



Acurácia horizontal do mapeamento de um trecho da área de concessão da UHE de Bariri, SP com imagens de alta resolução coletadas com RPAS

Dalva Maria de Castro Vitti^{1,3}

Cláudio Bielenki Júnior¹

Leonardo Campos Inocêncio²

Maurício Roberto Veronez²

José Carlos de Toledo Veniziani Júnior³

Frederico Fábio Mauad¹

¹ Universidade de São Paulo - USP/CRHEA
Caixa Postal 292, 13.560-970 São Carlos, SP, Brasil
{mauad, dalva}@sc.usp.br, bielenki@terra.com.br

² Universidade do Vale dos Sinos - UNISINOS
Av. Unisinos, 950. 93.022-750 - Bairro Cristo Rei São Leopoldo-RS, Brasil
{veronez, lcinocencio}@unisinos.br

³ Faculdade de Tecnologia de Jahu
Rua Frei Galvao, s/n – 17.212-599 - Jardim Pedro Ometto, Jahu – SP, Brasil
{dalva.vitti, jose.veniziani}@fatec.sp.gov.br}

Abstract. Photogrammetry from high resolution images acquired with RPAS are applied in several works like as agriculture, geology and engineering. The accuracy of horizontal position depends of the georefering of the MDT from ground control points (GCP). This manuscript presents the assessment the accuracy horizontal of the orthomosaic of the area near to Bariri hydropower. The orthomosaic generated with 306 images collected with UAV ECHAR 20 B. The Digital Elevation Model with GSD 6 cm was georefered with 15 GCP on Menci Software. We selected 23 points on orthomosaic and we compared with its coordinates of GNSS Leica GS -15. The RMS was computed and compared with Standart Cartography Precision to Digital Images Processing (SCP-DIP). We concluded that the orthomosaic belongs was 1:2,000 scale, class B. This horizontal accuracy indicates that mapping with sensor on board on UAV is feasible to attend requirements of the law about concession áreas for hydropower.

Palavras-chave: Digital Image, hydropower, orthomosaic, Standard Cartography Precision, UAV.

1. Introdução

Para Unidades Hidroelétricas – UHE incumbe à concessionária manter atualizado o inventário de bens vinculados à concessão. A área de concessão é delimitada pela cota máxima normal e máxima maximorum de operação do reservatório. Para novos empreendimentos, essa faixa é identificada pela altimetria do terreno e apresentada no momento da solicitação da Declaração de Utilidade Pública – DUP em conformidade com a Resolução Normativa ANEEL 560/2013 (BRASIL, 2013; BRASIL, 1995).

Para empreendimentos mais antigos, a área de concessão foi delimitada sobre cartas de pequena escala (por exemplo, cartas topográficas 1:50.000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE) e com tecnologias disponíveis na época. Assim a atualização das informações cartográficas dessa área é mais complexa e custosa, uma vez que a mesma encontra-se alagada. Assim, de acordo com NT 074/2011, os dados planimétricos são suficientes para identificar os limites da concessão nos empreendimentos mais antigos. Esta

pode ser identificada pela área de inundação por meio de imagens orbitais e de aerolevantamentos ou dados topográficos com referência a cota máxima normal.

A técnica mais adequada de mapeamento de margens de reservatório é a aerofotogrametria (Carvalho, 2000), porém, a realização de vôos convencionais tem um custo elevado. Na última década tem expandido o uso de RPAS (Remote Piloted Aircraft System) para diversas aplicações, como por exemplo monitoramento de recursos naturais (Shahbazi et al, 2014); mapeamento (Everaerts, 2008); de água no solo (Sugiura et al, 2005); mudanças no uso do solo (Thamm; Judex, 2006); evolução de culturas agrícolas e vegetação (Zhang et al., 2012; Zarco-Tejada, 2012; Herwitz et al., 2004). Esses veículos voam a baixa altitude e levam embarcados sensores imageadores de alta resolução e sistemas de navegação. Colomina e Molina (2014) apresentaram as principais classes de RPAS, equipamentos que são embarcados e os produtos que entregam.

