

Revista Brasileira de Cartografia (2017), N° 69/2: 263-277
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

INFLUÊNCIA DO NÚMERO E DISTRIBUIÇÃO DE PONTOS DE CONTROLE EM ORTOFOTOS GERADAS A PARTIR DE UM LEVANTAMENTO POR VANT

Influence of Number and Distribution of Control Points on Orthophotos Generated from a UAV Survey

Juliette Zanetti, Joel Gripp Junior & Afonso de Paula dos Santos

**¹Universidade Federal de Viçosa - UFV
Departamento de Engenharia Civil**

Av. Peter Henry Rolfs, s/n - Campus Universitário - Cep: 36570-000 - Viçosa-MG, Brasil
{juliette.zanetti, jgripp, afonso.santos}@ufv.br

*Recebido em 4 de Julho, 2016/ Aceito em 7 de Outubro, 2016
Received on July 4, 2016/ Accepted on October 7, 2016*

RESUMO

Os VANTs têm sido amplamente utilizados para vários domínios, que vão desde aplicações militares a civis. Para elaboração de Cartografia e análise de fenômenos (como desastres ambientais, monitoramento florestal, monitoramento de áreas vulcânicas, monitoramento de obras, dentre outras aplicações), esta técnica apresenta-se como relevante dependendo da aplicação, pois os custos operacionais são baixos. Entretanto, devido estar em fase inicial, seu uso é realizado muitas vezes sem conhecimento sobre a qualidade posicional do mesmo. Para tanto, foi avaliada a acurácia posicional planimétrica de ortofotos geradas com diferentes quantidades e distribuição de pontos de controle para uma área da Universidade Federal de Viçosa, no município de Viçosa-MG. Utilizou-se como padrão de acurácia posicional definido pelo Decreto-lei nº 89.817, podendo ser complementado pela ET-CQDG (Especificação Técnica de Controle de Qualidade em Dados Geospaciais), aplicando o método de feição linear do Buffer Duplo. O resultado obtido para as ortofotos geradas a partir de 5, 10 e 15 pontos de controle distribuídos por toda a região, apresentaram classificação Classe B, Classe B e a Classe A na escala 1:1.000, respectivamente. Para ortofoto gerada com a utilização de 15 pontos de controle terrestre, com padrão de distribuição agrupado, obteve-se resultado Classe D na escala 1:1.000, apresentando tendência nas coordenadas.

Palavras chaves: Controle de Qualidade Cartográfica, VANT, Acurácia Posicional, Feição Linear.

ABSTRACT

The UAV has been widely used in various fields, ranging from military to civilian applications. To prepare mapping and analysis of phenomena (such as environmental disasters, forest monitoring, monitoring of volcanic areas, monitoring of works, among other applications), this technique is presented as relevant depending on the application, because the operating costs are low. However, due to being in an early stage, their use is often done without knowledge of the quality positional. Therefore, we evaluated the positional accuracy planimetric orthophoto generated with different amounts and distribution of control points to an area of the University Federal of Viçosa, in Viçosa-MG. It was used as a positional accuracy standard defined by Decree-Law no. 89.817, and can be complemented by ET-CQDG (Technical Specification for Quality Control in Geospatial Data), applying the linear method feature Double Buffer. The result for the orthophoto generated from 5, 10 and 15 control points distributed throughout the region, were classified as Class B, Class B and Class A scale 1: 1.000, respectively. For orthophoto generated 15 ground control points, with grouped distribution pattern, we obtained results Class D on the scale 1: 1.000, showing trend in coordinates.

Keywords: Quality Control Cartographic, UAV, Positional Accuracy, Linear Feature.

1. INTRODUÇÃO

O Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) é um campo de interesse que necessita de constantes atualizações de dados cadastrais devido às mudanças, seja por interferência de fenômenos naturais ou pela ação do homem. Na maioria dos casos, estas mudanças são mais rápidas que o processo de produção/atualização cartográfica. De acordo com o artigo 13, parágrafo 2º, da portaria nº 511 de 07 de dezembro de 2009 do Ministério das Cidades, que trata das Diretrizes para a criação, instituição e atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário nos municípios brasileiros:

“Os limites físicos das parcelas podem ser obtidos por métodos topográficos, geodésicos, fotogramétricos e outros que proporcionem precisões compatíveis” (BRASIL, 2009: 1).

Nos últimos anos, a comunidade de usuários dos produtos cartográficos do mapeamento sistemático brasileiro tem discutido as opções disponíveis para os processos de atualização cartográfica que minimizem os custos bem como reduzam o tempo de execução do mapeamento. Produtos da Fotogrametria são usados em diversos ramos de atividade, como no planejamento físico-territorial urbano e rural, no monitoramento ambiental, na prevenção de riscos e catástrofes, na engenharia de forma geral, em logística, dentre outras aplicações (SATO, 2003). Segundo Pegoraro (2013) a Fotogrametria convencional continua sendo a melhor ferramenta para o recobrimento de grandes extensões de mapeamento, no entanto, em se tratando de pequenas áreas, este método não é viável do ponto de vista econômico.

Os recentes avanços na tecnologia, ciência dos materiais, e controle de engenharia tornaram a utilização dos Veículos Aéreo Não Tripulado (VANT) possível, acessível e tem se mostrado muito promissora e atraente pelo seu custo benefício e praticidade. Essas facilidades têm permitido que profissionais com pouca ou nenhuma experiência cartográfica utilizem o VANT para geração de mapas. No entanto, o não conhecimento da acurácia e discrepâncias posicionais presentes em seus produtos acaba trazendo incertezas quanto à qualidade do mapeamento (COLOMINA & MOLINA, 2014).

Estudo realizado por Almeida (2014)

discute a qualidade dos produtos gerados de levantamentos aerofotogramétricos usando VANT para mapeamento de pequenas áreas destinadas a projetos viários. Para o desenvolvimento deste estudo foi escolhida uma área de 16,30 hectares, localizada na região do litoral do estado da Paraíba, sendo usado um quadricóptero modelo DJI Phantom Vision 2, adaptado para a realização de mapeamento aéreo. A classificação do levantamento seguindo as especificações técnicas de Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV), se enquadra na escala cartográfica de 1:1.000 classe B, de acordo com GSD (*Ground Sample Distance* – elemento de resolução ou tamanho do pixel no terreno) = 6,54cm alcançado.

Já o trabalho Luz et al. (2015) teve como objetivo gerar ortofotos a partir de dados brutos oriundos do SISVANT, a fim de se avaliar a aplicabilidade desta tecnologia com vistas à atualização de dados cartográficos geológicos em uma região rural localizada no município de São Desidério, na mesorregião do extremo Oeste Baiano com uma área de aproximadamente, 3.924.000 m² (3,924 km²). As fotos aéreas foram automaticamente obtidas com uma câmera Sony NEX-3 16Mp, com resolução espacial no terreno de 9 cm. Os testes de acurácia posicional foram realizados para escalas e classes pré-definidas, conforme a ET-ADGV aplicados aos produtos digitais. Os resultados demonstraram que a ortofoto é acurada para a escala 1:10.000, Classe D.

Um problema recorrente na geração das ortofotos é a falta de análise efetiva do número e distribuição dos pontos de controle. Neste contexto é importante destacar a influência de tal análise na qualidade posicional dos produtos gerados. Por exemplo, espera-se que um conjunto de pontos de controle com o padrão de distribuição espacial do tipo agrupado possa comprometer a ortofoto gerada. Além da distribuição dos pontos de controle, é de fundamental importância verificar a quantidade dos mesmos. Quanto mais pontos de controle bem distribuídos na região, utilizados no processamento das fotos, espera-se uma melhor qualidade posicional da ortofoto gerada.

Na avaliação da acurácia posicional de produtos cartográficos geralmente são realizadas por meio de técnicas que se baseiam na verificação de feições pontuais homologas

do produto avaliado e o dado de referência para uma determinada qualidade. No entanto, existem casos em que o número de pontos não é suficiente, e/ou sua distribuição não é abrangente em toda a extensão geográfica a ser avaliada (SANTOS, 2010). Uma alternativa é a utilização de Feições Lineares, que segundo Mozas e Ariza (2011), em uma base de dados cartográfica, aproximadamente 80% das feições são lineares. A grande maioria das avaliações da acurácia posicional que utilizam elementos lineares se baseia na comparação de duas linhas homólogas.

