

# ANÁLISE DE EXATIDÃO POSICIONAL DE ORTOMOSAICOS GERADOS A PARTIR DE DADOS TERMAIS A BORDO DE VANT

*Accuracy analysis of ortho-mosaic produced from a thermal sensor aboard UAV*

**Hermann Johann Heinrich Kux<sup>1</sup>, Luana Thayza de Oliveira<sup>2</sup>, Fabiano da Cruz Nogueira<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>INPE-Divisão de Sensoriamento Remoto, Caixa postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil e [luana.oliveira@inpe.br](mailto:luana.oliveira@inpe.br), [hermann.kux@inpe.br](mailto:hermann.kux@inpe.br), <sup>3</sup>IEAv-Divisão ECR-S, Tr. Cel Av José Alberto A. do Amarante, 01 - São José dos Campos - SP, Brasil 12228-001 e [nogueirafcn@fab.mil.br](mailto:nogueirafcn@fab.mil.br)

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a exatidão posicional dos produtos resultantes do uso de um sensor termal em um VANT, ortomosaico termal, segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD). Para tanto, foi realizado um levantamento de dados termais utilizando um VANT multi-rotor quadricóptero numa área de aproximadamente 10.000m<sup>2</sup> em São José dos Campos, SP. Duas configurações de processamento foram utilizadas para a geração dos produtos: uma utilizando apenas as coordenadas centrais das imagens e outra, com a adoção de pontos de controle no processamento.

Desde que vinculado a utilização de pontos de apoio para o processamento e consideradas as incertezas envolvidas no seu processo de obtenção, constatou-se a viabilidade do uso de dados termais obtidos por VANT como uma alternativa eficaz para imageamento de áreas com características não aparentes na faixa do visível, ou em períodos noturnos.

**Palavras-chave:** Infravermelho Termal, VANT, Exatidão Posicional.

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the positional accuracy of products from the use of a thermal sensor, a thermal ortho-mosaic, in accordance with the Brazilian Cartographic Accuracy Standard of Digital Cartographic Products (PEC-PCD). In order to perform these tasks, a field survey with thermal data was done, using a multi-rotor quadri-copter drone, at an area of approximately 10,000 m<sup>2</sup>, in São José dos Campos, SP. Two processing configurations were used to generate the products: 1. using only the central coordinates of the images and 2. considering Ground Control points during processing. Taking into account the mandatory use of GCPs and the uncertainties involved in the process to obtain thermal images with a drone, this is an efficient alternative to image areas with non-apparent characteristics in the visible spectrum or at night.

**Keywords:** Thermal Infrared. UAV, Characterization. Position accuracy.

## 1. INTRODUÇÃO

O Sensoriamento Remoto Termal é um ramo do Sensoriamento Remoto que opera com a aquisição, processamento e interpretação dos dados adquiridos na faixa do infravermelho termal do espectro eletromagnético. A detecção termal é utilizada para a exploração geológica, detecção de incêndios, agricultura, etc.

Contudo, a larga utilização destes dados pela sociedade civil esbarra em alguns desafios. Dentre os sistemas TIR existentes precisa ser ainda considerada a sua limitação quanto à frequência de imageamento e resolução espacial.

Alternativamente, sensores termais podem ser utilizados em aeronaves, o que resulta em um ganho em termos de resolução espacial e na flexibilidade temporal da coleta de dados. No entanto, [1] afirma que o imageamento termal aéreo não tem sido largamente disponível ao público geral porque tais missões envolvem custos relativamente altos.

Atualmente, este cenário está sendo alterado. Um dos motivos é o uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), de custo reduzido em comparação com outras plataformas para obtenção de dados [2]. Aliado ao aumento da disponibilidade de veículos aéreos não tripulados de baixo custo, os sensores termais, sobretudo os sensores não refrigerados, vêm sendo desenvolvidos com o intuito de adaptação em plataformas não tripuladas.

