

Levantamento de dados matriciais com Aeronaves Remotamente Tripuláveis**Matrix data survey with Remotely Piloted Aircraft**

DOI:10.34117/bjdv6n3-214

Recebimento dos originais: 30/02/2020

Aceitação para publicação: 16/03/2020

Gustavo Rodrigues Pinto

Graduado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande
Instituição: Universidade Federal de Campina Grande
Endereço: Rua Jairo Vieira Feitosa, Nº 1770, Bairro dos Pereiros, Pombal - PB, Brasil
E-mail: gustavopinto0@gmail.com

Luís Gustavo de Lima Sales

Doutor em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande
Instituição: Universidade Federal de Campina Grande
Endereço: Rua Jairo Vieira Feitosa, Nº 1770, Bairro dos Pereiros, Pombal - PB, Brasil
E-mail: lglsales79@gmail.com

Andréa Karla Gouveia Cavalcanti

Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba
Instituição: Universidade Federal de Campina Grande
Endereço: Rua Jairo Vieira Feitosa, Nº 1770, Bairro dos Pereiros, Pombal - PB, Brasil
E-mail: andreakgcavalcanti@gmail.com

André Lucena Pires

Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba
Instituição: Geoimagem
Endereço: Avenida Epitácio Pessoa, Nº 4595, Tambaú, João Pessoa - PB, Brasil
E-mail: deco86@gmail.com

José Diogenes Alves Pereira

Graduando em Engenharia Ambiental na Universidade Federal de Campina Grande
Instituição: Universidade Federal de Campina Grande
Endereço: Rua Jairo Vieira Feitosa, Nº 1770, Bairro dos Pereiros, Pombal - PB, Brasil
E-mail: diogenes_753@hotmail.com

RESUMO

Atualmente, a utilização de Aeronaves Remotamente Tripuláveis (RPA – *Remotely Piloted Aircraft*) de baixo custo no monitoramento e no apoio a tomada de decisão torna-se uma ferramenta promissora. Porém, as metodologias de aplicação desta nova tecnologia precisam ser tanto sistematizadas quanto democratizadas, exigindo procedimentos que minimizem os erros experimentais e validem as etapas metodológicas. Portanto, o objetivo deste trabalho foi elaborar uma rotina para levantamento aerofotogramétrico com RPA e verificar se estes

equipamentos, aliados a um levantamento geodésico de alta precisão poderão gerar produtos de qualidade e acurácia tanto planimétrica como altimétrica. Como resultado, sistematizou-se a rotina, aplicou-se em um recorte espacial local e obteve-se uma exatidão para as escalas de PEC-PCD Classe B 1:1000 e PEC-PCD Classe A 1:5000.

Palavras-Chave: VANT, PEC, Levantamento Aerofotogramétrico.

ABSTRACT

Currently, the use of low cost Remotely Piloted Aircraft (RPA) in monitoring and supporting decision making becomes a promising tool. However, the methodologies for applying this new technology need to be systematized and democratized, requiring procedures that minimize experimental errors and validate methodological steps. Therefore, the objective of this work was to elaborate a routine for aerial photogrammetric survey with RPA and to verify if these equipments, together with a geodesic survey of high precision can generate products of quality and accuracy both planimetric and altimetric. As a result, the routine was systematized, applied in a local spatial study area and an accuracy was obtained for the 1:1000 PEC-PCD Class B and 1:5000 PEC-PCD Class A scales.

Keywords: UAV, PEC, Aerophotographic Survey.

1 INTRODUÇÃO

Devido aos altos custos dos levantamentos aerofotogramétricos tradicionais e a baixa disponibilidade de imagens grátis provenientes de sensores embarcados em satélites com alta resolução espacial, existe hoje uma certa demanda reprimida por produtos cartográficos atualizados em grandes e médias escalas de representação.

Nesse contexto, um equipamento que vem ganhando destaque entre os profissionais das geotecnologias são as Aeronaves Remotamente Tripuláveis (RPA – Remotely Piloted Aircraft). Este tipo de equipamento trouxe uma possibilidade de aquisição de imagens de alta resolução espacial e temporal, e, por apresentar um baixo custo de operação em detrimento às práticas tradicionais de levantamento, pode também ser empregado em diferentes situações, como monitoramento sistêmico de áreas susceptíveis a desastres naturais, no planejamento urbano ou na agricultura de precisão (ALVES JÚNIOR et al., 2015; JÚNIOR et al., 2015).