2. VANT-DEFINIÇÃO E NOMECLATURA

De acordo com o Departamento Norte Americano os VANTs são definidos como:

“Veículo aéreo motorizado que não transportam operador humano, utilizam forças aerodinâmicas para se elevar, podem voar de forma autônoma ou ser pilotado remotamente, podem ser dispensáveis ou recuperáveis, e podem transportar carga bélicas ou não bélicas. Veículos balísticos ou não balísticos como mísseis de cruzeiro e projeteis de artilharia não são considerados veículos aéreos não tripulados” (DOD, 2005, p.14).

Para Eisenbeiss (2009), os VANTs são veículos aéreos não tripulados, motorizados e reutilizáveis que podem voar autonomamente, semi-autonomamente ou manualmente, conduzidos por um piloto usando um controle remoto. Comparando os VANTs com uma aeronave tripulada, a principal diferença é que nos VANTs o piloto não está presente fisicamente na aeronave.

Segundo Bhardwaj *et al.* (2016), define os VANTs como um sistema composto por um segmento terrestre que controla remotamente o voo e por um segmento aéreo que consiste em um veículo aéreo não tripulado com sensores remotos para captura de dados de alta resolução do terreno, permitindo ainda a possibilidade de aplicações fotogramétricas dos dados adquiridos.

O termo VANT é uma abreviação de Veículo Aéreo Não Tripulado, nomenclatura em português correspondente à terminologia em inglês UAV - *Unmanned Aerial Vehicle*, adotada pelo Departamento de Defesa Norte Americano (*Department of Defense – DOD*). Outras expressões podem ser encontradas na literatura, como *Remotely Operated Aircraft – ROA* (Aeronave Operada Remotamente),

Remote Piloted Device – RPV (Veículo Pilotado Remotamente), *Airborne Remotely Operated Device – AROD* (Dispositivo Aéreo Remotamente Operado).

Nota-se que na bibliografia internacional adota-se a terminologia UAV. No Brasil, o termo VANT vem sendo o mais difundido e utilizado. Outra terminologia muito usada é “*Drone*” (em português: zangão, zumbido), termo informal e genérico para se referir a todo e qualquer objeto voador não tripulado, ou seja, que não tem amparo técnico ou legislativo. Segundo o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), em definição presente no documento oficial intitulado de ICA100-40/2015, uma aeronave é:

Qualquer aparelho que possa sustentar-se na atmosfera a partir de reações do ar que não sejam as reações do ar contra a superfície da terra. Aquelas que se pretenda operar sem piloto a bordo são chamadas de aeronaves não tripuladas e, dentre as não tripuladas, aquelas que são pilotadas por meio de uma Estação de Pilotagem Remota (RPS) são Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA).

De acordo com a ANAC (2012), o VANT é um tipo de aeromodelo, porém utilizado para outros fins. O aeromodelo difere do VANT pois tem como objetivo práticas de atividades recreativas ou de competição.

3. ORTORRETIFICAÇÃO DE IMAGENS VANT

Com o avanço tecnológico e com o advento da Fotogrametria digital, observou-se a possibilidade da utilização de fotografias para geração direta de mapas topográficos, quando essas são devidamente tratadas (ortorretificadas). De acordo com Lima *et al.* (2010) as fotografias originais, não podem substituir mapas topográficos de maneira ideal, devido representar uma realidade de projeção cônica central, enquanto que o mapa topográfico é gerado em projeção ortogonal à superfície mapeada.

O processo de ortorretificação, transforma a visada cônica do sensor em imagens com perspectiva ortogonal, com escala uniforme e corrigida do deslocamento devido ao relevo e à inclinação da câmara, podendo originar produtos utilizáveis cartograficamente, permitindo

medições confiáveis de ângulos e distâncias (HU; TAO; CROITURU, 2004).

No processamento de imagens VANT utiliza-se de técnicas automáticas implementadas em softwares baseados em algoritmos *SfM* (*Structure from Motion Procedures*, da sigla em inglês) que permite a construção da cena tridimensionalmente e do movimento da câmera a partir de uma sequência de imagens bidimensionais capturadas pela câmera ao movimentar-se em torno da cena, realizando, dessa maneira, o alinhamento das imagens (SZELISKI, 2010). Para tanto, o algoritmo *SfM* detecta pontos característicos da imagem, isto é, várias semelhanças geométricas, como: bordas do objeto ou detalhes específicos e, posteriormente, monitora o movimento destes pontos ao longo da sequência de imagens (VERHOEVEN, 2011).

A principal diferença em relação à Fotogrametria convencional consiste no fato de que o algoritmo *SfM* resolve automaticamente sem a necessidade de especificar a priori uma série de dados com coordenadas 3D conhecidas a geometria da cena, a posição das câmeras e suas orientações. Estes dados são resolvidos simultaneamente através de um procedimento iterativo altamente redundante de ajuste de conjunto fundamentado em uma base de dados extraída automaticamente de um conjunto de imagens sobrepostas. É importante ressaltar também, que este método apresenta melhor funcionamento em um conjunto de imagens com grandes áreas de sobreposição (WESTOBY *et al.* 2012).

O algoritmo *SfM* é similar ao da visão estéreo de modo que nos dois casos a correspondência entre as imagens e a reconstrução 3D precisa ser encontradas. No caso do algoritmo *SfM*, se faz necessário ser rastreadas de uma imagem para a outra, características como ponto de interesse ou cantos (bordas com gradientes em múltiplas direções), para encontrar a correspondência entre as imagens (DELLAERT *et al.*, 2000). Segundo Viana (2015), o primeiro passo para a construção da cena tridimensional refere-se a identificação de pontos notáveis entre as fotos inseridas no processamento. Uma vez rastreado estes pontos, suas coordenadas são computadas e estes passam a integrar a chamada nuvem esparsa, que nada mais é do que a distribuição espacial dos pontos

identificados pelo sistema no conjunto das fotos fornecidas. São inseridos os pontos de controle e então é gerado uma segunda nuvem de pontos (nuvem densa). A partir da nuvem densa o sistema é então capaz de gerar uma superfície (malha ou *mesh*).

Segundo Patias (2001a), *mesh* é definido como um conjunto de faces triangulares ou quadriláteras unidas por arestas representando as elevações da superfície. No caso de malhas triangulares, chamadas de TIN (*Triangular Irregular Network*) é obtido o Modelo Digital de superfície (MDS). Com o MDS é então gerada a ortofoto da área em estudo.

Ressalta-se que na fase de correspondência de imagens automatizadas permite que o algoritmo *SfM* resolva as equações de colinearidade em um sistema de coordenadas arbitrariamente escalonado, sem quaisquer requisitos iniciais sobre o conhecimento dos pontos de controle terrestre. Depois que as equações de colinearidade são resolvidas, o software que implementa o fluxo de trabalho *SfM* gera, como produtos intermediários, uma nuvem de pontos de posições X, Y e Z, que não está registrada em nenhum sistema de referência cartográfico ou local. Além disso, as técnicas densas de estéreo-reconstrução não requerem informação inicial sobre a localização e a altitude do sistema de imagem. Tal situação, poderia ser o caso de um levantamento por VANT realizado em condições de emergência, sem um plano de voo bem definido ou na ausência de pontos de controle terrestre conhecidos dentro da área de estudo (MANCINI *et al.*, 2013). No entanto sabe-se que a qualidade da ortorretificação depende diretamente da quantidade e distribuição dos pontos de controle, assim como do modelo matemático escolhido (PCI GEOMATICS, 2010).

4. CONTROLE DE QUALIDADE DE PRODUTOS CARTOGRÁFICOS

A qualidade de um mapa deve ser garantida por leis e normas específicas que apresentem os parâmetros mínimos de qualidade. No caso do Brasil os parâmetros que norteiam a produção e a análise de qualidade posicional de produtos cartográficos podem ser encontradas no Decreto Lei no 89.817, de 20 de junho de 1984, publicado no Diário Oficial da União de 22 de junho de 1984.

