

---

# ESTUDO SOBRE O USO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT) PARA MAPEAMENTO AÉREO COM FINS DE ELABORAÇÃO DE PROJETOS VIÁRIOS

IGOR DE CARVALHO ALMEIDA <sup>1</sup>  
GLAUBER CARVALHO COSTA <sup>1,2</sup>  
DANIEL CARNEIRO DA SILVA <sup>3</sup>  
JOÃO RODOLFO BULHÕES DE MEDEIROS <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Maia Melo Engenharia

Rua General Joaquim Inácio, nº136 – Ilha do Leite, CEP 50070-270 – Recife/PE

<sup>2</sup> Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP

Centro de Tecnologia CCT - Departamento de Engenharia Civil

<sup>3</sup> Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife – PE

igorcarvalho78@hotmail.com<sup>1</sup>, glau bercad@bol.com.br<sup>2</sup>, danielcs@ufpe.br<sup>3</sup>, rodolfo.bulhoes@araengenharia.com<sup>4</sup>

---

**RESUMO** – O mercado de VANT tanto no âmbito militar como no civil cresce, impulsionado pela oferta de novos equipamentos, pela facilidade de operação e graças ao surgimento de novos *softwares* de processamento de fácil manuseio e adaptados para processar dados coletados por esses sistemas. Os produtos de mapeamento aerofotogramétrico que adotam o VANT, ainda necessitam de otimização, para se consolidarem definitivamente como uma alternativa em levantamento topográfico, pois se trata de uma tecnologia em desenvolvimento. O presente estudo discute os resultados de aerolevanteamento, utilizando um quadricóptero, munido de câmera de 14 Megapixels com visada a nadir. A área teste escolhida abrange uma interconexão rodoviária com 16,3 hectares. Esta área foi levantada com topografia convencional com Estação Total e Nível, que serviu de parâmetro na comparação com os dados gerados pelo levantamento aerofotogramétrico realizado com o VANT. Foram implantados 16 marcos pré-sinalizados para pontos de apoio e checagem e posteriormente realizada a coleta das imagens com o VANT, a uma altura de voo de aproximadamente 100 m. O processamento foi realizado no *software Pix4D*, obtendo GSD= 6,54 cm e Erros Médios Quadráticos de  $EMQ_{xy}=0,498$  m e  $EMQ_z=0,212$  m.

**ABSTRACT** – The UAV market both in the military and in civilian grows, which increased the supply of new equipment, ease of operation and appearance of new easy handling and processing software adapted to process data collected by these systems. The aerial photogrammetry mapping products that adopt the UAV, still need optimization, to definitely consolidate as an alternative survey, because it is a developing technology. This study discusses the results of aerial survey using a quadricopter, equipped with 14 megapixel camera and adapted camera lens axis stop target nadir. The chosen test area has 16.3 hectares and covers a road connection was first carried out a conventional surveying with Total Station and Level, which served as a parameter to compare with the data generated by aerial photogrammetry survey of the UAV then were implanted 16 pre-marked milestones (Tie Points and Check Points) and later held the collection of aeroimagens with the UAV at a flying height of about 100 m, the processing was performed in Pix4D software, getting GSD = 6,54 cm and Errors Average quadratic  $EMQ_{xy} = 0,498$  m e  $EMQ_z = 0,212$  m.

---

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, vem ocorrendo um significativo aumento de aplicações de aerolevanteamentos a partir de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) em diversificadas áreas, como arqueologia, geologia, monitoramento ambiental, engenharia civil, aplicações militares e em mapeamento topográfico. Nestes segmentos de atuação também estão sendo incluídos os atendimentos das necessidades das empresas e profissionais em mapeamentos de pequenas áreas, para os estudos de projetos e monitoramento de obras de engenharia e estudos ambientais e cálculo de volumes.

Entretanto os levantamentos com uso de VANT ainda apresentam algumas dificuldades operacionais e legais. Apesar da enorme oferta de modelos no mercado poucos estão bem adaptados para fins de mapeamentos, seja pela

dificuldade de garantir as sobreposições longitudinais e laterais, requeridas pelo processamento aerofotogramétrico, mas ocasionadas pela instabilidade da plataforma aérea, seja pela falta de exatidão na determinação dos parâmetros de posição e orientação das imagens fornecidos pelo receptor GNSS e sensores inerciais de bordo. As dificuldades legais referem-se à indefinição de âmbito nacional e internacional relativas à regulamentação de uso, procedimentos de segurança de voo e autorizações para a realização dos mapeamentos, principalmente em áreas urbanas.

A aerofotogrametria empregando o VANT é adequada para projeto de engenharia que necessitam de informações atualizadas da superfície terrestre, com elevada resolução espacial e para usos relacionados com a coleta de informações frequentes, como monitoramento de impactos ambientais, na agricultura de precisão, no deslocamento de terra, mapeamento de minas a céu aberto, cadastro urbano, mapeamento de pequenas áreas em projeto de engenharia e no sensoriamento remoto (EISENBEISS, 2009).