Essas mudanças recentes têm estimulado o maior uso de sensores que operam nesta faixa espectral a bordo de veículos aéreos não tripulados, com diversas aplicações, a saber: áreas, vide [3], [2], [4], [5], [6], [7] e [8]. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a exatidão posicional dos produtos resultantes de levantamento de dados termais utilizando um VANT, segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC-PCD).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Sistema sensor

O sistema sensor utilizado para a obtenção das imagens foi um Kit *PI LightWeight* que compreende um microprocessador e um sensor [9] *OPTRIS PI 450*. Este possui características específicas, o que permite embarcá-lo em VANTs. As especificações técnicas do sistema sensor estão apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1. Especificações técnicas dos sensor calibrado**

Dados de imageamento	Sensor
Número de pixels	382x288
Campo de visada (FOV)	62° x 49°
Distância focal	8 mm
Resolução espacial (IFOV)	1,81 mrad
Sensibilidade térmica/NETD	0,04 K
Frequência	80 Hz
Dados do detector	
Tipo do detector	UFPA,
Faixa espectral	7,5–13 μm
Tamanho do pixel	25 μm
Medição	
Faixa de temperatura do objeto	0...250 °C (utilizada)
Exatidão	±2°C ou ±2%

O sensor utilizado foi previamente caracterizado em laboratório quanto às suas capacidades radiométricas, espectrais e espaciais, conforme metodologia descrita em [10] e os resultados apresentados em [11].

### 2.2. Veículo aéreo não tripulado e Alvos de Referência

A aeronave utilizada para obter as imagens foi um multi-rotor do tipo quadricóptero. Esta foi montada com uma controladora de voo *Ardupilot*, que é uma plataforma de código aberto para aeronaves pequenas, integrada com um sistema GNSS para posicionamento

Com o intuito de identificar nas imagens termais os pontos de controle e verificação em solo, foram utilizados 4 corner reflectors e 11 placas de alumínio, material de baixa emissividade, como alvos de referência.

### 2.3. Ortomosaico de referência e Coleta de dados

Para a realização da avaliação posicional do ortomosaico gerados a partir da coleta de dados termais pelo VANT, pontos de verificação foram extraídos de um ortomosaico de referência. Estes produtos foram gerados por [12]. A obtenção das imagens com VANT foi realizada numa área de aproximadamente 10.000 m<sup>2</sup>. O tamanho do *GSD-Ground Sample Distance* planejado foi de 10 cm. O planejamento de voo foi executado no *software Mission Planner 1.3.39*. Antes da realização do voo, pontos em campo foram sinalizados na área a ser sobrevoada. Esta sinalização foi realizada utilizando corner refletores e placas de alumínio. O objetivo de sinalizar os pontos termo-identificáveis foi proporcionar a coleta de coordenadas precisas nas imagens obtidas para posterior comparação com as coordenadas dos *Ground Control Points (GCP)* obtidos por *GNSS* em campo e pontos de verificação coletados dos produtos cartográficos de referência.

### 2.4. Geração dos produtos e Avaliação da exatidão posicional

Os dados coletados pelo sensor a bordo do VANT são registrados em matrizes numéricas de valores de temperatura em graus Celsius. Para processar esses dados no software de processamento dos dados VANT foi necessário realizar a sua conversão para o formato imagem (TIFF), procedimento realizado no *software Matlab R2014b*. Também houve a associação de cada imagem à sua coordenada correspondente, obtida pelo sistema *GNSS* a bordo do VANT. Essa associação foi realizada com base no horário de obtenção de cada um destes dados, sendo que para isso utilizou-se o *software GeoSetter*. Considerando que os dados foram pré-processados, eles foram inseridos no *software Pix4D Mapper Pro (versão trial)*, tendo sido gerados de modo automático os ortomosaicos e modelos de superfície. Esse processamento foi realizado utilizando 4 pontos de apoio.

Após a geração dos ortomosaicos a partir das imagens termais obtidas durante o sobrevoo com VANT, procedeu-se a análise de exatidão posicional dos produtos gerados. Assim, a exatidão do ortomosaico foi verificada com base nos 25 pontos de verificação extraídos dos produtos de referência de acordo com o *PEC-PCD* usando um modelo matemático para análise estatística.