Inserido no Decreto 89.817 há também padrões que regulamentam e classificam os documentos cartográficos quanto à sua qualidade geométrica e de acordo com Cintra e Nero (2005) independentemente de o produto ser analógico ou digital, sua validação pelo Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) é a mesma. O padrão brasileiro de acurácia posicional para dados espaciais é definido pelo Decreto-lei nº 89.817 de 1984, de acordo com as tolerâncias definidas no “Padrão de Exatidão Cartográfica” (PEC) e “Erro-Padrão” (EP), onde seus valores são definidos em função da escala de avaliação dos dados espaciais e das classes A, B ou C, definidas por esse Decreto-lei. Em 2010, a Diretoria do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (DSG) publicou as Especificações Técnicas de Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV), documento este ligado à Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) criada em 2008 pelo Decreto-lei nº 6.666. Em um de seus itens, a ET-ADGV explica como deve ser a aplicação do Decreto-lei nº. 89.817 e cria uma classe mais restritiva destinadas para produtos cartográficos digitais (PEC-PCD).

De acordo com Cintra e Nero (2005) independentemente de o produto ser analógico ou digital, sua validação pelo Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) é a mesma. A Tabela 1 apresenta as tolerâncias utilizadas na avaliação da acurácia posicional utilizando o padrão descrito no ET-CQDG utilizando com base o do Decreto-lei 89.817/1984.

Tabela 1: Tolerâncias utilizadas para avaliação da acurácia posicional planimétrica utilizando ET-CQDG / Decreto-lei 89.817

Classe	Planimetria	
	PEC (mm)	EP(mm)
A	0,28 * escala	0,17* escala
B	0,5* escala	0,3* escala
C	0,8* escala	0,5* escala
D	1,0* escala	0,6* escala

A avaliação da acurácia posicional de produtos cartográficos geralmente é realizada por meio de técnicas que se baseiam na verificação de feições pontuais homólogas no produto avaliado e no dado de referência. No entanto, existem casos

em que o número de pontos não é suficiente, e/ou sua distribuição não é abrangente em toda a extensão geográfica a ser avaliada (SANTOS 2010). Estes problemas mostram que, embora os modelos usando pontos sejam conhecidos e tenham sido testados, é recomendável estudar alternativas complementares. Uma possibilidade é a utilização de Feições Lineares.

Segundo Santos *et al.* (2015) existem vários métodos de controle de qualidade cartográfica que utilizam feições lineares, muito embora não sejam frequentes sua divulgação e estudos mais aprofundados no Brasil. A maioria destas avaliações consiste na comparação de duas linhas homólogas.

Os principais métodos são: Banda Épsilon, *Buffer* simples, *Buffer* duplo, Distância de Hausdorff, Influência do vértice, Aproximação por *Spline*, dentre outros. Será abordado neste trabalho, o método *Buffer* Duplo. Segundo o trabalho de Santos *et al.* (2015) recomenda-se a utilização do método *Buffer* Duplo ao se fazer o uso de feições lineares para realizar o controle de qualidade em dados espaciais, pois os resultados são similares ao método tradicional por pontos, tanto na classificação da acurácia posicional quanto nas estatísticas descritivas das discrepâncias.

4.1 Buffer Duplo

Também conhecido como *Buffer Overlay Statistical*, metodologia originária do trabalho de Tveite e Langaas (1999), trata-se como um aprimoramento do método do *Buffer* Simples. Este método é mais robusto do que o proposto anteriormente por Goodchild e Hunter (1997), uma vez que o processo se baseia na geração de um *buffer* tanto na linha de referência quanto na linha a ser testada de acordo com a Figura 1 e, em seguida, avalia-se a interseção entre os *buffers*, obtendo a discrepância posicional entre as linhas homólogas. Segundo Santos *et al.* (2015) para utilização do método do *Buffer* Duplo, atrelado às tolerâncias definidas na ET-CQDG, sugere-se adotar o seguinte procedimento:

- Selecionar uma amostra de linhas testes (L_T), no produto em análise;
- Selecionar linhas homólogas de outra fonte de maior acurácia (linhas de referências- L_R);
- Gerar um *buffer* de largura m , em ambas as linhas. A largura m é definida como sendo o

valor da tolerância PEC-PCD para a escala e classe testada (Tabela 1);

- Contabilizar a área do *buffer* da linha de referência (A₁), que não coincida com o *buffer* da linha de teste (A₂);
- Contabilizar a área total do *buffer* da linha teste (A₂);

Por fim, calcula-se a discrepância média conforme fórmula abaixo:

$$D = \pi. m. \frac{\sum(A_1 - A_2)}{\sum A_2} \quad (4)$$

sendo:

m: Largura do *Buffer*.

(A₁ - A₂): Área do *buffer* da linha de referência que não coincida com o *buffer* da linha de teste (L_v).

A₂: Área total do *buffer* da linha teste.

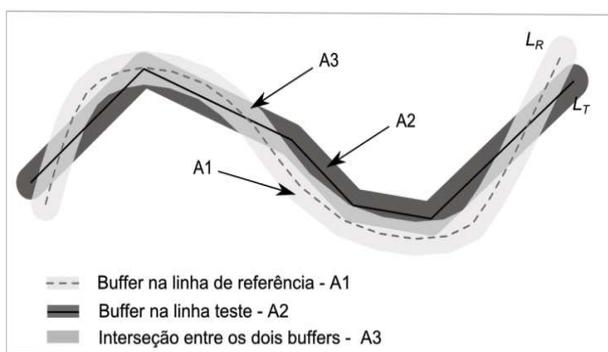


Fig. 1 - Método *Buffer Duplo*.
(Fonte: Santos *et al.*, 2015).

Utilizando ET-CQDG devem-se atender dois critérios:

- 90% das discrepâncias testadas tem que apresentar valor menor ou igual ao PEC-PCD para a classe e escala testada.
- O RMS da amostra de discrepâncias testadas tem que ter valor menor ou igual ao Erro- Padrão (EP) para a classe e escala testada.

Se as duas condições forem aceitas, classifica-se o dado espacial de acordo com a classe e escala trabalhada. É importante ressaltar que esta norma é utilizada apenas para análise em feições pontuais, no entanto Santos *et al.* (2015) sugere a aplicação das mesmas condições para discrepâncias posicionais obtidas a partir de feições lineares. O mesmo, verificou resultados condizentes aos métodos tradicionais que utilizam feições pontuais.

5. EXPERIMENTOS E RESULTADOS

Serão apresentados a seguir o delineamento da área de estudo onde a pesquisa foi desenvolvida, os materiais utilizados, a metodologia realizada no desenvolvido deste trabalho bem como e os resultados e análises de cada etapa da pesquisa.

5.1 Área de estudo

A área de estudos faz parte da Universidade Federal de Viçosa (UFV) campus Viçosa, estado de Minas Gerais (Figura 2), possui uma área de aproximadamente 144ha. A região de estudo foi escolhida devido à disponibilidade das imagens VANT.

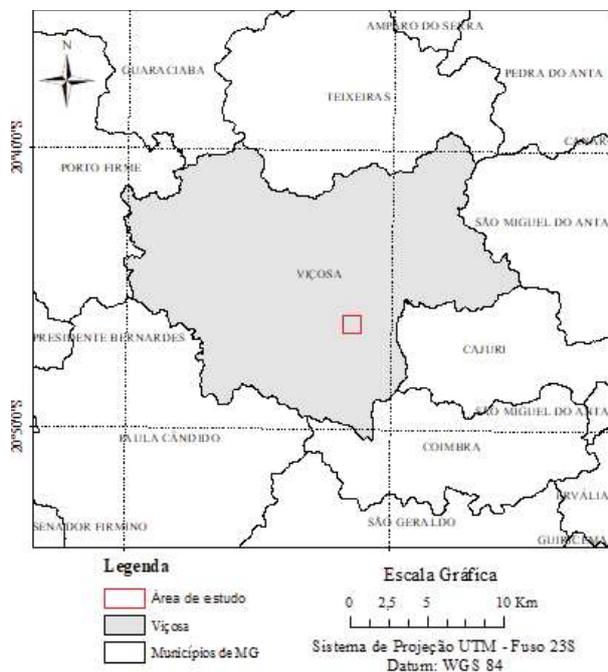


Fig. 2 - Localização da área de estudo no município de Viçosa-MG.

