

Assessing the Influence of Topography on the Spectral Behavior of Similar Targets in LiDAR and OLI

Albino F. de França^{*}, João R. Tavares Junior^{**}, Ana Lúcia B. Candeias^{**}, Rafaella C. de M. Matos^{***}

^{*}Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação pela Universidade Federal de Pernambuco, Recife - PE, Brasil. E-mail: albinoffranca@gmail.com

^{**}Professor(a) do Departamento de Engenharia Cartográfica e Agrimensura, Universidade Federal de Pernambuco, Recife - PE, Brasil. E-mails: joao.tavaresjr@ufpe.br, analucia@ufpe.br

^{***}Professora da Faculdade Integrada de Recife, Recife - PE, Brasil. E-mail: rafaella.matos@gmail.com

Received 31 July 2021; accepted 30 December 2021

Abstract

This article addresses the analysis of topography interference in the spectral behavior of targets present in multispectral images, fused by the Brovey method. For this, areas with targets, LiDAR data (Light Detection And Ranging) were used to obtain the terrain data (Digital Terrain Models, in scale 1: 5000, from the Pernambuco Three-dimensional Program), multispectral satellite images obtained from the Operational sensor Land Imager (OLI) of Landsat 8, and the free software QGIS. The results show a relation of the variation of the reflectance values according to the topography of the terrain and the position of the Sun in relation to the imaged area.

Avaliação da Influência da Topografia Sobre o Comportamento Espectral de Alvos Semelhantes na Integração de Dados LiDAR e do Sensor OLI

Resumo

Este artigo aborda a análise da interferência da topografia no comportamento espectral dos alvos presentes em imagens multiespectrais, fusionados pelo método de Brovey. Para isso foram usadas áreas com alvos, dados LiDAR (Light Detection And Ranging) para obter os dados do terreno (Modelos Digitais de Terreno, em escala 1:5000, do Programa Pernambuco Tridimensional), imagens de satélite multiespectrais obtidas a partir do sensor Operational Land Imager (OLI) do Landsat 8, e o Software livre QGIS. Os resultados demonstram relação da variação dos valores de reflectância em função da topografia do terreno e da posição do Sol em relação à área imageadas.

Palavras Chave: Fusão, Brovey, LANDSAT, PE-3D, QGIS.

1. Introdução

A aplicação de técnicas de integração espectral, tais como a fusão de imagens, permite o uso de imagens de melhor resolução espacial em conjunto com outras de melhor resolução espectral, o que permite a múltipla aplicação. Diante disso, Li et al. (2017) fazem uma abordagem acerca do estado da arte da fusão de imagens a nível de pixel. Sivagami et al. (2015), por sua vez, abordam uma revisão acerca do estado da arte de técnicas de fusão de imagens e métodos de avaliação de qualidade das imagens fusionadas. Nenhum dos autores mencionados, todavia, indicam a influência e colaboração da topografia sobre valores de reflectância.

A avaliação da influência topográfica sobre dados de reflectância oriundos de imagens

multiespectrais é possível com a utilização de dados altimétricos obtidos por perfilamentos a laser.

A palavra laser é um acrônimo para amplificação de luz por emissão estimulada de radiação. Essencialmente, um laser é um dispositivo óptico que, quando ativado por uma fonte de energia externa, produz e emite um feixe ou pulso de radiação monocromática no qual todas as ondas são coerentes e em fase. (Shan e Toth, 2018).

LiDAR (Light Detection and Ranging) é a técnica para determinar a distância de um objeto através da transmissão de um raio laser. Bauwens et al. (2016) definem que, LiDAR é um método de sensoriamento remoto ativo que pode medir com precisão as distâncias transmitindo energia de laser e analisando a energia retornada. O LiDAR pode ser

operado a partir de plataformas orbitais, aéreas ou terrestres.

A tecnologia LiDAR está aplicada nas mais diversas áreas, tais como na engenharia de modo geral, pesquisas acerca da atmosfera, ecologia, entre outras, sendo bastante utilizada ainda nas atividades de mapeamento topográfico por meio do perfilamento a laser através de sensores acoplados a aeronaves.

Martins et al. (2016) investigaram uma metodologia para monitorar a morfologia da praia e as características individuais das ondas usando scanner a laser comercial bidimensional a bordo de uma plataforma terrestre. Eitel et al. (2016), por sua vez, analisou o estado da arte de aplicações LiDAR nas ciências da terra e ciências ecológicas. Carneiro e Lima (2016) demonstraram a utilidade do LiDAR, tais como sua alta precisão e velocidade de execução, para registros cartográficos urbanos.

Cheng et al. (2013), propuseram uma nova abordagem, através a partir da integração de dados LiDAR e de imagens ópticas de visão múltipla, para obter automaticamente modelos de telhado 3D com estruturas de relevo e precisão na posição geométrica. Awrangjeb et al. (2013) propuseram um novo método para a extração automática de telhados por meio de integração de dados LiDAR e ortoimagem multiespectral, usando a altura do solo a partir de dados LiDAR.