Este trabalho apresenta e discute a viabilidade técnica e econômica do emprego de dados planialtimétricos resultantes de levantamento aerofotogramétrico utilizando câmeras de pequeno formato, abordo de um RPAS (Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada) ou VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado), para fins de elaboração de projetos de interseções rodoviárias. Os objetivos específicos foram: verificar a acurácia planialtimétrica do levantamento aerofotogramétrico com VANT, através de pontos de controle pré-sinalizados; realizar uma análise comparativa da morfologia do relevo do terreno levantado também pelo método convencional (Estação Total); verificar as discrepâncias na estimativa de volumes de terraplenagem de corte e aterro; discutir o emprego dos produtos gerados pelo levantamento aerofotogramétrico empregando VANT, como Ortomosaicos, Anaglifos e MDT.

Para isso foram utilizadas imagens obtidas com VANT tipo quadricóptero adaptado, capaz de realizar voos autônomos remotamente controlados e munido de câmera previamente calibrada de 14 *Megapixels* e com eixo de visada adaptada para visada a nadir. Para avaliar a precisão e viabilidade técnica-econômica do emprego de VANT em mapeamento aerofotogramétrico, foi desenvolvido estudos numa área teste com 16,3 hectares.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Área de Estudo

À área escolhida localiza-se no litoral do estado da Paraíba, a cerca de 3,0km da cidade de Pitimbu. A área contempla uma interseção rodoviária existente, no entroncamento entre as rodovias estaduais PB-044 e PB-008, e tendo uma área de abrangência de aproximadamente 162.960,00 m<sup>2</sup> (16,30 ha) (Figura 1).



Figura 1 – Área de estudo, entroncamento entre as rodovias estaduais PB-044 e PB-008.

### 2.2 Levantamento Planialtimétrico Topográfico

Os levantamentos topográficos planialtimétricos consistiram em cadastrar o trecho da Rodovia e o terreno as suas margens, limitando-se a abrangência da área de estudos, objetivando gerar o Modelo Digital de Terreno (MDT). A metodologia adotada no levantamento foi a de locação de uma poligonal de apoio usando estação total, e a partir desta, irradiar pontos para elaboração de uma planta cadastral da área. No processamento dos dados, foram utilizados o *software Topograph* e o *PowerCivil for Brasil*, sendo elaborada uma planta topográfica digital (Figura 2a).

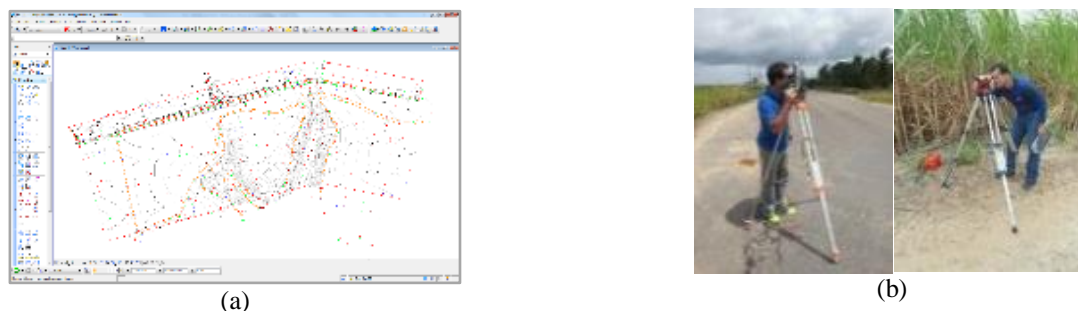


Figura 2 – Vista da Janela do *software PowerCivil* for Brasil com os dados do levantamento processados (a) e levantamento de campo com Estação Total e Nível (b).

## 2.3 Aerolevantamento com VANT e Câmara de Pequeno Formato

### 2.3.1 Determinação e Coleta de Pontos de Apoio em Campo

Primeiramente foram implantados os marcos pré-sinalizados (Figura 3) da rede de pontos de apoio ao bloco de imagens e marcos de checagem (*Check Points*), posteriormente suas altitudes ortométricas e coordenadas foram determinadas através de medições em campo com nível e receptores GNSS. Para que pudéssemos realizar o voo, foi idealizado o plano de voo, utilizando o *software* de desenho gráfico *MicroStation*, juntamente com imagens georreferenciadas do banco de dados do *Google Earth*, posteriormente foi feita a implantação dos marcos em campo, quando foram tomadas as imagens com o VANT modelo DJI Phantom Vision 2, utilizando câmera própria embarcada ao quadricóptero. Após coleta das imagens foi iniciado o processamento dos dados, sendo utilizadas as informações de rastreamento da estação RBMC, localizada no Instituto Federal da Paraíba (IFPB) juntamente com os dados coletados em campo, para o processamento das coordenadas dos pontos de apoio e com isso possibilitando a montagem dos mosaicos das duas faixas levantadas, para que possibilitasse a sobreposição mínima lateral e por fim o fotoíndice.