5.2 Materiais utilizados

Os pontos de controle e as feições lineares de checagem foram coletados por receptores GNSS da marca JAVAD modelo *Triumph-1*, utilizando o método relativo estático e *NTRIP*, tendo como referência a estação RBMC VICO (Viçosa-MG). O processamento dos dados de campo foi realizado empregando o Software *Topcon Tools 7.5.1* configurado ao sistema de projeção UTM – Fuso 23 S, Sirgas 2000.

O processamento das imagens para este trabalho foi realizado de forma automática, usando o software fotogramétrico *Agisoft PhotoScan 1.2.5*. Foi utilizado também o software *ArcGIS 10.2* para implementação do método de feição linear.

5.3 Metodologia

A fim de facilitar a compreensão da metodologia empregada, um fluxograma das atividades realizadas é apresentado na Figura 3.

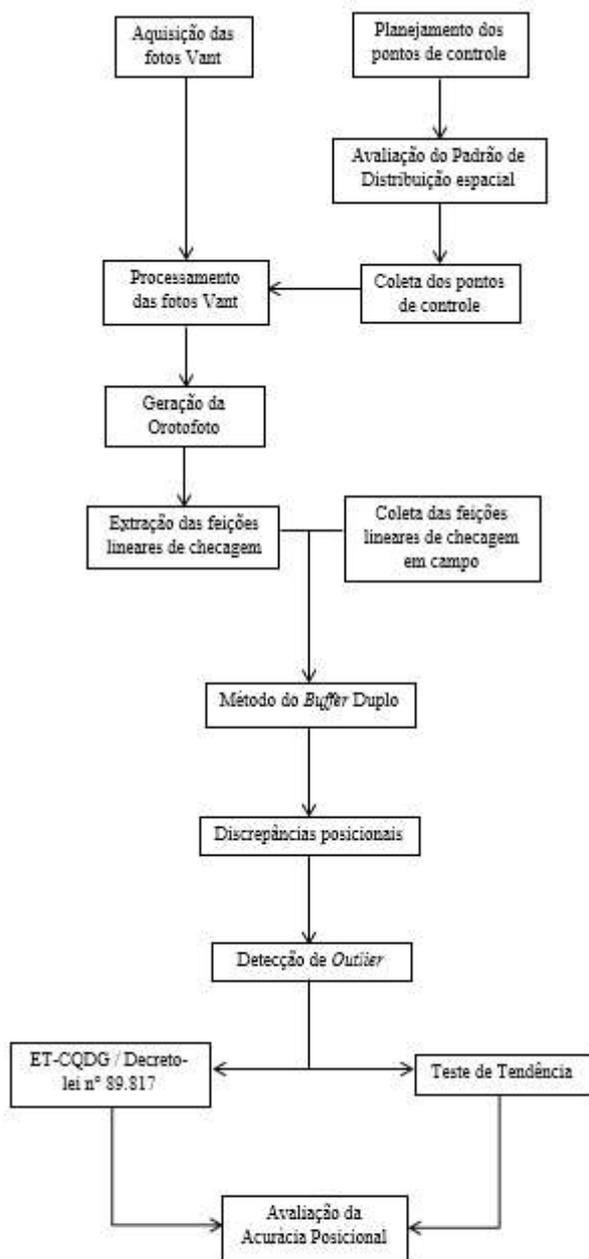


Fig. 3 - Fluxograma com atividades da metodologia executada.

No presente estudo foram utilizadas imagens do VANT Echar 20A fabricado pela XMOBOTS. O equipamento é composto por uma aeronave, uma estação de controle e um terminal de dados. A estação de controle e o terminal de dados possibilitam o monitoramento da aeronave, que possui um receptor GNSS e o sistema de medição inercial (*Inertial Measurement Unit* – IMU), fornecendo os dados

de atitude do sensor. Para aquisição das imagens foi utilizada uma câmara Sony ILCE-7R com distância focal de 45mm. O voo foi realizado no dia 10 de agosto de 2015 sobrevoando a área com uma altitude média de aproximadamente 467 m em relação a base e com sobreposição lateral 60% e longitudinal de 70%.

Para sistematizar a escolha dos pontos de controle de modo que estes ficassem bem distribuídos, gerou-se uma grade de 300mx300m, conforme a metodologia presente em Gripp Jr. (2009). Logo foram gerados 16 quadrados de acordo com a Figura 4. Ressalta-se que em um dos itens da norma ET-ADGV propõe métodos de amostragem para a coleta de pontos de checagem, no entanto tal metodologia não foi aplicada no presente estudo devido já ter sido realizado a coleta dos pontos de checagem quando a norma foi publicada.



Fig. 4 – Recobrimento da área de estudo com a geração de quadrados para a escolha dos pontos de controle.

Com 16 quadrados, escolhem-se pontos bem definidos optando-se pela escolha de intersecções de estradas, faixas de pedestres e meio fio, conforme a Figura 5. Uma vez realizado o planejamento dos pontos de controle, foi realizado a análise estatística *K* de *Ripley* para a análise da distribuição espacial dos pontos, conforme sugerido por Santos *et al.* (2016).

No primeiro instante, dos 16 quadrados definidos foram coletados 15 pontos com o receptor GNSS da marca JAVAD modelo

Triumph-1, utilizando o método estático. Vale ressaltar que um dos quadrados não foi possível coletar devido não ter identificado ponto bem definido nessa região. E em seguida, para avaliar a geração de ortofotos processadas com um conjunto de pontos de controle agrupados, escolheu-se apenas um dos quadrados para realizar a coleta de 15 pontos (Figura 9).

Uma vez coletados os pontos controle, as fotos foram processadas modificando a quantidade e a distribuição dos pontos. No primeiro momento, foram realizados o processamento com 5,10 e 15 pontos de controle distribuídos por toda a área de estudo. Utilizando o software *Agisoft PhotoScan*

Pro, gerou-se três ortofotos com RMS de 0,11m, 0,12m e 0,12m, respectivamente. Em seguida, foi realizado o processamento com 15 pontos de controle agrupados, coletados em apenas um dos quadrados, gerando uma ortofoto com RMS 0,11m.

Todo o processamento foi realizado no Sistema de Referência Sirgas 2000, com coordenadas estimadas no sistema de projeção UTM, fuso 23S, em razão dos dados de campo compartilhar deste mesmo referencial. Os pontos levantados apresentaram uma precisão posicional planimétrica entre 1,0 e 4,9 cm, respectivamente. As figuras 6, 7, 8 e 9 ilustram a distribuição dos pontos de controle utilizados para geração das ortofotos.



Fig. 5 – Exemplo de um ponto de controle levantado em campo.



Fig. 7 – Distribuição dos 10 pontos de controle coletados em campo.



Fig. 6 – Distribuição dos 5 pontos de controle coletados em campo.



Fig. 8 – Distribuição dos 15 pontos de controle coletados em campo.



Fig. 9 – Distribuição dos 15 pontos de controle coletados em apenas um dos quadrados gerados.

Após a geração das ortofotos, utilizou-se o software *ArcGIS* para a extração das feições lineares de checagem (Figura 10).

Em seguida foi realizada a coleta em campo das feições lineares, com o receptor GNSS da marca JAVAD modelo *Triumph-1* utilizando o método *NTRIP* e tendo como referência a estação RBMC VICO (Viçosa-MG). Foram coletados 8 linhas de trechos vias com comprimentos variando entre 45,09 a 774,37 metros. A Figura 11 ilustra as feições lineares. Nota-se que no canto inferior direito não foram coletadas feições para análise. Tal tarefa não foi possível devido à presença de uma obra nessa região na época do levantamento.