Allen et al. (2007), Ruhoff et al. (2015) e Silva et al. (2016) abordam a extração de superfícies de reflectância e albedo para imagens multiespectrais, de modo a perceber o comportamento de diferentes alvos na superfície terrestre em função desses dados.

Este artigo tem como objetivo analisar a integração de dados LIDAR, a partir da superfície topográfica do Modelo Digital de Terreno, e superfícies de refletância, demonstrando a variação no comportamento espectral de alvos semelhantes em função da topografia e relevo local da área de interesse.

2. Material e métodos

Área de estudo

A área de estudo analisada neste artigo está contida em territórios do Estado de Pernambuco, inserida nos municípios de Floresta/PE e Petrolândia/PE, tratando-se de uma área de grande importância para o estado de Pernambuco, por estar

às margens do Rio São Francisco, e por esse motivo possuir grandes contribuições à região Nordeste do Brasil em termos de recursos hídricos, fauna e flora.

De acordo com Matos (2015), o entorno do reservatório de Itaparica apresenta como características clima semiárido quente e seco BShw, segundo a classificação climática de Köppen e vegetação do tipo hiperxerófila arbórea, densa no topo das chapadas e arbórea aberta nos níveis inferiores. A Figura 1 localiza espacialmente a área de estudos.

Material e recursos tecnológicos

Constituem o material e recursos tecnológicos utilizados no desenvolvimento deste trabalho:

- Imagens obtidas a partir dos sensor OLI, a bordo do satélite Landsat 8, órbita 216, ponto 066, com data de passagem em 5 de novembro de 2015, obtidas junto ao U.S. Geological Survey, EUA;
- Dados de recobrimento aerofotogramétrico digital e perfilamento a laser do Pernambuco Tridimensional (PE-3D), todos compatíveis com escala 1:5.000, obtidos junto à Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Estado de Pernambuco (SDEC), Brasil. As ortofotos foram obtidas com GSD de 50 cm, enquanto os modelos digitais (MDT e MDE) foram obtidos com GSD de 1 metro. Todos os dados estavam no formato GeoTIFF;
- Software livre QGIS, incluindo todas as suas bibliotecas e compilador da linguagem Python;
- Microsoft Office Excel.

Os dados de recobrimento aerofotogramétrico e perfilamento a laser utilizados neste trabalho, oriundos do, foram obtidos em compatibilidade com a escala 1:500, com PEC Classe A para tal escala. A validação dos dados do PE3D foi realizada pelo Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP).

O Landsat 8 carrega o sistema sensor Operational Land Imager (OLI), que a que possui faixas do espectro eletromagnético anteriormente contidas em versões anteriores da família Landsat, acrescidas de três novas bandas: uma banda do azul escuro para estudos costeiros/aerossol, uma banda de infravermelho de ondas curtas para detecção de cirrus, além de uma banda de avaliação de qualidade. Deste sensor, a Tabela 1 apresenta as faixas do espectro eletromagnético utilizadas neste trabalho.