Os RPA's são aeronaves que voam controladas remotamente por radiofrequência sem a necessidade de uma tripulação a bordo, acarretando assim em menor custo e maior facilidade operacional. No entanto, apesar desta ferramenta estar equipada com tecnologia específica para controle de instabilidades e sistemas de posicionamento auxiliado por satélite a bordo, estes podem gerar fotografias com problemas de escala, devido à variação de altura durante o voo, bem como apresentar problemas de desvio e de geometria, que comprometem o produto final gerado por estes aparelhos (ALVES JÚNIOR, et al., 2014).

No entanto, apesar desta ferramenta estar equipada com tecnologia específica para controle de instabilidades e sistemas de posicionamento auxiliado por satélite abordo, estes podem gerar fotografias com problemas de escala, devido à variação de altura durante o voo, bem como apresentar problemas de desvio e de geometria, que comprometem o produto final gerado por estes aparelhos (ALVES JÚNIOR et al., 2014).

Mesmo ciente deste problema, o desenvolvimento tecnológico vem contribuindo com a exploração dos recursos naturais de maneira sustentável, no sentido em que auxilia o planejamento físico territorial não levando em consideração apenas as potencialidades, mas principalmente facilitando a percepção das fragilidades das áreas que sofrerem com alguma alteração antrópica (DONHA et al., 2006). Assim, com os recentes avanços na legislação para o uso de RPA, o seu uso em trabalhos de levantamentos aerofotogramétricos ganhou o aporte necessário para se estabelecer como ferramenta indispensável no monitoramento e apoio a tomada de decisão dentro da gestão dos espaços.

O uso dos RPA's enquanto ferramenta de trabalho é algo recente, mas já se percebe um grande potencial dessas aeronaves que agora vem sendo utilizadas em diferentes áreas do saber, tais como: agricultura, monitoramento, reconhecimento tático, segurança, vigilância e mapeamento, como já vêm sendo posto. As diferentes aplicações demonstram a versatilidade e como este equipamento aumenta a capacidade da percepção humana sobre os espaços em constante alteração.

Silva et al., 2016 avaliaram a acurácia da cubagem de pilhas de rejeito por meio de Modelos Digitais de Terreno, elaborados a partir de levantamentos com GNSS, LIDAR e VANT na Bacia do Araripe, Santana do Cariri (CE). Os autores observaram que o VANT apresentou a melhor acurácia quando comparado aos outros equipamentos salientando que com esse resultado não é possível afirmar que o VANT é a solução mais precisa, mas sim que ele se mostrou a melhor alternativa para alcançar o objetivo.

Ruzgiene et al. (2015) avaliaram a qualidade de Modelos Digitais de Elevação e de Superfície gerados a partir de VANT de forma que possibilite a coleta de dados cartográficos. Quando as imagens foram processadas com 5 a 10 pontos de controle a média dos valores do erro médio quadrático e desvio padrão foram respectivamente iguais a 0,064 m e 0,078 m. Por fim, foi observado que para uma altura de voo de 150 m e área sobrepostas com pelo 4 imagens, o nível de acurácia ficou abaixo do valor requerido de 25 cm quando usada a quantidade ideal de pontos de controle.

Na verdade, é a possibilidade de trazer o “campo” para dentro dos escritórios, laboratórios, secretarias de órgãos públicos, dentre outros espaços de planejamento, de gestão e de tomada de decisão. Algo que já havia sido percebido com o advento das tecnologias de imageamento por satélite (Sensoriamento Remoto), porém, não com a mesma intensidade e dinamismo que os RPA’s vêm proporcionando.

