



Revista Brasileira de Cartografia (2017), Nº 69/7: 1247-1261  
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto  
ISSN: 1808-0936

## **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE POSICIONAL DE ORTOFOTOS GERADAS POR SISVANT COM DIFERENTES ALTURAS DE VOO PARA APLICAÇÕES CADASTRAIS**

*Positional Quality Evaluation of Orthophotos Generated by SISVANT with  
Different Flight Heights for Cadastral Applications*

**Francisco de Deus Fonseca Neto<sup>1,2</sup>, Júlio César de Oliveira<sup>1</sup>,  
Mosar Faria Botelho<sup>3</sup>, Afonso de Paula dos Santos<sup>1</sup>,  
Lécio Alves Nascimento<sup>1,4</sup> & Alessandra Lopes Braga Fonseca<sup>1,2</sup>**

**<sup>1</sup>Universidade Federal de Viçosa - UFV  
Departamento de Engenharia Civil**

Av. Peter Henry Rolfs, s/n - Campus Universitário - Cep: 36570-000 - Viçosa-MG, Brasil  
francisco.deus@ufv.br, afonso.santos@ufv.br, oliveirajc@ufv.br,  
lecio.nascimento@ufv.br, alessandra.fonseca@ufv.br

**<sup>2</sup>Instituto Federal do Espírito Santo - IFES  
Coordenadoria de Geomática**

Av. Vitória, 1729 - Jucutuquara - Cep: 29040-780 - Vitória-ES, Brasil  
franciscofonseca@ifes.edu.br

**<sup>3</sup>Instituto Federal do Sul de Minas Gerais - IFSMG  
Coordenadoria do Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica**  
Praça Tiradentes, 416 - Centro - Cep: 37576-000, Inconfidentes-MG, Brasil  
mosar.botelho@ifsuldeminas.edu.br

**<sup>4</sup>Instituto Federal do Norte de Minas Gerais - IFNMG  
Coordenadoria do Curso de Agrimensura**  
BR 367, km 278, s/n - Zona Rural - Cep: 39600-000, Araçuaí-MG, Brasil  
lecio.nascimento@ifnmg.edu.br

*Recebido em 26 de Maio, 2017/ Aceito em 9 de Setembro, 2017  
Received on May 26, 2017/ Accepted on September 9, 2017*

### **RESUMO**

A qualidade dos produtos cartográficos pode ser influenciada por diversos fatores. Particularmente, produtos gerados via SISVANTs (ortofotos, modelos digitais, etc.) podem ser degradados por fatores como: a qualidade e tipo de veículo aéreo, sensores (câmeras), altura de voo etc. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a acurácia posicional planimétrica de ortofotos, derivadas de aerolevanteamento efetuado por um SISVANT com diferentes alturas de voo, a partir do método de feições lineares (*Buffer Duplo*) e do tradicional método por pontos, ambos referenciados ao Decreto-lei nº 89.817 / ET-CQDG. Para a altura de voo de 80 m, através do método tradicional por pontos obteve-

se acurácia posicional planimétrica para as ortofotos como Classe B na escala 1: 1.000, enquanto que pelo método de feições lineares as ortofotos foram classificadas como Classe A na escala 1: 1.000. No caso da escala 1: 2.000 as ortofotos foram melhor classificadas utilizando ambos os métodos, obtendo Classe A. Desta forma, pode-se afirmar que as ortofotos consideradas representam uma possibilidade consistente para a determinação de bases cartográficas, com acurácia compatível com as escalas supracitadas para fins de aplicações cadastrais, atendendo a diversas finalidades descritas na NBR 14.166.

**Palavras-chave:** SISVANTs, Qualidade Posicional, Feição Linear.

## ABSTRACT

The quality of cartographic products can be influenced by several factors. In particular, products generated via UAVs (orthophotos, digital models, etc.) can be affected by factors such as the quality and type of air vehicle, sensors (cameras), flight height, etc. Therefore, the present study seeks to evaluate the planimetric positional accuracy of orthophotos, produced from an aerial survey performed by a UAV with different flight heights, using the linear features method (Double Buffer) and the traditional point method, both referenced to Decree-Law n<sup>o</sup> 89.817 / ET-CQDG. For the flight altitude of 80 m, using the traditional point method, the planimetric positional accuracy obtained for the orthophotos was Class B at the 1:1,000 scale, while with the linear features method the orthophotos were classified as Class A at a scale of 1:1,000. In the case of the scale 1:2,000, the orthophotos obtained a better classification with both methods, obtaining Class A. Therefore, we can affirm that the orthophotos considered represent a reliable alternative for the compilation of cartographic databases, with an accuracy at the aforementioned scales compatible with registration application purposes, useful for the diverse ends described in NBR 14.166.

**Keywords:** UAV, Positional Accuracy, Linear Feature.

## 1. INTRODUÇÃO

O Levantamento Cadastral consiste em uma ferramenta importante para reunir, avaliar e atualizar dados espaciais geográficos, caracterizando-se como uma base para a gestão territorial de países, Estados, municípios, parcelas (urbanas ou rurais), etc. (SCHOFIELD *et al.*, 2007). Nos últimos trinta anos pode-se observar um considerável incremento no número de técnicas e métodos de aquisição para o tipo de dado supracitado, justificável pelo desenvolvimento de novos instrumentos e sua integração a computadores e dispositivos eletrônicos (SCAIONI *et al.*, 2014).

Novas técnicas fundamentadas em sensores estão disponíveis para utilização a partir de: estações terrestres, veículos terrestres móveis e plataformas aéreas de baixa altura como, por exemplo, helicópteros e VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados) (EISENBEISS *et al.*, 2011). Adicionalmente destaca-se a significativa contribuição dada pela difusão do GNSS (*Global Navigation Satellite System*) para posicionamento e navegação precisa, impactando diretamente na utilização das novas tecnologias de sensores (TAO *et al.*, 2007).

Os sistemas VANTs ou SISVANTs (aeronave e componentes associados como,

por exemplo, sensores embarcados, receptores GNSS etc.) tem se destacado como ferramenta de mapeamento móvel devido à possibilidade do aumento de produtividade na aquisição de dados espaciais, graças à integração de diferentes sistemas sensores e de posicionamento associados à fotogrametria digital (VOSSSELMAN *et al.*, 2010; LUHMANN *et al.*, 2014). Dessa forma, observa-se que os SISVANTs estão revolucionando diversas pesquisas e serviços técnicos através da aquisição de dados e geração de produtos (imagens sintéticas ou multiespectrais) com alta resolução espacial e temporal (LONGHITANO, 2010; CÂNDIDO *et al.*, 2015). Um breve histórico, bem como a classificação dos SISVANTs podem ser verificados em Torrado *et al.* (2016).

Nesse contexto, a avaliação da acurácia posicional e as respectivas aplicações de produtos cartográficos gerados por SISVANTs compõem um nicho de inúmeras pesquisas, apresentando resultados importantes para o desenvolvimento contínuo desta ferramenta direcionada a projetos fotogramétricos, atualmente com larga aplicação em diversas áreas, dentre elas, o Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM). A utilização dos SISVANTs na fotogrametria aérea de curto

alcance amplia o campo de aplicações, pois constitui uma alternativa de baixo custo em relação à aerofotogrametria tripulada clássica (COLOMINA *et al.*, 2008; EISENBEISS, 2009).

A aplicação dos produtos cartográficos para o CTM deve respeitar os limites em escala, à qualidade geométrica e o detalhamento das feições, de forma que possa se traduzir em um potencial latente para uma boa gestão municipal e que poderá se expandir a partir da evolução e aprimoramento de novas técnicas topográficas, geodésicas e aerofotogramétricas digitais (MANUAL DE APOIO - CTM, 2010).