Fig. 10 - Exemplo de feição linear extraída na ortofoto.



Fig. 11 – Feições lineares coletadas em campo.

De posse das feições de checagem coletadas em campo e das feições extraídas nas ortofotos, foram calculadas as discrepâncias através do método *Buffer Duplo*. Das amostras de discrepâncias foi gerado o gráfico do *Boxplot* para detecção de *outliers* e em seguida foi aplicado o teste de normalidade Jarque-Bera. Constatada a normalidade das amostras de discrepâncias fez-se a avaliação da acurácia posicional utilizando o padrão de acurácia posicional definido na ET-CQDG / Decreto-lei 89.817 para a escala 1:1.000. Após, aplicou-se o teste t de *Student* para verificar a existência de tendência no produto cartográfico.

5.4 Resultados e análises

Após ter realizado o planejamento dos pontos de controle, estes foram submetidos ao teste da função *K* de *Ripley*, para inferir sobre o padrão de distribuição espacial destes conjuntos de pontos. Esta inferência é realizada sobre um gráfico resultante. Neste, a linha azul representa o padrão teórico aleatório, a linha vermelha representa o padrão observado do conjunto de pontos e as linhas cinza representam o nível de confiança. Nota-se que o padrão de análise das amostras dos 5, 10, 15 pontos de controle, distribuídos por toda a área de estudo, é considerado estatisticamente significativo para o padrão aleatório (figuras 12, 13 e 14), já que o padrão observado está dentro do intervalo de confiança do padrão aleatório. Para o conjunto de 15 pontos de controle, selecionados em apenas

uma região da área de estudo, o gráfico indica padrão agrupado estatisticamente significativo, devido a linha vermelha se localizar acima da linha azul e fora do intervalo de confiança (Figura 15).

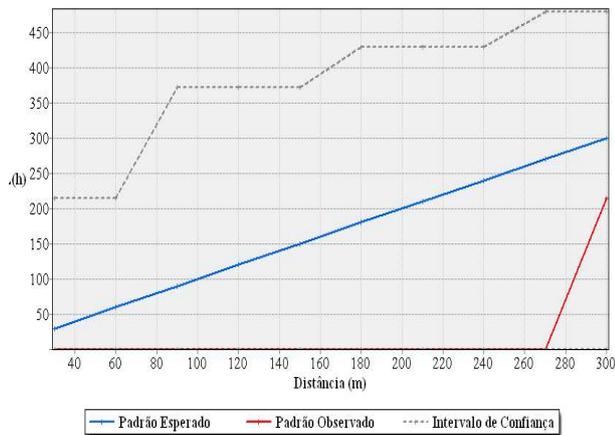


Fig. 12 - Gráfico da Função *K* de Ripley dos 5 pontos de controle.

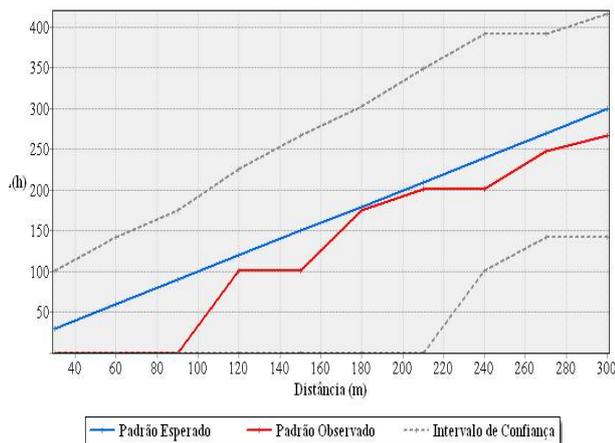


Fig. 13 - Gráfico da Função *K* de Ripley dos 10 pontos de controle.

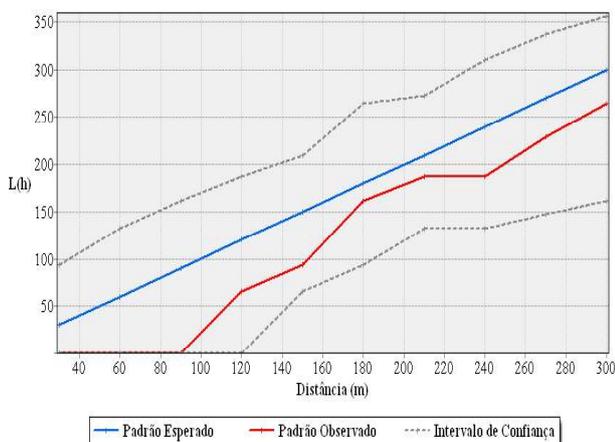


Fig. 14 - Gráfico da Função *K* de Ripley dos 15 pontos de controle.

A partir dos cálculos realizados no Software *ArcGIS*, obtiveram-se os valores de discrepância entre as feições lineares levantados em campo via receptores GNSS e seus homólogos identificados nas ortofotos. Em seguida, foi aplicado o método do *Buffer Duplo* e obtido as discrepâncias posicionais planimétricas. A Figura 16, a 17 e a 18 apresentam os gráficos das discrepâncias posicionais observadas das ortofotos processadas com 5, 10 e 15 pontos de controle coletados por toda a área de estudo. A Figura 19 apresenta o gráfico das discrepâncias observadas na ortofoto processada a partir dos 15 pontos de controle agrupados.

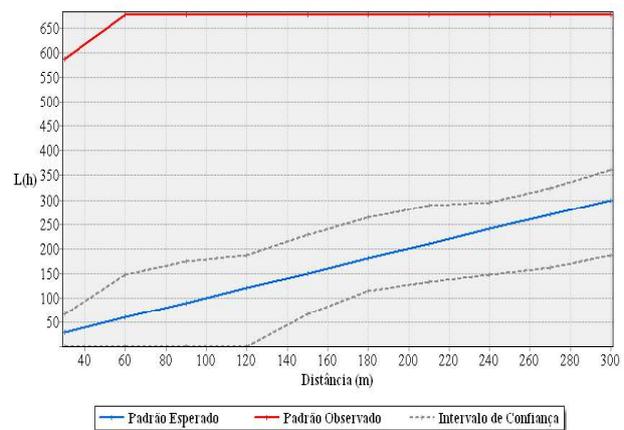


Fig. 15 - Gráfico da Função *K* de Ripley dos 15 pontos de controle selecionados em apenas uma região da área de estudo.

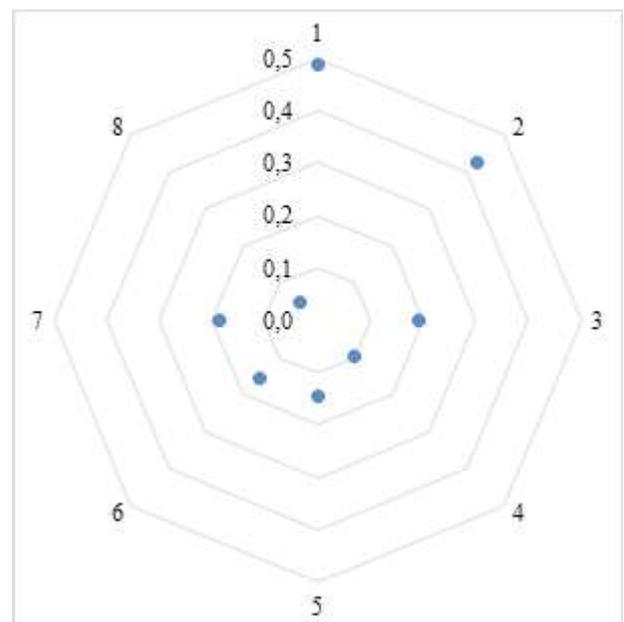


Fig. 16 – Gráfico de discrepâncias em metros (m), obtidos pelo método *Buffer Duplo* utilizando 5 pontos de controle.