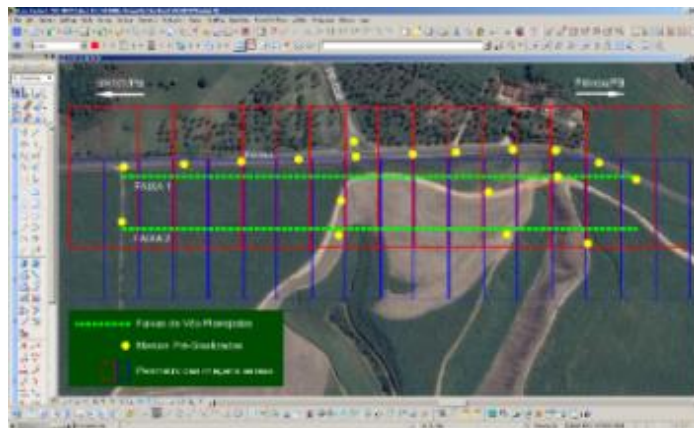


Figura 3 – Vista da tela do programa *Microstation* com o planejamento das duas faixas de voo, com os pontos em amarelo indicando o apoio de campo, cujas coordenadas foram utilizadas como referência no processamento.

As dimensões da pré-sinalizações implantadas em campo (Figura 4), foram definidas considerando o parâmetro “d” (dimensões físicas do pixel no sensor CCD), que é estabelecido em função da escala de voo na fotogrametria analógica ou em função do GSD (tamanho do pixel no terreno). Como a recomendação é que essa dimensão assuma valor igual a um múltiplo ímpar da dimensão do GSD (de 3 a 5 vezes), conforme REDWEIK (2007) e COSTA et al (2012) o valor escolhido foi 80x10 cm para a pré-sinalização de faixas de tecido brancas (Figura 4d) utilizados em terreno natural e uma circunferência com diâmetro de 25 cm pintados com tinta quando pré-sinalizados no asfalto (Figura 4b).

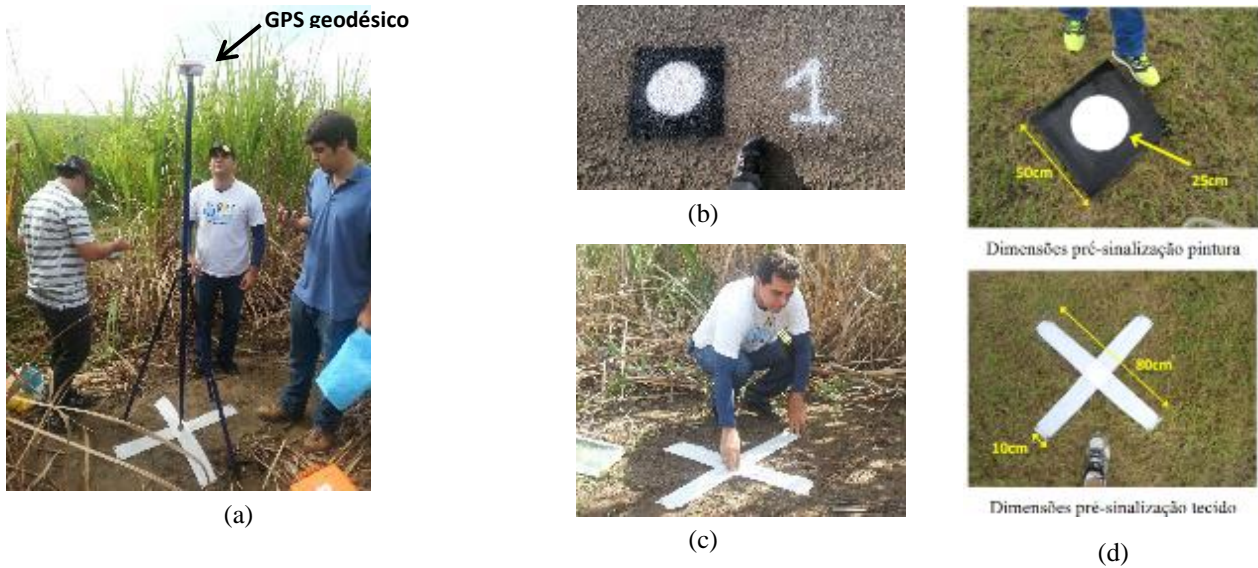


Figura 4 – Rastreamento GNSS dos marcos de apoio e checagem (a), pré-sinalização em campo marcos de apoio e checagem (b e c) e dimensões dos marcos de apoio e checagem (d).

### 2.3.2 Características do VANT e Câmara de Pequeno Formato

Foi utilizado o quadricóptero do modelo da DJI Phantom Vision 2 (Figura 5a) com as seguintes características: câmera integrada 14MP, sistema de voo autônomo; sistema que transmite vídeo em tempo real para sistema em solo com alcance de 300 m; *gimbal* motorizado e autonomia de voo de até 25 minutos. Foi necessário realizar três adaptações no quadricóptero:

- Colocar a visada da câmera para Nadir.
- Acoplar um receptor GPS de Navegação, para coleta das coordenadas da linha de voo e centro projetivo das imagens (Figura 5b).
- Ajustar a Bússola. Isto foi necessário para proporcionar maior estabilidade porque foi constatado em testes que havia uma deriva não controlada, motivada pela configuração original de fábrica em que o ângulo de orientação da Bússola (Figura 5c) estava ajustada para o hemisfério norte. O problema foi solucionado com um ajuste no ângulo de 22° graus da Bússola para voos no hemisfério sul.