A NBR 14.166 (1998) estabelece normativos para a implantação de uma rede de referência cadastral, e para efeito da norma evidencia algumas definições segundo a escala e finalidade, dentre elas: Planta Cadastral Municipal (PCM) - escala 1:1.000 ou maior, tendo como finalidade primordial os estudos sobre alinhamentos, servindo de base aos cadastros de infraestrutura urbana (água, esgoto, drenagem, força e luz, telefone, gás etc.); Planta Genérica de Valores (PGV) - em geral na escala de 1:5.000 ou 1:10.000, destinada a registrar os valores de terreno diferenciados pela sua posição nas quadras e nos segmentos de logradouros e pelos equipamentos urbanos à sua disposição; Planta Geral do Município (PGM) - na escala de 1:5.000 ou 1:10.000, registra no seu conteúdo básico aspectos: físicos, socioeconômicos, político-administrativos etc. Destina-se também à elaboração e ao acompanhamento do Plano Diretor Municipal (PDM) e de todas as ações dele decorrentes; Planta Indicativa de Sistemas de Infraestrutura Urbana (PISIU) - obtida a partir da Planta de Referência Cadastral do Município, onde estão registradas as informações referentes aos sistemas de infraestrutura urbana; Planta de Quadra ou Planta Quadra (PQ) - integrante do Cadastro Imobiliário Fiscal, na escala 1:1.000 ou 1:500, apresentando, no seu conteúdo básico, o contorno da quadra segundo os alinhamentos de vias de suas faces; Planta de Referência Cadastral (PRC) - planta planimétrica elaborada a partir da planta geral do município na escala 1:5.000 ou 1:10.000, para gestão municipal integrante dos cadastros técnicos municipais.

Maiores detalhes sobre os elementos supracitados podem ser verificados em NBR

14.166 (1998) em conjunto com a NBR 13.133 (1994).

As escalas prioritárias adotadas no Brasil para a geração da cartografia cadastral urbana são: 1:2.000, 1:1.000 e 1:500. A maioria dos trabalhos tem sido realizada em escala 1:2.000. Entretanto, essa característica, aos poucos, vem sendo modificada pela percepção da geração de mapas cadastrais urbanos na escala 1:1.000 com maior frequência (MANUAL DE APOIO - CTM, 2010).

Observa-se que os elementos necessários para um CTM exigem escalas específicas e são dependentes de sua finalidade. Neste sentido, Alves Júnior *et al.* (2015), Ferreira *et al.* (2013), Barry & Coakley (2013) e Mitishita *et al.* (2014), afirmam que a qualidade de produtos cartográficos digitais obtidos via SISVANTS devem ser avaliados, sobretudo no tocante à qualidade posicional. Fonseca Neto *et al.* (2017) destaca que Leis, Normas e padrões foram desenvolvidos, em diversos países, com o intuito de introduzir metodologias para a análise de qualidade posicional de produtos cartográficos, avaliando assim a acurácia posicional.

Karnaukhova & Loch (2001), Shi (2010), Lunardi *et al.* (2012) e Santos *et al.* (2015) evidenciam que a análise da qualidade posicional dos produtos cartográficos é de extrema importância, em virtude da possibilidade de negligenciar a qualidade cartográfica ao longo do processo de criação e/ou disseminação dos mesmos. No Brasil, a avaliação da qualidade posicional dos produtos cartográficos é regimentada pelo Decreto-lei nº 89.817, de 20 de junho de 1984 e, complementada pela ET-ADGV (Especificação Técnica de Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais) (DSG, 2011) e ET-CQDG (Especificação Técnica Para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais) (DSG, 2016), elaboradas pela DSG (Divisão do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro).

De acordo com Brasil (1984), DSG (2011), DSG (2015) e DSG (2016) o Decreto-lei nº 89.817 estabelece critérios para classificação de cartas utilizando como parâmetros um indicador estatístico da qualidade posicional, denominado de Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC). Tal decreto, à época de sua publicação, apresentou como objetivo principal assegurar a qualidade posicional cartográfica de produtos

analógicos, estabelecendo três classes de produtos cartográficos (A, B e C), de acordo com o indicador estatístico PEC do produto avaliado.

Com a crescente utilização dos produtos cartográficos digitais, em junho de 2011, foi elaborada pela DSG em conformidade com a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), a especificação técnica que regula e padroniza a aquisição da geometria dos dados geoespaciais vetoriais e atributos correlacionados, intitulada ET - ADGV (DSG, 2011). Tal especificação técnica, em um de seus itens, apresenta os procedimentos referentes à aplicação do Decreto-lei nº. 89.817, bem como a criação de uma classe mais restritiva, destinadas para produtos cartográficos digitais (PCD) (SANTOS *et al.*, 2015). Os produtos digitais foram classificados em 4 (quatro) classes (A, B, C e D), sendo que as classes B, C e D correspondem, nessa ordem, as classes A, B, C do Decreto no 89.817, de 20 de junho de 1984 (DSG, 2015).

Além dos métodos de controle de qualidade cartográfica que utilizam feições pontuais, podem-se adicionar os que se fundamentam sobre feições lineares, porém, tais métodos possuem pouca divulgação e aplicação no Brasil. Esses métodos, em sua maioria, apresentam como finalidade a avaliação dos resultados gerados pelos processos de generalização cartográfica. Dentre os métodos que abordam a utilização das feições lineares, descritos por Santos *et al.* (2015) e Fonseca Neto *et al.* (2017), destaca-se o método do *Buffer Duplo* (TVEITE & LANGAAS, 1999) por apresentar resultados similares quando comparado ao método de feições pontuais supracitados.

Diversos fatores podem influenciar negativamente à qualidade dos produtos cartográficos. De forma particular, produtos gerados via SISVANTs podem ser degradados por fatores como: a qualidade e tipo de veículo aéreo ou do sensor (câmera) utilizados; altura e condições de voo, entre outros. Usualmente, a distância focal e o tamanho do sensor de câmeras digitais não podem ser alterados, ou seja, são fixos. Portanto, maiores degradações na acurácia posicional de uma ortofoto podem ser atribuídas à variação na altura de voo (H), desconsiderando os fatores ambientais (He *et al.*, 2012).

O tamanho do *pixel* no terreno (GSD - *Ground Sample Distance*) está diretamente

relacionado com a altura de voo conforme Equação 1 apresentada por He *et al.* (2012). Quanto maior for o valor do GSD da imagem, menor será sua resolução espacial e os detalhes serão menos visíveis (MIKHAIL *et al.*, 2001; LIMA, 2016; PIX4D, 2016). Os fatores apresentados no parágrafo anterior comprometem a qualidade posicional dos produtos originados, limitando-os para algumas aplicações devido às escalas atingidas como, por exemplo, as relacionadas ao CTM.

$$GSD = \frac{\mu}{f} * H \quad (1)$$

onde:  $\mu$  é o tamanho do pixel (em  $\mu\text{m}$ );  $f$  é a distância focal (em mm); e,  $H$  é a altura de voo (em m). Destaca-se que, nesse caso, o GSD calculado será da ordem de milímetros.

Fundamentando-se na contextualização supracitada, este trabalho tem como objetivo avaliar a acurácia posicional de ortofotos geradas utilizando o aerolevanteamento, efetuado por um SISVANT com diferentes alturas de voo, através da aplicação dos métodos de feições pontuais (Decreto-lei nº 89.817) e lineares (*Buffer Duplo*) descritos em Santos *et al.* (2015) e Fonseca Neto *et al.* (2017), aliado à ET-ADGV e à ET-CQDG para a escala de 1:1.000 e 1:2.000. A escolha destas escalas se justifica devido a sua propensão à elaboração de mapas cadastrais urbanos, cada vez mais frequentes como descrito por Manual de Apoio - CTM (2010), além das restrições a que estas impõem. Adicionalmente, este estudo visa determinar em quais elementos do CTM, baseando-se na NBR 14.166, os produtos cartográficos analisados podem ser aplicados segundo a escala e finalidade. Considerou-se como referência para análise um levantamento topográfico da área de estudo executado utilizando a tecnologia GNSS (*Global Navigation Satellite System*) e método de posicionamento RTK (*Real Time Kinematic*). A metodologia utilizada (conceitos e formulações) na avaliação de qualidade posicional pode ser consultada em Santos *et al.* (2015) e Fonseca Neto *et al.* (2017).