Alguns fatores afetam a qualidade do modelo digital do terreno (MDT) produzido com imagens coletadas com RPAS, como por exemplo, textura homogênea, comum em monoculturas e superfícies líquidas dificulta a identificação de pontos de amarração. Falhas de recobrimento das linhas de vôo, devido à ação de ventos geram imagens muito oblíquas. Além disso, feições de grande extensão longitudinal apresentam descontinuidade no mosaico devido ao fraco recobrimento lateral (ex., < 30%) (Silva et al. 2015). Assim, para melhorar a qualidade do MDT, adotam-se recobrimentos superiores a 70% tanto longitudinais como laterais, além da introdução de pontos de apoio que podem ser naturais, como quinas de quadras, sinalização horizontal de trânsito ou artificiais (alvos) distribuídos na área a ser mapeada (Ferreira et al, 2013; Jensen, 2011; Linder, 2009).

Para que um produto cartográfico digital possa ser aceito no Sistema Cartográfico Nacional - SCN noventa por cento (90% ou 1,6449*EP) dos pontos coletados no produto cartográfico quando comparados com fonte de maior exatidão devem apresentar erros iguais ou inferiores aos previstos ao PEC-PCD – Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos da Cartografia Digital (CONCAR, 2011).

Para avaliar a aplicação de imagens de alta resolução coletadas com RPAS no cadastro de áreas de concessão conforme Resolução Normativa ANEEL 560/2013, foi realizado um vôo sobre um trecho da margem do reservatório da Unidade Hidroelétrica (UHE) de Bariri, SP, onde foram levantados 15 pontos de controle e 23 pontos de checagem com GNSS RTK, gerado um ortomosaico e verificada a sua acurácia horizontal com base no PEC – PCD (CONCAR, 2011).

2. Metodologia

O trabalho foi conduzido num trecho entorno do reservatório da UHE instalada no rio Tietê, município de Bariri-SP. Figura 1, compreendido entre as coordenadas na projeção UTM, 22S 730000 m E, 7546000 m N e 737000 m E a 7551000 m N, no sistema de referência SIRGAS 2000. Perfazendo uma área de aproximadamente 2,439 Km².



Figura 1. Localização da barragem de Bariri no Rio Tietê, Estado de São Paulo.

As linhas de voo foram definidas em função do perímetro da área a ser recoberta, da altura de voo e parâmetros geométricos da câmera. Para este estudo, foram planejados recobrimentos de 80% longitudinal e 60% lateral no software XPlanner da XMobots. Uma câmera CANON EOS 600D RGB 36 MPixel 12 GB foi embarcada no RPA ECHAR da XMobots dotado de receptor GPS (Global Positioning System) e unidade inercial de movimento (IMU). O lançamento da aeronave foi através de catapulta e o controle de navegação por meio de terminal de dados de solo GDT-S5A, com alcance de comunicação LOS de 5 a 10 km. Foram coletadas 1100 imagens em 1 hora e 14 minutos de voo, das 10:08 às 11:22 hs. A altitude do voo variou entre 300 a 380 metros do solo.

Foi selecionada uma área de aproximadamente 70.000 m², onde foram levantados 38 pontos com GNSS L1/L2 RTK GS 15 Leica, sendo 15 para georreferenciamento do MDT e 23 para checagem. O método de coleta foi rápido estático, com posicionamento variando de 1 a 15 minutos. Foram definidas duas bases, o vértice BA-74 localizado na área do DHN e o RN-001 próximo à barragem.

Para o processamento das imagens foi utilizado o software APS do Menci Software para aplicação cartográfica com imagens adquiridas com RPAS. O software realiza as seguintes etapas de processamento de imagens: 1. Processamento de pontos de enlace. Nesta etapa é possível calibrar câmera; 2. Geração de nuvem de pontos e interpolação por triângulos; 3. Geração do MDE, ortomosaico e MDT. Para gerar o MDT, é necessário aplicar um filtro para eliminar pontos anômalos e feições acima do solo, como árvores e edificações.

Os modelos digitais de elevação gerados a partir de imagens de alta resolução obtidas com RPAS são reconstruídos com bases em conceitos da estrutura do movimento (SFM-Structure From Movement) e Imagem baseada em Modelos (Image Based Modelling – IBM) (Jeong et al, 2012; Ni et. al., 2007; Oliveira, 2002; Debevec et al.; 1996). Um algoritmo para escalar as feições (SIFT - Scale Invariant Feature Transform) (Lowe, 1999) e o ajustamento em blocos – Bundle Block Adjustment, que geralmente emprega mínimos quadrados (Triggs et al., 2000).

Foram selecionadas 306 imagens e importadas para o software juntamente com a identificação da imagem, posição e RGB do pixel central e atitude do voo fornecidos pela IMU. Os 15 pontos de controle foram identificados manualmente nas imagens. O processamento demorou aproximadamente 2 horas e envolveu 36.899.610 pontos 3D. Ao final do processamento, o software emite um relatório para verificação de qualidade com referência nos pontos de controle.