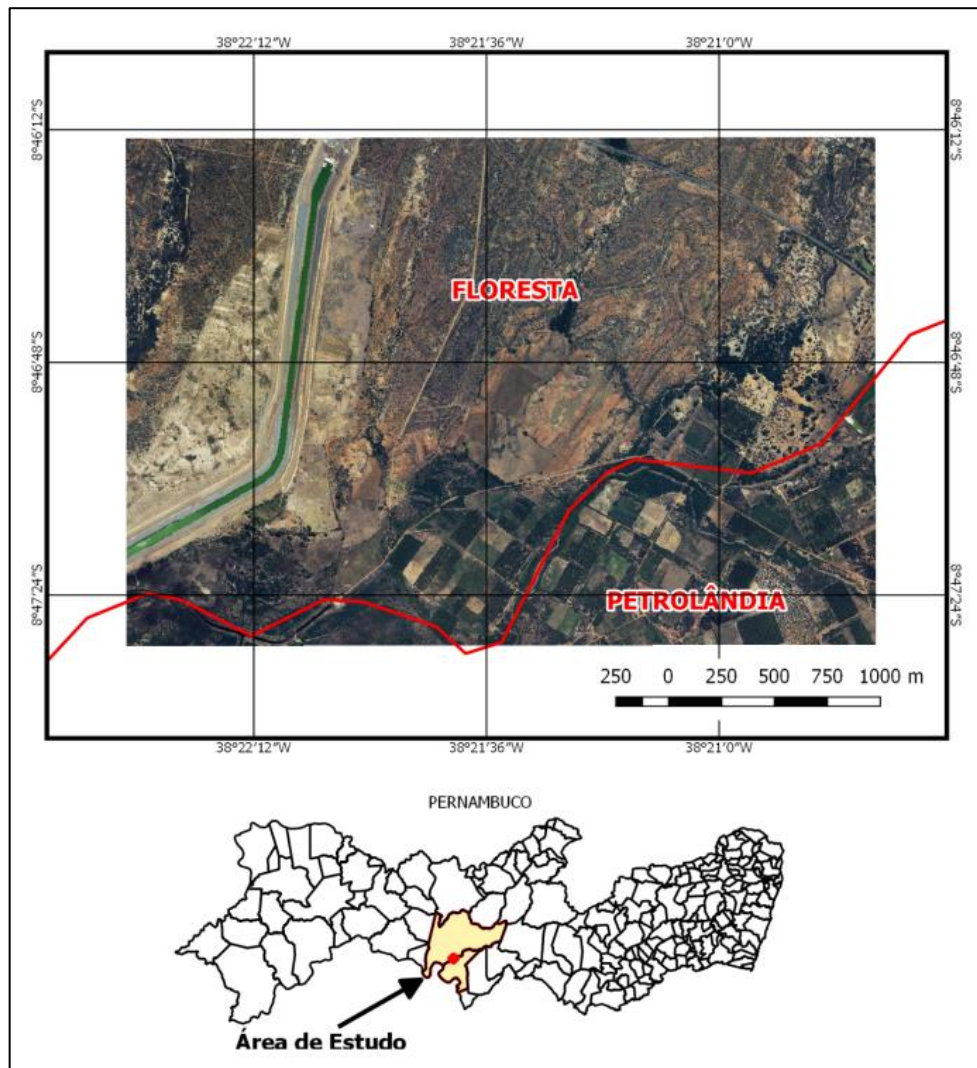


Figura 1 – Localização da Área de Estudo.

Tabela 1 – Características do Sensor OLI para as faixas espectrais de interesse.

Banda	Comprimento de onda (micrômetros)	Resolução espacial (metros)
Banda 2 – Azul	0,45 – 0,51	30
Banda 3 – Verde	0,53 – 0,59	30
Banda 4 – Vermelho	0,64 – 0,67	30
Banda 8 – Pancromática	0,50 – 0,68	15

Fonte: http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php.

Cálculos da Reflectância e Integração Espectral Por Fusão Pelo Método de Brivey Para Obtenção de Reflectâncias Sintéticas

As imagens OLI estão em Número Digital, ND, e segundo Ruhoff et al. (2015), para converter os valores quantizados e calibrados em ND do sistema sensor OLI para radiância e reflectância espectral, utiliza-se coeficientes radiométricos disponibilizados no arquivo de metadados das imagens.

De acordo com USGS (2016) a Radiância L_b pode ser obtida pela Equação 1, na qual $ADD_{rad,b}$ consiste no fator aditivo de reescalonamento para cada banda e $MULT_{rad,b}$ no fator multiplicativo de reescalonamento para cada banda, ambos apresentados nos metadados das imagens OLI. ND_b , por sua vez, consiste no número digital, pixel a pixel, que é quantificado pelos níveis de cinza das imagens brutas.

$$L_b = \text{ADD}_{\text{rad},b} + \text{MULT}_{\text{rad},b} \text{ND}_b \quad (1)$$

Ainda segundo USGS (2016), a Reflectância r_b' pode ser obtida pela Equação 2, na qual $\text{ADD}_{\text{ref},b}$ consiste no fator aditivo de reescalonamento para cada banda e $\text{MULT}_{\text{ref},b}$ no fator multiplicativo de reescalonamento para cada banda, ambos apresentados nos metadados das imagens OLI. Analogamente à Radiância, ND_b , consiste no número digital, pixel a pixel, que são quantificados pelos níveis de cinza das imagens brutas.

$$r_b' = \text{ADD}_{\text{ref},b} + \text{MULT}_{\text{ref},b} \text{ND}_b \quad (2)$$

A Equação 2, contudo, não abrange correção que considera o ângulo zenital solar local para o momento do imageamento. Este, desta forma, é considerado pela Equação 5, na qual $\cos(SZ)$ é o cosseno do ângulo zenital solar local, que é dado pela Equação 3, onde Z é o ângulo de elevação solar local, disponível nos metadados das imagens OLI. Ainda para viabilizar o cálculo da Equação 5, a Equação 4 apresenta o valor de correção da excentricidade da órbita terrestre, que é obtido em função da distância entre o Sol e a Terra d_{ES} .

$$\cos(SZ) = \cos(90 - Z) \quad (3)$$

$$d_r = \left(\frac{1}{d_{ES}} \right)^2 \quad (4)$$

$$r_b = \frac{r_b'}{\cos SZ d_r} \quad (5)$$

O método de Brovey também pode ser utilizado para melhorar a qualidade dos produtos de fusão de imagens (Li et al., 2016). Segundo SIVAGAMI et al. (2015), neste método as informações dos sensores são mescladas, multiplicando cada banda multiespectral pela pancromática de alta resolução, e em seguida dividindo cada produto pela soma da banda multiespectral, o que pode ser matematicamente definido pela Equação 6, na qual n é a quantidade de bandas envolvidas e i é a banda que está sendo fusionada.

$$\text{banda fusionada}, i = \frac{\text{banda}, i}{\sum_1^n \text{banda}, i} \text{banda}, PAN \quad (6)$$

Ainda de acordo com Sivagami et al. (2015), a transformação de Brovey é menos complexa e oferece imagens atraentes do ponto de vista visual. Entretanto, têm como limitação a não preservação da radiometria da cena original, além possuir limitação de uso para apenas três bandas.