## 2. EXPERIMENTOS

A partir dos argumentos acima descritos, faz-se necessário a condução dos experimentos com finalidade investigativo-científica direci-

onada à proposta apresentada. Nesse contexto, os equipamentos utilizados bem como todos os procedimentos analíticos aplicados serão descritos na sequência.

## 2.1 SISVANT empregado e o aerolevante executado

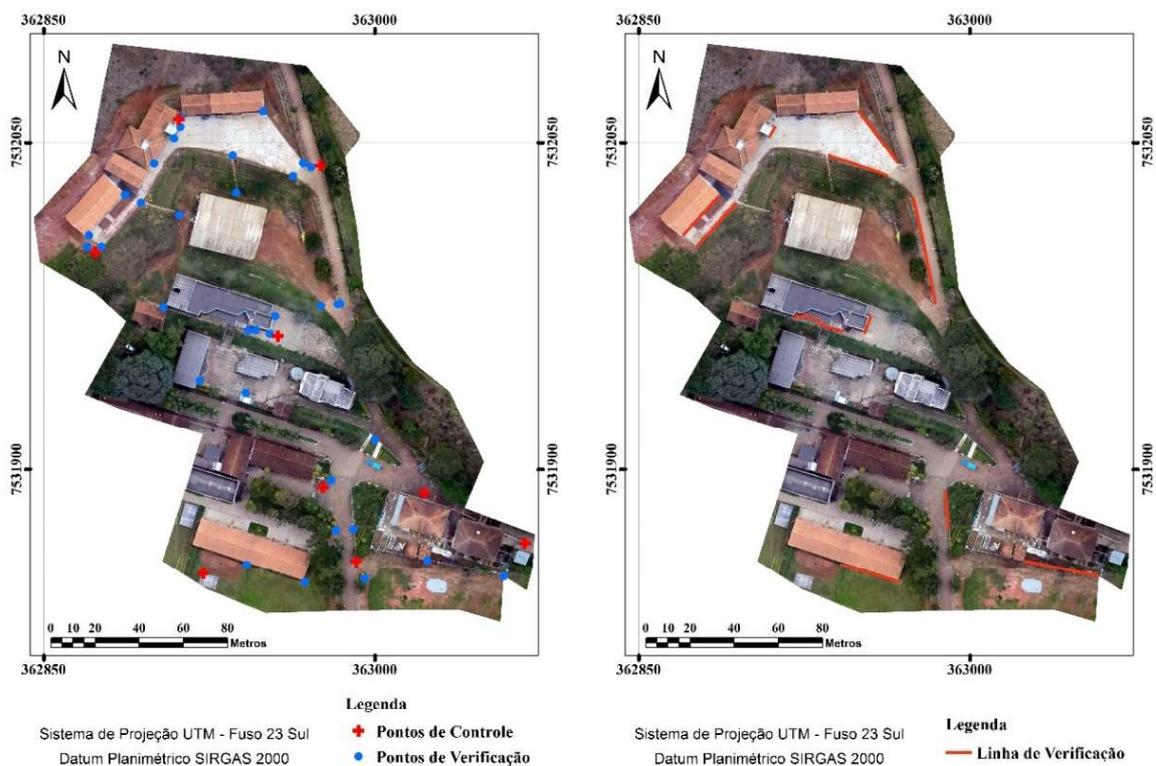
Um hexacóptero, modelo F550, foi aplicado para a coleta de dados desse experimento. Dentre suas demais características destaca-se: asa rotativa, envergadura de 80 cm, alimentação a bateria, autonomia de voo de 12 minutos e capacidade de carga 2,8 kg. Além disso, apresenta em sua composição: uma plataforma aérea dotada de seis hélices e rotores, um receptor GNSS (*Global Navigation Satellite System*) para posicionamento absoluto via código (navegação) e um sistema inercial.

Como sistema de controle de voo utilizou-se um rádio, modelo *Futaba T10J*. Tal equipamento traz em sua composição um transmissor que se comunica com um receptor embarcado no hexacóptero, o que possibilita ao usuário executar o controle de voo de forma visual e externa a aeronave, ou seja, com uma visão

aérea direta. Nesse contexto, todo o processo é manipulado via rádio controle e executado pelo piloto de forma visual e, quando possível, será manipulado utilizando a estação base (quando estiver fora do campo de visão).

O equipamento sensor (câmera) empregado foi uma câmera *Go Pro*, modelo *Black Edition HERO 3+*, com a captação das imagens foi programada para intervalos de tempo equivalentes a dois segundos. Destaca-se que foi utilizado um suporte *Gimbal*, modelo *Tarot 2D* para garantir a rotação e estabilidade do sensor embarcado na aeronave. Esse suporte possibilita que a câmera se movimente entre 0° a -90° em tomadas de foto com vista panorâmica ou a nadir.

É relevante reafirmar que o termo SISVANT refere-se à incorporação de todos os itens supramencionados (hexacóptero, Câmera, *Gimbal*, etc.) em um único equipamento. Adicionalmente, salienta-se que o monitoramento e controle do voo fotogramétrico são executados a partir de uma estação de recepção localizada em solo, que recebe informações de todos os componentes a bordo enviadas pelo sistema de comunicação.



(a)

(b)

Fig. 1 - Feições utilizadas no processo de avaliação da acurácia posicional da ortofoto pelo SISVANT: (a) feições pontuais; e (b) feições lineares.

Finalizada a montagem do SISVANT, iniciou-se o planejamento do voo e posterior coleta das imagens. Como área de estudo utilizou-se um trecho de 5,3 hectares da Fazenda Escola pertencente ao Instituto Federal do Sul de Minas (IF Sul de Minas), Campus Inconfidentes. Seu relevo é relativamente ondulado, com variação de altitude entre 853 e 879 metros. A ocupação do solo é heterogênea, como se pode observar na Figura 1. O município de Inconfidentes possui clima tropical de altitude, com inverno seco, verão quente e chuvoso, apresentando temperaturas médias de 22°C e 16,5°C, para o verão e inverno respectivamente (IBGE, 2010).

Considerou-se no planejamento do voo um recobrimento da área de estudo com alturas de voo variando de 80 m, 150 m e 200 m em relação à base, com GSD médio de 4,13 cm; 7,75 cm; e, 10,33 cm para as respectivas alturas e sobreposição de 70% para os recobrimentos longitudinal e lateral. Posteriormente à coleta das imagens e de posse destas efetuou-se o processamento dos dados aplicando os recursos disponíveis no *software Agisoft Photoscan*, desenvolvidos especificamente para reconstrução visual tridimensional (3D) e adaptado para processamento de conjuntos de imagens e dados oriundos de levantamentos aéreos executados por SISVANT. Assim, gerou-se as ortofotos utilizando o Modelo Digital de Superfície (MDS) e 9 pontos de controle distribuídos na área. De posse das ortofotos procedeu-se à avaliação da acurácia posicional planimétrica, conforme descrito na sequência.