O método escolhido para avaliar os produtos de acordo com *PEC-PCD*, combinado com os conceitos apresentados pela Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto - *ASPRS* (2014) [13]. (Figura 1)

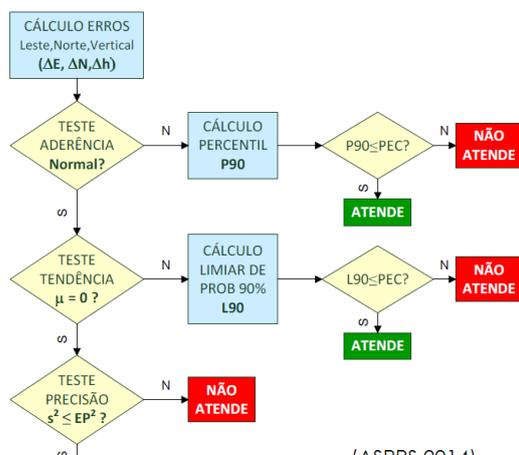


Figura 1 - Metodologia de avaliação do PEC-PCD

Portanto, para uma determinada escala, a imagem será classificada com a classe A, B, C, D ou 'nula' em função dos resultados obtidos nos testes de precisão.

## 3. RESULTADOS

Das 71 imagens coletadas, 64 foram utilizadas para a geração dos ortomosaicos. As imagens das bordas do bloco fotogramétrico com distorção muito elevada foram descartadas. Tais imagens, por causa da inclinação do VANT, na entrada e saída das faixas, foram tomadas fora da verticalidade ideal, gerando assim as distorções observadas e comentadas.

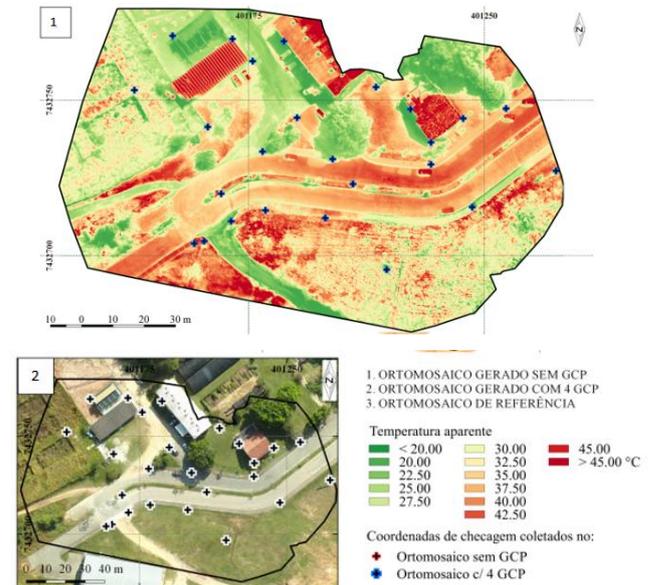


Figura 2. Ortomosaico termal (1) e de referência (2)

O processamento fotogramétrico foi realizado utilizando 4 GCPs distribuídos na área de estudo. O *GSD* obtido nos ortomosaicos foi 9,54 cm. Após a geração do ortomosaicos, foram coletadas as coordenadas dos pontos de verificação em cada um através de um *software* específico com zoom da proporção 1:1. O ortomosaico termal gerado, bem como a posição das coordenadas neles coletadas e a ortofoto de referência estão representados na (Figura 2).

### 3.1. Ortomosaico com GCPs (Análise qualitativa)

No ortomosaico foram utilizados 4 *GCPs* (Tabela 2) coletados em campo com *GNSS* em seu processamento e 21 pontos de checagem que cujas coordenadas foram coletadas no ortomosaico de referência e medidas no ortomosaico a ser avaliado (E, N) e no modelo de elevação gerado (H). Assim, os erros Leste ( $\Delta E$ ), Norte ( $\Delta N$ ), Planimétrico ( $\Delta P$ ) e Vertical ( $\Delta H$ ) oriundos do ortomosaico gerado utilizando 4 pontos de controle foram calculados e utilizados para avaliá-lo.