Os procedimentos executados para as imagens do sensor OLI, para cálculo das reflectâncias sintéticas através da fusão de imagens pelo método de Brovey, foi executada a partir do software livre QGIS. No mesmo, a extensão Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) foi utilizada, conforme pode ser apresentado na Figura 2, que descreve essa ferramenta utilizada. A Figura 3 apresenta a comparação visual entre as faixas fusionadas, a imagem pancromática e a reflectância calculada a partir dos números digitais.

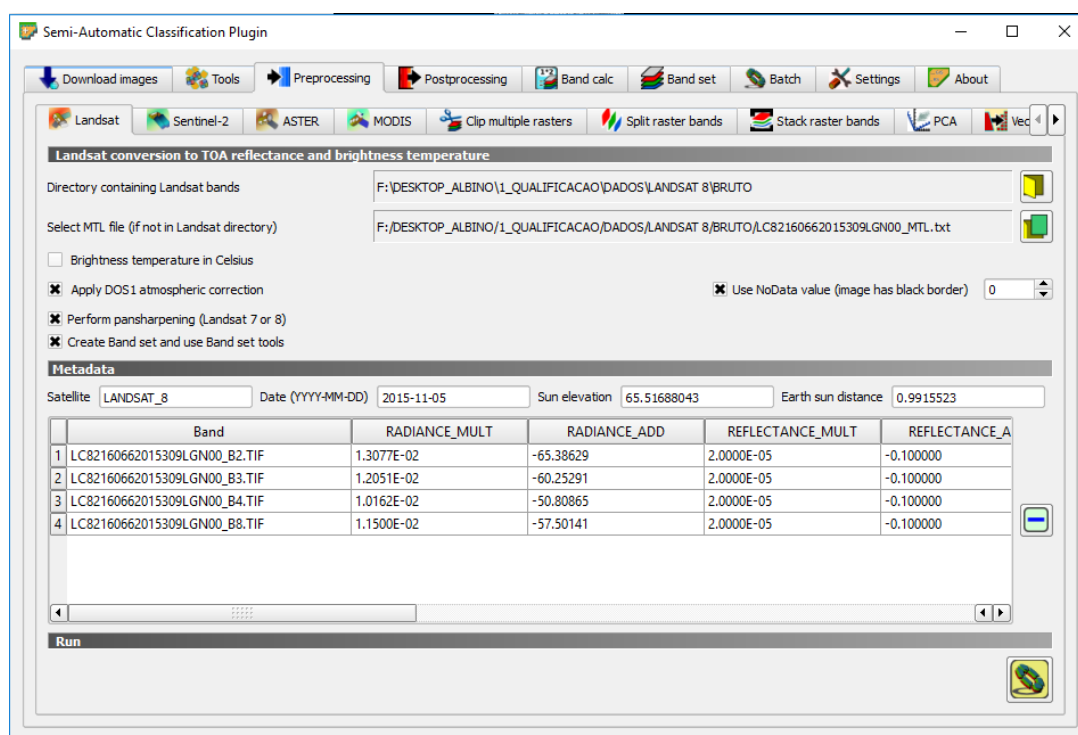


Figura 2 – Cálculos da integração espectral por fusão, executada a partir do software QGIS.