## 2.2 Avaliação da Acurácia Posicional

Ao consultar a ET-CQDG, elaborada para a definição de procedimentos destinados ao controle de qualidade dos dados geoespaciais, observou-se que para a área considerada nesse trabalho seriam necessários apenas cinco pontos de verificação. Dessa forma, a confiabilidade da avaliação de acurácia posicional da ortofoto seria comprometida devido ao pequeno conjunto amostral de pontos de verificação. Neste sentido, adotou-se as recomendações descritas na norma americana NSSDA (*National Standard for Spatial Data Accuracy*) ao qual indica que um mínimo de 20 pontos deve ser utilizado no processo de avaliação, como mostrado em FGDC

(1998). Assim, os dados de verificação utilizados no processo de avaliação de acurácia posicional foram coletados em campo, constituindo-se em 11 feições lineares bem definidas, cujo valor de comprimento total foi de 282,73 m e 35 pontos de verificação, conforme apresentado na Figura 1.

Santos *et al.* (2016) destacam que é de fundamental importância a análise de tendências no controle de qualidade dos dados espaciais. A utilização de um dado tendencioso, com erros sistemáticos, compromete tanto a sua integração em um banco de dados espaciais, como as análises, decisões e produtos gerados. Erros em transformações de sistemas de referenciais geodésicos, transformações de sistemas de projeção, equívocos em metadados, utilização de equipamentos não retificados e equações ou procedimentos mal utilizados são erros que podem inserir tendências nos dados.

Lima (2012) e Sztutman (2014) afirmam que a análise de tendência em dados espaciais pode ser efetuada a partir da aplicação do teste de hipóteses *t* de *Student* a um determinado nível de confiança. Adicionalmente, uma condição necessária para a aplicação deste teste consiste na confirmação da normalidade da amostra, o que pode ser verificado a partir da aplicação do teste de *Shapiro-Wilk*, com determinado nível de significância.

Ressalta-se que a consistência dos resultados durante a coleta dos pontos está diretamente ligada a diversos fatores, dentre eles: determinação da área, de forma a evitar locais com obstrução dos sinais dos satélites; características do relevo, de modo que os pontos fossem distribuídos pelas baixas, médias e altas altitudes; escolha de pontos e trechos de calçadas bem distribuídos espacialmente.

Utilizou-se receptores GNSS de dupla frequência e método de posicionamento RTK (*Real Time Kinematic*), tanto para a coleta dos pontos quanto para a coleta das feições lineares. A precisão posicional planimétrica para os pontos e feições lineares apresentaram valores entre 0,5 cm e 1,1 cm, respectivamente.

Posteriormente, de posse das ortofotos, efetuou-se o processo de vetorização das linhas correspondentes às feições coletadas em campo e determinação das coordenadas dos pontos homólogos nas ortofotos, salientando

que todos os processos foram realizados no *software ArcGIS*, versão 10.2. Sobre as feições pontuais foram computadas as discrepâncias posicionais planimétricas calculou-se as discrepâncias posicionais médias entre as feições lineares (vetorizadas e coletadas em campo). A partir dos valores de discrepâncias posicionais, para cada tipo de feição mapeada em campo, foi avaliada a acurácia posicional planimétrica das ortofotos pelos métodos de feições pontuais (Decreto-lei nº 89.817/ET-CQDG) e lineares (*Buffer Duplo*) descritos em Santos et al. (2015) e Fonseca Neto et al. (2017).

Para ambos os métodos de avaliação da acurácia posicional planimétrica é necessário atender aos seguintes critérios para a classificação em relação à uma escala e classe determinada pelo Decreto-lei 89.817/ET-CQDG: (i) 90% das discrepâncias posicionais serem menores ou iguais à tolerância PEC-PCD; e (ii) o RMS (*Root Mean Square*) da amostra de discrepâncias posicionais ser menor ou igual à tolerância EP.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A normalidade dos conjuntos amostrais de discrepâncias determinadas pelos métodos de feições lineares e pontuais foi verificada a partir da aplicação do teste de *Shapiro-Wilk* (ROYSTON, 1982a; ROYSTON, 1982b; ROYSTON, 1995) utilizando o *software R* (R CORE TEAM, 2017). Em tal teste considera-se como hipótese nula ( $H_0$ ) que a amostra provém de uma população normal contra a hipótese alternativa ( $H_1$ ) em que a amostra não provém de uma população normal, considerando o nível de significância alfa. Caso o p-valor seja maior que o nível de

significância alfa adotado, aceita-se  $H_0$ , ou seja, a amostra provém de uma distribuição normal. Caso contrário, rejeita-se  $H_0$ .

Constatou-se que todas as amostras de discrepâncias posicionais apresentaram normalidade ao nível de significância de 5%, onde todos os p-valores encontrados foram maiores que 0,05. Após a confirmação da normalidade procedeu-se à avaliação da acurácia posicional da ortofoto gerada a partir do SISVANT, aplicando os valores de PEC-PCD e EP para as escalas de 1:1.000 e 1:2.000, conforme apresentado na Tabela 1. Optou-se por utilizar as referidas escalas devido a sua recomendação de utilização em diversos produtos relacionados ao CTM, especificados pela NBR 14.166. Adicionalmente, cabe ressaltar que Manual de Apoio - CTM (2010) afirma que a maioria dos trabalhos relacionados ao CTM normalmente são representados em escalas de 1:1.000 a 1:2.000, porém destaca-se a maior frequência na geração de dados voltados para o CTM na escala de 1:1.000 (Tabela 1). Nesse caso, estas escalas serão consideradas como referência para a determinação dos parâmetros de qualidade posicional (atrelados às escalas supracitadas), de forma a tornar as propostas apresentadas nesse trabalho coerentes e relevantes.

Considerando as alturas de voo de 80 m, 150 m e 200 m obteve-se os resultados apresentados nas Figuras 2 e 3, gerados a partir da aplicação do método de feição linear do *Buffer Duplo* e das feições pontuais. Tais Figuras apresentam os valores de: discrepâncias posicionais planimétricas, discrepância posicional média, RMS, valores máximos e mínimos das discrepâncias posicionais observadas nas ortofoto.

Tabela 1: Valores de PEC-PCD e EP para as escalas 1:1.000 E 1:2.000

Classe PEC	Classe PEC-PCD	Planimetria		Escala 1:1.000		Escala 1:2.000	
		PEC(mm)	EP(mm)	PEC(mm)	EP(mm)	PEC(mm)	EP(mm)
	A	0,28* D	0,17* D	0,28	0,17	0,56	0,34
A	B	0,5* D	0,3* D	0,50	0,30	1,00	0,60
B	C	0,8* D	0,5* D	0,80	0,50	1,60	1,00
C	D	1,0* D	0,6* D	1,00	0,60	2,00	1,20

\*D corresponde ao denominador da escala utilizada.

