

Estudo sobre a utilização de alvos pré-sinalizados para apoiar levantamentos aerofotogramétricos realizados com veículo aéreo não tripulado (VANT)

Glauber Carvalho Costa ^{1,2}
Igor de Carvalho Almeida ¹
Rafael Claudino da Silva ¹
Rafael Bazilio Viana ²

¹ Maia Melo Engenharia
Rua General Joaquim Inácio, nº136 – Ilha do Leite, CEP 50070-270 – Recife/PE
igorcarvalho78@hotmail.com, rafaelclaudino.eng@gmail.com

² Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP
Centro de Tecnologia CCT - Departamento de Engenharia Civil
glauber.carvalho@unicap.br, rafeaelbazilioviana@gmail.com

Abstract. The use of unmanned aerial vehicles (UAV) for mapping purposes increases annually in the survey market, mainly driven by the supply of new and more affordable equipment and easy operational handling, but there is still a lack of studies that definitively prove its effectiveness and reliability in terms of the accuracy of the results achieved, as well as studies to contribute to the improvement of their positional and altimetry performance. An alternative to optimize the performance of planialtimetric results of topographic surveys that use UAV, especially in areas where photoidentifiable points are either scarce or nonexistent to support checkpoints and ground control points, would be the implementation of photogrammetric ground control targets with coordinates collected through GNSS geodetic receivers and electronic levels. The installed landmarks aim to support the triangulation step and the orientation of the images during the processing steps, as well as serve as check points in order to verify the cartographic scale achieved. In this study, 14 landmarks were installed and pre-marked in an area that covers a road connection at the junction of state highways PB-044 and PB-008, with a total area of approximately 16.30 hectares. Finally, this article aims to show the steps that lead to the definition of the type, color, size and spatial distribution of photogrammetric ground control targets in an area of interest for roadway design project purposes and surveyed by aerial photogrammetry using UAV fitted with small-format camera.

Palavras-chave: Aerofotogrammetria, Pré-sinalização, UAV, Aerofotogrametria, Pré-sinalização, VANT.

1. Introdução

O emprego de alvos pré-sinalizados é uma prática utilizada em levantamentos aerofotogramétricos desde a era analógica, sendo inclusive recomendada atualmente por normas e instruções internacionais, para a fiscalização e execução de projetos viários a partir de levantamentos aerofotogramétricos convencionais e utilizando equipamento digitais (US Army, 2002; NJDOT, 1998; CDOT, 2015).

A prática de se utilizar marcos de apoio para otimizar a precisão dos levantamentos aerofotogramétricos, pode ser recomendado sobretudo nos levantamentos realizados com VANT, recomenda-se uso de marcos pré-sinalizados principalmente em áreas de levantamento (Tedesco et al, 2014; Iescheck et al, 2016) onde os pontos fotoidentificáveis passíveis de ser utilizados como marcos de controle e apoio, são insuficientes ou até inexistentes. O uso dos marcos pré-sinalizados, deverá ser bem planejado, pois sua implantação é feita antes do voo, e se realizada de forma inadequada, os marcos não poderão

ser posteriormente fotoidentificados nas aeroimagens, perdendo assim sua utilidade, gerando ônus ao levantamento e prejudicando assim a qualidade do produto final, mas se corretamente executado em campo, proporcionam medições mais precisas das coordenadas dos pontos de apoio, e com isso aumentando a eficácia da fototriangulação e precisão do produto final (Costa e Silva, 2008; e Costa et al 2011).

Portanto, o presente artigo tem como objetivo mostrar as etapas destinadas a definição do tipo, cor, dimensão e distribuição espacial de marcos de apoio pré-sinalizados, numa área a ser levantada por aerofotogrametria empregando VANT, munido de câmera de pequeno formato, sendo a área destinada a estudos de projetos viários.