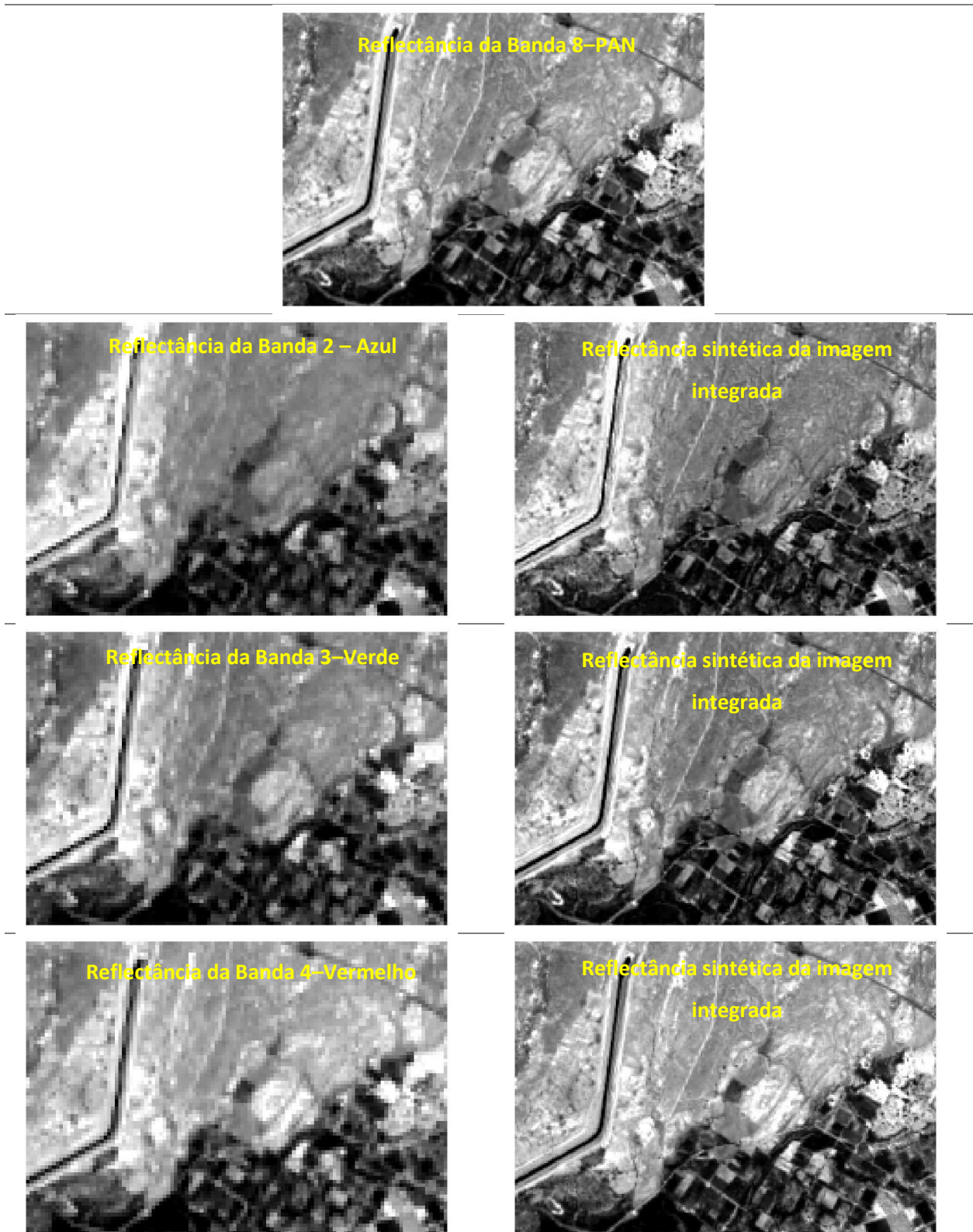


Figura 3 –Refletância das bandas 2, 3 e 4 e das imagens fusionadas com a pancromática (banda 8) do sensor OLI. Fonte: Autores (2018).

Cálculos da Integração Pela Correção Topográfica Pelo Algoritmo de Minnaert

A influência da topografia sobre valores de refletância de dados integrados tem sua estimativa obtida por meio de modelos matemáticos. Jabari e Zhang (2017) demonstraram a aplicação desses

métodos obtidos por meio de uma Função de Distribuição de Refletância Bidirecional (BRDF), por meio do modelo semi-empírico de Minnaert, demonstrado pela fórmula seguinte:

$$\rho_H = \rho_T \left(\frac{\cos \theta_z}{\cos \gamma_i} \right)^{K_k} \quad (7)$$

Na Equação 7, ρ_T é a reflectância da superfície inclinada, ρ_H é a reflectância da superfície horizontal, θ_z é o ângulo zenital solar, γ_i é o ângulo de iluminação local e K_k é a constante de Minnaert para cada banda k .

Assim, de posse dos dados integrados por meio das técnicas de fusão, foi possível a análise espectral das reflectâncias em comparação com o comportamento topográfico da área de estudo, anteriormente e posteriormente à correção topográfica pelo modelo de Minnaert apresentado pela Equação 7.

O perfil analisado foi traçado sobre o espelho d'água do Rio São Francisco (exposto na Figura 4), no canal de transposição, de modo a comparar a variação espectral em função da topografia para uma mesma classe alvos. Os cálculos e análises acerca do mesmo foram executados utilizando-se ferramentas do software QGIS, conforme pode ser apreciado na Figura 5.