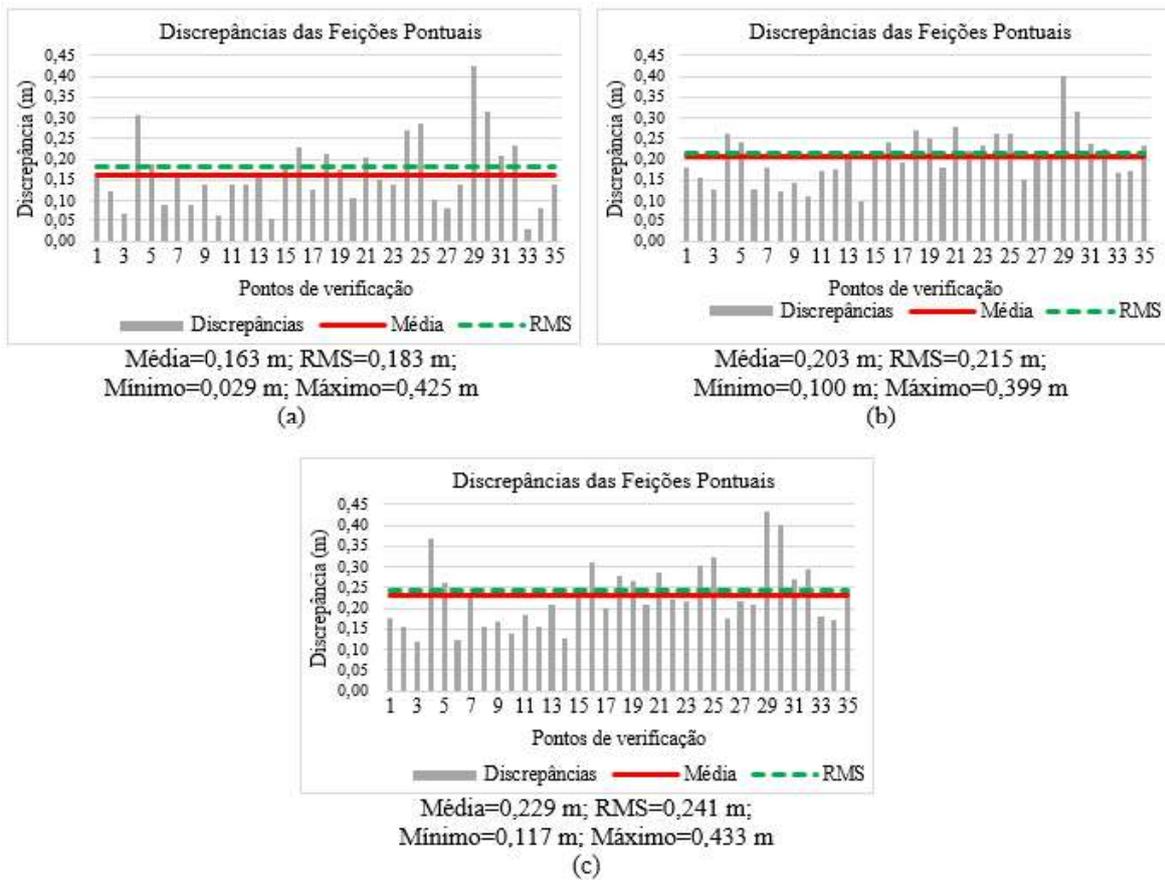


Fig. 2 - Gráficos das discrepância posicional planimétrica obtido através do método de Pontos utilizado no processo de avaliação da acurácia posicional para as diferentes alturas: (a) 80 m; (b) 150 m; e (c) 200 m.

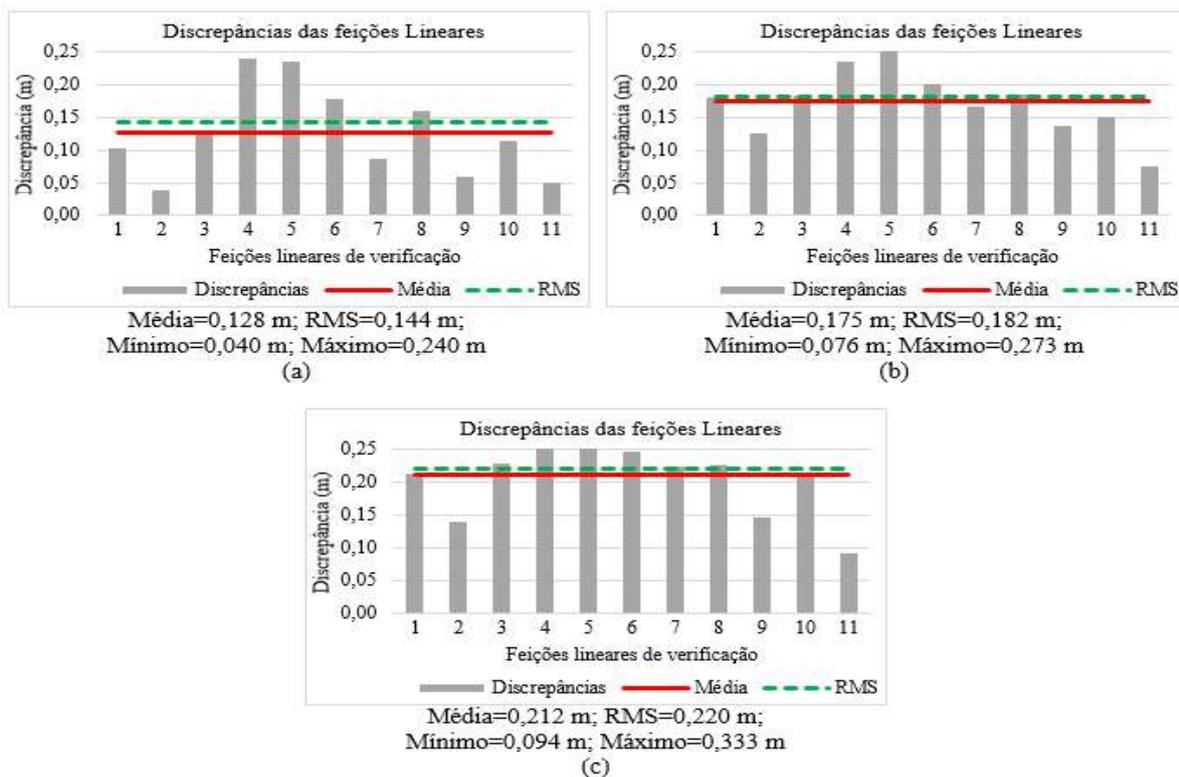


Fig. 3 - Gráficos das discrepâncias posicionais planimétricas obtida pelo método de feições lineares (*Buffer Duplo*) aplicado na avaliação da acurácia posicional para as diferentes alturas: (a) 80 m; (b) 150 m; e (c) 200 m.

De acordo com os resultados apresentados para o método tradicional (feições pontuais) observa-se que o valor máximo de discrepância posicional foi equivalente a 0,433 m para a maior altura de voo analisada (altura de 200 m). Novamente a altura de voo de 200 m gerou ortofotos com a maior discrepância posicional (de 0,333 m) pelo método de feições lineares. Nesse contexto pode-se visualizar, para os casos considerados, uma relação direta entre a discrepância posicional e altura de voo máximas. Segundo Fonseca Neto *et al.* (2017) isso se justifica devido ao fato de que no método de feições lineares obtém-se uma discrepância posicional média, o que explica uma magnitude maior em relação à discrepância posicional máxima para o método de feições pontuais. Houve uma similaridade nos resultados quando considerados os valores mínimos para os dois métodos utilizados e mesma altura de voo.

Considerando a avaliação da acurácia posicional das ortofotos, empregando os métodos de feições lineares e pontuais, observou-se que os valores das médias das discrepâncias posicionais aumentaram de forma direta em função da altura de voo para ambos os métodos. O método de feições pontuais obteve uma variação das médias das discrepâncias posicionais entre 16,3 cm a 22,9 cm enquanto o método de feições lineares apresentou variação entre 12,8 cm a 21,2 cm para as alturas de voo de 80 m a 200 m respectivamente. Justificam-se menores valores para o método de feições lineares devido ao fato de que neste é determinada uma discrepância posicional média para cada feição analisada, o que explica maiores valores de média e RMS para o método de feições pontuais.

Adicionalmente, observou-se que os valores do RMS apresentaram variação entre 18,3 cm a 24,1 cm para o método de feições pontuais e variação entre 14,4 cm a 22,0 cm no método de feições lineares para as alturas de voo consideradas (80 m e 200 m). No entanto, cabe ressaltar que o valor de RMS obtido para a altura de voo de 80 metros no método de feições pontuais (18,3 cm) foi semelhante ao apresentado para a altura de 150 m no método de feições lineares (18,2 cm). Analogamente, o RMS apresentado para a altura de 150 m no método de feições pontuais (21,5 cm) assemelhou-se ao apresentado para a altura de

200 m no método de feições lineares (22,0 cm).