Tabela 2 – GCPs utilizados no ortomosaico (em metros)

ID	E	N	H	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$
5	401219.050	7432696.755	565.203	0.004	0.004	0.011
6	401169.421	7432710.940	565.853	0.004	0.004	0.010
10	401176.454	7432762.490	566.547	0.004	0.003	0.008
42	401243.426	7432744.060	569.224	0.004	0.003	0.010

A média dos erros planimétricos observada foi 0,51 m, sendo a componente norte aquela que mais contribuiu para o deslocamento planimétrico dos pontos apresentando -0,17 m de deslocamento neste sentido. A média dos erros do sentido leste foi -0,07 m, inferior ao tamanho do *GSD* do ortomosaico que foi 0,09 m. O erro planimétrico máximo observado foi 1,70 m. Na verificação a dispersão dos erros planimétricos do ortomosaico com *GCPs*. Dos 21 pontos observados, 15 ficaram dentro do RMS planimétrico de 0,65 m. Este gráfico também permite observar que nesse ortomosaico os erros apresentam-se mais agrupados e próximos ao centro, o que

demonstra maior precisão e exatidão em relação ao ortomosaico gerado sem pontos de controle.

Na verificação dos vetores de erros planimétricos. Observa-se que a maior parte dos erros planimétricos foi minimizado com a adoção de pontos de controle para o processamento. Essa melhoria foi observada em menor intensidade nos pontos localizados nas extremidades do ortomosaico.

A maior parte dos erros (~76%) foi negativa, indicando que o modelo gerado com quatro pontos de controle subestimou os valores de altitude. Os maiores erros observados foram de -7,47 m, -6,73 m e -3,02 m. A média dos erros altimétricos foi de 1,43 m. Dos 21 pontos observados, alguns foram escolhidos para a melhor representação dos desvios planimétricos observados, sendo que em dois deles os desvios foram mais bem resolvidos com a adoção de pontos de controle, e dois onde o erro, apesar de minimizado, ainda foi significativo para a avaliação da precisão do ortomosaico.

Um dos pontos analisados foi o P07 (Figura 3). Os erros observados neste ponto nos ortomosaicos sem e com *GCPs*, respectivamente, foram de 2,42 m e 0,11 m. Este ponto apresentou o menor erro no ortomosaico com *GCPs*. Tal melhoria pode ser atribuída a sua proximidade posicional a um dos pontos de controle utilizados no processamento (P06), o que permite ressaltar a importância de um maior número de *GCPs* bem distribuídos na área para a geração de ortomosaicos.

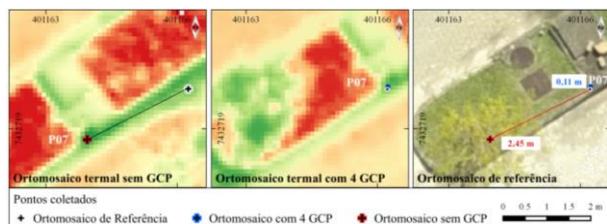


Figura 3. Desvios observados no ponto de verificação P07

A análise descritiva apresentada permitiu identificar a melhoria na qualidade posicional do ortomosaico quando gerado utilizando 4 *GCPs*. Entretanto demonstra que um número maior de pontos de apoio poderia minimizar erros que permaneceram elevados mesmo considerando 4 *GCPs*. Observou-se também um maior deslocamento nos pontos posicionados na extremidade do ortomosaico e em áreas com menor sobreposição.

Para uma avaliação mais detalhada sobre a qualidade do ortomosaico gerados será apresentada a seguir a análise estatística de exatidão posicional realizada sobre os produtos oriundos do levantamento de dados termais com VANT, bem como a sua classificação em relação ao PEC-PCD.