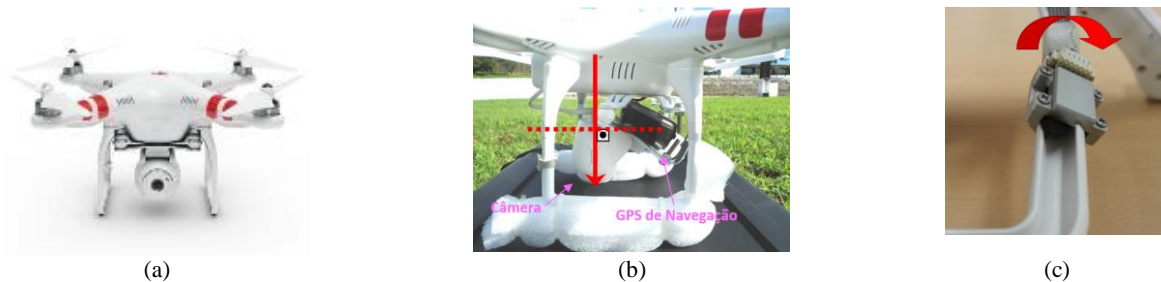


Figura 5 – (a) Quadricóptero do modelo da DJI Phantom Vision 2. (b) adaptação do eixo de projeção para a posição a Nadir. (c) rotação da Bússola do VANT de 22° graus.

A câmera utilizada foi a do próprio fabricante do equipamento DJI Phantom Vision 2 de 14.0 *Megapixels*. Esta câmera trabalha com uma matriz de sensores CCD (*Charge Coupled Device*) com largura ( $w$ ) de 5,714 mm e altura ( $h$ ) de 4,286 mm e em pixels 4384 ( $w$ ) x 3288 ( $h$ ). As imagens podem ser gravadas em cartão de memória, no formato JPEG ou RAW. Neste trabalho todas as imagens foram sempre tomadas com a distância focal fixada para o infinito.

Para a determinação dos parâmetros geométricos da lente da câmera usada no levantamento (Figura 6a e 6b), foi utilizado o *software PhotoModeler Pro*. Foram determinados os parâmetros de orientação interior (Figura 6a), a distância focal  $f$ ; a escala cartográfica do ponto principal no sistema de coordenadas da câmera  $x_0$ ,  $y_0$ ; os coeficientes de distorção radial  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ; os coeficientes de distorção descentrada  $P_1$  e  $P_2$ .

Com os dados do tamanho do elemento sensor e distância focal obtidos através da calibração da câmera, informações do alcance e autonomia de voo do quadricóptero, foi estabelecida altura de voo e consequentemente 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:

$$\frac{f}{h_v} = \frac{d}{GSD} \tag{1}$$

SENDO;

$h_v$  = Altura de Voo,

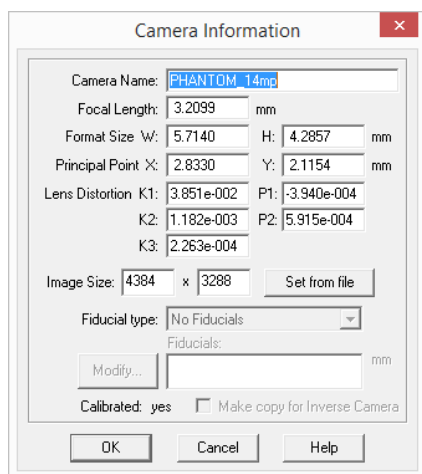
$f$  = Distância Focal da Câmera,

$d$  = Dimensões Físicas do Pixel no Sensor CCD.

Para os dados da tabela, temos que o GSD foi de 0,045 m, portanto segundo tabela 1 a escala cartográfica a ser obtida é de 1/500. O recomendado para imagens digitais é Denominador da escala = GSD(em metros) x 10000, então  $M=0,045 \times 10000 = 450$  então escala 1/450).

Tabela 1 – Correlação tamanho do Pixel e Escala Cartográfica (Fonte: LEICA, 2014)

Média GSD com ADS40	Escala da Foto	Mapa Padrão		Comparativo de Filmes Fotográficos	
		x-y acurácia RMSE	Intervalo de Contorno	Escala da Foto	Tamanho do Pixel no Terreno digitalizado
5 - 10 cm	1:500	0.125 m	0.25 m	1:3000 à 1:5500	2,5 - 5 cm
10 - 15 cm	1:1000	0.25 m	0.5 m	1:5000 à 1:8000	5 - 7,5 cm
15 - 20 cm	1:1500	0.4 m	0.75 m	1:6500 à 1:10.000	7,5 - 10 cm
20 - 30 cm	1:2000	0.5 m	1 m	1:8000 à 1:11.000	10 - 15 cm