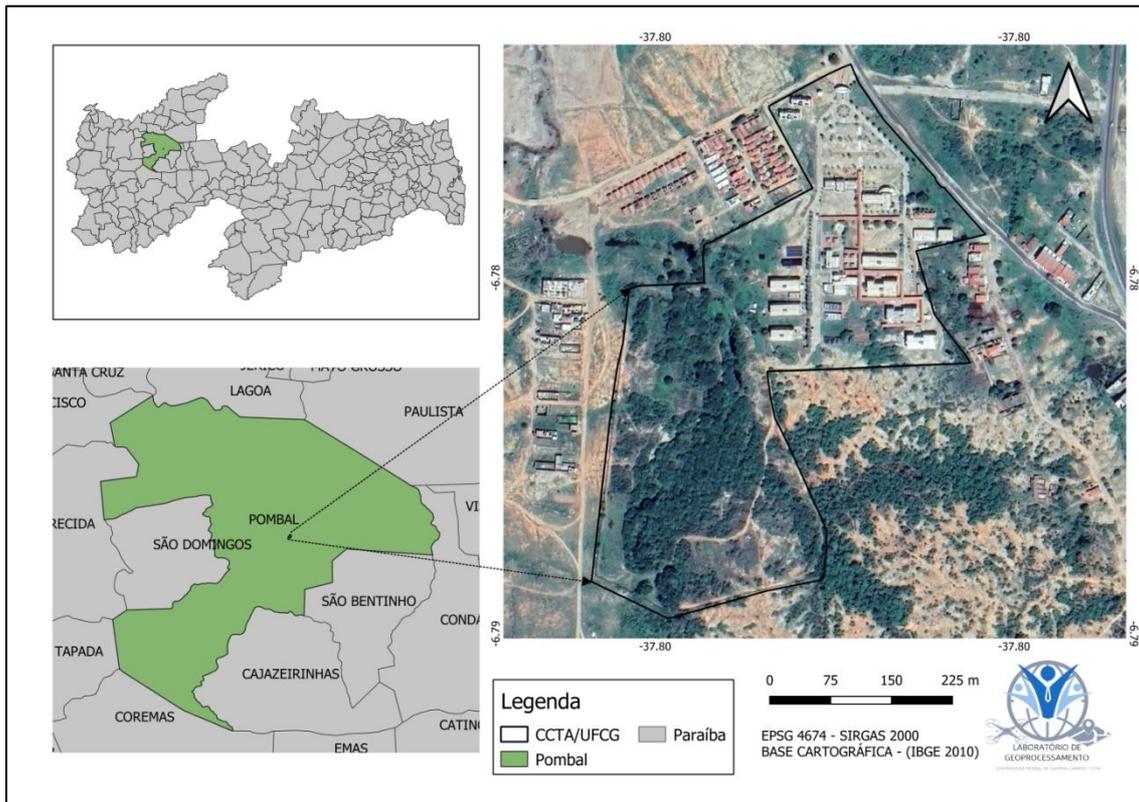
Para tanto, o objetivo foi sistematizar uma rotina de levantamento de dados matriciais (imagens) com RPA’s em recortes espaciais locais através da adoção de aspectos técnicos levantados junto a bibliografia para analisar a distribuição dos pontos de controle utilizados e o levantamento geodésico dos pontos escolhidos, bem como a avaliação da Qualidade Posicional e Altimétrica obtida para os Produtos Cartográficos Digitais gerados com base nos Padrões de Exatidão Cartográfica (PEC-PCD), extraídos da Especificação Técnica dos Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais (ET-PCDG) complementando o estabelecido no Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984. A área escolhida para o mapeamento foi o Centro de Ciências e Tecnologias Agroalimentares (CCTA) campus da Universidade Federal de Campina Grande que se encontra instalado no município de Pombal, Paraíba, Brasil.

2 METODOLOGIA

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O município de Pombal está localizado na porção semiárida da região Nordeste do Brasil, mais especificamente na mesorregião do Sertão Paraibano e microrregião de Sousa, estado da Paraíba. A área do campus do CCTA fica localizada na porção sul da cidade e tem uma área útil de 16,08 hectares (Figura 1).

Figura 1. Localização da área de estudo.



Fonte: Autoria própria.

Um dos motivos pelos quais esta área foi escolhida para o estudo, deu-se pela necessidade de imagens em alta resolução espacial e temporal, suprindo assim uma carência por estes produtos para que novas pesquisas possam ser desenvolvidas quanto à recuperação e ocupação sustentável das áreas do campus universitário de Pombal.

2.2 PRÉ-VOO

A etapa pré-voo envolveu todo o processo de planejamento, escolha dos Pontos de Controle, e a adoção de metodologias testadas e validadas, como por exemplo, a da Especificação Técnica de Controle de Qualidade de Dados Geográficos (ET-CQDG) para analisar a distribuição dos pontos de controle utilizados e o levantamento geodésico dos pontos escolhidos.

Foi então realizado um voo preliminar sobre o perímetro do campus a fim de se obter material de apoio ao planejamento, em uma altura de voo de 120m.

