464795.440	-2.818	-0.278	2.831	
P03	680114.618	7464269.661	680116.027	7464272.188	-1.409	-2.527	2.893	
P01	681100.209	7464305.984	681101.916	7464309.278	-1.707	-3.294	3.710	
								Resultad
P08	681875.866	7465066.854	681877.612	7465070.130	-1.746	-3.276	3.712	o
P04	680262.749	7465023.964	680265.075	7465026.861	-2.326	-2.897	3.715	PEC
P02	681079.091	7464791.902	681080.794	7464795.233	-1.703	-3.331	3.741	1/5000
P09	680626.292	7464876.497	680628.316	7464879.870	-2.024	-3.373	3.934	Classe C
P13	682208.231	7465250.939	682210.440	7465254.418	-2.209	-3.479	4.121	
P12	681361.203	7465299.251	681363.240	7465303.921	-2.037	-4.670	5.095	

Tabela 3 – PEC da ortorretificação a partir do MDT.

NOME	E(Terreno)	N(Terreno)	E(imagem)	N(imagem)	DE	DN	Erro Planimétrico	Desvio Padrão
P05	680377.816	7465806.071	680376.916	7465806.653	0.900	-0.582	1.071	1.222
P14	682912.044	7464795.162	682914.108	7464795.400	-2.064	-0.238	2.077	
P03	680114.618	7464269.661	680116.523	7464272.783	-1.905	-3.122	3.657	
P01	681100.209	7464305.984	681101.916	7464309.278	-1.707	-3.294	3.710	
								Resultad
P09	680626.292	7464876.497	680628.316	7464879.870	-2.024	-3.373	3.934	o
P08	681875.866	7465066.854	681877.612	7465070.426	-1.746	-3.572	3.976	PEC
P02	681079.091	7464791.902	681081.505	7464795.408	-2.414	-3.506	4.257	1/5000
P04	680262.749	7465023.964	680265.170	7465027.496	-2.421	-3.532	4.282	Classe C
P13	682208.231	7465250.939	682210.149	7465254.974	-1.918	-4.035	4.468	
P12	681361.203	7465299.251	681363.505	7465304.014	-2.302	-4.763	5.290	

Tabela 4 – PEC da retificação por spline.

NOME	E(Terreno)	N(Terreno)	E(imagem)	N(imagem)	DE	DN	Erro Planimétrico	Desvio Padrão
P01	681100.209	7464305.984	681100.593	7464307.505	-0.384	-1.521	1.569	2.383
P03	680114.618	7464269.661	680116.344	7464269.687	-1.726	-0.026	1.727	
P10	682031.497	7465841.798	682030.425	7465843.782	1.072	-1.984	2.255	
P11	682134.395	7464127.842	682135.136	7464131.136	-0.741	-3.294	3.376	
								Resultad
P12	681361.203	7465299.251	681359.773	7465295.933	1.430	3.318	3.613	o
P09	680626.292	7464876.497	680623.421	7464880.435	2.871	-3.938	4.873	PEC
P04	680262.749	7465023.964	680257.058	7465024.799	5.691	-0.835	5.752	1/10000
P02	681079.091	7464791.902	681073.709	7464788.889	5.382	3.013	6.168	Classe B
P05	680377.816	7465806.071	680371.279	7465809.088	6.537	-3.017	7.200	
P13	682208.231	7465250.939	682203.138	7465256.086	5.093	-5.147	7.241	
P08	681875.866	7465066.854	681870.563	7465060.417	5.303	6.437	8.340	

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ortorretificação utilizando o MDS e MDT provenientes por LIDAR apresentou valores planimétricos muito semelhantes, ambos atingindo a mesma classe C do PEC 1:5000. Esses resultados são consistentes com Figueiredo (2011) e Pinto e Amorim (2011), que realizaram análises similares com vistas à restituição cartográfica. A semelhança nos resultados entre ortoimagens geradas com MDT e MDS ocorreu devido a haverem sido utilizados pontos de controle no solo, gerando assim uma influência no resultado final. É possível aventar a hipótese que, no topo de edificações, a ortorretificação usando o MDS apresentaria resultados mais robustos.

Já a retificação por splines gerou um resultado menos satisfatório, ficando na classe B da PEC 1:10000. Já era esperado um resultado planimétrico superior no processo de ortorretificação, porém o método por splines apresenta bons resultados em regiões em que há uma alta densificação de pontos de controle, pois é um método de exatidão local. Tal resultado também encontra afinidade com estudos preliminares de outros sensores de alta resolução encontrados em Croitoru (2004) e ligeiramente superiores a Marcuzzo et al. (2011).

O melhor resultado encontrado é a ortorretificação utilizando o MDS, pois aproxima-se ao máximo do objetivo de transformar a perspectiva cônica em uma projeção ortogonal. As imagens obtidas pelo sistema sensor WorldView-2 têm potencial para atingir padrões de exatidão cartográfica mais altos do que os resultados dessa pesquisa, mas apenas com as análises visuais feitas já é possível atestar uma melhora na qualidade posicional e um avanço na adequação da base vetorial do IPP às ortoimagens geradas.