(a)

Dados da Câmera		Parâmetros	
Tamanho do sensor	5,714 mm	-	
Tamanho do Elemento Sensor	0,0013 mm	1 pixel	
Distancia focal (f)	3,210 mm	2463 pixel	
Formato da imagem	Lado maior: LG	5,714 mm	4384 pixel
	Lado menor: LP	4,286 mm	3288 pixel
Altura de Voo	110,00 m	-	
Tamanho do pixel no terreno (GSD)	5 cm	-	
Escala Cartográfica	1/500	-	

(b)

Figura 6 – (a) Janela do software *PhotoModeler Pro* mostrando os resultados da calibração (b) resumo dos parâmetros para a definição da Escala Cartográfica.

Com a escala cartográfica estabelecida foram calculados os dados referente aos parâmetros do Plano de Voo para a tomada das imagens aéreas. Sendo estabelecida a altura média de voo para a coleta das imagens de 110 m, com superposição longitudinal 70% e lateral 40%, resolução espacial média resultante foi de 5cm, área recoberta por uma imagem no terreno de 147 m x 196 m, intervalo de tomadas das imagens de 5 segundos e velocidade de cruzeiro 2,00 m/s.

### 2.3.3 Realização do Voo

A cobertura aérea foi realizada nos dias 11 e 12 de setembro de 2014, numa altura média de voo de 110 m, desta forma cada fotografia aérea possui resolução nominal de 0,05 m x 0,05 m e cobriu uma área aproximadamente de 20 hectares. As faixas de voo 1 e 2 foram configuradas no programa DJI Vision no módulo *GroundStation* (Figuras 7b) instalado em um Tablet com sistema operacional iOS, e por meio de sinal de rádio e de rede *Wifi* própria do sistema de controle do Phantom Vision 2, o Quadrirotor executou as faixas de voo de forma autônoma.



Figura 7 – (a) Vista da aeroimagem no formato de fotoíndice da Faixa 1 de voo (b). Vista do programa DJI Vision no módulo *GroundStation* mostrando faixa de voo 1

De posse do fotoíndice, das coordenadas dos marcos de apoio e checagem e das imagens, foi realizado o processamento fotogramétrico no *software Pix4D* (Figura 8). Foi realizada a inserção de dados no programa *Pix4Dmapper*, sendo os dados das coordenadas do centro das fotos, altura de voo em que as fotos foram coletadas, distância focal e o tamanho da imagem digital na unidade de microns. Posteriormente foi inserida, os dados dos marcos pré-sinalizados (*Control Points*) e por meio de processo de análise de pixel a pixel, o programa *Pix4Dmapper* realizou a identificação automática dos pontos homólogos, também denominados de pontos de amarração (*Tie Points*). Neste projeto foram usadas as coordenadas do GPS embarcado no Quadrirotor (Figura 5b) e pontos de apoio de campo.



Figura 8 – Vista da janela do *software Pix4Dmapper*, marco de controle pré-sinalizado, tecidos (a) e pintura (b).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como produtos finais foram gerados, um mosaico ortoretificado e o Modelo Digital de Superfície (MDS) acima da área levantada, obtido por funções próprias do Pix4D. Como mostrado na figura 9a, o MDS mostra as feições da vegetação e elementos de elevação sobre a superfície do MDT.

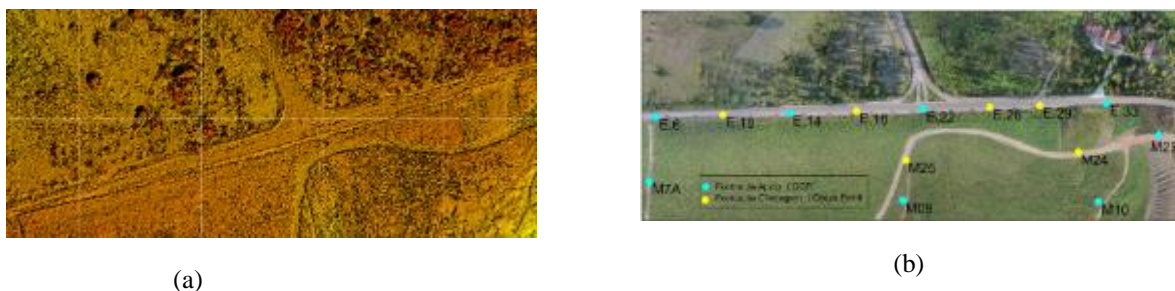


Figura 9 – (a) Modelo Digital de Superfície (MDS) gerado pelo levantamento e processamento no *Pix4Dmapper* (b). Ortomosaico controlado, localização dos pontos de apoio (GCP) e pontos de checagem (*Check Point*)

Com esses produtos foram realizadas as seguintes análises:

- a) Análise da superfície do MDS com dados obtidos por levantamento topográfico convencional usado como referência.