O mapeamento recobriu cerca de 45 hectares sobre o perímetro e o entorno do CCTA. A partir disto ficou decidido entre a equipe de planejamento do LabGEO mapear uma área de 75 hectares, evitando-se erros de distorção nas bordas da imagem.

Com relação aos pontos de controle, esses foram pensados de forma que sua localização pudesse apoiar tanto os aspectos cartográficos para correção posicional quanto pontuar feições importantes dentro da área.

Para o Levantamento Geodésico dos Pontos de Controle, foi utilizado um par de Receptores GNSS X900 da CHC, coletor de dados LT30 CHC, base nivelante com tripé, bastão com nível de bolha, rádio transmissor de baixa frequência, antena de comunicação e um marco de concreto. Utilizou-se como base de correção o marco implementado dentro do perímetro do campus.

2.3 VOO

Após a demarcação dos pontos de controle, prosseguiu-se com a coleta de imagens por meio de um RPA multirrotor da empresa chinesa DJI Innovations, na versão Phantom3 Professional.

Em seguida, as informações obtidas foram processadas para a geração do Ortomosaico e Modelo Digital do Terreno (MDT) com os softwares PIX4D Mapper versão Trial e QGIS 2.14.

2.4 PÓS-VOO

Por fim, o processo de avaliação de acurácia posicional se deu pela comparação das discrepâncias entre os pontos de checagem coletados com o método de posicionamento RTK (*Real Time Kinematic*) e suas coordenadas homólogas dos pontos extraídos da ortoimagem obtida. Verificou-se então, a partir destes valores se o desvio padrão foi estatisticamente menor que o valor limite de PEC-PCD em questão, segundo proposto por Galo e Camargo (1994).

Para o cálculo da diferença entre as coordenadas N e E obtidas pelo levantamento com o RTK e as diferenças das coordenadas obtidas na ortoimagem, adotaram-se as Equações 1 e 2:

$$\Delta E = E_{RTK} - E_{ortoimagem} \quad (01)$$

$$\Delta N = N_{RTK} - N_{ortoimagem} \quad (02)$$

Em que:

ΔE e ΔN são os valores de discrepância;

E_{RTK} e N_{RTK} são os valores das coordenadas em UTM dos pontos levantados com o RTK;

$E_{\text{ortoimagem}}$ e $N_{\text{ortoimagem}}$ são os valores das coordenadas em UTM obtidas na ortoimagem em análise.

Após a obtenção dos valores de discrepância para cada ponto analisado, calculou-se a Média dos valores de Discrepância ($\overline{\Delta E}$ e $\overline{\Delta N}$) e o Desvio-Padrão ($S_{\Delta E}$ e $S_{\Delta N}$) das discrepâncias amostrais, adaptado de Cunha et al (2016), conforme as Equações 03 a 06.

$$\overline{\Delta E} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta E}{n} \quad (03)$$

$$\overline{\Delta N} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta N}{n} \quad (04)$$

Em que:

ΔE e ΔN são os valores de discrepância;

$\overline{\Delta E}$ e $\overline{\Delta N}$ são os valores de média das discrepância;

n é o numero de dados da amostra

$$S_{\Delta E} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta E_i - \overline{\Delta E})^2}}{n - 1} \quad (05)$$

$$S_{\Delta N} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta N_i - \overline{\Delta N})^2}}{n - 1} \quad (06)$$

Em que:

S é o desvio-padrão amostral;

ΔE e ΔN são os valores de discrepância;

$\overline{\Delta E}$ e $\overline{\Delta N}$ são os valores de média das discrepâncias;

Para realização da análise de precisão, foi utilizado o teste estatístico recomendado por Galo e Camargo (1994) nomeado Qui Quadrado que tem como principio básico comparar possíveis divergências entre as frequências observadas e esperadas para certo evento.

Sendo assim, testam-se duas hipóteses, uma nula e uma alternativa. Ao se aceitar a hipótese nula não existe diferença entre as frequências, demonstrando assim associação entre os grupos ou os desvios não são significativos. E a hipótese alternativa, prova o contrário.

Neste caso, comparam-se as discrepâncias obtidas com um valor de variância esperada (Equação 7), que relaciona o Erro Padrão da classe PEC desejada com a análise.