A avaliação da acurácia horizontal foi realizada por meio de comparação das coordenadas extraídas do ortomosaico e de uma fonte de maior precisão (ANSI, 1998), no caso os pontos foram levantados em campo com GNSS L1L2/ RTK com precisão média em



E, N maior que 0,010 m. Para verificação da acurácia horizontal foram adotados 23 pontos de checagem. Como citado por Pereira e Nero (2012) o PEC-PCD não faz recomendação do número mínimo de pontos, Arisa e Atkinson (2008) relatam que alguns padrões, como NSSDA (National Standard for Spatial Data Accuracy) e EMAS (Engineering Map Accuracy Standard) recomendam no mínimo 20 pontos de controle para verificação da acurácia horizontal.

As coordenadas UTM 22S, E, N (m) no Sistema de Referência SIRGAS 2000 dos pontos foram extraídas do ortomosaico por meio da ferramenta captura de pontos do QGIS 2.8.3 Wien. Para cada ponto foram feitas 3 medições fixando a escala 1:330 e comparadas com as posições medidas em campo e determinados os erros. Em seguida foi calculado o desvio padrão em E e N separadamente e multiplicados por 1,6449 (90% de confiança). Os valores calculados foram comparados com o PEC-PCD da planimetria conforme Tabela 1 para verificação de enquadramento do ortomosaico em função da escala (CONCAR, 2011).

Tabela 1. Padrão de exatidão cartográfica da planimetria dos produtos cartográficos digitais nas escalas 1:1000, 1:2000, 1:5000 e 1:10.000

PEC - PCD	1:1000		1:2000		1:5000		1:10.000	
	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
A	0,28	0,17	0,56	0,34	1,40	0,85	2,80	1,70
B	0,50	0,30	1,00	0,60	2,50	1,50	5,00	3,00
C	0,80	0,50	1,60	1,00	4,00	2,50	8,00	5,00
D	1,00	0,60	2,00	1,20	5,00	3,00	10,00	6,00

De acordo com a Resolução Normativa ANEEL 560/2013 (Brasil, 2013), a escala mínima de apresentação de trabalhos topográficos para finalidade de identificação dos polígonos delimitadores da área de concessão para emissão da DUP é 1:10.000. Assim, foi verificada se a acurácia horizontal encontrada atendia essa norma.

3. Resultados e Discussões

O ortomosaico da área estudada no entorno do reservatório da UHE de Bariri com a localização dos pontos de controle e de checagem é mostrado na Figura 2. O GSD (ground sample distance) médio após o processamento foi de 5,88 cm. Na Tabela 2 são apresentados os resultados do relatório de qualidade do processamento emitido pelo software APS em relação aos pontos de controle. Observa-se que os erros nas coordenadas E, N e h não possuem uma relação direta com o número de imagens em que estes foram marcados manualmente e verificados durante o processamento. No entanto, menor número de imagens que indica fraco recobrimento resulta em piores resultados na altitude.