2. Metodologia de Trabalho

Como etapa inicial aos estudos, foi estabelecida primeiramente a localização, escala cartográfica pretendida e parâmetros do voo, sendo posteriormente dimensionadas e especificadas a pré-sinalização dos marcos de apoio ao aerolevanteamento.

2.1 Localização da área do aerolevanteamento

À área do aerolevanteamento localiza-se no litoral do estado da Paraíba, a cerca de 3,0km da cidade de Pitimbu/PB, contemplando o entroncamento entre as rodovias estaduais PB-044 e PB-008, com área total aproximadamente 16,30 ha (Figura 1).

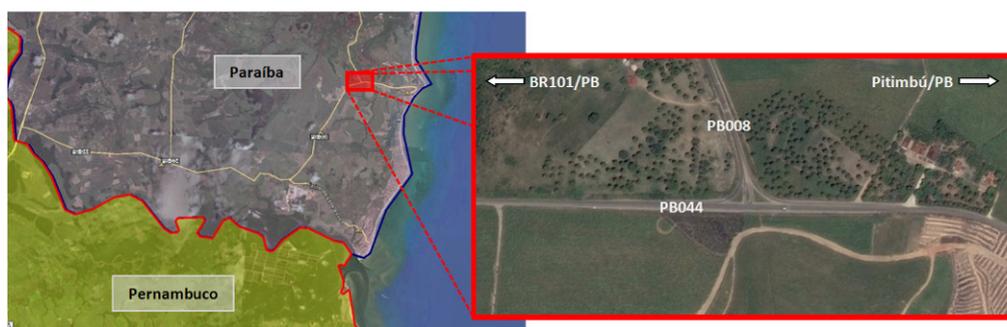


Figura 1 – Localização da área do aerolevanteamento.

2.2 Definição da escala cartográfica e parâmetros do voo

Com base no alcance e autonomia do VANT (quadrirotor DJI Phantom Vision 2), como também das especificações da câmera a ser empregada na aquisição das aeroimagens, foi estabelecido os parâmetros do voo, pois a escala cartográfica pretendida já era conhecida, já que o levantamento se destinava a estudos de projetos viários, e as escalas adotadas nesses levantamentos são 1/500, 1/1.000 e 1/2.000 para projetos executivos e 1/5.000 para projetos básicos rodoviários.

Com os dados de calibração da câmera, informações do alcance e autonomia de voo do VANT, foi estabelecida altura de voo e conseqüentemente a escala cartográfica a ser obtida, através do cálculo GSD (*Ground Sample Distance*). A resolução espacial GSD, corresponde ao tamanho do pixel no terreno, podendo ser calculado por:

$$\frac{f}{h_v} = \frac{d}{GSD} \quad (1)$$

Sendo,

h_v = Altura de Voo, f = Distância Focal da Câmera e d = Dimensões Físicas do Pixel no Sensor CCD.

Como resultado final do planejamento do voo, obtivemos o indicado na tabela 1 abaixo, sendo estabelecida a altura média de voo de 110m, com superposição longitudinal 70% e transversal 40%, resolução espacial média resultante de 5cm, área recoberta por uma imagem no terreno de 147m x 196m, intervalo de tomadas das imagens de 5 segundos e velocidade de cruzeiro 2,00m/s.

Dados da Câmera		Parâmetros	
Distancia focal (f)		3,210mm	2463 pixels
Formato da imagem	Lado maior: LG	5,714mm	4384 pixels
	Lado menor: LP	4,286mm	3288 pixels
Altura de Voo		110,00m	-
Tamanho do pixel no terreno (GSD)		5cm	-
Escala Cartográfica		1/500	-

Tabela 1 – Resumo dos parâmetros para a definição da Escala Cartográfica.

2.3 Definição das dimensões e tipo da pré-sinalização dos marcos de apoio

A definição do material, localização, cor, dimensões e dos marcos de pré-sinalizados deverá considerar aspectos operacionais de campo, custo de materiais e possibilitar a sua fotoidentificação nas aeroimagens coletadas com o VANT.