Considerando as diferenças entre os valores das médias e RMS para os métodos de feições pontuais e lineares nas alturas de voo utilizadas (80 m, 150 m e 200 m) apresentadas na Tabela 2. Analisando a Tabela 2 observa-se que existe uma relação entre a altura de voo, a média e o RMS dos métodos de feições pontuais e lineares, ou seja, à medida que se aumenta a altura de voo o RMS e a média dos métodos de feições pontuais e lineares vão se aproximando. Entretanto, é necessário se testar mais alturas de voos, associadas à diversos tipos de relevo, de forma a se obter resultados mais consistentes sobre o tema. Assim sendo, os resultados aqui apresentados podem servir como hipóteses para trabalhos futuros.

Tabela 2: Diferença entre valores das médias e RMS dos métodos de feições pontuais e lineares para as diferentes alturas de voo utilizadas

Diferenças entre os métodos de feições pontuais e lineares para diferentes alturas de voo			
	80 metros	150 metros	200 metros
Média (m)	0,035	0,028	0,017
RMS (m)	0,039	0,033	0,021

A partir das ortofotos geradas e respectivas discrepâncias posicionais para os pontos avaliados, foi realizado uma classificação dos produtos com base na escala de 1:1.000 (Tabela 3). Salienta-se que para o método de feição linear (*Buffer Duplo*) deve-se gerar um novo conjunto de discrepâncias posicionais médias utilizando como tamanho do *Buffer* a tolerância do PEC-PCD para a classe pretendida, na escala considerada.

Deste modo, foi possível constatar que a alteração na altura de voo não exerceu influência na determinação da classe dos produtos cartográficos na escala de 1:1.000, pois ambos os métodos de avaliação de acurácia posicional atenderam as condições do Decreto-lei 89.817 / ET-CQDG, enquadrando-se na Classe B para a escala 1:1.000, exceto o método de feições lineares para a altura de 80 metros que se enquadrou na Classe A, como se pode observar na Tabela 3. Nesse caso, as alturas de voos utilizadas não exerceram influência na determinação da classe

Como destaca Loch (2006) e Manual de Apoio - CTM (2010) as escalas 1:1.000 e 1:2.000 são prioritariamente adotadas no Brasil para o CTM. Partindo-se desse pressuposto, a partir das discrepâncias posicionais calculadas, testou-se também os dois métodos para a determinação da classe para a escala 1:2.000 cujos resultados são descritos na Tabela 4.

Quando analisadas as discrepâncias posicionais, com a respectiva variação de altura de voo, pelos métodos utilizados verificou-se que estes atenderam às condições do Decreto-lei 89.817/ET-CQDG. Comprovou-se assim que as ortofotos em análise se enquadraram na Classe A para a escala 1:2.000 como se pode verificar na Tabela 4. Também neste caso as diferentes alturas de voo, utilizadas neste trabalho, não influenciaram na classe obtida.

Adicionalmente, verificou-se que todas as amostras de discrepâncias posicionais obtidas dos métodos de feições pontuais e lineares não apresentaram tendências. Salienta-se que tal verificação foi efetuada a partir da aplicação do teste *t* de Student ao nível de confiança de 90%. Utilizou-se como hipótese nula  $H_0$  a existência de tendência nas amostras contra a hipótese alternativa  $H_1$  de que não existe tendência nas amostras. Caso o p-valor seja menor que o nível de confiança adotado, rejeita-se  $H_0$ , ou seja, a amostra não apresenta tendência. Caso contrário, aceita-se  $H_0$ .

Como os p-valores apresentados foram menores que o nível de confiança adotado (90%), constatou-se que todas as amostras de discrepâncias posicionais avaliadas estão livres de tendências significativas, ou seja, não apresentaram tendência.

De fato, segundo Kedzierski *et al.* (2015), que considerou uma altura de voo de 200 m e a avaliação de qualidade posicional baseada no RMS (*Root Mean Square*), as ortofotos desenvolvidas a partir de SISVANT são adequadas para a atualização do mapeamento cadastral. Como se observa nos resultados apresentados nas Figuras 2 e 3 a variação média entre as discrepâncias posicionais apresentadas não foram significativas (da ordem de quatro cm) quando associadas às variações na altura de voo (80 m, 150 m e 200 m). Resultados similares foram encontrados por Udin *et al.* (2014), porém estes utilizaram quatro alturas de voo variando

de 40 m a 100 m. Neste caso, os pontos de controle e de checagem foram determinados por levantamento topográfico utilizando Estação Total. Estes autores utilizaram um modelo de SISVANT diferente do aplicado no estudo aqui apresentado.

Nesse contexto, as bases cartográficas em escala 1:1.000 e 1:2.000 são amplamente utilizadas com o propósito de subsidiar estudos e operações cadastrais, em geral na área municipal, como: seleção de áreas para desapropriação destinadas a obras públicas, alargamento de vias, cadastro imobiliário etc. Dessa forma, as ortofotos consideradas constituem uma possibilidade consistente para a determinação de bases cartográficas, com acurácia compatível com as escalas supracitadas.

Salienta-se ainda que o conteúdo informativo destas ortofotos, atrelados à sua boa resolução espaço-temporal, contempla os requisitos do CTM, auxiliando em diversas aplicações específicas como: detecção de irregularidades no cadastro técnico a partir da fiscalização direcionada (novas construções, demolições, expansões etc.), monitoramento da expansão urbana, controle da ocupação do solo etc. Fonseca Neto *et al.* (2017) ressalta a possibilidade de aplicação das ortofotos obtidas por SISVANT no georreferenciamento de imóveis rurais com áreas menores que quatro módulos fiscais, cuja execução e custeio do levantamento compete ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). Dessa forma, como destacado por Kedzierski *et al.* (2015) a atualização de mapas cadastrais baseados em imagens de SISVANT pode apresentar uma redução de aproximadamente 50% no custo quando comparados aos métodos de levantamentos “em solo” (Topografia, Geodésia etc.).

Portanto, a utilização dos SISVANTs para atualização cadastral torna-se viável devido ao baixo custo e otimização do tempo na coleta de dados espaciais. Maurice *et al.* (2015) afirmam que é necessária uma nova abordagem sobre a coleta de dados espaciais a baixo custo, ou seja, apresentam o SISVANT como uma nova ferramenta de sensoriamento remoto capaz de adquirir imagens aéreas com potencial de fornecer informações com uma resolução espacial e temporal muito alta. Udin *et al.* (2014)

justificam que comparando com o tempo e o custo para produzir esses dados usando equipamentos tradicionais (estação total, aeronaves, etc.), o

SISVANT é uma alternativa promissora no que tange a coleta de dados através do levantamento aerofotogramétrico de baixo custo.

Tabela 3: Classificação de acordo com o decreto Lei nº 89.817\ET-CQDG para escala 1:1.000 das ortofotos

Altura voo 80 metros	nº	Método	dp (m)		Decreto-Lei		Tendência	Classificação Escala 1:1.000
			Média	RMS	%(dp) ≤PEC-PCD	RMS≤EP		
	35	Feição Pontual	0,163	0,183	100%	Sim	Não	Classe B
	11	Feição linear	0,128	0,144	100%	Sim	Não	Classe A

Altura voo 150 metros	nº	Método	dp (m)		Decreto-Lei		Tendência	Classificação Escala 1:1.000
			Média	RMS	%(dp) ≤PEC-PCD	RMS≤EP		
	35	Feição Pontual	0,203	0,215	100%	Sim	Não	Classe B
	11	Feição linear	0,175	0,182	100%	Sim	Não	Classe B

Altura voo 200 metros	nº	Método	dp (m)		Decreto-Lei		Tendência	Classificação Escala 1:1.000
			Média	RMS	%(dp) ≤PEC-PCD	RMS≤EP		
	35	Feição Pontual	0,229	0,241	100%	Sim	Não	Classe B
	11	Feição linear	0,212	0,220	100%	Sim	Não	Classe B

\* dp corresponde discrepância posicional.