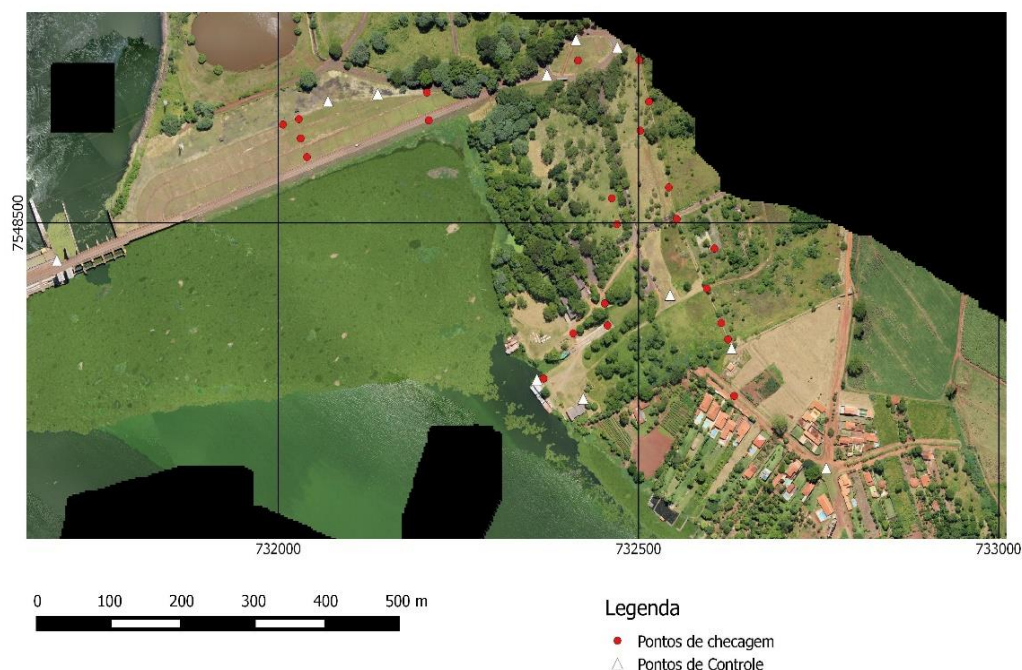


Figura 2. Ortomosaico das áreas adjacentes à barragem de Bariri com os 23 pontos georreferenciados que foram identificados na imagem.

Tabela 2. Erros nas coordenadas E, N e h e número de imagens em que os pontos de controle foram verificados automaticamente e marcados manualmente.

Id. Pto Controle	Acurácia do Posicionamento GNSS RTK (m)	Erro em E (m)	Erro em N (m)	Erro em h (m)	Num. Imagens verificadas /marcadas
BA74	0,02	0,15	-0,02	0,09	7/7
RN01	0,02	-0,02	0,04	0,26	3/3
Poste_2	0,02	-0,07	-0,12	0,04	7/7
Mourao_1	0,02	-0,10	0,38	-0,21	10/10
Cais	0,02	-0,26	-0,45	-0,41	6/6
Antena	0,02	0,11	0,32	-0,56	5/5
BL1	0,02	-0,07	0,13	0,96	2/2
G1	0,02	-0,11	0,07	-0,95	2/2
G2	0,02	0,20	0,03	-0,39	3/3
c4	0,02	0,15	-0,16	0,01	9/9
c5	0,02	-0,09	0,14	-0,07	10/10
c9	0,02	-0,22	0,23	-0,21	7/7
v4	0,02	0,10	-0,24	0,05	10/10
pst	0,02	0,01	-0,13	-0,09	7/7
est_aes	0,02	0,04	0,17	0,07	8/8
Média		-0,01	0,03	-0,09	
Desvio Padrão		0,13	0,21	0,41	
RMS		0,13	0,21	0,42	

As coordenadas UTM 22S, SIRGAS2000 medidas com GNSS Leica GS-15 L1/L2 e as coordenadas extraídas do ortomosaico, e, as diferenças das coordenadas E e N em metros e o erro na posição são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Diferença entre as coordenadas GNSS e extraídas do ortomosaico dos pontos de checagem no entorno da barragem de Bariri, UTM, 22S, SIRGAS2000.

Id. do Ponto	Coord. GNSS UTM, 22S SIRGAS 2000		Coord. Ortomosaico UTM, 22S SIRGAS 2000		Diferenças em E, N			
	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	$(\Delta E - \Delta E_{med})^2$	$\Delta N - \Delta N_{med}$
MB001	732415,880	7548712,66	732415,659	7548712,16	0,221	0,509	0,162	0,022
C0N03	732632,556	7548273,36	732632,229	7548272,93	0,327	0,430	0,088	0,052
DHN05	732368,135	7548296,13	732367,478	7548295,91	0,657	0,215	0,001	0,196
DHN08	732409,110	7548355,37	732408,483	7548355,96	0,627	0,586	0,000	0,005
DHN09	732452,857	7548394,4	732453,271	7548393,09	0,414	1,304	0,044	0,417
DHN13	732456,962	7548365,67	732456,239	7548366,2	0,723	0,534	0,010	0,016
DHN14	732552,877	7548505,12	732552,021	7548505,07	0,856	0,056	0,054	0,363
DHN15	732605,272	7548466,49	732604,758	7548467,87	0,514	1,378	0,012	0,517
DHN17	732502,244	7548620,85	732501,662	7548622,14	0,582	1,295	0,002	0,406
V0006	732624,010	7548347,35	732623,758	7548346,03	0,252	1,324	0,138	0,443
V0007	732614,717	7548368,85	732614,166	7548367,38	0,551	1,470	0,005	0,659
V0009	732594,592	7548414,08	732593,582	7548413,91	1,010	0,164	0,149	0,244
cx3	732028,566	7548635,98	732027,952	7548636,28	0,614	0,301	0,000	0,128
V0016	732208,929	7548634,39	732208,173	7548634,08	0,756	0,309	0,018	0,122
cx8	732006,331	7548628,81	732006,997	7548628,82	0,666	0,008	0,002	0,423
v0075	732030,978	7548610,59	732030,412	7548611,01	0,566	0,417	0,003	0,058
v0085	732039,736	7548586,17	732039,024	7548586,29	0,712	0,113	0,008	0,298
V0081	732206,322	7548670,93	732205,553	7548671,29	0,769	0,360	0,021	0,089
V0098	732469,929	7548498,42	732468,900	7548497,78	1,029	0,638	0,164	0,000
V0103	732462,784	7548532,2	732461,74	7548531,48	1,044	0,720	0,177	0,004
V0121	732500,776	7548713,1	732500,312	7548712,08	0,464	1,026	0,025	0,135
V0123	732514,245	7548658,78	732513,647	7548657,78	0,598	0,997	0,001	0,115
V0135	732541,846	7548546,44	732541,456	7548545,45	0,390	0,990	0,055	0,110