As dimensões das marcas dependem da escala cartográfica e sua equivalente de voo da cobertura fotográfica que será realizada sendo o critério de partida para determinar a dimensão do alvo pré-sinalizado. Considerando "d" igual ao diâmetro do círculo central (ao lado do quadrado ou ao lado do triângulo respectivamente) como o único parâmetro variável em função do qual se constrói toda a marca, dever-se-á tomar "d" igual a um múltiplo ímpar da dimensão do pixel no terreno (normalmente de 3 a 5 vezes) (Figura 2a). A figura 2b indica dimensões restantes da marca de centro circular, que se podem adaptar às de centro quadrado ou triangular.

Não só a resolução da imagem, como também o contraste local, a luminosidade e as próprias condições atmosféricas na altura em que é realizado o voo são fortemente determinantes para a boa visualização dos alvos pré-sinalizados na fotografia aérea e consequentemente para a precisão da sua medição.

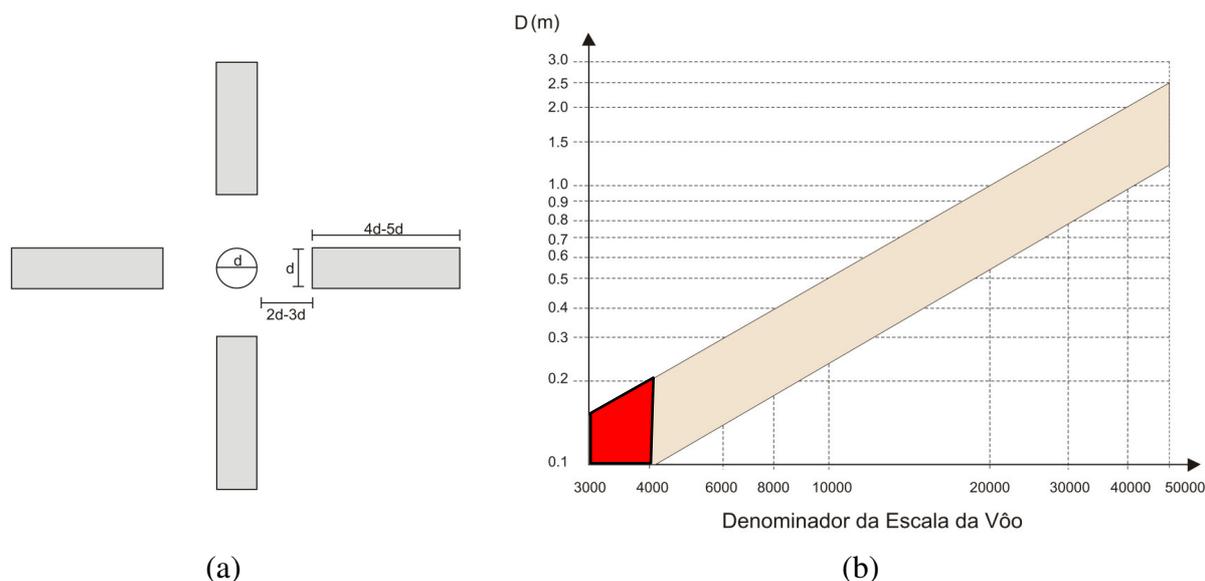


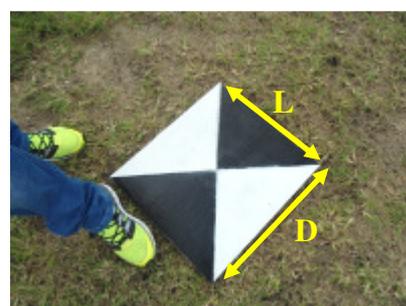
Figura 2 –Dimensões da pré-sinalização dos alvos (a) e gráfico da dimensão "d" em função das escalas de voo (b), (adaptado de Redweik, 2007).