### 3.2. Ortomosaico com *GCPs* (Análise Estatística e classificação quanto ao PEC)

Os erros observados para os 21 pontos de verificação do ortomosaico gerado utilizando 4 *GCPs* também foram analisados de acordo com a metodologia apresentada na Figura 6. O primeiro teste foi quanto à normalidade das amostras, utilizando o teste *Kolmogorov-Smirnov-ks* (Tabela 3).

Os erros nos sentidos leste, norte e vertical apresentaram p-valor 0,0121, 0,0044 e 1,5909-04, respectivamente, e assim, ao nível de significância de 5%, rejeitam a hipótese nula de que as amostras possuem distribuição normal e, portanto tiveram sua exatidão analisada a partir da comparação dos percentis em relação ao PEC-PCD.

As amostras foram ainda testadas quanto à tendência através do teste *t-Student* com a hipótese nula de média igual 0 e a um nível de significância de 1%. Todas as amostras apresentaram um p-valor maior que 0,05 demonstrando que os erros estão livres de tendência.

Tabela 3. Resultado do *ks* dos erros com *GCPs*

Nível de confiança	95%
Nível de significância	5%
Amostra	21
Graus de Liberdade	20
Ks tabelado	0,2813
Ks calculado E	0,3380
Têm distribuição normal?	Não
p-valor	0,0121
Ks calculado N	0,3699
Têm distribuição normal?	Não
p-valor	0,0044
Ks calculado H	0,4567
Têm distribuição normal?	Não
p-valor	1,5909E-04

Segundo a metodologia de avaliação, as amostras que não apresentam distribuição normal, devem ser analisadas a partir da comparação por percentil. Assim, verificou-se se 90 % dos erros observados são inferiores aos valores determinado pelo PEC-PCD para uma dada escala e classe. Os valores dos percentis de 90% obtidos foram: 1,1323 m para o erro planimétrico, 0,8996 m para o erro no sentido norte, 0,7850 m para o erro no sentido leste e 4,5008 m para o erro no sentido vertical.

Os percentis calculados foram comparados com os valores do PEC-PCD estabelecidos para cada classe e escala nos sentidos norte e leste, planimétrico e altimétrico.

Dessa forma, constatou-se que analisado pelos erros planimétricos, ao nível de significância de  $\alpha=1\%$ , o ortomosaico com 4 *GCPs* obteve a classe D a partir de 1:1.000, B a partir de 1:2.000 e A a partir da escala 1:5.000 (Tabela 4). As mesmas classes nas referidas escalas foram atribuídas ao ortomosaico quando avaliado pelos erros no sentido norte (Tabela 4).

No sentido leste, o ortomosaico obteve a classe C a partir da escala 1:1.000, B a partir da escala 1:2.000 e A a partir da escala 1:5.000 (Tabela 4). Na vertente altimétrica este ortomosaico obteve classe B a partir de 25.000 e A a partir de 1:50.000 (Tabela 4). Nas demais escalas o produto cartográfico foi rejeitado em relação à exatidão dos valores.

Para efeito de comparação a tabela 17 foi organizada com um resumo das classes obtidas para cada escala nos dois ortomosaicos.

Tabela 4. Classificação dos ortomosaicos de acordo o PEC

Escala (x100)	1:5	1:10	1:20	1:50	1:100	1:250	1:500	1:1000	1:2.500
COM 4 <i>GCPs</i> (Ground Control Points)									
Leste	-	C	B	A	A	A	A	A	A
Norte	-	D	B	A	A	A	A	A	A
Planimétrico	-	D	B	A	A	A	A	A	A
Vertical	-	-	-	-	-	B	A	A	A