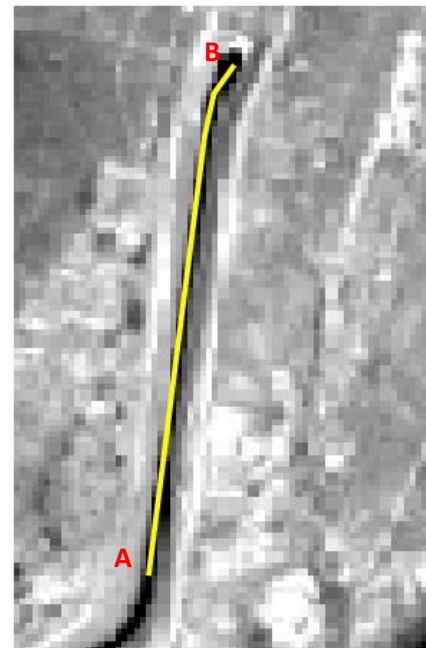


Figura 4 –Traçado do Perfil sobre o espelho d'água.

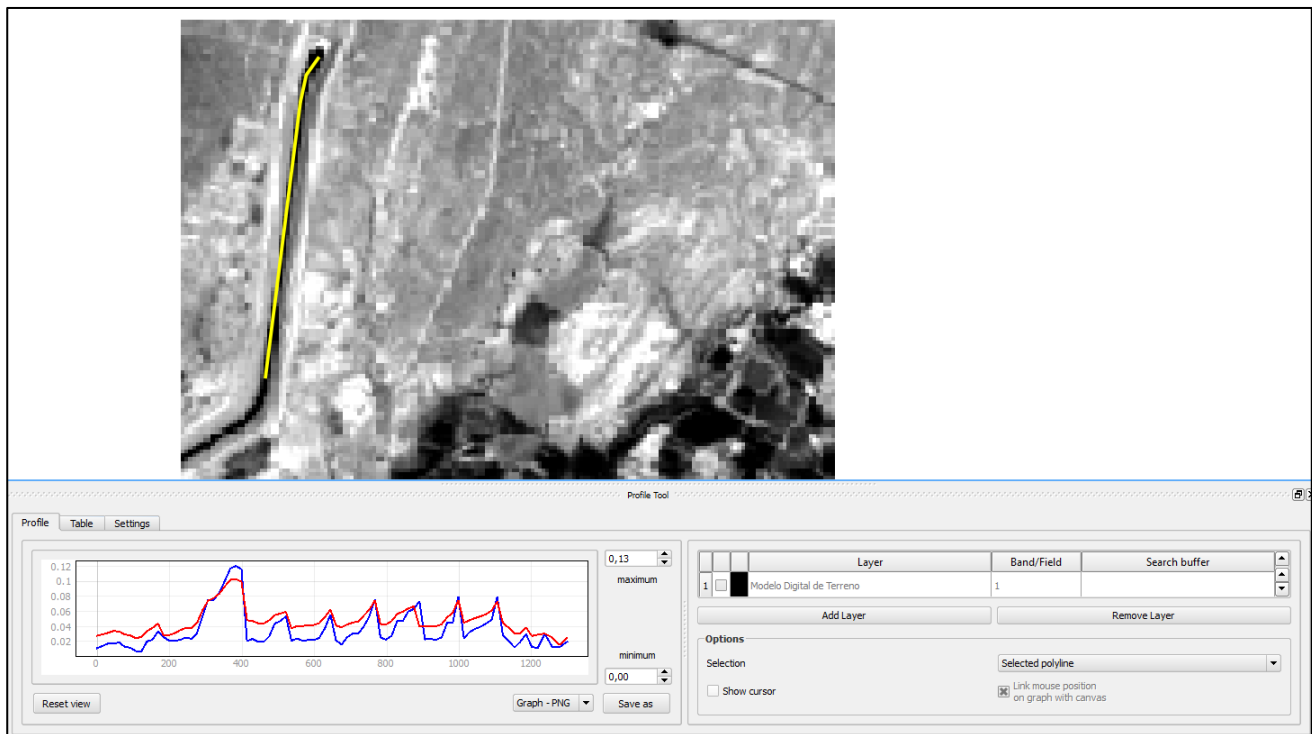


Figura 5 – Cálculos e análises de Perfil, executadas no software QGIS.

3. Resultados e discussão

O comportamento espectral da classe de água em função da topografia para o Perfil analisado, descrito nas Figuras 6, 7 e 8, apresentou variações significativas quando da correção topográfica pelo algoritmo de Minnaert.

A variação em termos de Reflectância, antes

e pós correção, para a banda 2 esteve na ordem de -4.10^{-2} e 4.10^{-2} . Para a banda 3 essa variação esteve na ordem de -1.10^{-2} a 1.10^{-2} . Para a banda 4, essa variação esteve na ordem de -2.10^{-2} e 2.10^{-2} . Portanto, a banda 2, do azul, foi aquela que teve maior influência da topografia, sendo essa corrigida pelo algoritmo de Minnaert.