O valor σ a variância esperada, obtida por meio da Equação 07:

$$\sigma = \frac{EP}{\sqrt{2}} \quad 07$$

Calculou-se então o valor do Qui Quadrado amostral (Equações 08 e 09), e comparou-se ao valor teórico obtido em tabelas estatísticas específicas.

$$X_{\Delta E}^2 = \frac{S^2 \Delta E}{\sigma^2} \quad (08)$$

$$X_{\Delta N}^2 = \frac{S^2 \Delta N}{\sigma^2} \quad (09)$$

Após se obter o valor estatístico de X^2 calculado pelas Equações 08 e 09, consulta-se a tabela estatística para o teste Qui Quadrado. Nela, com o valor do grau de liberdade e o nível de significância, que representa a máxima probabilidade de erro que se tem ao rejeitar uma hipótese, cruzam-se estes valores e se obtém o valor tabelado para comparação.

A tomada de decisão é feita comparando-se os dois valores de X^2 :

Se X^2 calculado $>$ ou $= X^2$ tabelado: Rejeita-se H_0 ;

Se X^2 calculado $<$ X^2 tabelado: Aceita-se H_0 .

Ao aceitar-se H_0 , se aceita a hipótese de relação entre os dados, garantindo que o produto cartográfico está em conformidade com a classe PEC testada.

O objetivo na utilização desses cálculos é verificar se a variância amostral é considerada menor ou igual à variância referente à classe do PEC requerida, com 90% de confiabilidade, ou 10% de nível de significância.

Continuando nesse processo de verificação da qualidade do produto, é necessário realizar o teste t student para testar a tendência dos dados sendo obtido o valor do t amostral pela da Equação 10:

$$t_{\text{calc}} = \frac{\overline{\Delta X}}{s} \sqrt{N} \quad (10)$$

Em que:

$\overline{\Delta X}$ são os valores de média da discrepância;

s é o desvio-padrão amostral;

n é o número de dados da amostra.

O procedimento de análise estatístico de tendência dos dados procede analogamente ao teste Qui Quadrado. Obtém-se o valor calculado de t e se compara com o valor encontrado na tabela estatística específica para o teste t de student.

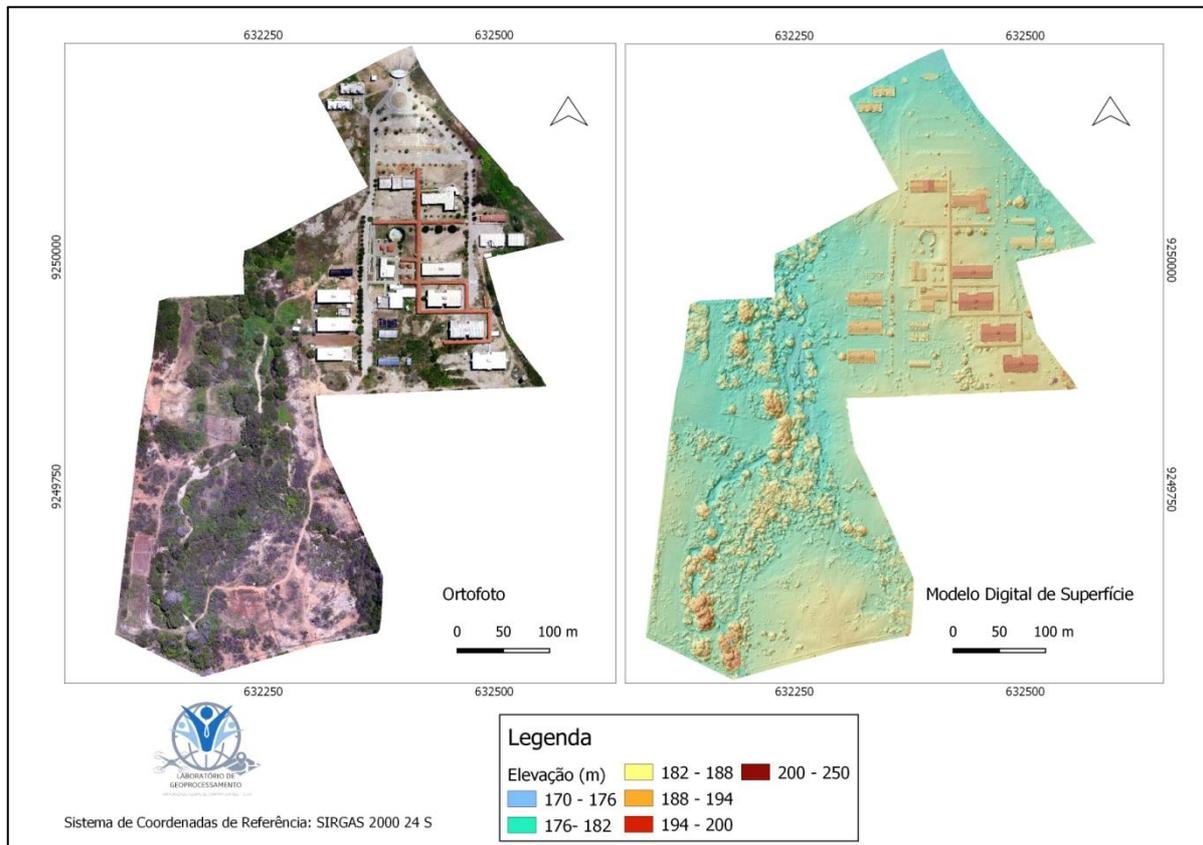
Neste caso, as hipóteses a serem testadas são se as médias são estatisticamente iguais ou se os valores diferem entre si. Comprovando-se a diferença entre as médias, se determina a tendência ou não dos dados.