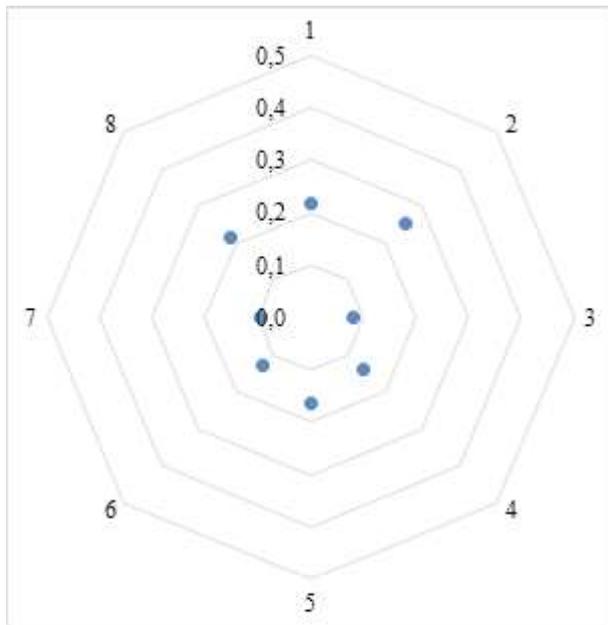


Fig. 17 – Gráfico de discrepâncias em metros (m), obtidos pelo método *Buffer Duplo* utilizando 10 pontos de controle.

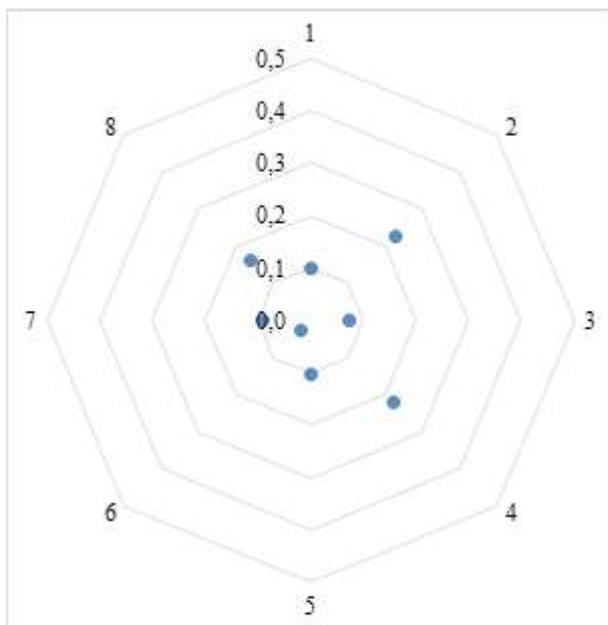


Fig. 18 – Gráfico de discrepâncias em metros (m), obtidos pelo método *Buffer Duplo* utilizando 15 pontos de controle.

De posse dos resultados, verifica-se que as discrepâncias encontradas no processamento das fotos utilizando 5 pontos de controle apresentou maior discrepância em locais em que não foram inseridos pontos de controle no processamento.

Ao inserir 10 e 15 pontos de controle no processamento das fotos verifica-se novamente que nos lugares em que não há presença de pontos de controle as discrepâncias foram maiores, percebe-se também que em alguns

lugares houve redução das discrepâncias. Nota-se que as discrepâncias da ortofoto gerada com 15 pontos de controle agrupados, são menores perto da região da coleta dos pontos e no decorrer que se afasta dessa região os valores das discrepâncias vai aumentando, conforme podemos notar na Figura 20.

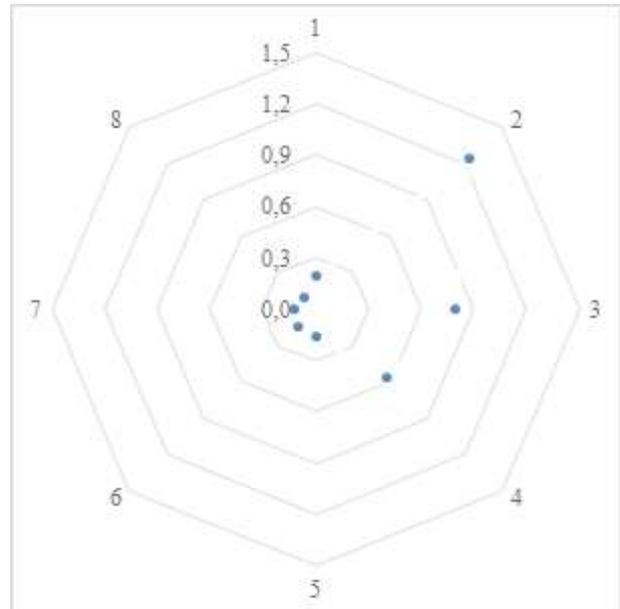


Fig. 19 – Gráfico de discrepâncias em metros (m), obtidos pelo método *Buffer Duplo* utilizando 15 pontos de controle agrupados.

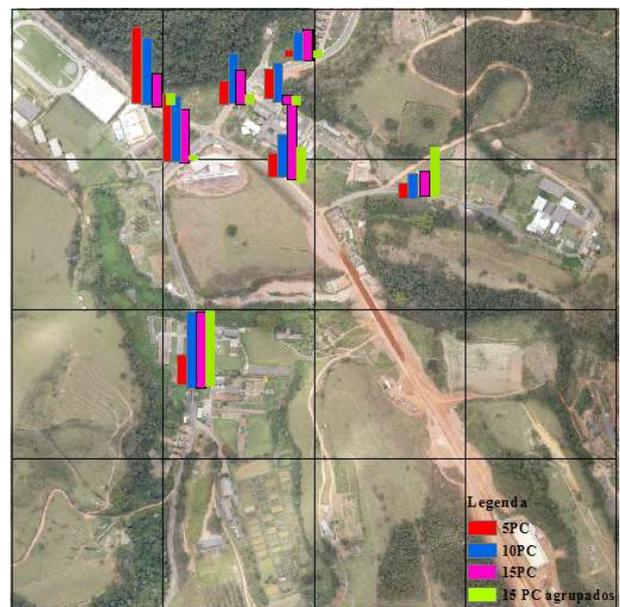


Fig. 20 – Distribuição das discrepâncias dos resultados gerados das ortofotos processadas.

As figuras 21, 22, 23 e 24 apresentam os gráficos do *Boxplot* das discrepâncias observadas nas ortofotos. Nota-se que não houve a presença de *outliers* nos dados.

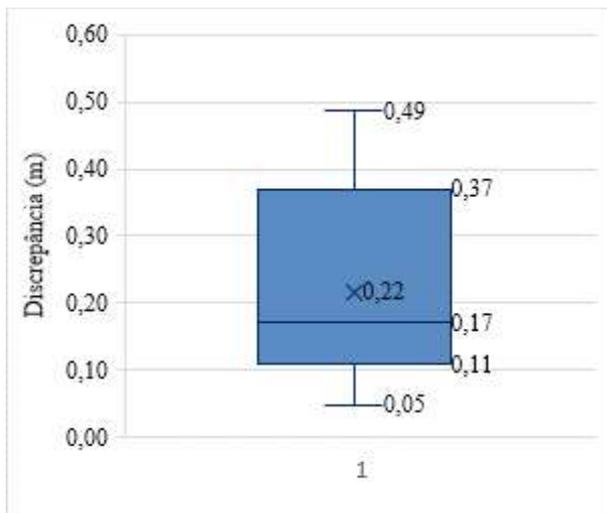


Fig. 21 – Gráfico do *Boxplot* obtidos dos resultados da ortofoto processada utilizando 5 pontos de controle.

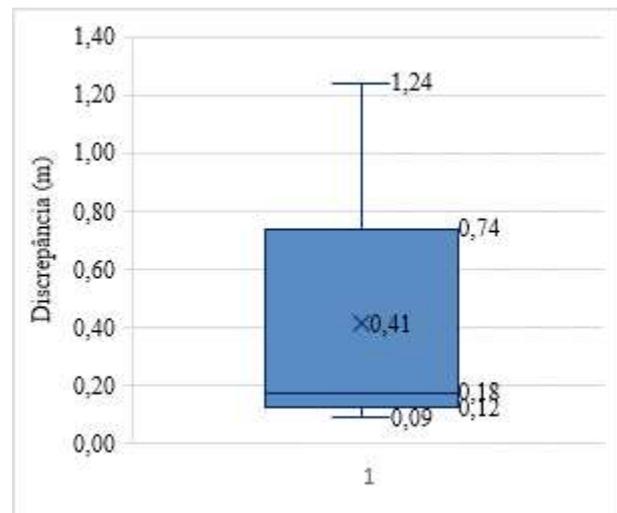


Fig. 24 – Gráfico do *Boxplot* obtidos dos resultados da ortofoto processada utilizando 15 pontos de controle agrupados.