Tabela 4: Classificação de acordo com o decreto lei nº 89.817\ET-CQDG para escala 1:2.000 das ortofotos analisadas

Altura voo 80	nº	Método	dp (m)		Decreto-Lei		Tendência	Classificação Escala 1:2.000
			Média	RMS	%(dp) ≤PEC-PCD	RMS≤EP		
	35	Feição Pontual	0,163	0,183	100%	Sim	Não	Classe A
	11	Feição linear	0,128	0,144	100%	Sim	Não	Classe A

Altura voo 150	nº	Método	dp (m)		Decreto-Lei		Tendência	Classificação Escala 1:2.000
			Média	RMS	%(dp) ≤PEC-PCD	RMS≤EP		
	35	Feição Pontual	0,203	0,215	100%	Sim	Não	Classe A
	11	Feição linear	0,175	0,182	100%	Sim	Não	Classe A

Altura voo 200	nº	Método	dp (m)		Decreto-Lei		Tendência	Classificação Escala 1:2.000
			Média	RMS	%(dp) ≤PEC-PCD	RMS≤EP		
	35	Feição Pontual	0,229	0,241	100%	Sim	Não	Classe A
	11	Feição linear	0,212	0,220	100%	Sim	Não	Classe A

\* dp corresponde discrepância posicional.

#### 4. CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta como objetivo avaliar a qualidade posicional de ortofotos geradas a partir de diferentes alturas de voo de SISVANT, de forma a demonstrar o potencial e a viabilidade dos produtos gerados na construção de bases cartográficas inerentes ao CTM. Os produtos foram avaliados para acurácia posicional em escalas 1:1.000 e 1:2.000, devido à ampla utilização dessas escalas no CTM.

Observou-se a partir das diferenças entre os valores das médias e RMS para os métodos de feições pontuais e lineares nas alturas de voo utilizadas (80 m, 150 m e 200 m) a existência

de uma relação entre a altura de voo, a média e o RMS dos métodos de feições pontuais e lineares de forma que, à medida que se aumenta a altura de voo, os valores do RMS e da média dos métodos de feições pontuais e lineares vão se aproximando. Porém, é necessário se considerar nos testes um número maior de alturas de voos, associadas a tipos variados de relevo (plano, levemente acidentado, muito acidentado etc.) com a finalidade de se determinar resultados mais consistentes sobre o tema. Assim sendo, os resultados aqui apresentados podem servir como hipóteses para trabalhos futuros.

Todas as ortofotos aqui consideradas, avaliadas pelo método de feições pontuais e

lineares não apresentaram tendências, fato constatado a partir da aplicação do teste *t*, a 10% de significância, independente da altura de voo adotada.

Baseando-se nas investigações supracitadas conclui-se que as ortofotos analisadas, geradas a partir do SISVANT descrito na subseção 2.1, são acuradas posicionalmente para as escalas de 1:1.000 Classes B (exceto para o método de feição linear referente à altura de 80 m, que obteve classificação classe A para a escala 1:1.000) e obtendo classe A na escala 1:2.000 (Decreto 89.817/ET-CQDG) para as alturas consideradas (80 m, 150 m e 200 m). Dessa forma, o resultado é satisfatório para a cartografia cadastral, obtendo melhor classificação para a escala 1:2.000, podendo as ortofotos em questão constituírem uma ferramenta cartográfica relevante para a geração de diversos produtos relacionados ao CTM, como Planta Cadastral Municipal (PCM), Planta Genérica de Valores (PGV), Planta Indicativa de Sistemas de Infraestrutura Urbana (PISIU), dentre outros descritos na NBR 14.166. Nesse contexto, pode-se enfatizar que as ortofotos consideradas constituem uma possibilidade consistente para a determinação de bases cartográficas, com acurácia compatível com as escalas supracitadas para aplicações cadastrais.

Como a qualidade posicional não apresentou diferenças significativas devido a variação adotada para a altura de voo, observa-se que um aerolevanteamento pode ser efetuado pelo SISVANT adotando uma altura de 200 m, de forma a garantir maior recobrimento da área a ser levantada sem que haja degradação na qualidade posicional. Assim é demonstrada a eficiência de tal equipamento para atualização cadastral, tornando-a viável devido à otimização do tempo de coleta de dados espaciais associado ao baixo custo.

A partir dos resultados alcançados, recomenda-se para trabalhos futuros avaliar a qualidade posicional (planimétrica e altimétrica) de produtos obtidos por SISVANTs considerando alturas de voo regularmente espaçadas, de forma a determinar um modelo matemático/estatístico que relacione tais variáveis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES JÚNIOR, L. R.; CÔRTEZ, J. B. R.; FERREIRA, M. E.; SILVA, J. R. Validação de ortomosaicos e Modelos Digitais de Superfície utilizando fotografias obtidas com câmera digital não métrica acoplada a um VANT. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, n. 7, p. 1453-1466, 2015.

BARRY, P.; COAKLEY, R. Field accuracy test of rpas photogrammetry. In: **International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences XL-1/W2 UAV-g**, Rostock, Germany, p. 27-31, 2013.

BRASIL. Decreto N° 89.817 de 20 de Junho de 1984. **Normas Técnicas Da Cartografia Nacional**. Diário Oficial da União, Brasília, Brasil. 1984. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1980-1989/D89817.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm)> Acesso: 10 setembro 2015.

CÂNDIDO, A. K. A. A.; SILVA, N. M.; PARANHOS FILHO, A. C. Imagens de Alta Resolução Espacial de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) no Planejamento do Uso e Ocupação do Solo. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 38, n. 1, p. 147-156, 2015.

COLOMINA, I.; BLÁZQUEZ, M.; MOLINA, P.; PARÉS, M. E.; WIS, M. Towards a new paradigm for high-resolution low-cost photogrammetry and remote sensing. In: XXXVII The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - IAPRS&SIS, Beijing, China, p. 1201-1206, 2008.

DSG - Diretoria do Serviço Geográfico. **Especificação Técnica Para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV)**. Brasília, Brasil, 2011. Disponível em <[http://www.geoportal.eb.mil.br/images/PDF/ET\\_ADGV\\_Vs\\_2\\_1\\_3.pdf](http://www.geoportal.eb.mil.br/images/PDF/ET_ADGV_Vs_2_1_3.pdf)> Acesso: 27 fevereiro 2015.

DSG - Diretoria do Serviço Geográfico. **Especificação Técnica para a Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais de Defesa da Força Terrestre (ET-EDGV)**. Brasília, Brasil, 2015. Disponível em <<http://www.geoportal.eb.mil.br/portal/inde2?id=139>> Acesso: 20 novembro 2016.