O valor de t calculado tem de ser menor que o tabelado para que a carta seja considerada livre de tendências.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Modelo Digital de Superfície (MDS) e a Ortofoto produzidos após o levantamento aerofotogramétrico no campus do CCTA/UFCG Pombal, PB podem ser visualizados na Figura 2.

Figura 2. Modelo digital de superfície.



Fonte: Autoria própria

O procedimento pós-voos deu-se pela Avaliação da Qualidade Posicional Planimétrica e Altimétrica obtida para os Produtos Cartográficos Digitais gerados com base nos Padrões de Exatidão Cartográfica (PEC-PCD).

Procederam-se então aos testes nos quais foi detectada uma tendência para os dados das coordenadas “Este”, enquanto que as coordenadas “Norte” estão em conformidade, ou seja, não são tendenciosas (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de tendência pelo teste t student.

Parâmetro	Norte ()	Este ()
Média	0,0445	-0,0484
Desvio-padrão	0,086	0,048
Valor calculado de t	1,472	-2,850
Valor tabela de t ($\alpha=0,1$)	1,895	1,895
Tendência	Sem tendência	Com tendência

Fonte: Autoria própria.

A presença de tendência nas coordenadas “Este” pode ter se dado pelo fato da aeronave obter as imagens em movimento. Outra possibilidade é o fato dos planos de voo terem sido realizados da direita para esquerda, sentido este em que se apresentaram as tendências, podendo de alguma forma ter interferido no resultado final.

Para a análise e enquadramento quanto ao PEC-PCD, foi utilizado o cálculo Qui Quadrado, testando os valores para as escalas de 1:1000 e 1:5000. Os resultados estão nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2. Análise de precisão na escala 1:1000.

Escala 1:1000	Norte (x)	Este (y)
X ² Classe A	3,547	1,116
X ² Classe B	1,139	0,358
X ² Tabelado	2,833	2,833
Classe PEC-PCD	B	A

Fonte: Dados da pesquisa

Tabela 3. Análise de precisão na escala 1:5000.

Escala 1:5000	Norte (x)	Este (y)
X ² Classe A	0,1418	0,0446
X ² Classe B	0,0455	0,0143
X ² Tabelado	2,833	2,833
Classe PEC-PCD	B	A

Fonte: Dados da pesquisa

Nota-se na Tabela 2 que, para a escala 1:1000, as coordenadas Norte (x) não passaram no teste estatístico, o que faz com que a ortoimagem seja classificada como PEC-PCD Classe B para essa escala do produto. Já para escala 1:5000, na Tabela 3, ambas as direções foram aceitas na classe A, levando a ortoimagem a ser classificada como PEC-PCD Classe A.

O valor de variância esperado para o cálculo do X², que tem erro padrão igual a 0,17 para classe A, é de 0,1202. Se o valor de erro padrão fosse apenas dois décimos maiores (0,20, por exemplo) a variância esperada iria pra 0,1414, valor este que já elevaria a classificação de B para A. Isto demonstra como os erros, por menor que possam parecer, podem gerar discrepâncias no produto final.

Quanto aos valores de altimetria, estes foram testados utilizando a mesma metodologia proposta para a análise de acurácia planimétrica. Os valores estatísticos encontram-se dispostos nas Tabelas 4 e 5. Estes valores referem-se à equidistância das curvas de nível de 1 m.