Com base nas superfícies processadas, levantadas por topografia convencional e aerofotogrametria, foi projetado um eixo de projeto rodoviário e um greide, com extensão de 650,25 m, verificou-se uma relativa diferença entre os dados conforme figura 10, necessitando de um estudo volumétrico posterior ao presente artigo. Conforme é de conhecimento a aerofotogrametria não obtém as informações das altitudes ortométricas no solo e sim no topo da vegetação existente, já a topografia convencional o operador define a posição de coletada no solo e não na vegetação, com isso determinando o Modelo Digital do Terreno (MDT) e não o MDE (Modelo Digital de Elevação), sendo necessário o um novo processamento no programa Pix4D, pois não é possível comparar essas superfícies para fins de volume.

Como observado na figura 10, a incompatibilidade entre os Modelo Digital do Terreno (MDT) e Modelo Digital de Elevação (MDE), também foi comprovada através da análise do perfil longitudinal. As diferenças verticais de terreno obtidos da topografia convencional e da Aerofotogrametria variaram de 0,00 m a +3,50 m. Essa diferença ficou caracterizada devido a não subtração das alturas média da vegetação na hora do processamento do MDT dos pontos extraídos das aeroimagens, porem é possível identificar uma conformidade entre os terrenos.

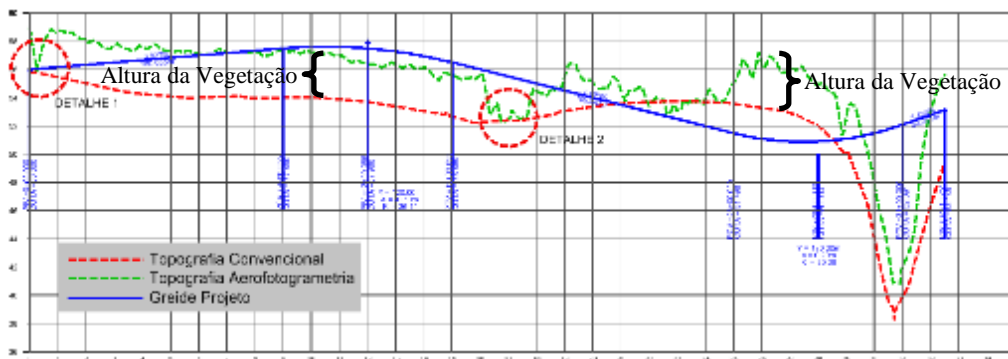


Figura 10 – Perfil Longitudinal mostrando a incompatibilidade entre os Modelo Digital do Terreno (MDT) e Modelo Digital de Elevação (MDE)

A fórmula utilizada no cálculo do Erro Médio Quadrático entre as coordenadas obtidas pelo GPS e as medidas na ortofotocarta, para a planimetria:

$$RMS_{XY} = EMQ_{XY} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{iT} - X_{iC})^2 + (Y_{iT} - Y_{iC})^2}{n}} \quad (1)$$

SENDO,

$n$  – é o número de pontos da amostra

$X_{iT}$ ,  $Y_{iT}$  – Coordenadas planimétricas obtidas em campo, para o ponto  $i$

$X_{iC}$ ,  $Y_{iC}$  – Coordenadas planimétricas do mesmo ponto na Ortoimagem.

As fórmulas utilizadas no cálculo do Erro Médio Quadrático entre as coordenadas obtidas pelo GPS e as medidas no MDS para a altimetria:

$$RMS_Z = EMQ_Z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_{iT} - Z_{iC})^2}{n}} \quad (2)$$

SENDO,

$n$  – é o número de pontos da amostra

$Z_{iT}$  – Cota altimétrica obtida em campo, para o ponto  $i$

$Z_{iC}$  – Cota altimétrica do mesmo ponto na Ortoimagem.

Tabela 2 – Resumo dos valores do Erro Médio Quadrático para a planimetria e Altimetria.

PONTO	PLANIMETRIA		ALTIMETRIA	
	(Erro X) <sup>2</sup> [m]	(Erro Y) <sup>2</sup> [m]	Erro Z [m]	(Erro Z) <sup>2</sup> [m]
E10	0,01192	0,00084	0,04130	0,00171
E18	0,01543	0,00029	0,26340	0,06938
E26	0,18542	0,03423	-0,08670	0,00752
M25	0,55368	0,10956	-0,15530	0,02412
M24	0,03474	0,14654	-0,11650	0,01357
E29	0,36603	0,03094	-0,39180	0,15351
Média (m)	0,056	0,181	-0,074	
Desvio Padrão (m)	0,437	0,145	0,199	
RMS = EMQ (m)	0,441	0,232	0,212	
RMS = EMQ <sub>xy</sub> (m)	EMQ <sub>xy</sub> (m) = 0,498		EMQ <sub>z</sub> (m) = 0,212	

Os padrões de classificação de precisão para ortofotocartas, ou ortoimagem, obtidos com fotogrametria convencional digital da ASPRS (2014) relacionam o GSD com o RMS<sub>x</sub> ou RMS<sub>y</sub>, com a fórmula

$$NR = RMS = GSD \times N \quad (3)$$

Em que NR é a classe em algarismos romanos equivalente ao N.