Tomando como referência as informações citadas acima, foi estabelecida as dimensões para os marcos pré-sinalizados, conforme indicado na tabela 1 abaixo. Foram calculadas para as sinalizações do tipo cruz do tipo 3 e 4 (figuras 3c e 3d), as dimensões adotadas para a larguras de faixa foram $d_{T3}=0,150m$ e $d_{T4}=0,100m$, e comprimentos de $L_{T3}=0,80m$ e $L_{T3}=0,90m$, já para a as demais sinalizações estudadas dos tipo 1 e 2 (figuras 3a e 3b), as dimensões adotadas para o diâmetro do círculo e largura, são respectivamente $d_{T1}=0,25m$ e $D_{T2}=0,500m$ e comprimentos de $L_{T1}=0,50m$ e $L_{T2}=0,50m$, essas medidas estão embasadas na resolução do pixel (distância amostral do terreno), conforme mostra a linha 5 da Tabela 1, que está associada a escala cartográfica de 1/500, e conseqüente a escala de vôo associada foi de 1/3.000 a 1/4.000, sendo a região de influência considera a indicada pela cor vermelha no gráfico da figura 2b acima.

Antes da definição final do tipo de sinalização a ser adotada, foram realizados teste de vôo com o VANT em campo, utilizando os quatro tipos de sinalização, com formato, tamanho, tipos de cores, conforme mostrado na figura 3.



Pré-sinalização Tipo 1 – (a)



Pré-sinalização Tipo 2– (b)



Pré-sinalização Tipo 3– (c)



Pré-sinalização Tipo 4– (d)



Painel geral – (e)

Figura 3 – Detalhes das pré-sinalizações Tipos 1, 2, 3 e 4.

Foram realizados testes preliminares de vôo com altura de 110m no campus da UFRPE, compatível com o planejamento de vôo previamente estabelecido e correspondente à estaca cartográfica final desejada sobre os marcos de calibração, sendo verificada a pré-sinalização tipos 1, 2, 3 e 4.

Com os testes de vôo realizados, foi eleita a pré-sinalização que obteve melhor resultado segundo os critérios elencados abaixo:

- Facilidade de transporte e implantação em superfícies planas/ondulada.
- Acuidade visual na imagem aérea.
- Custo de implantação (materiais e ferramentas).
- Tempo de implantação.
- Dificuldade na confecção da pré-sinalização em tecido.

Pode-se verificar um dos resultados do teste, na figura 4 indicada abaixo, onde foram eleitas as pré-sinalizações tipos 1 e 4, sendo a do tipo 1 em pintura na cor branca e preta (contrastando com superfícies pavimentadas com asfalto) e a do tipo 4 em tecido na cor branca (contrastando com superfícies em cobertura de vegetação e solo). A cor branca foi escolhida por apresentar maior contraste aos tipos de coberturas presentes na área do levantamento (vegetação de cana-de-açúcar, pavimento asfáltico e leito natural de vias vicinais), sendo essa cor a que apresentou mais contraste a cobertura presente.