Tabela 4. Análise de tendências para os dados altimétricos.

Parâmetro	Altitude
Média	-0,0114
Desvio-padrão	0,05354
Tcalculado	-0,604
Ttabelado ($\alpha=0,1$)	1,895
Tendência	Sem tendência

Fonte: Autoria própria.

A análise de tendência obteve resultado satisfatório para os valores planimétricos, ficando o valor de t bem abaixo do valor de referência. As utilizações dos pontos de apoio aqui surtiram efeito positivo, podendo assim inferir que os mesmos foram bem distribuídos e atenderam ao seu propósito.

Tabela 5. Análise de precisão altimétrica com equidistância de 1m.

Equidistância: 1m	Altitude
X ² Classe A	1,389
X ² Classe B	0,0036
X ² Tabelado	2,833
Classe PEC-PCD	A

Fonte: Autoria própria.

4. CONCLUSÃO

O produto gerado neste trabalho ficou classificado no PEC-PCD na Classe B para a escala 1:1000 e na Classe A para escala 1:5000.

Deve-se sempre se atentar que o nível de acurácia posicional de um produto cartográfico digital depende diretamente da sua finalidade. Sendo assim, definir qual nível de erro é admitido para o tipo de projeto que vai ser realizado é tarefa primária em qualquer

trabalho desta natureza, para que não ocorra descarte desnecessário de produtos PEC-PCD de Classe B, C ou até mesmo inferiores.

No tocante ao trabalho em questão, todos os aspectos relacionados ao mapeamento com RPA's puderam ser abordados. Desde a etapa pré-voe, passando pela etapa do voo e finalizando com a etapa do pós-voe. Os resultados obtidos apontaram que o levantamento de dados matriciais com RPA's pode sim fazer parte de um projeto de mapeamento aéreo de excelente qualidade, resolução espacial e resolução temporal de baixo custo.

REFERÊNCIAS

ALVES JÚNIOR, L. R. et al. Validação de Ortomosaicos e Modelos Digitais de Terreno utilizando fotografias obtidas com câmara digital não métrica acoplada a um VANT. Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, v. 67, n. 7, p.1453-1466, nov. 2015.

ALVES JÚNIOR, L. R.; CÔRTEZ, J. B. R.; FERREIRA, M. E. Validação de mosaicos aerofotogramétricos utilizando fotografias obtidas com câmara digital não métrica acoplada a um VANT. Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia (CBC), Rio de Janeiro: SBC, p. 15, 2014.

CUNHA, A. A. da.; DIAS, J. H.; ALIXANDRINI JUNIOR, M. J.; ELIAS, E. N. N.; FERNANDES, V. de O. Controle de qualidade posicional de ortofoto gerada pelo RPA (Remotely Piloted Aircraft) PHANTOM 3 com receptor GNSS embarcado. Anais do 12º Congresso de Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial (COBRAC), Florianópolis - SC, 2016.

DONHA, A. G.; SOUZA, L. C. P.; SUGAMOSTO, M. L. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 10, n. 1, p.175-181, jan. 2006.

GALO, M.; CAMARGO, P. O. Utilização do GPS no controle de qualidade de cartas. Anais do Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário (COBRAC), Florianópolis - SC, 1994, p.41-48.

JÚNIOR, L. R. A.; CÔRTEZ, J. B. R.; FERREIRA, M. E.; SILVA, J. R. Validação de ortomosaicos e Modelos Digitais de Superfície utilizando fotografias obtidas com câmara digital não métrica acoplada a um VANT. Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, (SBSR). São José dos Campos: INPE, 2015. p. 2157-2164.

Brazilian Journal of Development

RUZGIENE, B.; BERTEŠKA, T.; GECYTE,S.; JAKUBAUSKIENE, E.; AKSAMITAUSKAS, V. C. The surface modelling based on UAV Photogrammetry and qualitative estimation. *Measurement* 73 (2015) 619–627.

SILVA, C. da; DUARTE, C. R.; SOUTO, M. V. S.; SANTOS, A. L. S. dos; AMARO, V.E.; BICHO, C.P.; SABADIA, J.A.B. Avaliação da acurácia do cálculo de volume de pilhas de rejeito utilizando VANT, GNSS e LIDAR. *BCG - Boletim de Ciências Geodésicas - On-Line version*, ISSN 1982-2170.