Como resultado final das avaliações realizadas conclui-se que o ortomosaico gerado sem pontos de controle demonstrou exatidão planimétrica a partir da escala 1:5.000 e altimétrica a partir de 1:50.000. O ortomosaico processado com 4 pontos de controle, apresentou exatidão altimétrica a partir de 1:25.000 e planimétrica a partir da escala 1:1.000. No entanto, como mencionado na seção 3.1, o ortomosaico utilizado como referência possui exatidão planimétrica a partir da escala 1:1.000 e, portanto, só pode ser utilizado como referência para a avaliação de produtos a partir da escala 1:3.000, já que a precisão dos pontos de verificação dever ser de pelo menos 1/3 da precisão avaliada. Assim, quanto ao PEC-PCD, é considerada a exatidão do ortomosaico com 4 *GCPs* a partir da escala 1:3.000 com classe B e classe A a partir da escala 1:5.000.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na avaliação da exatidão posicional dos produtos gerados através dos dados termiais levantados por VANT nesta pesquisa, constatou-se que o uso de sensores que operam na faixa espectral do infravermelho termal é eficaz na obtenção de dados para a geração de ortomosaicos, contudo o uso de pontos de controle é indispensável para se obter uma boa qualidade do produto cartográfico resultante. Os resultados da avaliação dos ortomosaicos com o uso de pontos de controle no seu processamento, demonstram que a sua utilização melhora consideravelmente a exatidão posicional do produto, permitindo que este poderá ser utilizado em aplicações que exijam maior precisão.

Observou-se que com a adoção de apenas 4 GCPs houve uma melhoria significativa no posicionamento e, com um maior número de GCPs bem distribuídos na área de estudo a exatidão alcançada tende a ser maior. Sobre a distribuição dos GCPs recomenda-se que haja pontos localizados nas extremidades da área a fim de evitar deslocamentos maiores nestas regiões. O uso da metodologia de avaliação posicional para a avaliação dos produtos gerados por dados termiais se mostrou válida, desde que alvos compostos por materiais de baixa emissividade sejam utilizados para a identificação dos pontos de checagem na imagem termal. Vale ressaltar que o tamanho dos alvos utilizados, para experimentos como o apresentado, precisa ser considerado em relação ao tamanho do GSD planejado para a missão. Recomenda-se que o alvo utilizado tenha pelo menos 3 vezes o tamanho do GSD. Se o ponto de checagem considerado estiver no limite de alvos com emissividades muito discrepantes, o uso de tais alvos pode ser dispensável.

Se comparadas, as classificações de exatidão planimétrica do ortomosaico de referência (A - 1:1.000) e aquela obtida pelo ortomosaico gerado com GCPs (A - 1:5.000), são proporcionais considerando-se seus respectivos tamanhos de GSD (2,10 e 9,54 cm). Isso ocorre porque se verifica que o ortomosaico termal que possui um GSD aproximadamente 5 vezes maior, obteve a classe A quanto ao PEC-PCD para uma escala 5 vezes maior. A exatidão posicional do ortomosaico gerado com dados termiais mostrou-se comparável a exatidão de um ortomosaico gerado com dados obtidos na faixa do visível.