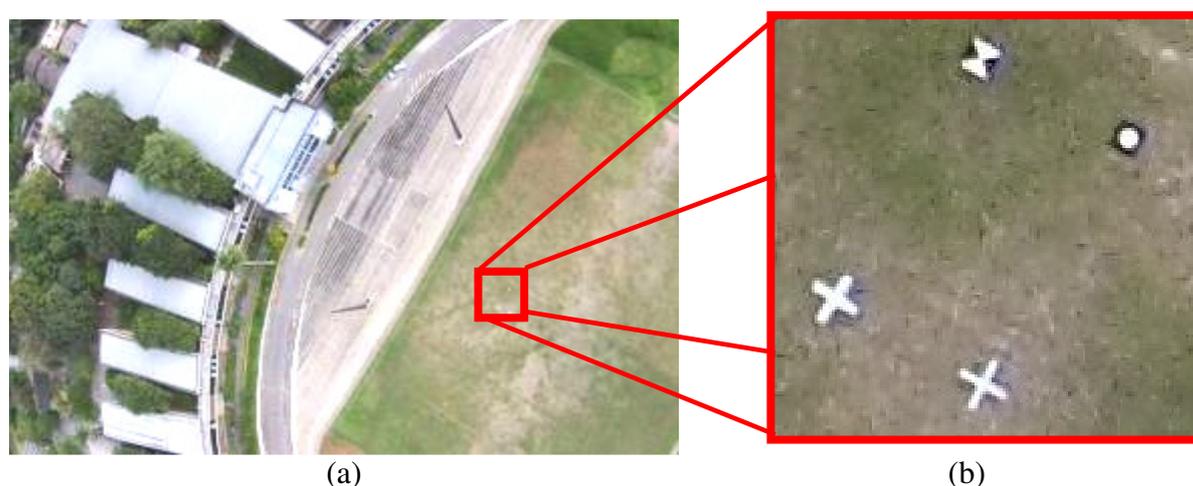


Figura 4 – Visualização do resultado do vôo teste das pré-sinalizações.

2.4 Implantação dos Marcos de Apoio

Com os parâmetros do vôo definidos, foi planejada a localização e quantidade dos marcos de apoio pré-sinalizados necessários, para isso foi utilizado o programa de desenho gráfico Microstation, juntamente com imagens orbitais pertencentes ao banco de dados do Google Earth (Figura 5). Os marcos pré-sinalizados foram posicionados primeiramente nas extremidades e nas áreas de sobreposição entre as faixas de vôo, e em pontos com ausência de pontos fotoidentificáveis, como também ao longo da rodovia existente (PB-004), sendo esse último implantado com densidade de pontos superior ao mínimo necessário, objetivando aumentar a precisão planialtimétrica do aerolevanteamento nesse local, pois era o principal local de estudo da área a ser levantada.



Figura 5 – Vista do programa Microstation com o planejamento das faixas de Vôo e posição dos marcos pré-sinalizados.

Após definição do localização, tipo e dimensão dos pontos de apoio a serem implantados e pré-sinalizados em campo, foram iniciados os trabalhos de campo que precedem o aerolevanteamento. Para essa tarefa foi utilizado receptor GNSS geodésico Zênite 2 (figura 6a) para obtenção das coordenadas geodésicas dos marcos e nível com mira falante (figura 6b) para a determinação das altitudes ortométricas, totalizando 14 marcos de apoio, sendo todos os marcos implantados e pré-sinalizados antes do sobrevoo da área a ser levantada.



(a)



(b)

Figura 6 – Implantação dos marcos de apoio do aerolevanteamento com VANT.

3. Resultados e Discussões

Como resultado da implantação e levantamento dos marcos de apoio pré-sinalizados, foram implantados 14 marcos pré-sinalizados, conforme posição e distribuição espacial na área levantada, e mostrada na figura 7 indicada abaixo.



Figura 7 - Localização dos marcos pré-sinalizados utilizados como marcos de apoio (GCP) e marcos de controle (Check Point).

Como observado na figura 8, a visualização dos marcos pré-sinalizados tipo 1 implantados ao longo da PB-044 no asfalto (figura 8a) (pintura - implantado no asfalto) e Tipo 4 (b) (tecido – implantado no solo) nas figuras 8a e 8b ficou bem nítida, comprovando, portanto, que as imagens obtidas pelo veículo aéreo não tripulado (VANT) utilizando o procedimento de cálculo descrito anteriormente foi adequado.