Para a classe I, indicada para altas precisões em engenharia, o RMS é igual ao GSD, para a classe II, indicada para mapeamento de alta precisão, o RMS = GSD x 2, e as demais classes são para produtos geoespaciais de menores precisões. Então para este artigo com GSD = 0,0654 m e RMS = 0,498 m a classe seria VIII (resultado de 0,498/0,0654=7,6). Este valor está de acordo com resultados de Silva et al (2014). Esta ordem de classe obtida aqui, ou por Silva et al (2014), mostram que os resultados de mapeamento com imagens de VANT não atingem as classes I ou II usuais para produtos de alta qualidade definida para a fotogrametria convencional digital.

A mesma norma relaciona os padrões para mapas vetoriais. Para a classe I o RMS em cm deve ser igual o 0,0125 x (módulo da escala). Considerando a escala desejada de 1/1000 o RMS deve ser inferior ou igual a 12,5 cm. Para as classes II em diante o RMS (cm) = 0,0125 x N x (módulo da escala). O RMS obtido neste projeto, 49,8 cm, permite enquadrar o mapeamento na escala 1/1000 classe IV (0,0125 x 4 x 1000=50 cm) ou escala 1/2000 classe II (0,0125 x 2 x 2000= 50 cm).

Usando os valores da tabela 2 para enquadramento na Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Digitais (DSG, 2015), o produto obtido estaria na escala de 1/1000 categoria “B, mas vale ressaltar que a norma não faz referência a classificação para escalas maiores que 1/1000. Porém como a Norma do DNIT (2006), admite levantamento nas escalas cartográficas de 1:1000 e 1:2000 para levantamento aerofotogramétrico de projetos executivo rodoviários, o levantamento se enquadra nas normas do DNIT.

Como método de avaliação e classificação da precisão planimétrica e altimétrica, utilizou-se o Erro Médio Quadrático, com base em normas de ASPRS (2014). Esta norma estabelece os valores de classificação para produtos cartográficos digitais para as Classes I, II e III com relacionando o EMQ com o tamanho do pixel. Neste experimento o GSD, foi de GSD= 6,54 cm, calculado pelo programa *PIX4D Mapper*, temos que a escala topográfica sugerida conforme a ASPRS (2014) seria de 1/600 (Tabela 3), mas analisando o EMQ<sub>xy</sub> = 49, 8 cm e EMQ<sub>z</sub> = 21,2 cm (relatório do *PIX4D Mapper*), o valor seria de 1/2.400 para a Classe II, segundo análise do EMQ<sub>xy</sub> e EMQ<sub>z</sub>, mas tendendo para 1/1200 Classe III cujo o valor para o RMS = EMQ<sub>xy</sub> (m) é de 45 cm.



Tabela 03 – Valores de precisão horizontal para dados digitais de planialtimétrica (ASPRS, 2014)

Escala do Mapa	Fonte de Imagens Aproximado GSD	Dados Horizontais de Precisão e Classe	RMSE, ou RMSE (cm)	RMSE, (cm)	Precisão Horizontal a 95% de Nível de Confiança (cm)
1:600	7.5 cm	I	7.5	10.6	18.4
		II	15.0	21.2	36.7
		III	22.5	31.8	55.1
1:1,200	15 cm	I	15.0	21.2	36.7
		II	30.0	42.4	73.4
		III	45.0	63.6	110.1
1:2,400	30 cm	I	30.0	42.4	73.4
		II	60.0	84.0	146.9
		III	90.0	127.3	220.3

#### 4 CONCLUSÕES

O uso de mapeamento em aplicações na engenharia rodoviária a partir de imagens obtidas com VANT e processadas de forma similar à fotogrametria, para obtenção de MDT, que podem ser usados para cálculos de volumes de terraplanagem e junto com mosaicos ortorretificados para projeto geométrico é bastante promissor, pelos seus custos em pessoal e equipamentos inferiores a fotogrametria convencional. Porém foram observados neste artigo e outros analisados que são ainda necessários alguns aperfeiçoamentos em equipamentos e processamento. É necessário estabelecer padrões de operação, definições, especificações e normas oficiais para que os resultados finais sejam sempre os esperados.

Quanto aos equipamentos observou-se o seguinte: adequações quanto às vantagens e desvantagens segundo os tipos de VANT (tamanho, tipo de asa, autonomia de voo), especificações da câmera quanto a resolução, estabilidade, tempo de disparo, os *softwares* de planejamento e de controle automático das linhas de voo e inclinações da aeronave, a qualidade dos receptores GNSS embarcados e dos sensores inerciais, o espaçamento dos pontos de apoio no terreno, são os pontos que interferem muito na etapa seguinte de processamento das imagens.

Quanto aos produtos gerados como mosaicos ortorretificados e MDS muitos não são adequados para todas as aplicações em projetos rodoviários. Assim é conveniente que exista mais opções, que permitam o usuário escolher a mais adequada às suas necessidades como: mais facilidade para escolher entre a ortorretificação diferencial por pixels e por área, e definição da linha de emenda (*seamline*). Por exemplo, em alguns trechos as copas de árvores ficam borradas e ficaria melhor se a área fosse substituída por trecho de imagem retificada. Para cálculo de volumes é preciso classificar e eliminar com alta qualidade e precisão as árvores, edificações e outros objetos acima da superfície do terreno.