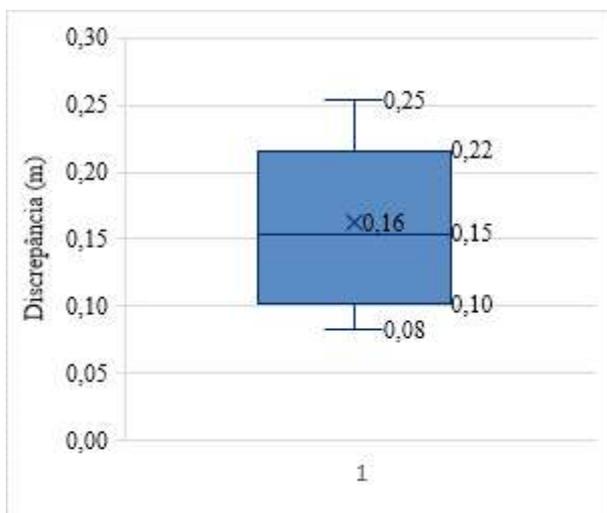


Fig. 22 – Gráfico do *Boxplot* obtidos dos resultados da ortofoto processada utilizando 10 pontos de controle.

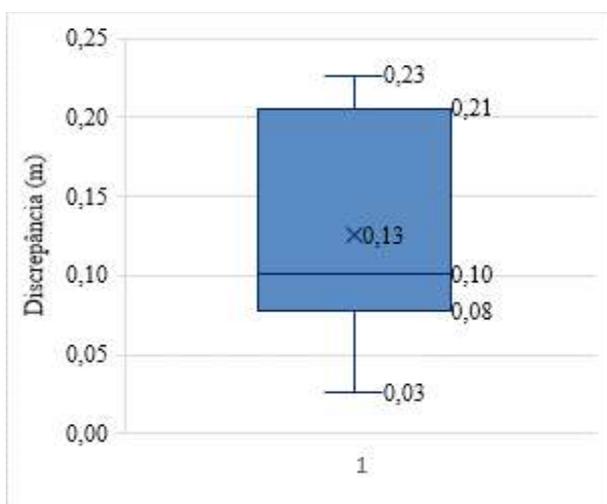


Fig. 23 – Gráfico do *Boxplot* obtidos dos resultados da ortofoto processada utilizando 15 pontos de controle.

Em todas as ortofotos utilizadas para avaliação da qualidade posicional, com o uso de feição linear, aplicou-se o teste de normalidade Jarque-Bera, que apresentou valor de probabilidade significativo a 10% para todas as amostras analisadas.

Após a avaliação dos dados, constatou-se que a ortofoto gerada utilizando 15 pontos de controle enquadrou-se na Classe A para escala de 1:1.000, com média e RMS das discrepâncias em torno de 0,12 e 0,15 metros, respectivamente já as ortofotos geradas com 5 e 10 pontos de controle enquadrou na Classe B. A Tabela 2 apresenta as estatísticas básicas como a média, desvio padrão, RMS, número de *outliers* e mediana.

Tabela 2: Estatísticas descritivas das discrepâncias posicionais planimétricas obtidas pelo método de feição linear

Pontos de Controle	5	10	15	15 (agrupados)
Nº <i>Outliers</i>	0	0	0	0
Média (m)	0,217	0,162	0,125	0,414
Mediana	0,171	0,154	0,101	0,177
Máximo (m)	0,487	0,253	0,227	1,242
Mínimo (m)	0,049	0,083	0,026	0,090
RMS (m)	0,262	0,172	0,142	0,571

O RMS é uma medida de acurácia, sendo importante para resumir quão é a grandeza da discrepância posicional em um produto cartográfico. De acordo com a Tabela 2, nota-se que os valores do RMS diminuíram ao se aumentar o número de pontos de controle. O valor do RMS da ortofoto gerada com 5 pontos de controle foi de 0,262m, na ortofoto gerada com 10 pontos de controle o RMS foi de 0,172m e na ortofoto gerada com 15 pontos de controle verificou-se que o RMS diminuiu novamente para 0,142m. Ressalta-se que para avaliação da ortofoto gerada com 10 pontos de controle utilizando-se as tolerâncias da classe A, 90% das discrepâncias testadas foram menores ao PEC. No entanto o RMS da amostra de discrepâncias testadas foi igual a 0,171m. Verifica-se assim que a ortofoto gerada com 10 pontos de controle está no limiar da aceitação na classe A.

A ortofoto gerada pelo processamento com 15 pontos de controle agrupados teve resultado inferior quando comparada com os pontos distribuídos por toda a área de estudo, apresentando classe D para escala 1:1.000 com RMS de 0,571m.

Foi estimada no presente trabalho a densidade média de 1 ponto de controle para cada 0,1Km², como suficiente para atender as necessidades do ajuste a ser realizado no processo de ortorretificação. Assim foi possível notar que quanto mais pontos de controle bem distribuídos na região, utilizados no processamento das fotos, melhor foram as análises da avaliação da acurácia posicional das ortofotos geradas.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos a partir da aplicação do método de avaliação de feições lineares, junto ao padrão de acurácia posicional brasileiro, descrito no Decreto-lei nº 89.817, aliada à ET-CQDG.

Tabela 3: Classificação da acurácia posicional da ortofotos, utilizando métodos de feição linear variando quantidade de pontos de controle, de acordo com Decreto-lei 89.817/ET-CQDG, para a escala 1:1.000

Pontos de Controle	5	10	15	15 (agrupados)
Classe - PEC-PCD	B	B	A	D
1:1.000				

A partir das ortofotos geradas foram selecionados os pontos iniciais e finais das feições de teste e das feições coletadas em campo. A partir destes pontos foi realizado a análise de tendência utilizando o teste t *Student* com nível de significância de 10%, verificando a presença de tendência para os dados gerados no processamento com 5 e 10 pontos de controle e para os dados processado com 15 pontos de controle não apresentou tendência nos resultados. Já para os 15 pontos de controle agrupados apresentou tendência nos resultados.

Com base nos resultados obtidos, as ortofotos geradas pelas fotos de VANT verifica-se que a utilização do VANT ainda precisa ser mais explorada, mas já se podem obter bons resultados na área do cadastro, servindo para atualização de bases cartográficas cadastrais, identificação de construções não declaradas, identificação de novos loteamentos e lotes. Percebeu-se, ao longo da pesquisa que, o equipamento tem elevada aplicação no reconhecimento visual e categorização dos elementos do terreno.

Cada plataforma aérea tem peculiaridades, cabendo aos usuários se adaptarem a mais adequada às suas necessidades. Cabe ressaltar, que limitações são encontradas em todos os modelos, sejam climáticas, de peso, altura, autonomia e distância, variando conforme as características de cada equipamento, podendo assim, gerar resultados diferentes.

6. CONCLUSÃO

Entendendo que incorporar novas tecnologias deve ser um comportamento natural do profissional envolvido no levantamento de dados cadastrais, o principal objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade cartográfica das imagens VANT com diferentes números e distribuições de pontos de controle, de modo a verificar a influência dos mesmos. Os resultados foram obtidos em quatro abordagens para o processamento das fotos: com 5, 10 e 15 pontos de controles coletados em campos e distribuídos em toda a área de estudo e com 15 pontos de controle coletados em apenas uma região da área de estudo.