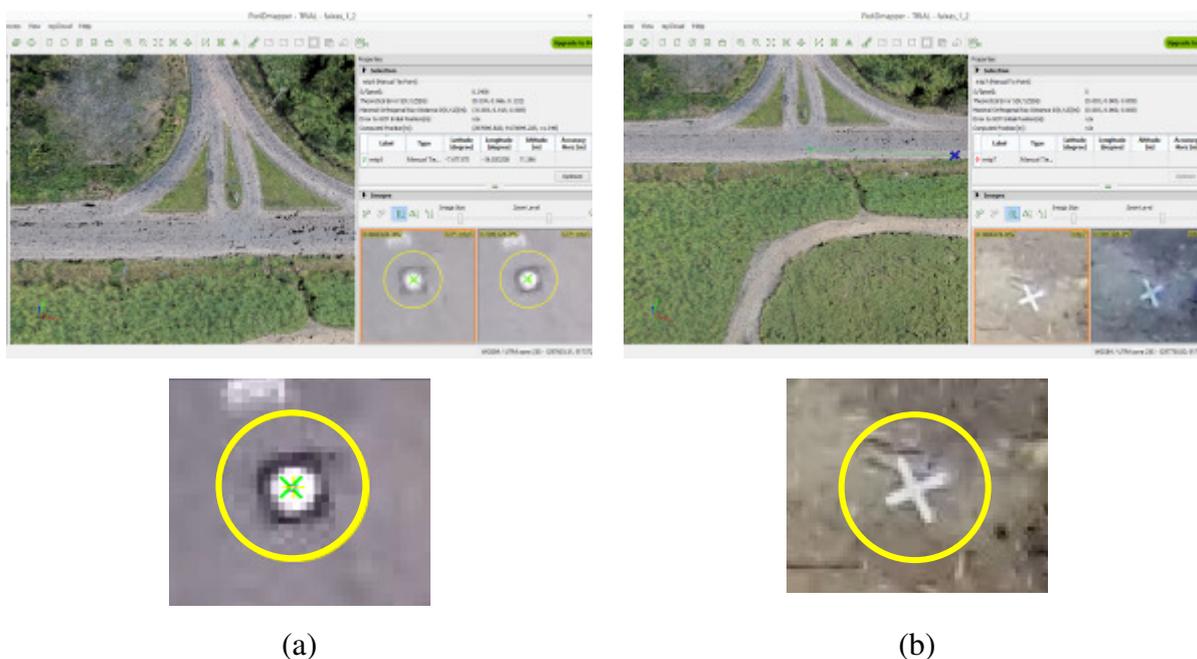


Figura 8 – Visualização das imagens aérea no software PIX4D, identificando no detalhe os alvos pré-sinalizados do Tipo 1 (a) e Tipo 4 (b).

É importante destacar que a área do levantamento no presente artigo é constituída predominantemente de vegetação densa, que neste caso era de monocultura de cana-de-açúcar, dificultando assim a obtenção de pontos nítidos, apresentando baixo contraste para a fotoidentificação dos pontos de controle, porém como apresentado nas figuras 8a (tipo 1) e 8b (tipo 4), os marcos pré-sinalizados estão perfeitamente visíveis.

Como observado em teste realizado com sinalização de cor diferenciada, a cor branca obteve melhor resultado quanto à visualização em superfície sem vegetação, ou seja, o marco ficou mais nítido e obteve melhor contraste em relação a sinalização na cor amarela (figura 9).