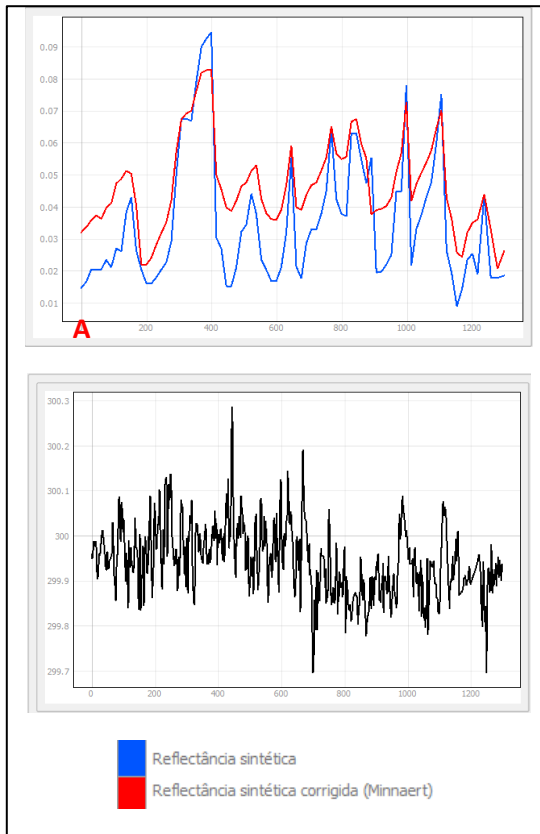


Figura 6 – Comportamento espectral água em função da topografia para o Perfil na Banda 2 (Azul).

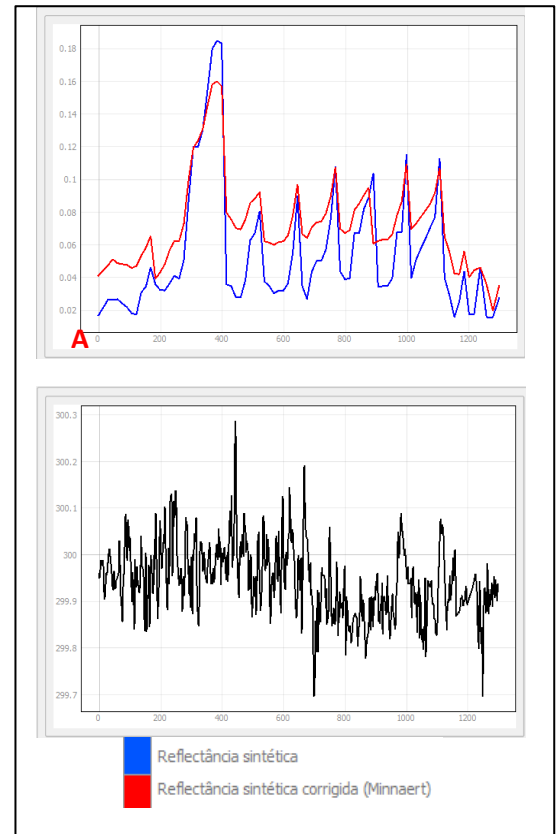


Figura 8 – Comportamento espectral água em função da topografia para o Perfil na Banda 4 (Vermelho).

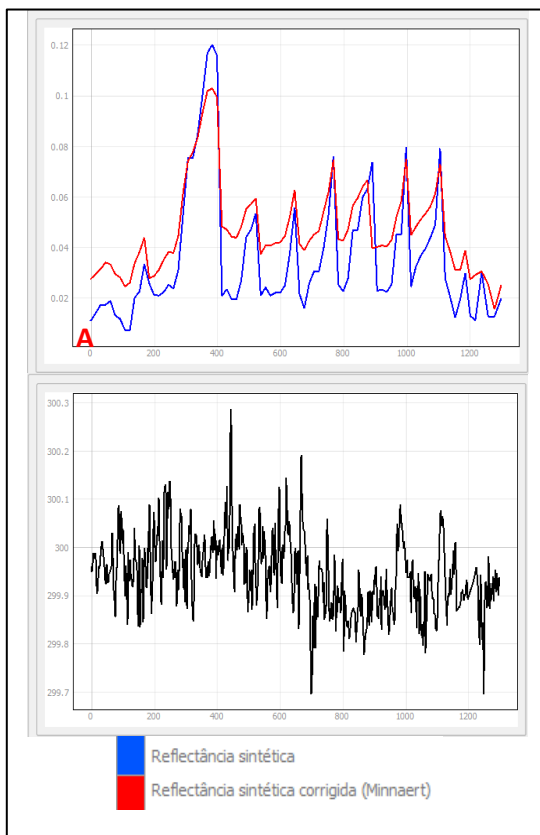


Figura 7 – Comportamento espectral água em função da topografia para o Perfil na Banda 3 (Verde).

Pelas Figuras 6, 7 e 8 é possível observar uma predominante discrepância maior entre as reflectâncias nos pontos críticos do perfil de reflectância do traçado, no início do mesmo. Ao se aproximar do canal da transposição do São Francisco, parte final do perfil, os pontos de máxima reflectância apresentam menores diferenças entre si, e quanto os de mínima se mantêm discrepantes.