Na área analisada, diferenças significativas de temperatura radiante puderam ser observadas em alvos que visivelmente pareciam iguais, por exemplo na vegetação, telhados e em áreas sombreadas. Assim, desde que vinculado a utilização de pontos de apoio para o processamento e consideradas as incertezas envolvidas no seu processo de obtenção, constata-se a viabilidade do uso de dados termiais obtidos por VANT como uma alternativa eficaz para o imageamento de áreas com características não aparentes na faixa do visível, ou em períodos noturnos.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Jensen, J. R. Sensoriamento remoto do ambiente. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009.
- [2] Salamí, E.; Barrado, C.; Pastor, E. UAV Flight Experiments Applied to the Remote Sensing of Vegetated Areas. *Remote Sensing*. v.6. 2014.
- [3] Smigaj, M.; Gaulton, R.; Barr, S. L.; Suárez, J. C. Uav-Borne Thermal Imaging for Forest Health Monitoring: Detection of Disease-Induced Canopy Temperature Increase. In: *The Int. Arch. Photog., Rem.Sens. & Spatial Information Sciences, Volume XL-3/W3*. 2015.
- [4] Berni, J.;Zarco-Tejada, P.J.; Suarez, L.; Fereres, E. Thermal and Narrowband Multispectral Remote Sensing for Vegetation Monitoring From an Unmanned Aerial Vehicle. *IEEE Trans. Geoscience & Remote Sensing*. v. 47. n. 3. 2009.
- [5] Hoffmann, H.; Nieto, H.; Jensen, R.; Guzinski, R.; Zarco-Tejada, P. J.; Friborg, T. Estimating evapotranspiration with thermal UAV data and two source energy balance models. *Hydrol. & Earth System Sciences Discussions*. v.12, p. 7469-7502. 2015.
- [6] Kontoes, C.; Keramitsoglou, I.; Sifakis, N.; Konstantinidis, P. Sithon: An Airborne Fire Detection System Compliant with Operational Tactical Requirements. *Sensors (Basel)*. 2009; 9(2): 1204–1220.
- [7] Matikainen, L.; Lehtomäki, M.; Ahokasa, E.; Hyypää, J.; Karjalainen, M.; Jaakkola, A.; Kukko, A.; Heinonen, T. Remote sensing methods for power line corridor surveys. *ISPRS J. of Photog. & Rem. Sensing*. v. 119, 2016, (p10–31).
- [8] Lega, M.; Napoli, R. M. A. Aerial infrared thermography in the surface waters contamination monitoring. In: *Proceedings of the 11th International Conference on Environmental Science and Technology*. Chania, Greece. 2009.
- [9] OPTRIS, GMBH. Operator's Manual: OPTRIS PI LightWeight Kit. CD-ROM. 2016.
- [10] Kux, H. J. H.; Oliveira, L. T.; Castro, R. M. Análise das capacidades e limitações radiométricas, espectrais e espaciais de dois sistemas sensores termiais em laboratório. In: XVIII SSBRS, Santos, 2017. Anais. 2017, p.4575-4582.
- [11] Oliveira, L. T.; Castro, R. M.; Kux, H. J. H. Metodologia para a caracterização de sistemas sensores termiais. In: XVIII SSBRS, Santos, 2017. Anais. 2017, p.5788-5795.
- [12] Nogueira, F. C.; Roberto, L.; Körting, T. S.; Shiguemori, E. H. Accuracy analysis of orthomosaic and DSM produced from sensor aboard UAV. In: XVIII SSBRS, Santos, 2017. Anais. 2017, p.5515-5521.
- [13] ASPRS. Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data, 1st Ed, V.1, ASPRS 2014. Available in: <<https://www.asprs.org/publications-other/manual-offphotogrammetry-errata.html>>. Access: 16.jun.2016.
- [14] Kontoes, C.; Keramitsoglou, I.; Sifakis, N.; Konstantinidis, P. Sithon: An Airborne Fire Detection System Compliant with Operational Tactical Requirements. *Sensors (Basel)*. 2009; 9(2): 1204–1220
- [15] McGlone, J.C; Lee, G.Y.G. Manual of Photogrammetry, Sixth Edition. ASPRS, 2013. ISBN 1-57083-099-1.
- [16] M; Kosmatka, J.; Ferrara, C.; Russo, F.; Napoli, R. M. A.; Persechino, G. Using Advanced Aerial Platforms and Infrared Thermography to Track Environmental Contamination. *Environmental Forensics*. v.13. n. 4. 2012
- [17] Merchant, D.C. Spatial Accuracy Standards for Large Scale Line Maps. *Technical Papers of Am.Congress Surv. & Mapping, Denver-CO, USA*, 1982. p. 222-231.
- [18] Warren, M. S. Desagregação espacial de estimativas de evapotranspiração real obtidas a partir do sensor modis. *Rev. Bras. Meteorologia*, v. 28, n. 2, p. 153–162, jun. 2013.
- [19] Watts, A.C., Ambrosia, V.G., Hinkley, E.A. Unmanned Aircraft Systems in Remote Sensing and Scientific Research: Classification and Considerations of Use. *Remote Sensing*. 4(6), 1671 – 1692. 2012.
- [20] Wolf, P.R.; Dewitt, B.A.; Wilkinson, B.E. Elements of Photogrammetry with Applications in GIS, Fourth Edition. Singapore, Mc Graw-Hill, 2014. 676p. ISBN 978-0-07-176112-3.