A média das diferenças entre as coordenadas amostradas no ortomosaico e coletadas com GNSS foi de 0,624 m em E e 0,658 m em N . Os desvios padrão em E, N foram de 0,228 m (σ_E), 0,471 m (σ_N). De acordo com a PEC-PCD (CONCAR, 2011) para nível de confiança 90%, tem -se:

$$PEC-PCD_E = 1,6449 \times \sigma_E$$

$$PEC-PCD_E = 0,374 \text{ m}$$

$$PEC-PCD_N = 1,6449 \times \sigma_N$$

$$PEC-PCD_N = 0,770 \text{ m}$$

Observando os resultados acima e comparando com os dados da tabela 2 - PEC-PCD planimétrico, verifica-se que para este estudo o ortomosaico enquadra-se na Classe B, 1:2000. Desta forma, os elementos vetorizados a partir desse ortomosaico terão o mesmo enquadramento.

4. Conclusão

Neste trabalho, a comparação entre as coordenadas amostradas na ortoimagem e em campo se enquadrou na PEC-PCD na escala 1:2000, classe B. A acurácia horizontal conseguida para o ortomosaico gerado a partir de imagens coletada com RPA atende ao requisito referente a escala mínima necessária para formalização de plantas planimétricas para emissão da DUP, conforme resolução Normativa da ANEEL 560/2013.

Agradecimentos

Agradecemos a empresa XMobots situada em São Carlos-SP pela gentileza no fornecimento das imagens digitais obtidas com ECHAR e aos funcionários do Laboratório de Visualização Avançada – Vizlab da Universidade do Vale dos Sinos de São Leopoldo – RS.

Aos estagiários da Faculdade de Tecnologia de Jahu. E, principalmente ao grupo de estudo Núcleo de Hidrometria da Escola de Engenharia de São Carlos – USP pelas contribuições e suporte técnicos.

Referências

- Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC. Manual de Procedimentos 100/SAR. Certificação de Aeronavegabilidade de 17 de maio de 2013. Brasília, 2013.
- American National Standards Institute - ANSI. Spatial data transfer standard – SDTS. Part 1: Logical specifications.” ANSI NCITS 320-1998, Washington, D.C.
- Ariza, F. J., Atkinson, A. D. 2008. Analysis of Some Positional Accuracy Assessment Methodologies. Journal of Surveying Engineering. ASCE. Maio 2008. 45-54.
- Brasil. Lei Federal 8987 de 13 de fevereiro de 1995. Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos previsto no art. 175 da Constituição Federal, e dá outras providências. Brasília, 1995.
- _____. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Resol. Norm. ANEEL 560/2013. Estabelece os procedimentos gerais para requerimento de Declaração de Utilidade Pública – DUP, para fins de desapropriação e de instituição de servidão administrativa, de áreas de terra necessárias à implantação de instalações de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, por concessionários, permissionários e autorizados e dá outras providências. Brasília, 2013.
- Carvalho, N. O.. Hidrossedimentologia Prática. Ed. Interciência. 2a.ed. rev. Rio de Janeiro, RJ. 2008. 600 p.
- Celestino, V. S., Rocha, R. S. Avaliação de imagens do sensor quickbird de acordo com o decreto n°. 89.817/84 – padrão de exatidão cartográfico. In **Anais... II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. Recife, PE. 08 a 11 de setembro de 2008. 1-6.
- Colomina, I.; Molina, P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing. A review. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing** 92. 2014. P. 79-97.
- CONCAR; Exército Brasileiro – CONCAR-EB. Especificação Técnica Para A Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais. Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais. 2.ed. Brasil. 10/06/2011.
- Debevec, P., Taylor, C.; Malik, J. Modeling and Rendering Architecture from Photographs: A hybrid geometry- and image-based approach. **Proceedings of SIGGRAPH 1996**, pp. 11-20.
- Everaerts, J. The use of unmanned aerial vehicles (UAVS) for remote sensing and mapping. The International Archives of the Photogrammetry, **Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing 2008. 1187-1191.
- Ferreira, A. M. R.; Roig, H. L.; Marotta, G. S.; Menezes, P. H. B. J. Utilização de aeronaves remotamente pilotadas para extração de mosaico georreferenciado multiespectral e modelo digital de elevação de altíssima resolução espacial. In **anais...XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**. Foz do Iguaçu – PR, 13 a 18 de abril de 2013. INPE. p. 9308-9315
- Herwitz, S.R. et al., 2004. Imaging from an unmanned aerial vehicle: agricultural surveillance and decision support. *Computers and Electronics in Agriculture* 44 (2004) 49-61.
- Jensen, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente. Uma perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução: José Carlos Epiphânio. São José dos Campos, SP. Parêntese, 2009. 598 p.
- Jeong, Y.; Nistér, D.; Steedly, D.; Szeliski, R.; Kweon, I. S. Pushing the envelop of modern methods for bundle adjustment. **IEEE. Transactions on Pattern Analysis on Machine Intelligence**. Vol 34. No 8, 2012.