- DSG - Diretoria do Serviço Geográfico. **Especificação Técnica Para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG)**. Brasília, Brasil, 2016. Disponível em <[http://www.geoportal.eb.mil.br/images/PDF/ET\\_CQDG\\_1a\\_edicao\\_2016.pdf](http://www.geoportal.eb.mil.br/images/PDF/ET_CQDG_1a_edicao_2016.pdf)> Acesso: 20 novembro 2016.
- EISENBEISS, H. **UAV photogrammetry**. Tese (Doctor of Sciences) - University of Technology Dresden, Institute of Geodesy and Photogrammetry, Zurich, Switzerland, Mitteilungen, 2009, 235p.
- EISENBEISS, H.; SAUERBIER, M. Investigation of UAV systems and flight modes for photogrammetric applications. **The Photogrammetric Record**, v. 26, n. 136, p. 400-421, 2011.
- FERREIRA, A. M. R.; ROIG, H. L.; MAROTTA, G. S.; MENEZES, P. H. B. J. Utilização de aeronaves remotamente pilotadas para extração de mosaico georreferenciado multiespectral e modelo digital de elevação de altíssima resolução espacial. In: **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil, p 9308-93015, 2013.
- FGDC. **Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy**. Federal Geographic Data Committee, U.S. Geological Survey, Virginia, Estados Unidos da América, 1998. Disponível em <[> Acesso: 10 novembro 2014.](http://www.fgdc.gov/standards/projects)
- FONSECA NETO, F. D.; JUNIOR, J. G.; BOTELHO, M. F.; SANTOS, A. P.; NASCIMENTO, L. A.; FONSECA, A. L. B. Avaliação da qualidade posicional de dados espaciais gerados por VANT utilizando feições pontuais e lineares para aplicações cadastrais. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 23, n. 1, p. 134-149, 2017.
- HE, J.; LI, Y.; ZHANG, K. "Research of UAV Flight Planning Parameters." In: **Positioning - Scientific Research**, v. 3, p. 43-45, 2012.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades: Censo 2010**. Disponível em <<https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>> Acesso: 10 novembro 2017.
- KARNAUKHOVA, E.; LOCH, C. Alguns problemas atuais do mapeamento digital. In: **XX Congresso Brasileiro de Cartografia**, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, 2001.
- KEDZIERSKI, M.; FRYSKOWSKA, A.; WIERZBICKI, D.; NERC, P. Chosen aspects of the production of the basic map using UAV imagery. In: **XXIII The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Congress**, Prague, Czech Republic, p. 873-877, 2016. Disponível em <<http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLI-B1/873/2016/isprs-archives-XLI-B1-873-2016.pdf>> Acesso: 10 dezembro 2016.
- LIMA, E. C. **O Levantamento Pioneiro da SARA Brasil: Histórico, Tecnologia Empregada e Avaliação dos Produtos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, Brasil, 2012. 212p.
- LIMA, L. A. **Avaliação da técnica de georreferenciamento direto em mapeamento aerofotogramétrico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil, 2016. 157p.
- LOCH, R. E. N. **Cartografia: representação, comunicação e visualização de dados espaciais**. Santa Catarina, Editora UFSC, 2006. 314p.
- LONGHITANO, G. A. **Vants para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas**. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, Brasil, 2010. 163p.
- LUHMANN, T.; ROBSON, S.; KYLE, S.; BÖHM, J. **Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging**. Walter De Gruyter Inc., Germany, 2ª edição, 2014. 689p. LUNARDI, O. A.; PENHA, A. D. L. T.; CERQUEIRA,

- R. W. O Exército Brasileiro e os Padrões de Dados Geoespaciais para a Inde. In: **IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, Recife, Pernambuco, Brasil, p. 1-8, 2012.
- MANUAL DE APOIO – CTM. **Diretrizes para a criação, instituição e atualização do cadastro territorial multifinalitário nos municípios brasileiros**. Ministério das Cidades. Organizadores: Eglaisa Micheline Pontes Cunha e Diego Alfonso Erba, Brasília, Brasil, 170 p, 2010.
- MAURICE, M. J.; KOEVA, M. N.; GERKE, M.; NEX, F.; GEVAERT, C. A. Photogrammetric approach for map updating using UAV in Rwanda. In: **Proceedings of the GeoTechRwanda**, Kigali, Rwanda, p. 18-20, 2015.
- MIKHAIL, E. M.; BETHEL, J. S.; MCGLONE, J. C. **Introduction to Modern Photogrammetry**. New York, John Wiley & Sons, 2001. 479 p.
- MITISHITA, E.; EDUARDO, J.; GRAÇA, N.; CENTENO, J.; MACHADO, Á. O uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) em aplicações de mapeamento aerofotogramétrico. In: **XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia**, Gramado, Rio Grande do Sul, Brasil, 2014. Disponível em <<https://raulbonadiablog.files.wordpress.com/2016/10/xxxx-o-uso-de-veiculos-aereos-nao-tripulados-vants-em-aplicacoes-de-mapeamento-aerofotogrametrico.pdf>> Acesso: 05 dezembro de 2016.
- NBR 13.133. **Execução de Levantamento Topográfico**. ABNT, Rio de Janeiro, 1994. 35 p.
- NBR 14.166. **Rede de Referência Cadastral Municipal - Procedimento**. ABNT, Rio de Janeiro, 1998. 23 p.
- Pix4D. **Ground Sampling Distance (GSD)**. Lausanne, Switzerland, 2016. Disponível em <<https://pix4d.com/>> Acesso: 01 setembro 2016.
- R Development Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. the R Foundation for Statistical Computing. ISBN: 3-900051-07-0. Vienna, Austria: Disponível em <<http://www.R-project.org/>> Acesso: 01 abril 2017.
- ROYSTON, P. An extension of Shapiro and Wilk's W test for normality to large samples. **Applied Statistics**, v. 31, p. 115-124, 1982a.
- ROYSTON, P. Algorithm AS 181: The W test for Normality. **Applied Statistics**, v. 31, p. 176-180, 1982b.
- ROYSTON, P. Remark AS R94: A remark on Algorithm AS 181: The W test for normality. **Applied Statistics**, v. 44, p. 547-551, 1995.
- SANTOS, A. P.; MEDEIROS, N. G.; RODRIGUES, D. D. Controle de qualidade posicional em dados espaciais utilizando feições lineares. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 21, n. 2, p. 233-250, 2015.
- SANTOS, A. P.; RODRIGUES, D. D.; SANTOS, N. T.; GRIPP JUNIOR, 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**, v. 22, n. 4, p. 630-650, 2016.
- SCAIONI, M.; PERKO, R.; VERONEZ, M. R. Applications of surveying in land management. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. **Earth Science Informatics**, v. 7, n. 2, p. 69-70, 2014.
- SCHOFIELD, W.; BREACH, M. **Engineering Surveying**. UK, Elsevier Ltd., 2007. 622p.
- SHI, W. **Principles of Modeling Uncertainties in Spatial Data and Spatial Analyses**. Flórida, CRC Press Taylor & Francis Group, 2010. 432 p.
- SZTUTMAN, P. **Análise da qualidade posicional das bases do Google Maps, Bing Maps e da Esri para referência espacial em projetos em SIG: aplicação para o município de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, Brasil, 2014. 182p.
- TAO, C. V.; Li, J. **Advances in mobile mapping technology**. London, Taylor & Francis Group (ISPRS book series n° 4, 2007. 381 p.
- TORRADO, J. O. E.; JIMÉNEZ, J. J. C.; DÍAZ, H. P. Ortomosaicos y modelos digitales de elevación generados a partir de imágenes tomadas con sistemas UAV. **Revista Tecnura**, v. 20, n. 50, p 119-140. 2016.
- TVEITE, H.; LANGAAS, S. An Accuracy

Assessment Method for Geographical Line Data Sets Based on Buffering. **International Journal of Geographical Information Science**, Taylor & Francis Group, v. 13, n. 1, p. 27-47, 1999.

UDIN, W. S.; AHMAD, A. Assessment of photogrammetric mapping accuracy based on variation flying altitude using unmanned aerial vehicle. In: **8th International Symposium of**

**the Digital Earth (ISDE8), IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, Sarawak, Malaysia, p. 012-027, 2014.

VOSSELMAN, G.; MAAS, H. G. **Airborne and terrestrial laser scanning**. Taylor and Francis Group, Boca Raton. 2010. 320 p.