Um dos fatores mais determinantes nessa pesquisa é o fato de que não foi manipulado o modelo digital de superfície extraído de um par estereoscópico de imagens, mas foi empregado um MDS proveniente de outra fonte, nesse caso o LIDAR. O sistema LaserScan, como é dito na literatura, possui uma qualidade de altimetria superior à da planimetria. Desta forma, para trabalhos futuros, sugere-se realizar um estudo sobre a qualidade planimétrica e altimétrica de Modelos digitais provenientes de dados LIDAR.

Mesmo com tais limitações, os resultados alcançados nesse trabalho apresentam uma melhora relativa se comparados com a imagem inicial. O sistema WorldView-2 tem muito potencial de uso para mapeamento urbano, porém, utilizando a metodologia sugerida nesse trabalho não foi alcançada a precisão planimétrica de uma escala cadastral maior ou igual a 1:2000. Em comparação a estudos similares realizados com outros satélites e imagens de alta resolução, verifica-se que o uso do WorldView apresenta consistência similar para atualização de bases vetoriais em escala 1:5000 ou menores, e com maior precisão que outros tipos de retificação geométrica.

A título de comparação, um contrato de atualização cartográfica para um território de extensão do porte do Rio de Janeiro é da ordem de 3 a 5 milhões de reais, segundo estimativa fornecida pelo corpo técnico do IPP e baseada em últimas licitações. Já um contrato de uso de imagens de satélite de alta resolução custa uma fração de tal valor. Municipalidades menores podem beneficiar de descontos ainda mais substanciais, uma vez que somente têm a urgência de atualizar a área de seus centros urbanos. Ainda que a qualidade precisional não seja equivalente à cartografia cadastral original, de 1:2000, entende-se que o custo-benefício em termos de conhecimento do território, tributação e análise fundiária justifica a utilização de métodos menos precisos (porém, menos custosos!) como o apresentado neste artigo.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos e à Digital Globe, pela cessão das imagens e dados topográficos utilizados nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Decreto nº 89.817, de 24 de junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional.
- BRITO, Jorge Luís Nunes Silva; COELHO, Luiz. Fotogrametria digital. 1ª Edição. Rio de Janeiro, Editora UERJ, 2007.
- CROITORU, Arie et al. Single and stereo based 3-D metrology from highresolution imagery: methodologies and accuracies. *International Archives of Photogrammetry and remote sensing*, v. 20, p. 1022-1027, 2004.
- DIGITALGLOBE, I. Whitepaper: The benefits of the 8 spectral bands of worldview-2. March, 2010.
- FIGUEREDO, Adriana Fonseca. Avaliação do potencial de uso de um par estereoscópico do sensor WorldView 2 (pancromático) para mapeamento fotográfico 3D / Adriana Fonseca Figueredo. 2011.
- FRASER, Clive S.; DIAL, G.; GRODECKI, J. Sensor orientation via RPCs. *ISPRS journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 60, n. 3, p. 182-194, 2006.
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2005.11.001>
- MANTOVANI, Guiderlan Lemos; OLIVEIRA, Vanessa Nascimento Vieira e LAGO; Gabriel Neves. Levantamento de apoio suplementar para processamento fotogramétrico digital no ambiente e-foto. Curso (Engenharia Cartográfica) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro
- JENSEN, John R.; EPIPHANIO, José Carlos Neves. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. Parêntese, 2011.
- LIANG, Shunlin. Quantitative remote sensing of land surfaces. John Wiley & Sons, 2005.
- LILLESAND, Thomas; KIEFER, Ralph W.; CHIPMAN, Jonathan. Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons, 2014.
- MARCUZZO, Francisco Fernando Noronha; ANDRADE, Lucas Reinehr; MELO, Denise Christina de Rezende. Métodos de interpolação matemática no mapeamento de chuvas do estado do Mato Grosso. 2011.
- MOREIRA, Mauricio Alves. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. UFV, 2005.
- OpenGIS Consortium (OGC), 1999. The OpenGIS Abstract Specification. Topic 7: Earth Imagery. 2004.
- PINTO, Marcelo Solfa; AMORIM, Amilton. Ortoretificação de imagem QuickBird com diferentes modelos digitais de terreno: análise da qualidade geométrica. *Revista Brasileira de Cartografia*, n. 63, 2011.
- TOPOCART, Execução de Bases Cartográficas na escala 1:2000 (área urbana/comunidade de baixa renda) por Restituição Aerofotogramétrica Digital e Geração de Ortofotos na escala 1/10.000, Visando a Atualização da Base Cartográfica. Abril, 2015.

Recebido em: 30/11/2018

Aceito para publicação em: 09/05/2019