- Linder, W. **Digital Photogrammetry**. A Practical Course. 3a. Ed. Springer. Berlim. 2003. 220 p.
- Lowe, D. G. Object Recognition from Local Scale-Invariant Features. **Proc. of the International Conference on Computer Vision**, Corfu Sept. 1999. Pag. 1 – 8.
- Ni, K.; Steedly, D.; Dellaert, F. Out-of-Core Bundle Adjustment for Large-Scale 3D Reconstruction. IEEE. 2007. 8p.
- Oliveira, M. 2002. Image-Based Modeling and Rendering Techniques: A Survey. **RITA** · Volume IX · Número 2 · 2002, pag. 37-66.
- Pereira, T. A. J; Nero, M. A. Análise de normas de controle de qualidade posicional em cartografia ao redor do mundo: Exemplos Atuais de Alguns Países. **In**. Anais do IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação Recife - PE, 06- 09 de Maio de 2012. p. 1 –9.
- Rocha, R. S. Exatidão cartográfica para as cartas digitais urbanas. Tese de doutorado. Orientador: Prof. Dr. Jungen W. Philips Ing. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC. 123p.
- Shahbazi, M.; Théau, J.; Ménard, P. Recent applications of unmanned aerial imagery in natural resource management. **GIScience and Remote Sensing**. 2014. 1-29.
- Shahbaziab, M. , Théauab, J. ; Ménardc, P. (2014). Recent applications of unmanned
- Silva, W. F.; Silva, L. S.; Malta, E. A.; Gondim, R. O.; Scherer-Warren, M. Avaliação de uso de Veículo Aéreo não Tripulado – VANT em atividades de fiscalização da Agência Nacional de Águas. **In anais...** XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. SBSR. João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015. INPE.
- Sugiura, R., et al. Remote-sensing technology for Vegetation Monitoring using an Unmanned Helicopter. **Biosystems Engineering** 90(4). 2005. 369-379.
- Thamm, H.P., Judex, M.,. The Low cost drone – An interesting tool for process monitoring in a high spatial and temporal resolution. In: **The International Archives of Photogrammetry**, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Enschede, The Netherlands, Vol. XXXVI part 7. 2006
- Triggs, B.; Mclauchlan, P. F. Hartley, R. I. ; Fitzgibbon, A. W. Bundle Adjustment — A Modern Synthesis. **Vision Algorithms'99**, LNCS 1883, pp. 298–372, 2000.
- Zarco-Tejada, P., Berni, J.. Vegetation monitoring using a micro-hyperspectral imaging sensor onboard an unmanned aerial vehicle (UAV). In: **Proceedings** of the Euro COW 2012, European Spatial Data Research (EuroSDR), Castelldefels, Spain.
- Zhang, Q; Qin, R.; Huang, X.; Fang, Y.; Liu, L. Classification of Ultra-High Resolution Orthophotos Combined with DSM Using a Dual Morphological Top Hat Profile. **Journal of Remote Sensing**. 2015, 7, 16422–16440.