Conforme as especificações técnicas de dados geoespaciais vetoriais, o resultado do levantamento se enquadra na escala cartográfica de 1:1000 categoria "B", de acordo com a análise do tamanho do pixel no terreno GSD= 6,54 cm alcançado e dos Erros Médios Quadráticos calculados  $EMQ_{xy}=0,498$  m e  $EMQ_z=0,212$  m. Para o Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes (DNIT), admite-se levantamento nas escalas cartográficas de 1:1000 e 1:2000, para levantamento aerofotogramétrico com fins de elaboração de projetos rodoviários, portanto o levantamento se enquadrou nas normas do DNIT.

Um fator que influenciou na precisão planialtimétrica dos dados gerados foi a dificuldade do VANT em manter a linha vôo e de visada da câmera na posição vertical durante a tomada das Aeroimagens, esse aspecto influência no resultado final quanto a precisão planialtimétrica.

**REFERÊNCIAS**

ASPRS. Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. Março, 2014. Disponível em: <[http://www.asprs.org/a/society/divisions/pad/Accuracy/ASPRS\\_Accuracy\\_Standards\\_for\\_Digital\\_Geospatial\\_Data\\_DR\\_AFT\\_March21\\_2014\\_Rev3\\_V1.pdf](http://www.asprs.org/a/society/divisions/pad/Accuracy/ASPRS_Accuracy_Standards_for_Digital_Geospatial_Data_DR_AFT_March21_2014_Rev3_V1.pdf)>. Acesso em: 25/04/16.

Coelho, I. A. Avaliação da Qualidade Posicional de Dados Oriundos de VANT para Mapeamento Fotogramétrico Aplicado em Projeto Rodoviários. Ismael Augusto Coelho – Rio Grande do Sul: 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Curso de Engenharia Cartográfica, 2015.

Costa, et al.; Pré-Sinalização de Pontos de Apoio em Aerofotogrametria com Câmeras de Pequeno Formato. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 6, 2012, Recife-PE.

DNER. IS-227 - Instrução de serviço para restituição aerofotográfica e apoio de campo para projeto de engenharia rodoviária. In: Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários – escopos básicos/instruções de serviço. Rio de Janeiro: DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. 1999.

DNIT. IS-226: Levantamento Aerofotogramétrico para Projetos Básicos de Rodovias. In: Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários Escopos Básicos/Instruções de Serviço – 3ª edição. DNIT - Departamento Nacional de Infra-estruturas de Transportes 2006. Disponível em: <[http://www1.dnit.gov.br/ipr\\_new/download\\_manuais.htm](http://www1.dnit.gov.br/ipr_new/download_manuais.htm)>. Acesso: 20 maio 2009.

DNIT. IS-227: Levantamento Aerofotogramétrico para Projetos Executivo de Rodovias. In: Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários Escopos Básicos/Instruções de Serviço – 3ª edição. DNIT - Departamento Nacional de Infra-estruturas de Transportes 2006. Disponível em: <[http://www1.dnit.gov.br/ipr\\_new/download\\_manuais.htm](http://www1.dnit.gov.br/ipr_new/download_manuais.htm)>. Acesso: 20 maio 2009.

DSG. EB80-N-72.003: Especificação técnica para a aquisição de dados geoespaciais vetoriais. Brasília: DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO DSG, 2015.

Eisenbeiss, H. The Potential of Unmanned aerial Vehicles for mapping. In: Phogrammetric Week 11. Diter Fritsch (Ed). Stuttgart: Institut für Photogrammetrie. p. 135-144. 2011.

Ferreira, A. M. R. Avaliação de câmera de pequeno formato transportada por veículo aéreo não tripulado – Vant, para uso em aerolevantamento / Alexandre Moreno Richwin Ferreira. – Brasília:2014. 93 folhas, il: figs., tabs. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas, 2014.

REDWEIK, P. – Fotogrametria Aérea, Departamento de Engenharia Geográfica e Energia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2007. Disponível em: <http://snig.igeo.pt/snig-educ/ficheiros/Paula%20Redweik/>

Silva, C. A.; Duarte, C. R.; Souto, M. V. S.; Sabadia, J. A. B. Utilização de VANT para geração de ortomosaicos e aplicação do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC). In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 17., 2015, João Pessoa-PB.

Silva, D. C.; Toonstra, G. W. A.; Souza, H. L. S.; Pereira, T. A. J. Qualidade de Ortomosaicos de Imagens de Vant processados Com os Softwares APS, PIX4D E PHOTOSCAN. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 5, 2014, Recife-PE.

Souza, G. Análise da Viabilidade do Uso de VANT para Mapeamentos Topográficos e de Cobertura e Uso da Terra. Gabriel de Souza – Porto Alegre: 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Curso de Engenharia Cartográfica, 2015.