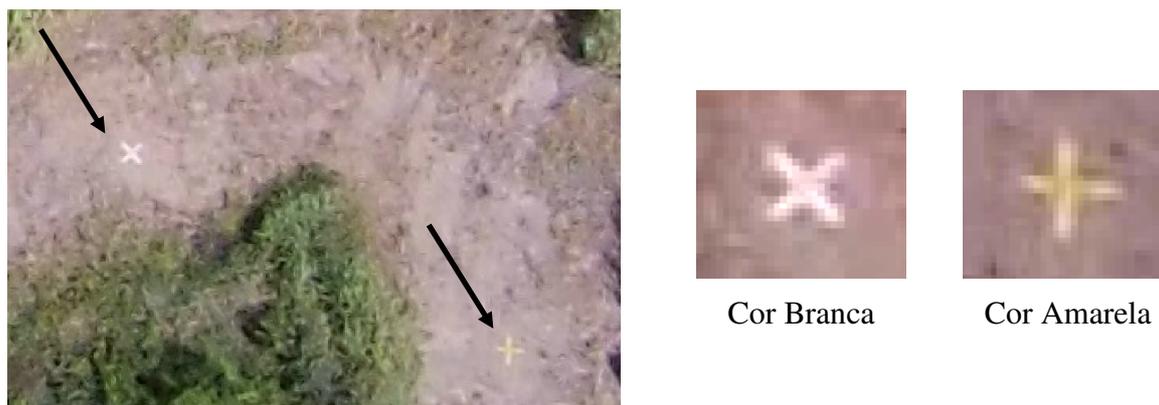


Figura 9 – Detalhe da sinalização com tecido implantados de cor Branca e Amarela.

4. Conclusões

A adoção de alvos pré-sinalizados envolve custos adicionais no planejamento, implantação e medições em campo, entretanto proporciona uma melhora na qualidade posicional dos levantamentos aerofotogramétricos, pois quanto maior a quantidade de pontos de apoio, melhor os resultados da aerotriangulação, logo a adoção de marcos pré-sinalizados, principalmente em áreas onde os pontos fotoidentificáveis são escassos e ou inexistente, passa a ser uma alternativa na melhoria da qualidade dos levantamentos realizados com VANT, e como observado no presente estudo, o planejamento proposto para escolha da forma, dimensões e cor dos alvos, obteve êxito, já que todos os alvos pré-sinalizados foram fotoidentificados com clareza em todas as aeroimagens durante o processamento fotogramétrico, podendo dessa forma propiciar otimização nos resultados da aerotriangulação.

5. Referências Bibliográficas

CDOT. Departamento of Transportation the State of Colorado, Survey Manual Chapter 4 Aerial Surveys, Estados Unidos: 2015. <<https://www.codot.gov/business/manuals/survey/chapter-4/chapter4.pdf>> Acesso em: outubro de 2016.

Costa, G. C.; SILVA, D. C. Pré-sinalização de pontos de apoio em aerofotogrametria com câmara de pequeno formato, 2012, IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife - PE, maio de 2012. Disponível: <<https://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIV/CD/>>. Acesso em: 03 out. 2016.

Costa, G. C., SILVA, D. C., Silva, M. S. Discussão sobre o emprego da pré-sinalização de marcos planialtimétricos em mapeamento aerofotogramétrico, In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba/PR. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto Curitiba-PR, 2011. Disponível: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1506.pdf>>. Acesso em: 03 out. 2016.

NJDOT. Minimum Guidelines for Aerial Photogrammetric Mapping, New Jersey: Department of Transportation the State the New Jersey, Estados Unidos: 1998. <<http://www.state.nj.us/transportation/eng/documents/photogrammetry/pdf/Photogrammetric.pdf>> Acesso em: outubro de 2016.

Tedesco, A. N. S.; Acco, I. R. B.; Souza, J. C. Estudo da geometria de imagens obtidas por VANT em faixa de duto, a partir de pontos de apoio GPS, 2014, XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia, V Congresso Brasileiro de Geoprocessamento, XXV Expositiva, Gramado/RS 03 a 07 de agosto de 2014. Disponível em: <http://www.cartografia.org.br/cbc/trabalhos/4/528/CT04-84_18351425.pdf> Acesso em: 04 out. 2016.

U.S ARMY. Photogrammetric Mapping – EM 1110-1-1000 – Engineer Manual (Series Engineering and Design). U.S. Army Corps of Engineers. Washington DC, Estados Unidos: 2002. Disponível em: <<http://corpslakes.usace.army.mil/employees/policy/EM/EM-1110-1-1000.pdf>> Acesso em: outubro de 2016.