Verificou-se que a ortofoto gerada, a partir de pontos de controle agrupados, se mostrou com acurácia posicional inferior quando comparados com os demais testes, porém ainda obteve

classificação de acordo com Decreto-lei 89.817/ET-CQDG para a escala 1:1.000. Entretanto, na análise de tendência, ficou constatado que a ortofoto não está livre de efeitos sistemáticos, ou seja, existem deslocamentos na direção Este e Norte. No entanto, conforme recomendam Santos *et al.* (2016), pode-se atuar nesta ortofoto aplicando uma translação para minimizar os efeitos sistemáticos, podendo ainda, melhorar a classificação do documento.

Constatou-se que a análise do padrão de distribuição espacial dos dados utilizando a técnica estatística da Função *K*, pode ser adotada com o objetivo de eliminar a subjetividade do produtor ao detectar como os dados estão distribuídos na área de estudo, conforme sugerem Santos *et al.* (2016).

De um modo geral, os resultados da avaliação das ortofotos apresentaram classificações, quanto ao Decreto-lei nº 89.817/ET-CQDG para a escala 1:1.000. Ortofotos geradas com 5 e 10 pontos de controle obtiveram classe B e ortofoto gerada com 15 pontos de controle apresentou classe A, quando os pontos foram distribuídos aleatoriamente em toda a região de estudo. A ortofoto gerada com 15 pontos de controle selecionados de forma agrupada apresentou classe D para escala 1:1.000 e com presença de tendência.

A análise das células, teve como objetivo avaliar se a densidade de pontos de controle é a mesma em toda a área de estudo. Fato que se mostrou consistentemente positivo, tendo em vista que a melhor ortorretificação foi obtida com o maior número de pontos de controle (15 pontos) distribuídos em toda área de estudo. Nestas hipóteses a solução é distribuir pontos de controle e verificar a distribuição espacial para assim realizar o processamento das fotos e avaliar a acurácia posicional das ortofotos.

Diante dos resultados expostos ao longo deste trabalho, pode-se perceber que o objetivo de analisar a distribuição e o número dos pontos de controle foi alcançado. Verificou-se que a metodologia proposta para a coleta dos pontos de controle apresenta um significativo ganho com a abordagem do padrão de distribuição espacial dos pontos de controle.

Assim a partir dos resultados obtidos conclui-se que as ortofotos geradas a partir de um levantamento por VANT, podem colaborar no auxílio do Cadastro Territorial Multifinalitário

de pequenas cidades sob o ponto de vista de eficiência, qualidade e viabilidade econômica. Deve ficar claro que cada plataforma aérea tem peculiaridades, cabendo aos usuários se adaptarem a mais adequada às suas necessidades. Cabe ressaltar, que limitações são encontradas em todos os modelos de VANT, no peso, altura, autonomia e distância, variando conforme as características de cada equipamento.

É importante salientar também que para a utilização das ortofotos geradas a partir de um levantamento VANT, quanto em qualquer tipo de mapeamento, deve-se sempre avaliar a acurácia posicional antes de sua utilização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, I. C. **Estudo sobre o uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) para mapeamento aéreo com fins de elaboração de projetos viários**. Universidade Católica de Pernambuco. Recife, 2014, 149p.

ANAC. **Instrução Suplementar - IS nº 21-002**. Portaria nº 2.031/SAR, de 4 de outubro de 2012.

BHARDWAJ, A., SAM, L., AKANKSHA, MARTIN-TORRES, F.J., & KUMAR, R. UAVs as remote sensing platform in glaciology: Present applications and future prospects. **Remote Sensing of Environment**, 175, 196–204, 2016.

CINTRA, J. P.; NERO, M. A. Metodologia para controle de qualidade de mapeamentos sistemáticos em meio digital. Anais do **XXII Congresso Brasileiro de Cartografia**, Macaé, RJ, 2005.

COLOMINA, I.; MOLNA, P.. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: a review. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.92, p.79-97, 2014.

DELLAERT F., SEITZ S., THORPE C., THRUN S. 2000. Structure from Motion without Correspondence. In: **IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition**. V.2, p. 557-564.

DOD. **Unmanned aircraft systems roadmap – 2005-2030**. Office of the Secretary of Defense, 2005, 213p.

EISENBEISS, H. **UAV Photogrammetry**. Doctor of sciences, University of Technology Dresden, Germany, 2009, 237p.

- GRIPP JR, J. **Ortorretificação de imagens de alta resolução para aplicação no cadastro técnico rural e mapeamento de área de preservação permanente e reservas legais.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. 2009, 174p.
- HU, Y.; TAO, V.; CROITURU, A. **Understanding the rational function model: methods and applications.** In: International archives of photogrammetry and remote sensing, 20, 2004, 6p, Istanbul, Turquia.
- LIMA, E. M.; THOMAZ, T. A. M.; SEVERO, T. C. **Mapeamento aerofotogramétrico digital utilizando fotografias de médio formato.** Monografia (Graduação em Engenharia Cartográfica) - Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010, 126p.
- LUZ, C. C.; ANTUNES, A. F. B. Validação da tecnologia VANT na utilização de bases de dados cartográficos geológicos - Estudo de caso: Sistema Cárstico do Rio João Rodrigues. RBC. **Revista Brasileira de Cartografia** (Online), v. 67, p. 1439-1452, 2015.
- MANCINI, F.; DUBBINI, M.; GATTELLI, M.; STECCHI, F.; FABBRI, S.; GABBIANELLI, G. Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) for High-Resolution Reconstruction of Topography: The Structure from Motion Approach on Coastal Environments. **Remote Sensing**, 2013, 5, 6880-6898.
- MOZAS, A. T.; ARIZA F. J. New Method for Positional Quality Control in Cartography Based on Lines. A Comparative Study of Methodologies. **International Journal of Geographical Information Science** 25 (10). Taylor & Francis: 1681–95. 2011.
- PATIAS P. 2001. Photogrammetry and Visualization Technical Report, ETH Zurich. Disponível em: < <http://www.photogrammetry.ethz.ch/research/guest.html> >. Acessado em: 12 de agosto de 2016.
- PCI Geomatics Inc. Geomatica Software Solutions. **OrthoEngine: User guide.** Canada, 2010, 179p.
- PEGORARO, A. J. **Estudo do potencial de um veículo aéreo não tripulado/ quadrotor, como plataforma na obtenção de dados cadastrais.** Tese do doutorado, Santa Maria, 2013, 221p.
- SANTOS, A. P. **Avaliação da Acurácia Posicional em Dados Espaciais com Uso da Estatística Espacial** (Viçosa, MG). Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010, 128p.
- SANTOS, A. P.; MEDEIROS, N. G.; SANTOS, G. R.; RODRIGUES, D. D. Controle de qualidade posicional em dados espaciais utilizando feições lineares. **Boletim de Ciências Geodésicas** (Online), v. 21, p. 233-250. 2015.
- SANTOS, A. P.; RODRIGUES, D. D.; SANTOS, N. T.; GRIPP JR, J. Avaliação da acurácia posicional em dados espaciais utilizando técnicas de estatística espacial: proposta de método e exemplo utilizando a norma brasileira. **Boletim de Ciências Geodésicas** (Online), v. 22/4. 2016, 21p.
- SATO, S.S. **Sistema de controle de qualidade dos processos fotogramétricos digitais para produção de dados espaciais.** 2003. 229 f. Tese (Doutorado em Engenharia Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
- SZELISKI, R. **Computer vision: Algorithms and applications.** London: Springer, 2010, 979p.
- TVEITE, H.; LANGAAS, S.(1999). An accuracy assessment method for geographical line data sets based on buffering. Int. **Journal Geographical Information Science**. Vol. 13,nº1, pp.27-47.
- VIANA, C. D. **Análise estrutural de descontinuidades baseada em técnicas de structure from motion : aplicação em mina a céu aberto - Tese (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015, 158p.**
- VERHOEVEN, G. Taking computer vision aloft – archaeological three-dimensional reconstructions from aerial photographs with photostan. **Archaeological Prospection**. V 18, nº 1; 2011, 67-73.
- WESTOBY M.J., BRASINGTON J., GLASSER N.F., HAMBREY M.J., REYNOLDS J.M. 2012. ‘Structure-from-Motion’ photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications **Geomorphology**, 179: 300-314.