4. Conclusão

A partir do presente trabalho foi possível avaliar a influência da topografia na integração de dados LIDAR e imagens OLI, antes e após a correção topográfica pelo modelo de Minnaert.

Foram analisadas perdas no traçado do perfil abordado pela integração espectral entre os dados LiDAR e OLI, conforme apresentado pelas figuras 6, 7 e 8, apontando que a variação, em termos de Reflectância, antes e pós correção, para a banda 2 esteve na ordem de -4.10^{-2} e 4.10^{-2} , já para o caso da banda 3 essa variação esteve na ordem de -1.10^{-2} a 1.10^{-2} e para a banda 4, essa variação foi da ordem de -2.10^{-2} e 2.10^{-2} .

Sendo assim, é possível concluir que a integração entre dados multifonte e LiDAR é capaz de, mesmo após a integração espectral por fusão de imagens, atuar de maneira satisfatória via correção topográfica pelo algoritmo de Minnaert.

Referências

- Allen, R.G., Tasumi, M., Trezza, R., 2007. Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC)—Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 133, 380–394.
- Awrangjeb M., Zhang, C., Fraser, C.S., 2013. Automatic extraction of building roofs using LIDAR data and multispectral imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 83, 1–18.
- Bauwens, S., Bartholomeus, H., Calders, K., Lejeune, P., 2016. Forest inventory with terrestrial LiDAR: A comparison of static and hand-held mobile laser scanning. *Forests* 7, 127. doi: <https://doi.org/10.3390/f7060127>
- Carneiro, M.C.S.M., Lima, M.O.S., 2018. Registros Cartográficos Urbanos por meio de Lidar-Airborn da Paisagem do Cais José Estelita - Recife. Recife
- Cheng, L., Tong, L., Chen, Y., Zhang, W., Shan, J., Liu, Y., Li, M., 2013. Integration of LiDAR data and optical multi-view images for 3D reconstruction of building roofs. *Optics and Lasers in Engineering* 51, 493–502.
- Eitel, J.U.H., Höfle, B., Vierling, L.A., Abellán, A., Asner, G.P., Deems, J.S., Glennie, C.L., Joerg, P.C., LeWinter, A.L., Magney, T.S., Mandlbürger, G., Morton, D.C., Müller, J., Vierling, K.T., 2016. Beyond 3-D: The new spectrum of lidar applications for earth and ecological sciences. *Remote Sensing of Environment* 186, 372–392.
- Jabari, S., Zhang, Y., 2017. Building change detection improvement using topographic correction models. *Advances in Remote Sensing* 6, 1–22.
- Li, H., Jing, L., Wang, L., Cheng, Q., 2016. Improved pansharpening with un-mixing of mixed MS sub-pixels near boundaries between vegetation and non-vegetation objects. *Remote Sensing* 8, 83. doi: <https://doi.org/10.3390/rs8020083>
- Li, S., Kang, X., Fang, L., Hu, J., Yin, H., 2017. Pixel-level image fusion: a survey of the state of the art. *Information Fusion* 33, 100–112.
- Martins, K., Blenkinsopp, C.E., Zang, J., 2016. Monitoring individual wave characteristics in the inner surf with a 2-dimensional laser scanner (LiDAR). *Journal of Sensors* 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2016/7965431>
- Matos, R.C.deM., Candeias, A.L.B., Azevedo, J.R.G., Hattermann, F.F., Koch, H., Kleinschmit, B., 2015. Análise multitemporal do albedo, NDVI e temperatura no entorno do reservatório de Itaparica – PE: anos de 1985 e 2010. *Revista Brasileira de Cartografia* 67, 545–554.
- Ruhoff, A. L., Novo, B.B.daS., Rocha, H.R.da, 2015. Determinação da irradiância solar no topo da atmosfera para cálculo do albedo e balanço de energia a partir de imagens LANDSAT 8 OLI. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, João Pessoa.
- Silva, B.B.da, Braga, A.C., Braga, C.C., Oliveira, L.M.M.de, Montenegro, S.M.G.L., Barbosa Junior, B., 2016. Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: application to the Brazilian semi-arid. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 20, 3–8.
- Sivagami, R., Vaithiyanathan, V., Savangeetha, V., Ahmed, M.I., Sundar K.J.A., Lakshmi K.D., 2015. Review of image fusion techniques and evaluation metrics for remote sensing applications. *Indian Journal of Science and Technology* 8.
- Shan, J., Toth, C.K. (ed.), 2018. *Topographic laser ranging and scanning: principles and processing*. CRC press, Boca Raton.
- USGS, 2018. Using the USGS Landsat 8 Product. Disponível: <https://landsat.usgs.gov/using-usgs-landsat-8-product>. Acesso: 1 abr. 2018.
- Wanderley, H.S., Sedyama, G.C., Justino, F.B., Alencar, L.P.de, Delgado, R.C., 2013. Variabilidade da precipitação no Sertão do São Francisco, estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 17, 790–795.